



44  
601501

# 國立武漢大學 工科年刊

第一卷

ENGINEERING JOURNAL

Wu-Han University Wu-Chang, China.

Vol. 1. Oct. 1936

## 本期目錄

弁言 .....	王星拱	1
勿來門氏(Flamant)公式之圖解法及其理論 .....	陸鳳翥	1
鋼筋混凝土材截面計劃法 .....	方塘	16
印度灌溉工程視察記 .....	邢維堂	27
江漢堤工工程報告並整理意見書 .....	邢維堂	51
混凝土之新趨勢 .....	丁燮和	85
The Method of Successive Increments and its Applications to Problems on Rigid Frame Structures. ....		
俞 忽	105	
飛艇之理論 .....	張國藩	161
電氣弧焊法 .....	余煒昌	201
鉛蓄電池 .....	趙師梅	222
人造汽油，木醇，及氫之化工問題 .....	萬册先	236
五百磅至八百磅蒸汽動力廠設計之新趨勢 .....	宣遠綸	248
鑄及其在鋼鐵業上之地位 .....	邵逸周	259
“建陽”輪及其主機之設計概要 .....	郭 霖	299

中華民國廿五年十二月發行

國立武漢大學工科年刊委員會編印

中華郵政特准掛號認爲新聞紙類

## 弁 言

王 星 拱

自從一千八百九十四年我們被日本打敗之後，舉凡有識之士，沒有一天不講富國強兵，到了現在，已經四十多年了，還是同樣的問題，擺在我們的面前，而且比從前還要來得迫切，凶猛，不能忍受。至於國內的民生問題，因為受了帝國主義者經濟的侵略，也是一天一天的嚴重起來，以至於農邨破產，民不聊生，在這四十多年中間，我們不能說我們未曾努力，政治，文學，風俗，習慣，以至於思想，都經過重大的變遷，然而大家所期望的富和強的目標，仍然是茫然莫知其所在，而且還似乎有愈離愈遠的趨勢，這原因究竟在什麼地方，我想用最簡單的方法來答復這個問題，就是：拿世界上各國的情形來比較一下，看看有什麼東西，是人家所有的，而我們沒有，有什麼事件，是人家所能做的，而我們不能做，自然可以得到這個問題之真答案。

我們試看：人家有飛機大砲，而我們却沒有，人家有輪船火車，而我們却沒有，人家有無線電，而我們却沒有，

人家有各種五金各種藥品，而我們却沒有，——總括一句話，人家有工業，我們沒有工業。固然，以上各種東西，我們也有若干流通於市場，或者應用於各處；但是牠們都是自外國購買進來的商品，不是自己製造的，或者是自外國購買進來的原料，不過經我們配置起來的。前者是熟貨，後者是半熟貨，熟貨和半熟貨都必須倚賴人家，不能算做我們自己所有的東西。到了危急的時候，外邊的東西不能進來；或者到了窮困的時候，我們根本上沒有錢去買，那就無路可走了。

這樣看來，世界上富強的國家，都是工業發展的國家。我們要富要強，也必須發展工業，這是很明顯的事情。但是爲什麼我們沒有走這條路呢？因爲這裏有許多主要的或附屬的條件，必須先行或同時解決，我們的工業纔能夠發展起來。大概說來，有下列四個條件：一是資本之集中，二是技術之優越，三是關稅之保護，四是相關工業發展之系統和次序。

(一)沒有資本，什麼都不能做，是盡人皆知的道理。我們是在貧乏的狀態中，社會上那能集合得起大數的資本來，銀行的借款也難謀得，而且利息極重，還要穩固的抵押，政府也沒有輔助工業的金融機關。所以不但未開的工廠開不起來，而且已開的工廠，已漸漸底倒閉下去。

這是工業不能發展的第一個原因。

(二)我們是工業後進的國家,要能追得上先進,技術上須要比人家強,這樣青出於藍的責任,是我們所應當特別擔負的,不但高級技術的工程師要如此,即低級技術的工人也要如此,但是這一層是不易得做得的,而在沒有受過特殊訓練的工人方面,更難建設起來管理及運用機器的一種新經驗,這是工業不能發展第二個困難。

(三)我們在關稅方面,受了條約的束縛,外國貨進口,有種種便利,就同在他們本國銷售一般,把我們工業幼稚的國家的的工業品,和他們工業先進國家的工業品在同等的立場上互相競爭,就同小孩子和成年的大人賽跑一般,如何能夠比得上?又有外人在國內設廠,也是我們發展自己工業的障礙,至於近來日貨之走私,用無理的方法來侵略,不待言那更是我們幼稚工業的打擊了,工業不能發展的這是第三個困難。

(四)物有本末,事有終始,知所先後,則近道矣,學問固是如此,工業何獨不然,把各種工業類別起來,有所謂基本工業,有所謂一班工業,有所謂重工業,有此謂輕工業,基本不立,那有枝葉,重的不先辦,輕的也跟不上來,尤其是在工業後進的國家,想用兼程並進的方法,來收事半

功倍的效果，更應當注重基本工業或重工業。我們講維新「近代化」已經多少年，連鋼鐵場都沒有，副產煤焦場也沒有，機器製造廠也沒有，硫酸廠也沒有，這些廠裏所製造的東西，都是工業上的基本原料或工具，這些原料和工具，必須自己能夠製造，並且必須售價便宜，然後我們的工業之發展，纔能收到綱舉目張的效果。因為沒有這些基本東西，所以我們在發展工業的途徑中，要特別感受困難，這是工業不能發展的第四個原因。

我們既然知道工業為近代立國之基礎，就應當發展工業，我們既然知道在工業途徑中有什麼困難，就應當剷除這些困難。但是這些工作，是需要全國人士之各方面——政治上，社會上，教育上，——共同努力去做的。如果我們真正澈底了解工業之發展之重要性質及其進行上之具體困難，用全副力量去解決去進行，對症下藥，分工合作，一定可以在甚短的限期，收到甚大的成效。

本校工學院同人發行年刊，發表各人研究之所得，協助我國工程界提高技術上之標準，這是我們在教育方面所應當盡的責任。同時，我希望各方面人士，都努力往發展工業的途徑上進行，來建設近代國家的永久基礎，即為應付目前國難起見，（這個國難也許是長期的）也是絕對不可忽略的一件事情。

## 勿來門氏(Flamant)公式之圖解法及其理論

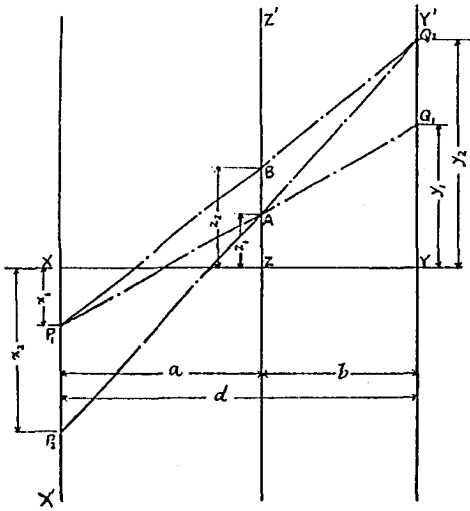
陸 鳳 書

用圖法以求水管之尺寸,及水頭之消損,研究水力學者,莫不知其簡而且易,蓋水力學中算題,恆屬無定值式者,例如計劃城市水管網時,其管徑之大小,常視水頭消損之多寡爲衡,每假定一尺寸,即得一水頭消損之值,若用公式計算,則更番假定,其繁瑣自不待言,倘以公式繪成圖表,則計算之簡易,實有出人意料之外者,今以勿來門氏(Flamant)公式之圖解法爲例,該圖(閱圖四)僅繪四平行直線,第一線係流量線,第二線係水管之直徑線,第三線係一千尺長內之水頭消損線,第四線係水流之速度線,其用法即兩數已知,可求其他兩數,其求法祇須將已知兩數連一直線,並引長之,使與其他兩平行線相交,其交點即欲得之兩數也,該圖之繪法及原理,頗有研究之價值,斯篇之意,即欲將該兩點加以解釋,務使讀者能進而推之于其他公式,不致有知其然,不知其所以然之弊耳。

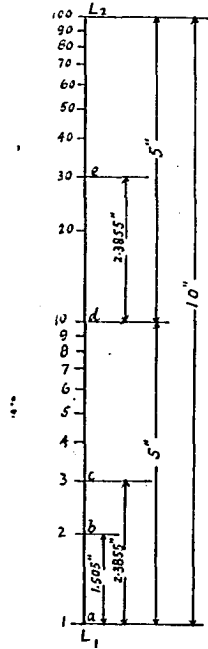
欲明原理,必先由簡入繁,今姑就一普通方程式立論,



即  $ay = \beta x + \gamma z + C$ . 方程式中  $x, y, z$ , 為變數,  $a, \beta, \gamma$ , 為常數. 今以  $x, y$  之值繪在  $XX', Y'Y'$  平行軸線上, 但不在同一方向,  $x$  之值繪於底線之下,  $y$  之值繪於底線之上, 如第一圖所示者.



第一圖



第二圖

令  $\bar{x}$  與  $y$  軸線之距離為  $d$

$x$  之縮尺為  $s_x$ .

$y$  之縮尺為  $s_y$ .

$z$  之縮尺爲  $S_z$ .

又令  $x_1, y_1$  及  $x_2, y_2$  爲方程式  $ay = \beta x + \gamma z + c$  中  $x, y$  之配值, 方程式中  $z$  之值均爲  $z_1$ ,

作  $XP_1 = x_1, XP_2 = x_2, YQ_1 = y_1, YQ_2 = y_2$ .  $x_1, x_2, y_1, y_2$  之長, 均照預定之縮尺, 卽,  $XP_1$  之長  $= x_1/S_x, XP_2$  之長  $= x_2/S_x$  是也. 連  $P_1Q_1$  及  $P_2Q_2$ , 使之交於  $A$  點, 由是  $A$  點必在  $z$  軸綫上, 而  $ZA$  之長, (卽  $z_1$ ) 必爲  $z$  之縱標. 因  $x_1, y_1, z_1$  及  $x_2, y_2, z_1$  均爲方程式中  $x, y, z$  成對之值也.

由  $A$  點作  $-ZZ$  軸綫, 與  $XX, YY$  兩軸綫平行. 此綫定名爲支綫. (Support Line) 又令  $a$  爲  $X$  與  $Z$  軸綫相隔之垂直距離,  $b$  爲  $Y$  與  $Z$  軸綫之距離. 將  $x_1, y_1, z_1$  及  $x_2, y_2, z_1$  之值代入方程式  $ay = \beta x + \gamma z + c$  得

$$ay_2 = \beta x_2 + \gamma z_1 + c$$

$$ay_1 = \beta x_1 + \gamma z_1 + c$$

相減得

$$a(y_2 - y_1) = \beta(x_2 - x_1)$$

卽

$$\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = \frac{a}{\beta} \quad (1)$$

閱第一圖知三角形  $AP_1P_2$ , 與  $AQ_1Q_2$  相似.

$$P_1P_2 : Q_1Q_2 = a : b$$

但  $P_1P_2$  之長  $= x_2 - x_1/S_x, Q_1Q_2$  之長  $= y_2 - y_1/S_y$ .



故

$$\frac{x_2 - x_1}{S_x} / \frac{y_2 - y_1}{S_y} = \frac{a}{b}$$

即

$$\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = \frac{a \cdot S_x}{b \cdot S_y} \quad (2)$$

但由公式 (1) 得

$$\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = -\frac{a}{\beta}$$

故

$$\frac{a \cdot S_x}{b \cdot S_y} = -\frac{a}{\beta}$$

即

$$\frac{a}{b} = -\frac{a \cdot S_x}{\beta \cdot S_y}$$

又

$$\frac{a}{a+b} = -\frac{a \cdot S_y}{a \cdot S_y + \beta \cdot S_x}$$

但  $a+b=d$

故

$$a = \frac{a \cdot S_y \times d}{a \cdot S_y + \beta \cdot S_x} \quad (3)$$

由是可知  $z$  軸線(即支線)之位置,完全以  $x$  與  $y$  之縮尺而定之,在直角座標系,若令  $x, y$  之縮尺變換,則直線之斜率,亦必隨之而變,故在平行座標系,變更  $x, y$  之縮尺,亦足以左右支線之位置,其定理與直角座標系初無二義也。

$z$  軸線之位置定後,其縮尺亦急待規定,今令  $x$  之值

仍爲  $x_1$ , 但  $z$  之值, 則隨  $y_1$  與  $y_2$  之值而變爲  $z_1$  與  $z_2$ . 連接  $P_1Q_2$  線, 使其與  $z$  軸線相交在  $B$  點, 如是則  $z_1 (=ZB)$  之值得矣. 若將各該變數之值, 代入標準方程式, 則得下列各式.

$$ay_2 = \beta x_1 + \gamma z_2 + C$$

$$ay_1 = \beta x_1 + \gamma z_1 + C$$

兩式相減得

$$a(y_2 - y_1) = \gamma(z_2 - z_1)$$

即

$$\frac{z_2 - z_1}{y_2 - y_1} = \frac{a}{\gamma}$$

閱第一圖知三角形  $P_1AB$  與  $P_1Q_1Q_2$  相似.

$$AB:Q_1Q_2 = a:d$$

但  $AB$  之長  $= z_2 - z_1/S_z$ ,  $Q_1Q_2$  之長  $= y_2 - y_1/S_y$

故

$$\frac{z_2 - z_1}{S_z} \bigg/ \frac{y_2 - y_1}{S_y} = \frac{a}{d}$$

即

$$\frac{z_2 - z_1}{y_2 - y_1} = \frac{a \cdot S_z}{d \cdot S_y}$$

但

$$\frac{z_2 - z_1}{y_2 - y_1} = \frac{a}{\gamma}$$

故

$$\frac{a \cdot S_z}{d \cdot S_y} = \frac{a}{\gamma}$$

$$S_z = d \times a \cdot S_y / a \cdot \gamma$$

(4)

由公式(3)得

$$a = \frac{\alpha \times S_y \times d}{\alpha \cdot S_y + \beta \cdot S_z}$$

將  $a$  之值代入公式(4)得

$$S_z = \frac{d \times \alpha \cdot S_y}{\gamma} \times \frac{\alpha \cdot S_y + \beta \cdot S_z}{d \times \alpha \cdot S_y}$$

$$\text{即} \quad \gamma \cdot S_z = \alpha \cdot S_y + \beta \cdot S_z \quad (5)$$

閱公式(5)可知縮尺項之系數與各該變數之系數相同。

劃分  $Z$  軸線,當自  $A$  點始。 $A$  點之求法,祇須解方程式中  $(\alpha y_1 = \beta x_1 + \gamma z_1 + c)$   $Z$  之值便得之,或連  $P_1 Q_1$  線,使其與  $z$  軸線相交在  $A$  點,或令方程式  $\alpha y = \beta x + \gamma z + c$  中  $x$  與  $y$  之值等於零,而解  $z$  之值。

$$\begin{aligned} \alpha y &= \beta x + \gamma z + c \\ \gamma z &= -c, \quad z = -c/\gamma \end{aligned} \quad (6)$$

第一圖中之  $XZY$  線,即適合於此項標準者,故  $z$  之值可以公式(6)求之,綜上所述,可得下列結論。

(一)  $Z$  軸線之位置,由公式  $a = \alpha \cdot S_y \times d / \alpha \cdot S_y + \beta \cdot S_z$  中得之。

(二)  $Y$  軸線之縮尺,由公式  $\gamma \cdot S_z = \alpha \cdot S_y + \beta \cdot S_z$  中得之。

(三)  $Z$  軸線之劃分,以能適合  $x=0, y=0, z=-c/\gamma$  之條件而定之。

又公式(4)

$$S_z = \frac{d \times \alpha \cdot S_y}{\alpha \cdot \gamma}$$

即 
$$a \times \gamma \cdot S_z = d \times \alpha \cdot S_y$$

此項公式，與轉勢定理無異，換言之，即若以  $x$  軸線為轉勢之中心，其  $S_z$  之值乘系數  $\gamma$  再乘  $z$  與  $x$  軸線之距離  $a$  所得之積，與  $S_y$  之值乘系數  $\alpha$  再乘  $Y$  與  $x$  軸線之距離  $d$  所得之積相等。

查上列各式中

$$\frac{a}{b} = \frac{\alpha \cdot S_y}{\beta \cdot S_z} \text{ 或 } \frac{\alpha \cdot S_y}{a} = \frac{\beta \cdot S_z}{b}$$

$$S_y = \frac{S_z \cdot \alpha \cdot \gamma}{d \cdot \alpha}$$

故

$$\frac{\gamma \cdot S_z}{d} = \frac{\beta \cdot S_z}{b} \text{ 即 } b \times \gamma \cdot S_z = d \times \beta \cdot S_z$$

由是可知若以  $Y$  軸線為轉勢之中心其  $S_z$  之值乘系數  $\gamma$  再乘  $z$  與  $Y$  軸線之距離  $b$  所得之積，亦必等於  $S_z$  之值乘系數  $\beta$  再乘  $x$  與  $Y$  軸線之距離  $d$  所得之積。

明乎此可解勿來門氏 (Flamant) 之公式矣。勿來門氏之公式為  $V = 76.28 d^{\frac{5}{7}} S^{\frac{4}{7}}$  或  $Q = 59.85 d^{\frac{10}{7}} S^{\frac{4}{7}}$ ，式中  $V$  係水流每秒時之速度，(以英尺計)  $d$  係水管之直徑，(以英尺計)  $S$  係每英尺內水頭之消損， $Q$  係每秒時若干立方英尺之流量，若流量之單位以每分時若干加倫計，管徑之單位以英寸計，水頭之消損以每一千英尺計，則  $Q' = .61 (d'')^{\frac{10}{7}} h' \frac{4}{7}$ ，式中  $h' = 1000 \cdot S$  求對數得

$$\log Q' = \frac{10}{7} \log d'' + \frac{4}{7} \log h' + \log .61$$

此式與標準方程式  $ay = \beta x + \gamma z + c$  無異，其不同者，即通常縮尺改爲對數縮尺耳。對數縮尺之造法，應注意兩點：(一) 縮尺線之總長，(二) 在該線上欲表明之對數值爲若干。關於第一點，通常習慣，以十英寸長之線最爲適用，第二點則須視最大與最小兩表明數之對數各爲若干，然後可以決定。例如在十英寸長之縮線上，欲表明由一起至一百止之各數，必先查明一與一百之對數爲若干，然後照下法求之。

$$10 \text{ 英寸} = \log 100 - \log 1$$

$$1 \text{ 英寸} = \frac{\log 100 - \log 1}{10} = \frac{2 - 0}{10} = .2 \text{ 縮尺 (Scale.)}$$

即一英寸長之線，代表 .2 之對數值也。

縮尺之倒數，(= $10 / \log N_2 - \log N_1$ ) 又可在縮線上表明對數之單位差。故若以單位差乘某某兩數之對數差，其積必爲該兩數之距離。例如第二圖中一與二之距離，(即  $ab$  之距離) =  $5(\log 2 - \log 1) = 5(.301 - 0) = 1.505$  英寸。(5 即縮尺之倒數，= $\frac{1}{.2}$ ) 圖中  $c$  點係三與一之距離，= $5(\log 3 - \log 1) = 5(.4771 - 0) = 2.3855$  英寸。又二與三之距離，(即  $bc$  之距離) =  $5(\log 3 - \log 2) = 5(.4771 - .301) = 5 \times .1761 = .8805$  英寸。

縮尺線上無論有若干表明數，其造法至易且簡，祇須將一與十之間劃分清楚，其他各數之劃分，可以類推矣。因一與十之距，即等於十與百之距，又二與三之距，即等

於二十與三十之距換言之，即小數點之位置，不與縮尺線之劃分發生關係，今以一與十及十與百之對數列之於下，以證明斯言之不謬焉。

第一行	第二行	第三行	第四行	第五行	第六行
數	數之對數	對數乘縮尺之倒數所得之積	數	數之對數	對數乘縮尺之倒數所得之積
1	0	0	10	1	5
2	.3010	1.5050	20	1.301	6.505
3	.4771	2.3855	30	1.4771	7.3855
4	.6021	3.0105	40	1.6021	8.0105
5	.6990	3.4950	50	1.6990	8.4950
6	.7782	3.8910	60	1.7782	8.8910
7	.8451	4.2255	70	1.8451	9.2255
8	.9031	4.5155	80	1.9031	9.5155
9	.9542	4.7710	90	1.9542	9.7710
10	1.0000	5.0000	100	2.0000	10.0000

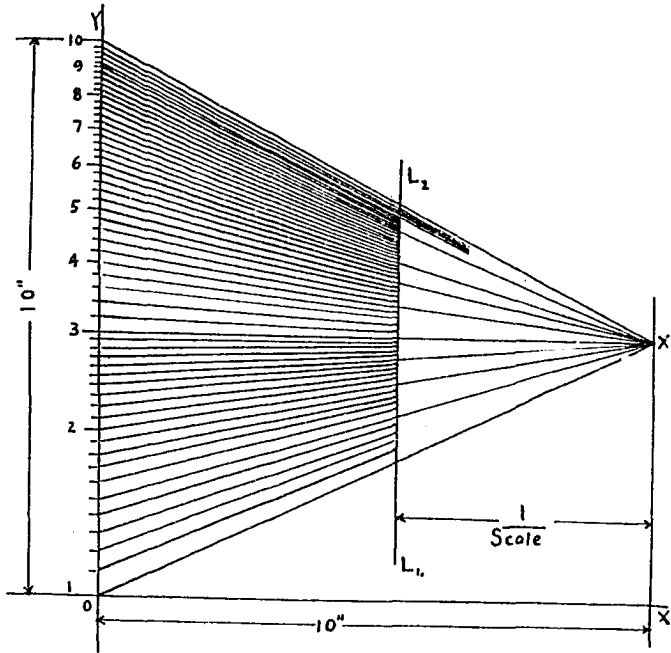
閱上表知第六行與第三行之差為一常數，五即縮尺倒數之值，故有第三行，即可免除第六行，又第二圖中  $d$  點係代表十之數， $e$  點三十之數， $de$  之距離，即等於

$$5 \times (\log 30 - \log 10) = 5 \times (1.4771 - 1) = 2.3855 \text{ 英寸}$$

故  $de$  之距離與  $ac$  之距離相等，即十與三十之距離與一與三之距離相同也。

故無論縮尺上有若干數，祇須將由一至十之一部份劃成，其他部份可以類推矣，茲為便於實用起見，姑擬一

法,以供參考。(閱圖三)



第三圖

作  $OX$ 、 $OY$  兩線,使之互相垂直,在  $OY$  線上,令一英寸長之線,等於對數值  $\cdot 1$ ,離  $OY$  綫十英寸處,作一  $X_1X_2$  與  $OY$  綫平行,在  $OY$  綫上表明數為三之點起,作一與  $OX$  相平行之橫綫,其與  $X_1X_2$  綫相交之點,名之謂  $X_1$ ,再由  $X_1$  點與  $OY$  綫上各分點,連成無數直綫,今若欲作一某某大小縮尺,

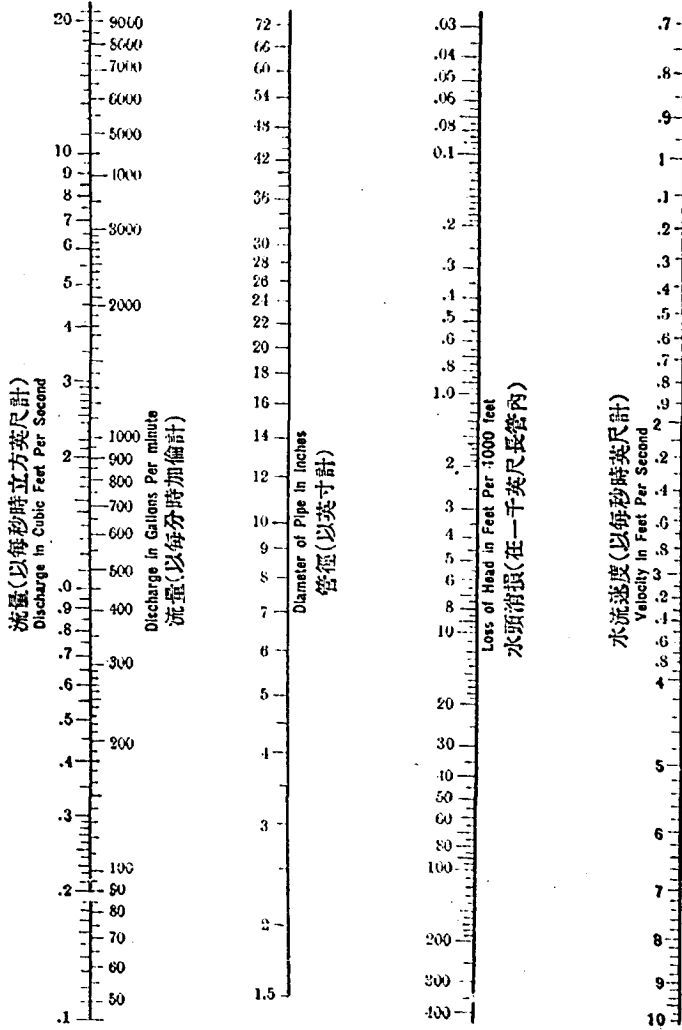
祇須將一透明紙蓋於圖上，作一與  $XX_1$  相平行之線  $L_1L_2$ 。其兩綫之距離，即等於該縮尺倒數之值，凡由  $X_1$  又分之各綫與  $L_1L_2$  線相交各點，即該縮尺之劃分點也。

縮尺之分法決定後，其劃分方向，亦待研究，此點全視公式之性質而定之，勿來門氏 (Flamant) 之公式為  $v = 0.25(d'')^{\frac{5}{4}}h_f^{\frac{4}{3}}$  或  $Q' = 0.61(d'')^{\frac{19}{4}}h_f^{\frac{4}{3}}$  式中  $v$  係每秒時若干英尺速度， $d''$  係若干英寸直徑， $h_f$  係每千英尺內水頭之消損， $Q'$  係每秒時若干加倫流量，就第一公式而論，若令  $v$  之值不變，則  $d''$  與  $h_f$  成反比例，故  $d''$  與  $h_f$  兩綫之劃分方向，係相背而行，即  $d''$  綫係自下至上， $h_f$  綫乃由上而下也。倘令  $d''$  之值不變，則  $v$  與  $h_f$  成正比例，故  $v$  綫與  $h_f$  綫之劃分，係相向而行，均由上而下也。在第二公式中，若令  $Q'$  之值不變，則  $d''$  與  $h_f$  成反比例，故  $d''$  綫與  $h_f$  綫之劃分方向相反，更令  $h_f$  之值不變，則  $d''$  與  $Q'$  成正反例，故  $Q'$  綫與  $d''$  綫均由下劃上也。(閱圖四)

各綫之劃分方向已定，若再將各綫之前後次序及其距離規劃妥貼，則本題完全解決矣，在三綫座標系中，公式(5)曾證明中綫之縮尺與其系數相乘，等於左右兩綫之縮尺乘其各該系數之積，又各綫之距離，可援用轉勢定理以求之，此兩點前已詳言之矣，故在勿來門 (Flamant) 公式中，



DIAGRAM FOR CALCULATING CAST-IRON PIPES.



第 四 圖

$$\log Q' = \frac{19}{7} \log d'' + \frac{4}{7} \log h_f + \log \cdot 61 \quad (A)$$

$$\log V = \frac{5}{7} \log d'' + \frac{4}{7} \log h_f + \log \cdot 25 \quad (B)$$

若令  $Q'$  線之縮尺爲  $Sc. Q'$ ,  $d''$  線之縮尺爲  $Sc. d''$ ,  $h_f$  線之縮尺爲  $Sc. h_f$ ,  $v$  線之縮尺爲  $Sc. v$ . 又假定公式 (A) 中  $d''$  線爲中線  $Q'$  及  $h_f$  兩線爲左右兩線, 公式 (B) 中之中線爲  $h_f$ , 左右兩線爲  $d''$  及  $v$  線, 由是

$$\frac{19}{7} \times Sc. d'' = 1 \times Sc. Q' + \frac{4}{7} \times Sc. h_f$$

$$\frac{4}{7} \times Sc. h_f = \frac{5}{7} \times Sc. d'' + 1 \times Sc. v$$

今再假定各線之矢長爲七英寸,  $Q'$  線上所表明之各數, 係由 45 起至 10000 止,  $d''$  線由 1.5 起至 90 止,  $h_f$  線由 0.2 起至 400 止,  $v$  線由 .65 起至 10 止, 各線之縮尺, 應爲

$$1 \text{ in.} = \frac{\log 10,000 - \log 45}{7} = \frac{4 - 1.6532}{7} = .335 = Sc. Q'$$

$$1 \text{ in.} = \frac{\log 90 - \log 1.5}{7} = \frac{1.95424 - .17609}{7} = \frac{1.77815}{7} = .254 = Sc. d''$$

$$1 \text{ in.} = \frac{\log 400 - \log .02}{7} = \frac{2.60206 - (8.30103 - 10)}{7} = \frac{.430153}{7} \\ = .614 = Sc. h_f$$

$$1 \text{ in.} = \frac{\log 10 - \log .65}{7} = \frac{1 - (9.81291 - 10)}{7} = 0.1696 = Sc. v$$

欲求適合以上各縮尺之值, 在  $Q'-d''-h_f$  系中, 應令  $d''$  線爲中線,  $Q'$  及  $h_f$  線爲左右線, 在  $d''-h_f-v$  系中, 應令  $h_f$  線爲中線,  $d''$  及  $v$  線爲左右線, 如圖四所示者, 於是

$$\begin{aligned} Sc. d'' &= \frac{1 \times Sc. Q' + \frac{4}{7} Sc. h_j}{\frac{19}{7}} = \frac{1 \times 335 + \frac{4}{7} \times 614}{\frac{19}{7}} = \frac{(335 + 351)7}{19} \\ &= \frac{4 \cdot 802}{19} = 253. \end{aligned}$$

$$Sc. h_j = \frac{\frac{5}{7} \times Sc. d'' + 1 \times Sc. V'}{\frac{4}{7}} = \frac{7(\frac{5}{7} \times 253 + 1 \times 1696)}{4} = \frac{1 \cdot 270 + 1 \cdot 187}{4} = 614.$$

反之,若將四線中之任何一綫之次序倒列,例如將  $d''$  綫與  $h_j$  綫易位,則

$$Sc. h_j = \frac{1 \times Sc. Q' + \frac{19}{7} Sc. d''}{\frac{4}{7}} = \frac{7(335 + \frac{19}{7} \times 254)}{4} = \frac{7 \cdot 171}{4} = 1,493.$$

其結果僅能利用  $h_j$  綫全長之百分四十一。(  $\frac{614}{1,493} = .41$  ) 換言之,即七英寸長之綫,不能表明由 .02 至 400 之數也。 $h_j$  綫之縮尺既不適合,則間接影響於  $d''$  綫之縮尺矣,故三綫中之一綫,其縮尺必為固定者,其固定法,即將各綫之次序,排列妥貼,務使適合於各綫上所有之表明數。

茲再援用轉勢定理以求各綫之距離,令  $Q'$  與  $d''$  綫之距離為  $a$ ,  $d''$  與  $h_j$  綫距離為  $b$ ,  $h_j$  與  $V'$  綫之距離為  $c$ ,  $Q'$  與  $h_j$  綫之距離為  $d$ . 以  $Q'$  綫為轉勢中心,則得

$$a \times \frac{19}{7} \times Sc. d'' = d \times \frac{4}{7} \times Sc. h_j$$

$$a = \frac{\frac{4}{7} \times Sc. h_j}{\frac{19}{7} Sc. d''} = \frac{4}{19} \cdot \frac{Sc. h_j}{Sc. d''} \times d = \frac{4 \times 614}{19 \times 254} = .503d.$$

以  $h_j$  綫為轉勢中心,則得

$$b \times \frac{19}{7} \times Sc. d'' = d \times 1 \times Sc. Q'.$$

$$b = \frac{Sc \cdot Q'}{\frac{19}{7} \times Sc \cdot d''} \times d = \frac{.335 \times d}{\frac{19}{7} \times .254} = \frac{.335d}{.6894} = .486d.$$

$$\frac{a}{b} = \frac{.509d}{.486d} = \frac{1}{.955}.$$

若令  $a=1.336''$ ，則  $b=1.275''$ ，復以  $d''$  線為轉勢中心，則可得  $c$  之值。

$$\frac{4}{7} \times Sc \cdot h_1 \times b = 1 \times Sc \cdot v \times (b+c).$$

$$b \left( \frac{4}{7} Sc \cdot h_1 - Sc \cdot v \right) = Sc \cdot v \times c.$$

$$c = \frac{b \left( \frac{4}{7} Sc \cdot h_1 - Sc \cdot v \right)}{Sc \cdot v} = \frac{1.275 \left( \frac{4}{7} \times .614 - .1696 \right)}{.1696} = \frac{1.275 (.351 - .1696)}{.1696}$$

$$\frac{2.31285}{.1696} = 1.36'.$$

此勿來門氏 (Flamant) 公式之圖解法也。

## 鋼筋混凝土材截面計劃法

方 壩

在普通計劃鋼筋混凝土樑、柱等截面時，都是先估計所計算的部份的本身重量，(Estimate the weight of the member) 然後複試先前試用的數是否合適。在初學的方面，因為經驗缺少，往往試過許多數目，經過多次的計算，方才得到適當的結果。用下述的方法，可以減少這種困難。

用下述的方法，雖然簡捷，初學的一定先要明白公式的來源，然後才去用他。因為用普通的方法，公式比較簡單，而且容易使人明了公式的來源。用下述的方法，往往使初學者，發生知其當然而不知其所以然的弊病。

以下證公式的地方，在普通計算法內，已有證明的，不再詳細的解釋。

符號：

$M_1$  在普通樑 ( Ordinary beam ) 之任何截面，受已知之重量，而發生的撓率。(Moment)

$M_2$  在與算  $M_1$  相同之截面，受一未知的重量，(樑本身的重)，而發生的撓率。

$$K = kf, kj = pf, j$$

$V_1$  在普通樑之任何截面,受已知之重量而發生之剪割力 (Shearing force)

$V_2$  在與算  $V_1$  相同之截面,受一未知之重量(即樑之本身重量)而發生之剪割力。

$\frac{1}{m}$  撓率係數 (Coefficient of the bending moment.)

受平均支配之載重, (Uniformly distributed Load) 而發生之最大撓率之單式樑 (Simply supported beam), 其係數  $\frac{1}{m} = \frac{1}{2}$ , 半通貫式樑, (Partially continuous beam), 其係數  $\frac{1}{m} = \frac{1}{10}$ , 通貫式樑, (Continuous beam), 其係數  $\frac{1}{m} = \frac{1}{12}$

$W_1$  樑之每單位長度之未知平均支配載重, (樑之本身重量)

$d''$  受拉力之鋼筋 (Tensile Steel) 離受拉力之混凝土面, (Tensile surface of concrete) 之距離, 這個數是在計計劃時假定的, 若是在計算平板時, 差半吋, 或是在計算樑時, 差一吋, 皆無大影響。

$g$  每單位容量之鋼筋混凝土重量, (用每立方呎重 150 磅)

$q$  四面支撐之平板 (Slab supported on four sides), 其載重對於每一方向分配之比數, 計算其長邊時  $q = 1\frac{1}{2} - \frac{l}{t}$  計算短邊時  $q = \frac{l}{t} - \frac{1}{2}$

$P$  柱之底截面所受之全部中心重量,

$P_k$  柱所承受之已知中心重量,(除其本身重量外)

$A_f$  柱脚之承重面積(bearing area)

$C_p$  柱之周長(Perimeter)

普通的 T 式樑(T-beam),中利軸在肢部內者,(Neutralaxis in the flange) 或長方截面樑(Rectangular beam)的任何處截面之撓率爲,

$$M = M_k + M_u = l b d^2 \dots\dots\dots(1)$$

長方截面樑之剪割力爲,

$$V = V_k + V_u = x b j d \dots\dots\dots(2)$$

T 式樑之剪割力爲,

$$V = V_k + V_u = x b' j d \dots\dots\dots(2')$$

受未知之載重而發生之未知撓率,

$$M_u = \frac{1}{m} W_u l^2 \dots\dots\dots(3)$$

受未知之載重而發生之未知剪割力,

$$V_u = \frac{1}{m} W_u l \dots\dots\dots(4)$$

未知之本身重量,

$$W_u = G(\text{橫截面之面積}) \times (\text{長度}) \dots\dots\dots(5)$$

若最大  $M_k$  與  $M_u$  皆在同一截面,或在相近的截面,並且知道係數  $\frac{1}{m}$ ,則將公式(5)替入公式(3),然後再替入公式(1),就可以得到因撓力求截面的公式,用同樣的方法,可

可以得到,因剪割力求截面的公式.

1 一面鋼筋長方截面樑(Rectangular beams singly Reinforced)

公式(3)在此處爲,

$$M_u = \frac{1}{m} \times b(l+d'')Gl^2 \dots\dots\dots(6)$$

將  $M_u$  替入公式(1);求  $d$ , 得,

$$Kbd^3 = M_k + M_u = M_k + \frac{1}{m} \times b(l+d'')Gl^2$$

$$d^3 = \frac{M_k}{Kb} + \frac{blGl^2}{mKb} + \frac{bd''Gl^2}{mKb}, \quad (l=150)$$

$$d^3 = \frac{M_k}{Kb} + \frac{150l^2}{mk} + \frac{150l''l^2}{mk}$$

$l$  單位爲呎,其餘的單位爲吋,及磅

故, 
$$d^3 = \frac{M_k}{kb} + \frac{150l^2}{12mk} + \frac{150l''l^2}{12mk}$$

$$d^3 - \frac{50l^2}{4mk} = \frac{M_k}{kb} + \frac{30l''l^2}{4mk}$$

$$\left(d^3 - \frac{25l^2}{4mk}\right)^2 = \frac{M_k}{kb} + \frac{25l^2}{4mk} \times 2d'' + \left(\frac{24l''}{4mk}\right)^2$$

$$d = \sqrt{\frac{M_k}{kb} + \frac{25l^2}{4mk} \left(2d'' + \frac{24l''}{4mk}\right) + \frac{25l''^2}{4mk}} \dots\dots\dots(7)$$

公式(4)在此處爲,

$$V_u = \frac{1}{2}b(d+d'')Gl \dots\dots\dots(8)$$

將  $V_u$  替入公式(2),求  $d$  爲,

$$cbjd = V_k + V_u = V_k + \frac{1}{2}b(d+d'')Gl$$

$l$  單位爲呎,其餘的單位爲吋,及磅,

故 
$$cbjd = V_k + \frac{25}{48}(d+d'')Gl$$



$$bd(jv - \frac{25}{48}b) = V_k + \frac{25}{48}bd''l$$

$$\therefore d = \frac{V_k}{b[jv - (\frac{25}{48})l]} + \frac{(\frac{25}{48})ld''}{jv - \frac{25}{48}l} \dots \dots \dots (9)$$

[例題] 一單式長方截面樑 (Simply Supported) 長 20 呎, 載重 6000 磅 (在梁的中間), 其鋼筋許可應力, 每方吋為 16000 磅 ( $f_s = 16000 \frac{\text{磅}}{\text{方吋}}$ ), 混凝土許可應力, 每方吋為 650 磅 ( $f_c = 650 \frac{\text{磅}}{\text{方吋}}$ ),  $n = 15$ , 因撓率求截面。

$$M_k = \frac{1}{4} \times 6000 \times 20 \times 12 = 360,000 \text{ 磅} \cdot \text{吋}$$

$K = 107.2$  (由其他關於混凝土書內可查出)

單式樑之撓率係數  $m = 8$ , 試用  $d'' = 2$  吋

由公式 (7) 可得,

$$d = \sqrt{\frac{360300}{107.59} + \frac{25 \times 20^2}{4 \times 8 \times 107.5} (2 \times 2 + 2.91)} + 2.91$$

$$= \sqrt{\frac{3350}{b} + 20.1 + 2.91}$$

$$\text{若 } b = 12 \text{ 吋; } d = \sqrt{279 + 20} + 2.9 = 20.2 \text{ 吋}$$

$$\text{若 } b = 14 \text{ 吋; } d = \sqrt{239 + 20} + 2.9 = 19.0 \text{ 吋}$$

## II. 兩端支撐之平板 (Slabs supported on two sides only)

此種平板之計算法, 與單式樑之計算法相仿, 把平板成許多一呎寬的長條, ( $b = 12$  吋), 公式 (7) 或 (9) 可以直接應用。

## III. 四邊支撐之平板 (Slabs Supported on four sides)

將公式 (6) 及 (8) 用  $q$  乘, 然後替入公式 (1) 及 (2), 求  $d$ . 就可

以得到下面的兩個公式,  $b=12$  吋

$$d = \sqrt{\frac{M_k}{12k} + \frac{25l^2q}{4mk} (2d' + \frac{24l^2q}{4mk})} + \frac{25l^2q}{4mk} \dots\dots\dots(10)$$

$$d = \frac{V_k}{12[jv - (\frac{25}{48})lb]} + \frac{(\frac{25}{48})lqd''}{jv - (\frac{25}{48})lq} \dots\dots\dots(11)$$

[例題] 一四邊支撐通貫式平板 (Fully Continuous slab supported on four sides), 10 呎寬, 12 呎長, 除其本身之重量外, 載重每平方呎 200 磅, 鋼筋許可應力  $f_s = 16000 \frac{\text{磅}}{\text{方吋}}$ , 混凝土許可應力  $f_c = 750 \frac{\text{磅}}{\text{方吋}}$ ,  $n = 15$ . 計算平板的厚。

(A) 按平板的短邊計算:

$$q = \frac{l_1}{l} - \frac{1}{2} = \frac{12}{10} - \frac{1}{2} = 0.700$$

$$M_k = \frac{1}{12} \times 0.700 \times 2.0 \times 10^2 \times 12 = 14,00 \text{ 磅-吋}$$

$$K = 133.8 \frac{\text{磅}}{\text{方吋}} \text{ (從其他教本裏可以查得)}$$

$m = 12$ , 試用  $d' = 1$  吋, 用公式(10)得,

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{14000}{12 \times 133.8} + \frac{25 \times 10^2 \times 0.700}{4 \times 12 \times 133.8} (2 + 0.272)} + 0.272 \\ &= \sqrt{8.72 + 0.619} + 0.272 \\ &= \sqrt{9.34} + 0.272 = 3.06 + 0.272 = 3.33 \text{ 吋} \end{aligned}$$

(B) 按平板的長邊計算:

$$q = 1 - \frac{l_1}{l} = 1 - \frac{12}{10} = 0.300$$

$$M_k = \frac{1}{12} \times 0.300 \times 200 \times 12^2 \times 12 = 8610 \text{ 磅-吋}$$

$K$  及  $m$  與上同, 試用  $d' = 1\frac{1}{2}$  吋, 用公式(10)得,

$$d = \sqrt{\frac{8640}{12 \times 133 \cdot 8} + \frac{3}{7} \times 0,272(2 \times 1\frac{1}{2} + 0,117) + 0,117}$$

$$= 2 \cdot 4 + 0 \cdot 12 = 2 \cdot 52 \text{ 吋}$$

## IV. T 式樑 (T-beam)

公式 (3) 在此處改變為,

$$M_u = \frac{1}{m} \times (d + d'' - t) b' G \times l^2$$

假使中和軸在肢部內, 可將  $M_u$  替入公式 (1), 求  $d$ ,

$$k b l^2 = M_k + M_u = M_k + \frac{1}{m} \times (d + d'' - t) b' G l^2$$

$$= M_k + \frac{1}{m} d G l^2 b' + \frac{1}{m} G l^2 b' (d'' - t)$$

$l$  單位為呎, 其餘的單位為磅及吋,  $G = 150 \frac{\text{磅}}{\text{立方呎}}$

$$k b l^2 = M_k + \frac{50 l^2 b'}{4m} d + \frac{50 l^2 b'}{4m} (d'' - t)$$

$$d^2 - \frac{50 l^2 b'}{4m k b} d = \frac{M_k}{k b} + \frac{50 l^2 b'}{4m k b} (d'' - t)$$

$$\left( d - \frac{25 l^2 b'}{4m k b} \right)^2 = \frac{M_k}{k b} + \frac{50 l^2 b'}{4m k b} (d'' - t) + \left( \frac{25 l^2 b'}{4m k b} \right)^2$$

$$= \frac{M_k}{k b} + \frac{25 l^2 b'}{4m k b} \left[ (2d'' - 2t) + \frac{25 l^2 b'}{4m k b} \right]$$

$$d = \sqrt{\frac{M_k}{k b} + \frac{25 l^2 b'}{4m k b} \left[ (2d'' - 2t) + \frac{25 l^2 b'}{4m k b} \right]} + \frac{25 l^2 b'}{4m k b} \dots \dots \dots (12)$$

公式 (4) 在此處改變為,

$$V_u = \frac{1}{2} (d + d'' - t) b' G \times l$$

將  $V_u$  替入公式 (2a), 求  $d$ , 得,

$$V = V_k + V_u = b' j d$$

$$b' j d = V_k + \frac{1}{2} (d + d'' - t) b' G l$$

$$= V_k + \frac{1}{2}W'Gd + \frac{1}{2}W''G(d''-t)$$

$l$  單位為呎,其餘單位為吋及磅

$$b'd(jv - \frac{25}{48}l) = V_k + \frac{25}{48}W'l(d''-t)$$

$$d = \frac{V_k}{b' [ jv - (\frac{25}{48}) l ]} - \frac{(\frac{25}{48}) l(t-d'')}{jv - (\frac{25}{48}) l} \dots\dots\dots (13)$$

[例題] 一通貫 T 式樑,長 25 呎,與其他平行樑的距離為 8 呎,平板厚 4 吋,活載重每平方吋 135 磅,許可剪割應力每方吋 120 磅,因剪割力求截面。

$$V_k = \frac{1}{2} (135 \times 8 + \frac{1}{12} \times 8 \times 150) \times 25 = 18500$$

試用  $j = \frac{7}{8}$ ,  $d'' = 3$  吋用公式 (13) 求  $d$ , 得。

$$d = \frac{18500}{b' (\frac{7}{8} \times 120 - \frac{25}{48} \times 25)} - \frac{13.0 \times (4-3)}{105-13}$$

$$= \frac{201}{b'} - 0.141$$

若  $b' = 10$  吋:  $d = 20.1 - 0.1 = 20.0$  吋

$b' = 9$  吋:  $d = 22.3 - 0.1 = 22.2$  吋

以上求得的計算樑截面的六個公式, (因撓率求截面的為(7),(10) 及 (12) 三個公式,因剪割力求截面的為(8), (11), 及 (13) 三個公式), 可以歸併成兩個總公式, 公式(7),(10) 及 (12) 歸併成,

$$d = \sqrt{\frac{M_v}{4b} + \frac{25l^2qb''}{4mkb} \left[ 2(d''-t) + \frac{25l^2qb''}{4mkb} \right]} + \frac{25l^2qb''}{4mkb} \dots\dots\dots (14)$$

公式(8),(11), 及 (13) 歸併成

$$d = \frac{V_k}{v \left[ i v - \left( \frac{25}{48} \right) l q \right]} - \frac{\left( \frac{25}{48} \right) l q (t - d'')}{j v - \left( \frac{25}{48} \right) l q} \dots \dots \dots (15)$$

以上的兩個公式,不能直接用去求任何一種樑或平板的截面,必須要按照以下的幾個條件,把公式(14)及(15)還原成公式(7),(10)(12),及(8),(11),(13),再去應用。

(A)一面鋼筋的長方截樑:

$$q=1; v=b; t=0.$$

(B)兩端支撐平板:

$$v=b=12'' \text{ 時}; q=1, t=0.$$

(C)四邊支撐平板:

$$v=b=12'' \text{ 時}; t=0.$$

(D)T式樑:  $q=1.$

#### V. 鋼筋混凝土柱(無偏心載重)

設  $A$  為柱之橫截面,  $h$  為高度,  $p$  為鋼筋與混凝土截面之比數,則

$$P = P_c + AhG = f_c A [1 + (n-1)p]$$

$$\text{故: } A = \frac{P_c}{f_c [1 + (n-1)p] - \left( \frac{25}{24} \right) h} \dots \dots \dots (16)$$

$h$  的單位為呎,其餘的單位為磅及吋。

在計算的時候,先將規定的  $P$  替入公式(16),求得  $A$ ,然後再替入以下的公式求需要的鋼筋截面  $A_s$

$$P = f_s [A + (n-1)A_s]$$

$$A_s = \frac{P}{f_r} - A \dots\dots\dots (17)$$

[例題] 方橫截面柱, 18 呎高, 用軸鋼筋及橫連筋 (Longitudinal steel and lateralties), 緣柱中心之載重, 除其本身之重量外, 為 26500 磅, 最大許可鋼筋比數  $P=0.02$  許可混凝土應力方吋 400 磅,  $n=15$ , 計劃柱之截面。

用公式 (16) 求  $A$ , 得

$$\begin{aligned} A &= \frac{26500}{400(1+14 \times 0.02) - \frac{26}{24} \times 18} \\ &= \frac{265000}{512-19} = 537 \text{ 方吋} \end{aligned}$$

若用每邊 24 吋方截面,  $A=576$  方吋, 替入公式 (17),

$$\begin{aligned} A_s &= \left( \frac{26500}{400} + \frac{2 \times 2 \times 18 \times 150}{490} - 576 \right) \div (15-1) \\ &= \frac{689.5-576}{14} = \frac{113.5}{14} = 8.11 \text{ 方吋} \end{aligned}$$

17. 塊形柱脚 (block Footing)

在計劃塊形柱腳的時候, 都是因穿割力 (Punching Shear) 及承重面積 (bearing area) 計算, 柱腳本身的重量無需事前假定, 可用  $A_f (d+d'') G$  去代, 按以下的公式可以求承重面積及厚。

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{P + A_f (d+d'') G}{W} \\ d &= \frac{(1 - \frac{A'}{A_f}) P}{C_p V} \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

$A_f$  柱脚承重面積,單位爲方呎

$A'$  柱之橫截面,單位方呎

$W$  許可土質受壓力,單位爲  $\frac{\text{磅}}{\text{方呎}}$

$C_p$  柱之周長,單位爲吋

$V$  許可混凝土剪割力,單位爲  $\frac{\text{磅}}{\text{方吋}}$

將以上兩公式歸併,消去  $d$ , 得,

$$A_f = \frac{P \left[ \left( \frac{2}{25} \right) G V - A' \right]}{C_p V \left[ \left( \frac{2}{25} \right) W - d' \right]} - P \dots\dots\dots (19)$$

計劃時可用公式 (19) 求承重面積,然後再用公式 (18) 求厚。

[例例] 一每邊兩呎之方截面柱,用塊形柱脚,中心載重爲 370000 磅,許可土質受壓力每方呎爲 5000 磅,混凝土許可剪割力每方吋爲 120 磅,鋼筋外用三吋厚混凝土, ( $d' = 3$ 吋),計算柱脚的厚,及承重面積。

公用式 (19) 求  $A_f$  得,

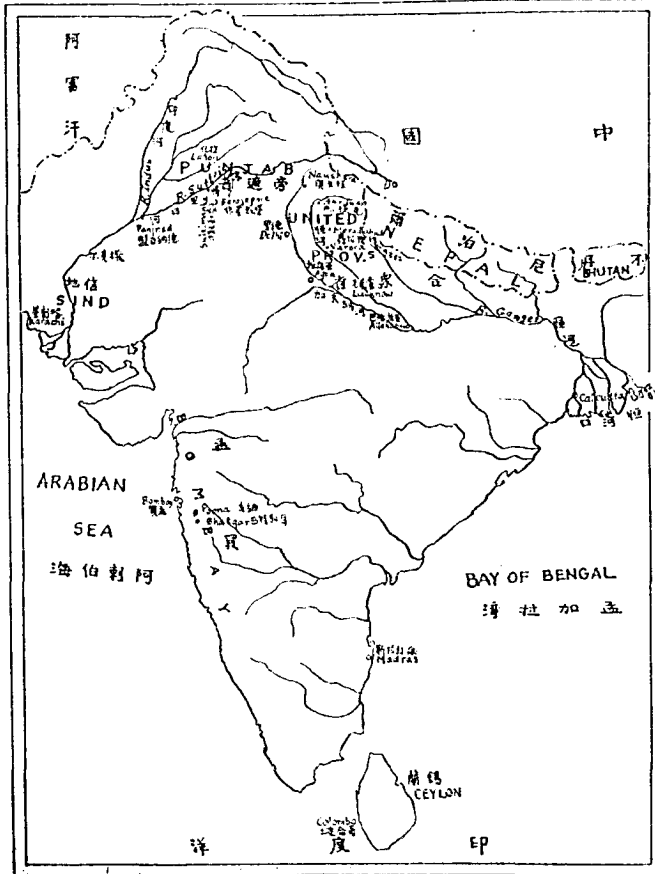
$$\begin{aligned} A_f &= \frac{370000 \left( \frac{2}{25} \times 4 \times 2 \times 12 \times 120 - 4 \right)}{11520 \left( \frac{2}{25} \times 5000 - 3 \right) - 370000} \\ &= \frac{37000 \times 918}{422000} = 80.5 \text{ 方呎} \end{aligned}$$

用  $A_f = 9 \times 9 = 81$  方呎,替入公式 (18),求  $d$ , 得,

$$\begin{aligned} d &= \frac{\left( 1 - \frac{4}{81} \right) \times 370000}{11520} \\ &= \frac{0.951 \times 370000}{11520} = 30.5 \text{ 吋} \end{aligned}$$

——完——

圖 界 度 印





# 印度灌溉工程視察記

邢維堂

## (一) 緒言

印度各地，雨量不同，雨期分配亦不勻，如信地 (sind) 省及旁遮普 (Punjab) 省境內某部，每年平均雨量，僅二吋至四吋，而南印度之麻打拉斯 (madras) 省，每年雨量雖介乎四十至六十吋之間，但落雨期間至短。

大部之印度雨量，降於西南季候風期間，(South-west monsoon) 每年由六月起至十月止，全印度平均雨量，約為四十二吋，各年所差無幾，但如一地之雨量，不足十二吋，則耕種必賴灌溉，方可收穫，印度境內，二十餘萬方哩土地，雨量在十二吋以下，此外於旱年間，需要灌溉之田地，不知幾億萬方哩矣。

印度灌溉，發軔至早，其初採用方法，甚為簡陋，自英領屬印度後，慘淡經營，不遺餘力，進步良速，近二三十年來，印人充工程師者，日見增多，以切身利害關係，力圖改善灌溉方法，加修閘壩，增加水量，並籌劃大規模之灌溉區域，如蘇特里日河 (R. Sutlej) 流域計劃是也。

作者去冬由歐歸國，途經印度停留兩月，專事視察

灌溉工程,茲就所見詳述之。

## (二) 路易壩

巴特加耳(Bhatgar),位於孟買省(Bombay Presidency)之浦納(Poona)城南,距城三十二哩,該地環山,壩建於山谷中,用以蓄水,造成人工湖,供給泥窪(Nira)右岸運河,及泥窪左岸運河,因此二運河,所灌溉之田地日增,舊壩過低,蓄水不敷應用,乃於原基,重建新壩,名曰路易壩, (Lloyd Dam) 較原壩高六十呎,可容水二四,一九八億立方呎。

壩長五三三三呎,由三〇六〇至三二五〇呎之一段,爲弧形,半徑三〇〇呎,壩高一九〇呎,水深高出下列水門一四三呎,壩底寬一二四呎,建築費共計一七.二億元印洋。(按每印洋一元,合英金一先令六便士,約合國幣一元)。

儲水湖,長十七哩,周線(Perimeter)長四十六哩,湖面一百肆拾七方哩,每年平均雨量,擋水區(Catchment area)內,各地不同,最大爲二百五十吋,最小爲四十吋。

由該湖供給之泥窪左岸運河,長一百哩,泥窪右岸運河,長一百〇六哩半,二運河,共可灌田三八四,一〇四英畝。

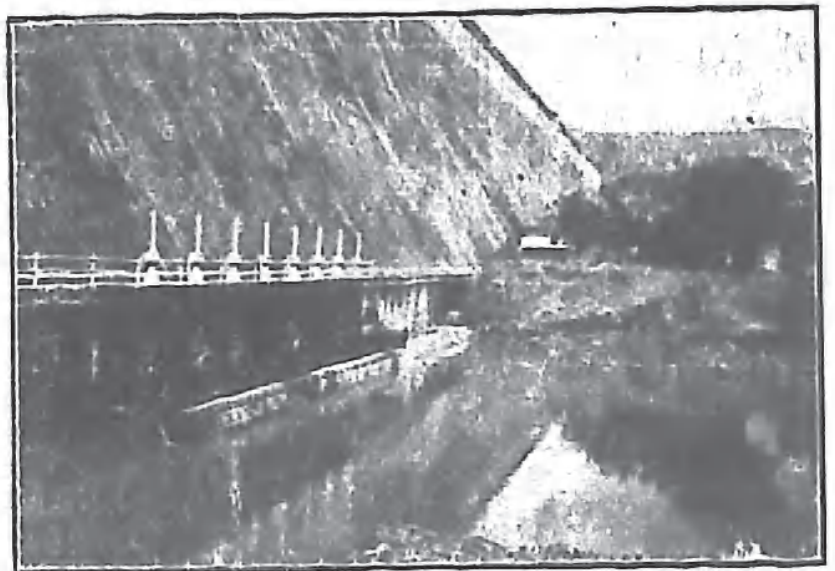
壩身共舍三列水門,爲放水之用,上列水門,分六孔,每孔八呎高,四呎寬,門限(Sill)較湖滿時水面低四十八

呎。中列水門，其大小及數目與上列水門同，但低三十五呎。下列水門，分八孔。每孔之鐵管，長百呎，分爲二十節，直徑爲四呎。此管之中心，距水面一百四十三呎，管旁並設有水輪鐵管三處，其直徑爲八呎九吋，六六二呎，及五呎六吋。

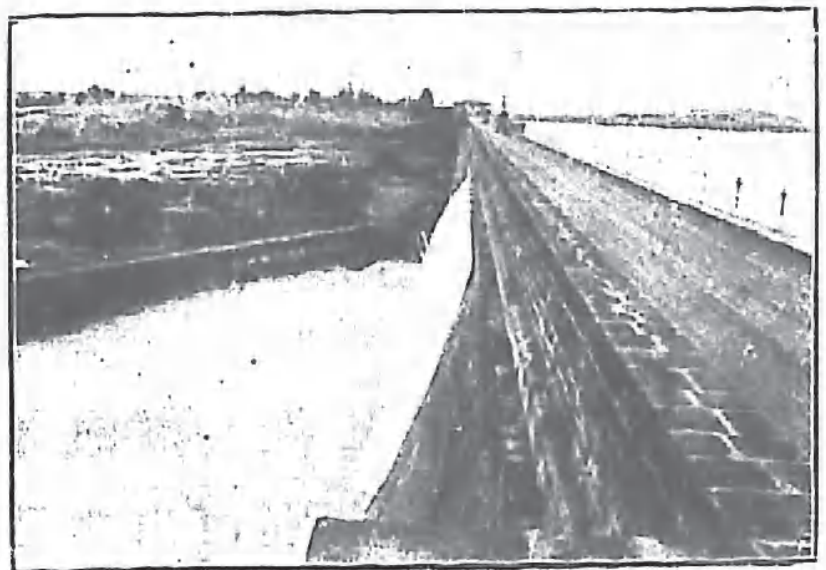
壩之一端，設有溢水堰，共計八十一孔，每孔水門高十呎，寬八呎。每孔出

水量，爲七百秒立方呎。共計爲五六七〇〇秒立方呎。水門爲自動式，各門以鍊連結，懸於滑車上。鍊之他端，墜以平衡錘。此錘升降於特設箱內。當湖水漲過於預定之高度時，則水流入平衡錘箱。待箱內水滿，平衡錘之重量減少，平衡因是而失，錘乃上浮。水門隨之下降，溢水得通行無阻。

路 易 壩

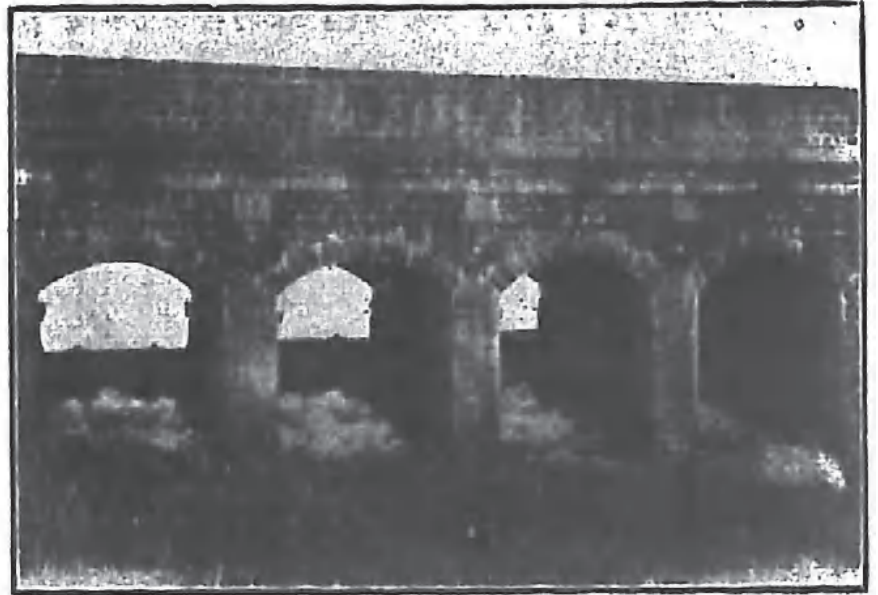


下 列 水 門



壩 之 下 水 面

箱內並備有小出水管,當水位降低,進水停止,而存水由出水管洩盡,平衡錘下降,水門復上升,緊閉堰孔。箱內無水時,平衡錘較水門重一千磅,水滿時,則水門較平衡錘重一千磅。



滾水堰下水面

壩以石砌成,灌以灰泥。壩身用碎石,壩面用方石。

### (三)浦納(Poona)區之研究工作

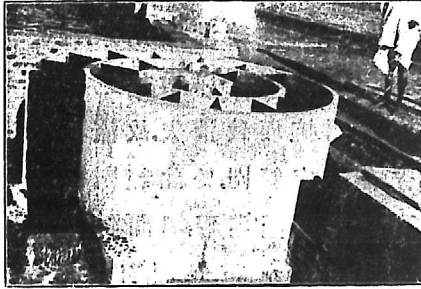
(1)改良土壤 土壤考驗之結果,確定地下之水面,如距地面不足四呎,則有害於田地。其害為下列二種,一(a)浸透 (Waterlogging)(b)鹹地。為避免浸透于最易透水之地層,掘溝渠以便宣洩地面下層之水。溝底寬二呎,岸坡 1:2,坡級 (Berm) 寬二呎,坡級上之岸坡  $1\frac{1}{2}:1$ 。兩年後,浸透之害可除。致於鹹地之改良,則需三四年,常以石膏粉調治之。

(2)灌溉事業 關於灌溉各種問題,多解諸於試驗,如適宜之閘墩,形狀,運河內之防避淤沙,及增大槽渠之流量係數等。

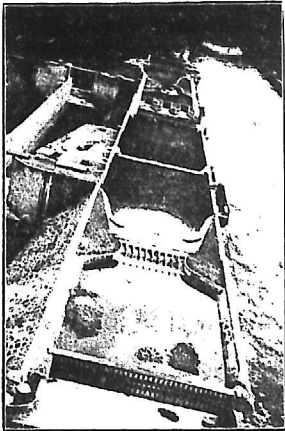
(a)給博(Gibb)氏之定量水流儀(Module) 此儀爲給博工程師所發明,用以供給灌溉用水,雖上游水頭變更,而下游之流量相等,其理概以增加之水頭能力,因受水流儀內部擋板之阻抗而致消失,故流量無變,但每水流儀之水位差,皆有一定範圍,於此範圍內,方可保一定流量,簡單式水流儀,成半圓環形,環間每約三十度,設一擋板,水由一端流入,行經擋板底面,而由他端流出,複雜式成螺旋形,環形之半徑比例,經試驗獲得結果,約爲 2 : 1 , 可得最大之水頭範圍。

(b)下傾(Fall) 下傾建築,試驗結果有二:一爲置擋板(Baffle)於下傾趾端,以消失水之能力,而免沖刷,一爲設轉向堤(Deflector)於護床(apron)末端,藉防潛掘。

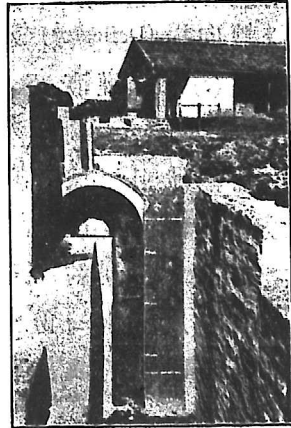
(c)下水灌溉(Sewage Irrigation) 在浦納城外,哈德沙鄉,(Hadapsar) 刻正舉行下水灌溉,試驗,成績頗佳,下水由浦納城,引至城邊,用抽水機提高水位,以便以重力法,灌溉農田,印度農產,甘蔗爲大宗,每英畝甘蔗,需三百磅窒素,其成熟期,約一年,祇於前九月,需要灌溉,哈德沙試驗場,所用下水一份,混合清水二份,每十日灌溉一次,每年每畝收稅約爲一百元印洋,農家總共每畝收入,至五百元印洋之多。



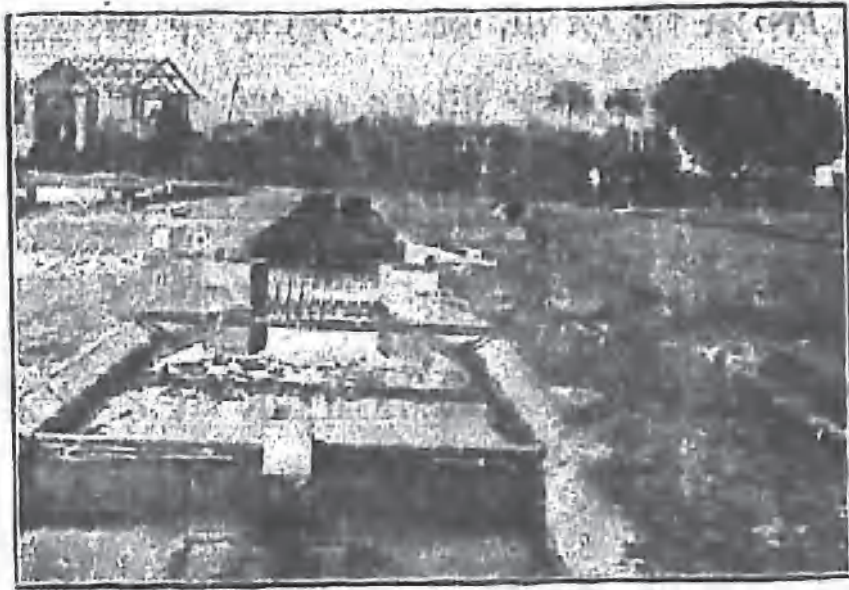
給博(Gibb)氏之定量水流儀(module)



撒克耳水閘試驗模型



虹吸管試驗模型



談多馬斯梯乾 (Tando mastikhan) 下傾 (Fall) 試驗模型

#### (四) 路易水閘

(1) 信地 (Sind) 省，信地省面積，除卡爾普耳 (Khairpur) 邦，(六〇五〇方哩) 爲四一七九五方哩。亦卽二六·七五億英畝。人民有三百三十萬，內中三分之二，居於路易 (Lloyd) 水閘區。全省可耕地爲一三·七七億英畝，已墾種之土地，祇三·七五億英畝。水閘所儲之水，每年可灌溉七·四億英畝。該省每年雨量，不到六英吋，裨益農業至寡。

印度河 (R. Indus)，流經信地省，入阿拉伯海。該河于洪水期，寬約一英里，流量爲九四九秒千立方呎，平均流量，爲一一〇秒千立方呎；最低流量，爲一七五六七秒立方呎。

(2) 水閘 閘基爲沙底，首鋪石工，然後建閘於其上。

閘之前後河床，俱砌以混凝土塊，或碎石，以防水之冲刷，並於護床底，打板樁式之間壁，兩端各一列，中間二列，所以防水之浸潤也。閘基及下水護床，共寬一九〇呎，加以上下水之砌石河床，總寬四三〇呎，水經閘底之比降，為17:1，亦即水之浸潤長度為靜止水頭之十七倍。

閘基厚十一尺，其寬於普通閘墩下，為八十呎；於墩脚(Abutment Pier)下，為一百一十呎，每九孔閘門之兩端為墩脚，中間則為普通閘墩。

閘墩及墩脚，皆以石工砌成，淨跨度為六十呎，各孔裝有鋼門，最高給水水位，高出標準零點一九四·五呎，閘閘(Sill)高出標準零點一七七呎。

全閘共分六十六孔，左端七孔，及右端五孔為放淤水道，閘閘較中間之閘低一呎，並於中間閘相接處，築導水牆。

水閘全長四九二六呎，普通閘墩五十八個，每個寬十呎，墩脚七個，每個寬二十五呎，共孔六十六，每孔淨寬六十呎，故總計水道寬，為三九六〇呎。

(3) 閘門橋 每孔設混凝土拱二，以支持閘門橋，上水拱，寬五呎，下水拱寬八呎，閘門之升降，用電氣發動機，及聯動機(gearing)，橋面高出標準〇點二三九·五呎，四呎六吋寬之鐵路，建于上水拱頂，上水護牆(Parapet)內人行



道,建於下水拱頂,下水護牆內人行道,及鐵道間,爲開關閘門機器之設備。

(4)公路橋 橋寬二十五呎,足供十六呎寬之車路及兩邊三呎半寬之行人道,橋面高出零點二百一十五呎。

(5)閘門 門爲斯東尼式(Stoney Type),門上鋼板,於下水面,附以溝形鐵柱,連於格構樑,(Lattice Girder)閘門槽內,裝有盾板,以防積沙於槽中,而有碍轆機轉動,閘門底鑲抽木門闔,爲砌於閘床中之鋼軌。

閘門上端繫繩,繩盤轉於轆轤,他端墜以平衡錘,平衡錘乃一長六十呎之鐵箱,內盛石子,約重七十噸,並可增減,以求與閘門之重量相等。

(6)工程材料 上部構造完全爲石工建築,內部用石較劣,外面則爲堅硬之石灰石砌成,全閘工程,由一九二七年築起,一九三一始竣工。

(7)頭門(Head regulator) 路易水閘,供給七運河用水,右岸三,左岸四,每運河之頭門孔數不一,但其跨度,均爲二十五呎,閘墩寬五呎,除混凝土拱外,餘盡爲石工作成,左岸洞門共三十二,右岸洞門共二十三,每孔裝閘門三列,各列升降於槽中,下列門高五呎六吋,中列及上列高度不等,由五呎六吋,至八呎九吋,每門皆墜以平衡錘。

(8)運河 七運河及支流,總長六一六六哩,灌溉區域,爲五·三億英畝,坍土 (Dapu) 及西北 (Northwestern) 二運河,爲終年給水運河,稻米 (Rice) 運河,祇供給夏秋收穫田地,茲將各運河名目,頭門,孔數,及門閘高度,表列於下:—

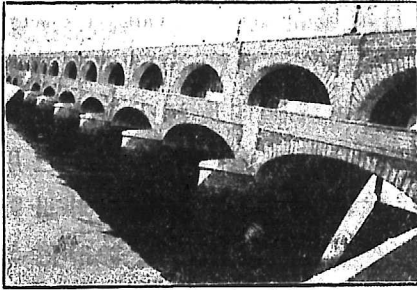
	運 河	頭門孔數	門閘高出標準零點(呎)*
右岸	西北 (Northwestern) 運河	6	183.75
	稻米運河 (Rice Canal)	13	183.13
	坍土 (Dadu) 運河	4	184.32
左岸	東那拉 (Eastern Nara) 運河	16	181.54
	露稅 (Rohri) 運河	12	188.30
	西克爾普支流 (Khaik Pur Feeder West)	2	185.48
	東克爾普克流 (Khaik Pur Feeder East)	2	187.18

\* 水閘門閘高出標準零點 177.00 呎

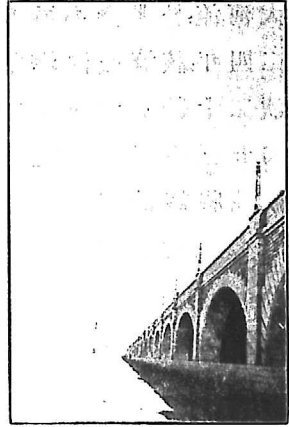
此七運河可灌田 5.3 億英畝。

(9)放水渠 主要放水渠,位於稻米田區及終年灌溉田區之間,水由放水渠導入於曼洽 (manchar) 湖,由該湖再流入印度河 (R. Indus)。

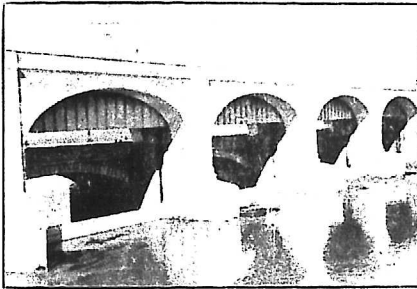
(10) 建築費 全閘及頭門總共建築費爲 4.3 億英鎊。



(一)下水面

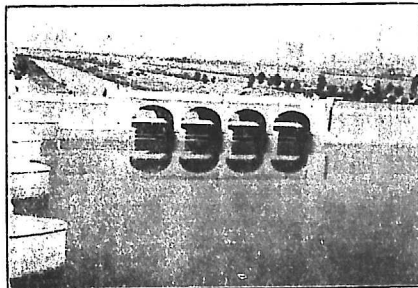


(三)公路橋



(二)上水面

路 易 水 閘



(四)運河頭門之一

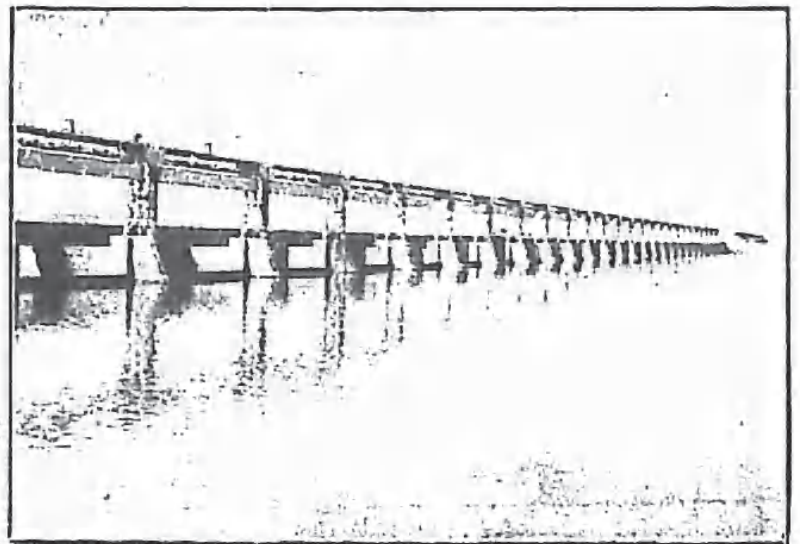
## (五)蘇特里日流域計劃(Sutlej Valley Project)

蘇特里日河(R. Sutlej),爲旁遮普(Punjab)省,南部最大河流,於米桑高特(Mithan kot)城,匯印度河入海。自一九二四年,該流域灌溉計劃,即行實施。迄一九三三年,已用款二千〇五十萬元印洋。幹部運河,及其支流,共計里數,爲五三四哩。小支流爲二八六一哩。共可灌田 20.3 億英畝。茲將該計劃之主要工程,分述於下:一

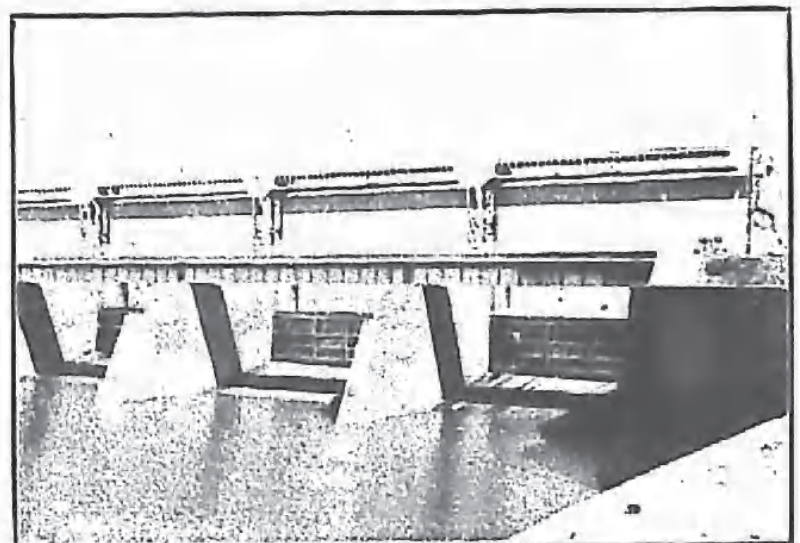
## (1)盤日納德

(Panjnad)水閘 全閘  
共分四十七孔,每孔  
跨度六十呎,內中三  
十三孔,係于一九二  
七年十二月至一九  
二九年九月建築。一  
九三〇至一九三一  
年復由右端添築十  
四孔。新舊閘間,隔以  
土壩,名曰連接壩。由  
左端數之第四五兩  
門中間,建分水牆,以  
便引清水入盤日納

(圖長觀察口繪)



(一)上水面



(二)下水面

德 (Panjnad), 及阿伯斯亞 (Abbasia) 二運河。最高流量, 在盤日納德運河, 爲七七八〇秒立方呎; 在阿伯斯亞, 爲九百秒立方呎。閘之上下水面, 俱建引水堤岸。上水堤岸, 長三六一二呎; 下水堤岸, 長六百呎。岸坡及護床, (Apron) 均以石砌。

舊閘剖面, 兩端爲透水護床, (Pervious floor) 下水者, 長一百一十呎, 上水者, 長六十呎半, 中間爲不透水之閘基床, 長九十三呎, 兩床相接處, 有間壁二道, 上水者深五呎; 下水者深六呎, 基頂 (Crest) 以下, 復打鋼板樁, 深三十呎, 皆用以防水之浸透也。

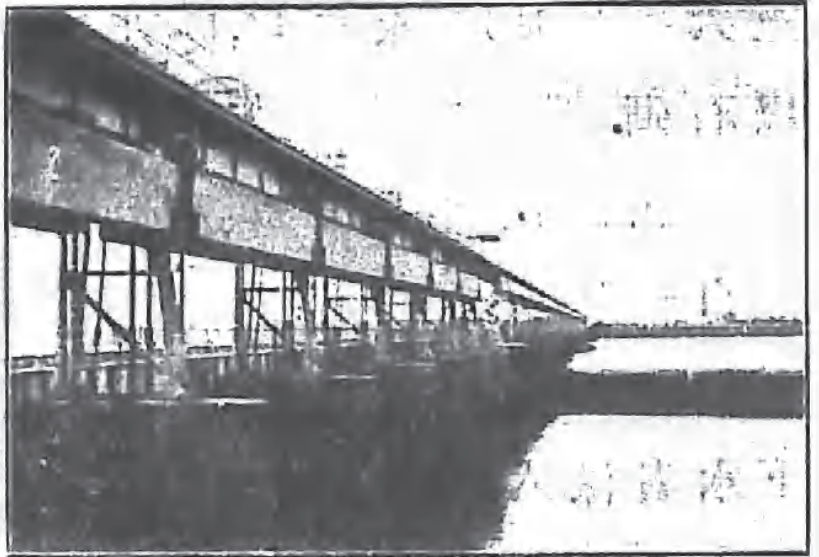
新閘剖面, 分爲四段, 由上水順序簡述之: 第一段, 爲六十呎長之透水護床, 第二段, 爲不透水護床, 長一百六十三呎, 在不透水護床上水端內二呎, 打有一列二十呎深之鋼板樁, 下水端內二呎半, 有同樣之板樁, 第三段, 長二十呎半, 係鋪混凝土塊於石子上, 石子厚二呎, 第四段長一百呎, 爲石工砌成, 底填碎石。

全工用料, 以十萬立方呎爲單位, 計鋪石六四, 四一, 堵心石六, 三一, 石子二九, 七二, 磚一七五, 三七, 此外用灰泥二七, 一一一噸

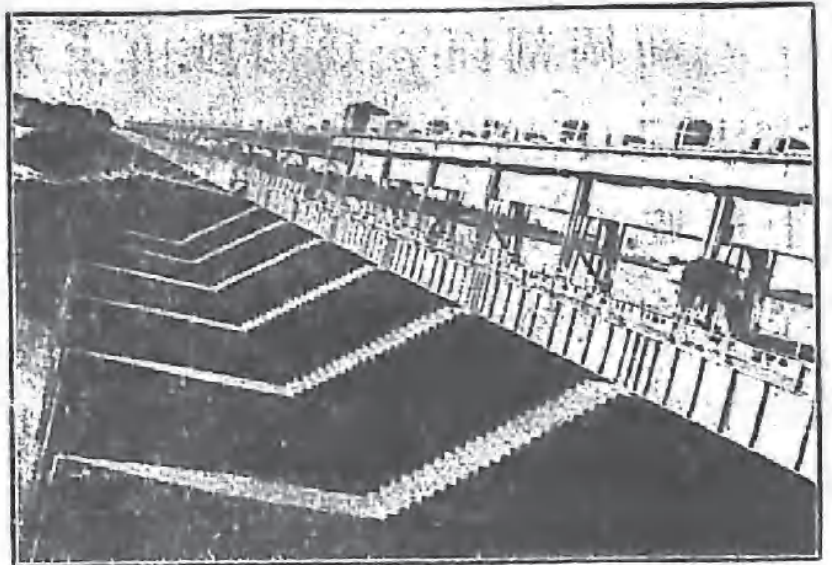
閘內總共水道, 寬二四二〇呎, 洪水期可洩水七十萬秒立方呎, 全閘建築費, 共印洋一千四百萬元。

(2)撒勒曼克(Suleimanke)及非柔茲堡(Ferozepore)之水源工程(Headworks) 此二處之水源工程,與上述之盤日納德者相同,設計相彷彿,惟水閘長短不同耳。

(a)撒勒曼克之水源工程:水閘兩端之八孔洞門,爲潛洩水門,洞寬三十呎,中間之水門,共二十四個,每洞淨寬六十呎。潛洩水門分上下兩扇。上扇深12呎,下扇深8呎,中間水門,爲獨扇門,門深12呎。潛洩水門門閥,較中間水門者,低8呎。右岸建頭門一座,爲供給派克派頓(Pakpattan)



(一)上水面



(二)下水面

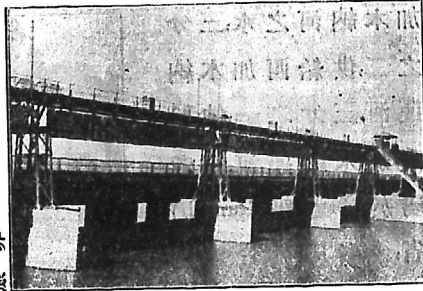
(撒勒曼克水閘)

運河,左岸建頭門二座,用以供給弗德瓦(Fordwah)及撒地奇(Sadigia)二運河。

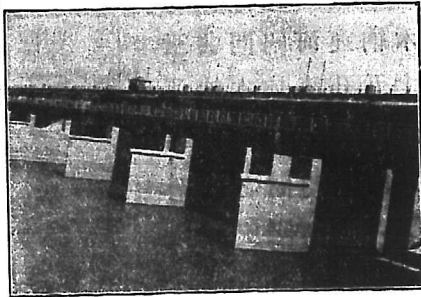
(b)非柔茲堡之水源工程:水閘共分二十九孔,每孔寬60呎,閘門深16呎,每秒鐘流量爲450,000立方呎。經行該

閘洪水流量,估計爲 200,000 秒立方呎,導水牆建於左數第五閘墩,及右數第四閘墩,地伯路堡 (Dipalpur) 運河頭門,位于右岸;東運河 (Eastern canal) 及比克尼 (Bikaner) 運河,位于左岸,各河流量,依次而論,爲 7071; 2946; 2144 秒立方呎,爲免除滲透地伯路堡運河之底,及兩岸,俱爲混凝土砌成厚 6 吋共長 76 哩,河道底寬 52 呎,岸坡 1: 1, 最高水深,可達 9 呎

非  
堡  
水  
閘



(一)上水面



(二)下水面

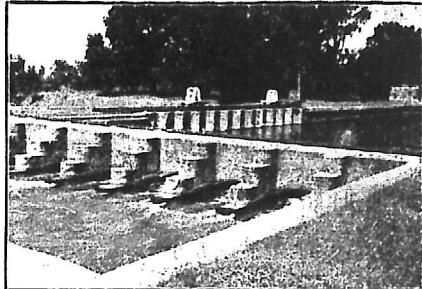
(六) 西加木納(Jumna)運河及東加木納運河。

加木納河,于合衆省 (United Provinces) 亞拉哈巴城, (Allahabad) 匯入恆河。(R. Ganges) 東西加木納二運河,由此河供水,其水源工程, (Headworks) 皆在奧夕拉, (Naushera) 該處在合衆省之撒哈蘭堡 (Saharanpur) 城北二十八哩地方。

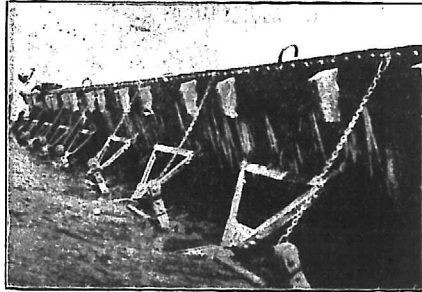
加本納河之水，三分之二，供給西加木納運河。三分之一，供給東加木納運河。前者屬於旁遮普 (Punjab) 省，後者屬於合衆省。

二運河之水源工程，計劃相似，西加木納運河，閘門共三十五孔，東加木納運河閘門共十六孔，每孔以三門閉之，每門寬六呎，高三呎。

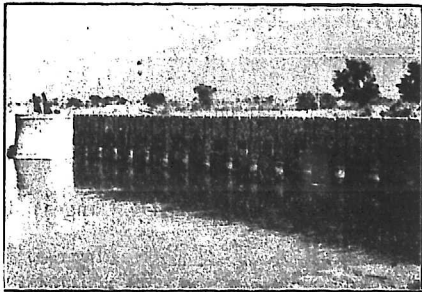
洪水放水閘，與運河之堰壩成直角，西運河之放水閘水門十八個，門寬自二十二呎至二十六呎。東運河之放水閘，置水門七個，門寬二十呎，此二放水閘，間復



東加木納運河開魯西 (Kalsia) 頭門及水滾水堰



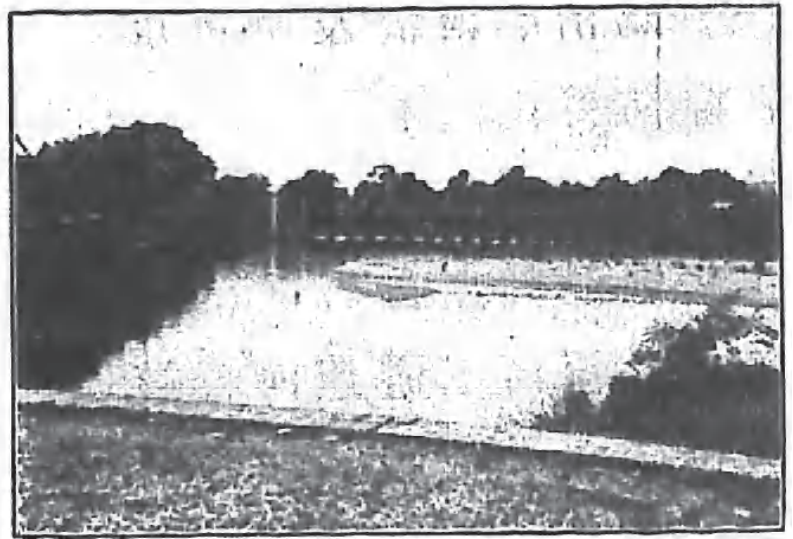
東加木納運河落門水堰



東加木納運河水源工程



建有放水堰,堰之一段,爲 223 落門 (Drop Gates) 組成,各落門長四呎,高五呎,其餘一段,則爲滾水堰。



西加木納運河水源工程

(七)恆河上游運河及恆河下游運河。

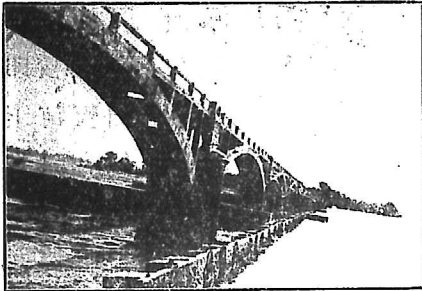
印度第二大河爲恆河 (R. Ganges), 長約 1,500 哩, 較印度河 (R. Indus) 短二百哩。該河上游之運河, 名曰恆河上游運河; 下游之運河, 名曰恆河下游運河。均流經合衆省 (United Provinces) 境內。

(1) 恆河上游運河: 一運河之水源工程, 位於哈德瓦 (Hardwar) 舊壩建於 1854 年, 係用落門組成, 共 129 扇。每扇長 8 呎, 高 5 呎。故壩全長 1032 呎。七年前, 復添混凝土橋於是處, 以利洪水期間兩岸之交通也。

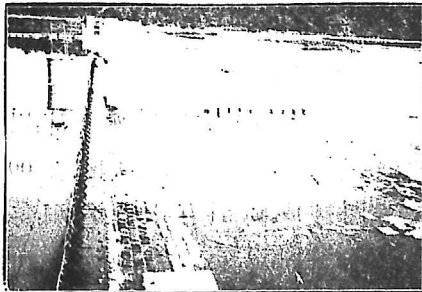
自 1911 年至 1918 年, 復於壩之上游, 添築堰壩一座, 以洩洪水, 名爲俾哥達 (Bhimgo-da) 堰閘。堰分六段, 每段長 300 呎, 係以高 5 呎寬 8 呎之落門排成。閘則有水門六洞, 每洞寬 50 呎, 閘門高 12 呎。各段各洞間, 以分水牆隔斷之。如某段河床被水冲毀時, 不致害及相鄰之節段。

爲治導河流及避免水災河身起見兩岸俱建堅固之隄防，外砌圓石 (Boulders)，岸坡爲 1:1。岸腳以混凝土塊保護之。每塊長寬各 5 呎，厚 3 呎，放置坡前。如洪水潛掘塊底，則混凝土自行墜落，渦凹得被填塞，而潛掘制止矣。

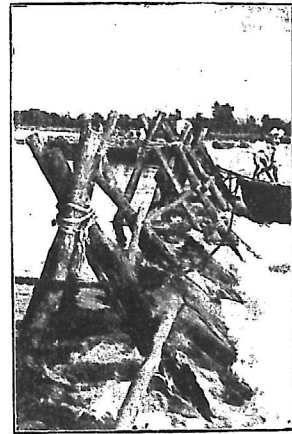
(2) 恆河下游運河 該運河之水源工程位於距那路拉 (Narora) 火車站四哩之那路拉村。此處之恆河寬至 12 哩，故於河內修順堤一道，距右岸約一哩，充新河左岸



落門水堰及橋



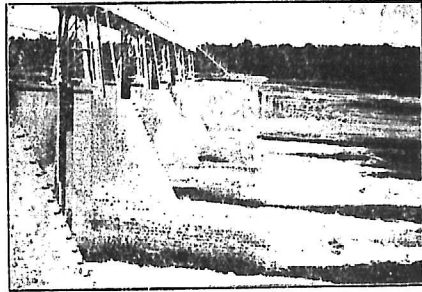
Bhigoda 堰



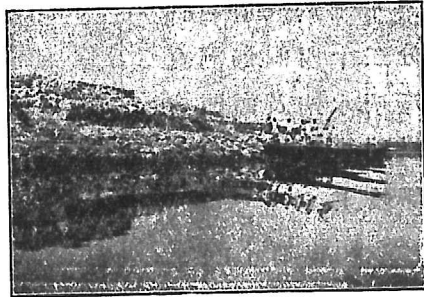
木架堰

而上水兩岸約四哩長之一段，堆修丁壩。壩之距離約半哩。壩身以沙堆成，外面以粗軟之石塊砌成。印人名此種石塊，曰“Kanker”。

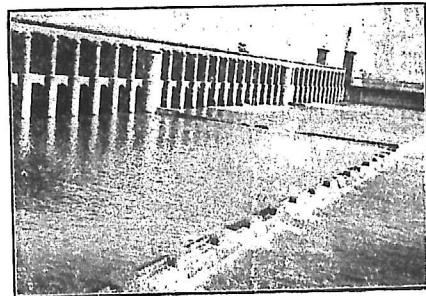
恆河最大流量為 350,000 秒立方呎，而恆河下游運河洩水量為 5,000 秒立方呎。最高水深為 8.3 呎。水源工程，包括落門水堰，及水閘各一座。落門水堰，復分四段，其長為 877.5；875.0；1000；及 1000 呎，各段間，備有導水牆(Guide Wall)一座，長 600 呎，以防水之橫流。該牆構成與丁壩相似。落門



Bhingoda 水閘



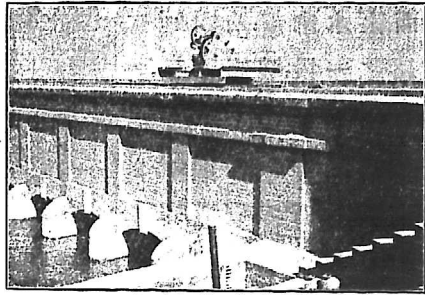
橫壩之修葺



堰之下水面

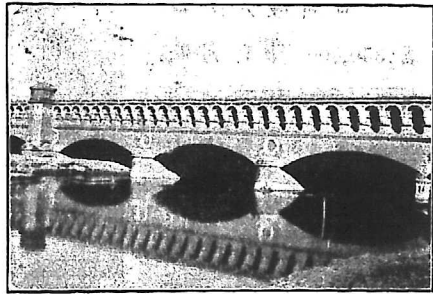
長5呎,高3呎。落門水堰,全長(導水牆寬度在內)3800呎,水閘共分三十七洞,每洞寬8呎,最大出水量為95000秒立方呎。運河之頭門(Headregulator)與水閘約成直角,內分二十四洞,每洞寬7½呎。水閘及頭門,皆以磚築成,1877年全部竣工。

距恆河下游運河入水口(Canal Head)32哩,該運河與克里那地河(R. kali Nadri)相交,約成直角。水路橋, (aqueduct) 建於河上,俾運河之水經水路橋,輸至下游。橋長1000呎,寬160呎。底面

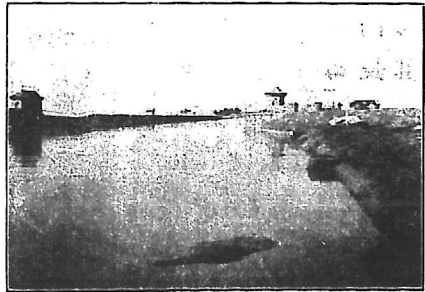


運河閘下水面

• 克里那地河(R. kali-Naetri)水路槽



(一)上水面



(二)槽面

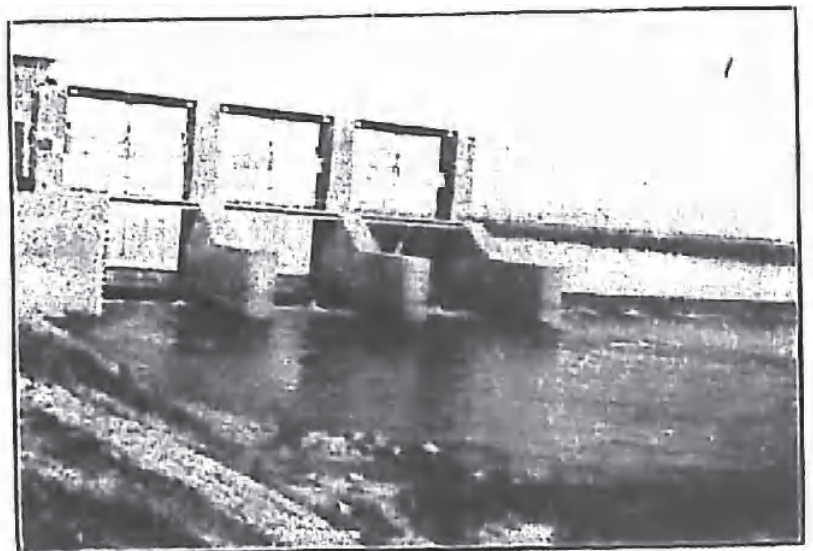
拱數十五,每拱跨度爲60呎,洩水量爲150,000秒立方呎。橋中運河,寬130呎其左邊爲12呎寬之公路,右邊5呎寬之人行路。

### 八 拉木甘哥抽水廠

拉木甘哥河,(R. Ramganga)流經冒拉德拜(Moradabad)區,而入于恆河。該河流量,每年各季不同。早年五六月之流量,爲100秒立方呎。冬季流量,平均數爲300至400秒立方呎。1924年洪水流量激增,超過340,000秒立方呎。爲歷來所未有。

第一抽水廠,位於銳尼村(Raini)因地基沙層,故該廠建於十二石工井(Masonry Wells)上。廠內有四架直立高速螺旋葉式之抽水機,每分鐘旋轉756次,每秒抽水50立方呎,提高水位13呎。

該抽水廠,旁爲一60呎長之水閘,及15000呎長之落門水堰。堰床寬50呎,爲混凝土製成,厚3呎。兩端有幃壁(Curtain wall)。上水護床,爲混凝土塊砌成,寬20呎。外端打木板樁一列。樁外鋪方石二列,下



閘及落門堰

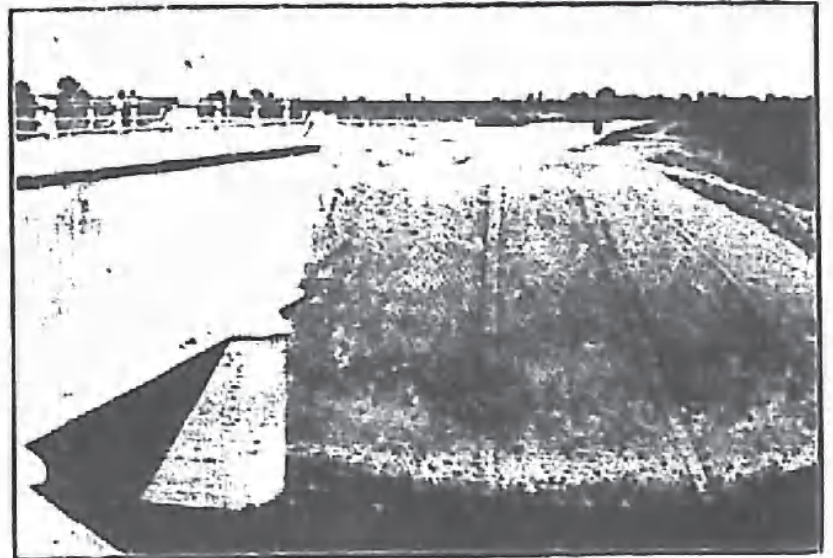
水護床，亦用方石鋪就。兩岸之堤，上水者，長 1000 呎；下水者，長 300 呎。

第二抽水廠，與第一抽水廠設計相似。位於第一廠以西，相距 3 哩水頭，提高 23 呎。

運河河槽，最高流量為 200 秒立方呎，河底寬 16 呎，比降每哩 8 呎，為跨越放水渠，修水路槽兩座。



第一抽水廠



水路槽

### 九 單管井及管井運河 (Individual Tube well and Tube Well Canal)

(1) 單管井 在米亞特 (Meerut) 及冒拉德拜 (Moradabad) 兩區境內，無大河流，故灌溉用水，由管井汲取於地下。抽水用電，由恆河運河水電廠，供給之，現已掘修之管井，約百餘矣。

由經驗所得，實銅或銅片織成之濾水管 (Strainer)，

其最經濟之尺寸，長八十呎，直徑六吋，此種管井每小時可進水33,000加倫 (gallons)，可澆出二方哩，建築費需印洋5000圓，

(2)管井運河 灌溉用水，除由單管井供給，尙可由管井運河引出，該項運河，由相連之管井給水，管井間之距離約半哩，每座管井流量為2至4秒立方呎。

(3)灌溉用水 每畝麥田每次灌溉需水70,000加倫；每英畝甘蔗，每次需水100,000加倫內中約十分之一，損失於溝洫，計算灌溉面積之公式如下：

$$\text{灌溉面積} = \frac{(\text{灌溉相隔日數}) \times (\text{每日抽水小時}) \times (\text{每小時抽水量})}{\text{每英畝需水量}}$$

例如冬季農產，每四十日灌溉一次，每日抽水十三小時，而甘蔗每二十日灌溉一次，每日抽水二十二小時，每小時抽水量，為33,000加倫，每英畝需水量既如上述，則

$$\text{冬季農產灌溉畝數} = \frac{40 \times 13 \times 33000}{70,000} = 245$$

$$\text{甘蔗農產灌溉畝數} = \frac{20 \times 22 \times 33000}{100,000} = 145$$

共計畝數 = 390

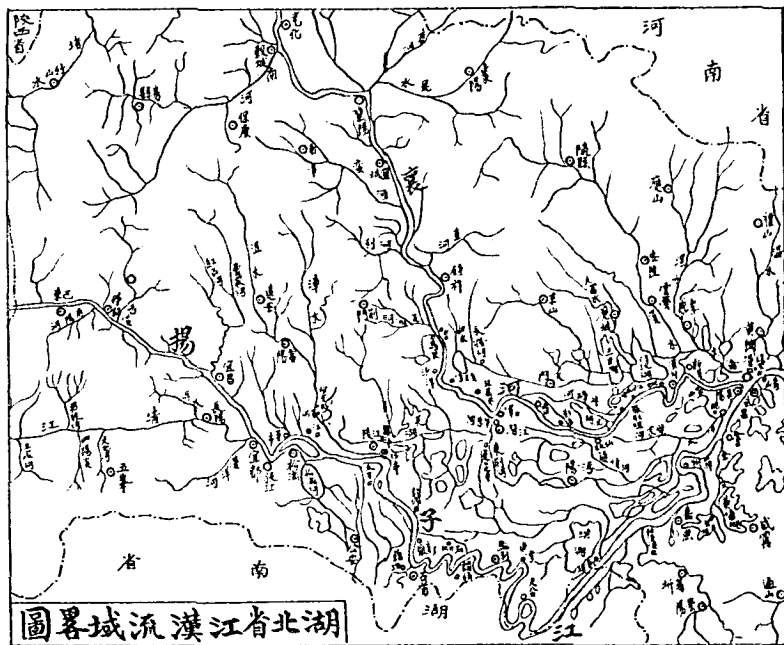
(4)管井給水價額 為鼓勵用戶，擴充灌溉面積，以每年管井抽水時間增加計算，用水愈多單位價格愈低，例如用水總計每年超過1500小時，則每秒立方呎水價格，由2安那[按印洋壹元稱為如幣 (Rupee) 每如幣合十六安那 (annas)] 降至1½安那，如增至200小時以上則

減至1安那。

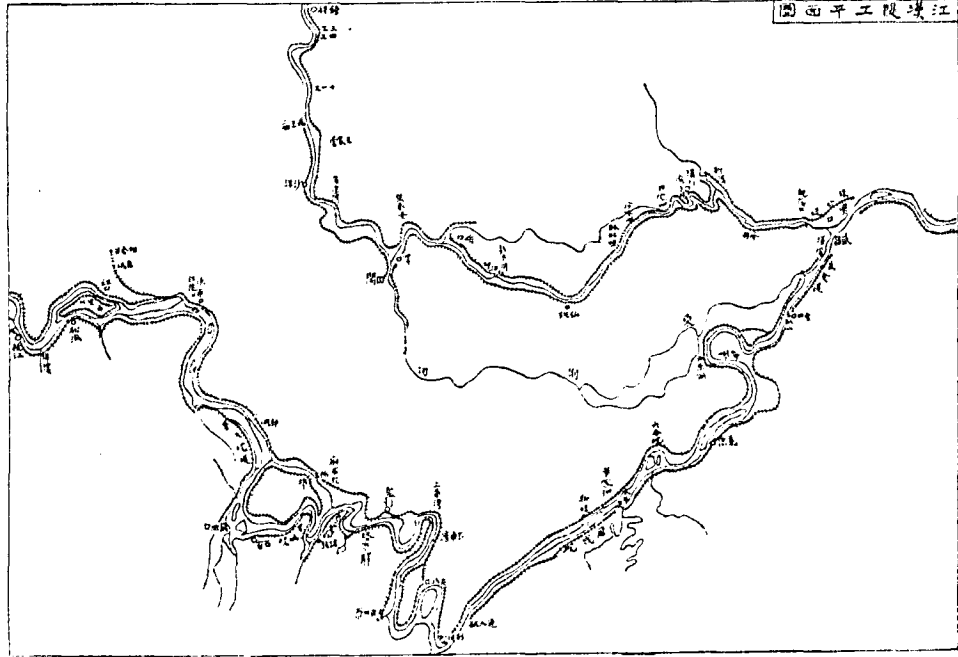
(5) 濾水管 (Strainers) 在透水地層,爲避免沙土流入管內,用濾水管,冒拉德拜(Moradabad)區內,所用之濾水管,種類約分爲三:(a)河沙弗打(Ashford),(b)泰極及(Tej),及(c)封尼克斯(Phoenix)是也。

——(完)——





圖田平工陵漢江



# 江漢堤工視察報告並整理意見書

(邢維堂編)

## (一) 視察紀要

江淮河漢，我國之大川也，此四川之水，據孟子云，皆由地中行，是知古時之江淮河漢，未必如今日之無條理也，據史冊所記，黃河爲患最久，繼之有淮水之淤塞，而蘇北之利失。獨長江向稱平安無事，可爲利源之資。但以年久失治，時異勢變，迨至晚近，亦災害迭生。漢水源高，夏秋水猛，勢如建瓴，向以長江爲尾閘。江旣不能渲泄自如，漢水自受影響。加以本身病障太多，尤易漫溢，遂致適當其衝之鄂省，連年不免水患矣。十年十五年及廿年之大水，固晚近之最著者，然猶未若今年水災之罕見也。苟無標本兼治之策，將來水患，正不堪



武大襄河視察團團員離武昌漢陽門時合影

設想。於茲科學昌明之際，水利一端，今反不如古，天之厚古而薄今耶，抑人謀之不臧耶。

本校位於武漢，與鄂省災區密邇，為明瞭受災及堤塍潰決詳情，以作研究之依據起見，乃組織水災視察團，分堤工及災情兩組，勘察襄河及長江上游一帶災區，計兩次視察，共費時十九日，除災情方面，另製報告外，關於堤工方面，茲就所得分述於下，惟以時日短促，且少參考之詳確資料，疏漏之處，自難免耳。

#### (甲) 襄河

(子) 漢陽——本視察團之災情組，由本校助教張克明夏道平二君負責，堤工組，由余及工學院學生劉相堯黃德榮蔡鍾琦負責，同於八月十三日晨十時半，乘長林號船，由漢口出發，先至漢陽水上公安局，索護照一份，以便沿途分局保護，繼溯流駛入襄河口門，該河口兩岸，帆船蜎集，岸上居民房屋，雖已脫險，但牆上高出地面二三尺之水痕，猶歷歷在目，十二時船過舵落口，北岸傾圮數處，甚不整齊，似將為水浸穿，南岸則山巒起伏，形成天然之屏障，此段形勢略同，無特足記者。

(丑) 蔡甸——是日下午三時許，船抵蔡甸，登岸後，即赴該地商會探詢一切，據云，該鎮低於河水面約八九尺，甚易被災，七月十二日，襄水陡漲，忽漫過襄永堤，田園宅廬，盡為水毀，計淹斃人約二百餘，被淹田地，在十三萬畝以上，災民亦有十三萬，在洪水期間，難民一部避居於興

國寺，其另一部，則避居於龔家嶺。現水雖漸退，而十三萬之災民，正嗷嗷待哺也。後由胡聯保主任引導，前往勘察蔡甸之堤工。按蔡甸爲漢陽屬之大鎮。該鎮田廬，皆賴永鎮楊柳二堤爲之屏障。永鎮堤上起大橋下至靈障山，長約五里。楊柳堤上起楊柳灣，下至蔡甸之河街，長一里餘。二十年洪水後，水利局重行修築，堤身增高四尺許，聯楊柳永鎮爲一堤，名爲襄永堤，長約七里。自蔡甸以下之堤身頗固，惟上游較薄弱，堤頂亦不及二十年洪水位之高。加以今年雨水滂沛，水位特高，事前江漢工程局雖曾以麻袋，將低窪之處，加高，然終未湊效。遂致沿堤先行漫溢，（淺處約一尺七寸，深處約四尺餘。）繼而潰決。總計有決口八處，蔡甸以下有大橋，鴨篷（鍾家台）新開，牛路口，窰頭嘴，



周家台潰口情形

等潰口。小者寬八十餘尺，大者寬二百餘尺。查自蔡甸至大橋一段，河身較直，但自大橋以下，河流方向驟變，轉角幾達百餘度。上流湍急，來勢至猛，突遇轉折，水流挾其急烈之來勢，與對岸撞激，鴨篷堤岸，首當其衝。加以鴨篷以下，有靈障山橫攔於中，致河床窄淺，渲瀉不利，尤足以增加水流激撞之勢。故鴨篷堤防，稍有不固，便遭潰決。可知年來之水災，有由來矣。視察畢，六時始歸，夜因風勢太大，不便返船，就宿於蔡甸茶社。

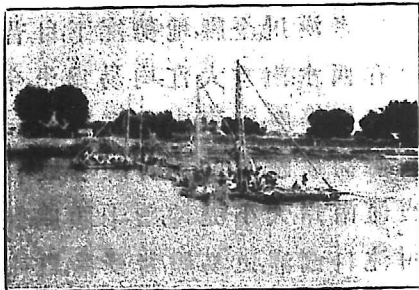
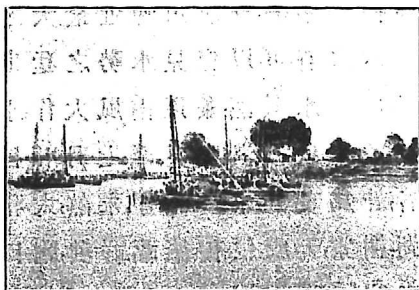


(寅)新溝——十四日，上午二時許，船由蔡甸開駛。晨五時半，抵新溝。登岸餐畢，由該地修防主任楊先生引導，前往勘察。查新溝南有襄河及其支流(府河)縈繞。在民廿年前，此地尙無幹堤。人民迫於情勢，乃作堤自衛，期策安全。故小埧特多，如康

朱家台潰口情形

家,管籬,三合,六合,長安,白新,上白新,下同汶等垸。自廿年洪水後,工賑局乃沿河作幹堤,經府河上段,聯鐵鎖義和二垸,直達漢川縣屬之沙角港,與筍港橫堤相接。後由江漢工程局接收,豎立牌界,分段管理。由護國寺以下之一段,歸江漢工程局管理;由護國寺至沙角港三公里許,則歸人民防修。今年襄河陡漲,獅子口潰決,經天門,漢川,及汜汊湖,向府河橫流,水頭丈餘,遂致該處堤防,先後漫溢,而潰決矣。後往水文站調查,十時復行。

(卯)漢川——十四日,十二時半抵漢川。登岸後,由江漢工程局第五工段之李郭二君,引導前往視察尹家垸決口情形。該口長約一百四十五公尺,是日正進行堵口事宜。堵口用大礮打樁,樁間填以麻袋細梢;內樁間填以沙,頂覆以土。據云七



尹家垸堵口情形

月七日晨，水勢大漲，襄河北岸之楊池口，南岸之楊家灣，同時潰決。七月八日，繼有南岸幹堤在孛子垸潰決；北岸在尹家垸潰決，當即由該地防護人員，於香花垸，許家垸搶築護堤，以當尹家垸之水頭，更搶築孛子垸下橫堤，以當孛子垸之水頭，雖幸完成，但十日上午，西水（按由三四工及十一工潰口，灌下之水，當地簡稱為西水，）忽攔其排山倒海之勢，洶湧而來，人蓄房屋，淹沒無算，豆麥田禾，亦損失殆盡，為漢川晚近最大之浩劫。據云，水位較歷年高六尺許，可以想見水勢之猛也。七月十三日，南屏垸一帶，以江水激漲，兼以南風大作，水頭高出堤面丈餘，搶救無效，卒致漫潰成災。至七月廿日止，堤垸因搶護而幸存者，計為黃公，永豐，利豐，永熟，太和，徐劉，敖河，高湖，相木，梅湖，謝家，天成，仁利，德福，祥興，臨口，白魚，全家，泰安等六十二垸。

考漢川全縣，地勢窪下，自昔稱為澤藪，專泊乎水，西北有西水，南有大江，均易為患。今暑自鍾祥三四工十一工白口等處，與京山之多寶灣一帶，堤垸潰決後，水由天門奪汜汶湖而東，突奔縣境，致襄河北岸民垸，相繼潰決。襄河南岸，大小堤垸，七十餘座，內防襄水潰決，外防江水由沌口倒灌，更易腹背受敵。自七月八日濱襄之孛子垸，及十三日南屏大堤被沌口上泛之江水沖決後，災區益



擴大矣，計被水面積，約佔全縣十分之九有奇，誠慘矣！

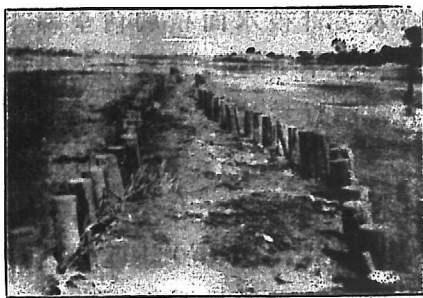
下午五時，由尹家垵至楊池口，適船由漢川駛來，遂上船前行焉。

(辰)分水嘴——十四日晚八時，抵分水嘴，此鎮在襄河北岸，災情奇重，未久，蒙三區區長段君來訪，談至十時許別去，翌晨（十五）赴區公所調查，據該所報告，今年水位較廿年高五尺，西水來勢過大，防備不及，民堤潰決甚多，致全區被淹，堵口工程之估價，約五十萬云，此處無多留，九時半，復乘船前行。

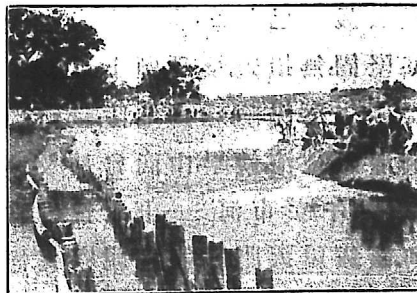
(巳)仙桃鎮——十五日下午二時半，抵仙桃鎮，登岸後，即往區公所，適值會議，乃轉赴商會，由該會主席傅先生接見，據云，七月七日，水由該鎮之西方傾瀉而來，鎮西有堤三段，每段長十餘尺，均低矮不足用，乃用蘆包，加高搶護，水被制止，全鎮幸免於難，該鎮以北，即襄河右岸之堤，去歲幸已加高，故此次未被漫溢，此處碼頭，皆以石砌，甚堅固，無損毀，惟碼頭上下游新築堤防，係包工修築，欠堅固，多已塌陷，殊為危險，該鎮南十全垵，因江水由支流倒灌，悉被淹，談畢，由商會長及區公所長，引領臨隄察勘。

(午)彭市河——十六日晨六時開船，十時許抵彭市河，該鎮屬天門縣，即往視察襄河雙合垵外堤潰決之情況，該口長約五十公尺，在去歲決口，以上約百餘尺之處，

余等到時正值堵口，所用之方法與尹家垸同，惟堤外面不用木樁耳。該垸有內外二堤，內堤為昔日之幹堤，外堤為人民所築，藉以防衛河灘稼禾。經廿年洪水後，該堤加高培厚，去夏水漲，內外二堤皆潰決。江漢工程局祇將外堤修復，並加高培厚；而未修內堤，惟該處之外堤紆曲，正為迎溜頂沖，故今年又在上端潰決。現計畫改變，將內堤缺口修復，刻正在工作中。據云，該地水勢激漲時，司防者，鳴鑼告警，地方人民，聞聲不來搶險，



雙合垸外堤堵口



雙合垸內堤潰口

希圖口決放淤，遂遭潰決，小民固貪微利，而遺誤全局，亦愚頑矣！

(未)岳口——十六日十二時，復前行，二時半抵岳口。登岸後，先往商會，後往江漢工程局第六工務所，調詢一切被災情況。按岳口屬天門縣，天門北部多山，南部為平原，該縣境內有襄河、牛蹄子河、天門縣河。據云，此次天門縣洪水之來源有二：一為鍾祥三四工之潰口，一為縣屬第四區襄河雙合垸之潰口。

十一工處之決口計長八百零五公尺，深九公尺左右。三四工處之潰口，最大者計自一磯起，至七磯止，全被潰決，長度在八里以上。自十一工及三四工之堤潰決後，洪水奪天門縣河，勢如建瓴而下，經永隆河、楊家澤，以至多寶灣，兼以天門縣河，河身窄狹，渲瀉不及，漫溢之水，如怒馬奔馳，致天門縣河流域，全被淹沒。繼之縣城，於七月九日，亦被水灌，頓成澤國矣。據云襄河水位，以民八民十為最高，但今年則高出五六尺，水勢之猛，可以概見。襄河之雙合垸，在岳口下十五里處，於七月八日晨潰決，加以附近七十二垸，於去歲決後，新修堤防，單薄無力，不能抵禦，遂致全縣通遭陸沉，演成晚近未有之奇災。

(申)張截港——五時離岳口，駛向潛江屬之張截港，八時半到達，以天晚乃就息。翌晨(十七日)六時半赴五

區公所，晤見區長張君，據云，潛江五區共二十八垸，中有十五垸全被淹沒；其餘十三垸，有十分之二，被淹，幹堤並未毀壞，洪水係由十一工決口處，經天門薪河灰埠頭，及由三四工潰口，經永隆河而來，張截港鎮內幹堤雖未潰決，但七月八日，西水由後堤浸入街市，遂悉被淹，其餘三區災情尙小，二五區災情之嚴重，爲七八年來所未有者。

(酉)沙洋——十七日上午八時開船，下午三時抵多寶灣，同行之張夏二君，以調查農村受災情形，須於此處下船，船遂稍停，旋復開駛，五時抵沙洋，登岸後，余與黃劉二君，赴江漢工程局第七工務所，調查一切，據該所云，今年沙洋水位爲43.29公尺，二十年水位爲42.47公尺，沙洋城市，被水淹沒，有六七日之久，並云，三四工潰口最大者，長四公里，其餘小口，長三十公尺至五十公尺者，計有十二處，十一工口門長八百公尺，最深達八九公尺，江漢工程局，以三四工處之堤，紆迴灣曲，適爲迎溜頂冲，一有危險，不易搶堵，且一二四工之堤頂，寬達十餘丈，異常堅固，此次尙遭冲毀，倘從新建築，難免不再遭冲毀之患，爲一勞永逸計，該局擬另測新堤線，自鍾祥縣城南山麓，逕達白口，約長三十華里，如此堤完成，則十一工及三四工等處之堤，均不必堵築矣，談畢，天已晚，乃返船休息。

十八日晨十一時，與張夏二君，赴第九區公所，據云，

該區湖鄉低地，及山汊田地，因霖雨連綿，被淹者約一萬八千餘畝，惟堤防未潰，房屋人畜，尙未受災，亦不幸中之幸也。午間適全國經濟委員會視察隊，由三四工返回，道過沙洋停息，余乃前往探詢。登舟後，得晤蒲得利及史篤培二位水利專家，據云，三四工及十一工善後問題，有兩種辦法，一由鍾祥山麓至白口另造新堤；一將三四工及十一工堵封，究取何法，俟完全計劃擬定後，由政府裁定之。彼等並云上游水位漸低，航船吃水不滿三尺者，尙可通行，三尺以上者，恐難航行，余等所乘之差輪，吃水三尺四寸，自難繼續前進，且聞鍾祥地面不靖，亦未便冒險，易航而往，因之三四工及十一工之情況，未獲堪察，深爲憾也。

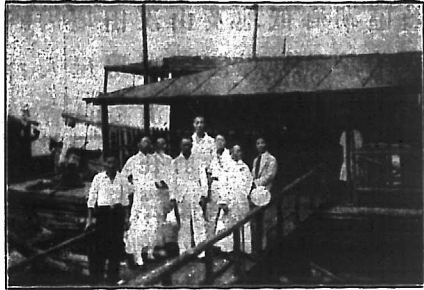
(戊)歸航——十九日晨七時，離沙洋，開始歸程之航行，下午五時抵仙桃鎮，停宿一夜，廿日晨三時，船復開駛，下午四時抵漢陽，張夏二君，因須赴漢陽，調查災情，遂由此下船，余等則俟船抵武昌，由漢陽門登岸，旋乘汽車返校，襄河視察之行，乃終於此。

### (乙) 長江上游

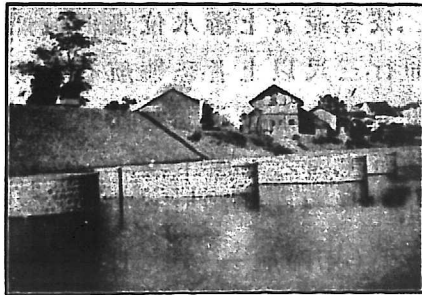
此次本團之視察，災情方面，仍由張夏二君負責，堤工方面由余繼續負責，而輔助者，則爲劉相堯，李均平，張溶三君，本團原擬於八月廿八日起行，嗣以船未定妥，乃

改至廿九日。是日上午七時許，由學校乘汽車，先至漢陽門。時租定之保泰號輪船，已停泊於該處江干矣。余等早餐後，即將沿途必需物品購辦齊備，上船啟碇時，已十一時許矣。

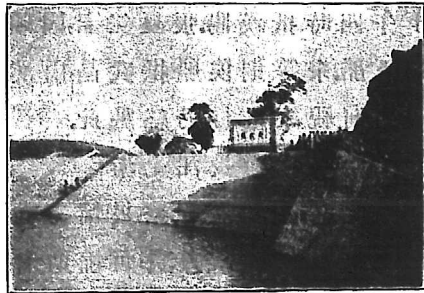
(子)金口及水閘  
一船開駛後，西南行，有蛇山與龜山隔江相峙，經江左之漢陽。溯流再上，江面漸寬，流勢亦漸緩。距武昌十五里之處，為鸚鵡洲。由此上達沌水口，江面特闊，有至三公里以上者。右岸為武金大堤，左為平原一片。沌水口，為沌水與



長江上游視察團離武昌漢陽門時合影



金水閘 (一)



金水閘 (二)

大江之會口，適當大軍山與淮山磯頭對峙之下，行經其間之急流，至此因江面陡闊，流速頓減，同時以沌水來會，泥沙增多，淤積沈澱，自不能免，日積月累，於是有沙洲之出現矣。左近之鸚鵡洲、白沙洲、金沙洲可資為證。據云，自武金大堤起後，甚收束水攻沙之效，金沙洲漸被沖去，今已不復見矣。船出大軍山，與淮山磯口，江面復闊，再前行不遠，右岸即為金口鎮，拋錨停泊，已下午二時矣。

登岸後，直赴第一區公所，由該所張君接見。據云，金口鎮地勢低下，外無堤防當水。七月初間，大水時，街巷曾一度被灌，水深至四尺許，幸勢不猛，無大損失。該區武金大堤之南段，與五字號堤之一段，在大水期間，數呈險象，幸經竭力搶獲，得保安全。該鎮東至禹觀山之五里民堤，在鎮南決一小口，致所轄之獅子璫及河南岸二堡，不幸受災焉。

繼由區公所至商會，所得情況，大概相同。談半小時，即由該鎮沿五里堤，赴金水閘，參觀。該閘為全國經濟委員會之江漢工程局所建，介乎赤磯山與禹觀山之間，正扼金水入江之口，所以防江水之倒灌也。金水為大江之之支流，經嘉魚、蒲圻、咸寧、武昌四縣，並匯內湖之水，於金口入江。流域所及，有沃野九十餘萬畝，因地勢低窪，於夏秋江水盛漲時，每受倒灌之害。是閘既建，害自可免矣。抵

閘後，由劉事務員，引導參觀。該閘閘門建於禹觀山所鑿之洞中，洞凡三，閘上設齒輪聯動機，用以啟閉閘門。左端爲橫堤，所以隔江水也。沿堤不遠，至赤磯山之一段，爲將來擬建船閘之處，以備通航運也。余等參觀時，閘門已沒。水中水面，距堤頂有丈餘，據云，今年最高水位，達堤頂下二尺餘之處，內河水位，則較低數尺，因堤閘已建，故未受漫溢之害。惟橫堤擬建船閘之處，因堤下有石灰窰之遺跡，在大水時，曾一度危險，幸堤內取土方便，竭力搶護，得免於害，不然一經潰決，則嘉、蒲、咸、武之財產，又付洪流矣。觀畢，乘小舟返抵大船，時已近八鐘，夜幕四張矣。

(丑)簪洲——卅日晨五時半，由金口西上，過赤磯山後，兩岸一片平原，盡爲淤積之地。七時抵大則，後轉向西行。右岸爲大溜激盪，傾圮甚多；左岸則淤成平灘。九時許過水王口，船傍岸行，擬一探永樂閘之所在地，順便一視潰決情形，因划夫均無知者，祇得作罷。十一時許船抵簪洲，張夏二君下船去區公所調查被災情況。余與張劉李三君赴江漢工程局第三工務所第三工段，調查適均外出乃返，聞該地人民云，附近幹堤，無潰決之處，鎮內亦未進水。全區中有四垸潰口，被淹田地，約六千餘畝，張夏二君返船復前行。

(寅)嘉魚——離簪洲前行，經小林夾，此地爲江灣左



岸之一灘嘴，西望爲一片淤野，面積可達百方里。灘上無人居，間有楊柳，亦僅及丈高，可知爲江水，每年氾濫之區。小林夾對岸，爲大溜頂沖，所有此段，多殘破不全。由赤磯山至嘉魚有直堤一道，名爲四縣公堤，外所以隔江道之氾濫，內所以保金水流域之安全。繞小林夾，西南行，至下午三時半，抵嘉魚縣。

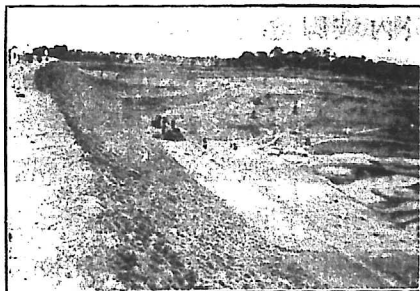
船泊岸後，即赴江漢工局第三工所第五工段，由李君引領視察護障垸。該堤由城北之文廟山，東接馬鞍山，長一千八百公尺，爲金水上游之第一道堤防，關係該流域至鉅。苟此堤一破，則嘉、蒲、咸、武四縣，仍不能免於水災，而金水閘之效失矣。據云，今年水位，較廿年高二公寸，堤身曾加高數公寸，以至一公尺不等，以防漫溢。在七月十日水漲時期，接文廟山之一段，因堤內有池塘，坡腳時被水浸，曾因外面壓力加大，堤身一度下陷，形勢甚險。後經於內坡腳處，簽打木樁二列，復壓以蔴袋，始得免除危勢。

護城堤，在文廟山西，與嘉魚縣堤連接，長約九公里。該堤文廟山西一段，因堤內養魚池進水管，爲水沖開，急流內湧，曾一度危險。後用蔴袋築圍堤防禦，城市得免於難。又永逸閘，內爲一小河，引七里湖之水，於此入江。本年水時，閘門雖關閉仍有險象。後簽打木樁，壓以蔴袋，始得鞏固。觀畢，歸用晚餐，是夜船即泊於嘉魚城外。

(卯)新堤及萬城垸——卅一日晨四時半，啟碇西上，向新堤行。由嘉魚至新堤，約九十里。右岸多山，左岸爲淤積平原，水落堤現，多殘缺不完。七時半過赤壁山，九時半抵新堤。船傍岸後，卽往江漢工局第三工所，由王工務員接見，談及葉家州，萬城垸等處決口情形。後由熊段主任，引領參觀新堤之新閘。沿新堤，出新堤市，南面臨江，北面爲一片汪洋，蓋卽淹沔陽八區之水也。新堤屬沔陽五區，亦在被淹之列。被淹原因，係因沮漳河及洪湖決口，水勢下灌，猝不及防。至於大江，今年之水位，雖較廿年水位高二三公寸，但防護得時，幹堤加高，尙未被漫潰爲害。新堤爲本年新築，橫貫新堤市。經街市之部分，因民宅之阻礙，多彎曲迂迴，堤身亦不甚厚。行經時，堤上數處有麻袋堆積，蓋卽



萬城垸潰口

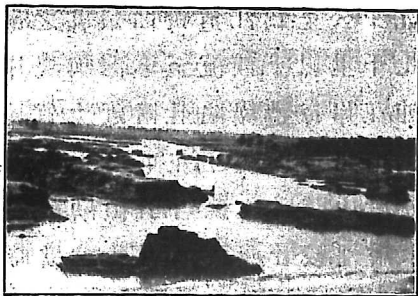


萬城堤橫店子堵口

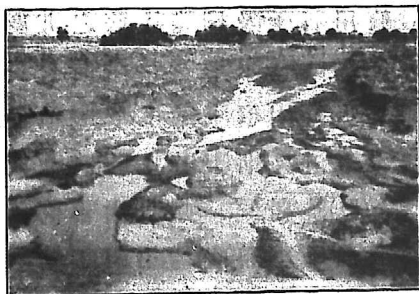
水漲時，搶險所置也。行里許，至新閘。閘內為一小河，寬丈餘，河道漫沒水中。由兩岸蘆草樹幹，可以辨明水道之方向。該閘閘門係用方木塊堆成，接縫不密，水易浸入。故於六月廿八日開始進水。後由工程局，用麻袋黃土搶獲。於七月三日，幸得堵封。當余等參觀時，閘門已包埋於麻袋及黃土中矣。該閘照例於夏秋或其他水漲時期關閉，以防江水之倒灌。十月間江水落時開啓，以泄內地之積水。

觀畢歸來，第三工所之李君已候於船上，以備余等參觀萬城垸潰口情形。於是同舟西行，約二十里，抵谷花洲之六北松。船停登岸，不數十武至決口處。幹堤之外築有外圩，因單薄不堅，先為大水沖毀。繼幹堤亦潰決。潰口長約卅公尺。該堤於廿一年築起，土質多沙，且未加礮，結合不

萬城垸潰口中郭口潰口情形



(一) 上游



(二) 下游

固。故一遇洪水，雖經搶獲，亦難以當洶湧之波濤矣。

觀畢，離谷花洲西行，見江水左右濁清分明，蓋左爲江流，右爲來自洞庭之水，尙未完全混合之故也。午後四時許，抵城陵磯，因時尙早，乃順便作岳陽之遊。六時到達，船泊南津港，十一時，大雨滂沱，船棚滲漏，乃移艙內宿。

(辰)車灣——九月一日晨六時，由岳州起行，過城陵磯後，溯江西上，至下午三時抵車灣。由城陵磯至車灣，約九十里，爲江道彎曲最甚之部分，陸路五六里，水路則七十里以上。江流至車灣，與堤岸成七十度之角，大溜頂沖，江岸每遭塌陷，且附近土質多沙，尤易滲漏，故該處江堤，向稱荆河險工。在車灣上岸後，卽赴第四工務所第二分段，由該段之蘇君，引領勘察江堤。據云，今年七月初，江水增漲，較廿年高二尺八寸，當時該處，曾一度危急，繼經兩晝夜之搶獲，始得脫險。堤坡經連年沖刷，形勢甚陡，故歲修用石子及柳條培修之，坡度爲1:2.5。該堤靠街市之彎曲部分，爲水滲透，搶險時，曾於堤後堆麻袋數道，得保無虞。堤後因取土過多，成一池塘，殊爲不利於堤也。此堤如不幸潰決，則下游九縣，將全成澤國，所關至巨也。

(巳)監利——是日由車灣繼續上駛，下午六時許抵監利。上岸後，卽直趨第四工務所調查。適該所主任，因公赴漢，由公務員接見。據云，第四工所所轄境內，最嚴重之

潰口，在麻布拐，該處七月七日，爲水漫溢潰決，水面漫過堤頂二尺餘，潰口長五百公尺，被淹田地約九萬畝，堤潰不久，即施工搶堵，先於幹堤潰口外，起築土堤，並上下二流水溝，又於李家溝築攔水壩一道，結果，土堤築竣，上口已堵好，惟下口水流湍急，曾用柳梢亂石堵塞，俱爲水沖去，以施工困難，故暫停止，麻布拐，距大江尙有數十里，以往返不便，未得躬履，一視爲憾耳。

監利本年所受水災至鉅，洪水除來自麻布拐外，尙有一部分來自江陵之得勝寺，潛江之蓮花寺等處，初因麻布拐潰口二區被淹，並及於第一區之中部，嗣蓮花寺之水由老新口，及得勝寺之水由鷺湖，灌入一區，於是該區之北部，被淹，三處之水，匯合後，復沖破五官，到該區南部，又被災矣，第四區，地勢低窪，加以匯合之水，勢甚洶湧，故受災特重，第六區，則因洪湖之倒灌，亦被災焉。

(午)郝穴——二日早五時許，船由監利西駛，斯日上午風雨交加，船受蕩激，進行甚緩，傍午，雨始漸息，此段江道灣曲特甚，兩岸多平原，凡外灣之處，爲大溜沖刷，帶草土塊，時見坍塌，每危及堤身，上行九十里，經調弦口，再九十里，經藕池口，調弦與藕池，爲江水分流入洞庭湖之兩口門，而藕池爲大，抵藕池口前，船過石首，因不便停泊，擬定於翌日早，乘小舟返往視察，但翌晨阻於風雨，祇有俟

回航時再往，三日十時許船復沿江北駛約九十里，抵郝穴，時已下午三時，即泊於此。

郝穴爲舊日上鄉堤工局所在地，現爲荆江堤工局第九分段防汛處，余等於六時，曾往訪一次，適皆外出，十時該處李君來訪，允代通電話至沙市堤工局，告余等將赴沙市，請其屆時引領參觀，後談及搶險情形，至十一時始別去，據云，郝穴南岸之堤，曰東大垸子，于七月七日，有兩處決口計爲北堤子及魯埠，北堤子因大風雨潰口，口長約一百廿公尺，魯家埠，因人民挖堤放淤而潰口長約一百六十公尺，兩處水位，高出堤頂，有一公尺，所淹地畝，屬公安者，有三萬畝，屬石首者，有十萬畝云。

(未)沙市與江陵——四日晨六時，船向沙市進駛，上行九十里，於傍午抵沙市，登岸後，即赴荆江堤工局，蒙徐局長及盧工程師招待，並說明此次水災經過，堤工潰決，及堵築情形，此次水災，因連日大雨傾瀉，山洪暴發，沮漳兩河，會流於當陽縣之溶河上端，水不由道，橫流直冲鎮頭山，於四日冲破江陵縣民堤，衆志垸，復漫陰湘外堤，自張家山起至李家山止，十六華里之間，潰口五十餘處，繼漫陰湘內堤，自棗林崗至堆金台止（即方官堤），十華里之間，決口三十六處，五日大風雨，晝夜不息，於是江陵縣民堤保障垸，柳巷，劉家台，楊家口等處潰決，計大小潰口，

十三處，水流正衝荆江大堤之堆金台，與得勝寺間之橫店子，時保障垸之水面，高過堤頂四市尺，內受陰洲來水之掃射，外受保障垸之迎流頂沖，雖竭力搶護，終以水勢洶湧，被漫而潰口，內外水位相差無幾，堤沖成兩壕，潰口長約五百九十尺，橫店子之潰口，關係全縣至鉅，堵築工程已由荆江堤工總局計劃完畢，於八月十三日動工，全部工程分為五期進行，第一期工程為填築新流之壩，用麻袋裝土，加釘一丈餘至二丈餘之梅花式木樁，第二期工程，為護壩土工，支撐背面，以免崩決，第三期工程，為加高土方，以禦河水泛漲，第四期工程，為培厚內部土方，以免新土之溜坐，第五期工程，為培厚外堤半坎，以防泛漲時浸漏，刻前三期之工程已畢，正繼續作第四期之工程，計已完土方一萬二千餘，尚有一萬四千土方待作，共用麻袋廿六萬，需款總數，估計約三萬五千元，已用去二萬一千元云，談畢作別，別時復約定於次晨六時，同往視察萬城堤。

荆江堤工總局歸來後，又與經濟組張君同赴江陵縣府調查，江陵與沙市，相隔七里，平日有汽車直通城內，尚稱便利，惟自七月六日大水圍困江陵城之際，東門外橋樑被毀，來往須賴渡船，江陵東城牆，有四水洞，為古時所築，與護城河相通，經久失修，大水圍城之際，經縣府督

飭民伏，用麻袋布袋拾堵，幸未被灌。本年大水水源有二，一路爲來自兩河口之山洪，橫冲陰湘城堤而下，一路爲來自江口文昌宮之江水，直灌冲下，橫店子幹堤既潰，江陵城之保障失去，遂致該城遭受封閉，及一二三區，受最甚之禍焉。

(中)萬城堤 一一五日晨五時，余等如約至荆江堤工總局，當蒙欸以早點，繼與盧工程師乘該局小汽輪，溯沮漳河西上，直趨萬城。沮漳河爲一山洪澗道，夏季雨大，則洪水暴發，下游遭其禍患，冬季沍寒，上游無雨，河流枯竭，恆斷流至三月之久。常陽縣河旁居民，每於夏間，山洪暴發時，攜家登高避水，頃刻水過，則陸地復現，此種情形無年無之。惟據云本年上游山洪特大，水勢洶湧，有崩山沈陸之概，故江陵草市，俱被其災。余等視察時，距洪水時期，已近一月，河流甚緩，幾不辨其爲動抑爲靜耶。沿沮漳河上駛，東岸爲萬城大堤，西岸爲民堤，民堤上不少民房，人民爲保護其房屋計，沿堤多植柳槐，現已長大，甚足收護堤之效。惟人民植樹，各自爲政，不相關連，無樹部分，仍不免爲水冲坍。東岸無樹部分，有缺口數處，可資明證。上行六十里抵萬城，荆江堤工局第一分段在焉。在該分段蒙欸以午餐，繼沿萬城堤西行，約七里，至得勝寺，橫店子之臨時辦事處，卽在寺內。寺西數十步，卽爲橫店子之施工



地點。余等到時，有四十餘工人，正培厚堤身，堆土加礮，置身堤上，俯瞰地面，在二丈以下，聞地面水潦，尚有二丈餘深，以此三十餘丈長之潰口，尚被冲刷，如是之深，水量之大，亦可想見矣。夾堤兩邊之地，有無數高尺許之柱體，殆因地面土質不同，爲方向不同之激流，冲刷而致也。決口之正下方，爲一甚深之溝壑，上方爲許多散聚之土壠，視此可以象徵當日洪水潰口後亂流匯聚之情形也。由此遙望，則見高邱之八嶺山，聳起於北；鎮頭山，蒼翠之影，現於西方之天際；及東南近處，林木叢生之柳巷，更易辨別。時斜陽西下，恐誤歸期，遂轉回萬城，乘舟返沙市矣。

(西)石首及歸航 —— 由沙市本擬繼續上駛，但各機關，均言沙市以上，地面不靖，且災情亦不如下游之嚴重。同行者，亦認爲至沙市，可作一段落，遂以罷論。六日晨五時半，下駛，九時半抵藕池，張夏二君往藕池商會調查，十時半歸來，全體團員，同赴石首縣府。適縣長外出，由李科長延接，據謂幹堤大潰口，在羅城垸之二聖寺，其次潰口，則在陳公東垸，由該處至調弦一段，潰口在觀音庵者，有七處，在朱家舖者，有二處，以上九處，均於七月七日，因大風雨潰決，口長由廿五公尺至六十公尺不等，共長七百四十五公尺，水位高出堤頂二尺以上，共淹田地約七萬畝，羅成垸在石首以東，長江之南岸，該垸潰口，在二聖寺，

亦於堤頂，二尺有餘，被淹田地，約十三萬畝，擬築外挽月堤，以資補救，談畢，四時返，當夜，輪即泊藕池口。

七日晨三時許，離藕池口東下，沿途無停攔，至八日午間，抵武昌漢陽門，乃登堤返校，於是長江上游之視察，又告一結束矣。

## (二)整理意見

防汛工作，可分治標治本二種，治標者，在汛期內，使水流不溢不潰，而收功於堤防之完固，治本者，則在汛期前，實施各種工程計劃，以謀永久之安全，大汛潰決後之工作，多在救災，救災固為急務，然欲永遠弭除水患，或防患於未然，則必須澈底整理河流。

襄河長江，堤塍視察情形，既如上述，茲根據實際勘察，所得之事實，擬定兩河整理建議，貢諸當局，以獻一得。

### (甲) 江漢大勢

漢水自嶓冢發源，流經均縣，光化，穀城，襄陽，宜城，鍾祥，荊門，京山，潛江，天門，沔陽，漢川，漢陽等十三縣，於漢口，匯入長江，鍾祥以上，兩岸皆山，坡度甚陡，水勢湍急，鍾祥以下，地勢平衍，河流紆緩，而支流盡湮，如京山，天門間，無分洩支流，下游日形滯阻，故水患多在鍾，京，潛，沔，天門，漢川等縣。

志曰：江水出三峽，勢如建瓴，夏秋一漲，頃刻千里，然

溯宜昌而上，山阜夾岸，勢不能溢。嘉魚而下，江面浩闊，順流直注，中間郡縣兩岸俱平衍下隲，水易漫流。當江陵，公安，石首，監利，華容間，自西而北而東而南，勢多紆迴。至岳陽，自西南後轉東北，迸流而下。故潰冲受害，多在荊州夾江南北諸縣。縣各沿岸爲堤，南岸由松滋至城陵磯，堤長亘六百餘里，北岸由萬城至茅埠，堤長亘七百餘里。咫尺不墜，千里爲壑，此鄂人之隱憂也。

### (乙) 水災成因

(子) 襄河：——襄河上游，支流甚多，在陝西境者：曰金井河，乾祐河，在河南境者：曰丹江，曰白河，在湖北境者：曰堵水，曰南河，曰蠻水，支流所經面積至廣，每當伏夏淫雨連綿，山洪暴發，陝西南部，河南西南部，及湖北西北部，雨水，盡入襄河。流量驟增，堤內難容，勢必漫溢潰決，流冲堤外。

茲將襄河上游各站，歷年雨量及洪水位比較表，分錄於後，以資參考。

河系	站名	逐年平均雨量以厘計		廿四年七月份雨量以公厘計		備考
		七月份	全年總數	全月	三日至八日	
襄河	襄陽	125	868	413	273	

同	南漳	86	896	510	431	
同	光化	114	880	501	428	
同	穀城	31	656	365	302	上年設立
同	均縣	60	440	438	388	
同	竹山	98	551	831	603	
同	竹谿	60	—	281	240	上年設立 記錄不全
同	鄖縣	87	887	413	273	
同	鄖西			408	342	本年新設
同	白河			327	301	同 上

襄河各站歷年洪水水位比較表

站名	民國二十年		民國廿三年		民國廿四年		備 考
	水 位 (公尺)	日 期	水 位 (公尺)	日 期	公 位 (公尺)	日 期	
白河					19.60	七月七日	本站○點
鄖陽	16.50				18.30	同 上	同
襄陽	68.08	九月三日	66.91	七月五日	70.60	同 上	吳淞○點
宜城	58.80	七月廿四日	57.86	同 上			同
鍾祥	49.59	七月十二日	48.83	七月六日	52.34	七月七日	同
沙洋	43.46	九月五日	42.67	七月六日	43.29	七月七日	同
漢口	38.91		39.37	同 上	39.16	七月八日	同
陶朱埠	38.60		39.10	同 上	38.86	同 上	同
岳口	37.36	八月十五日	37.69	同 上	37.35	同 上	同
仙桃鎮	34.32		34.60	七月五日	34.65	同 上	同
新溝	28.55		28.16	七月六日	29.15	七月十二日	同

由上二表,得來結論,本年七月份雨量較逐年同月份者為高,多至十倍,而大部份雨量,由三日至八日,降落。是以流量驟增,水頭加高,以數丈計,其勢洶湧,如萬馬奔騰,三四工及十一工,首當其衝,先因漫而潰,洪水橫流,雙合垸,尹家垸,襄永堤等,亦先後潰決,京山,天門,漢川,應城,孝感等縣,均成澤國,汪洋無際,人口牲畜,死亡無算,田地村舍,淹沒殆盡,造成晚近未有之奇災,

(丑)長江:——長江水災成因,概分下列二種:

(1)雨量過巨 ——長江流域,今夏雷雨連綿,支幹並漲,雨量過巨,江不能容,泛濫成災,茲將長江各站歷年上游雨量,及中游洪水位比較表,抄錄如下:—

河系	站名	逐年平均雨量以公厘計		廿四年七月份雨量以公釐計		備 考
		七 月 份	全 年 總 數	全 月	三日至八日	
長江	宜昌	120	1100	1070	1000	
同	興山			1152	1099	上年新設
同	五峯			1415	1318	同 上
同	宜都	182	1375	740	726	
同	枝江	222	1463	670	604	
同	松滋	112	988	332	220	

同	江陵	153	1161	293	286	
同	遠安			490	463	
同	當陽	135	813	669	615	

長江中游各站歷年洪水位比較表

站名	民國二十年		民國二十四年		備考
	水位(英尺)	日期	水位(英尺)	日期	
宜昌	50.3	八月十日	49.2	七月五日	海關最高紀錄 58.0英尺
沙市	34.0	八月九日	35.3	七月七日	本年荆江堤工期洪 水位紀錄37.5英尺
監利	36.3	——	39.0	七月七日	本年為最高紀 錄
岳州	51.0	八月十六日	51.2	七月十二日	同 上
漢口	53.6	八月十九日	51.35	七月十五日	二十年為最高 紀錄
九江	45.4	八月廿一日	45.80	七月十六日	本年為最高紀 錄

由上二表所示,宜昌雨量本年七月,將及平均全年總數,而此雨量,幾盡落於三日至八日五日之間,再參看水位表,除漢口外,本年洪水位,俱較廿年為高,以此巨量之洪水,及極高水位,其為患之烈,益可想見。

(2)湖泊淤淺 昔時長江水災,較輕於黃河及其他河道者,實因有洞庭湖及鄱陽湖為天然蓄洪水庫,近世以來,淤淺日甚,古有洞庭八百里之稱,今則自南至北,寬者不過四五十里,狹者僅一二十里,而濱湖各縣,增修堤

坑與水爭地，致湖面愈狹，容量愈減，奇災殆因此而成。

### (丙)根本整理計劃

襄河長江大勢，及水災成因，既如上述，防洪之計劃，及治河方法之運用，各河不同，貴乎因地制宜。茲就管見所及，擬定根本治洪計劃七種，略述如下：

(子)隄防——隄防為防洪最古方法，各河防災計劃，無不用此，其功用為增加洪水流速，及河槽橫斷面之面積，提高河內水位，藉增容量，水被隄束，兩岸田畝不致被淹，且收攻沙之效。江漢沿岸，隄防未能全盡其功效者，原因有三：

- (1) 隄之高度有未達廿年洪水位者。
- (2) 隄防土質不良，多沙易被沖潰。
- (3) 修工不善，砌工取巧。

今年水位，就襄河各地，及長江上游而言，均比廿年高，長江下游水位，則稍低，似應將兩河隄塍，按廿年及本年最高水位加高，隄頂至少超出洪水位半公尺。

土料為河工之重要材料，土質之優劣，關係至鉅，膠土築隄，最稱合宜，蓋以土質細膩，性膠黏，遇水不易溶解，久淤之膠土，築隄尤稱堅固，如隄土含沙，則疏散不易團結，尤不耐水刷，江漢隄埝用沙土築成者，鮮未遭崩潰。

隄防之堅否，固視乎土質之優劣，然砌工之實否，亦

甚重要。江漢隄岸，包工承做者多，因夯礮不實，而遭穿漏。土料過乾，或成塊團，須加水潤濕，然後夯礮，始能堅固，不然，乾夯難望其密結也。

(丑)造林——造林為防災治木之一法，惟需時較久，難速其效。森林區域，在積雪融化或暴雨時期，能暫時為地面之涵蓋，拖長大水，傾瀉之時間，增多滲入土壤之機會，以收緩洪之效。且不致使山坡土沙，隨流而下，增多支幹挾沙之量，淤墊下游，為益至鉅。隄岸植以叢樹，減殺急溜，更可免隄根之沖刷。江漢隄岸有樹木之段落，鮮被沖毀，為防災除患於未然起見，宜在漢水水源地，及長江上游，多造森林，更於沿隄隄基之處，多植叢木，十數年後，必大見其效也。

(寅)攔洪水庫——橫攔河身築壩於山峽，以節洪流，謂之攔洪水庫。水庫終年開啓，以便泄水，其泄水面積事先規定，苟流量增多，因有泄水機關之轄制，洪水不能一瀉而盡，剩餘之水，積於庫內，俟來水漸少，積餘之水，亦可逐漸排盡，其作用在使短期之洪水，於較長之時間內排出，洪水將由河道宣泄，不致漫溢河槽淹沒田舍也。水庫之適宜地點，就大體而言，須兩面皆山，上游寬廣為佳。

(卯)裁灣取直——裁灣取直之利益，在增加坡度及流速，縮短河道距離，流速既大，流量自然增加，上游洪水



位亦可降低,且泥沙可隨流以去,不致淤墊於河床也。裁灣最宜於自河口裁起,以免下游之不利。

(辰)分流——洪水期間,流量驟增,每漫隄潰決,如將水引入另一支流,以減殺水勢,謂之分流,分流須以不增加淤澱,為先決條件。

(巳)疏濬湖泊——沿江河之湖泊,有調劑水量之功能,必期其深而廣,以容多量之水,苟有淤塞,則功能失去,洪水一來,可立達下游,自易為患,晚近沿江湖泊多淤澱而失調劑之作用,疏濬亦惟一要圖。

(戊)疏濬沙洲——水流挾沙過多,則易沈澱,日積月累,在江心成一小島,謂之沙洲,沙洲阻礙流勢,必需疏通。

以上七種根本治理計劃,宜按兩河情勢實施,另分述於下,惟一二兩項可通用於江漢,故不再贅。

#### (丁)襄河整理概要

(子)攔洪水庫——沿襄河主要支流,約有三處,可添築水庫,其位置:屬丹江流域者,在淅川,屬堵水流域者,在離河口廿餘里山峽中;屬於南河流域者,在穀城西南約十里之謝家營。

(丑)分流——襄河河床,多較兩岸鄰地為高,分流最為適宜,而隄岸之高度,亦因容量減少,不致過高,查該河原有入江支流,積久淤塞,流量集中於主河之內,勢難渲洩。

故疏暢支流，以殺水勢，實爲目前之要圖。

(一)白水——自舊口鎮南，十里之大五廟，開河一道，引襄河分流入白水，經天門縣河入汴汭湖，轉新溝匯入澗水，復分二支：一支於新溝入主流，一支經淪水入江。

(二)東荆河——查東荆河河口淤塞，口門有梁灘，河水被阻，不得暢流，宜加以整理，使經沖河，長河，沌水，由沌口入江。

(三)牛蹄河——疏濬牛蹄河口俾河水之一部暢洩入牛蹄河至脈旺嘴再入襄河

(寅)裁灣——由漢川至楊池口，水道有五十餘里，如裁灣取直，長不過十餘里，今夏楊池口上一里許之尹家垸，及漢川附近之索子垸，均遭潰決，河道灣曲，乃一要因，裁灣取直後，既可免陡岸潰決，復可縮短航線，實一舉而兩得也。

#### (戌)長江上游整理概要

(子)攔洪水庫——長江上游支流甚夥，在四川內者，有岷，沱，渠，涪，烏，嘉陵等江及赤水河等，每屆汛期，山洪暴發，江流急驟，易成災患，故攔洪水庫實爲救濟之一法，其在岷江流域之地點，以樂山爲宜，在涪渠嘉陵等江上游之地點，以合川爲宜，攔洪水庫築後，洪水得以蓄納，下注之量自減矣。

(丑)疏濬洞庭湖——長江凡長六千餘里，沿途匯納八省河湖之水，流量至鉅，於洪水時期間，沿江湖泊，可調劑水量，而免氾濫，惟以年久失治，漸形淤塞，功用失矣，江水上游，所經地帶，多為山巒起伏之區，洪水為高山束挾，尚不致為害，及出巫峽，流經鄂湘平坦之地，流速銳減，泥沙沈下，江流由松滋、太平、藕池、調絃四口，灌入洞庭，於是淤澱日甚，儲量漸減，而失調劑之作用矣，故整理洞庭天然容水之量，實刻不容緩，整理之第一步，須禁止沿湖墾殖，以杜與水爭地之弊，然後濬深被淤部分，同時疏濬四口，洪水得以灌入無阻，如於四口，建築水閘，按時啟閉，以盡工人調劑水量之能事，則尤善也。

(寅)裁灣——長江由沙市至漢口，大灣小曲，不可勝述，如簾洲大灣，直距僅五里，水路則七十餘里，又如監利之車灣，直距不過五六里，水路亦七十餘里，似此等彎曲部分，可裁者裁去，則流速流量俱可增加，江水不紆迴旋曲，泥沙亦無沈澱之弊矣，惟此種工程，須統籌全局，同時並進，始可免利此而病彼之弊。

(卯)疏濬沙洲——長江流域，沙洲羅列，梗阻壅塞，為患至巨，宜一律消除之，計在江陵縣境者，有奪金、江心，突起、白沙、新淤等洲，在石首縣境者，有胡家大路、天心等洲，在嘉魚縣境者，有復興洲，何者宜穿挖，何者宜用水勢攻

刷，則更需詳細之測量與計劃，始可規定。總以使水渲洩無阻為鵠的。

(辰)限制民垸——幹隄築後，江邊淤起之沙地，人民多行墾種，圍埝成隄，與水爭地。但該項隄埝，多不堅固，沖刷即潰，害及幹隄。例如長江南岸谷花洲之葛成垸，潰口，及橫店子潰口，皆因民垸潰決後，幹隄難當猛流之沖激而致。懲前毖後，對於已有之民垸，高度宜加以限制，最高須低於幹隄若干尺，於隄外灘地，更嚴禁添修民垸，以免因小利而貽害大局也。

## 混 泥 土 之 新 趨 勢

丁 燮 和

混泥土 (Concrete) 爲洋灰 (Cement), 細沙 (Sand, or fine aggregate) 與石子 (coarse aggregate) 三者組合而成, 有時亦稱之爲三合土。此種混合體, 應用于建築工程, 遠在二百餘年前, 惟限于輕小建築, 因該時對於混泥土之性質, 研究甚少, 過大之應力, 是否能任載, 尙屬疑問, 加之鋼鐵發展, 早在混泥土發明之先, 建築工程較大者, 莫不使用鋼鐵, 最近數十年中, 關於混泥土之試驗, 進展極速, 混泥土任載壓應力 (Compressive Shess), 實較鋼鐵爲宜, 而其抵抗水火及各種氣體侵襲之能力, 尤非普通鋼鐵所能及。

吾國每年所用洋灰, 數量甚大, 據最近調查 (商業月刊, 第十二卷第九號) 國人自營之洋灰廠, 共有六家, 每年可出洋灰二百八十萬桶, 而銷于市上者爲二百五十萬桶, 下列第一表爲六廠家每年能產出洋灰之數量, 第二表爲六廠自民國九年至十九年每年產額增加情形。

第一表：國人自營洋灰每年產量能力

廠 名	地 址	每年產量(單位桶)
-----	-----	-----------

啓新洋灰	河北唐山	1,700,000
華記湖北水泥	湖北大冶	270,000
中國水泥	江蘇龍潭	750,000
華商上海水泥	上海龍華	480,000
廣州水門汀	廣東廣州	200,000
濟南致敬水泥	山東濟南	75,000
六廠合計		3,475,000

依每年銷售二百五十萬桶，約佔全產額百分之八十七。

第二表：國產洋灰十一年間產額數量

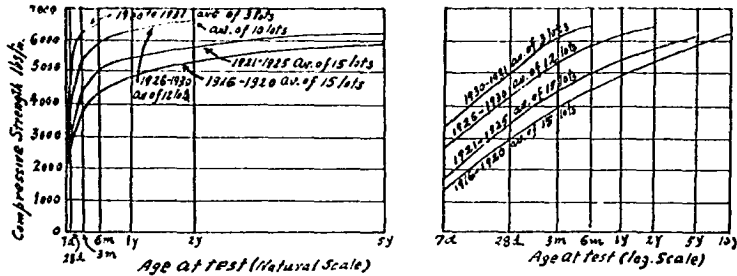
年 份	廠 名					
	啓 新	華 記	廣 州	華 商	中 國	濟 南
九 年	600,000	200,000	200,000	—	—	—
十 年	600,000	200,000	200,000	—	—	—
十一年	1,400,000	200,000	200,000	400,000	—	—
十二年	1,400,000	200,000	—	187,635	—	—
十三年	1,400,000	200,000	—	362,625	130,000	—
十四年	1,400,000	200,000	200,000	387,411	90,000	—
十五年	1,400,000	200,000	200,000	364,513	120,000	—
十六年	1,400,000	200,000	200,000	385,076	130,000	—
十七年	1,400,000	200,000	200,000	385,076	350,000	—
十八年	1,400,000	200,000	200,000	363,644	480,000	25,200
十九年	1,400,000	200,000	200,000	351,111	550,000	25,000

民國九年，六廠總產額爲1,000,000桶，而民國十九年增至2,726,000桶，十一年中，幾增三倍，由此可見混泥土應用於建築材料之發達矣。

國產洋灰數量，雖如上所述，而每年國外輸入之數量，亦復每年增加，民國十五年輸入之洋灰約910,000桶，而民國廿一年增至約1,400,000桶，是可證明近年國中建築事業之發達，而混泥土在建築材料中，佔有重要之位置更無可疑矣。

國人自營洋灰廠，雖有上述六所，但未聞對混泥土強度及製造有何研究工作發表，此或由於普通習慣，善仿造，不願深求改良，而經濟不充足，亦爲各廠家不能設備研究工作之一大原因，近二三十年中，混泥土發展如斯之速，實籍各國工程界不斷之努力，關於強度，製造，日見進步，美國洋灰公司聯合會 (Portland Cement association) 曾將近十餘年中關於混泥土強度進展情形，製成圖表 (第一圖，第二圖) 該項試驗始于一九一六年，至今仍繼續進行，未常間斷。

第一圖中左圖，混泥土收壓力試驗 (Compression test) 分五年爲一組，1916-1920組與1930-1931組，兩者相比較，六個月時應力之增加幾至2000磅，至兩年後，增加之數，亦復至千餘磅，右圖中之弧線，其比例尺爲對數，混泥土強度

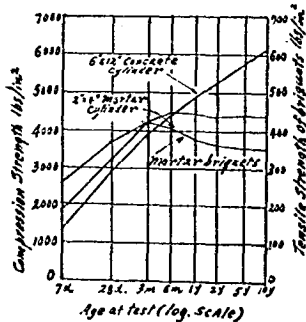


Note:— Two of the cement lots included in the curve for 1926-1930 are at 150 included in the Curve for 1930-1931

第 一 圖

十年間增加情形,更易明瞭,1916-1920與 1921-1925兩組中,由第七天起始,洋灰強度,即繼續增加不止,而其他兩組,其趨勢似于較短時間,強度可增至最高,以後結果,現雖不可知,但十年間洋灰強度之增加,于圖中可見一斑。

第二圖亦為該會所發表,將 混泥土,泥灰, (Mortar) 與 塑灰 (Briquette) 三者分別試驗,該項試驗起始於 1916 年,混泥土模型為 6"×12"之圓柱體,灰泥及塑灰二者之模型皆為 2"×4"之圓柱體,混泥土及灰泥試驗,為壓力試驗,塑灰為張力試驗,由第二



第 二 圖



圖,可知混泥土在不同時間中,強度繼續增加,十年間作有規則之昇高,灰泥及塑灰,在三個月與六個月之中,強度昇至最高點,以後十年中,即候漸減低,由此可知混泥土之強度,實與灰泥強度無相連關係。

第一圖所示混泥土強度增高情形,造成之原因雖多,但主要原因,乃近數年對於混泥土組合 (composition) 之改革,洋灰中原素之變換,以及製造時溫度及濕度之適宜,且混泥土強度,更非建築工程中惟一條件,關於混泥土之工作能力 (Workability) 以及土質之密度,更須加以特別注意,是故三者有相連關係,而研究混泥土之新傾向,乃注重三者將若何相配合,可成爲理想之混泥土,現將此問題略分二節如下。

#### (一)混泥土之組合

#### (二)溫度對於混泥土強度之影響

##### (一)混泥土之組合

洋灰,細沙與石子三者組合之量,當視各項工程所須而定,組合之貧富 (Lean and Rich),非特有關於經濟,且對於混泥土之工作能力及密度影響甚大,普通所常用之組合,其形式約爲 1:2:4; 1:3:6; ..... 等,理想之混泥土須強度大,工作能力高而性質緊密 (Dense),石子之級分, (aggregate grading) 實爲支配此三者之重要分子,蓋石子之一種級

分,實合於一種組合,例如 1:2:4; 而不適合於其他組合,當混泥土中洋灰數量與最大石子粒塊(Maximum size)有何變更,則必須變更石子之級分以應用於此新定之組合。是故當建築工程地址附近之石子,不能適用於已定之組合,或須化費多數金錢,由遠處運輸,則所定之組合,可稍加以變換,以配合易於供給之石子級分,而使混泥土之強度,工作能力以及密度與原來計劃相近似。愛爾蘭 N. H. Walsh 教授,對於各種組合應用之限制,曾作若干試驗,彼將普通所用之組合形式,寫為  $1:n:2n$ , 而求每一種組合相宜之石子級分。

第三表為  $1:n:2n$  形式之組合改為洋灰與混合石子 (mix aggregate) 二者體積之比,此表中所用之組合為四種,先將最大石子粒塊固定,以後詳加分析,求出石子級分,作成標準弧線如第三第四兩圖。

第 三 表

組 合	混泥土每立方碼之重	相等洋灰與混合石子之比
1:1:3	620 磅	1:3.8
1:2:4	500 磅	1:4.9
1:2½:5	410 磅	1:6.0
1:3:6	330 磅	1:7.4

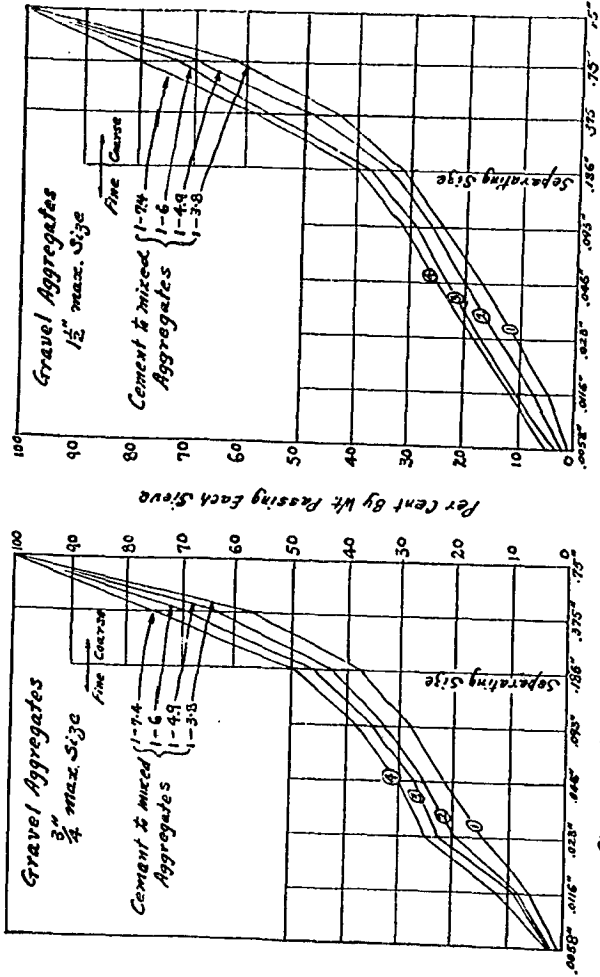
第三圖所用之礫石(gravel)最大粒塊為  $\frac{3}{4}$  英寸,第四圖

中所用者爲 $1\frac{1}{2}$ 英寸，兩圖中之標準弧線爲四，即第三表中之四種組合，故當任何混合石子之級分與弧線中之一相近，則用該綫所定洋灰與混合石子之比例製成之混泥土，其強度及密度必較高而合於實際應用，設級分作出之弧線在圖中標準弧線之上，則依照此綫所定之比例，混泥土之工作能力可增高，但強度減低矣。

Walsh教授在上述四種組合中，用 $\frac{5}{16}$ 英寸分細沙與石子之界限，即每種組合中之細沙皆小於 $\frac{5}{16}$ 英寸而石子皆大於 $\frac{5}{16}$ 英寸，前者之體積爲後者之半，即其比爲1:2。在普通情形之下，石子級分弧線與分界綫(Seperating line)相交於百分數三十四與三十六之間，或可定爲百分數三十五之點，惟細沙與石子之分界，須十分精密，始能得上述之結果，若石子中含有若干細沙，弧線即交於百分數三十六點之上，設二者之分界雖十分精密，而沙中含有過多之水分，則每立方尺之細沙，實在重量較沙乾燥時爲輕，當比例仍爲1:2時，則作出之級分弧線或即與分界綫交於百分數三十四點之下。

第二圖中1:1 $\frac{1}{2}$ :3組合之標準弧線(1)，交分界綫于百分數三十七之點，當細沙爲中等大小，礫石細度(Finenss)不高，則此種組合製成之混泥土，強度及工作能力較高而性質亦密，設石子最大粒魄改爲1 $\frac{1}{2}$ 英寸(第四圖)此同樣

Prof. Walch's Diagrams



Sieve Openings (ins.)

第 三 圖

Sieve Openings (ins.)

第 四 圖

組合之標準弧線交分界線于百分數三十二又十分之一點處,即此時石礫之級分較第三圖中者為低 (coarse), 故製成之混泥土工作能力加高,但當沙之細度過高時,強度即減低矣。

第三圖中 1:2:4 組合之標準弧線交分界線于百分數四十三點處,若沙之細度不高,而石子中含有較  $\frac{3}{16}$  英寸小之少量粒塊,則混泥土之工作能力大,設礫石之最大粒塊改為  $1\frac{1}{2}$  英寸,則用此組合製成之混泥土,結果最好,此時石子之級分交分界線于百分數三十三又十分之八點處,所用石子為中號大小,而每立方碼混泥土中有五百磅之洋灰,則 1:2:4 為最好組合。

其餘 1:2 $\frac{1}{2}$ :5 及 1:3:6 兩種組合,當礫石最大粒塊為  $\frac{3}{4}$  英寸時,其標準弧線交分界線于百分數四十七及四十九點(第三圖),此為不甚適宜之組合,因工作能力較低故也,設將沙之細度加高,而石子中含有多量較小于  $\frac{3}{16}$  英寸之粒塊,換言之,即沙與石子二者體積之比非作 1:2,而令沙之體積增大,則此兩種組合製成之混泥土,工作能力可增高但其強度仍低。

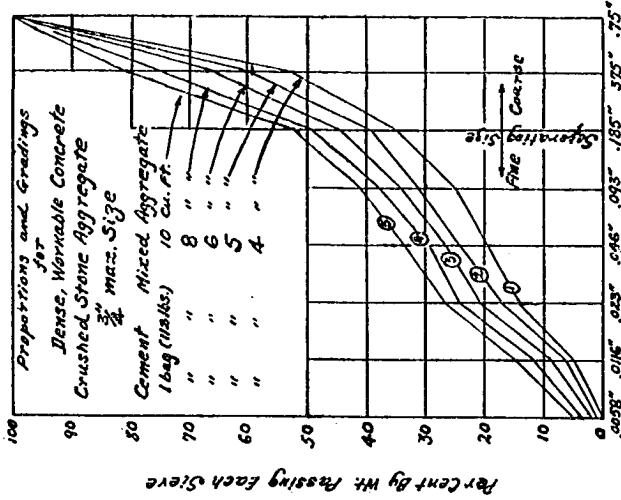
設礫石之最大粒塊為  $1\frac{1}{2}$  英寸, (第四圖), 1:2 $\frac{1}{2}$ :5 及 1:3:6 兩種組合之標準弧線交分界線于百分數三十七及三十九又十分之八點處,此較于第三圖中者為低,故 1:2 $\frac{1}{2}$ :5

組合,適合應用,而 1:3:6 組合,似仍不適宜。

綜合以上各節,吾人可知 1:1½:3 與 1:2:4 兩種組合,所以盛行應用于工程中者,實有科學根據爲其後盾,而 1:n:2n 形式之組合,應用時更須有一定之限制,在各種不同情形之下,變更石子之級分,或變換洋灰與混合石子二者體積之比,務使製成之混泥土,其強度,密度及工作能力同時平均發展。

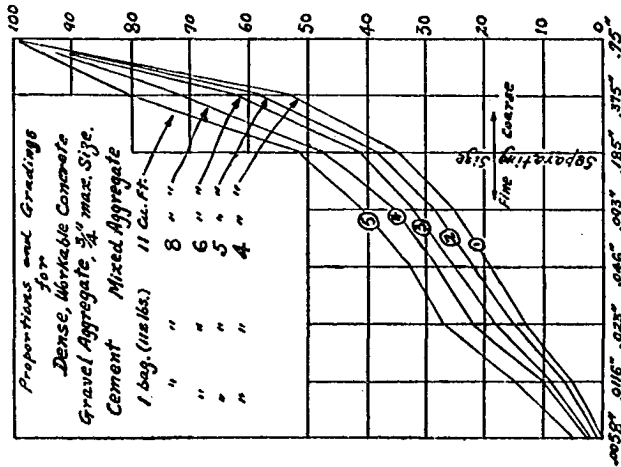
洋灰體積,混合石子體積,及石子級分,三者之關係,既如上所述,現可將洋灰之體積固定,作爲單位,用各種不同混合石子之體積,求出合宜之石子級分, Walsh 教授所定之洋灰體積單位爲一袋 (bag), 重一百一十二磅, 與混合石子各種體積相組合, 決定石子之最高級分, 第五至第八等四圖爲該石子級分之弧線, 各圖之性質可由第四表知之, 現用此四圖, 可決定最適宜之石子級分, 例如第五圖弧線 (3), 代表一袋洋灰與六立方英尺之混合石子相組合時之石子級分, 礫石最大粒塊爲  $\frac{3}{4}$  英寸, 調治時加以適合之水量, 所得之混泥土, 強度及工作能力皆能達較高之標準, 設現將上述之石子級分減低 (即弧線在 (3) 之下), 依舊用原來洋灰與混合石子體積之比, 加水後結度 (Consistency) 仍不變, 則製成之混泥土性質必較粗裂 (harsh), 同樣如將石子級分改高 (即弧線在 (3) 之上) 則混泥土工作能力加高, 同時強度減低而性質亦見稀鬆。

Prof. WALSH'S Diagrams



Sieve Openings (Ins.)

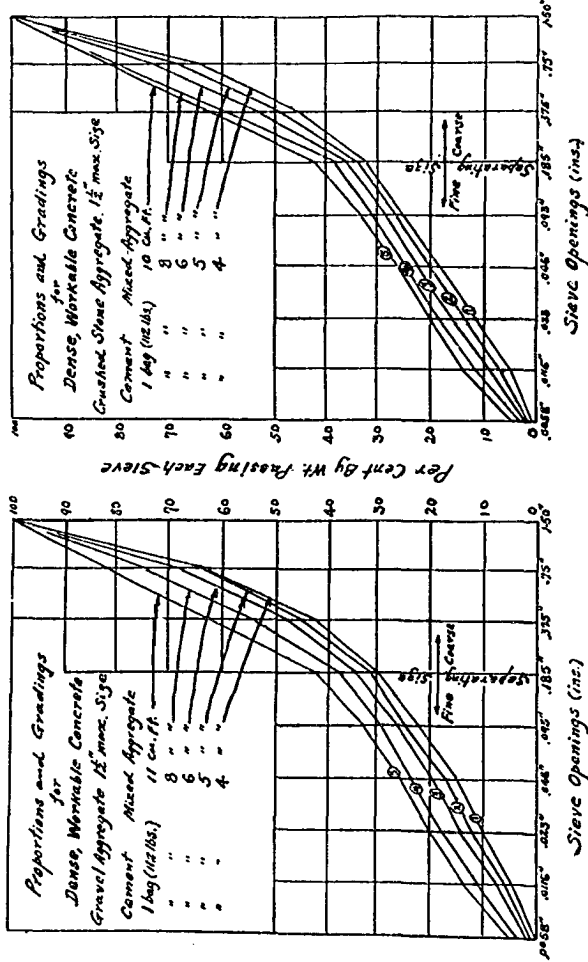
第 六 圖



Sieve Openings (Ins.)

第 五 圖

Prof. Walsli's Diagrams



第七圖

第八圖



第 四 表

圖 別	石 子 種 類	最大石子粒塊
第五圖	礫石(Gravel)	$\frac{1}{2}$ 英寸
第六圖	碎石(Crushed Stone)	$\frac{1}{2}$ 英寸
第七圖	礫石	$1\frac{1}{2}$ 英寸
第八圖	碎石	$1\frac{1}{2}$ 英寸

現設石子級分,已有一定之規定,不加改變,而令洋灰與混合石子之體積變動,例如混合石子爲六立方英尺,而所用之洋灰不足一袋,則混泥土之密度或加增,但性質變成粗裂,若所用之洋灰多于一袋,則混泥土之強度及工作能力皆加大,而密度減低矣。

Walsh 教授假定第五圖至第八圖中之弧線,兩兩互成爲一帶,故每圖中共有四帶,當任何一石子級分弧線,完全間于一帶之中,則以此級分所造成混泥土,其性質與造成此帶之級分弧線所得結果相近,例如一種混合石子,加分析後,級分弧線在第五圖(3)與(4)所成之帶內,則應用之洋灰與混合石子體積之比例,須依(3)所指定(洋灰一袋,與石子六立方英尺數組合),而成立之混泥土,必能滿意。

設欲所製成之混泥土,更近理論,可令所用洋灰與混合石子體積之比,爲此帶兩弧線所指定之平均數,則最

適合之石子級分，亦即兩級分弧線之平均數，例如洋灰一袋，與混合石子七立方英尺相組合，應用之石子級分，可假定在弧線(3)與(4)之間，此雖不甚精確，其結果已足宜于實際應用。

### (二)熱度對於混泥土之影響。

當洋灰與混合石子用水拌調後，任其自動變硬，其中常發生甚高之熱量，此影響于混泥土之強度甚大。若干大塊混泥土(mass concrete)建築物，常因此而發生裂痕，對於水利工程如水池(Water Tank)壩壩(Dams)等，此更爲不可有之現象，其發生之原因，大致爲混泥土變硬時，起水化作用(Hydration)，混泥土因溫度之改變而伸縮，以致發生裂痕，最近工程界，對混泥土之溫度，皆加以特別注意。普通將洋灰中之原素，加以變更，使水化作用時，發熱甚低，通稱之爲低熱洋灰(Low-heat Cement)美國荷佛壩(Hoover Dam)所用之洋灰，所定標準爲每一格(gram)洋灰，在七天後，發生熱量不得超過六十個克拉兒(caloric)而二十八天後不得超過八十個克拉兒，相似之低溫度，亦曾施用于美之巴開雍壩(Pine Cayon Dam)，該處所定之標準爲每格洋灰，七天後所生熱量不得超過六十五個克拉兒，二十八天後不得超過八十克拉兒。

洋灰中所含各種原素，發熱最多者當爲 Tricalcium alu-

minate, 給熱常在混泥土起始硬化時, 其次即為Tricalcium silicate, 給熱常在一天與七天之間, 給熱最少者為 dicalcium silicate 與 tetracalcium alumino-ferrite. 關於各種原素給熱情形, 由第五表可知其大概。

第五表：一各重要原素給熱之數量(一年後)

(每一格洋灰中1%原素所給之熱量)

$3CaO \cdot Al_2O_3 \dots\dots\dots 2.00 \pm .12 \text{ Cal.}$

$3CaO \cdot SiO_2 \dots\dots\dots 1.362 \pm .33 \text{ Cal.}$

$Fe_2O_3 \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 \dots\dots\dots 0.30 \pm .11 \text{ Cal.}$

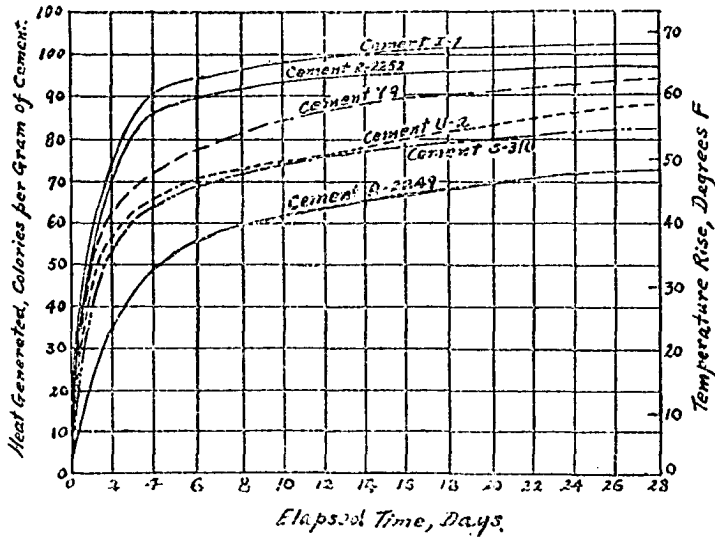
$2CaO \cdot SiO_2 \dots\dots\dots 0.621 \pm .28 \text{ Cal.}$

關於洋灰原素給熱情形, California 大學, Berkeley 曾作同樣之試驗, 用若干成分不同之洋灰, 測量水化作用時, 混泥土中發生之熱量, 以及強度與體積之變化, 第九圖所示, 即熱度增加情形, 該項試驗所用之混泥土模型為圓柱體, 洋灰與混合石子體積之比為 1:95, 灰水比 (Water-Cement Ratio) 為 .56, 降落 (Slump) 為三英寸, 試驗室中之溫度, 用自動管理方法, 令隨時與混泥土之溫度相等, 第十圖為該項試驗中對於洋灰幾種原素發生熱量之結果。

第九圖中, 六種洋灰, 含有多量Tricalcium aluminate 與 Tricalcium silicate 成分者, 所給之熱量甚大, 含有多量之 dicalcium silicate, 為低熱洋灰, 圖中最高弧線代表早期高強洋

灰(High early strength cement)性質,最下之弧線,近似低熱洋灰。

水化作用所發生之熱度,與混泥土抗挫強度(Crushing strength)二者之關係,亦曾作同樣之試驗,其結果為高熱洋灰,壓應力亦高,大塊混泥土在二十八天後其强度高

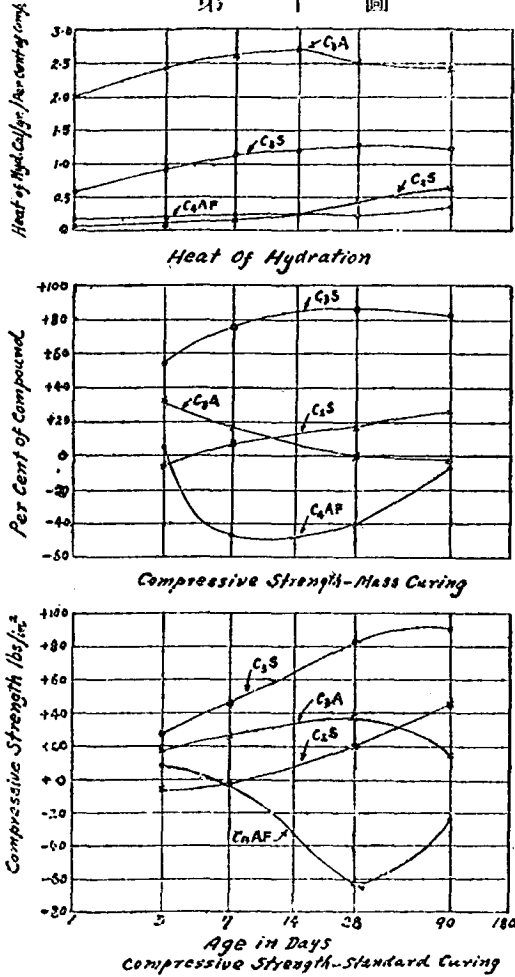


第九圖

于普通製成之混泥土,至九十天後,其相差之數大減,待時間愈久,其相差愈微,或至相反,故低熱洋灰經過較長時間,可達甚大之強度,而高熱洋灰反較低小。

第 十 圖

英國房屋建築研究所(Building Reserch Station)曾用一簡便方法,可直接測定混凝土中溫度之變化,同時並能記錄混凝土之強度,該所用作試驗之洋灰為普通 Portland Cement 與富有 aluminum 之洋灰兩種,混凝土之組合為 1:2:4 重量之比,灰水比為百分之六十,每組試驗所用之模型為二十四個圓柱,體高六英寸,直徑

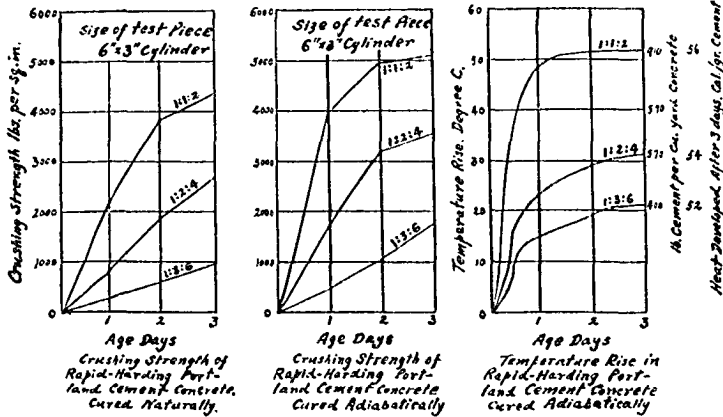


三英寸,其中十二個調和之溫度為 $17^{\circ}\text{C}$ ,其餘者為等溫(adiabatic curing)將混泥土調治後,貯入金屬圓筒模型內,兩端嚴密封閉,使筒內與筒外之水汽,不得互相傳遞,當洋灰為普通 Portland Cement 而拌調時溫度與大塊混泥土中心之溫度相等,換言之,即為相等溫度試驗結果,混泥土強度之發展,較普通溫度拌調之混泥土為速,當用快硬性洋灰(Rapid-Hardening Portland Cement)作試驗時,上述現象,尤更明顯。

該所另有兩組試驗,變換洋灰之數量,以察看混泥土強度所收之應響,第一組為快硬性洋灰,混泥土重量之組合為 1:1:2; 1:2:4; 及 1:3:6 三種,各種所用之水量為洋灰重量之百分之四十五,六十五,及七十五,試驗所用之模型為高六英寸,直徑三英寸之圓柱體,混泥土調和後三天內每天測得之溫度其增加情形如第十一圖,其強度在大塊中心較表面約高百分之三十,富有aluminium之洋灰,亦曾作同樣之試驗,混泥土所用之組合為 1:2:4, 1:3:6 及 1:4:8 三種,試驗所得之結果,若混泥土為大塊情形時,其強度較普通製成者為小。

由已上之三種試驗,可知洋灰中含有多量 Tricalcium almuinate 成分者,發熱必高,不宜用于大量混泥土建築工程中,其強度發展雖較他種混泥土為速,但經過長久之

時間,強度反較底熱洋灰爲小。



第 十 一 圖

結 論

混凝土之進展,日新月異,近數年來,國內工程界雖有急迫之心,但多半困于經濟設備不易,而國事如斯,百業皆在無形停頓中,各廠家祇求維持現狀,無暇他顧,本篇所取材料,多半取自英美人民研究所得之結果,茲將參考材料列後,以便讀者檢閱。

本文參考文獻:一

商業月刊(十二卷第九號)

新中華(第二卷第三期)

Taylor Thompson and Smulski; Concrete Plain and Reinforced.

Vol. I

Adams; Element; of Reinforced Concrete Design (1933)

Turner and Lakeman; Concrete construction made Easy (1929)

Engineering News Record; March 9, 16; April 6, 20; December

7, 21; 1933

Concrete and Constructional Engineering;

No. 2, February; 1933

No. 3, March; 1933

No. 12, December; 1933

Civil Engineering; No. 329, November, 1933

No. 331 January, 1934

二十三年四月廿日,武大.



THE METHOD OF SUCCESSIVE INCREMENTS  
AND ITS APPLICATIONS TO  
PROBLEMS ON RIGID FRAME STRUCTURES.

俞 德

The Method.

Let a set of first degree simultaneous equations involving  $x, y, z, \dots$  be written as

$$x = a_1 + a_2 y + a_3 z + \dots,$$

$$y = b_1 + b_2 x + b_3 z + \dots,$$

$$z = c_1 + c_2 x + c_3 y + \dots,$$

.....

Let

$$dx = a_1,$$

$$dy = b_1,$$

$$dz = c_1,$$

.....

$$d^2 x = a_2 d^{n-1} y + a_3 d^{n-1} z + \dots,$$

$$d^2 y = b_2 d^{n-1} x + b_3 d^{n-1} z + \dots,$$

$$d^2 z = c_2 d^{n-1} x + c_3 d^{n-1} y + \dots,$$

.....

then

$$x = d x + d^2 x + d^3 x + \dots,$$

$$y = d y + d^2 y + d^3 y + \dots,$$

$$z = d z + d^2 z + d^3 z + \dots,$$

.....

provided the series are convergent.

*Example.*—Solve

$$x = -0.2 y - 0.3 z + 10 \dots \dots \dots (1)$$

$$y = -0.35 x - 0.15 z + 20 \dots \dots \dots (2)$$

$$z = -0.25 x - 0.25 y + 30 \dots \dots \dots (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Let } dx &= 10 \dots \dots \dots (4) \\ dy &= 20 \dots \dots \dots (5) \\ dz &= 30 \dots \dots \dots (6) \\ d^2x &= -0.2 d^{n-1}y - 0.3 d^{n-1}z \dots \dots \dots (7) \\ d^2y &= -0.35 d^{n-1}x - 0.15 d^{n-1}z \dots \dots \dots (8) \\ d^2z &= -0.25 d^{n-1}x - 0.25 d^{n-1}y \dots \dots \dots (9) \end{aligned}$$

We have

$$\begin{aligned} d^2x &= -0.2 \times 20 - 0.3 \times 30 = -4 - 9 = -13, \\ d^2y &= -0.35 \times 10 - 0.15 \times 30 = -3.5 - 4.5 = -8, \\ d^2z &= -0.25 \times 10 - 0.25 \times 20 = -2.5 - 5 = -7.5. \end{aligned}$$

The other increments are calculated in a similar manner. The detail calculations are put in a tabular form, and are shown in Table 1.

Instead of using equation (9), the increments of  $z$  may be calculated from the following equations:—

$$d^2z = -0.25(d^2x + d^2y) \dots \dots \dots (10)$$

$$d^2z = -0.25 d^2x - 0.25 d^2y \dots \dots \dots (11)$$

the first equation being used for the second increment only, while the second equation being used for all other increments. With equations (7), (8), (10) and (11), the unknown quantities are again calculated in Table 2. By comparing Tables 1 and 2, we see that much labour can be saved by this simple expedient.

In the course of calculations, errors often creep in, so the results obtained may not be quite correct. Let  $x_1$ ,  $y_1$  and  $z_1$  be a set of approximate values of  $x$ ,  $y$ , and  $z$ . By substituting  $x_1$ ,  $y_1$  and  $z_1$  in equations (1), (2) and (3), a second set of approximate values  $x_2$ ,  $y_2$  and  $z_2$  may be obtained. Let

$$dx_2 = -0.2(y_2 - y_1) - 0.3(z_2 - z_1),$$

$$dy_2 = -0.35(x_2 - x_1) - 0.15(z_2 - z_1),$$

TABLE 1. EVALUATION OF  $x$ ,  $y$ , AND  $z$ .

	Equation	INCREMENT										Total	Check
		2nd.	3rd.	4th.	5th.	6th.	7th.	8th.	9th.	10th.	11th.		
$x$	-0.2 $y$	-4	1.6	-1.133	0.487	-0.261	0.116	-0.062	0.030	-0.015	0.008	-1.130	-3.296
	-0.3 $z$	-9	2.25	-1.575	0.715	-0.364	0.184	-0.091	0.046	-0.023	0.011		-7.852
	10	-13	3.85	-2.710	1.142	-0.625	0.300	-0.153	0.076	-0.038	0.019		-1.145
$y$	-0.35 $x$	-3.5	4.55	-3.348	0.949	-0.400	0.219	-0.105	0.054	-0.027	0.013	16.452	0.320
	-0.15 $z$	-4.5	1.125	-0.788	0.337	-0.182	0.092	-0.045	0.023	-0.011	0.006		-3.920
	20	-8.0	5.075	-2.136	1.306	-0.752	0.311	-0.150	0.077	-0.038	0.019		16.473
$z$	-0.25 $x$	-2.5	3.25	-0.998	0.478	-0.258	0.136	-0.075	0.038	-0.019	0.010	26.174	0.283
	-0.25 $y$	-5.0	2	-1.419	0.534	-0.327	0.166	-0.078	0.038	-0.019	0.010		-4.121
	30	-7.5	0.25	-2.382	1.212	-0.613	0.302	-0.138	0.070	-0.038	0.020		26.164

TABLE 2. EVALUATION OF  $x$ ,  $y$ , AND  $z$ .

	Equation	II	III	IV	V	VI	Total
$x$	-0.2 $y$	-4	1.6	-0.978	0.105	-0.024	-1.147
	-0.3 $z$	-9	0.675	0.537	-0.073	0.011	
	10	-13	2.275	-0.441	0.032	-0.013	
$y$	-0.35 $x$	-3.5	4.55	-0.796	0.154	-0.011	16.474
	-0.15 $z$	-4.5	0.338	0.269	-0.036	0.006	
	20	-8.0	4.888	-0.527	0.118	-0.005	
$z$	-0.25 $x$	0.75	-0.569	0.110	-0.008	0.004	26.168
	-0.25 $y$	-3	-1.222	0.132	-0.030	0.001	
	30	-2.25	-1.791	0.242	-0.038	0.005	

TABLE 3. EVALUATION OF  $x$ ,  $y$  AND  $z$ .

	Equation	Approx. value	Check	Difference	INCREMENT				Total
					I	II	III	IV	
$x$	-0.2 $y$	$x_1 =$ 1.147	- 3.215	$x_2 - x_1 =$ -1.312	-0.010	-0.016	-0.030	-0.012	-1.142
	-0.5 $z$		- 0.950		-0.758	-0.146	0.032	0.002	
	10		$x_2 = -0.165$		-0.765	-0.162	-0.037	-0.010	
$y$	-0.35 $x$	$y_1 =$ 16.074	- 0.401	$y_2 - y_1 =$ 0.050	0.459	0.269	0.057	0.013	16.472
	-0.15 $z$		- 5.475		-0.579	-0.073	0.001	0.001	
	20		$y_2 = 16.124$		0.050	0.050	0.196	0.053	
$z$	-0.25 $x$	$z_1 =$ 23.168	- 0.287	$z_2 - z_1 =$ 2.526	0.520	0.011	0.009	0.003	26.166
	-0.25 $y$		- 4.019		-0.033	-0.019	-0.015	-0.004	
	30		$z_2 = 25.694$		0.487	-0.008	-0.006	-0.001	

$$d^2 z_2 = -0.25(x_2 - x_1 + d^2 x_2) - 0.25(y_1 - y_2 + d^2 y_2),$$

$$d^2 x = -0.2 d^{n-1} x_2 - 0.3 d^{n-1} z_2,$$

$$d^2 y_2 = -0.55 d^{n-1} x_2 - 0.15 d^{n-1} z_1,$$

$$d^2 z_2 = -0.25 d^{n-1} x_2 - 0.25 d^{n-1} y_2,$$

then  $x = x_2 + d^2 x_2 + d^4 x_2 + \dots,$

$$y = y_2 + d^2 y_2 + d^4 y_2 + \dots,$$

$$z = z_2 + d^2 z_2 + d^4 z_2 + \dots.$$

Table 3 gives an example of calculating values of  $x$ ,  $y$  and  $z$  from a set of approximate or assumed values.

### The Theory of Rigid Frame Structures.

Let  $OABCDE$  (Fig. 1) be a continuous line of members in a rigid frame structure. Let

$A$  = cross sectional area of any member  $AB$ ,

$I$  = moment of inertia of any member  $AB$ ,

$l$  = length of any member  $AB$ ,

$\theta$  = inclination of any member  $AB$ ,

$S$  = direct stress in any member  $AB$ ,

$E$  = elastic modulus,

$M$  = moment at any point on the line,

$ds$  = elemental length of the line.

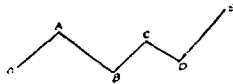


Fig. 1.

Taking  $O$  as the origin of the co-ordinates, let  $(x_a, y_a)$  be the co-ordinates of any point  $A$ . Let  $\Delta_x, \Delta_y$  and  $\Delta_z$  be respectively the horizontal, vertical and angular deflections of point  $O$  relative to point  $E$ ; then

$$E \Delta_x = \sum \int_A^B \frac{M y ds}{I} + \sum \frac{S l \cos \theta}{A} \dots \dots \dots (12)$$

$$E \Delta_y = \sum \int_A^B \frac{M x ds}{I} - \sum \frac{S l \sin \theta}{A} \dots \dots \dots (13)$$

$$E \Delta_z = \sum \int_A^B \frac{M ds}{I} \dots \dots \dots (14)$$

where the summations are to include all the members between points

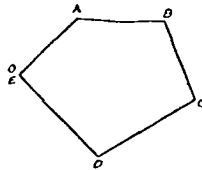


Fig. 2.

$O$  and  $E$ . Now points  $O$  and  $E$  may coincide and rigidly connected together, so that the line  $OABCDE$  becomes actually a closed polygon (Fig. 2); then the deflection of point  $O$  relative to point  $E$  will be zero in every direction, and equations (12) to (14) become

$$\sum \int_A^B \frac{M y ds}{I} + \sum \frac{S l \cos \theta}{A} = 0 \dots \dots \dots (15)$$

$$\sum \int_A^B \frac{M x ds}{I} - \sum \frac{S l \sin \theta}{A} = 0 \dots \dots \dots (16)$$

$$\sum \int_A^B \frac{M ds}{I} = 0 \dots \dots \dots (17)$$

Let 
$$u_{n,1} = \frac{1}{l} \int_a^l (l-s) M ds \dots \dots \dots (18)$$

$$\alpha_{n,1} = -\frac{1}{EI} \int_0^l s M ds \dots \dots \dots (19)$$

then

$$\int_0^l \frac{M}{I} ds = \int_0^l \left\{ \frac{y_1(l-s)}{l} M + \frac{y_2 s}{l} M \right\} ds$$

$$= y_1 \alpha_{1n} - y_2 \alpha_{n,1},$$

$$\int_0^l \frac{M x ds}{I} = x_a \alpha_{1n} - x_b \alpha_{n,1},$$

$$\int_0^l \frac{M ds}{I} = \alpha_{1n} - \alpha_{n,1};$$

and equations (15) to (17) become

$$\Sigma \left\{ y_1 \alpha_{1n} - y_2 \alpha_{n,1} + \frac{Sl \cos \theta}{A} \right\} = 0 \dots \dots \dots (20)$$

$$\Sigma \left\{ x_a \alpha_{1n} - x_b \alpha_{n,1} - \frac{Sl \sin \theta}{A} \right\} = 0 \dots \dots \dots (21)$$

$$\Sigma (\alpha_{1n} - \alpha_{n,1}) = 0 \dots \dots \dots (22)$$

The geometrical meanings of  $\alpha_{1n}$  and  $\alpha_{n,1}$  are simply the angles between the original axis of the member  $AB$  and the tangents at points  $A$  and  $B$  to the elastic curve of the member multiplied by the elastic modulus  $E$  (Fig. 3). If both ends of the member are fixed in directions as well as

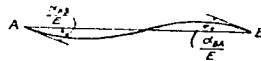


Fig. 3.

in positions, then

$$\alpha_{1n} = \alpha_{n,1} = 0.$$

The relations between  $\alpha_{1n}$ ,  $\alpha_{n,1}$ , the end reactions  $R_1$ ,  $R_2$  and end moments  $M_{AB}$ ,  $M_{n,1}$  for the loading shown in Fig. 4, are as follows:—

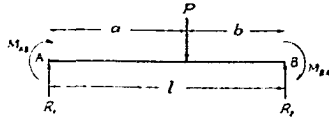


Fig. 4.

$$\alpha_{AB} = \frac{l}{6I} (2 M_{AB} - M_{BA}) + \frac{1}{6Il} P b (l^2 - b^2),$$

$$\alpha_{BA} = \frac{l}{6I} (2 M_{BA} - M_{AB}) - \frac{1}{6Il} P a (l^2 - a^2),$$

$$\alpha_{AB} - \alpha_{BA} = \frac{l}{2I} (M_{AB} - M_{BA}) + \frac{P a b}{2I},$$

$$M_{AB} = \frac{2I}{l} (2 \alpha_{AB} + \alpha_{BA}) - \frac{P a b^2}{l^2},$$

$$M_{BA} = \frac{2I}{l} (\alpha_{AB} + 2 \alpha_{BA}) + \frac{P a^2 b}{l^2},$$

$$R_1 = -\frac{1}{l} (M_{AB} + M_{BA}) + \frac{P b}{l} = -\frac{6I}{l^2} (\alpha_{AB} + \alpha_{BA}) + \frac{P b^2}{l^2} (3a + b),$$

$$R_2 = \frac{1}{l} (M_{AB} + M_{BA}) + \frac{P a}{l} = \frac{6I}{l^2} (\alpha_{AB} + \alpha_{BA}) + \frac{P a^2}{l^2} (a + 3b).$$

The corresponding relations for other loading conditions can be obtained from these relations by superimposing.

### Wind Stresses: Building with a Vertical Axis of Symmetry.

Let Fig. 5 represent a two-storied building with a horizontal load  $P$  at each of the floor levels. Let

$l$  = length of all the horizontal members,

$I$  = moment of inertia of all the horizontal members,

$h$  = length of all the vertical members,

$I_2$  = moment of inertia of all the vertical members,

$$K_1 = \frac{I_1}{l}, \quad K_2 = \frac{I_2}{h}, \quad \frac{K_2}{K_1} = 2.$$

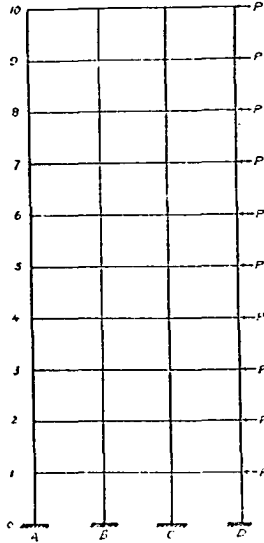


Fig. 5.

For convenience, we shall designate each joint of the building by a letter and a number; for example, the point of intersection of column  $X$  and the  $n$ th. floor beam will be known as joint  $Xn$ . Let  $M_{Xn(n+1)}$  and  $M_{X(n+1)n}$  be the moments at the ends of column  $Xn-X(n+1)$ . Let  $M_{nXY}$  and  $M_{nYX}$  be the moments at the ends of beam  $Xn-Yn$ . Let

$$\alpha_{Xn(n+1)} = -\frac{1}{6} K_2 \left( 2 M_{Xn(n+1)} - M_{X(n+1)n} \right),$$



$$\alpha_{N(n+1)n} = \frac{1}{6 A_2} \left( 2 M_{N(n+1)n} - M_{Xn(n+1)} \right),$$

$$\alpha_{nXY} = \frac{1}{6 A_1} \left( 2 M_{nXY} - M_{nYX} \right),$$

$$\alpha_{nYX} = \frac{1}{6 A_1} \left( 2 M_{nYX} - M_{nXY} \right).$$

On neglecting the effect of direct stresses, by equations (20) to (22), we have

$$h(\alpha_{X(n+1)n} - \alpha_{(n+1)XY} + \alpha_{(n+1)YX} - \alpha_{Y(n+1)n}) = 0,$$

$$l(\alpha_{(n+1)YX} - \alpha_{Y(n+1)n} + \alpha_{Yn(n+1)} - \alpha_{nXY}) = 0,$$

$$\alpha_{Xn(n+1)} - \alpha_{X(n+1)n} + \alpha_{(n+1)XY} - \alpha_{(n+1)YX} + \alpha_{Y(n+1)n}$$

$$- \alpha_{Yn(n+1)} + \alpha_{nXY} - \alpha_{nYX} = 0.$$

Let  $\alpha_{X(n+1)n} - \alpha_{(n+1)XY} = \beta_{(n+1)s}$ ,

then

$$\alpha_{Y(n+1)n} - \alpha_{(n+1)YX} = \alpha_{Xn(n+1)} - \alpha_{nXY} = \alpha_{Yn(n+1)} - \alpha_{nYX} = \beta_{n+1}.$$

Since the building is symmetrical about a vertical axis, the moments for points on the right side of the axis are exactly same as those for the corresponding points on its left side. The direct stresses in the columns on the two halves of the building are also equal in numerical values, but opposite in directions. Since the effect of direct stresses has been neglected, the joints  $An$ ,  $Bn$  and  $Cn$  remain at the same level after the distortion of the building, we have

$$\alpha_{nBA} = \alpha_{nBC}$$

The moment equations for joints  $An$  and  $Bn$  are

$$\begin{aligned} M_{An(n-1)} + M_{nAB} + M_{An(n+1)} \\ = 2 K_2 (2 \alpha_{An(n-1)} + \alpha_{A(n-1)n}) + 2 K_1 (2 \alpha_{nAB} + \alpha_{nBA}) \\ + 2 K_2 (2 \alpha_{An(n+1)} + \alpha_{A(n+1)n}) \end{aligned}$$

TABLE 4. EVALUATION OF  $a_{i,1B}$ 'S AND  $a_{i,4A}$ 'S

	Equation	$d^2\alpha$	$d^3\alpha$	$d^4\alpha$	$d^5\alpha$	$d^6\alpha$	$d^7\alpha$	$d^8\alpha$	$\alpha$
$a_{1AB}$	-0.21053 $a_{1B,1}$	0.03571	0.00185	0.00065	0.00019	0.00006	-0.00001	—	-0.23307
	0.21053 $a_{2B,1}$	-0.03116	-0.01177	-0.00039	-0.00019	0.00002	-0.00003	0	
	-0.25	0.00378	-0.00692	0.00060	-0.00014	0.00005	-0.00004	—	
$a_{1BA}$	-0.03571 $a_{1,1B}$	0.00185	0.00013	0.00025	-0.00002	0.00002	-0.00002	—	-0.19788
	0.11286 $a_{2,1B}$	-0.03116	-0.00450	-0.00050	-0.00028	0.00002	-0.00002	0.00001	
	-0.11286	-0.02393	-0.00016	-0.00025	-0.00030	0.00001	-0.00002	0.00001	
$a_{2AB}$	0.21053 $a_{1B,1}$	-0.03571	-0.00185	-0.00065	-0.00019	-0.00006	0.00001	—	-0.20160
	-0.21053 $a_{2B,1}$	0.03116	0.01177	0.00039	0.00019	-0.00002	0.00003	—	
	0.21053 $a_{3B,1}$	-0.02820	-0.01037	-0.00148	-0.00050	-0.00009	—	-0.00001	
$a_{2BA}$	-0.22393	-0.03116	-0.00317	-0.00018	0.00014	-0.00007	0.00004	-0.00001	-0.21247
	0.11286 $a_{1,1B}$	-0.03572	0.00051	-0.00069	0.00007	-0.00005	0.00001	-0.00001	
	-0.03571 $a_{2,1B}$	0.00719	0.00114	0.00012	0.00007	—	0.00001	—	
$a_{3AB}$	0.11286 $a_{3,1B}$	-0.02820	-0.00103	-0.00148	-0.00041	-0.00010	0.00001	-0.00001	-0.23089
	-0.21053 $a_{2B,1}$	-0.03571	-0.00185	-0.00065	-0.00019	-0.00006	0.00001	—	
	0.21053 $a_{3B,1}$	-0.02444	-0.00000	-0.00120	-0.00048	-0.00003	-0.00003	—	
$a_{3BA}$	-0.17587	-0.02820	-0.01037	-0.00050	0.00007	0.00008	-0.00006	0.00001	-0.19221
	0.11286 $a_{2,1B}$	-0.03116	-0.00156	-0.00050	-0.00028	0.00002	-0.00002	0.00001	
	-0.03571 $a_{3,1B}$	0.00705	0.00101	0.00037	0.00001	0.00002	—	—	
$a_{4AB}$	0.11286 $a_{4,1B}$	-0.02444	-0.00039	-0.00120	-0.00048	-0.00003	-0.00002	—	-0.20011
	-0.13383	-0.01037	-0.00001	-0.00142	-0.00015	0.00001	-0.00001	—	
	0.21053 $a_{3B,1}$	-0.02820	-0.01037	-0.00148	-0.00030	-0.00010	—	-0.00001	
$a_{4BA}$	-0.21053 $a_{1B,1}$	0.02444	0.00000	0.00120	0.00048	0.00003	0.00003	—	-0.16749
	0.21053 $a_{2B,1}$	-0.02038	-0.00762	-0.00109	-0.00049	-0.00016	-0.00001	—	
	-0.17105	-0.02444	-0.00001	-0.00128	-0.00022	-0.00012	0.00002	-0.00001	
$a_{5AB}$	0.11286 $a_{3,1B}$	-0.02820	-0.00103	-0.00148	-0.00041	-0.00010	0.00001	-0.00001	-0.17458
	-0.03571 $a_{4,1B}$	0.00611	0.00087	0.00082	0.00005	0.00001	—	—	
	0.11286 $a_{5,1B}$	-0.02038	-0.00235	-0.00109	-0.00015	-0.00005	—	—	
$a_{5BA}$	-0.11007	-0.04277	-0.00311	-0.00225	-0.00114	-0.00015	0.00001	-0.00001	-0.14185
	0.21053 $a_{4B,1}$	-0.02444	-0.00000	-0.00120	-0.00048	-0.00003	-0.00003	-0.00001	
	-0.21053 $a_{5B,1}$	0.02038	0.00762	0.00109	0.00040	0.00004	0.00001	—	
$a_{6AB}$	0.21053 $a_{6B,1}$	-0.01612	-0.00023	-0.00089	-0.00033	-0.00005	-0.00001	—	-0.14283
	-0.14471	-0.02038	-0.00701	-0.00100	-0.00041	-0.00002	-0.00003	-0.00001	
	0.11286 $a_{4,1B}$	-0.02444	-0.00039	-0.00120	-0.00048	-0.00003	-0.00003	—	
$a_{6BA}$	-0.03571 $a_{5,1B}$	0.00517	0.00074	0.00027	0.00004	0.00011	—	—	-0.11600
	0.11286 $a_{6,1B}$	-0.01612	-0.00242	-0.00039	-0.00013	-0.00005	-0.00001	—	
	-0.00821	-0.00019	-0.00317	-0.00191	-0.00027	-0.00007	-0.00003	—	
$a_{7AB}$	0.21053 $a_{6B,1}$	-0.02038	-0.00762	-0.00109	-0.00040	-0.00004	-0.00001	—	-0.11111
	-0.21053 $a_{7B,1}$	0.01812	0.00023	0.00089	0.00033	0.00005	0.00001	—	
	0.21053 $a_{8B,1}$	-0.01316	-0.00185	-0.00065	-0.00020	-0.00004	-0.00001	—	
$a_{7BA}$	-0.11812	-0.01612	-0.00024	-0.00089	-0.00033	-0.00005	-0.00001	—	-0.11600
	0.11286 $a_{7,1B}$	-0.02038	-0.00235	-0.00109	-0.00015	-0.00004	—	—	
	-0.03571 $a_{8,1B}$	0.00423	0.00000	0.00022	0.00003	0.00001	—	—	
$a_{8AB}$	0.11286 $a_{7,1B}$	-0.01316	-0.00188	-0.00065	-0.00020	-0.00004	-0.00001	—	-0.11600
	-0.00693	-0.02038	-0.00123	-0.00156	-0.00022	-0.00007	-0.00001	—	
	0.21053 $a_{7B,1}$	-0.01612	-0.00023	-0.00089	-0.00033	-0.00005	-0.00001	—	
$a_{8BA}$	0.21053 $a_{8B,1}$	-0.00816	-0.000316	-0.00051	-0.00018	-0.00003	—	—	-0.11111
	-0.00211	-0.01316	-0.00184	-0.00071	-0.00025	-0.00004	0	—	

TABLE 4. (Continued).

	Equation	$d^2\alpha$	$d^3\alpha$	$d^4\alpha$	$d^5\alpha$	$d^6\alpha$	$d^7\alpha$	$d^8\alpha$	$\alpha$
$\alpha_{7A}$	0.14286 $\alpha_{5,1B}$	-0.01892	-0.00242	-0.00081	-0.00013	-0.00003	-0.00001		-0.088
	-0.035714 $\alpha_{7,1B}$	0.00329	0.00047	0.00017	0.00003	0.00001	—		
	0.14286 $\alpha_{3,1B}$	-0.00040	-0.00134	-0.00052	-0.00007	-0.00003	—		
	-0.1625	-0.00393	-0.00320	-0.00124	-0.00017	-0.00007	-0.00001		
$\alpha_{5,1B}$	0.21053 $\alpha_{7,1A}$	-0.01316	-0.00185	-0.00037	-0.00026	-0.00004	-0.00001		-0.071
	-0.21053 $\alpha_{5,1A}$	0.00010	0.00316	0.00051	0.00018	0.00003	—		
	0.21053 $\alpha_{3,1A}$	-0.00064	-0.00220	-0.00083	-0.00013	-0.00001	-0.00001		
	-0.06579	-0.00040	-0.00035	-0.00051	-0.00021	-0.00002	-0.00002		
$\alpha_{3,1A}$	0.14286 $\alpha_{7,1B}$	-0.01310	-0.00188	-0.00037	-0.00010	-0.00004	-0.00001		-0.061
	-0.035714 $\alpha_{5,1B}$	0.00235	0.00034	0.00013	0.00002	0.00001	—		
	0.14286 $\alpha_{3,1B}$	-0.00584	-0.00088	-0.00031	-0.00005	-0.00001	—		
	-0.04464	-0.01615	-0.00242	-0.00013	-0.00004	-0.00001	—		
$\alpha_{3,1B}$	0.21053 $\alpha_{5,1A}$	0.00040	-0.00316	-0.00051	-0.00018	-0.00003	—		-0.048
	-0.21053 $\alpha_{3,1A}$	0.00564	0.00220	0.00033	0.00013	0.00001	0.00001		
	0.21053 $\alpha_{10,1A}$	-0.00239	-0.00040	-0.00015	-0.00005	-0.00001	—		
	-0.03047	-0.00015	-0.00216	-0.00033	-0.00010	-0.00003	-0.00001		
$\alpha_{3,1A}$	0.14286 $\alpha_{5,1B}$	-0.00040	-0.00134	-0.00032	-0.00007	-0.00003	—		-0.088
	-0.035714 $\alpha_{7,1B}$	0.00141	0.00022	0.00008	0.00003	—	—		
	0.14286 $\alpha_{10,1B}$	-0.00275	-0.00043	-0.00017	-0.00002	-0.00001	—		
	-0.02679	-0.01074	-0.00155	-0.00004	-0.00006	-0.00004	—		
$\alpha_{10,1B}$	0.30769 $\alpha_{3,1A}$	-0.00024	-0.00330	-0.00048	-0.00019	-0.00002	-0.00001		-0.023
	-0.30769 $\alpha_{10,1A}$	0.00324	0.00210	0.00033	0.00011	0.00002	—		
	-0.01023	-0.00060	-0.00120	-0.00015	-0.00008	0	-0.00001		
$\alpha_{10,1A}$	0.18182 $\alpha_{3,1B}$	-0.00718	-0.00112	-0.00037	-0.00006	-0.00002	-0.00001		-0.018
	-0.18182 $\alpha_{10,1B}$	0.00262	0.00044	0.00016	0.00002	0.00001	—		
	-0.01136	-0.00035	-0.00071	-0.00023	-0.00004	-0.00001	-0.00001		

TABLE 5. PERCENTAGE ERRORS.

	Number of increments taken				Number of increments taken		
	2	3	4		2	3	4
$\alpha_{1,1B}$	2.67	0.04	0.16	$\alpha_{6,1B}$	5.27	0.89	0.27
$\alpha_{1,1A}$	2.63	0.26	0.19	$\alpha_{3,1A}$	5.25	1.60	0.26
$\alpha_{2,1B}$	1.82	0.92	0.02	$\alpha_{7,1B}$	5.26	0.90	0.26
$\alpha_{2,1A}$	2.57	0.93	0	$\alpha_{7,1A}$	5.29	1.65	0.28
$\alpha_{3,1B}$	4.77	0.40	0.27	$\alpha_{8,1B}$	5.54	0.96	0.31
$\alpha_{3,1A}$	4.59	0.98	0.24	$\alpha_{8,1A}$	5.37	1.62	0.28
$\alpha_{4,1B}$	5.01	0.98	0.16	$\alpha_{9,1B}$	5.42	0.93	0.25
$\alpha_{4,1A}$	5.16	1.52	0.17	$\alpha_{9,1A}$	5.67	1.78	0.25
$\alpha_{5,1B}$	5.24	0.89	0.26	$\alpha_{10,1B}$	6.08	1.01	0.38
$\alpha_{5,1A}$	5.24	1.61	0.26	$\alpha_{10,1A}$	5.91	1.72	0.36

$$= 4 K_1 (2 \alpha_{n,1B} + \alpha_{(n-1),1B} + 3 \beta_n) + 2 K_1 (2 \alpha_{n,1A} + \sigma_{n,1A})$$

$$+ 4 K_1 (2 \alpha_{n,1B} + \alpha_{(n+1),1B} + 3 \beta_{n+1})$$

$$= 2 K_1 (10 \alpha_{n,1B} + 2 \alpha_{(n-1),1B} + \alpha_{nB,A} + 2 \alpha_{(n+1),1B} + 6 \zeta_n + 6 \beta_{n+1}) \\ = 0 \dots \dots \dots \bullet (23)$$

$$M_{E_n(n-1)} + M_{nB,A} + M_{nBC} + M_{B_n(n+1)} \\ = 2 K_2 (2 \alpha_{B_n(n-1)} + \alpha_{B(n-n)}) + 2 K_1 (2 \alpha_{nB,A} + \alpha_{nAB}) \\ + 2 K_1 (2 \alpha_{nBC} + \alpha_{nCB}) + 2 K_2 (2 \alpha_{B_n(n+1)} + \alpha_{B(n+1)n}) \\ = 4 K_1 (2 \alpha_{nB,A} + \alpha_{(n-1)B,A} + 3 \beta_n) + 2 K_1 (2 \alpha_{nB,A} + \alpha_{nAB}) \\ + 2 K_1 \times 3 \alpha_{nB,A} + 4 K_1 (2 \alpha_{nB,A} + \alpha_{(n+1)B,A} + 3 \beta_{n+1}) \\ = 2 K_1 (13 \alpha_{nB,A} + 2 \alpha_{(n-1)B,A} + \alpha_{n,1B} + 2 \alpha_{(n+1)B,A} + 6 \zeta_n + 6 \beta_{n+1}) \\ = 0 \dots \dots \dots \bullet (24)$$

The shear equations for the columns immediately below and above the  $n$ th. floor beam are

$$2 \times 6 K_2 (\alpha_{1(n-1)n} + \alpha_{1n(n-1)} + \alpha_{n(n-1)n} + \alpha_{B_n(n-1)}) \\ = 24 K_1 (\alpha_{(n-1),1B} + \alpha_{n,1B} + \alpha_{(n-1)B,1} + \alpha_{nB,A} + 4 \beta_n) \\ = (11-n) P h \dots \dots \dots (25)$$

$$2 \times 6 K_2 (\alpha_{1n(n+1)} + \alpha_{1(n+1)n} + \alpha_{B_n(n+1)} + \alpha_{B(n+1)n}) \\ = 24 K_1 (\alpha_{n,1B} + \alpha_{(n+1),1B} + \alpha_{nB,1} + \alpha_{(n+1)B,1} + 4 \beta_{n+1}) \\ = (10-n) P h \dots \dots \dots (26)$$

Eliminating  $\beta_n$  and  $\beta_{n+1}$  among equations (23) to (26), we obtain

$$\alpha_{(n-1),1B} - 3 \alpha_{(n-1)B,1} + 14 \alpha_{n,1B} - 4 \alpha_{nB,1} + \alpha_{(n+1),1B} - 3 \alpha_{(n+1)B,1} = -\frac{1}{4 K_1} (21-2n) P h, \\ -3 \alpha_{(n-1),1B} + \alpha_{(n-1)B,1} - 4 \alpha_{n,1B} + 20 \alpha_{nB,1} - 3 \alpha_{(n+1),1B} + \alpha_{(n+1)B,1} = -\frac{1}{4 K_1} (21-2n) P h.$$

After further eliminations, we obtain

$$3S \alpha_{nAB} + 8 \alpha_{nB,1} - 8 (\alpha_{(n-1)B,A} + \alpha_{(n+1)B,1}) = -(21-2n) \frac{P h}{K_1}, \\ 56 \alpha_{nB,1} + 2 \alpha_{n,1B} - 8 (\alpha_{(n-1),1B} + \alpha_{(n+1),1B}) = -(21-2n) \frac{P h}{K_1},$$

or

$$\alpha_{n,1n} = 0.21053 (\alpha_{(n-1)n,1} - \alpha_{n,1n} + \alpha_{(n+1)n,1}) - 0.018158(21-2n) \frac{Ph}{K_1} \dots\dots\dots (27)$$

$$\alpha_{n,n,1} = 0.14286 (\alpha_{(n-1),1n} + \alpha_{(n+1),1n}) - 0.035714 \alpha_{n,1n} - 0.0089286 (21-2n) \frac{Ph}{K_1} \dots\dots\dots (28)$$

The equations corresponding to equations (27) and (28) for the top floor beam are

$$\alpha_{10,1n} = 0.30769 \alpha_{n,1n} - 0.16154 \alpha_{10,n,1} - 0.019231 \frac{Ph}{K_1} \dots\dots\dots (29)$$

$$\alpha_{10,n,1} = 0.18182 \alpha_{2,1n} - 0.13636 \alpha_{10,1n} - 0.011364 \frac{Ph}{K_1} \dots\dots\dots (30)$$

The values of  $\alpha_{n,1n}$ 's and  $\alpha_{n,n,1}$ 's are evaluated in Table 4. Table 5 gives the percentage errors in the values of  $\alpha_{n,1n}$ 's and  $\alpha_{n,n,1}$ 's when comparatively small number of increments are taken. The first two increments will give values with a maximum error of 6.08%, while the maximum errors for the first three and four increments are 1.72% and 0.38% respectively.

Let  $S_{Xn(n+1)}$  = direct stresses in member  $Xn-X(n+1)$ ,  
 $S_{nXY}$  = direct stress in member  $Xn-Yn$ ,  
 $V_{Xn(n+1)}$  = shear in member  $Xn-X(n+1)$ ,  
 $V_{nXY}$  = shear in member  $Xn-Yn$ ,

then 
$$V_{Xn(n+1)} = -\frac{1}{h} (M_{Xn(n+1)} + M_{X(n+1)n}),$$

$$V_{nXY} = -\frac{1}{l} (M_{nXY} + M_{nYX}),$$

$$S_{1(n-1)n} = S_{1n(n+1)} + V_{nAB},$$

$$S_{B(n-1)n} = S_{Bn(n+1)} - V_{n,1B} + V_{nBC},$$

$$S_{kAB} = V_{An(n+1)} - V_{A(n-1)n},$$

$$S_{nBC} = S_{nAB} + V_{Bn(n+1)} - V_{B(n-1)n},$$

$$S_{nCD} = S_{nBC} + V_{Bn(n+1)} - V_{B(n-1)n}.$$

The values of the complete set of  $\alpha$ 's,  $\beta$ 's, moments, shears and direct stresses of all the members are given in Tables 6 to 9.

TABLE 6. VALUES OF  $\alpha$ 'S AND  $\beta$ 'S IN  $\frac{Ph}{\alpha_1}$ .

$n$	$\alpha_{nAB}$	$\alpha_{nBA}$	$\alpha_{1(n-1)n}$	$\alpha_{1n(n-1)}$	$\alpha_{B(n-1)n}$	$\alpha_{Bn(n-1)}$	$\beta_n$
1	-0.25307	-0.19788	0.21691	-0.03616	0.21691	0.01903	0.21691
2	-0.26109	-0.21247	0.07181	0.06830	0.12703	0.11241	0.32488
3	-0.23689	-0.19221	0.64791	0.07210	0.08652	0.11678	0.30399
4	-0.20611	-0.16749	0.03671	0.06749	0.08139	0.10311	0.27360
5	-0.14758	-0.14185	0.02890	0.06043	0.06752	0.09316	0.23501
6	-0.14286	-0.11606	0.02134	0.05306	0.05407	0.07986	0.19592
7	-0.11111	-0.09031	0.01390	0.04565	0.04070	0.06645	0.15676
8	-0.07960	-0.06456	0.00654	0.03805	0.02734	0.05309	0.11765
9	-0.04823	-0.03979	-0.00072	0.03065	0.01432	0.03969	0.07883
10	-0.02367	-0.01692	-0.00556	0.01893	0.0.278	0.02565	0.04257

TABLE 7. VALUES OF MOMENTS IN  $Ph$ .

$n$	$M_{1n(n+1)}$ = $M_{Bn(n+1)}$	$M_{1n(n-1)}$ = $M_{Bn(n-1)}$	$M_{nAB}$ = $M_{nBC}$	$M_{Bn(n+1)}$ = $M_{Cn(n+1)}$	$M_{Bn(n-1)}$ = $M_{Cn(n-1)}$	$M_{nBA}$ = $M_{nCD}$	$M_{nBC}$ = $M_{nCE}$
0	1.5906			1.8114			
1	0.8297	0.5784	-1.4080	1.4656	1.0199	-1.2977	-1.1873
2	0.6717	0.7976	-1.4693	1.2393	1.4073	-1.3720	-1.2748
3	0.5636	0.7684	-1.3320	1.0756	1.3203	-1.2426	-1.1533
4	0.4729	0.6868	-1.1594	0.9123	1.1744	-1.0822	-1.0049
5	0.3830	0.5990	-0.9823	0.7520	1.0154	-0.9166	-0.8511
6	0.2938	0.5093	-0.8036	0.5914	0.8552	-0.7500	-0.6964
7	0.2045	0.4208	-0.6251	0.4311	0.6944	-0.5835	-0.5419
8	0.1168	0.3336	-0.4475	0.2709	0.5341	-0.4174	-0.3874
9	0.0303	0.2423	-0.2725	0.1248	0.3750	-0.2556	-0.2387
10		0.1286	-0.1285		0.2163	-0.1160	-0.1015

TABLE 8. SHEARS IN BEAMS AND DIRECT STRESSES IN COLUMNS IN  $\frac{P h}{l}$

n	Shear		Direct stress	
	$V_{nAB}$ = $V_{nCD}$	$V_{nBC}$	$S_{A(n-1)n}$ = $-S_{D(n-1)n}$	$S_{B(n-1)n}$ = $-S_{C(n-1)n}$
1	-2.7057	-2.3746	-16.661	1.786
2	-2.8413	-2.5496	-13.935	1.455
3	-2.6746	-2.3066	-11.114	1.163
4	-2.2416	-2.0098	- 8.539	0.895
5	-1.8986	-1.7022	- 6.297	0.663
6	-1.5536	-1.3928	- 4.399	0.467
7	-1.2086	-1.0838	- 2.845	0.306
8	-0.8649	-0.7748	- 1.637	0.181
9	-0.5281	-0.4774	- 0.772	0.094
10	-0.2435	-0.2030	- 0.244	0.041

TABLE 9. SHEARS IN COLUMNS AND DIRECT STRESSES IN BEAMS IN  $P$ .

n	Shear		Direct stress		
	$V_{A(n-1)n}$ = $V_{D(n-1)n}$	$V_{B(n-1)n}$ = $V_{C(n-1)n}$	$S_{nAB}$	$S_{nBC}$	$S_{nCD}$
1	2.1690	2.8313	-0.542	-0.5	-0.453
2	1.6273	2.8729	-0.187	-0.5	-0.813
3	1.4401	2.5596	-0.190	-0.5	-0.810
4	1.2504	2.2500	-0.179	-0.5	-0.821
5	1.0719	1.9282	-0.179	-0.5	-0.821
6	0.8928	1.6072	-0.178	-0.5	-0.822
7	0.7146	1.2853	-0.180	-0.5	-0.820
8	0.5351	0.9652	-0.176	-0.5	-0.824
9	0.3591	0.6409	-0.200	-0.5	-0.800
10	0.1589	0.3411	-0.159	-0.5	-0.841

Wind Secondary Stresses.

In the building shown in Fig. 5, let

$A_1$  = cross sectional area of all the beams,

$A_2$  = cross sectional area of all the columns.

Taking the effect of the direct stresses into consideration, by applying equations (20) and (21), we have

$$\alpha_{Xn(n-1)} - \alpha_{nXY} + \alpha_{n-1A} - \alpha_{Yn(n-1)} = \frac{l}{A_1 h} (S_{nXY} - S_{(n-1)XY}) \dots \dots \dots (31)$$

$$\alpha_{Y(n-1)n} - \alpha_{(n-1)YA} + \alpha_{(n-1)XY} - \alpha_{n(n-1)} = \frac{l}{A_1 h} (S_{(n-1)XY} - S_{nXY}) \dots \dots \dots (32)$$

$$\alpha_{(n-1)XY} - \alpha_{X(n-1)n} + \alpha_{Xn(n-1)} - \alpha_{nXY} = \frac{h}{A_2 l} (S_{X(n-1)n} - S_{Y(n-1)n}) \dots \dots \dots (33)$$

$$\alpha_{nYA} - \alpha_{Yn(n-1)} + \alpha_{Y(n-1)n} - \alpha_{(n-1)YA} = \frac{h}{A_2 l} (S_{Y(n-1)n} - S_{X(n-1)n}) \dots \dots \dots (34)$$

Let  $\alpha_{Xn(n-1)} - \alpha_{nXY} = \beta_{nm}$ .

then

$$\alpha_{Yn(n-1)} - \alpha_{nYA} = \beta_{nm} + \frac{l}{A_1 h} (S_{(n-1)XY} - S_{nXY}),$$

$$\alpha_{X(n-1)n} - \alpha_{(n-1)XA} = \beta_{nm} + \frac{h}{A_2 l} (S_{Y(n-1)n} - S_{X(n-1)n}),$$

$$\alpha_{Y(n-1)n} - \alpha_{(n-1)YA} = \beta_{nm} + \frac{l}{A_1 h} (S_{(n-1)XY} - S_{nXY}) + \frac{h}{A_2 l} (S_{Y(n-1)n} - S_{X(n-1)n}).$$

In this case, we shall call

$$\alpha_{Yn(n-1)} - \alpha_{nYA} = \beta_{n1},$$

$$\alpha_{Xn(n-1)} - \alpha_{(n-1)XA} = \beta_{n2},$$

$$\alpha_{Y(n-1)n} - \alpha_{(n-1)YA} = \beta_{n3}.$$

Since

$$\alpha_{nY(n-1)} - \alpha_{nR1} = \beta_{n1} + \frac{l}{A_1 h} (S_{(n-1)AB} - S_{nAB}),$$

$$\alpha_{Cn(n-1)} - \alpha_{nCB} = \beta_{n2} + \frac{l}{A_1 h} (S_{(n-1)BC} - S_{nBC}),$$

hence

$$\beta_{n3} = \beta_{n1} + \alpha_{nR1} - \alpha_{nCB} + \frac{l}{A_1 h} (S_{(n-1)AB} - S_{nAB}),$$



$$\beta_{12} = \beta_{12} + \alpha_{nCB} - \alpha_{nCD} + \frac{l}{A_1 h} (S_{(n-1)BC} - S_{nBC})$$

and

$$\begin{aligned} \beta_{12} = & \beta_{12} + \alpha_{nAB} - \alpha_{nBC} + \alpha_{nCB} - \alpha_{nCD} \\ & + \frac{l}{A_1 h} (S_{(n-1)AB} - S_{nAB} + S_{(n-1)BC} - S_{nBC}). \end{aligned}$$

By means of equations (32) and (34), we obtain

$$\alpha_{nB1} - \alpha_{nBC} = \alpha_{(n-1)B1} - \alpha_{(n-1)BC} + \frac{h}{A_2 l} (2 S_{B(n-1)n} - S_{A(n-1)n} - S_{C(n-1)n}),$$

$$\alpha_{nCB} - \alpha_{nCD} = \alpha_{(n-1)CB} - \alpha_{(n-1)CD} + \frac{h}{A_2 l} (2 S_{C(n-1)n} - S_{B(n-1)n} - S_{D(n-1)n}).$$

$$\text{Let } s = \frac{P h^2}{A_2 l^2} = \frac{P l}{5 A_1 h},$$

applying the formulas derived above, we have

$$\alpha_{nB1} - \alpha_{nBC} = \frac{h}{A_2 l} (2 \times 1.786 + 16.661 + 1.786) \times \frac{P h}{l} = 22.019s,$$

$$\alpha_{nB1} - \alpha_{nFC} = 22.019 + (2 \times 1.455 + 13.955 + 1.455) s = 40.339s,$$

$$\alpha_{nB1} - \alpha_{nBC} = 54.942s,$$

$$\alpha_{nB1} - \alpha_{nBC} = 66.166s,$$

$$\alpha_{nCB} - \alpha_{nCD} = -22.019s,$$

$$\alpha_{nCB} - \alpha_{nCD} = -40.339s,$$

$$\alpha_{nCB} - \alpha_{nCD} = -54.942s,$$

$$\alpha_{nCB} - \alpha_{nCD} = -66.166s,$$

$$\beta_{12} = \beta_{11} + 22.019s - 22.019s + \frac{l}{A_1 h} (0.542 + 0.5) P = \beta_{11} + 5.21s,$$

$$\beta_{12} = \beta_{21} + 40.339s - 40.339s + 5s(-0.542 + 0.187 - 0.5 + 0.5) = \beta_{21} - 1.775s,$$

$$\beta_{13} = \beta_{31} + 0.015s,$$

$$\beta_{13} = \beta_{41} - 0.055s,$$

$$\alpha_{110} - \alpha_{1AB} = \beta_{11},$$

TABLE 10. EVALUATION OF  $\alpha$ 's AND  $\beta$ 's.

Equation	$d^2 \alpha$ $d^2 \beta$	$d^3 \alpha$ $d^3 \beta$	$d^4 \alpha$ $d^4 \beta$	$d^5 \alpha$ $d^5 \beta$	$d^6 \alpha$ $d^6 \beta$	$d^7 \alpha$ $d^7 \beta$	$d^8 \alpha$ $d^8 \beta$	$d^9 \alpha$ $d^9 \beta$	$d^{10} \alpha$ $d^{10} \beta$	$d^{11} \alpha$ $d^{11} \beta$	$d^{12} \alpha$ $d^{12} \beta$	Total	Check
$\beta_{11}$	-2.143	-0.520	-0.363	-0.207	-0.127	-0.078	-0.047	-0.028	-0.017	-0.010	-0.006	-16.985	-16.640
$\alpha_{1A}$	0.317	-1.042	-0.078	-0.051	-0.038	-0.022	-0.014	-0.008	-0.005	-0.003	-0.002	7.373	7.773
$\alpha_{1B}$	1.590	-2.113	-0.402	-0.328	-0.188	-0.117	-0.089	-0.041	-0.024	-0.014	-0.008	10.953	10.953
$\alpha_{1C}$	11.958	4.570	1.334	0.888	0.515	0.312	0.188	0.113	0.067	0.040	0.023	7.373	7.373
$\alpha_{1D}$	13.854	1.415	0.714	0.450	0.288	0.173	0.105	0.064	0.038	0.022	0.013	8.815	8.815
$\alpha_{1E}$	0.821	-1.155	-0.094	-0.066	-0.041	-0.024	-0.014	-0.009	-0.005	-0.003	-0.002	-0.814	-0.814
$\alpha_{1F}$	0.289	-0.801	-0.069	-0.046	-0.029	-0.016	-0.012	-0.007	-0.004	-0.003	-0.002	-0.709	-0.709
$\alpha_{1G}$	0.167	-0.482	-0.047	-0.207	-0.141	-0.078	-0.044	-0.028	-0.017	-0.010	-0.006	-2.638	-2.638
$\alpha_{1H}$	9.649	3.808	1.112	0.690	0.426	0.260	0.157	0.094	0.056	0.034	0.020	18.628	18.628
$\alpha_{1I}$	10.422	0.780	0.514	0.380	0.248	0.138	0.083	0.050	0.031	0.018	0.010	9.470	9.478
$\alpha_{1J}$	0.235	-0.767	-0.035	-0.043	-0.022	-0.018	-0.012	-0.007	-0.004	-0.003	-0.002	-0.780	-0.780
$\alpha_{1K}$	1.176	-1.165	-0.101	-0.067	-0.037	-0.024	-0.014	-0.009	-0.005	-0.003	-0.002	-0.232	-0.232
$\alpha_{1L}$	0.717	-1.016	-0.400	-0.208	-0.138	-0.078	-0.047	-0.028	-0.016	-0.010	-0.006	-2.668	-2.668
$\alpha_{1M}$	3.149	3.808	1.112	0.690	0.426	0.260	0.157	0.094	0.056	0.034	0.020	10.628	10.628
$\alpha_{1N}$	-3.174	0.788	0.546	0.381	0.222	0.140	0.084	0.050	0.031	0.018	0.010	8.560	8.515
$\alpha_{1O}$	0.342	-1.067	-0.076	-0.053	-0.038	-0.022	-0.014	-0.008	-0.005	-0.003	-0.002	-0.881	-0.881
$\alpha_{1P}$	1.560	-2.253	-0.453	-0.345	-0.187	-0.119	-0.069	-0.042	-0.024	-0.014	-0.008	-1.061	-1.061
$\alpha_{1Q}$	11.498	4.570	1.334	0.888	0.515	0.312	0.188	0.113	0.067	0.040	0.023	19.953	19.953
$\alpha_{1R}$	13.376	1.208	0.805	0.458	0.280	0.171	0.105	0.063	0.038	0.023	0.013	2.780	2.780
$\beta_{21}$	-5.473	-1.701	-1.064	-0.651	-0.369	-0.226	-0.141	-0.084	-0.050	-0.029	-0.017	-16.660	-16.659
$\alpha_{2A}$	1.171	-2.771	-0.288	-0.189	-0.072	-0.038	-0.021	-0.012	-0.007	-0.004	-0.003	-1.475	-1.475
$\alpha_{2B}$	-0.430	-0.680	-0.250	-0.124	-0.085	-0.047	-0.026	-0.017	-0.010	-0.006	-0.004	-1.502	-1.502
$\alpha_{2C}$	1.246	-1.608	-0.827	-0.556	-0.298	-0.173	-0.089	-0.057	-0.033	-0.019	-0.011	-2.538	-2.538
$\alpha_{2D}$	7.773	7.367	3.000	1.785	1.060	0.625	0.369	0.217	0.128	0.075	0.044	22.475	22.475
$\alpha_{2E}$	10.363	2.309	1.640	0.940	0.585	0.347	0.206	0.122	0.072	0.042	0.024	8.882	8.882
$\alpha_{2F}$	0.624	-1.737	-0.180	-0.080	-0.043	-0.026	-0.015	-0.008	-0.005	-0.003	-0.003	-1.378	-1.378
$\alpha_{2G}$	0.606	-0.850	-0.192	-0.137	-0.071	-0.049	-0.029	-0.017	-0.010	-0.006	-0.004	-0.730	-0.730
$\alpha_{2H}$	-0.833	-0.508	-0.290	-0.104	-0.060	-0.036	-0.021	-0.014	-0.008	-0.005	-0.003	-1.334	-1.334
$\alpha_{2I}$	-1.428	-0.513	-0.737	-0.316	-0.203	-0.110	-0.066	-0.037	-0.022	-0.012	-0.007	-3.455	-3.455
$\alpha_{2J}$	6.162	6.140	2.500	1.488	0.884	0.521	0.308	0.181	0.107	0.063	0.037	18.750	18.750
$\alpha_{2K}$	4.304	2.602	1.231	0.843	0.470	0.287	0.166	0.089	0.050	0.035	0.020	16.918	16.917
$\alpha_{2L}$	0.717	-1.782	-0.128	-0.071	-0.041	-0.022	-0.014	-0.008	-0.005	-0.003	-0.003	-1.416	-1.416
$\alpha_{2M}$	-0.359	-0.491	-0.309	-0.103	-0.070	-0.030	-0.021	-0.014	-0.008	-0.005	-0.003	-1.327	-1.327
$\alpha_{2N}$	0.633	-0.953	-0.189	-0.144	-0.078	-0.050	-0.029	-0.017	-0.010	-0.006	-0.004	-0.817	-0.817
$\alpha_{2O}$	-1.428	-0.515	-0.731	-0.322	-0.202	-0.111	-0.065	-0.038	-0.022	-0.012	-0.007	-3.454	-3.454
$\alpha_{2P}$	6.482	6.140	2.500	1.488	0.884	0.521	0.308	0.181	0.107	0.063	0.037	18.750	18.750
$\alpha_{2Q}$	4.304	2.360	1.245	0.828	0.470	0.284	0.167	0.090	0.051	0.034	0.020	16.066	16.066

TABLE 10. (Continued).

Equation	$d^2 \alpha$ or $d^2 \beta$	$d^3 \alpha$ or $d^3 \beta$	$d^4 \alpha$ or $d^4 \beta$	$d^5 \alpha$ or $d^5 \beta$	$d^6 \alpha$ or $d^6 \beta$	$d^7 \alpha$ or $d^7 \beta$	$d^8 \alpha$ or $d^8 \beta$	$d^9 \alpha$ or $d^9 \beta$	$d^{10} \alpha$ or $d^{10} \beta$	$d^{11} \alpha$ or $d^{11} \beta$	$d^{12} \alpha$ or $d^{12} \beta$	Total	Check
$\alpha_2 D$													
-0.2 $\alpha_2 D$	2.871	-2.748	-0.242	-0.161	-0.088	-0.048	-0.024	-0.013	-0.008	-0.008	-0.005	-0.550	-1.001
-0.1 $\alpha_2 A$	-0.430	-0.610	-0.240	-0.125	-0.085	-0.047	-0.028	-0.017	-0.010	-0.008	-0.003	-2.501	-2.501
-0.2 $\alpha_2 D$	1.246	-1.698	-0.791	-0.508	-0.282	-0.175	-0.098	-0.057	-0.033	-0.019	-0.011	22.475	22.475
-0.6 ( $\beta_2 A + \beta_2 B$ )	7.778	7.387	3.900	1.783	1.000	0.625	0.389	0.217	0.128	0.078	0.044	9.824	9.824
-7.993	11.465	2.268	1.727	0.953	0.577	0.346	0.206	0.122	0.072	0.042	0.025	20.708	20.708
$\beta_2 B$	-0.816	-1.206	-1.911	-1.110	-0.647	-0.371	-0.221	-0.128	-0.075	-0.044	-0.026	-20.708	-20.708
$\alpha_3 A$	1.590	-2.113	-0.462	-0.328	-0.189	-0.117	-0.069	-0.041	-0.024	-0.014	-0.008	-1.773	-2.073
-0.1 $\alpha_3 A$	-0.857	-0.308	-0.442	-0.110	-0.122	-0.045	-0.030	-0.022	-0.013	-0.007	-0.004	-2.533	-2.533
-0.2 $\alpha_4 A$	1.246	-1.698	-0.827	-0.550	-0.268	-0.173	-0.099	-0.057	-0.033	-0.019	-0.011	25.286	25.286
-0.6 ( $\beta_3 A + \beta_3 B$ )	6.502	8.255	4.512	2.502	1.470	0.850	0.493	0.280	0.166	0.096	0.056	12.064	12.064
-6.223	8.410	4.136	2.781	1.488	0.897	0.494	0.286	0.166	0.096	0.056	0.036	20.747	20.747
$\alpha_3 B$	-0.168	-0.437	-0.207	-0.141	-0.078	-0.048	-0.028	-0.017	-0.010	-0.008	-0.005	-2.059	-2.059
-0.833	0.519	-0.708	-0.345	-0.228	-0.124	-0.072	-0.041	-0.024	-0.014	-0.008	-0.005	-1.035	-1.727
-0.833	-0.714	-0.237	-0.365	-0.161	-0.101	-0.058	-0.033	-0.019	-0.011	-0.008	-0.004	-3.455	-3.455
-0.169	1.428	-0.413	-0.737	-0.319	-0.233	-0.110	-0.066	-0.037	-0.022	-0.012	-0.007	21.072	21.072
-0.5 ( $\beta_3 A + \beta_3 B$ )	5.418	6.879	3.760	2.158	1.258	0.769	0.411	0.238	0.138	0.080	0.047	20.747	20.747
8.565	3.078	4.419	1.890	1.219	0.691	0.368	0.223	0.130	0.074	0.044	0.025	20.727	20.727
$\alpha_3 D$	-0.717	-1.016	-0.400	-0.268	-0.158	-0.078	-0.047	-0.028	-0.016	-0.010	-0.006	-2.668	-2.668
-0.833	0.519	-0.237	-0.368	-0.168	-0.102	-0.055	-0.033	-0.019	-0.011	-0.008	-0.004	-1.727	-1.727
-0.833	-0.714	-0.237	-0.368	-0.168	-0.102	-0.055	-0.033	-0.019	-0.011	-0.008	-0.004	-3.455	-3.455
-0.169	1.428	-0.413	-0.737	-0.319	-0.233	-0.110	-0.066	-0.037	-0.022	-0.012	-0.007	21.072	21.072
-0.5 ( $\beta_3 A + \beta_3 B$ )	5.418	6.879	3.760	2.158	1.258	0.769	0.411	0.238	0.138	0.080	0.047	20.747	20.747
8.565	3.078	4.419	1.890	1.219	0.691	0.368	0.223	0.130	0.074	0.044	0.025	20.727	20.727
$\alpha_4 D$	1.590	-2.113	-0.462	-0.328	-0.189	-0.117	-0.069	-0.041	-0.024	-0.014	-0.008	-1.901	-1.901
-0.1 $\alpha_4 D$	-0.857	-0.308	-0.442	-0.110	-0.122	-0.045	-0.030	-0.022	-0.013	-0.007	-0.004	-2.073	-2.073
-0.2 $\alpha_4 D$	1.246	-1.698	-0.791	-0.508	-0.282	-0.175	-0.098	-0.057	-0.033	-0.019	-0.011	25.286	25.286
-0.6 ( $\beta_4 A + \beta_4 B$ )	7.778	7.387	3.900	1.783	1.000	0.625	0.389	0.217	0.128	0.078	0.044	12.622	12.622
-7.993	11.465	2.268	1.727	0.953	0.577	0.346	0.206	0.122	0.072	0.042	0.025	20.746	20.746
$\beta_4 B$	-0.816	-1.206	-1.911	-1.110	-0.647	-0.371	-0.221	-0.128	-0.075	-0.044	-0.026	-20.746	-20.746
$\alpha_4 A$	1.590	-2.113	-0.462	-0.328	-0.189	-0.117	-0.069	-0.041	-0.024	-0.014	-0.008	-1.901	-1.901
-0.1 $\alpha_4 A$	-0.857	-0.308	-0.442	-0.110	-0.122	-0.045	-0.030	-0.022	-0.013	-0.007	-0.004	-2.073	-2.073
-0.2 $\alpha_4 A$	1.246	-1.698	-0.827	-0.550	-0.268	-0.173	-0.099	-0.057	-0.033	-0.019	-0.011	25.286	25.286
-0.6 ( $\beta_4 A + \beta_4 B$ )	6.502	8.255	4.512	2.502	1.470	0.850	0.493	0.280	0.166	0.096	0.056	12.064	12.064
-6.223	8.410	4.136	2.781	1.488	0.897	0.494	0.286	0.166	0.096	0.056	0.036	20.747	20.747
$\alpha_4 B$	-0.168	-0.437	-0.207	-0.141	-0.078	-0.048	-0.028	-0.017	-0.010	-0.008	-0.005	-2.059	-2.059
-0.833	0.519	-0.708	-0.345	-0.228	-0.124	-0.072	-0.041	-0.024	-0.014	-0.008	-0.005	-1.035	-1.727
-0.833	-0.714	-0.237	-0.365	-0.161	-0.101	-0.058	-0.033	-0.019	-0.011	-0.008	-0.004	-3.455	-3.455
-0.169	1.428	-0.413	-0.737	-0.319	-0.233	-0.110	-0.066	-0.037	-0.022	-0.012	-0.007	21.072	21.072
-0.5 ( $\beta_4 A + \beta_4 B$ )	5.418	6.879	3.760	2.158	1.258	0.769	0.411	0.238	0.138	0.080	0.047	20.747	20.747
8.565	3.078	4.419	1.890	1.219	0.691	0.368	0.223	0.130	0.074	0.044	0.025	20.727	20.727
$\alpha_4 D$	-0.717	-1.016	-0.400	-0.268	-0.158	-0.078	-0.047	-0.028	-0.016	-0.010	-0.006	-2.668	-2.668
-0.833	0.519	-0.237	-0.368	-0.168	-0.102	-0.055	-0.033	-0.019	-0.011	-0.008	-0.004	-1.727	-1.727
-0.833	-0.714	-0.237	-0.368	-0.168	-0.102	-0.055	-0.033	-0.019	-0.011	-0.008	-0.004	-3.455	-3.455
-0.169	1.428	-0.413	-0.737	-0.319	-0.233	-0.110	-0.066	-0.037	-0.022	-0.012	-0.007	21.072	21.072
-0.5 ( $\beta_4 A + \beta_4 B$ )	5.418	6.879	3.760	2.158	1.258	0.769	0.411	0.238	0.138	0.080	0.047	20.747	20.747
8.565	3.078	4.419	1.890	1.219	0.691	0.368	0.223	0.130	0.074	0.044	0.025	20.727	20.727
$\alpha_5 D$	1.590	-2.113	-0.462	-0.328	-0.189	-0.117	-0.069	-0.041	-0.024	-0.014	-0.008	-1.901	-1.901
-0.1 $\alpha_5 D$	-0.857	-0.308	-0.442	-0.110	-0.122	-0.045	-0.030	-0.022	-0.013	-0.007	-0.004	-2.073	-2.073
-0.2 $\alpha_5 D$	1.246	-1.698	-0.791	-0.508	-0.282	-0.175	-0.098	-0.057	-0.033	-0.019	-0.011	25.286	25.286
-0.6 ( $\beta_5 A + \beta_5 B$ )	7.778	7.387	3.900	1.783	1.000	0.625	0.389	0.217	0.128	0.078	0.044	12.622	12.622
-7.993	11.465	2.268	1.727	0.953	0.577	0.346	0.206	0.122	0.072	0.042	0.025	20.746	20.746
$\beta_5 B$	-0.816	-1.206	-1.911	-1.110	-0.647	-0.371	-0.221	-0.128	-0.075	-0.044	-0.026	-20.746	-20.746
$\alpha_5 A$	1.590	-2.113	-0.462	-0.328	-0.189	-0.117	-0.069	-0.041	-0.024	-0.014	-0.008	-1.901	-1.901
-0.1 $\alpha_5 A$	-0.857	-0.308	-0.442	-0.110	-0.122	-0.045	-0.030	-0.022	-0.013	-0.007	-0.004	-2.073	-2.073
-0.2 $\alpha_5 A$	1.246	-1.698	-0.827	-0.550	-0.268	-0.173	-0.099	-0.057	-0.033	-0.019	-0.011	25.286	25.286
-0.6 ( $\beta_5 A + \beta_5 B$ )	6.502	8.255	4.512	2.502	1.470	0.850	0.493	0.280	0.166	0.096	0.056	12.064	12.064
-6.223	8.410	4.136	2.781	1.488	0.897	0.494	0.286	0.166	0.096	0.056	0.036	20.747	20.747
$\alpha_5 B$	-0.168	-0.437	-0.207	-0.141	-0.078	-0.048	-0.028	-0.017	-0.010	-0.008	-0.005	-2.059	-2.059
-0.833	0.519	-0.708	-0.345	-0.228	-0.124	-0.072	-0.041	-0.024	-0.014	-0.008	-0.005	-1.035	-1.727
-0.833	-0.714	-0.237	-0.365	-0.161	-0.101	-0.058	-0.033	-0.019	-0.011	-0.008	-0.004	-3.455	-3.455
-0.169	1.428	-0.413	-0.737	-0.319	-0.233	-0.110	-0.066	-0.037	-0.022	-0.012	-0.007	21.072	21.072
-0.5 ( $\beta_5 A + \beta_5 B$ )	5.418	6.879	3.760	2.158	1.258	0.769	0.411	0.238	0.138	0.080	0.047	20.747	20.747
8.565	3.078	4.419	1.890	1.219	0.691	0.368	0.223	0.130	0.074	0.044	0.025	20.727	20.727
$\alpha_6 D$	-0.717	-1.016	-0.400	-0.268	-0.158	-0.078	-0.047	-0.028	-0.016	-0.010	-0.006	-2.668	-2.668
-0.833	0.519	-0.237	-0.368	-0.168	-0.102	-0.055	-0.033	-0.019	-0.011	-0.008	-0.004	-1.727	-1.727
-0.833	-0.714	-0.237	-0.368	-0.168	-0.102	-0.055	-0.033	-0.019	-0.011	-0.008	-0.004	-3.455	-3.455
-0.169	1.428	-0.413	-0.737	-0.319	-0.233	-0.110	-0.066	-0.037	-0.022	-0.012	-0.007	21.072	21.072
-0.5 ( $\beta_6 A + \beta_6 B$ )	5.418	6.879	3.760	2.158	1.258	0.769	0.411	0.238	0.138	0.080	0.047	20.747	20.747
8.565	3.078	4.419	1.890	1.219	0.691	0.368	0.223	0.130	0.074	0.044	0.025	20.727	20.727
$\alpha_6 B$	1.590	-2.113	-0.462	-0.328	-0.189	-0.117	-0.069	-0.041	-0.024	-0.014	-0.008	-1.901	-1.901
-0.1 $\alpha_6 B$	-0.857	-0.308	-0.442	-0.110	-0.122	-0.045	-0.030	-0.022	-0.013</				

$$\begin{aligned}
a_{B10} - a_{1B,1} &= \beta_{11} + 5s(0 + 0.542) = \beta_{11} + 2.71s, \\
a_{1,11} &= \beta_{11} + (1.786 + 16.661)s = \beta_{11} + 18.447s, \\
a_{B0,1} &= \beta_{11} + 2.71s + 18.447s = \beta_{11} + 21.157s, \\
a_{C10} - a_{1CD} &= \beta_{13} = \beta_{11} + 5.21s, \\
a_{B10} - a_{1DC} &= \beta_{12} + 0.458 \times 5s = \beta_{11} + 7.5s, \\
a_{C,11} &= \beta_{13} + (16.661 + 1.786)s = \beta_{11} + 23.657s, \\
a_{B0,1} &= \beta_{11} + 7.5s + 23.657s - 5.21s = \beta_{11} + 25.947s, \\
a_{1,21} - a_{2,1B} &= \beta_{21}, \\
a_{B21} - a_{2B,1} &= \beta_{21} + 5s(-0.542 + 0.187) = \beta_{21} - 1.775s, \\
a_{1,12} - a_{1,1B} &= \beta_{21} + 15.41s, & a_{B12} - a_{1B,1} &= \beta_{21} + 13.635s, \\
a_{C21} - a_{2CD} &= \beta_{21} - 1.775s, & a_{D,11} - a_{1DC} &= \beta_{21}, \\
a_{C12} - a_{1CD} &= \beta_{21} - 13.635s, & a_{D12} - a_{2DC} &= \beta_{21} + 15.41s, \\
a_{1,13} - a_{1,1B} &= \beta_{31}, & a_{D,12} - a_{2B,1} &= \beta_{11} + 0.015s, \\
a_{1,123} - a_{1,1B} &= \beta_{31} + 12.277s, & a_{D23} - a_{1B,1} &= \beta_{31} + 12.292s, \\
a_{C32} - a_{2CD} &= \beta_{31} + 0.015s, & a_{D,13} - a_{2DC} &= \beta_{31}, \\
a_{C23} - a_{2CD} &= \beta_{31} + 12.292s, & a_{D23} - a_{1DC} &= \beta_{31} + 12.277s, \\
a_{1,13} - a_{1,1B} &= \beta_{41}, & a_{B13} - a_{1B,1} &= \beta_{41} - 0.055s, \\
a_{1,134} - a_{1,1B} &= \beta_{41} + 9.434s, & a_{B34} - a_{1B,1} &= \beta_{41} + 9.379s, \\
a_{C13} - a_{1CD} &= \beta_{41} - 0.055s, & a_{D,14} - a_{1DC} &= \beta_{41}, \\
a_{C24} - a_{2CD} &= \beta_{41} + 9.379s, & a_{D34} - a_{2DC} &= \beta_{41} + 9.434s,
\end{aligned}$$

The moment equations at the joints are

$$\begin{aligned}
4 K_1 \{ 2(\alpha_{1,AB} + \beta_{11}) + \beta_{11} + 18.447s \} + 2 K_1 \{ 2(\alpha_{1,1B} + \alpha_{1B,1}) \\
+ 4 K_1 \{ 2(\alpha_{1,1B} + \beta_{11} + 15.41s) + \alpha_{2,1B} + \beta_{21} \} \\
= 2 K_1 \{ 10 \alpha_{1,1B} + \alpha_{2B,1} + 2 \alpha_{2B,1} + 6(\beta_{11} + \beta_{31}) + 98.534s \} = 0 \dots \dots \dots (35) \\
4 K_1 \{ 2(\alpha_{1,B,1} + \beta_{11} + 2.71s) + \beta_{11} + 21.157s \} + 2 K_1 \{ 2 \alpha_{2,B,1} + \alpha_{1,1B} \} \\
+ 2 K_1 \{ 2(\alpha_{1,B,1} - 22.019s) + \alpha_{1CD} - 22.019s \} \\
+ 4 K_1 \{ 2(\alpha_{1,B,1} + \beta_{21} + 13.635s) + \alpha_{2B,1} + \beta_{21} - 1.775s \}
\end{aligned}$$

$$= 2K_1\{12\alpha_{1B,1} + \alpha_{1AB} + \alpha_{1CD} + 2\alpha_{2B,1} + 6(\beta_{11} + \beta_{21}) + 38.0878\} = 0 \dots (36)$$

$$2K_1\{12\alpha_{1CD} + \alpha_{1B,1} + \alpha_{1DC} + 2\alpha_{2CD} + 6(\beta_{11} + \beta_{21}) + 53.0878\} = 0 \dots (37)$$

$$2K_1\{10\alpha_{1DC} + \alpha_{1CD} + 2\alpha_{2DC} + 6(\beta_{11} + \beta_{21}) + 143.5348\} = 0 \dots (38)$$

$$2K_1\{10\alpha_{2B,1} + 2\alpha_{1AB} + \alpha_{2B,1} + 2\alpha_{2,1B} + 6(\beta_{21} + \beta_{31}) + 79.9283\} = 0 \dots (39)$$

$$2K_1\{12\alpha_{2B,1} + 2\alpha_{1B,1} + \alpha_{2,1B} + \alpha_{2CD} + 2\alpha_{2B,1} + 6(\beta_{21} + \beta_{31}) - 51.6498\} = 0 \dots (40)$$

$$2K_1\{12\alpha_{2CD} + 2\alpha_{1CD} + \alpha_{2B,1} + \alpha_{2DC} + 2\alpha_{2CD} + 6(\beta_{21} + \beta_{31}) - 51.6498\} = 0 \dots (41)$$

$$2K_1\{10\alpha_{2DC} + 2\alpha_{1DC} + \alpha_{2CD} + 2\alpha_{2DC} + 6(\beta_{21} + \beta_{31}) + 79.9283\} = 0 \dots (42)$$

$$2K_1\{10\alpha_{2,1B} + 2\alpha_{2,1B} + \alpha_{2B,1} + 2\alpha_{2,1B} + 6(\beta_{31} + \beta_{41}) + 62.293\} = 0 \dots (43)$$

$$2K_1\{12\alpha_{2B,1} + 2\alpha_{2B,1} + \alpha_{1,1B} + \alpha_{2CD} + 2\alpha_{2B,1} + 6(\beta_{21} + \beta_{31}) - 102.7763\} = 0 \dots (44)$$

$$2K_1\{12\alpha_{2CD} + 2\alpha_{2CD} + \alpha_{2B,1} + \alpha_{2DC} + 2\alpha_{2CD} + 6(\beta_{21} + \beta_{31}) - 102.7763\} = 0 \dots (45)$$

$$2K_1\{10\alpha_{2DC} + 2\alpha_{2DC} + \alpha_{1CD} + 2\alpha_{2DC} + 6(\beta_{21} + \beta_{31}) + 62.293\} = 0 \dots (46)$$

The shear equations for the columns are

$$6K_2(S\beta_{11} + 8\alpha_1 + 104.6283) = 0 \dots (47)$$

$$6K_2(S\beta_{21} + 8\alpha_2 + 54.543) = 0 \dots (48)$$

$$6K_2(S\beta_{31} + 8\alpha_3 + 49.1663) = 0 \dots (49)$$

$$6K_2(S\beta_{41} + 8\alpha_4 + 37.5163) = 0 \dots (50)$$

where

$$S\alpha_n = \alpha_{(n-1),1B} + \alpha_{n,1B} + \alpha_{(n-1)B,1} + \alpha_{nB,1} + \alpha_{(n-1)CD} + \alpha_{nCD} + \alpha_{(n-1)DC} + \alpha_{nDC}$$

From equations (35) to (50), we obtain

$$\alpha_{1,1B} = -0.1\alpha_{B,1} - 0.2\alpha_{2,1B} - 0.6(\beta_{11} + \beta_{21}) - 9.8533 \dots (51)$$

$$\alpha_{1B,1} = -0.083333\alpha_{1,1B} - 0.083333\alpha_{1CD} - 0.16667\alpha_{2B,1} - 0.5(\beta_{21} + \beta_{31}) - 3.1748 \dots (52)$$

$$\alpha_{1CD} = -0.083333(\alpha_{1B,1} + \alpha_{1DC} + 2\alpha_{2CD}) - 0.5(\beta_{11} + \beta_{21}) - 4.4348 \dots (53)$$

$$\alpha_{1DC} = -0.1(\alpha_{1CD} + 2\alpha_{2DC}) - 0.6(\beta_{11} + \beta_{21}) - 14.3533 \dots (54)$$

$$\alpha_{2,1B} = -0.1(2\alpha_{1,1B} + \alpha_{2B,1} + 2\alpha_{2,1B}) - 0.6(\beta_{21} + \beta_{31}) - 7.9933 \dots (55)$$

$$\alpha_{2B,1} = -0.083333(2\alpha_{1B,1} + \alpha_{2,1B} + \alpha_{2CD} + 2\alpha_{2B,1}) - 0.5(\beta_{31} + \beta_{41}) + 4.3048 \dots (56)$$

$$\alpha_{2CD} = -0.083333(2\alpha_{1CD} + \alpha_{2B,1} + \alpha_{2DC} + 2\alpha_{2CD}) - 0.5(\beta_{21} + \beta_{31}) + 4.3048 \dots (57)$$

$$\alpha_{2DC} = -0.1(2\alpha_{2DC} + \alpha_{2CD} + 2\alpha_{2DC}) - 0.6(\beta_{21} + \beta_{31}) - 7.9933 \dots (58)$$

$$\alpha_{r,AB} = -0.1(2\alpha_{2,AB} + \alpha_{3,BA} + 2\alpha_{1,AB}) - 0.6(\beta_{31} + \beta_{41}) - 6.2298 \dots \dots \dots (59)$$

$$\alpha_{2,BA} = -0.083333(2\alpha_{2,BA} + \alpha_{1,AB} + \alpha_{r,CD} + 2\alpha_{1,BA}) - 0.5(\beta_{31} + \beta_{41}) + 8.5658 \dots \dots (60)$$

$$\alpha_{3,CD} = -0.083333(2\alpha_{3,CD} + \alpha_{2,BA} + \alpha_{r,DC} + 2\alpha_{1,CD}) - 0.5(\beta_{31} + \beta_{41}) + 8.5658 \dots \dots (61)$$

$$\alpha_{3,DC} = -0.1(2\alpha_{2,DC} + \alpha_{3,CD} + 2\alpha_{3,DC}) - 0.6(\beta_{31} + \beta_{41}) - 6.2298 \dots \dots \dots (62)$$

$$\beta_{31} = -\alpha_1 - 13.0798 \dots \dots \dots (63)$$

$$\beta_{21} = -\alpha_2 - 6.8188 \dots \dots \dots (64)$$

$$\beta_{21} = -\alpha_3 - 6.1468 \dots \dots \dots (65)$$

$$\beta_{41} = -\alpha_1 - 4.698 \dots \dots \dots (66)$$

The values of  $\alpha$ 's and  $\beta$ 's for the four bottom stories are evaluated in Table 10. In this table, the increments of  $\alpha$ 's of each order are calculated first, the increments of  $\beta$ 's are then calculated from those of  $\alpha$ 's of the same order as we have done in the case of the increments of  $\varepsilon$  in Table 2. The values of  $\alpha$ 's for the fourth floor beam are assumed to be equal to those for the third floor beam. It may be noted that the convergence in this case is not so good. The complete set of values of  $\alpha$ 's,  $\beta$ 's and moments are given in Tables 11 and 12.

TABLE 11. VALUES OF  $\alpha$ 'S AND  $\beta$ 'S IN  $\varepsilon$ .

$n$	1	2	3	4
$\alpha_{n,AB}$	7.38	8.88	12.63	12.63
$\alpha_{n,BA}$	9.48	15.93	20.75	20.75
$\alpha_{n,DC}$	-12.54	-24.41	-34.19	-45.42
$\alpha_{n,CD}$	-13.50	-24.32	-34.19	-45.42
$\alpha_{n,DC}$	8.52	16.02	20.75	20.75
$\alpha_{n,DC}$	2.79	9.82	12.52	12.52
$\alpha_A(n-1)$	1.85	6.13	0.36	0.76
$\alpha_A(n-1)$	-9.22	-7.78	-8.12	-8.67
$\alpha_B(n-1)$	4.56	6.46	7.42	8.78
$\alpha_B(n-1)$	-4.41	-2.51	-0.03	-0.66
$\alpha_C(n-1)$	7.06	5.50	7.51	8.78
$\alpha_C(n-1)$	-2.87	-2.42	-0.03	-0.66
$\alpha_D(n-1)$	9.35	1.54	1.30	0.60
$\alpha_D(n-1)$	-6.31	-6.84	-8.28	-8.83
$\beta_{31}$	-16.60	-16.66	-20.80	-21.35

TABLE 12. VALUES OF MOMENTS IN  $K_1$  s.

<i>n</i>	0	1	2	3
$M_{An(n-1)}$		-33.18	-18.86	-31.76
$M_{nAn}$		24.24	33.69	46.11
$M_{An(n+1)}$	-11.04	8.56	-14.80	-14.30
$M_{nAn(n-1)}$		-8.52	2.88	14.72
$M_{nAn}$		26.34	40.74	54.18
$M_{nDC}$		-38.58	-73.14	-102.57
$M_{nAn(n+1)}$	9.42	20.82	29.62	33.80
$M_{Cn(n-1)}$		2.64	1.32	14.90
$M_{nCB}$		-39.54	-73.05	-102.57
$M_{nCB}$		19.83	41.86	54.02
$M_{Cn(n+1)}$	22.50	17.16	29.98	33.80
$M_{nAn(n-1)}$		-6.54	-24.28	-30.52
$M_{nDC}$		14.10	35.66	45.79
$M_{nAn(n+1)}$	24.78	-7.52	-11.36	-15.26

Wind Stresses: General Case

Let  $K_{nXY} = K_1$  for member  $Xn-Yn$ ,  
 $K_{Xn(n+1)} = K_2$  for member  $Xn-X(n+1)$ ,  
 $K_{n(n+1)} = K_{Xn(n+1)} + K_{Yn(n+1)} + K_{Zn(n+1)} + \dots$ ,  
 $K_{Yn} = K_{Y(n-1)n} + K_{nXY} + K_{nYZ} + K_{Yn(n+1)}$ ,  
 $f_{n(n+1)X} = \frac{K_{Xn(n+1)}}{2K_{n(n+1)}}$ ,  
 $f_{Yn(n-1)} = \frac{K_{Y(n-1)n}}{2K_{Yn}}$ ,  $f_{Yn(n+1)} = \frac{K_{Yn(n+1)}}{2K_{Yn}}$ ,  
 $f_{YnX} = \frac{K_{nXY}}{2K_{Yn}}$ ,  $f_{YnZ} = \frac{K_{nYZ}}{2K_{Yn}}$ ,

$h_n$  = length of columns between (n-1)th. and nth. floor beams,  
 $H_n$  = total shears in the columns between (n-1)th. and nth. floor beams.

When there is no transverse load between the ends of the members, the

moment equation at joint  $Y_n$  is

$$\begin{aligned} M_{Y_n(n-1)} + M_{nXY} + M_{nYZ} + M_{Y_n(n+1)} \\ = 2K_{Y(n-1)n}(2a_{nYX} + a_{(n-1)YX} + 3\beta_n) + 2K_{nXY}(2a_{nYX} + a_{nXY}) \\ + 2K_{nYZ}(2a_{nYX} + a_{nZY}) + 2K_{Y_n(n+1)}(2a_{nYX} + a_{(n+1)YX} + 3\beta_{n+1}) \\ = 0 \end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned} a_{nYX} = -f_{Y_n(n-1)}(a_{(n-1)YX} + 3\beta_n) - f_{Y_nX} a_{nXY} \\ - f_{Y_nZ} a_{nZY} - f_{Y_n(n+1)}(a_{(n+1)YX} + 3\beta_{n+1}) \dots \dots \dots (67) \end{aligned}$$

and the shear equation for the columns between the  $(n-1)$ th. and  $n$ th. floor beams is

$$\begin{aligned} 6K_{X(n-1)n}(a_{(n-1)XY} + a_{nXY} + 2\beta_n) + 6K_{Y(n-1)n}(a_{(n-1)YX} + a_{nYX} + 2\beta_n) \\ + 6K_{Z(n-1)n}(a_{(n-1)ZY} + a_{nZY} + 2\beta_n) + \dots = H_n h_n \end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned} \dot{\beta}_n = -f_{(n-1)nX}(a_{(n-1)XY} + a_{nXY}) - f_{(n-1)nY}(a_{(n-1)YX} + a_{nYX}) \\ - f_{(n-1)nZ}(a_{(n-1)ZY} + a_{nZY}) - \dots + \frac{H_n h_n}{12K_{(n-1)n}} \dots \dots \dots (68) \end{aligned}$$

Table 13 and 14 give all the necessary data for the analysis of wind stresses in the four bottom stories of the building given in Mr. Goldberg's paper, the Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol.99 (1934), p.962. The values of  $\alpha$ 's and  $\beta$ 's for these four stories are evaluated in Table 15; the values of  $a$ 's for the fourth floor beam being assumed to be equal to those for the third floor beam. Table 16 gives their percentage errors when the first few increments are taken for their final values. The complete set of values of  $\alpha$ 's,  $\beta$ 's and moments are given in Table 17 and 18.



TABLE 13. DATA OF BUILDING.

$n$	1	2	3	4
$K_{1(n-1)n}$	12.9	17.8	17.7	17.7
$K_{2(n-1)n}$	12.9	17.8	17.75	17.75
$K_{3(n-1)n}$	10.35	14.25	14.2	14.2
$K_{4(n-1)n}$	7.75	10.7	10.6	10.6
$K_{nAB}$	15.25	10.7	10.7	
$K_{nBC}$	18.65	14.6	13.1	
$K_{nCD}$	9.15	6.4	6.4	
$H_n$ (kips)	7.71	7.14	6.69	6.27
$h_n$ (ft.)	22	16	14	14
$K_{(n-1)n}$	43.9	60.65	60.25	60.25
$\frac{H_n h_n}{12 K_{(n-1)n}}$	0.3220	0.1572	0.1295	0.1214
$f_{(n-1)A}$	0.1460	0.147	0.1469	0.1469
$f_{(n-1)B}$	0.1469	0.147	0.1473	0.1473
$f_{(n-1)C}$	0.1179	0.1177	0.1178	0.1178
$f_{(n-1)D}$	0.0883	0.0884	0.088	0.088

TABLE 14. DATA OF BUILDING.

$\gamma_n$	$K\gamma_n$	$f_{\gamma_n(n-1)}$	$f_{\gamma_n A}$	$f_{\gamma_n Z}$	$f_{\gamma_n(n+1)}$
A1	45.95	0.1404	—	0.1659	0.1937
B1	64.6	0.0998	0.1180	0.1443	0.1378
O1	52.4	0.0983	0.1783	0.0873	0.1360
D1	27.6	0.1404	0.1658	—	0.1938
A2	46.2	0.1926	—	0.1158	0.1916
B2	60.85	0.1463	0.0879	0.1209	0.1459
C2	49.45	0.1441	0.1476	0.0647	0.1436
D2	27.7	0.1931	0.1155	—	0.1913
A3	46.1	0.1920	—	0.1161	0.1920
B3	59.3	0.1497	0.0902	0.1105	0.1497
C3	47.9	0.1482	0.1367	0.0663	0.1482
D3	27.6	0.1920	0.1159	—	0.1920

TABLE 15. EVALUATION OF  $\alpha$ 's AND  $\beta$ 's.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Total	Check
$\beta_1$	$-0.1463 \alpha_{1AB}$	0.0233	0.0117	0.0053	0.0015	0.0006	0.0002	0.0001			0.0513
	$-0.1463 \alpha_{1BA}$	0.0237	0.0046	0.0018	0.0005	0.0001	0.0001	—			0.0312
	$-0.1173 \alpha_{1CD}$	0.0188	0.0037	0.0016	0.0004	0.0001	0.0001	—			0.0252
	$-0.0883 \alpha_{1DC}$	0.0299	0.0179	0.0099	0.0029	0.0009	0.0003	0.0001			0.0778
$-0.3250$	0.0653	0.0270	0.0135	0.0065	0.0020	0.0010	0.0005	0.0002		0.4073	0.4073
$\alpha_{1AB}$	$-0.1163 \alpha_{1BA}$	-0.1651	0.0289	0.0051	0.0024	0.0008	0.0003	0.0001			0.0533
	$-0.1167 \alpha_{2AB}$	-0.1577	0.0289	0.0172	0.0079	0.0028	0.0018	0.0009			0.0411
	$-0.4212 \beta_1$	-0.1356	-0.0494	-0.0114	-0.0313	-0.0116	-0.0096	-0.0002	-0.0001		-0.1639
	$-0.5811 \beta_2$	-0.0913	-0.0775	-0.0375	-0.0134	-0.0063	-0.0031	-0.0115	-0.0006		-0.2516
$\alpha_{1BA}$	$-0.1118 \alpha_{1BA}$	-0.2269	-0.0731	-0.0264	-0.0109	-0.0039	-0.0016	-0.0007			-0.3191
	$-0.1443 \alpha_{1CD}$	0.0268	0.0093	0.0031	0.0012	0.0003	0.0001	0.0001			0.0112
	$-0.1378 \alpha_{1DB}$	0.0249	0.0046	0.0019	0.0008	0.0003	0.0001	0.0001			0.0319
	$-0.2994 \beta_1$	0.0173	0.0388	0.0074	0.0310	0.0061	0.0032	0.0001			0.0359
$\alpha_{1CD}$	$-0.4134 \beta_2$	-0.0661	-0.0287	-0.0081	-0.0029	-0.0011	-0.0004	-0.0001			-0.1378
	$-0.1178 \alpha_{1BA}$	-0.0659	-0.0634	-0.0261	-0.0113	-0.0049	-0.0022	-0.0010			-0.1812
	$-0.1577 \alpha_{1DC}$	-0.1614	-0.0349	-0.0121	-0.0046	-0.0021	-0.0009	-0.0004			-0.2127
	$-0.0875 \alpha_{1DC}$	0.0287	0.0053	0.0022	0.0009	0.0003	0.0001	0.0001			0.0379
$\alpha_{1DC}$	$-0.1577 \alpha_{1DC}$	0.0138	0.0049	0.0025	0.0009	0.0003	0.0001	0.0001			0.0375
	$-0.1577 \alpha_{1DB}$	0.0108	0.0083	0.0042	0.0018	0.0008	0.0004	0.0001			0.0259
	$-0.2304 \beta_1$	-0.0654	-0.0284	-0.0089	-0.0028	-0.0011	-0.0004	-0.0001			-0.1361
	$-0.496 \beta_2$	-0.0641	-0.0683	-0.0264	-0.0112	-0.0049	-0.0022	-0.0010			-0.1788
$\alpha_{2AB}$	$-0.1658 \alpha_{1CD}$	-0.1595	-0.0516	-0.0153	-0.0053	-0.0021	-0.0011	-0.0004			-0.2139
	$-0.1658 \alpha_{1DC}$	0.0264	0.0052	0.0022	0.0009	0.0003	0.0001	0.0001			0.0555
	$-0.1658 \alpha_{1DB}$	0.0229	0.0175	0.0079	0.0028	0.0018	0.0009	0.0004			0.0615
	$-0.5814 \beta_2$	-0.1576	-0.0494	-0.0114	-0.0310	-0.0016	-0.0006	-0.0002			-0.1939
$\beta_2$	$-0.147 \alpha_{1AB} + \alpha_{2AB}$	-0.0270	-0.0746	-0.0265	-0.0088	-0.0031	-0.0015	-0.0006			-0.2548
	$-0.147 \alpha_{1BA} + \alpha_{2BA}$	0.0570	0.0247	0.0099	0.0045	0.0019	0.0009	0.0004			0.0899
	$-0.1177 \alpha_{1CD} + \alpha_{2CD}$	0.0353	0.0111	0.0052	0.0022	0.0010	0.0005	0.0002			0.0672
	$-0.0884 \alpha_{1DC} + \alpha_{2DC}$	0.0347	0.0149	0.0079	0.0026	0.0011	0.0005	0.0002			0.0536
$\alpha_{2AB}$	$-0.1572$	0.11578	0.0316	0.0254	0.0119	0.0052	0.0025	0.0010			0.4382
	$-0.1023 \alpha_{1AB}$	0.0437	0.0132	0.0051	0.0019	0.0008	0.0002	0.0001			0.0882
	$-0.1158 \alpha_{1BA}$	0.0146	0.0274	0.0057	0.0019	0.0008	0.0004	0.0001			0.0672
	$-0.1016 \alpha_{1AB}$	0.0277	0.0151	0.0079	0.0031	0.0015	0.0007	0.0004			0.0588
$\alpha_{2BA}$	$-0.1572 \beta_2$	-0.0908	-0.0670	-0.0275	-0.0108	-0.0069	-0.0031	-0.0014			-0.2563
	$-0.3746 \beta_3$	-0.0744	-0.0773	-0.0310	-0.0231	-0.0099	-0.0050	-0.0024			-0.2539
	$-0.1652$	-0.0683	-0.0496	-0.0165	-0.0092	-0.0043	-0.0021	-0.0009			-0.3317



TABLE 15. (Continued).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Total	Check
$a_{20}$	-0.1482 $a_{20D}$		0.0188	0.0066	0.0045	0.0029	0.0009	0.0004	0.0002		0.0288
	-0.1307 $a_{20A}$		0.0154	0.0078	0.0042	0.0021	0.0011	0.0005	0.0002		0.0316
	-0.0968 $a_{20C}$		0.0066	0.0053	0.0027	0.0014	0.0007	0.0004	0.0002		0.0293
	-0.1482 $a_{10D}$	-0.0376	0.0163	0.0085	0.0046	0.0024	0.0012	0.0006	0.0003		0.0311
	-0.4446 $\frac{1}{2}$	-0.0540	-0.0693	-0.0317	-0.0158	-0.0077	-0.0039	-0.0019	-0.0009		-0.1892
	-0.4446 $\frac{3}{4}$	-0.1116	-0.0371	-0.0278	-0.0154	-0.0081	-0.0042	-0.0021	-0.0011		-0.1722
	-0.152 $a_{10C}$		0.0318	0.0171	0.0078	0.0037	0.0018	0.0009	0.0004		0.0637
	-0.1159 $a_{10D}$		0.0129	0.0064	0.0035	0.0018	0.0009	0.0005	0.0002		0.0267
	-0.152 $a_{10C}$		0.0278	0.0152	0.0079	0.0041	0.0021	0.0011	0.0005		0.0589
	-0.376 $\frac{1}{2}$	-0.0746	-0.0781	-0.0411	-0.0205	-0.0109	-0.0059	-0.0024	-0.0012		-0.2255
	-0.376 $\frac{3}{4}$	-0.0700	-0.0734	-0.0388	-0.0203	-0.0105	-0.0051	-0.0028	-0.0014		-0.2291
	-0.1469 $(a_{10D}+a_{10C})$	-0.1446	-0.0700	-0.0410	-0.0215	-0.0109	-0.0053	-0.0027	-0.0015		-0.3073
	-0.1473 $(a_{10D}+a_{10C})$		0.0425	0.0232	0.0116	0.0063	0.0031	0.0016	0.0008		0.0901
	-0.1178 $(a_{10D}+a_{10C})$		0.0283	0.0158	0.0091	0.0045	0.0024	0.0012	0.0006		0.0381
	-0.088 $(a_{10D}+a_{10C})$		0.0254	0.0139	0.0073	0.0038	0.0019	0.0010	0.0005		0.0542
	0.1234		0.1274	0.0674	0.0323	0.0162	0.0081	0.0041	0.0021		0.2874
$a_{4,0}$		-0.1445	-0.0790	-0.0410	-0.0215	-0.0109	-0.0056	-0.0028	-0.0015		-0.3048
$a_{3,0}$		-0.1127	-0.0571	-0.0310	-0.0154	-0.0089	-0.0046	-0.0023	-0.0010		-0.2312
$a_{2,0}$		-0.1116	-0.0571	-0.0308	-0.0154	-0.0089	-0.0046	-0.0023	-0.0010		-0.2392
$a_{1,0}$		-0.1446	-0.0790	-0.0410	-0.0215	-0.0109	-0.0056	-0.0027	-0.0015		-0.3048

TABLE 16. PERCENTAGE ERRORS OF  $\alpha$ 's AND  $\beta$ 's.

	Number of increments taken			
	4	5	6	7
$\beta_1$	0.52	0.20	0.09	0.04
$\alpha_{1AB}$	1.86	0.75	0.29	0.09
$\alpha_{1B,1}$	1.59	0.70	0.28	0.14
$\alpha_{1CD}$	1.87	0.75	0.23	0.05
$\alpha_{1DC}$	1.72	0.63	0.20	0.03
$\beta_2$	2.22	0.96	0.39	0.16
$\alpha_{2AB}$	5.23	2.51	1.18	0.57
$\alpha_{2B,1}$	4.82	2.15	0.89	0.32
$\alpha_{2CD}$	4.79	2.23	0.99	0.45
$\alpha_{2DC}$	5.34	2.58	1.20	0.57
$\beta_3$	3.92	1.78	0.74	0.25
$\alpha_{3AB}$	6.97	3.42	1.60	0.68
$\alpha_{3B,1}$	6.53	3.07	1.34	0.48
$\alpha_{3CD}$	6.74	3.26	1.43	0.52
$\alpha_{3DC}$	6.91	3.36	1.53	0.65
$\beta_4$	4.69	2.27	1.03	0.41

TABLE 17. VALUES OF  $\alpha$ 's AND  $\beta$ 's.

$n$	1	2	3	4
$\alpha_{A B}$	-0.349	-0.332	-0.307	-0.307
$\alpha_{A B,1}$	-0.213	-0.247	-0.231	-0.231
$\alpha_{A CD}$	-0.214	-0.242	-0.230	-0.230
$\alpha_{A DC}$	-0.349	-0.333	-0.337	-0.307
$\alpha_{A (n-1)n}$	0.461	0.039	0.073	0.081
$\alpha_{A (n-1)}$	0.112	0.106	0.098	0.031
$\alpha_{B (n-1)n}$	0.461	0.225	0.158	0.157
$\alpha_{B (n-1)}$	0.248	0.191	0.174	0.157
$\alpha_{C (n-1)n}$	0.461	0.224	0.163	0.153
$\alpha_{C (n-1)}$	0.247	0.196	0.175	0.153
$\alpha_{D (n-1)n}$	0.461	0.039	0.072	0.081
$\alpha_{D (n-1)}$	0.112	0.105	0.093	0.031
$\beta_n$	0.461	0.438	0.435	0.333

TABLE 18. VALUES OF MOMENTS IN FT.KIPS.

$n$	0	1	2	3
$M_{Aa(n-1)}$		17.67	10.72	9.52
$M_{nAn}$		-27.79	-19.50	-18.03
$M_{An(n+1)}$	26.68	10.11	8.61	8.60
$M_{BA(n-1)}$		21.69	21.61	17.96
$M_{nBA}$		-23.64	-17.68	-16.46
$M_{nBC}$		-23.87	-21.49	-18.17
$M_{Bn(n+1)}$	30.22	22.82	17.40	16.72
$M_{Cn(n-1)}$		19.77	17.56	14.57
$M_{nCB}$		-23.93	-21.35	-18.10
$M_{nCD}$		-14.22	-10.46	-9.82
$M_{Cn(n+1)}$	24.13	18.35	14.23	13.46
$M_{Dn(n-1)}$		10.62	6.40	5.68
$M_{nDC}$		-16.69	-11.62	-10.80
$M_{Dn(n+1)}$	16.03	6.06	5.13	5.15

### Vierendeel Girder.

Let Fig. 6 represent a Vierendeel girder with loads as shown. Let the

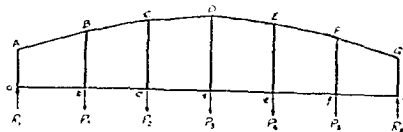


Fig. 6.

panel length of the girder be 10 ft., and the lengths of members  $Aa$ ,  $Bb$ ,  $Cc$  and  $Dd$  be 6, 9, 11 and 12 ft. respectively. Let all the members have the same uniform cross section, so they have the same moment of inertia, the value of which may be assumed to be equal to 1. By calculations, the lengths of  $AB$ ,  $BC$  and  $CD$  are found to be 10.44, 10.193 and 10.05 ft. respectively. By applying equations (20) and (21) to the panels in turn, we have

$$a_{b1} - a_{a,1} + a_{1a} - a_{1b} = 0,$$

$$a_{B4} - a_{Bb} + a_{bB} - a_{b1} = 0,$$

$$6(\alpha_{1a} - \alpha_{1B}) + 9(\alpha_{B1} - \alpha_{Bb}) = 0,$$

$$\alpha_{bc} - \alpha_{bB} + \alpha_{Bb} - \alpha_{BC} = 0,$$

$$\alpha_{CB} - \alpha_{cC} + \alpha_{cC} - \alpha_{cD} = 0,$$

$$9(\alpha_{Bb} - \alpha_{BC}) + 11(\alpha_{CB} - \alpha_{cC}) = 0,$$

$$\alpha_{cD} - \alpha_{cE} + \alpha_{cC} - \alpha_{CD} = 0,$$

$$\alpha_{DC} - \alpha_{Dd} + \alpha_{Dd} - \alpha_{dC} = 0,$$

$$11(\alpha_{cC} - \alpha_{CD}) + 12(\alpha_{DC} - \alpha_{Dd}) = 0.$$

Let  $\alpha_{B1} - \alpha_{Bb} = \beta_1,$

$$\alpha_{CB} - \alpha_{cC} = \beta_2,$$

$$\alpha_{DC} - \alpha_{Dd} = \beta_3,$$

$$\alpha_{DE} - \alpha_{Dd} = \beta_4;$$

then  $\alpha_{ba} - \alpha_{bB} = \frac{6}{9}(\alpha_{1B} - \alpha_{1a}) = \frac{6}{9}(\alpha_{1b} - \alpha_{1a}) = \beta_1,$

$$\alpha_{cb} - \alpha_{cC} = \frac{9}{11}(\alpha_{BC} - \alpha_{Bb}) = \frac{9}{11}(\alpha_{cb} - \alpha_{bB}) = \beta_2,$$

$$\alpha_{dc} - \alpha_{dD} = \frac{11}{12}(\alpha_{CD} - \alpha_{cC}) = \frac{11}{12}(\alpha_{dC} - \alpha_{cC}) = \beta_3,$$

$$\alpha_{dC} - \alpha_{dD} = \frac{11}{12}(\alpha_{ED} - \alpha_{Ec}) = \frac{11}{12}(\alpha_{dE} - \alpha_{cE}) = \beta_4.$$

The moment equations at the joints are

$$\frac{1}{6}(2\alpha_{1a} + \alpha_{1b}) + \frac{1}{10.44} \{ 2(\alpha_{1a} + \frac{9}{6}\beta_1) + \alpha_{Bb} + \beta_1 \} = 0 \dots \dots \dots (69)$$

$$\frac{1}{6}(2\alpha_{2a} + \alpha_{2c}) + \frac{1}{10} \{ 2(\alpha_{2a} + \frac{9}{6}\beta_1) + \alpha_{bB} + \beta_1 \} = 0 \dots \dots \dots (70)$$

$$\frac{1}{10.44} \{ 2(\alpha_{Bb} + \beta_1) + \alpha_{1a} + \frac{9}{6}\beta_1 \} + \frac{1}{9}(2\alpha_{Bb} + \alpha_{bB}) + \frac{1}{10.198} \{ 2(\alpha_{Bb} + \frac{11}{9}\beta_2) + \alpha_{cC} + \beta_2 \} = 0 \dots \dots \dots (71)$$

$$\frac{1}{10} \{ 2(\alpha_{bB} + \beta_1) + \alpha_{2a} + \frac{9}{6}\beta_1 \} + \frac{1}{9}(2\alpha_{bB} + \alpha_{Bb}) + \frac{1}{10} \{ 2(\alpha_{bB} + \frac{11}{9}\beta_2) + \alpha_{cC} + \beta_2 \} = 0 \dots \dots \dots (72)$$

$$\frac{1}{10.198} \{ 2(\alpha_{cC} + \beta_2) + \alpha_{Bb} + \frac{11}{9}\beta_2 \} + \frac{1}{11}(2\alpha_{cC} + \alpha_{cD})$$

$$+\frac{1}{10.05}\{2(\alpha_{c_c} + \frac{12}{11}\beta_1) + \alpha_{D_1} + \beta_3\} = 0 \dots \dots \dots (73)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{10}\{2(\alpha_{c_c} + \beta_2) + \alpha_{D_1} + \frac{11}{9}\beta_2\} + \frac{1}{11}(2\alpha_{c_c} + \alpha_{c_c}) \\ & + \frac{1}{10}\{2(\alpha_{c_c} + \frac{12}{11}\beta_2) + \alpha_{D_1} + \beta_3\} = 0 \dots \dots \dots (74) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{10.05}\{2(\alpha_{D_1} + \beta_3) + \alpha_{c_c} + \frac{12}{11}\beta_3\} + \frac{1}{12}(2\alpha_{D_1} + \alpha_{D_1}) \\ & + \frac{1}{10.05}\{2(\alpha_{D_1} + \beta_3) + \alpha_{c_c} + \frac{12}{11}\beta_3\} = 0 \dots \dots \dots (75) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{10}\{2(\alpha_{D_1} + \beta_3) + \alpha_{c_c} + \frac{12}{11}\beta_3\} + \frac{1}{12}(2\alpha_{D_1} + \alpha_{D_1}) \\ & + \frac{1}{10}\{2(\alpha_{D_1} + \beta_3) + \alpha_{c_c} + \frac{12}{11}\beta_3\} = 0 \dots \dots \dots (76) \end{aligned}$$

Let  $S_1$ ,  $S_2$  and  $S_3$  be the direct stresses in members  $AB$ ,  $BC$  and  $CD$  respectively, then

$$\frac{10 S_1}{10.44} + \frac{6}{6^2}(\alpha_{A_1} + \alpha_{A_1}) - \frac{6}{(10.44)^2}(\alpha_{A_1} + \alpha_{B_1} + \frac{6+9}{6} \times \beta_1) \times \frac{3}{10.44} = 0 \dots (77)$$

$$\begin{aligned} & \frac{3 S_1}{10.44} + \frac{6}{(10.44)^2}(\alpha_{A_1} + \alpha_{B_1} + \frac{15}{6} \beta_1) \times \frac{10}{10.44} + \frac{6}{10^2}(\alpha_{A_1} + \alpha_{B_1} + \frac{15}{6} \beta_1) \\ & + \frac{5}{6} P_1 + \frac{4}{6} P_2 + \frac{3}{6} P_3 + \frac{2}{6} P_4 + \frac{1}{6} P_5 = 0 \dots \dots \dots (78) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & -\frac{10 S_1}{10.44} + \frac{6}{(10.44)^2}(\alpha_{A_1} + \alpha_{B_1} + \frac{15}{6} \beta_1) \times \frac{3}{10.44} + \frac{10 S_2}{10.198} - \frac{6}{(10.198)^2}(\alpha_{B_1} \\ & + \alpha_{c_c} + \frac{20}{9} \beta_2) \times \frac{2}{10.198} + \frac{6}{9^2}(\alpha_{B_1} + \alpha_{c_c}) = 0 \dots \dots \dots (79) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{2 S_2}{10.198} + \frac{6}{(10.198)^2}(\alpha_{B_1} + \alpha_{c_c} + \frac{20}{9} \beta_2) \times \frac{10}{10.198} + \frac{6}{10^2}(\alpha_{B_1} + \alpha_{c_c} + \frac{20}{9} \beta_2) \\ & - \frac{1}{6} P_1 + \frac{4}{6} P_2 + \frac{3}{6} P_3 + \frac{2}{6} P_4 + \frac{1}{6} P_5 = 0 \dots \dots \dots (80) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & -\frac{10 S_2}{10.198} + \frac{6}{(10.198)^2}(\alpha_{B_1} + \alpha_{c_c} + \frac{20}{9} \beta_2) \times \frac{2}{10.198} + \frac{10 S_3}{10.05} - \frac{6}{(10.05)^2}(\alpha_{c_c} \\ & + \alpha_{D_1} + \frac{23}{11} \beta_3) \times \frac{1}{10.05} + \frac{6}{11^2}(\alpha_{c_c} + \alpha_{c_c}) = 0 \dots \dots \dots (81) \end{aligned}$$



$$\frac{S_2}{10.05} + \frac{6}{10.05^2} (\alpha_{c_c} + \alpha_{D_I} + \frac{23}{11} \beta_1) \times \frac{10}{10.05} + \frac{6}{10^4} (\alpha_{c_c} + \alpha_{D_I} + \frac{23}{11} \beta_1) - \frac{1}{6} P_1 - \frac{2}{6} P_2 + \frac{3}{6} P_3 + \frac{2}{6} P_4 + \frac{1}{6} P_5 = 0 \dots \dots \dots (82)$$

From equations (69) to (82), we obtain

$$\begin{aligned} \alpha_{a_i} &= -0.31752 \alpha_{a_i} - 0.18248 \alpha_{b_i} - 0.72993 \beta_1, \\ \alpha_{s_i} &= -0.3125 \alpha_{s_i} - 0.1875 \alpha_{b_i} - 0.75 \beta_1, \\ \alpha_{b_i} &= -0.15705 \alpha_{s_i} - 0.18217 \alpha_{b_i} - 0.16077 \alpha_{c_c} - 0.54967 \beta_1 - 0.55379 \beta_2, \\ \alpha_{l_i} &= -0.16071 \alpha_{s_i} - 0.17857 \alpha_{b_i} - 0.16071 \alpha_{c_c} - 0.5625 \beta_1 - 0.55357 \beta_2, \\ \alpha_{c_c} &= -0.16996 \alpha_{b_i} - 0.15757 \alpha_{c_c} - 0.17247 \alpha_{D_I} - 0.54767 \beta_2 - 0.54877 \beta_3, \\ \alpha_{c_c} &= -0.17188 \alpha_{b_i} - 0.15625 \alpha_{c_c} - 0.17188 \alpha_{D_I} - 0.55382 \beta_2 - 0.54688 \beta_3, \\ \alpha_{D_I} &= -0.17621 \alpha_{c_c} - 0.14758 \alpha_{l_i} - 0.17621 \alpha_{E_c} - 0.54465 \beta_2 - 0.54465 \beta_3, \\ \alpha_{D_I} &= -0.17647 \alpha_{c_c} - 0.14706 \alpha_{D_I} - 0.17647 \alpha_{E_c} - 0.54545 \beta_2 - 0.54545 \beta_3, \\ S_1 &= -0.15749 \alpha_{s_i} - 0.174 \alpha_{s_i} + 0.06515 \alpha_{b_i} + 0.041287 \beta_1, \\ S_2 &= 0.97682 S_1 - 0.016132 \alpha_{s_i} - 0.080134 \alpha_{b_i} - 0.075541 \alpha_{b_i} \\ &\quad + 0.011539 \alpha_{c_c} - 0.0433 \beta_1 + 0.025641 \beta_2, \\ S_3 &= 0.98549 S_2 - 0.011371 \alpha_{b_i} - 0.055266 \alpha_{c_c} - 0.049835 \alpha_{c_c} \\ &\quad + 0.0059404 \alpha_{D_I} - 0.025269 \beta_2 + 0.012421 \beta_3, \\ \beta_1 &= -1.0197 S_1 - 0.1871(\alpha_{s_i} + \alpha_{b_i}) - 0.2129(\alpha_{s_i} + \alpha_{b_i}) \\ &\quad - 2.957 P_1 - 2.3656 P_2 - 1.7742 P_3 - 1.1828 P_4 - 0.5914 P_5, \\ \beta_2 &= -0.75707 S_2 - 0.21839(\alpha_{b_i} + \alpha_{c_c}) - 0.23162(\alpha_{b_i} + \alpha_{c_c}) \\ &\quad + 0.6434 P_1 - 2.5735 P_2 - 1.9301 P_3 - 1.2868 P_4 - 0.6434 P_5, \\ \beta_3 &= -0.39954 S_3 - 0.23735(\alpha_{c_c} + \alpha_{D_I}) - 0.24093(\alpha_{c_c} + \alpha_{D_I}) \\ &\quad + 0.6692 P_1 + 1.3335 P_2 - 2.0077 P_3 - 1.3335 P_4 - 0.6692 P_5. \end{aligned}$$

Values of  $\alpha$ 's,  $\beta$ 's and  $S$ 's are evaluated in Tables 19 to 23. For each set of increments the order of calculation is as follows:

- (1) increments of  $\alpha$ 's,
- (2) increments of  $S$ 's,
- (3) increments of  $\beta$ 's.

Tables 19 and 23 are calculated together, so that the values of increments

TABLE 19. EVALUATION OF  $\alpha'_s$ ,  $\beta'_s$  AND  $S'_s$ : UNIT LOAD AT  $b$ .

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Total	Check
$\alpha_a$	-0.31762 $\alpha_a$	-0.7012	0.1615	-0.028	0.053	-0.092	0.003	0.001	0.001		-0.5613
	-0.18248 $\alpha_b$	-0.2516	0.0731	0.028	0.008	0.003	0.000	0.001	0.002		-0.1411
	-0.72662 $\beta_1$	2.1581	0.4034	-0.1625	-0.0918	-0.0122	-0.003	-0.0015	-0.0007	-0.0034	2.5737
$\alpha_b$	-0.3125 $\alpha_a$	2.1381	0.6571	0.0722	-0.038	-0.0001	-0.0012	-0.0022	-0.0001	1.6744	1.6744
	-0.1875 $\alpha_b$	-0.0745	0.1673	-0.0235	0.0039	—	—	0.0001	0.001		-0.3233
	-0.716 $\beta_1$	-0.2451	0.0751	0.0078	0.0072	0.0025	0.0010	0.0004	0.0002		-0.1511
$S_1$	-0.15749 $\alpha_a$	2.2178	0.5981	0.0754	-0.0115	-0.0006	-0.0008	-0.0007	-0.0004	1.7677	2.4459
	-0.174 $\alpha_b$	-0.3869	0.0815	-0.0114	0.0039	—	—	0.0003	—		-0.2687
	0.01287 $\beta_1$	0.0219	-0.0966	-0.0006	-0.0006	-0.0002	-0.0001	—	—		-0.0178
$\beta_1$	-1.0167	-0.1269	0.1451	-0.0159	0.0054	0.0001	0.0001	—	—		-0.3344
	-0.1871 ( $\alpha_a + \alpha_b$ )	0.8492	-0.1402	0.0162	-0.0033	-0.0011	-0.0011	—	—		-0.6929
	-0.2123 ( $\alpha_a + \alpha_b$ )	-0.0113	0.1734	-0.0065	0.0135	0.0021	0.0012	0.0005	0.0002	0.0001	0.7008
$\alpha_b$	-0.1870	-0.7593	0.1561	-0.0472	0.0117	0.0024	0.0015	0.0005	0.0001		-0.1579
	-0.18705 $\alpha_a$	-0.74861	0.2236	0.0325	0.0167	0.0044	0.0021	0.0009	0.0005	-0.2369	-3.2569
	-0.18217 $\alpha_b$	-0.33991	0.0831	-0.0121	-0.0115	0.0039	—	0.0002	—		-0.2089
$\alpha_b$	-0.18977 $\alpha_c$	-0.2281	0.0759	0.0076	0.0070	0.0023	0.0009	0.0004	0.0002		-0.1468
	-0.54967 $\beta_1$	0.1157	0.1269	0.0208	0.0147	0.0053	0.0025	0.0009	0.0004		0.2953
	-0.53379 $\beta_2$	1.6254	0.3015	-0.1221	-0.0013	-0.0002	-0.0002	-0.0012	-0.0002	-0.0002	1.7897
$\alpha_b$	-0.16971 $\alpha_a$	-0.2583	-0.2425	-0.1079	-0.0617	-0.0206	-0.0102	-0.0045	-0.0018	-0.0008	-0.9925
	-0.16971 $\alpha_b$	1.2991	-0.4022	-0.0372	0.1370	-0.0111	-0.0059	-0.0021	-0.0010	-0.0005	0.7739
	-0.16971 $\alpha_c$	-0.3564	0.0817	-0.0121	0.0027	-0.0001	0.0001	—	—		-0.2811
$S_2$	-0.17857 $\alpha_b$	-0.2266	0.0718	0.0003	0.0004	0.0009	0.0009	0.0004	0.0002		-0.1389
	-0.16971 $\alpha_c$	0.1161	0.1277	0.0094	0.0147	0.0055	0.0025	0.0009	0.0001		0.5081
	-0.53357 $\beta_2$	1.6253	0.3086	-0.1252	-0.0014	-0.0004	-0.0002	-0.0015	-0.0002	-0.0002	1.8319
$S_2$	0.07682 $S_1$	1.5971	-0.4005	-0.0318	0.0833	-0.0129	-0.0025	-0.0010	-0.0008	0.8963	0.8963
	-0.16182 $\alpha_a$	-0.8977	0.1401	-0.0165	0.0033	0.0001	0.0001	—	—		-0.6770
	-0.080154 $\alpha_b$	-0.0248	0.0688	-0.0012	0.0003	—	—	—	—		-0.0270
$S_2$	-0.016541 $\alpha_b$	-0.1017	0.0322	0.0059	0.0039	0.0004	0.0004	0.0002	0.0001		-0.0619
	-0.011839 $\alpha_c$	-0.0687	0.0073	0.0052	0.0029	0.0009	0.0004	0.0002	0.0001		-0.0099
	-0.04033 $\beta_1$	-0.0083	-0.0099	-0.0021	-0.0011	-0.0004	-0.0002	-0.0001	—		-0.0212
$S_2$	0.025641 $\beta_2$	0.1193	0.0221	-0.0099	-0.0051	-0.0007	-0.0002	-0.0001	—		0.1313
		0.0165	0.0112	0.0092	0.0029	0.0012	0.0005	0.0002	0.0001		0.0415
		-0.0164	0.2257	-0.0121	0.0132	0.0025	0.0013	0.0005	0.0003		-0.6745



TABLE 20. EVALUATION OF  $\alpha_s, \beta_s$  AND  $S_s$ ; UNIT LOAD AT  $c$ .

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Total	Check
$\alpha_a$	$-0.31752 \alpha_{aa}$	$-0.5633$	$0.0312$	$-0.0149$	$0.0023$	$0.0001$	$0.0003$	$0.0001$	—	—	—	$-0.3175$
	$-0.18248 \alpha_{bb}$	$-0.4972$	$-0.0311$	$-0.0036$	$0.0031$	$0.0017$	$-0.0019$	$0.0014$	$0.0002$	$0.0002$	—	$-0.1825$
	$-0.72965 \beta_1$	$1.7207$	$0.8402$	$0.0095$	$-0.0109$	$-0.0031$	$-0.0027$	$-0.0015$	$-0.0003$	$-0.0003$	$1.5351$	$2.7622$
$\alpha_{a1}$	$-0.3195 \alpha_{1a}$	$1.7207$	$-0.2901$	$0.0394$	$-0.0087$	$-0.0005$	$-0.0030$	$-0.0001$	$-0.0001$	$-0.0001$	—	$1.5351$
	$-0.1878 \alpha_{1b}$	$-0.5306$	$0.0388$	$-0.0123$	$0.0027$	$0.0002$	$0.0003$	$0.0001$	$0.0001$	—	—	$-0.1878$
	$-0.75 \beta_1$	$-0.3167$	$0.0341$	$-0.0038$	$0.0072$	$0.0018$	$0.0009$	$0.0001$	$0.0001$	$0.0002$	$2.6171$	$-0.3392$
$S_1$	$-0.15749 \alpha_{1a}$	$1.7742$	$-0.1927$	$0.0440$	$-0.0039$	$-0.0033$	$-0.0025$	$-0.0003$	$-0.0011$	$-0.0001$	$1.6171$	$1.6172$
	$-0.174 \alpha_{1b}$	$-0.2715$	$0.0347$	$-0.0022$	$0.0014$	$0.0001$	$0.0001$	$0.0001$	$0.0001$	—	—	$-0.2118$
	$0.010515 \alpha_{1b}$	$-0.3087$	$0.0257$	$-0.0071$	$0.0010$	$0.0001$	$0.0001$	$0.0001$	$0.0001$	$0.0001$	$0.0478$	$0.0478$
	$0.0470 \alpha_{1b}$	$0.0470$	$0.0028$	$-0.0005$	$-0.0003$	$-0.0002$	$-0.0001$	—	—	—	—	$-0.1337$
	$0.041287 \beta_1$	$-0.0977$	$-0.0475$	$-0.0005$	$-0.0003$	$0.0002$	$0.0002$	$0.0001$	$0.0001$	$0.0001$	$-0.0311$	$-0.0311$
$\beta_1$	$-1.0197 S_1$	$-0.6333$	$0.0253$	$-0.0124$	$0.0015$	$0.0007$	$0.0003$	$0.0002$	—	—	—	$0.6333$
	$-0.1871 (\alpha_{1a} + \beta_{1b})$	$0.6468$	$-0.0240$	$0.0142$	$-0.0013$	$-0.0007$	$-0.0003$	$-0.0002$	$0.0002$	$0.0001$	—	$-0.1871$
	$-0.2129 (\alpha_{1a} + \alpha_{1b})$	$-0.8520$	$0.0095$	$-0.0171$	$0.0018$	$0.0019$	$0.0011$	$0.0005$	$0.0002$	$0.0001$	—	$-0.2887$
$\alpha_{1b}$	$-2.3656 \beta_1$	$-0.9043$	$0.0010$	$-0.0109$	$0.0030$	$0.0021$	$0.0012$	$0.0005$	$0.0001$	$0.0001$	$-3.5741$	$-3.5741$
	$-0.15705 \alpha_{1a}$	$-1.1515$	$-0.0128$	$-0.0149$	$0.0083$	$0.0037$	$0.0020$	$0.0008$	$0.0001$	—	—	$-2.3111$
	$-0.18207 \alpha_{1b}$	$-0.2712$	$0.0316$	$-0.0142$	$0.0031$	$0.0011$	$0.0003$	$0.0003$	$0.0001$	$0.0001$	$0.0002$	$-0.3310$
	$-0.18077 \alpha_{1c}$	$-0.5010$	$-0.0349$	$-0.0047$	$0.0031$	$0.0018$	$0.0009$	$0.0004$	$0.0001$	$0.0001$	—	$-0.0675$
	$-0.53067 \beta_1$	$-0.1683$	$0.0347$	$0.0237$	$0.0152$	$0.0058$	$0.0026$	$0.0012$	$0.0004$	$0.0002$	$1.9493$	$1.9493$
$\alpha_{1b}$	$-0.56379 \beta_2$	$1.3005$	$0.6323$	$0.0071$	$0.0081$	$-0.0040$	$-0.0020$	$-0.0011$	$-0.0004$	$-0.0002$	$2.8021$	$2.8021$
	$-0.16971 \alpha_{1a}$	$3.4232$	$0.4193$	$-0.0315$	$-0.0337$	$-0.0221$	$-0.0105$	$-0.0045$	$-0.0021$	$-0.0009$	$1.7379$	$1.7379$
	$-0.17857 \alpha_{1b}$	$2.7652$	$0.1763$	$0.0396$	$-0.0198$	$-0.0038$	$-0.0019$	$-0.0009$	$-0.0004$	$-0.0001$	$2.8021$	$2.8021$
	$-0.16971 \alpha_{1c}$	$-0.2851$	$0.6310$	$-0.0071$	$0.0011$	$0.0001$	$0.0001$	$0.0001$	—	—	—	$-0.2851$
	$-0.16971 \alpha_{1c}$	$-0.4867$	$-0.0235$	$-0.0055$	$0.0003$	$0.0017$	$0.0009$	$0.0004$	$0.0002$	$0.0002$	$1.9857$	$1.9857$
$S_2$	$-0.56379 \beta_2$	$1.3306$	$0.6477$	$0.0072$	$0.0081$	$-0.0047$	$-0.0021$	$-0.0011$	$-0.0004$	$-0.0002$	$2.9346$	$2.9346$
	$-0.16971 \alpha_{1a}$	$1.4246$	$0.4191$	$-0.0314$	$-0.0337$	$-0.0221$	$-0.0105$	$-0.0045$	$-0.0021$	$-0.0009$	$1.7379$	$1.7379$
	$-0.16971 \alpha_{1b}$	$2.7652$	$0.1836$	$0.0311$	$-0.0198$	$-0.0037$	$-0.0019$	$-0.0009$	$-0.0004$	$-0.0001$	$2.8021$	$2.8021$
	$-0.16971 \alpha_{1c}$	$-0.6186$	$0.6259$	$-0.0199$	$0.0015$	$0.0003$	$0.0002$	$0.0002$	—	—	—	$-0.6186$
	$-0.080154 \alpha_{1b}$	$-0.6270$	$0.0035$	$-0.0005$	$0.0001$	$0.0003$	$0.0002$	$0.0002$	—	—	—	$-0.6270$
$\beta_2$	$-0.080154 \alpha_{1b}$	$-0.2184$	$-0.0137$	$-0.0025$	$0.0013$	$0.0007$	$0.0004$	$0.0002$	$0.0001$	$0.0001$	$-0.2184$	$-0.2184$
	$-0.011539 \alpha_{1c}$	$-0.2081$	$-0.0139$	$-0.0022$	$0.0013$	$0.0007$	$0.0004$	$0.0002$	$0.0001$	$0.0001$	$-0.2081$	$-0.2081$
	$-0.044032 \beta_1$	$0.0678$	$-0.0029$	$-0.0016$	$-0.0003$	$-0.0004$	$-0.0002$	$-0.0001$	—	—	$0.0678$	$0.0678$
	$-0.025641 \beta_2$	$0.0664$	$0.0464$	$0.0005$	$0.0003$	$0.0003$	$0.0002$	$0.0001$	$0.0001$	$0.0001$	$0.1127$	$0.1127$
	$-0.025641 \beta_2$	$-1.0358$	$-0.0194$	$0.0015$	$0.0016$	$0.0010$	$0.0005$	$0.0002$	$0.0001$	$0.0001$	$-1.0358$	$-1.0358$

$\beta_2$	-0.7507 $\alpha_2$	0.2812	-0.0165	0.0111	-0.0012	-0.0015	-0.0009	-0.0005	-0.0002	—	0.1115
	-0.21839 $\alpha_2 + \alpha_3$	-0.7126	0.0259	0.0212	0.0216	0.0190	0.0016	0.0021	0.0009	0.0004	-0.0118
	-0.25102 ( $\alpha_2 + \alpha_3$ )	-0.7387	0.0245	0.0241	0.0251	0.0197	0.0059	0.0022	0.0010	0.0004	-0.0367
	-2.1735	-0.7771	0.0568	0.0641	0.0505	0.0192	0.0687	0.0028	0.0017	0.0008	-3.1317
$\alpha_2$	-0.16666 $\alpha_1$	-0.1632	-0.0299	-0.0372	-0.0029	0.0038	0.0004	0.0002	0.0004	0.0002	-0.0015
	-0.15767 $\alpha_1$	-0.1682	0.0257	0.0227	0.0151	0.0158	0.0026	0.0012	0.0005	—	-0.0025
	-0.17477 $\alpha_1$	1.4094	0.2515	0.1295	0.0511	-0.0255	-0.0007	0.0012	0.0018	0.0008	-0.4022
	-0.15477 $\beta_2$	-0.7345	-0.4146	-0.0311	-0.0253	-0.0222	-0.0105	-0.0018	-0.0021	-0.0009	1.7168
	-0.54877 $\beta_2$	0.0578	-0.3401	-0.1314	-0.0823	-0.0332	-0.0291	-0.0101	-0.0014	-0.0019	-1.6222
$\alpha_1$	-0.17188 $\alpha_1$	-0.1729	-0.0310	-0.0320	0.0029	0.0017	0.0009	0.0004	0.0002	—	-0.0014
	-0.1723 $\alpha_1$	0.1765	0.0321	0.0291	0.0152	0.0057	0.0025	0.0011	0.0005	—	-0.0017
	-0.17188 $\alpha_1$	1.4253	0.2516	0.1295	0.0512	-0.0257	-0.0007	0.0012	0.0018	0.0008	-0.4022
	-0.15488 $\beta_2$	-0.7329	-0.4223	-0.1304	-0.0821	-0.0331	-0.0290	-0.0101	-0.0014	-0.0019	1.7301
	-0.54888 $\beta_2$	0.0532	-0.3411	-0.1439	-0.0821	-0.0332	-0.0290	-0.0101	-0.0014	-0.0019	-1.6204
$\beta_2$	0.08549 $\beta_2$	-1.0238	0.0217	-0.0182	0.0054	0.0029	0.0112	-0.0036	0.0003	—	-1.0089
	-0.011371 $\alpha_1$	-0.0319	-0.0919	-0.0023	0.0002	0.0001	—	—	—	—	-0.0529
	-0.058296 $\alpha_2$	-0.0373	0.0188	0.0078	0.0045	0.0029	0.0090	0.0004	0.0002	0.0001	-0.0025
	-0.049825 $\alpha_3$	-0.0346	0.0170	0.0072	0.0041	0.0018	0.0008	0.0004	0.0002	0.0001	-0.0029
	0.0059104 $\alpha_1$	-0.0387	-0.0041	-0.0018	-0.0008	-0.0005	-0.0001	—	—	—	-0.0159
	-0.025269 $\beta_2$	0.0359	0.0191	-0.0714	-0.0016	-0.0010	-0.0205	-0.0002	-0.0001	—	0.0792
	0.012121 $\beta_3$	0.0166	0.0038	0.0033	0.0026	0.0012	0.0026	0.0002	0.0001	—	0.0399
$\beta_3$	-0.02054 $\beta_3$	-1.0598	0.0894	-0.0010	0.0144	0.0058	0.0129	0.0013	0.0007	—	-0.0461
	-0.23725 ( $\alpha_1 + \alpha_2$ )	0.1860	0.2401	0.1039	0.0291	0.0017	0.0012	0.0005	-0.0003	0.0001	0.2579
	-0.24689 ( $\alpha_1 + \alpha_2$ )	0.1838	0.2511	0.1024	0.0313	0.0224	0.0066	0.0045	0.0019	0.0005	0.0249
	1.3388	0.7395	0.4631	0.2107	0.0833	0.0421	0.0184	0.0089	0.0021	0.0017	2.9743
$\alpha_1$	-0.17621 $\alpha_1$	-0.1189	0.0369	0.0249	0.0146	0.0061	0.0029	0.0015	0.0005	—	-0.0682
	-0.14738 $\alpha_1$	0.2156	0.1055	0.0429	0.0081	0.0052	0.0016	0.0007	0.0005	—	0.3062
	-0.17621 $\alpha_1$	0.2246	0.074	0.0293	0.0147	0.0065	0.0029	0.0015	0.0005	—	0.3852
	-0.54465 $\beta_4$	-0.7290	-0.4395	-0.2555	-0.1148	-0.0222	-0.0229	-0.0109	-0.0044	-0.0019	-1.6299
	-0.54465 $\beta_4$	-0.7290	-0.6164	-0.1501	-0.0226	-0.0229	-0.0109	-0.0044	-0.0019	—	-1.8515
	-0.17621 $\alpha_1$	-1.4680	0.0077	-0.2045	-0.1302	-0.0341	-0.0106	-0.0046	-0.0021	—	-2.6867
$\alpha_1$	-0.14706 $\alpha_1$	-0.1223	0.0299	0.0254	0.0146	0.0065	0.0029	0.0013	0.0003	—	-0.0107
	-0.17617 $\alpha_1$	0.2147	0.1025	0.0436	0.0191	0.0083	0.0029	0.0016	0.0007	—	0.2941
	-0.54545 $\beta_4$	-0.7201	-0.4512	-0.2537	-0.1149	-0.0222	-0.0229	-0.0109	-0.0044	-0.0019	-1.6292
	-0.54545 $\beta_4$	-0.7303	-0.6175	-0.2764	-0.1303	-0.0227	-0.0229	-0.0109	-0.0044	-0.0019	-1.8570
$\beta_4$	-0.17621 $\alpha_1$	-1.4082	-0.7012	-0.3971	-0.1302	-0.0669	-0.0106	-0.0046	-0.0021	—	-2.6859
$\alpha_2$	1.1317	0.9967	0.2296	0.0966	0.0422	0.0184	0.0089	0.0034	0.0017	0.0017	3.9678
	-1.4632	-0.2639	-0.2949	-0.0854	-0.0376	-0.0165	-0.0073	-0.0031	-0.0015	-0.0015	-2.1862
	-1.4447	-0.3652	-0.2949	-0.0854	-0.0376	-0.0165	-0.0073	-0.0032	-0.0015	-0.0015	-2.1982
	-2.1989	-1.4447	-0.3652	-0.2949	-0.0854	-0.0376	-0.0165	-0.0073	-0.0032	-0.0015	-2.1989

TABLE 21. EVALUATION OF  $\alpha$ 's,  $\beta$ 's AND  $S$ 's: UNIT LOAD AT  $d$ .

	I	II	III	IV	V	VI	VII	Total	Check
$\alpha_{1a}$	$-0.31712 \alpha_{11}$	$-0.4223$	$0.1530$	$-0.0168$	$0.0305$	$-0.0007$			$-0.3487$
	$-0.18248 \alpha_{1b}$	$-0.3739$	$-0.0214$	$-0.0235$	$-0.0011$	$-0.0019$			$-0.3496$
	$-0.72292 \beta_1$	$1.2550$	$0.6294$	$0.2537$	$0.0514$	$0.0051$	$0.0029$	$1.1770$	$2.0215$
$\alpha_{2a}$	$-0.3125 \alpha_{1a}$	$-0.1651$	$0.0482$	$-0.0027$	$0.0010$	$0$			$1.1770$
	$-0.1872 \alpha_{1b}$	$-0.4017$	$0.0316$	$-0.0151$	$0.0008$	$-0.0005$			$-0.3458$
	$-0.7579 \beta_1$	$-0.2872$	$-0.0345$	$-0.0212$	$-0.0045$	$-0.0011$	$0.0020$	$1.2298$	$2.0769$
S1	$-0.15749 \alpha_{1a}$	$1.2207$	$0.6477$	$0.2522$	$0.0533$	$0.0034$	$0.0020$	$1.2298$	$1.2297$
	$-0.174 \alpha_{11}$	$-0.1315$	$-0.0322$	$-0.0019$	$0.0031$	$-0.0002$			$-0.1851$
	$0.016515 \alpha_{1b}$	$-0.2039$	$0.0290$	$-0.0046$	$0.0001$	$-0.0003$			$-0.2157$
$\beta_1$	$-0.174 \alpha_{11}$	$0.0288$	$0.0046$	$0.0019$	$0.0004$	$0.0001$			$0.0198$
	$0.016515 \alpha_{1b}$	$-0.0722$	$-0.0357$	$-0.0030$	$-0.0020$	$-0.0005$	$-0.0001$	$-0.1113$	$-0.1113$
	$-0.174 \alpha_{11}$	$-0.4749$	$0.0200$	$-0.0178$	$-0.0010$	$-0.0003$	$-0.0003$	$-0.4747$	$-0.4546$
$\alpha_{1b}$	$-1.0194 \alpha_{11}$	$-0.4845$	$-0.0204$	$0.0182$	$0.0010$	$0.0003$	$0.0001$		$0.1883$
	$-0.1871 (\alpha_{1a} + \alpha_{1b})$	$-0.0247$	$-0.0218$	$-0.0201$	$-0.0037$	$-0.0016$	$-0.0003$		$-0.1822$
	$-0.2325 (\alpha_{1a} + \alpha_{1b})$	$-0.7232$	$-0.0314$	$-0.0352$	$-0.0047$	$-0.0020$	$-0.0003$	$-2.7092$	$-0.7360$
$\alpha_{1c}$	$-1.7742$	$-0.8623$	$-0.0726$	$-0.0171$	$-0.0074$	$-0.0027$	$-0.0005$	$-2.7092$	$-2.7092$
	$-0.18217 \alpha_{1b}$	$-0.0931$	$0.0250$	$-0.0046$	$0.0094$	$-0.0033$			$-0.1848$
	$-0.19017 \alpha_{1c}$	$-0.4761$	$-0.3532$	$-0.0206$	$-0.0042$	$-0.0015$			$-0.3569$
$\alpha_{2b}$	$0.0752$	$0.4747$	$0.0463$	$0.0239$	$0.0041$	$0.0015$			$-0.4408$
	$1.0089$	$0.7257$	$0.1622$	$0.0485$	$0.0121$	$0.0034$			$1.5221$
	$-0.65379 \beta_2$	$2.0441$	$0.2818$	$0.1123$	$0.0224$	$0.0074$	$0.0016$	$2.4434$	$2.0294$
$\alpha_{2c}$	$-0.1921 \alpha_{1a}$	$-0.2539$	$0.0222$	$-0.0084$	$0.0092$	$-0.0032$			$-0.1962$
	$-0.17851 \alpha_{1b}$	$-0.3659$	$-0.0595$	$-0.0291$	$-0.0049$	$-0.0012$			$-0.4410$
	$-0.1971 \alpha_{1c}$	$-0.3482$	$-0.0671$	$-0.0251$	$-0.0054$	$-0.0017$			$-0.4425$
S2	$0.011539 \alpha_{1c}$	$1.0084$	$0.0414$	$0.0255$	$0.0042$	$0.0015$			$1.5277$
	$-0.075541 \alpha_{1b}$	$2.0664$	$0.1681$	$0.0485$	$0.0121$	$0.0034$			$2.0286$
	$-0.04025 \beta_1$	$-0.4639$	$0.0195$	$-0.0174$	$-0.0010$	$-0.0030$	$-0.0017$	$2.5932$	$2.5936$
$\alpha_{2d}$	$0.022614 \beta_2$	$-0.0230$	$-0.0230$	$-0.0008$	$-0.0010$	$-0.0030$	$-0.0011$	$-0.4637$	$-0.4637$
	$-0.090194 \alpha_{1b}$	$-0.1638$	$-0.0229$	$-0.0090$	$-0.0018$	$-0.0003$	$-0.0001$	$-0.1979$	$-0.1979$
	$-0.075541 \alpha_{1b}$	$-0.1543$	$-0.0221$	$-0.0085$	$-0.0017$	$-0.0003$	$-0.0001$	$-0.1881$	$-0.1881$
$\alpha_{2e}$	$0.011539 \alpha_{1c}$	$0.0249$	$0.0345$	$0.0117$	$0.0034$	$0.0001$			$0.0516$
	$-0.04025 \beta_1$	$-0.0716$	$0.0348$	$0.0069$	$0.0019$	$0.0003$			$0.1117$
	$0.022614 \beta_2$	$-0.0405$	$-0.0349$	$-0.0255$	$-0.0022$	$-0.0006$	$-0.0001$	$-0.0940$	$-0.0940$
$\alpha_{2f}$	$-0.04025 \beta_1$	$-0.7357$	$-0.0312$	$-0.0383$	$-0.0044$	$-0.0022$	$-0.0001$	$-0.8291$	$-0.8291$

P <sub>2</sub>	-0.72707 a <sub>2</sub>	0.5534	0.0123	0.0231	0.0433	0.0617	0.0842		0.0211
	-0.21839 (a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> +a <sub>2</sub> c <sub>2</sub> )	-0.0179	-0.1483	-0.0254	-0.0122	-0.0078	-0.0474		-1.1589
	-0.25162 (a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> +a <sub>2</sub> c <sub>2</sub> )	-0.0805	-0.1590	-0.0399	-0.0129	-0.0840	-0.0010		-1.2176
	-1.48971	-1.2248	-0.2529	-0.0872	-0.0210	-0.0631	-0.0016	-3.0416	-3.0619
a <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	-0.16846 a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>		-0.3174	-0.0478	-0.0191	-0.0938	-0.0012		-0.4197
	-0.15767 b <sub>2</sub> c <sub>2</sub>		0.6271	-0.0229	-0.0665	-0.0916			-0.4328
	-0.51767 b <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	1.0571	0.7246	0.1093	0.0478	0.0129	0.0534		2.0070
	-0.54877 b <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	1.1928	0.5742	0.0262	0.0274	0.0074	0.0929		1.6883
a <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	-0.17188 a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	2.1580	0.3810	0.1487	0.0251	0.0105	0.0926	2.7416	2.7429
	-0.15625 a <sub>2</sub> c <sub>2</sub>		-0.3552	-0.0572	-0.0194	-0.0939	-0.0112		-0.4394
	-0.55322 b <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	1.0684	0.2573	0.0611	-0.0228	-0.0352	-0.0016		-0.4284
	-0.54888 b <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	1.0989	0.7357	0.1222	0.0485	0.0121	0.0931		2.0305
S <sub>2</sub>	0.008540 S <sub>2</sub>	-2.1639	0.3942	0.1457	0.0334	0.0103	0.0926	2.7532	2.7539
	-0.11571 a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	-0.7463	-0.0179	-0.0378	-0.0343	-0.0022	-0.0994		-0.8985
	-0.05256 a <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	-0.0232	-0.0622	-0.0913	-0.0665	-0.0001			-0.0281
	-0.01853 a <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	-0.1193	-0.0216	-0.0781	-0.0018	-0.0036	-0.0901		-0.1315
P <sub>3</sub>	-0.02529 a <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	-0.1089	-0.0197	-0.0173	-0.0017	-0.0995	-0.0991		-0.1372
	-0.02529 b <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	0.0488	0.0335	0.0074	0.0022	0.0096	0.0092		0.0926
	-0.012421 b <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	-0.0249	-0.0059	-0.0222	-0.0006	-0.0092			-0.0369
	-0.39663 S <sub>2</sub>	-0.9753	-0.0399	-0.0494	-0.0085	-0.0059	-0.0994	-1.0686	-1.0687
a <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	-0.20755 a <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	0.9889	0.0144	0.0197	0.0923	0.0012	0.0972		0.4204
	-0.24063 a <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	-0.5124	-0.0928	-0.0346	-0.0979	-0.0024	-0.0906		-0.6207
	-2.0017	-0.5221	-0.0659	-0.0351	-0.0889	-0.0925	-0.0008		-0.6863
		-0.6153	-0.1794	-0.0500	-0.0137	-0.0037	-0.0910	-2.8947	-2.8948

TABLE 22. EVALUATION OF  $\alpha$ 's,  $\beta$ 's AND  $\delta$ 's: UNIT LOAD AT C.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Total	Check
$\alpha_{101}$	-0.31752 $\alpha_{21}$ -0.18248 $\alpha_{10}$ -0.72962 $\beta_1$	-0.2817 -0.2387 0.4929 -0.3528	0.0295 -0.0242 0.0258 -0.0258	-0.0110 -0.0150 0.0251 0.0062	-0.0003 -0.0029 0.0075 -0.0029	-0.0007 -0.0022 0.0023 -0.0022	-0.0002 -0.0010 0.0015 -0.0012	-0.0001 -0.0001 0.0002 -0.0001	-0.0001 -0.0002 0.0002 -0.0001	-0.21629 -0.3377 1.3307 0.7887	-0.21629 -0.3377 1.3307 0.7887
$\alpha_{10}$	-0.2152 $\alpha_{10}$ -0.1877 $\alpha_{10}$ -0.719 $\beta_1$	-0.2308 -0.2388 0.4819 -0.3517	0.0241 -0.0258 0.0258 -0.0272	-0.0100 -0.0165 0.0272 0.0075	-0.0029 -0.0052 0.0075 -0.0029	-0.0036 -0.0022 0.0027 -0.0022	-0.0032 -0.0010 0.0016 -0.0012	-0.0001 -0.0004 0.0007 -0.0002	-0.0001 -0.0002 0.0002 -0.0001	-0.2165 -0.3391 1.3271 0.8292	-0.2165 -0.3391 1.3271 0.8292
$\delta_1$	-0.15749 $\alpha_{10}$ -0.174 $\alpha_{10}$ 0.016745 $\alpha_{10}$ 0.041287 $\beta_1$	-0.1399 -0.1514 0.0225 -0.0188 -0.3167	0.0173 0.0167 0.0221 -0.0288 0.0153	-0.0051 -0.0069 0.0014 -0.0029 0.0117	-0.0002 -0.0001 0.0005 -0.0015 -0.0012	-0.0001 -0.0001 0.0002 -0.0001 -0.0001	-0.0001 -0.0001 0.0001 -0.0001 -0.0002	-0.0001 -0.0001 0.0001 -0.0001 -0.0002	-0.0001 -0.0001 0.0001 -0.0001 -0.0002	-0.1932 -0.1445 0.0278 -0.0769 -0.3177	-0.1932 -0.1445 0.0278 -0.0769 -0.3177
$\beta_1$	-0.1037 $\delta_1$ -0.1871 ( $\alpha_{10} + \alpha_{10}$ ) -0.2120 ( $\alpha_{10} + \alpha_{10}$ ) -1.1828	0.2259 -0.4165 -0.4892 -0.5578	-0.0136 0.0145 0.0210 -0.0191	-0.0119 -0.0021 -0.0031 -0.0031	0.0012 -0.0012 -0.0031 -0.0031	0.0003 -0.0003 -0.0021 -0.0021	0.0003 -0.0003 -0.0021 -0.0021	0.0003 -0.0003 -0.0021 -0.0021	0.0003 -0.0003 -0.0021 -0.0021	-0.1227 -0.1621 -0.5829 -1.8028	-0.1227 -0.1621 -0.5829 -1.8028
$\alpha_{10}$	-0.15705 $\alpha_{10}$ -0.18917 $\alpha_{10}$ -0.19077 $\alpha_{10}$ -0.54697 $\beta_1$ -0.55573 $\beta_2$	-0.1556 -0.2310 -0.2314 0.5167 0.7129 1.3327	0.0172 -0.0258 -0.0258 0.0279 0.1419 0.0874	-0.0039 -0.0169 -0.0154 0.0231 0.0610 0.0275	-0.0029 -0.0029 -0.0124 -0.0031 0.0252 0.0125	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.1229 -0.3112 -0.5515 1.0239 1.4493 1.6845	-0.1229 -0.3112 -0.5515 1.0239 1.4493 1.6845
$\alpha_{10}$	-0.16371 $\alpha_{10}$ -0.17857 $\alpha_{10}$ -0.19371 $\alpha_{10}$ -0.5625 $\beta_1$ -0.56257 $\beta_2$	-0.2244 -0.1092 -0.1041 0.0166 0.0177 -0.6320	0.0194 -0.0159 -0.0159 0.0945 0.0229 0.1418	-0.0039 -0.0169 -0.0154 0.0231 0.0610 0.0275	-0.0029 -0.0029 -0.0124 -0.0031 0.0252 0.0125	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.1231 -0.3205 -0.5525 1.0478 1.487	-0.1231 -0.3205 -0.5525 1.0478 1.487
$\delta_2$	0.57682 $\delta_1$ -0.016152 $\alpha_{10}$ -0.089124 $\alpha_{10}$ -0.076543 $\alpha_{10}$ -0.011589 $\alpha_{10}$ -0.04035 $\beta_1$ 0.025641 $\beta_2$	-0.3244 -0.0159 -0.1042 -0.1041 0.0166 0.0177 -0.6320	0.0194 -0.0159 -0.0159 0.0945 0.0229 0.1418	-0.0039 -0.0169 -0.0154 0.0231 0.0610 0.0275	-0.0029 -0.0029 -0.0124 -0.0031 0.0252 0.0125	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.0001 -0.0029 -0.0029 0.0027 0.0111 0.0055	-0.1231 -0.3205 -0.5525 1.0478 1.487	-0.1231 -0.3205 -0.5525 1.0478 1.487



$\beta_2$	0.5829	0.0074	0.0210	0.0014	0.0021	0.0009	0.0005	0.0002	0.1192
	-0.6119	-0.1570	-0.0629	-0.0242	-0.0104	-0.0048	-0.0021	-0.0009	-0.0004
	-0.6527	-0.1761	-0.0746	-0.0257	-0.0115	-0.0055	-0.0025	-0.0009	-0.0004
	-0.8831	-0.2562	-0.1162	-0.0455	-0.0291	-0.0089	-0.0038	-0.0015	-0.0008
$\alpha, \alpha'$	-0.2916	-0.0519	-0.0139	-0.0046	-0.0021	-0.0008	-0.0004	-0.0002	-0.2617
	-0.2776	-0.0533	-0.0123	-0.0121	-0.0059	-0.0026	-0.0012	-0.0005	-0.2454
	-0.2515	-0.1292	-0.0511	-0.0227	-0.0097	-0.0042	-0.0018	-0.0008	-0.4622
	0.7047	0.4834	0.1403	0.0694	0.0249	0.0110	0.0040	0.0018	1.4222
	0.7345	0.6210	0.2781	0.1211	0.0529	0.0232	0.0101	0.0044	1.8481
	1.4392	0.3924	0.2940	0.0824	0.0575	0.0165	0.0073	0.0031	2.1870
$\alpha, \alpha'$	-0.2248	-0.0635	-0.0161	-0.0047	-0.0021	-0.0009	-0.0004	-0.0002	-0.2567
	-0.2248	-0.0615	-0.0319	-0.0129	-0.0059	-0.0028	-0.0011	-0.0005	-0.2416
	-0.2510	-0.1290	-0.0312	-0.0227	-0.0097	-0.0042	-0.0018	-0.0008	-0.4669
	0.7127	0.4831	0.1419	0.0610	0.0252	0.0111	0.0049	0.0021	1.4462
	0.7329	0.6188	0.2771	0.1206	0.0528	0.0231	0.0101	0.0044	1.8418
	1.4447	0.3932	0.2949	0.0831	0.0576	0.0165	0.0073	0.0032	2.1922
$S, S'$	-0.4089	-0.0097	-0.0273	-0.0057	-0.0032	-0.0112	-0.0009	-0.0003	-0.5453
	-0.0155	-0.0021	-0.0010	-0.0005	-0.0001	—	—	—	-0.0192
	-0.0705	-0.0218	-0.0113	-0.0046	-0.0021	-0.0009	-0.0004	-0.0002	-0.0001
	-0.0720	-0.0197	-0.1032	-0.0342	-0.0019	-0.0008	-0.0004	-0.0002	-0.1083
	0.0067	0.0041	0.0018	0.0008	0.0003	0.0001	0.0001	—	0.0159
	0.0325	0.0223	0.0005	0.0028	0.0011	0.0005	0.0002	0.0001	0.0661
	-0.0163	-0.0141	-0.0005	-0.0027	-0.0012	-0.0005	-0.0002	-0.0001	-0.0418
	-0.6904	-0.0410	-0.0473	-0.0129	-0.0071	-0.0029	-0.0013	-0.0007	-0.7553
$\beta_1$	0.2589	0.0164	0.0191	0.0064	0.0025	0.0012	0.0005	0.0003	0.3918
	-0.6877	-0.2383	-0.1188	-0.0597	-0.0223	-0.0097	-0.0042	-0.0018	-0.0008
	-0.6960	-0.2342	-0.1299	-0.0515	-0.0227	-0.0099	-0.0045	-0.0019	-0.0008
	-1.1317	-0.5007	-0.2205	-0.0930	-0.0422	-0.0184	-0.0080	-0.0034	-0.0015
$\eta, \eta'$	-0.2573	-0.0634	-0.0559	-0.0147	-0.0066	-0.0029	-0.0013	-0.0005	-3.3675
	-0.2155	-0.1035	-0.0459	-0.0192	-0.0084	-0.0036	-0.0016	-0.0007	-0.3852
	0.1189	0.0349	0.0249	0.0145	0.0064	0.0029	0.0013	0.0005	0.3962
	0.7200	0.6161	0.2709	0.1201	0.0523	0.0230	0.0100	0.0044	1.8343
	0.7290	0.4205	0.2533	0.1148	0.0522	0.0229	0.0100	0.0044	1.6233
	1.4530	0.3867	0.2845	0.1026	0.0541	0.0245	0.0108	0.0045	2.6796
$\alpha, \alpha'$	-0.2549	-0.0697	-0.0590	-0.0147	-0.0065	-0.0029	-0.0013	-0.0006	-0.3879
	-0.2147	-0.1025	-0.0459	-0.0191	-0.0083	-0.0036	-0.0016	-0.0007	-0.2341
	0.1225	0.0492	0.0254	0.0146	0.0065	0.0029	0.0013	0.0006	0.0167
	0.7301	0.6173	0.2704	0.1203	0.0527	0.0230	0.0100	0.0044	1.8379
	0.7301	0.4312	0.2537	0.1149	0.0523	0.0229	0.0100	0.0044	1.6222
	1.4622	0.3702	0.2877	0.1022	0.0566	0.0245	0.0108	0.0046	2.6839
$\beta_4$	-0.7005	-0.4031	-0.2197	-0.0934	-0.0429	-0.0184	-0.0080	-0.0034	-0.0017
	-0.6749	0.3401	0.1414	0.0823	0.0335	0.0163	0.0073	0.0031	0.0013
$\alpha, \alpha'$	-0.6923	0.3411	0.1429	0.0829	0.0326	0.0164	0.0073	0.0032	0.0013
$\alpha, \alpha'$	-0.6923	0.3411	0.1429	0.0829	0.0326	0.0164	0.0073	0.0032	0.0013

TABLE 23. EVALUATION OF  $\alpha$ 's,  $\beta$ 's AND  $\delta$ 's: UNIT LOAD AT  $f$ .

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Total	Check	
$\alpha_d$	-0.31622 $\alpha_{d1}$ -0.32848 $\alpha_{d2}$ -0.72862 $\beta_1$	-0.1409 0.2102 0.3317	0.0133 -0.1912 0.0589	-0.0058 0.0171 0.0182	-0.0032 -0.0074 0.0030	-0.0044 0.0029 0.0010	-0.0032 0.0029 0.0003	-0.0022 0.0029 0.0001	-0.0001 -0.0005 0	— -0.0011 0.0002	— 0.3915 0.3915	-0.3323 -0.1546 0.6810	
$\alpha_{d1}$	-0.31622 $\alpha_{d1}$ -0.174 $\alpha_{d2}$ -0.72862 $\beta_1$	-0.1349 0.4426 0.4459	0.0133 0.2102 0.0481	-0.0058 0.0171 0.0182	-0.0032 -0.0074 0.0030	-0.0044 0.0029 0.0010	-0.0032 0.0029 0.0003	-0.0022 0.0029 0.0001	-0.0001 -0.0005 0	— -0.0002 0.0002	— 0.1126 0.4156	-0.1610 0.6938 0.4156	
$\delta_1$	-0.174 $\alpha_{d1}$ 0.016515 $\alpha_{d2}$ 0.04284 $\beta_1$	-0.0480 0.0772 0.0113	0.0387 0.0984 0.0016	-0.0026 -0.0036 0.0007	-0.0001 0.0002 0.0001	-0.0002 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 -0.0001 -0.0001	— -0.0001 -0.0001	— -0.0001 -0.0001	— 0.0022 0.0022	-0.0022 -0.0110 -0.0022	
$\beta_1$	-1.0197 $\delta_1$ -0.15765 $\alpha_{d1}$ -0.18217 $\alpha_{d2}$ -0.10717 $\alpha_{d3}$ -0.65067 $\beta_1$ -0.55379 $\beta_2$	-0.1583 0.1014 -0.2082 -0.2411 -0.2889	0.0488 -0.0689 -0.0073 -0.0105 -0.0217	-0.0059 0.0949 -0.0115 -0.0131 -0.0184	-0.0001 0.0007 -0.0028 -0.0033 -0.0041	-0.0001 0.0005 -0.0018 -0.0018 -0.0028	-0.0001 0.0001 -0.0001 -0.0001 -0.0001	-0.0001 -0.0001 -0.0001 -0.0001 -0.0001	-0.0001 -0.0001 -0.0001 -0.0001 -0.0001	-0.0001 -0.0001 -0.0001 -0.0001 -0.0001	-0.1583 0.1014 -0.2082 -0.2411 -0.2889	-0.1583 0.1014 -0.2082 -0.2411 -0.2889	-0.1583 0.1014 -0.2082 -0.2411 -0.2889
$\alpha_{d2}$	-0.15765 $\alpha_{d1}$ -0.18217 $\alpha_{d2}$ -0.10717 $\alpha_{d3}$ -0.65067 $\beta_1$ -0.55379 $\beta_2$	-0.0677 -0.1217 -0.1161	0.0077 -0.0168 -0.0278	-0.0025 -0.0079 -0.0129	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0677 -0.1217 -0.1161	-0.0677 -0.1217 -0.1161	-0.0677 -0.1217 -0.1161
$\alpha_{d3}$	-0.10717 $\alpha_{d1}$ -0.17857 $\alpha_{d2}$ -0.10717 $\alpha_{d3}$ -0.65067 $\beta_1$ -0.55379 $\beta_2$	-0.0677 -0.1217 -0.1161	0.0077 -0.0168 -0.0278	-0.0025 -0.0079 -0.0129	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0677 -0.1217 -0.1161	-0.0677 -0.1217 -0.1161	-0.0677 -0.1217 -0.1161
$\delta_2$	0.07682 $\delta_1$ -0.016122 $\alpha_{d1}$ -0.680154 $\alpha_{d2}$ -0.075541 $\alpha_{d3}$ 0.011589 $\alpha_{d4}$ -0.04665 $\beta_1$ 0.028611 $\beta_2$	-0.0707 -0.0546 -0.0571	0.0068 -0.0275 -0.0074	-0.0058 -0.0129 0.0022	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0001 0.0001 0.0001	-0.0707 -0.0546 -0.0571	-0.0707 -0.0546 -0.0571	-0.0707 -0.0546 -0.0571



of  $\beta_s$ ,  $\alpha_{c_2}$  and  $\alpha_{c_1}$  in one of them may be used as those of  $\beta_1$ ,  $\alpha_{c_2}$  and  $\alpha_{c_1}$  in the other by simply changing the signs. Similarly Tables 20 and 22 are calculated together. Table 24 gives the percentage errors of the values of  $a$ 's,  $\beta$ 's and  $S$ 's. The percentage errors of  $\alpha_{c_2}$  and  $\alpha_{c_1}$  for unit load

TABLE 24. PERCENTAGE ERRORS OF  $a$ 'S,  $\beta$ 'S AND  $S$ 'S.

	Unit load at $b$			Unit load at $c$			Unit load at $d$		
	Number of increments			Number of increments			Number of increments		
	5	6	7	5	6	6	4	5	6
$a_{1a}$	6.12	0.11	0.04	0.16	0.10	0.05	0.09	0.14	—
$a_{1b}$	0.97	0.03	0.03	0.39	0.07	0.02	0.10	0.19	0.01
$S_1$	0.12	0.03	0.01	0.18	0.11	0.03	0.40	0.19	—
$\beta_1$	0.24	0.11	0.05	0.20	0.10	0.04	0.39	0.12	0.02
$a_{2a}$	2.53	1.13	0.48	0.62	0.27	0.10	1.29	0.38	0.09
$a_{2b}$	2.61	1.12	0.47	0.63	0.30	0.13	1.28	0.37	0.08
$S_2$	0.59	0.19	0.03	0.39	0.20	0.03	0.85	0.32	0.05
$\beta_2$	1.95	0.80	0.33	1.00	0.43	0.20	0.81	0.21	0.04
$a_{3a}$	3.11	1.33	0.54	142.90	63.20	27.30	1.69	0.49	0.11
$a_{3b}$	3.12	1.32	0.57	110.00	49.81	21.10	1.71	0.99	0.12
$S_3$	1.98	0.83	0.34	1.13	0.52	0.21	0.94	0.33	0.05
$\beta_3$	2.23	0.96	0.40	2.48	1.03	0.44	0.63	0.17	0.04
$a_{Dd}$	4.49	1.96	0.85	3.71	1.60	0.69			
$a_{Dd}$	4.49	1.97	0.86	3.70	1.60	0.69			

	Unit load at $e$			Unit load at $f$		
	Number of increments			Number of increments		
	5	6	7	5	6	7
$a_{1a}$	0.35	0.10	0.01	0.41	0.15	0.08
$a_{1b}$	0.43	0.17	0.07	0.53	0.22	0.10
$S_1$	0.47	0.19	0.09	0.50	0.19	0.13
$\beta_1$	0.44	0.18	0.06	0.55	0.25	0.11
$a_{2a}$	1.27	0.55	0.23	1.55	0.70	0.33
$a_{2b}$	1.27	0.55	0.24	1.51	0.69	0.33
$S_2$	0.97	0.40	0.18	1.08	0.43	0.22
$\beta_2$	1.35	0.58	0.24	1.72	0.76	0.32
$a_{3a}$	3.04	1.32	0.57	3.91	1.76	0.79
$a_{3b}$	3.04	1.32	0.57	3.93	1.76	0.79
$S_3$	1.53	0.64	0.25	1.99	0.86	0.39
$\beta_3$	2.18	0.93	0.37	2.85	1.24	0.52
$a_D$	3.71	1.60	0.69	4.49	1.96	0.85
$a_f$	3.70	1.60	0.69	4.49	1.97	0.86

at  $e$  are misleading, as they are big errors of two small values. Leaving these two values out, the percentage errors are biggest for values of  $a_{Dd}$ ,  $a_{Dd}$ .

when a unit load is at  $b$ ,  $c$ ,  $e$  or  $f$ ; and are biggest for values of  $a_c$ , and  $a_e$ , when a unit load is at  $d$ . For comparison, the maximum percentage errors for the different loadings are again given in Table 25. The complete

TABLE 25. MAXIMUM PERCENTAGE ERRORS OF  $\alpha$ 's.

Unit load at	Number of increments taken			
	4	5	6	7
$b$ or $f$	—	4.49	1.97	0.86
$c$ or $e$	—	3.71	1.60	0.69
$d$	1.71	0.49	0.12	—

set of values of  $\alpha$ 's,  $\beta$ 's,  $S$ 's and moments are given in Tables 26 and 27.

TABLE 26. VALUES OF  $\alpha$ 's,  $\beta$ 's AND  $S$ 's.

	Unit load at panel point				
	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$
$\alpha_{1a}$	1.674	1.535	1.177	0.783	0.394
$\alpha_{2t}$	1.764	1.617	1.240	0.830	0.416
$\beta_1$	-3.256	-3.529	-2.769	-1.863	-0.933
$\alpha_{1B}$	-3.210	-3.759	-2.977	-2.907	-1.006
$\alpha_{BA}$	-2.483	-0.636	-0.299	-0.176	-0.086
$\alpha_{1b}$	-3.116	-3.677	-2.914	-1.965	-0.884
$\alpha_{1c}$	-2.450	-0.594	-0.265	-0.153	-0.074
$\alpha_{1d}$	0.773	2.893	2.470	1.687	0.847
$\alpha_{1e}$	0.806	2.935	2.504	1.710	0.859
$\beta_2$	1.629	-3.135	-3.665	-2.617	-1.325
$\alpha_{1c}$	2.764	-0.939	-2.009	-1.512	-0.772
$\alpha_{cB}$	-0.203	-3.089	-0.923	-0.430	-0.197
$\alpha_{bc}$	2.797	-0.387	-1.975	-1.489	-0.760
$\alpha_{1d}$	-0.227	-3.075	-0.911	-0.423	-0.192
$\alpha_{cC}$	-1.837	0.043	2.742	2.187	1.128
$\alpha_{1C}$	-1.856	0.060	2.754	2.194	1.133
$\beta_3$	2.519	2.974	-2.395	-3.368	-1.825
$\alpha_{CD}$	0.911	3.290	-0.416	-1.487	-0.863
$\alpha_{DC}$	0.912	0.293	-2.395	-0.687	-0.218
$\alpha_{cD}$	0.892	3.304	-0.404	-1.480	-0.858
$\alpha_{1c}$	0.913	0.285	-2.395	-0.679	-0.219
$\alpha_{Dd}$	-1.607	-2.681	0	2.681	1.607
$\alpha_{1D}$	-1.606	-2.689	0	2.689	1.606
$S_1$	-0.693	-0.621	-0.475	-0.318	-0.159
$S_2$	-0.675	-1.023	-0.820	-0.554	-0.278
$S_3$	-0.499	-0.946	-1.069	-0.755	-0.382

TABLE 27. VALUES OF MOMENTS.

	Unit load at panel point				<i>J</i>
	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>e</i>	
$M_{AB}$	-1.705	-1.562	-1.198	-0.803	-0.402
$M_{Aa}$	1.705	1.562	1.198	0.802	0.401
$M_{aA}$	1.737	1.590	1.219	0.816	0.409
$M_{ab}$	-1.736	-1.580	-1.219	-0.817	-0.408
$M_{BA}$	-1.565	-0.964	-0.685	-0.452	-0.226
$M_{Bb}$	0.523	1.933	1.654	1.130	0.557
$M_{Bc}$	1.043	-0.974	-0.969	-0.677	-0.341
$M_{ba}$	-1.603	-0.973	-0.689	-0.454	-0.226
$M_{bb}$	0.530	1.947	1.662	1.135	0.570
$M_{bc}$	1.073	-0.974	-0.972	-0.680	-0.342
$M_{cb}$	0.460	-1.396	-0.756	-0.465	-0.229
$M_{cc}$	-1.005	0.028	1.498	1.194	0.616
$M_{cd}$	0.544	1.368	-0.742	-0.729	-0.387
$M_{cb}$	0.469	-1.409	-0.759	-0.467	-0.229
$M_{cC}$	-1.009	0.030	1.500	1.195	0.617
$M_{cA}$	0.539	1.379	-0.741	-0.728	-0.387
$M_{Dc}$	0.544	0.771	-1.235	-0.569	-0.259
$M_{Dd}$	-0.803	-1.342	0	1.342	0.803
$M_{Dc}$	0.259	0.569	1.235	-0.771	-0.544
$M_{dc}$	0.544	0.775	-1.239	-0.568	-0.259
$M_{Dd}$	-0.803	-1.343	0	1.343	0.803
$M_{Dc}$	0.259	0.538	1.239	-0.775	-0.544

## Secondary Stresses in Bridge Trusses.

In triangle  $ABC$  (Fig. 7), let  $S_{AB}$  and  $A_{AB}$  be the direct stress and cross sectional area of any member  $AB$ . By equation (20), we have

$$b \sin A (-a_{cA} + a_{cB}) + \frac{S_{AC} b \cos A}{A_{AC}} + \frac{S_{BC} a \cos B}{A_{BC}} - \frac{S_{AB} C}{A_{AB}} = 0 \dots \dots (83)$$

Dividing equation (83) by  $b \sin A$  (noting  $b \sin A = a \sin B$ ), we have

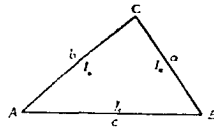


Fig. 7.

$$a_{c1} - a_{cB} = \frac{S_{cA}}{A_{cA}} \cot A + \frac{S_{BC}}{A_{BC}} \cot B - \frac{S_{AB} c}{A_{AB} b} \operatorname{cosec} A \dots \dots \dots (84)$$

Similarly, we have

$$a_{aB} - a_{aC} = \frac{S_{AB}}{A_{AB}} \cot B + \frac{S_{cA}}{A_{cA}} \cot C - \frac{S_{BC} a}{A_{BC} C} \operatorname{cosec} B \dots \dots \dots (85)$$

$$a_{BC} - a_{BA} = \frac{S_{BC}}{A_{BC}} \cot C + \frac{S_{AB}}{A_{AB}} \cot A - \frac{S_{cA} b}{A_{cA} a} \operatorname{cosec} C \dots \dots \dots (86)$$

When  $A=90^\circ$ , then equations (84) to (86) become

$$a_{c1} - a_{c3} = \frac{c}{b} \left( \frac{S_{BC}}{A_{BC}^2} - \frac{S_{AB}}{A_{AB}} \right) \dots \dots \dots (87)$$

$$a_{BC} - a_{BA} = \frac{b}{c} \left( \frac{S_{BC}}{A_{BC}} - \frac{S_{cA}}{A_{cA}} \right) \dots \dots \dots (88)$$

$$a_{aB} - a_{aC} = \frac{c S_{AB}}{b A_{AB}} + \frac{b S_{cA}}{c A_{cA}} - \frac{a^2 S_{BC}}{bc A_{BC}} \dots \dots \dots (89)$$

Let us take the truss shown in Fig. 8, the necessary data being given in Table 28. Applying equations (87) to (89), we have

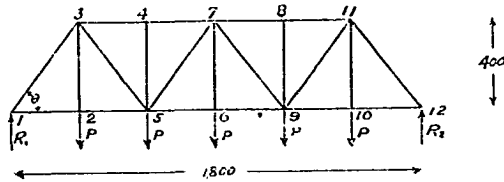


Fig 8.

$$a_{12} - a_{13} = 0.033333 S_{13} - 0.22222 S_{23} \dots \dots \dots (90)$$

$$a_{25} - a_{23} = 0.034091 S_{25} + 0.22222 S_{23} - 0.26042 S_{23} \dots \dots \dots (91)$$

$$a_{23} - a_{21} = 0.22222 S_{25} + 0.034091 S_{12} - 0.052073 S_{15} \dots \dots \dots (92)$$

$$a_{31} - a_{32} = 0.01875 S_{13} - 0.034091 S_{12} \dots \dots \dots (93)$$

$$a_{32} - a_{35} = 0.09375 S_{25} - 0.034091 S_{25} \dots \dots \dots (94)$$

$$a_{35} - a_{34} = 0.16667 S_{25} - 0.22222 S_{15} \dots \dots \dots (95)$$

TABLE 28. DATA OF BRIDGE TRUSS.

Member	Length in ins. ( <i>l</i> )	Area in sq. ins. ( <i>A</i> )	Moment of inertia in ins. <sup>4</sup> ( <i>I</i> )	$\frac{b}{cA}$	$\frac{c}{bA}$	$\frac{a^2}{b c A}$	$\frac{2I}{l}$	$\frac{6I}{l^2}$
1-2	300	22	1,500		0.034091		10	0.1
2-5	300	22	1,500		0.034091		10	0.1
5-6	300	30	2,300		0.025		15.333	0.15333
3-4	300	32	2,400		0.023438		16	0.16
4-7	300	32	2,400		0.023438		16	0.16
1-3	500	40	3,200	0.033333	0.01875	0.052083	12.8	0.0768
2-3	400	6	100	0.22222			0.5	0.00375
5-3	500	8	200	0.19577	0.09375	0.26342	0.8	0.0048
5-4	400	6	100	0.22222			0.5	0.00375
5-7	500	15	700	0.033333	0.05	0.16889	2.8	0.0168
6-7	400	6	100	0.22222			0.5	0.00375



$$\alpha_{42} - \alpha_{45} = 0.023438 S_{42} + 0.22222 S_{15} - 0.26042 S_{45} \dots \dots \dots (96)$$

$$\alpha_{41} - \alpha_{47} = 0.22222 S_{15} + 0.023438 S_{47} - 0.15889 S_{55} \dots \dots \dots (97)$$

$$\alpha_{76} - \alpha_{57} = 0.088889 S_{57} - 0.22222 S_{37} \dots \dots \dots (98)$$

$$\alpha_{55} - \alpha_{54} = 0.05 S_{57} - 0.023438 S_{47} \dots \dots \dots (99)$$

$$\alpha_{54} - \alpha_{53} = 0.09375 S_{35} - 0.023438 S_{34} \dots \dots \dots (100)$$

$$\alpha_{51} - \alpha_{72} = 0.16667 S_{25} - 0.22222 S_{23} \dots \dots \dots (101)$$

$$\alpha_{57} - \alpha_{65} = 0.22222 S_{17} + 0.025 S_{56} - 0.13889 S_{57} \dots \dots \dots (102)$$

$$\alpha_{74} - \alpha_{76} = 0.088889 S_{57} - 0.22222 S_{15} \dots \dots \dots (103)$$

$$\alpha_{75} - \alpha_{76} = 0.05 S_{57} - 0.025 S_{56} \dots \dots \dots (104)$$

By symmetry, we have

$$\alpha_{67} = \alpha_{76} = 0 \dots \dots \dots (105)$$

The moment equations at the joints are

$$10(2 \alpha_{12} + \alpha_{21}) + 12.8(2 \alpha_{13} + \alpha_{31}) = 0 \dots \dots \dots (106)$$

$$10(2 \alpha_{21} + \alpha_{12}) + 0.5(2 \alpha_{23} + \alpha_{32}) + 10(2 \alpha_{25} + \alpha_{52}) = 0 \dots \dots \dots (107)$$

$$12.8(2 \alpha_{31} + \alpha_{13}) + 0.5(2 \alpha_{32} + \alpha_{23}) + 0.8(2 \alpha_{35} + \alpha_{53}) \\ + 16(2 \alpha_{34} + \alpha_{43}) = 0 \dots \dots \dots (108)$$

$$16(2 \alpha_{43} + \alpha_{34}) + 0.5(2 \alpha_{45} + \alpha_{54}) + 16(2 \alpha_{47} + \alpha_{74}) = 0 \dots \dots \dots (109)$$

$$10(2 \alpha_{52} + \alpha_{25}) + 0.8(2 \alpha_{53} + \alpha_{35}) + 0.5(2 \alpha_{54} + \alpha_{45}) \\ + 2.8(2 \alpha_{57} + \alpha_{75}) + 15.333(2 \alpha_{56} + \alpha_{65}) = 0 \dots \dots \dots (110)$$

The other statical equations are

$$S_{12} \times \frac{1}{3} + 0.1(\alpha_{12} + \alpha_{21}) + 0.0768(\alpha_{13} + \alpha_{21}) \times \frac{1}{3} = -\frac{1}{3} P \dots \dots \dots (111)$$

$$S_{21} - 0.1(\alpha_{12} + \alpha_{21}) + 0.1(\alpha_{25} + \alpha_{52}) = P \dots \dots \dots (112)$$

$$S_{23} \times \frac{1}{3} + S_{45} + S_{37} \times \frac{1}{3} - 0.1(\alpha_{25} + \alpha_{52}) - 0.0048(\alpha_{45} + \alpha_{52}) \times \frac{1}{3} \\ + 0.0168(\alpha_{37} + \alpha_{75}) \times \frac{1}{3} + 0.15333(\alpha_{56} + \alpha_{65}) = P \dots \dots \dots (113)$$

$$S_{57} - 2 \times 0.15333(\alpha_{56} + \alpha_{65}) = P \dots \dots \dots (114)$$

$$S_{12} + S_{13} \times \frac{1}{3} - 0.0768(\alpha_{12} + \alpha_{11}) \times \frac{1}{3} = 0 \dots \dots \dots (115) \\ - S_{21} - S_{23} \times \frac{1}{3} + S_{37} \times \frac{1}{3} + S_{56} - 0.0048(\alpha_{25} + \alpha_{52}) \times \frac{1}{3} - 0.00375(\alpha_{45} + \alpha_{54})$$

$$-0.0168(a_{57} + a_{77}) \times \frac{1}{2} = 0 \dots \dots \dots (116)$$

$$-S_{12} + S_{25} - 0.00375(a_{24} + a_{32}) = 0 \dots \dots \dots (117)$$

$$S_{13} \times \frac{1}{2} + S_{24} + S_{37} \times \frac{1}{2} + 0.0768(a_{14} + a_{31}) \times \frac{3}{2} - 0.0048(a_{37} + a_{53}) \times \frac{3}{2} \\ - 0.16(a_{24} + a_{44}) = 0 \dots \dots \dots (118)$$

$$S_{45} + 0.16(a_{24} + a_{32}) - 0.16(a_{17} + a_{71}) = 0 \dots \dots \dots (119)$$

$$-S_{13} \times \frac{3}{2} + S_{17} \times \frac{3}{2} + S_{31} + 0.0768(a_{13} + a_{31}) \times \frac{1}{2} + 0.00375(a_{24} + a_{42}) \\ + 0.0018(a_{25} + a_{53}) \times \frac{1}{2} = 0 \dots \dots \dots (120)$$

$$-S_{14} + S_{17} + 0.00375(a_{45} + a_{51}) = 0 \dots \dots \dots (121)$$

From equations (90) to (110), we obtain

$$45.6 a_{12} + 10 a_{21} + 12.8 a_{32} - 0.77727 S_{12} - 0.0925 S_{13} + 3.4667 S_{15} = 0,$$

$$41 a_{21} + 10 a_{12} + 0.5 a_{32} + 10 a_{54} - 0.68182 S_{22} + 1.0417 S_{14} \\ + 2.2222 S_{23} + 0.68182 S_{25} + 0.23428 S_{34} - 7.8125 S_{35} = 0,$$

$$60.2 a_{32} + 12.8 a_{12} + 0.5 a_{21} + 16 a_{41} + 0.8 a_{51} - 0.87273 S_{12} + 0.053333 S_{13} \\ + 2.8444 S_{23} + 1.1475 S_{25} + 0.39375 S_{34} - 12.725 S_{35} + 10.667 S_{37} = 0,$$

$$65 a_{45} + 16 a_{32} + 0.5 a_{54} + 0.54545 S_{25} + 0.75 S_{34} - 12.5 S_{35} - 0.75 S_{37} \\ - 0.4 S_{38} + 6.6667 S_{37} = 0,$$

$$58.867 a_{54} + 10 a_{21} + 0.8 a_{32} + 0.5 a_{41} + 6.6667 S_{23} + 0.26818 S_{25} + 0.50625 S_{34} \\ - 8.9375 S_{35} - 0.85 S_{37} - 0.45333 S_{38} + 6.8989 S_{37} - 10.222 S_{37} = 0.$$

or

$$a_{12} = -0.2193 a_{21} - 0.2807 a_{32} + 0.017045 S_{12} + 0.0020285 S_{13} - 0.076024 S_{23},$$

$$a_{21} = -0.2439 a_{12} - 0.012195 a_{32} - 0.2439 a_{41} + 0.01668 S_{12} - 0.025407 S_{13} \\ - 0.0542 S_{23} - 0.01663 S_{25} - 0.0057166 S_{34} + 0.19055 S_{35},$$

$$a_{32} = -0.21262 a_{12} - 0.0083065 a_{21} - 0.26578 a_{45} - 0.013289 a_{54} \\ + 0.014497 S_{12} - 0.00088593 S_{13} - 0.047249 S_{23} - 0.019028 S_{25} \\ - 0.0065407 S_{34} + 0.21138 S_{35} - 0.17719 S_{37},$$

$$a_{45} = -0.24615 a_{12} - 0.0076923 a_{21} - 0.0083915 S_{23} - 0.011538 S_{34} + 0.19231 S_{35} \\ + 0.011538 S_{37} + 1.0061538 S_{38} - 0.10256 S_{37},$$

$$\begin{aligned} a_{54} = & -0.16987 a_{43} - 0.01359 a_{32} - 0.0084937 a_{15} - 0.11325 S_{23} - 0.0062544 S_{25} \\ & - 0.0083999 S_{14} + 0.13654 S_{35} + 0.014439 S_{47} + 0.0077009 S_{54} \\ & - 0.11567 S_{37} + 0.17365 S_{57}. \end{aligned}$$

From equations (111) to (121), we obtain

$$S_{11} = -0.125(a_{12} + a_{21}) - 0.0576(a_{13} + a_{31}) - 3.125 P,$$

$$S_{12} = -0.6 S_{13} + 0.06144(a_{13} + a_{31}),$$

$$S_{23} = 0.1(a_{12} + a_{21}) - 0.1(a_{25} + a_{52}),$$

$$S_{25} = S_{12} + 0.00375(a_{21} + a_{52}),$$

$$\begin{aligned} S_{34} = & 0.6 S_{13} - 0.6 S_{35} - 0.06144(a_{13} + a_{31}) - 0.00375(a_{13} + a_{32}) \\ & - 0.00384(a_{31} + a_{53}), \end{aligned}$$

$$S_{35} = -S_{13} - 1.25 S_{23} - 0.0576(a_{13} + a_{31}) + 0.0036(a_{35} + a_{53}) + 0.2(a_{34} + a_{43})$$

$$S_{47} = -0.16(a_{34} + a_{42}) + 0.16(a_{47} + a_{74}),$$

$$S_{47} = S_{34} - 0.00375(a_{43} + a_{54}),$$

$$\begin{aligned} S_{56} = & S_{25} + 0.6 S_{25} - 0.6 S_{57} + 0.00384(a_{35} + a_{53}) + 0.00375(a_{15} + a_{54}) \\ & + 0.01314(a_{57} + a_{75}), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{57} = & -S_{35} - 1.25 S_{47} + 0.125(a_{23} + a_{52}) + 0.0036(a_{35} + a_{53}) - 0.0126(a_{57} + a_{75}) \\ & - 0.19167(a_{57} + a_{75}) + 1.25 P \end{aligned}$$

$$S_{57} = 0.00667(a_{56} + a_{65}) + P.$$

The values of  $S$ 's and  $a$ 's are evaluated in Table 29. The moments at ends of the members are as follows:—

$M_{12} = -1.8889 P,$	$M_{13} = 4.889 P,$	$M_{21} = -3.5021 P,$
$M_{33} = 0.5132 P,$	$M_{25} = 2.9893 P,$	$M_{31} = 5.6522 P,$
$M_{12} = 0.4736 P,$	$M_{21} = -6.461 P,$	$M_{33} = 5.3345 P,$
$M_{13} = -7.713 P,$	$M_{45} = 0.4935 P,$	$M_{47} = 7.2195 P,$
$M_{52} = 0.9272 P,$	$M_{53} = 0.2327 P,$	$M_{54} = 0.469 P,$
$M_{52} = 3.1941 P,$	$M_{57} = 1.5655 P,$	$M_{65} = -10.0953 P,$
$M_{74} = 0.764 P,$	$M_{75} = 0.3052 P.$	

TABLE 29. EVALUATION OF  $S$ 's AND  $\alpha$ 's.

Equation	I	II	III	IV	V	VI	Total	Clock
$S_{11}$		0.01942	0.02591	-0.00355	-0.00911	-0.00999		0.05497
	$-0.125 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	-0.09147	0.01571	-0.00908	-0.00015	-0.00001		-0.101881
	$-3.12500 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	-0.01925	0.04559	-0.00491	-0.00916	-0.00912		-3.10584
$S_{12}$		1.87599	0.01155	-0.00915	0.00965	0.00949	0.00908	1.86552
	$-0.5 S_{11}$	-0.00218	-0.01454	0.00192	0.00916	0.00901		0.01087
	$-0.00144 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	0.01223	-0.01236	0.00267	-0.00923	-0.00912		1.88039
$S_{13}$		-0.08374	-0.02247	0.00316	0.00911	0.00997		-0.07377
	$-0.1 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	-0.01830	0.01049	0.00465	0.00402			-0.01705
	$1.00000$	-0.02581	-0.01781	0.01253	0.00903	0.00907		-0.05808
$S_{14}$		1.87599	0.01223	-0.00949	-0.00923	-0.00901		1.88749
	$0.03375 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	0.01636	-0.01479	0.01352	0.00925	0.00912		0.0247
	$S_{12}$	1.87599	0.01155	-0.00915	0.00965	0.00949	0.00908	1.88284
$S_{15}$		1.87599	0.01225	-0.01259	0.00941	0.00916	0.00915	1.88267
	$-1.25 S_{12}$	-0.03255	0.02229	-0.01441	-0.00901	-0.00909		-1.19878
	$-0.0576 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	-0.00917	0.01577	-0.00946	-0.00015	-0.00001		-0.01581
	$0.0383 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	0.01115	-0.01728	0.00901	-0.00901	-0.00901		0.00185
	$0.2 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	-0.05482	-0.01349	-0.00931	-0.00901	-0.00902		-0.03946
$S_{16}$		1.87599	-0.03104	-0.00969	-0.00915	-0.00902		1.83311
	$0.5 S_{12}$	0.02533	-0.00235	-0.00719	-0.00908	-0.00908		-1.80252
	$-1.12500$	-0.01852	0.00376	0.00905	0.00909	0.01331		-1.02087
	$-0.06144 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	-0.03218	0.01454	-0.00192	-0.00916	-0.00901		-0.01087
	$-0.00875 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	-0.00235	0.00346	0.00305	0.00901	-		-0.00247
$S_{17}$		-3.00000	-0.01125	0.00957	0.00911	0.00901		-0.00101
	$0.10 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	-0.02927	0.01015	-0.00326	-0.00915	-0.00911		-2.08231
	$0.16 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	0.01386	0.01289	0.00949	0.00908	0.00901		0.04725
	$S_{14}$	0.02314	-0.00258	-0.00904	-0.00901	-		0.02151
	$S_{12}$	0.00890	0.01922	0.00945	0.00908	0.00901		0.06870
$S_{18}$		-3.00000	-0.02927	0.01015	-0.00326	-0.00915	-0.00911	-2.08231
	$-0.00875 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	-0.00242	0.00904	-0.00902	-	-		-0.01241
	$S_{14}$	-0.03169	0.01616	-0.00328	-0.00915	-0.00902		-2.086915
$S_{19}$		-1.87599	0.03104	0.00969	0.00915	0.00908		-1.83311
	$-S_{12}$	-0.02533	-0.00235	-0.00719	-0.00908	-0.00908		-0.08595
	$1.25 S_{16}$	0.25252	-0.00383	-0.00946	-0.00901	-0.00902		0.01652
	$0.125 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	0.00115	-0.00098	-0.00001	-0.00001	-		0.007845
	$-0.0129 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	-0.00291	0.00015	-0.00005	-0.00005	-		-0.00281
$S_{20}$		1.87599	0.05221	-0.00750	0.00956	0.00902		0.05558
	$0.19167 (\alpha_{12} + \alpha_{21})$	-0.00331	-0.00384	0.00056	0.00002	-0.00001		-0.05224



TABLE 23. (Continued)

Equation	I	II	III	IV	V	VI	Total	Check
415	-0.24615 S <sub>2</sub>	0.03114	0.00215	0.09335	0.00206	0.00001		-0.07124
	-0.0976225 S <sub>4</sub>	-0.09257	0.09612	-0.00903	-	-		-0.00228
	-0.0083015 S <sub>5</sub>	-0.01577	0.00936	-0.00035	-	-		-0.01589
	-0.011528 S <sub>4</sub>	0.03461	0.00917	0.00904	-	-		0.05442
	0.19251 S <sub>5</sub>	0.39758	-0.09767	-0.01585	-0.00021	-0.09703		0.35253
	0.011528 S <sub>4</sub>	-0.03461	0.00917	0.00904	-	-		-0.05442
	0.0961588 S <sub>5</sub>	0.02947	0.00911	-0.00929	0.00032	-		0.02943
	-0.10256 S <sub>7</sub>	0.22838	-0.02720	0.00939	-0.00934	-		0.06117
	-0.16887 S <sub>2</sub>	0.03667	0.09025	0.00770	0.00911	0.09005	0.00001	0.34526
	-0.01250 S <sub>2</sub>	-0.09393	0.00166	0.00112	0.00992	-	-	-0.00259
-0.0084547 S <sub>5</sub>	-0.09288	-0.09035	-0.00901	-	-	-	-0.00236	
-0.11375 S <sub>2</sub>	-0.11251	0.00371	0.02252	-	-0.00001	-	-0.00236	
-0.0902544 S <sub>5</sub>	-0.01178	0.00251	0.00027	-0.00340	-	-	-0.10899	
-0.0983660 S <sub>4</sub>	0.02589	0.00925	-0.00912	0.00992	-	-	0.02568	
0.13454 S <sub>5</sub>	0.25071	-0.09154	-0.03131	-0.00002	-	-	0.23924	
0.014459 S <sub>4</sub>	-0.01522	0.00946	0.00371	-0.00935	-	-	-0.01511	
0.0977099 S <sub>5</sub>	0.62500	0.00913	-0.00936	0.00992	-	-	0.62579	
-0.11567 S <sub>7</sub>	0.17229	-0.02257	0.00934	-0.00904	-	-	0.06633	
0.17255 S <sub>7</sub>	0.37561	-0.17258	0.00291	-0.00910	-	-0.00001	0.23637	
0.0252225 S <sub>13</sub>	-0.02940	-0.19152	0.02853	0.00129	0.00684	0.00039	-0.29229	
0.02222 S <sub>13</sub>	0.19117	0.00961	-0.03145	0.00916	0.00901	-	0.16355	
	0.27599	-0.05206	0.05236	0.00978	0.00911	0.00992	0.21511	
	0.41192	-0.03267	0.02312	0.02429	0.00285	0.00011	0.10744	
-0.021001 S <sub>12</sub>	-0.03392	0.00149	-0.00168	-0.00139	-0.00112	-0.00902	0.36846	
0.052985 S <sub>12</sub>	0.16276	-0.01101	0.00927	-0.00914	-0.00901	-0.00901	-0.06419	
-0.02222 S <sub>13</sub>	-0.22222	0.02596	-0.02596	-0.00978	-0.00901	-0.00992	-0.16176	
	0.02708	0.03221	-0.00935	-0.00912	-0.00911	-0.00992	-0.21311	
	0.41192	-0.03267	0.00935	-0.00912	-0.00911	-0.00992	-0.07055	
0.02222 S <sub>13</sub>	0.22222	-0.02596	-0.02596	0.00978	0.00901	0.00992	0.36846	
0.03400 S <sub>2</sub>	0.03392	0.00149	-0.00168	0.00916	0.00901	0.00992	0.21311	
-0.20912 S <sub>5</sub>	-0.48829	0.02808	-0.02808	0.00928	0.00901	0.00992	-0.47758	
	0.29037	0.02806	-0.02806	-0.00901	-0.00901	-0.00901	0.18858	
	0.37028	-0.07145	-0.03472	-0.00142	-0.00294	-0.00902	0.28910	
-0.034001 S <sub>12</sub>	-0.03392	-0.00149	0.00168	-0.00916	-0.00901	-	-0.06419	
0.01876 S <sub>13</sub>	-0.06839	-0.09128	0.09289	-0.09791	-0.09791	-	-0.06839	
	0.24777	-0.02251	-0.00410	-0.00902	-0.00902	-0.00902	0.16708	







# 飛 葉 之 理 論

張 國 藩

美國愛阿哇大學水工研究所

本文之體例與範圍。

1. 飛葉理論之基本為流體力學,故本文在第一章內先討論流體力學原理,而後在第二章內始討論飛葉之理論。
2. 本文論飛葉之理論,純限于「逕流」範圍,至若「漩流」範圍,則因其應用數理較為繁複,本文因篇幅所限,姑從略。<sup>(1)</sup>
3. 本文有應用數理之處,務求明簡,俾讀者易於循索。
4. 因卷中無中英名詞參考書籍,本文所用之專名詞,皆係作者擬造,為免除悞會起見,故本文凡在第一次應用新的專名詞時,即加以括號以令讀者注意,有不明瞭時,則篇後有中英名詞對照表可以參看。

---

(1) 漩流為流體力學中最重要部分之一,故雖在第二章內未將其充分應用,而在第一章內亦必略討論之,以可與逕流作一比觀。

## 第一章 流體力學原理

### 1. 流體之特性.

流體可分為氣體與液體二種。液體之特質在其伸縮性小，氣體之特質，在其伸縮性大；而二者又皆因其[內在阻力]甚小，故體無定形，此其所以別於固體也。

氣體之伸縮性雖大於液體，但苟其運行速率不超過聲音在氣體中速率，則因運行所產生之壓力差異殊小，而其密度之改變亦微，故柏六離公式中之密度，可不隨時間變異，與液體同；<sup>(2)</sup> 液體與氣體力學遂合而為一矣，是可統名之曰「流體力學」。

流體之特質雖別於固體，而其組織實由聚合無數小粒固體所成，通常應用於固體之運行公式，亦自可應用於流體，惟流體分子間之距離恆小於吾人目力所及之物體，故吾人應用固體力學於流體時，可不視流體為離析之微粒，而視之為繼續不斷之液團耳。

以上數點為關於流體之基本概念，不可不先明晰者也。

### 2. 流體運行公式.

流體運行公式可分兩種，一為歐拉公式，一為拉克南基公式。歐拉公式用在同時觀察流體中各點之變態，

(2) 參觀公式(14)

可名之曰空間方法；拉克南基公式用在隨時觀察流體少數子粒之歷程，可名之曰時間方法。因歐拉公式較拉克南基公式為簡易<sup>(3)</sup>，故治流體力學者多從用之。本文所主，亦以歐拉為宗。

歐拉式之運行公式又可分為兩種：一為應用於理想流體者，流體之內阻力完全不計；一為應用於實際流體者，流體之內阻力亦列入公式之中。二者之別，於下面公式(1a)同(1b)見之。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1a)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \end{aligned} \right\} \dots\dots (1b)$$

其中  $u, v, w$ ，為流體在  $xyz$  點沿  $Ox, Oy, Oz$  運行之速度， $X, Y, Z$ ，為沿  $Ox, Oy, Oz$  三方加於流體每單位質量之外引力（如地球

(3) 參觀 Lamb-hydrodynamics 5th ed. 第一二頁

(4) Lamb-Hydrody. 第四頁

(5) Lamb-Hydrody. 第 547 頁

吸力),  $\rho$  爲密度,  $p$  爲壓力,  $\mu$  爲流體之內阻力,  $\nabla^2$  之記號爲

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

可見 (1a), (1b) 之不同, 全在  $\mu$  一數而已。在氣體中,  $\mu$  之值甚小, 可略而不計。即在液體, 因數理上方便起見,  $\mu$  之影響, 通常亦恆忽之。此文以後所論, 即將以公式 (1a) 爲出發點。

在公式 (1a), 吾人僅有三等式, 而  $u, v, w, \rho, p$  五未知數; 以三等式求五未知數, 當爲數律所不許, 是以次步工作即在另覓二獨立等式以補其所缺, 此二等式可由物質不滅及  $\rho, p$  之關係求之如下:

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\rho = f(p), \dots \dots \dots (3)$$

例如波耳氣體空律爲

$$pv = p/\rho = \text{恆數}$$

是。

合公式 (1a), (2), (3) 吾人所需之五等式已備, 則欲求解決  $u, v, w, \rho, p$  五數之值, 在理論上原無不可, 但在實際上, 因困難過多, 此種目的難以達到, 故又不得不求更簡之方, 吾人遂歸約至「逕流」範圍以內矣。

### (甲) 逕流。

在逕流之「流場」中, 場內各點均能以一定之標數

(6) Lamb-Hydrody. 第 5 頁

記之。此種標數名之曰「指位數」，因其依地位而異也。若指位數為  $\varphi$ ，則  $\varphi$  與  $u, v, w$  之關係可定約之如下：

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial \varphi}{\partial z} \dots\dots\dots(4)$$

在此  $u, v, w$  三位未知數，遂盡約於  $\varphi$  之一數矣。

又取公式(4)微分之可得：

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} &= 0, \\ \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

在公式(2)中，若  $\rho$  不隨時間改變，則該公式約為

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots(6)$$

合公式(4),(6)可得

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \dots\dots\dots(7)$$

是即名之曰拉卜拉司公式。

將公式(1a)之三等式合而加之，並將公式(4)之關係代入，則可得

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial s^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial s} (q^2) = \frac{\partial \Omega}{\partial s} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} \dots\dots\dots(8)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} q^2 &= u^2 + v^2 + w^2 \\ s^2 &= x^2 + y^2 + z^2 \\ \frac{\partial \Omega}{\partial x} &= X, \quad \frac{\partial \Omega}{\partial y} = Y, \quad \frac{\partial \Omega}{\partial z} = Z. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

取公式(8)「積合」之，若  $\rho$  不隨  $p$  改變，則得

$$\frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}q^2 = \Omega - \frac{\partial\varphi}{\partial t} + k, \dots\dots\dots(10)$$

其中  $k$  爲恆數,若在[恆流],  $u, v, w$  之值不因時間改變  
 則

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial t} = 0. \\ \frac{\partial\varphi}{\partial t} = 0, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(11)$$

由此可知  
 又  $\Omega$  依公式(9)之定義,原爲地球吸力之[指位數],故可書作

$$\Omega = -gh \dots\dots\dots(12)$$

其中  $g$  爲地球吸力恆數,  $h$  爲流體經行之高度,(10),(11),  
 (12)即得

$$\frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}q^2 + gh = k \dots\dots\dots(13)$$

是即有名之柏六離公式也.若當流體運行時,其重心點  
 之高度不變,則(13)又可約爲

$$p + \frac{\rho q^2}{2} = \rho k = k' \dots\dots\dots(14)$$

其中  $k'$  爲恆數,由此公式,若知  $p, q$  二者之一,則其他可即  
 知矣.

(乙)[逕流]公式之應用.

吾人在前已由公式(1a)與(2)獲得

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} \dots\dots\dots(見公式7)$$

與

$$\frac{p}{\rho} + \frac{q^2}{2} = k' \dots\dots\dots(見公式14)$$

兩重要公式,作者不欲在此文內對於運行公式再作數理上之推敲,而欲轉談逕流公式之應用。

當流體經過固體或固體運行於流體之中時,吾人所欲知者,即爲此固體本身各點所感受  $p$  力之大小,但由柏六離公式,欲知  $p$  之大小,又非知  $q$  之大小不可,求  $q$  之道因情形而異,約而論之,可得四法。

(a) 『拉卜拉司』方法。

此法爲由拉卜拉司公式(見 7),先求得  $\varphi$  數之值,然後依定義得

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y}; \quad w = \frac{\partial \varphi}{\partial z}.$$

及

$$q^2 = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2.$$

將  $q^2$  之值代入(14)即可得  $p$ .

解決拉卜拉司公式之方法殊爲繁複,各高等數學書籍均詳論之,<sup>(7)</sup> 本文因篇幅所限,萬難詳論及此,且由一定形固體,用公式(7)而求  $\varphi$  數之值,有時因數理上困難過多,此種方法多難有濟,故治流體力學者恆反其道而行之,其法即爲先定一簡易而適合公式(7)之  $\varphi$  數,然後由此進而推定適合此  $\varphi$  數之固體形式,是可名之曰『反行方法』。

(7) 參觀 Byerly—"Fourier's Series and Spherical Harmonics."

## (b) 反行方法.

在未論斯法之先,尙有一種函數,爲流體力學中所常用者,不可不略論之,是即所謂流線函數是。<sup>(8)</sup> 若  $\psi$  代表此流線函數,則其與  $u, v$  之數學函義如下:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad V = - \frac{\partial \psi}{\partial x} \dots\dots\dots (15)$$

由公式(15)吾人已知

$$u = - \frac{\partial \psi}{\partial x}; \quad V = \frac{\partial \psi}{\partial y},$$

與公式(15)合觀之,可知

$$\left. \begin{aligned} \text{更知} \quad \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = - \frac{\partial \psi}{\partial x} \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0; \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (16)$$

欲令公式(16)之情形適合吾人可書,

$$\left. \begin{aligned} w' = \varphi + i\psi, \\ z = x + iy. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (17)$$

其中  $i = \sqrt{-1}$ 。蓋若取  $w'$  而微分之,則得

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial w'}{\partial z} = \frac{\partial w'}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial z} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} + i \frac{\partial \psi}{\partial x} \\ \frac{\partial w'}{\partial z} = \frac{\partial w'}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial z} = -i \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{\partial \psi}{\partial y} \\ \frac{\partial \varphi}{\partial x} + i \frac{\partial \psi}{\partial x} = -i \frac{\partial \varphi}{\partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial y} \\ \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = - \frac{\partial \psi}{\partial x} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (17a)$$

(8) 見後面附錄(一)



是與(16)中之原有公式無異也,於是用公式(17)可將  $\varphi, \psi$  兩個未知數合而為一矣,不但此也,吾人可用如(17a)之實驗方法證明不但

能令(16)之情形適合,即  $w'$  為  $z'$  之任何函數亦可令之適合,是以公式(17)之簡寫方法為用實大也,今為標例起見,可僅舉兩種較易之函數而討論之,

$$(1) \quad w' = u_0 z'^2 \dots\dots\dots(18)$$

其中  $u_0$  為恆數,

$$\frac{dw'}{dz'} = 2u_0 z' = 2u_0(x+iy).$$

但  $\frac{dw'}{dz'} = u - iv$  (見 17a)

$$u - iv = 2u_0(x+iy)$$

$$\left. \begin{aligned} u &= 2u_0x, \\ v &= -2u_0y \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(19)$$

又依定義  $d\varphi = udx + vdy,$

$$d\psi = vdy - udx$$

故若將  $u, v$  之值代入而積合之即得

$$\varphi = u_0(x^2 - y^2) \dots\dots\dots(20)$$

$$\psi = 2u_0(xy) \dots\dots\dots(21)$$

若給  $\varphi$  與  $\psi$  以恆數,則公式(20)代表「指位線」,公式(21)代表「流線」,且前者之形式為雙曲形,後者之形式為拋物

線形。(見第一圖甲)又由公式(21),若  $x$  或  $y$  等于零,則  $\psi$  等于零,故知流體與固體之交界爲一九十度之正形體,

$$(2). \quad w' = -ik \log z'.$$

取

$$w' = -ik \log z' \dots\dots\dots(22)$$

爲第二例,其中  $k$  爲恆數,  $i = \sqrt{-1}$ ,依前法可得

$$\frac{dw'}{dz'} = u - iv = \frac{-ik}{z + iy}.$$

或 
$$u - iv = -ik \frac{x - iy}{x^2 + y^2}$$

$$\therefore u = -k \frac{y}{x^2 + y^2}; \quad v = k \frac{x}{x^2 + y^2} \dots\dots\dots(23)$$

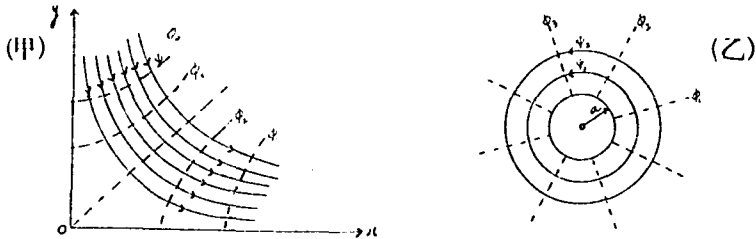
但 
$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x},$$

將  $u, v$  之值代入而積合之則得

$$\left. \begin{aligned} \phi &= k \tan^{-1} \frac{y}{x} = k\theta \\ \text{其中} \quad \tan \theta &= \frac{y}{x}. \\ \text{又} \quad \psi &= -k \log r + \log a. \\ &= -k \log \frac{r}{a} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(24)$$

其中  $a$  爲恆數,若  $r=a$ ,則  $\psi=0$ ,但在固體與流體交界之處,  $\psi$  之值爲零,可知此固體爲圓柱形,其半徑爲  $a$ ,而流體則繞此圓柱體而運行,此種運行方式名曰「迴流」其指位線與流線如第一圖乙。

第 一 圖  
(流線與指位數)



由以上兩種舉例,可知所謂「反行方法」,在先決定  $w$  之函數,然後由此函數而求  $u, v, \phi$  及  $\psi$  之值,以定固體之方緣問題,但此種反行方法,在數理上固多便利而欲用之實際問題上,困難之處仍多,其原因有二:(一)此種反行方法只可用之於所謂「平面流場」,而不能用之於「立體流場」,蓋惟在平面流場,  $\phi$  與  $\psi$  之值不隨第三坐標軸變異,而後公式(16)方能成立;有公式(16),然後(17)之簡約方式可行,否則上面之簡約步驟不得應用矣,即在平面流場,反行方法亦非絕無困難;譬若某固體之平面為一不規則之多邊形,則欲求一種  $w$  函數,使其能與此種固體之形式適合,  $w$  函數必甚複雜,常為一種無窮級數,例如

$$w = f(z) = A_0 + A_1 z^1 + A_2 z^2 + \dots + B' z^{-1} + B'' z^{-2} + \dots \quad (25)$$

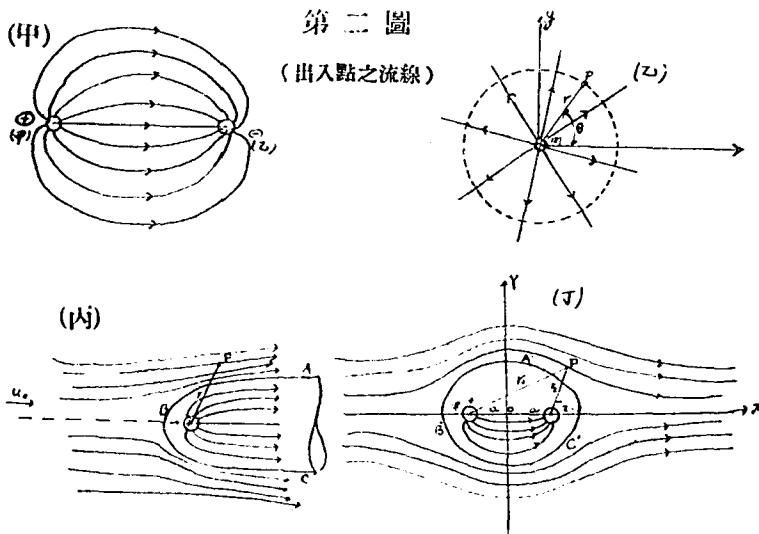
欲由此無窮級數中求  $\phi, \psi, u, v$  之值,自非易為之事也。

反行方法既有以上兩種困難,故治流體力學者不

得更求他法以補救之,補救之方法有二:一曰「出入方法」,一曰「合形變換方法」,請逐論之如後。

(C)「出入方法」。

流體之質量既不滅,則其出於此必入於彼,理固明也。設甲地爲「出點」,乙地爲「入點」,則流線之方向爲自出點而達入點,與電磁場內之力線同。(見第二圖)若甲乙兩地之出入量相等,則出線之數等於入線之數,而得(甲)圖,使入點離出點甚遠,則由甲之出線可得四面平均分佈,有如(乙)圖。今設甲點之出水量爲  $m$ , 則在  $P$  點之流速當爲,



$$V_r = \frac{m}{2\pi r} \cdot \dots\dots\dots (26a)$$

即為  $P$  與出點之距離,由此可得沿  $ox, oy$  之流速為

$$\left. \begin{aligned} u &= V_r \cos \theta = \frac{mx}{2\pi r^2} \\ v &= V_r \sin \theta = \frac{my}{2\pi r^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (26b)$$

但依定義  $u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x},$

故若將  $u, v$  之值代入而積合之,則得

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{2\pi} \log(x^2 + y^2) \\ &= \frac{m}{2\pi} \log r \\ \psi &= \frac{m}{2\pi} \tan^{-1} \frac{y}{x} \\ &= \frac{m}{2\pi} \cdot \theta. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (26c)$$

其中  $r^2 = x^2 + y^2, \quad \tan \theta = \frac{y}{x}.$

今設甲地之去水量不變,而另外取一由左至右之[平流] $u_0$ 。加於其上,(如丙圖),則出點之流線因外來平流之影響不得不更改其方向,而盡約諸於  $ABC$  領域之內。外來流線,因受出點流線之排擠,亦只得沿  $ABC$  蜿蜒流過,不得入  $ABC$  境域以內,因是  $ABC$  所給外來平流之影響,與固體無異,而以出入流線以代替固體之方法遂生矣。

\* 試與公式(24)比觀之

此種方法之優點固甚易見。設  $ABC$  爲一拋物線，吾人欲求在線外  $P$  點之流速  $u, v$ 。由以前所舉之法，吾人必用公式 (7) 先求  $\psi$  之值，或用公式 (20) 先定  $w'$  之函數方式，然後得  $u, v$  之值。但此兩種方法，均因步驟複雜，不易應用，前已詳之矣。而求法則不然，吾人知指位數之值僅因地位而異，不受流場內他點情態之影響，故無論有若干流場相混合，其終結指位數必爲各單個流場指位數之和。設  $\varphi_1$  爲流場  $A$  之指位數， $\varphi_2$  爲流場  $B$  之指位數，則當  $A, B$  混合以後其指位數爲，

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \dots \dots \dots (27)$$

在丙圖  $P$  點吾人由公式 (26c) 知出點在該處所生之指位數爲，

$$\varphi_1 = \frac{m}{2\pi} \log(x^2 + y^2),$$

又因平流之速率爲  $u_0$ ，則依定義該流所生之指位數爲

$$\varphi_2 = u_0 x.$$

合  $\varphi_1, \varphi_2$  即得

$$\varphi = u_0 x + \frac{m}{2\pi} \log(x^2 + y^2) \dots \dots \dots (27a)$$

$\varphi$  之值既得，則依前法可得，

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \left( u_0 + \frac{m}{2\pi} \frac{1}{x^2 + y^2} \right) x \\ v &= \frac{m}{2\pi} \frac{y}{x^2 + y^2}. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (27b)$$

進而由此可求得 $\psi$ ，因 $\psi$ 沿 $ABC$ 之值必為零，則將 $\psi=0$ ，而可得 $ABC$ 綫之公式矣。

又設在丁圖，若甲為出點，乙為入點， $u_0$ 為外來流之速率， $r_1$ 為 $P$ 點離甲點之距離， $r_2$ 為 $P$ 離乙點之距離，則依前法可得指位數之總和為，

$$\begin{aligned} \varphi &= u_0 x + \frac{m}{2\pi} \log r_1 - \frac{m}{2\pi} \log r_2 \\ &= u_0 x + \frac{m}{2\pi} \log \frac{r_1}{r_2} \dots\dots\dots (27c) \end{aligned}$$

由此可得在 $P$ 點之速率為

$$\left. \begin{aligned} u &= u + \frac{m}{2\pi} \left[ \frac{x-a}{r_1^2} - \frac{x+a}{r_2^2} \right] \\ v &= \frac{m}{2\pi} \left[ \frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right] y \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28)$$

其中 $2a$ 為甲乙相距之遠近，又若依前法得 $\psi$ ，然後令 $\psi=0$ ，則得

$$\tan\left(\frac{u_0 y}{m} \cdot 2\pi\right) = \frac{2uy}{a^2 - r^2} \dots\dots\dots (29)$$

是即為 $ABC$ 曲綫之公式也。

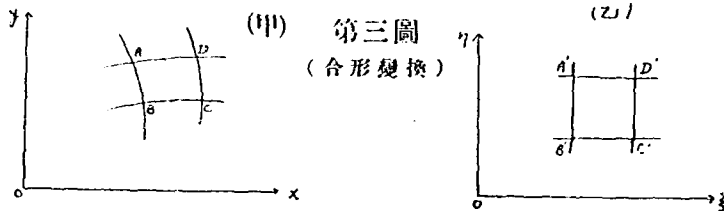
取出點入點作相當分配，則可得任何固體之形，而繞此固體之流場情態，遂可迎刃而解決矣，此「出入方法」之所以為優也。

然出入方法，在固體若為有規則之形態，如球形橢圓形之類時，固較其他二法為優長，但苟固體之形態複雜，雖以簡約之數學方式代表，則出入點強弱之分配不

易求得而斯法之應用遂又難矣,是以不得不又告濟於第四法也,是即合形變換方法,

(a) 合形變換方法,

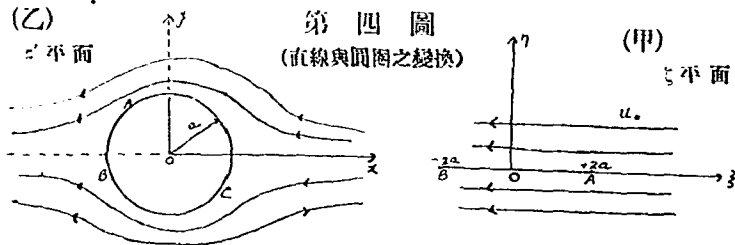
合形變換方法即為將甲體之形式變為乙體之形式,而不改其形式間角度之大小,例如在第三圖甲之形式雖殊於乙之形式而其  $A, B, C, D$  之角度則均為九十度



而未改也,將此法應用於流體力學,則為將甲之模形變作乙之模形而同時往甲之流場而得乙之流場,乃由已知推未知之法也,請略舉數例以見斯法之為用,

1. 直線與圓圈,

在下面第四圖內設甲圖有直線  $AB$ , 沿  $AB$  線有流





體以等速  $u_0$  與之平行流過,則依定義可得甲圖內之指位函數與流線函爲

$$\varphi_\zeta = -u_0 x,$$

$$\psi_\zeta = -u_0 y.$$

但

$$w' = \varphi_\zeta + i\psi$$

(見公式 17)

$$\therefore w' = -u_0(x + iy).$$

若書

$$\zeta = x + iy,$$

則

$$w' = -u_0 \zeta. \dots\dots\dots(30)$$

今設在乙圖內,繞  $ABO$  圓圈,有流體以等速  $u_0$  沿  $z_0$  方向流過,吾人欲求繞  $ABO$  之流場,用合形變換方法解決此種問題,即爲先設法求得一數學公式俾  $AB$  直線可變作  $ABO$  圓圈,此公式無他,即約高斯克公式也。<sup>(9)</sup> 若書

$$z' = x + iy,$$

則此公式爲

$$\zeta = z' + \frac{a^2}{z'} \dots\dots\dots(31)$$

其中  $a$  爲此圓圈之半徑。

若

$$r^2 = x^2 + y^2, \quad x = r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta,$$

則

$$z' = r(\cos \theta + i \sin \theta) \\ = r e^{i\theta}$$

(9) Joukowski, "Über die Konturen der Tragflächen der Drachenfliieger" Zeits. f. Flug. und Motor. (1910)

依公式(31),  $\therefore \xi + i\eta = re^{i\theta} + \frac{a^2}{r e^{i\theta}}$  .....(32)

由(32)取兩方之純數幻數而分等之則得

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \left( r + \frac{a^2}{r} \right) \cos\theta \\ \eta &= \left( r - \frac{a^2}{r} \right) \sin\theta \end{aligned} \right\} \text{.....(33)}$$

由(33)可見若  $ABC$  爲  $(r=a)$  之圓圈則由(33)

$$\eta = 0, \xi = \pm 2a, \text{.....(34)}$$

是即沿  $\xi$  軸之  $AB$  直線也,由可知公式(31)能將  $AB$  直線變作  $ABC$  圓圈無疑,由(31)取  $\zeta$  與  $z'$  之關係代入(30)內,則可選得  $ABC$  流場之混合函數爲

$$w'_z = -v_0 \left( \zeta + \frac{a^2}{\zeta} \right); \text{.....(34)}$$

又憶

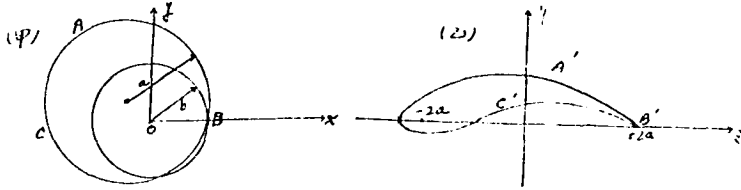
$$\frac{dw'_z}{dz'} = u - iv,$$

則  $ABC$  流場各點  $u, v$  之值,可得之如反掌矣!

## 2. 圓圈與飛葉切面.

公式(31)不但能將直綫變爲圓圈,反而行之,當亦能將圓圈變爲直綫,不但此也;若圓圈之中心與  $xoy$  坐標軸之起點不在一處,則用公式(31)可將此圓圈變爲一曲綫;而其形則隨圓圈中心點之所在而異,欲正明此種理論,殊屬易爲,即循例(1)所用之法,取公式(31),給  $z'$  以不同之數,而得  $\zeta$  之各數,再將  $\zeta$  之各數代表於紙上而連貫之,則

之圖形成矣，如此可由圓圈  $ABC$  而得一飛葉切面  $A'B'C'$  (見第五圖) 用 (b) 或 (c) 法，吾人易求得繞  $ABC$  之流場， $ABC$  之流場既得，則沿例 (7.) 所述之法而可得繞  $A'B'C'$  之流場矣。



第五圖一(圓圈與飛葉)

以上所舉 (a), (b), (c), (d) 四法，可以互相為用，難用於此者，未必不可不易用於彼，苟能深知此四法之用，則研究理想流體之工具，可謂庶幾備之矣，然要知此四種方法純為研究理想流體而設，苟實際流體之內在阻力過大，則公式 (1b) 中之  $\mu$  不能完全忽略，而理想流體之公式不得見用，於是此四法之用途亦發生困難矣，是又不得不求他法以濟其窮，吾人遂不必舍「逕流」而談「漩流」焉。

(丙)「漩流」

(a) 漩流之概念。

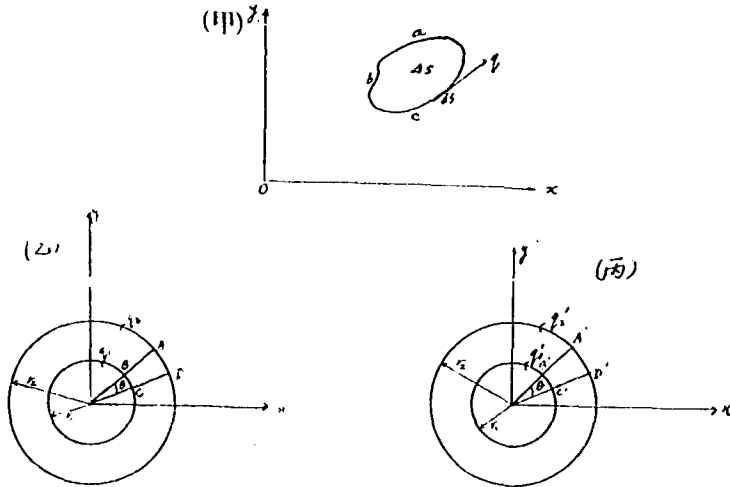
漩流與逕流對稱，苟流場不為逕流必為漩流，殊無中立之餘地，依逕流定義，流場之得為逕流，其各點必合於公式 (5) 情形方可，即

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (45)$$

若流場不得為逕流，則此三等式之一二或三者同時不得為零，其理固甚明也。其另一分別逕流與漩流之方法即為在流場內任取小平面形  $\Delta s$  (見第六圖)，然後沿  $\Delta s$  之邊界  $abc$  求  $\oint q ds$  之值，其中  $q$  為沿  $ds$  之流速。若  $\oint q ds$  為零，則  $\Delta s$  內之流場為逕流，否則為漩流。試舉例以明之。在第六圖內設在乙丙二圖中有流體同繞圓周運行，而在乙圖之內，其運行率  $q$  與其距  $o$  點之遠近成正比，即

第六圖—(逕流與漩流之區域)



而在丙圖則成反比,即 
$$\left. \begin{aligned} q &= k_1 r, \\ q &= \frac{k_2}{r}, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(36)$$

其中  $k_1, k_2$  均為恆數,  $r$  為  $q_0$  之距離,今欲別二者之孰為逕流,孰為漩流,其法即為在乙丙圖中各取  $ABCD A$  與  $A'B'C'D'A'$  二平面形,然後沿此二形之邊界順向以求其  $\oint q ds$  之值,在乙圖內

$$\begin{aligned} \oint q ds &= q_2 \cdot DA - q_1 \cdot BC, \\ &= k_2 r_2 \cdot r_2 \theta - k_1 r_1 \cdot r_1 \theta, \\ &= k_1 \theta (r_2^2 - r_1^2). \dots\dots\dots(37) \end{aligned}$$

但依圖,  $r_2 > r_1$ ,

$$\therefore \dots q ds \neq 0,$$

故乙圖之流為漩流,同樣可得在丙圖中之

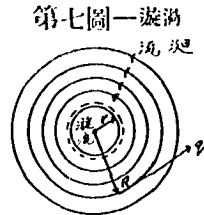
$$\begin{aligned} \oint q ds &= q_2 \cdot D'A' - q_1 B'C', \\ &= \frac{k_2}{r_2} \cdot r_2 \theta - \frac{k_2}{r_1} \cdot r_1 \theta \\ &= k_2 \theta - r_1 \theta = 0 \dots\dots\dots(38) \end{aligned}$$

故在丙圖之流為逕流;若認之為漩流則悞矣,沿  $AB$  (或  $A'B'$ ) 與  $CD$  ( $C'D'$ ) 之流速均為零,故不入計,又依定義,丙圖內流場之指位數為

$$\varphi = q_0 r \theta = k_2 \theta, \dots\dots\dots(39)$$

故  $\varphi$  之值隨  $\theta$  而增長,在同一地點,  $\varphi$  之差異可為  $2\pi, 4\pi, \dots\dots\dots 2n\pi$  等數,視環繞之次數而異,此與以前所下

定義，謂指位數在一定之地位即有一定之值數者，實有不同，此種流式，通常稱之曰「迴流」，所以別於其他逕流也。在天然情形之下，迴流與漩流恆相伴而生，漩流居其中央，而迴流則環繞於外。（見第七圖）由此二者相合之式，可名之曰「漩渦」。漩渦中央漩流之直徑恆甚小，故又名之曰「漩渦線」。又在公式(36)中，若書  $k=2\pi k_2$ ，則  $k=2\pi r\eta_1$ ，是名之曰「漩渦勁」。



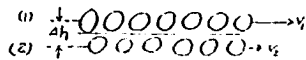
第七圖—漩渦

漩流之概念既明，可進而談流漩之發生及其影響。

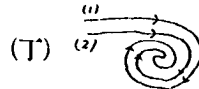
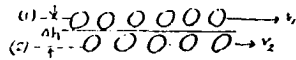
(b)漩流之發生及其影響。

在理想流體，因其全無內在阻力，漩流即無產生之可能。但在實際流體，其內在阻力恆有一定之價值，而漩流即可由此內在阻力之作用而發生，例如在第八圖內，

(甲)



(乙)



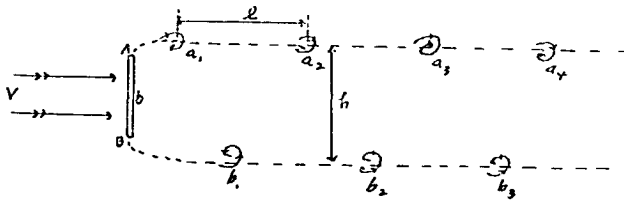
(1),(2)代表兩層甚接近之流體，在甲圖內，流體為理想流體，故當此兩層之距離  $\Delta h$  為無窮小時，雖上層之速度  $v_1$  大於下層之速度  $v_2$ ，而此兩層中因無內在阻力，故仍能

體,上下兩層間之阻力,隨 $\Delta h$ 之減少而增長,故當 $\Delta h$ 為無窮小時,若 $v_2$ 仍小於 $v_1$ ,則因彼此牽制作用, $v_1$ 與 $v_2$ 之原有方向,必改循螺旋式之途徑,如丁圖所示,此種因內在阻力之牽制,而產生螺旋曲綫,實為天然現象之通例,如將兩條伸張速率不同之金屬片黏合之,加熱,則亦成螺旋曲綫矣,如丙圖,是以漩流發之標準可歸結之如下:

- (a). 內在阻力  $\neq 0$
  - (b). 當  $\Delta h > 0, v_1 - v_2 \neq 0$ .
- } ..... (38)

(b)所代表之情態,通名之曰不繼續情態,故在流場內,凡有與(38)中規律適合之區域,均有漩渦發生,其最著之例厥為常流體經平板時所產生之『漩渦排』,(見第九圖)

第九圖一(漩渦排)



圖內 AB 為與流體速率  $v$  垂直之平板,  $a_1, a_2, a_3, \dots$  與  $b_1, b_2, b_3, \dots$  為漩渦。若  $l$  為兩鄰近漩渦之距離,  $h$  為  $a, b$  漩渦排之距離, 則  $l$  與  $h$  之關係為

$$\frac{h}{l} = 0.281, \dots \dots \dots (39)$$

相依而行,不改其原有之方向但在乙圖,流體為實際流

此關係初由克爾滿氏用數學理論方法求得<sup>(10)</sup>，故是項之漩渦排又常稱之曰「克爾滿漩渦排」。

漩流既由流體內在阻力之作用而生，故其第一易見之影響，厥為將流體之動能變為熱能。固體運行於流體之中時，則漩流之影響，為將固體之動能變為熱能。此種能之變換即為增加固體與流體間之阻力，欲減少此種阻力，必須設法減少漩流之發生，是以凡運行於流體中之固體必以「流線形」為尚，因惟有用流線形始有減少公式(38.)內情態成立之機會也。

### (C) 流體阻力之計算。

當固體運行於流體之中，其所受之阻力可分兩種：

(1) 乃由流體之內在阻力直接所生者，俗稱之曰「邊皮阻力」；(2) 係由漩流所產生者，通名之曰「混流阻力」，請分而論之。

#### 1. 「邊皮阻力」

此動阻力純由流體鄰近各層彼此傳授「動量」所致，與漩流之存否無涉。若 $\alpha$ 為流體之內在阻力， $\frac{du}{dy}$ 為流體各層速度沿 $z$ 方向之改變率，則固體每單位平方所受之阻力 $F$ 可由牛頓公式

(10) Kármán, "Flüssigkeits- U. Luftwiderstandes," Phys. Zeits.,  
vol. 13(1912).



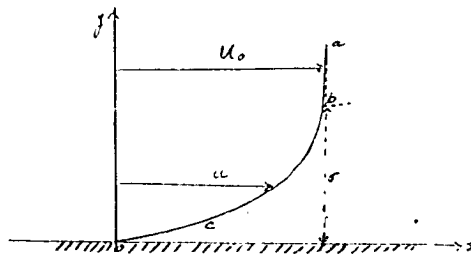
$$F = \mu \frac{du}{dy} \dots\dots\dots (40)$$

推計之。

惟欲知  $F$ , 必先知  $\frac{dv}{dz}$ , 而欲知  $\frac{du}{dy}$ , 必先知環繞固體之流場, 是則不得不歸結至 (1b) 之運行公式矣。然 (1b) 運行公式, 用之於實際問題, 恆過於複雜, 無法解釋, 欲使之不失其應用之效, 必有相當之簡化方式而後可。此簡化方式可由白南都<sup>(11)</sup>之「邊層理論」得之。

試回觀公式(40), 可知固體每單位平面所受之阻力與  $\frac{du}{dy}$  之值相消長, 當固體與流體相對運行時, 貼近固體之流速必為零, 其鄰近固體之流速則為一定之值數, 由零而躍為一定之值數, 流速之改變必大, (見第十圖)。

第十圖—(鄰近固體流體速率之改變)



(11) Prandtl, "Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung", Verhandl. d. III Int. Math. Kongress in Heidelberg 1914.

$\frac{du}{dy}$  之值大,則  $F$  亦大,故固體所受之邊皮阻力大半生於鄰近固體之邊層,而遠離固體之流場則因其速度之改變率小,而  $F$  之貢獻遂亦微,在第十圖內,流體以平均速度  $u_0$  沿  $cox$  平面流過,其中  $abc$  代表流速之分配,  $\delta$  即邊層之厚度也,  $\delta$  之值隨  $u_0$  之值與地位而異,但通常則恆在數分釐以內,是以爲簡約起見,吾人可視邊層以內之流體爲賦有內阻力之流體,邊層以外之流體爲理想流體,邊層以外, (1a) 之運行公式仍可應用,而邊層以內則 (1b) 之運行公式可簡化之如下:

若流式爲平面流, (見第十圖), 則因沿  $oy$  軸速度之改變最大, 故

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \gg \frac{\partial^2 u}{\partial x^2},$$

$$\gg \frac{\partial^2 u}{\partial z^2};$$

同時因爲平面流, 故

$$v=0;$$

及

$$\left( \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \rightarrow 0,$$

故 (1b) 可簡化爲

$$-\frac{1}{\rho} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad \dots\dots\dots (40a)$$

而連續公式 (2) 簡化爲

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (40b)$$

(40a), (40b) 即白南都之邊層公式也, 此二公'式, 對於解決

邊皮阻力問題甚為有效，且其答案恆能與實驗之結果相附合，此舊有流體能學所不可及者。<sup>(12)</sup>

惟在混流情形之下，邊皮阻力恆較混流阻力為小，故欲知固體之阻力，計算混流之阻力實較計算邊皮阻力更為重要。

### 1. 混流阻力。

混流阻力為流體力學中最難解決之問題，現尚無通用之法，有之則惟關於「克爾滿漩渦排」(見第九圖)之特殊問題而已，而解決此問題者，亦以克爾滿氏為第一人。<sup>(13)</sup> 惟其數學步驟過於冗長，本文僅能書其結果如下

$$D = h_0 V^2 \left\{ 2.83 \left( \frac{u}{V} \right) - 1.12 \left( \frac{u}{v} \right)^2 \right\}, \dots\dots\dots (41)$$

其中  $D$  為平板(見第九圖)  $AB$  所受之阻力， $\rho$  為流體之密度， $h$  為漩渦排之距離， $V$  為流體與平板相對運行之速率， $u$  為漩渦與平板相對運行之速率。若書

$$C_D = \left\{ 2.83 \left( \frac{u}{V} \right) - 1.12 \left( \frac{u}{v} \right)^2 \right\} \frac{h}{b} \dots\dots\dots (42)$$

則(41)變為

$$D = C_D \rho b v^2 \dots\dots\dots (43)$$

其中  $b$  為平板之寬度， $C_D$  為阻力係數。

公式(43)為「水力學」中最常用之方式。蓋因在水力學

(12) Kármán, "Skin Friction," T Inst. of Aeronautics, Jan. 1934

(13) Kármán, (同<sup>(12)</sup>)

中所研究之問題多屬混流,而在混流情形之下, $c_D$ 之值難以用數理推計,故只得取(13)之簡約方式,而用實驗方法以求 $c_D$ 之值也。

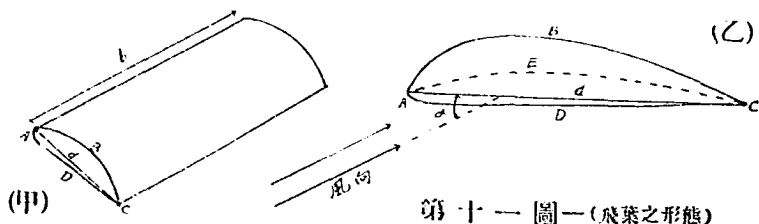
以上在第一章所討論者純為流體力學之理論與方法,今後之職務即為將此種理論與方法應用之於飛葉。

## 第二章 飛葉之理論

### 1. 飛葉之形態。

飛葉之功能在能載重而行遠,欲其能行遠,必使其阻力小;欲其能載重,必使其擊力大,此二者為決定飛葉形態之最重要原素,其第三要素,亦常能變化飛葉之形式者,則為人工建造之難易問題,但因其屬於建造範圍,非本文所欲論也。

飛葉之變形不下數千種,然其彼此間之區別恆微鎖,驟觀之,常難辨其差異,其普通形態約可代表之如下圖。



在第十一圖內，甲圖代表整個飛葉， $b$  爲「葉徑」， $d$  爲「葉弦」， $ABCD$  爲飛葉之切面，乙圖卽  $ABCD$  切面之放大，其中  $ABC$  爲「葉背」， $ADC$  爲「葉腹」， $AD$  爲「葉弦」， $AC$  爲「葉軸」，居腹背之中間，因行動時，飛葉之大頭恆向風，故  $A$  端又名爲「葉頭」， $C$  端爲「葉尾」。若乙圖內箭頭代表風向，則葉弦與風所成角度名曰「飛角」。其他關於飛葉之應用名詞尙多，因其與飛葉理論之講述無大關要，姑從略。

### (2) 飛葉擊力與阻力之推計。

當飛葉與空氣相對運行時，普通有兩種力發生，第一種，其方向與風向垂直，名曰「擊力」；第二種，其方向與風向平行，名之曰「阻力」(或稱「曳力」)。欲推計此二種力之大小，自當先求繞飛葉之流場，求得流場之方法有二，一爲利用逕流之理論，一爲利用漩流之理論，漩流之方法較逕流之方法爲精確，但因其數理過於複雜，初學者每不易解，且推敲數學公式，原非本文之主旨，故本文內只將用逕流之簡約方法而求得大概之結果；至關於漩流方法，俟他日有暇，當作專文論之。

逕流方法，亦僅以用于平面流場者爲主，立體流場亦從略。

### (a) 飛葉擊力。

設在第十一圖甲，葉徑  $b$  爲無窮長，則環繞飛葉各

個切面之流場相同,此流場名曰平面流場。

今試取此種飛葉切面,而以一  $abc$  流線包繞之,(見十二圖甲)若  $P_x, P_y$  為單位葉徑沿  $0x, 0y$  之力,則依定義

$$P_x = -\oint p dy, \quad P_y = \oint p dx \dots \dots \dots (44)$$

$\oint$  即為繞  $abc$  線積合之記號也,由(44)可選得

$$P_x - iP_y = -\oint p(dy + idx) \dots \dots \dots (45)$$

但依柏六離公式(14),

$$p = k' - \frac{1}{2} \rho q^2.$$

$$\therefore P_x - iP_y = \frac{\rho}{2} \oint q^2 (dy + idx) \dots \dots \dots (46)$$

又  $abc$  既為流線,依流線之定義,沿  $abc$  曲線

$$u dy - v dx = 0,$$

故可得  $i_0 \oint (v + iv) (u dy - v dx) = 0$

將此式與(46)合之即得

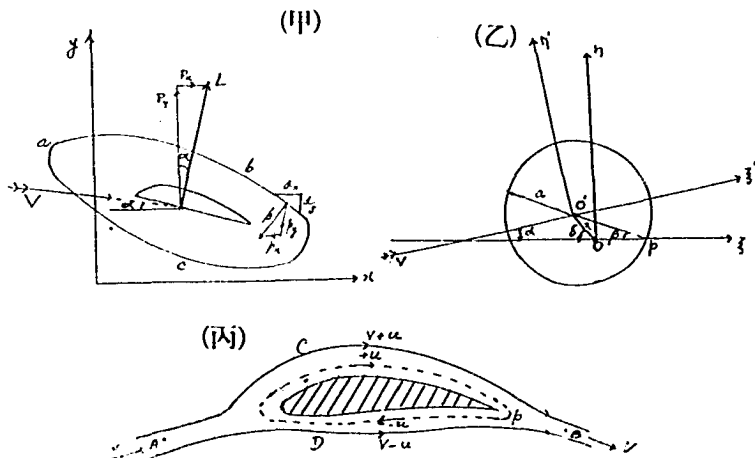
$$\begin{aligned} P_x - iP_y &= \frac{i_0}{2} \oint (u - iv)^2 (dx + idy) \\ &= -\frac{i_0}{2} \oint \left( \frac{dw'}{dz'} \right)^2 dz' \dots \dots \dots (47) \end{aligned}$$

蓋因  $z' = x + iy,$

及  $\frac{dw'}{dz'} = u - iv,$

之故也,(見 17 與 17a),故若在公式(47)中知  $w'$  與  $z'$  之關係,則  $P_x$  與  $P_y$  可得矣。

第十二圖—(壓力與阻力之推計)



$w$  與  $v'$  之關係可用第一章所論之變換方法得之。惟在此略有不同之點，即為繞飛葉之流場為逕流與迴流所混合而成，不但有逕流而已也。此迴流之所以發生，殊甚易見。今設在(十二)丙圖內，取離飛葉甚遠之  $A, B$  兩點，因其距飛葉甚遠，故受後者之影響甚微，若  $V$  為空氣與飛葉相對運行之速率，則由柏六離公式，可見兩點之壓力與速率必相同。今設鄰  $A, B$  二點有  $ACB$  與  $ADB$  二流線經過葉背與葉腹流過，因  $ACB$  之路徑長於  $ADB$  之路徑，故沿  $ACB$  之速率必大於沿  $ADB$  之速率，設前者為  $V+u$ ，後者為  $V-u$ ，則  $u$  必繞飛葉而運行，是即迴流矣。(見丙圖)，飛

葉之流場既為逕流與迴流之混合體，故繞圓圈之流場亦必為此二者之混合體，然後有彼此合形變換之可能也。

設圓圈之半徑為  $a$ ，(見十二圖乙)，其坐標軸為  $0\xi, 0\eta$ ，則由公式(21)與(34)可得其混合指位數

$$w'_\zeta = \varphi'_\zeta + i\psi'_\zeta \\ = V\left(\zeta' + \frac{a^2}{\zeta'}\right) + \frac{ik}{2\pi} \log \frac{\zeta'}{a} \dots\dots\dots (48)$$

其中  $V$  為流速， $\zeta' = \xi' + i\eta'$ ， $k$  為迴流動，但圓圈與飛葉合形變換之普通公式為<sup>(14)</sup>

$$z' = \zeta + \frac{a^2}{\zeta} + \frac{a^4}{\zeta^3} + \dots\dots\dots (49)$$

其中

$$z' = x + iy, \quad \zeta = \xi + i\eta$$

從圖乙，得  $\zeta$  之關係為

$$\zeta' = (\zeta - me^{i\delta})e^{i\alpha} \dots\dots\dots (50)$$

但

$$\frac{dw'}{dz'} = \frac{dw'}{d\zeta'} \cdot \frac{d\zeta'}{d\zeta} \cdot \frac{d\zeta}{dz'}$$

將(49)與(50)之關係代入，即得

(14)Theodorsen and Garrick, "General Potential Theory of Arbitrary Wing Sections," Am. N. A. C. A. Report No. 452 (1933).



$$\begin{aligned} \frac{dw'}{dz'} &= \frac{(V - V \frac{a^2}{\zeta^2} + \frac{ik}{2\pi\zeta}) e^{i\alpha}}{(1 - \frac{a_1}{\zeta^2} - \frac{2a_2}{\zeta^4} - \dots)} \\ &= Ve^{i\alpha} + \frac{ik}{2\pi} \frac{1}{\zeta} + (-a^2 Ve^{-i\alpha} + a_1 Ve^{i\alpha} + \frac{ik}{2\pi} me^{i\delta}) \frac{1}{\zeta^3} \\ &\quad + \dots \end{aligned}$$

由此故得

$$\left(\frac{dw'}{dz'}\right)^2 = A_0 + \frac{A_1}{\zeta} + \frac{A_2}{\zeta^2} + \dots \tag{51}$$

其中

$$A_0 = V^2 e^{2i\alpha},$$

$$A_1 = \frac{iVk}{\pi} e^{i\alpha},$$

$$A_2 = 2a_1 V^2 e^{i\alpha} - 2a^2 V^2 + \frac{iVk}{\pi} e^{i(\alpha+\delta)} - \frac{k^2}{4\pi^2}.$$

將公式(51)中  $\left(\frac{dw'}{dz'}\right)^2$  之值代入(47)內即得

$$\begin{aligned} P_x - iP_y &= \frac{i\rho}{2} \oint \left(\frac{pw'}{dz'}\right)^2 dz' = \frac{i\rho}{2} \oint \left(\frac{dw'}{dz'}\right)^2 - \frac{dz'}{d\zeta} d\zeta \\ &= \frac{1}{2} i\rho \oint \left(A_0 + \frac{A_1}{\zeta} + \frac{A_2}{\zeta^2} + \dots\right) \left(1 - \frac{a}{\zeta^2} - \dots\right) d\zeta \\ &= \frac{1}{2} i\rho (2\pi i A_1) \\ &= -i\rho V k e^{i\alpha} \dots \tag{52} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} P_x &= \rho vk \sin \alpha \\ P_y &= \rho vk \cos \alpha \end{aligned} \right\} \dots \tag{53}$$

若L代表與風向垂直之墜力, (見甲圖), 則  $L = P_x \sin \alpha + P_y \cos \alpha$ ,

$$\boxed{L = \rho vk} \dots \tag{54}$$

此即為代表飛葉擊力最重公式之一也。惟在此公式中， $K$ 尚為未定之值。故欲完全決定 $L$ 之值必設法求 $K$ 之值不可。求 $K$ 最簡易之方法厥為用約高司克之假設。<sup>(15)</sup>

約高斯克之假設謂若欲飛葉發生最有效之擊力，其葉尾(丙圖中 $p$ 點)之流速必為零。應用此種假設則由公式(48)可得。

$$(u-iv)_p = \left( \frac{dw'}{dz'} \right)_p = V \left( 1 - \frac{d^2}{c'^2} \right) + \frac{ik}{2\pi c'} = 0.$$

但由十二圖丙， $\zeta' = -ae^{i(\alpha+\beta)}$ ，

$$\therefore V \left\{ 1 - e^{-2i(\alpha+\beta)} \right\} = \frac{ik}{2\pi a} e^{-i(\alpha+\beta)}$$

$$\therefore K = 4\pi a V \sin(\alpha+\beta) \dots\dots\dots (55)$$

將公式(55)中 $K$ 之值代入(54)即得

$$\begin{aligned} L &= \rho V A \pi a V \sin(\alpha+\beta) \\ &= 4\pi a \rho v \sin(\alpha+\beta). \dots\dots\dots (56) \end{aligned}$$

若書  $C_L = 2 \left\{ 4\pi a \sin(\alpha+\beta) \right\} / d \dots\dots\dots (57)$

則  $L(s) = bL = C_L \frac{1}{2} \rho s^2 \dots\dots\dots (58)$

其中 $L(s)$ 為全飛葉之擊力， $b$ 為葉徑， $d$ 為葉弦， $S=bd$ 為飛葉之面積， $C_L$ 即擊力係數也。

(b) 飛葉之阻力(或稱曳力)。

如第一章所述，飛葉之阻力亦可分為邊皮阻力與

(15) 見(9).

漩流阻力兩種,因前者較後者甚小故可忽而不計。

依上篇之定義,擊力既為與風向垂直之力,則依牛頓動量不滅之定律,當空氣經過飛葉時必發生向下動量,始能產生向上擊力。(見第十三圖),但欲產生向下動量,空氣亦必有向下之流速而後可,吾人即可應用此種原理而推求飛葉阻力之大小。

今設  $V$  為飛葉前之風向,  $V_1$  為飛葉後面之風向,則當空氣經遠飛葉時其流速之改變為  $\Delta V$ 。若將  $\angle VO V_1$  用  $0\frac{\epsilon}{2}$  平分之,則  $0V_2$  為平均風向,若仍沿用以前擊力之定義,則與  $V_2$  垂直之擊力,依公式(58)為

$$L(V_2) = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho s V_2^2 \dots \dots \dots (59)$$

但依圖 
$$V_2 = \frac{V}{\cos \frac{\epsilon}{2}}$$

$$\therefore L(V_2) = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho s V^2 \cdot (\sec^2 \frac{\epsilon}{2}) \dots \dots \dots (60)$$

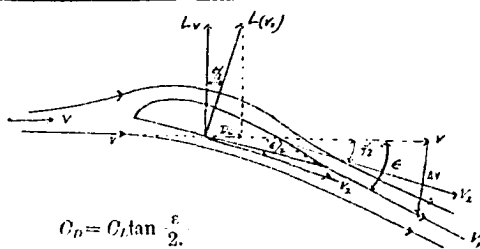
所以沿風向  $V$  之阻力為

$$\begin{aligned} D_i &= L(V_2) \sin \frac{\epsilon}{2} \\ &= C_L \cdot \frac{1}{2} \rho s V^2 \tan \frac{\epsilon}{2} \cdot \sec \frac{\epsilon}{2} \end{aligned}$$

因  $\frac{\epsilon}{2}$  角恆小,  $\therefore \sec \frac{\epsilon}{2} \approx 1$ ,

$$\therefore D_i = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho s V^2 \cdot \tan \frac{\epsilon}{2} \dots \dots \dots (61)$$

第十三圖一(飛葉之擊力與曳力)



若書

$$C_D = C_L \tan \frac{\epsilon}{2}$$

則  $D \approx D_i = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho s v^2 \dots \dots \dots (62)$

是即航空學中所常用之曳力公式也,此種因風向改變所產生之曳力名曰感引曳力。

公式(61)之缺點在  $\tan \frac{\epsilon}{2}$  仍為一未知數,此數之值可由應用漩渦理論求得之,本文亦不得論及,但由實驗所得之結果,  $\epsilon$  與  $C_L$  之關係約可代表之如下:

$$\epsilon = 5.25 C_L + 0.25 \dots \dots \dots (63)$$

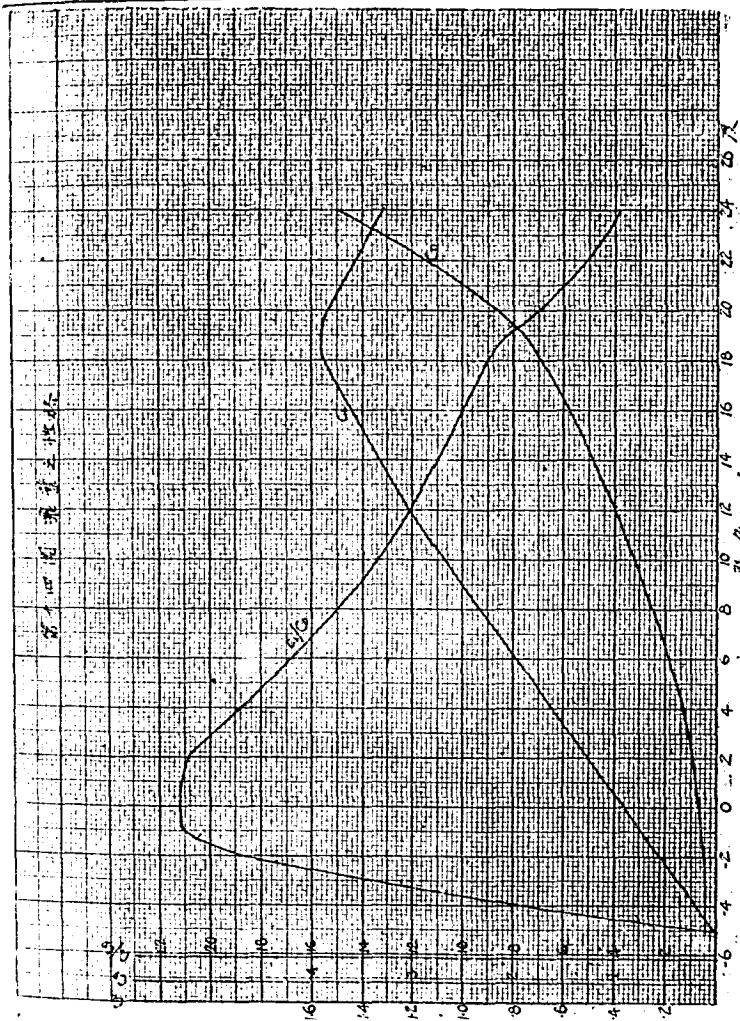
$$\therefore \tan \frac{\epsilon}{2} = \tan \frac{1}{2} (5.25 C_L + 0.25)$$

$$\therefore C_D = C_L \tan \frac{1}{2} (5.25 C_L + 0.25) \dots \dots \dots (64)$$

合公式(56)與(64)則  $C_D$  之值可以推計矣。

(C)飛葉之性格

飛葉之主要性格可以其  $C_L$ ,  $C_D$ , 及  $\frac{C_L}{C_D}$  三數代表之,  $\frac{C_L}{C_D}$  通稱為「飛葉效率」,蓋因若飛葉之擎力大而曳力小,則其效率亦大也,此三數之值隨「飛角」之值而改變,下圖即代表其改變之方式,飛葉之形格雖因其形態而異,然就現時普通所用者觀之,則均大同而小異,將下圖所代表者視為飛葉性格之標準,殊無不可。



## (附錄一) 流線與流線函數。

## 1. 流線

將流場各內點流體子粒運行之方向連貫之，則得流線。其性質與電磁場之力線多相同。因流場內每點之流動，在同一時間各有一定之方向，故在一點僅一流線經過，是以流線從不得彼此相交。

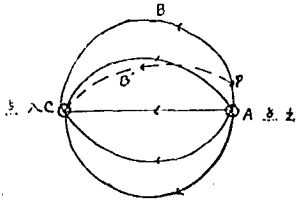
流線與流場內【子粒之路徑】可相同，可不相同。若為恆流，各點之流向不因時間改變，則流綫之形或亦不改變，子粒之路徑既取決於場內每點之流向，故亦有一定之歷程，在此種情形之下，流綫與子粒之路徑則相同；若在【變流】，各點之流向隨時間改變，則甲時之流線形式不與乙時者同，而子粒之路既代表長時間各點之流向，自不能與某一時之流線形流相同。在此種情形之下，流線與子粒之路徑則不同。在下面甲圖內，若出點與入點之流量不改，則子粒  $P$  之路徑與流線  $ABC$  相合；若出點之流量不變而入點之流量則隨時間減少，於是子粒  $P$  之路徑為  $ABC$ ，而不得與任何流線相附合矣。

## 2. 流線函數。

沿流線每單位時間之流量名曰流線函數。在附圖乙，若  $d\psi$  為沿  $AB$  之流量， $u, v$  為沿  $Ox, Oy$  之流速，則由圖內可逕得

附 圖

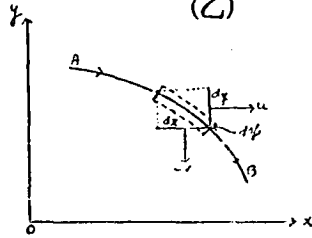
(甲)



$$d\psi = udy - vdx.$$

$$\therefore u = \frac{\partial\psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial\psi}{\partial x}$$

(乙)



(附錄二)

中 英 名 詞 對 照 表

逕 流	Irrotational flow.	流線函數	Stream function.
漩 流	Rotational flow.	平 面 流	Two-dimensional flow.
內 在 阻 力	Internal friction.	立 體 流	Three-dimensional flow.
柏 六 離	Bernoulli.	平 流	Uniform current.
歐 拉	Euler, L.	出 入 方 法	Source & Sink method.
拉 克 南 基	Lagrange, J.L.	出 點	Source.
流 場	Flow field.	入 點	Sink.
指 位 數	Potential.	合 形 變 換	Conformal transformation.
拉 卜 拉 司	Laplace, P.S.	迴 流	Cyclic potential-flow.
積 合	Integrate.	漩 渦	Vortex.
恆 流	Steady flow.	混 合 函 數	Potential-stream function
反 行 方 法	Reverse method.	漩 渦 線	Vortex filament.
流 線	Stream-line.	漩 渦 勁	Vortex strength.

漩渦排	Vortex street.	葉 腹	Lower camber,
不聯續情形	Discontinuity.	葉 軸	Medium line,
邊皮阻力	Skin friction.	葉 頭	Leading edge,
混 流	Turbulent flow.	葉 尾	Trailing edge,
混流阻力	Turbulent resistance.	飛 角	Angle of attack,
動 量	Momentum.	舉 力	Lift,
邊層理論	Boundary-layer theory.	曳 力	Drag,
水 力 學	Hydraulics.	感引曳力	Induced drag,
飛 葉	Airfoil:-	飛集效率	Airfoil efficiency,
葉 弦	Chord,	變 流	Unsteady flow
葉 背	Upper camber,	子粒之路徑	Path of a particle

### (附錄三) 除論文外本文所用之

#### 主要參考書籍如下:

- Lamb: Hydrodynamics (5th edition) Macmillan, 1930.
- Prandtl Tietjens: Hydro- und Aeromechanik. (1st. edition) Julius Springer, 1929.
- Durand, W. F.: Aerodynamic Theory. (1st. edition), Vol. I. Julius Springer, 1934
- Glauert: The Elements of Aerofoil and Airscrew Theory (1st edition) Macmillan, 1926
- Warner: Airplane Design - Aerodynamics. (1st edition) McGraw-Hill, 1927



# 電 氣 弧 燬 法

余 熾 昌

## 導 言

鋼鐵建築中兩鋼件之連接，向賴鉚釘。歐戰以前歐美已有用氣燬連接及電氣弧燬連接者，然法未臻善用途亦狹。歐戰中軍艦之修補及建造，多用氣燬或電氣弧燬代替鉚釘。自是以後，電氣弧燬之用日趨繁勝。舉凡各種鋼鐵之建築，如橋樑、房屋、軍艦、輪船、車輛、機器、鋼管等皆可用電氣弧燬以代鉚釘。緣電氣弧燬之連接優於鉚釘連接者有三點焉：(一)鋼件之接觸面直接連合，無須第三者介乎其間。(二)鋼件之效用面積無須因鉚釘孔而減小，故強力較大。(三)某一鋼件燬合於他一鋼件，其應力之傳達係直接的且平均分佈。用於軍艦或輪船之建造時，除上列之優點外，尚有二優點：(一)連接處無須填塞，自能永不滲漏。(二)連接處不餘微隙，故不虞銹蝕之自此侵入。

歐戰以還，各種鋼鐵建築雖多有用電氣弧燬或氣燬連接者，但多為局部的，重要部分仍用鉚釘，全部用燬法連接者，尙屬罕視，因燬法未精，應力不確之故。近十數年

來各國研究斯法不遺餘力，凡焊法之標準，材料之選擇，應力之大小等，皆經過精確之實驗後確定其規範，故晚近全部用電氣弧焊連接之鋼鐵建築如橋樑，房屋，機器，軍艦等實不勝枚舉，此後鉚釘之用當日趨減少，弧焊當取而代之。蓋考全部用電氣弧焊連接之建築其益有五：(一)重量減輕，(二)強力加大，堅固耐久，(三)材料之效用加增，(四)美觀，(五)價廉。本篇所述僅及電氣弧焊之工作方法，餘如電弧焊之性質，計劃方法，建造方法等容續論焉。

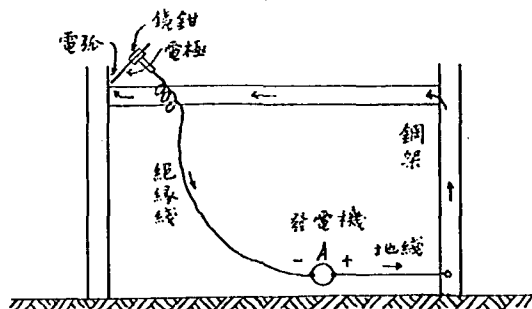
所謂焊鋼法者，乃使兩件或多件結構用之鋼鐵，在高熱下互相焊合而成爲一體，其法先使欲使焊合之兩邊或兩面經過高熱而致熔解形成流動體或黏液體，此熔解之兩邊或兩面經過壓擠使之黏合，且使熔解體交互流動成爲分子聯貫之體質。有時須加一填片 (filler) 於被於被焊兩面之間，使此填片及被連接之底鋼 (base metal) 熔合爲一，以固其合縫，此法則無須壓擠即可焊合。

現在通行之焊鋼法略分兩種，一爲氣焊 (Gas Welding)，一爲電氣弧焊 (Electric arc Welding)，前者用場較狹不若後者之普遍。

氣焊法 此法所用之熱係由於燃燒氧氣及乙炔 (Ac-

ethylene) 之混合物而來。先將此二種氣體裝置於一有壓力之氣缸內，經過節制機關通過氣管而成一有高熱火燄之火炬，將欲連接之鋼件之兩邊或兩面佈置就緒，使此取邊微離一隙，然後用此高熱之火燄燒使鎔解，同時用此火燄燃燒一煅桿(或稱煅綫 (Welding rod or Welding Wire)) 使此煅桿之前端鎔解流入已鎔解之煅縫(兩鋼件之接觸面或其間所留之微隙簡稱煅縫)之上。如煅工之手術適當，則煅桿之鎔解體(或稱鎔鋼液)可與煅縫兩邊之鎔鋼互相凝固為一於是此兩鋼件煅合。煅桿之原料須與底鋼之質略同。

電氣弧煅法(以下簡稱電弧煅) 此法所用之熱係由電弧發生，電弧之一端為行將煅合之兩鋼件之煅縫，是為陽電極，其他一端為用鐵鉗夾緊之煅桿或煅綫，是為陰電極，煅桿或為鋼質或為炭質，用炭桿者稱為炭弧煅。其法係假此介於底鋼及炭桿間之炭弧所生之高熱燒鎔底鋼上



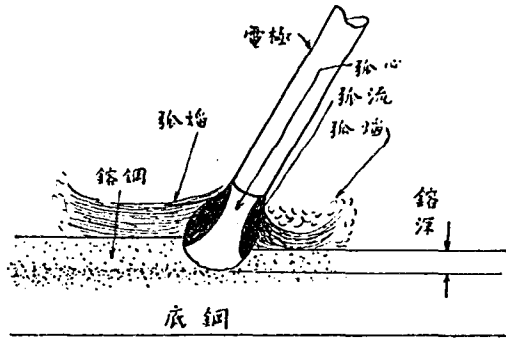
第 一 圖

煨縫之兩邊,同時加一填片(或稱填桿)亦燒使鎔解流於煨縫之上,使與煨縫之兩邊鎔合略如氣煨法之作用,用鋼桿者,則此鋼桿即為陰電極,同時此鋼桿及用作填桿,蓋使鋼桿自己燒鎔流於煨縫。

今將電弧煨之原理用表解明之如左,第一圖內所示之A為一直流發電機,其陽極連於鋼架之上,陰極則用絕緣綫連於夾住煨桿之鐵鉗,煨桿接觸煨縫之一邊或兩邊時則電路流通,電流由發電機流至鋼架,由鋼架通過煨桿,經過電綫回至發電機,煨桿接觸煨縫後即刻離開,否則因通過之電流過多致使煨桿紅熱黏於煨縫,有經驗之煨工能使煨桿在煨縫上左右刮動,使煨桿與煨縫真正接觸之時間非常短促。(不及一秒鐘)此種作用能使煨桿與煨縫之間留一微隙電弧即成立於其間,故電流仍可通過,精巧之煨工須善用鐵鉗,煨桿之下端雖逐漸因鎔化而縮短,但鐵鉗亦隨之逐漸下降,使煨桿之下端與煨縫間之微隙不變其長度,於是電弧之長度始終不變,煨桿之行動實包括三種不同方向,一為逐漸下降,一為順煨縫而行,一為左右擺動,以使煨縫之左右兩側一同鎔化。

電弧煨之主要原理,在使多量之電流(約150至300安培)從陽煨縫通過罅隙(即電弧)達於陰極之煨桿,發生強

熱燒鏽貼近煨縫兩側之底鋼以及煨桿之本身，使被燒鏽之煨桿下端流於已燒鏽煨縫之上，使三者鏽成一體，於是電弧煨成功。(參看第二圖)



第 二 圖

氣煨與電弧煨之比較 氣煨與電弧煨之法已如上述，今試比較其優劣。氣煨法所用之氣體費用頗大，底鋼燒鏽需時亦久，而煨工須一手執電桿一手執火炬，雙手須同時合作進行，并且兩種氣體之調和，壓力之高低，火燄之大小，均須隨時調制，以使熱度適宜，故手續頗繁，藝術較難，非心思精密且素有練習者不易辦到。兩種煨法之結果表面上雖不難鑑別，而性質殊類似，大抵適當之氣煨實較電弧煨為優，故在計劃上兩種煨法之應力可以視為相等，惟以氣煨之用費較昂，費時較久，藝術較難，手續較繁，故終不若弧煨用途之廣。要知兩種煨法之結果，在設計上雖可視為同等，但兩法所需之工具、材料、技

巧，工價固迥然不同。

**交流電弧焊** 上節所述弧焊僅論及直流電，實則交流電機亦可應用其法與用直流電機者略同亦頗通用且工具較簡，工價較廉，惟攷其結果交流電弧焊之強力韌性均不能一致不若直流電弧焊確定，此為交流電弧焊之弱點尙有待以後之研究改善，本篇所述僅就現在通用於橋樑房屋等鋼鐵建築之直流電焊概論之。

**電氣弧焊之工具** 電弧焊之重要工具：(一)為一直流發電機，此機在一定之電壓下其電流須固定不變，但此機之電壓電流須可隨時調制以便應用於不同之工作，(二)為鐵鉗，略似剪形，剪之前端用以夾緊焊桿，後端之剪柄須有彈簧使前端夾緊，剪柄之一成圓柱體，焊工以右手持此柄以進行其工作，此柄連以電線以通於發電機之陰極，(三)為護面盾，此係一略如斗形之面具，亦有如盔狀者，製以薄鋼片，大小以能完全遮護焊工之面部為準，面具之前面嵌以深度顏色玻璃以減輕因鎔化鋼液發生之強烈光度，使不致激刺焊工之目，有此護面盾之遮護鎔化之鋼液飛濺時不致損及焊工之面部，此外焊工須着皮質之長毛手套及便帽護胸等以保手頭胸各部。

**鋼質焊桿之焊合法** 用鐵鉗夾緊之焊桿接觸焊縫

以後須即刻離開，使煨縫(陽極)與煨桿(陰極)二者之間留一罅隙寬約3.2公厘，但電流仍可經一氣流通過兩極故電路流通無阻，此介於兩極之氣流稱為電弧，電弧之兩端，一端與煨縫接觸一端與煨桿接觸兩端均因電阻而發生強熱，此種強熱即用以鎔解底鋼及煨桿者也。

當開始弧煨之際需要一種精細工作，即使煨桿微觸煨縫立即離開以成電弧既如上述，但煨工如將煨桿上下移動稍不經意最易使煨桿與煨縫黏合不能分離當煨桿乍與煨縫之頃，煨工可用力將煨桿左右灣轉使之分離，否則為時稍久則電弧全消煨桿變成紅熱非隔斷電路不能使之分離，但如將煨桿左右擺動則不致發生黏合之危險。

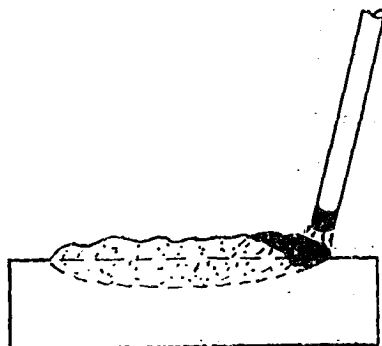
電弧既成之後煨桿之下端即逐漸鎔化縮短，煨工須將煨桿按一定速率逐漸下降以補其不足，使電弧之長短不因煨桿之鎔解而變，否則煨桿漸鎔電弧隨之漸長致電流不易通過，電弧既成之後煨桿又須沿煨縫移動，其移動之速率要以能鎔解底鋼且使煨桿之鎔化適足以煨合底鋼為度，過速過緩均不相宜。

煨縫鎔化後之形狀 第三第四兩圖示煨縫上鋼質鎔化後之形狀，底鋼與煨桿間之罅隙，其適當之距離為1.6至3.2公厘之間，如是方能使工作不致間斷鎔解適宜，

短電弧往往優於長電弧。



第 三 圖



第 四 圖

電弧長短適當與否可由電煨時所發生之聲浪斷定之，如其聲清脆連貫則為電弧之長度適當，如其聲忽大忽小則係電弧過長，煨工最宜注意此種聲浪蓋可以助其視力之所不及也。

當弧煨終了之際煨桿須再接觸底鋼一次，如鑄深(Penatration)之深度已能使煨縫之末端成一鑄鋼液之一槽則煨桿只須接觸此小槽內之鋼液立即提起電煨即可完成。

第四圖表示煨桿之末端已鑄解成一小圓球體行將滴入煨縫上小槽內鑄鋼液之形狀，小槽內之鑄鋼在電弧燃燒之下亦極端混亂之狀態。



煨桿自鎔鋼液內提起後鎔鋼液即行冷縮并且氣化



而成一小凹口。(Crater)(參第四圖及第五圖)此小凹口之大小深淺即可表鎔化之面積及鎔深之深淺。

第 五 圖

短電弧之成績往往優於長電弧,短電弧之兩端相距至近故電弧專注於煨縫且排除空氣中之氣體使不致損及已鎔之鋼液。

短電弧能使煨桿之銷耗連續而且均勻,蓋以煨桿之兩端專注於煨縫及煨桿之故。

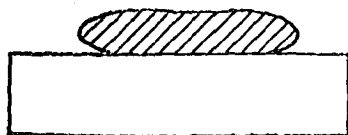
過長之電弧往往致鎔解不能適當,蓋以煨弧既長其兩端必不能專注於兩極因之鎔深不能有適當之深度,煨桿末端小圓球體之鎔鋼亦往往過大,此圓球體之鎔鋼因電弧之燃燒逐漸加大旋轉於煨桿之末端,或墜落於尙未十分鎔解之煨縫,或濺於煨縫以外之冷鋼上。

長電弧之氧化作用亦大,因電弧專注則外界氣體不能摻入,故氧化甚輕,長電既不專注故外界氣體易於摻雜因之起氧化作用,因此種種長電弧終不合用於弧煨工作。

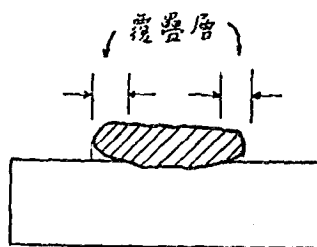
煨工須使煨桿與底鋼上鎔成小槽之面相垂直如第四圖所示,煨桿又須向後方微斜約十五度,傾斜之功用

甚為重要，蓋必須如此形勢方能使煅桿之銷耗連續且均勻。

下列各圖表示最習見之各種不同程度之鑄解。



第 六 圖

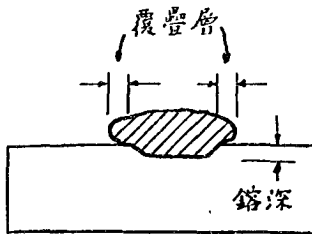


第 七 圖

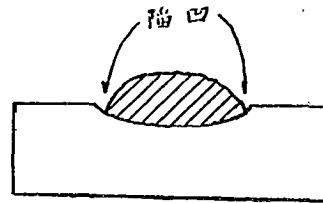
第六圖所示為煅桿末端之鑄鋼液滴於未燒熱之鋼板上之情狀，此添加之鋼液僅能黏於底鋼之上，因鋼液與底鋼接觸之點並未燒鑄，故彼此只能黏合，而非鑄成一體之煅合，此種結果多係因電弧過長或電極顛倒之故。

第七圖所示與第六圖略似，惟第七圖鋼液與底鋼接觸之點則已鑄化，但鋼液溢出底鋼上已鑄化之小槽以外，成為兩旁之覆疊層，此種結果多因電弧過長，電極顛倒或電流之大小不適之故。

第八圖所示較優於第七圖，因第八圖之底鋼已有適當之鑄深，但鋼液仍溢出底鋼上已鑄化之面積以外而



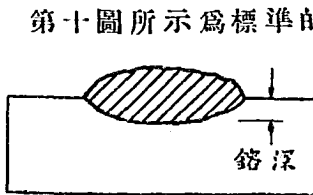
第 八 圖



第 九 圖

有覆疊層,此種結果多係電流之大小不當,或煨桿沿縫之移動過緩,以致添加之鋼液較底鋼上已熔化之面積所需要者為多,故溢出兩旁成為覆疊層。

第九圖所示與第八圖相反,第九圖之鋼液兩側均有陷凹,此種結果係因電流過大,煨桿過細,底鋼之熔解速度過大致煨桿之熔液不敷供給。



第 十 圖

第十圖所示為標準的適當之電弧煨,因其既有適當之熔深,又無溢出之覆疊,凡手術精良,電流之大小適當,使底鋼與煨桿之熔解速度彼此相符者,均能有此良好之結果。

底鋼與煨桿之原料 敞爐煉鋼(Openhearth Steel)含炭質在千分之一至千分之一點五者皆可用為弧煨之底鋼,含炭質較高之鋼及鑄鐵皆不適用於弧煨,高砂質之

鋼 (Silicon Steel) 常因其具有非常強力而用於橋樑或大廈之建築者亦可適用弧煨,惟前例不多,鑄鋼 (Steel Casting) 或鍛鐵 (Wrought Iron) 均適用弧煨。

用以電煨普通結構鋼 (Structural Steel) 之煨桿其原質須與底鋼相類,即係一種低炭質鋼絲,此種鋼絲之外面有時包有一種鎔劑之包皮,其功用蓋使電弧強固并發生一種氣體,包圍電弧使外界之氧氣及淡氣不易滲入,現在所用之煨桿多不用包皮,煨桿之內體與表皮均須非常純潔,粗細一致,并須無細縫裂痕空心等缺點,普通鋼絲非專為煨桿製者均不得做弧煨之用。

電流及電壓 煨桿之直徑普通為四至五公厘,適用於此二種煨桿之電流在百五十安培至三百安培間,三公厘之煨桿似嫌稍細,熱力過微,鎔解較緩,其熱力不足鎔解較厚之底鋼至相當深度,六公厘以上之煨桿為現弧煨工程上認為最粗者,其適用之電流為二百五十安培至三百五十安培,惟鎔解過快,往往因地心吸力之故侵及四週,故七公厘之煨桿除適用於向下煨及底鋼較厚者外實嫌太粗。

電弧之長在三公厘左右者其電壓約為十八弗打,如用不包皮之煨桿則電壓須較此略高,電弧加長則電壓加高其結果為電弧能力之消耗率較速,鎔鋼液之下墜

率亦較速，蓋化成熱力之瓦特為弗打與安培之積，電弧過長易使外界氣體摻入已鎔之鋼液內而致燃燒或外濺。

電弧之電壓必較發電機之電壓表所測者略低，蓋電流須經過連接發電機及鐵鉗之電綫阻力，因使電壓降低，如電綫之阻力可以測知，則電弧與電壓表兩端之電壓之差不難算出，除非電弧之電壓可以算出，或電綫甚短時，電壓表上電壓實不能表示正確之弧長或適宜之電煨。

用於電弧煨之發電機其電流大小須具寬大之範圍，且使煨工可以隨時節制使電流可大可小，發電機須具有適當之電抗，以使在電弧增長時電壓可以隨之加高，蓋使底鋼與煨桿距離稍遠時，電弧不致中斷，假使電弧中斷但發電機仍在轉動，此時電流為零，但電壓必較電未斷之前加大，在此斷路之電壓大致為六十弗打。

電煨之位置 電煨之位置與煨技術之工拙，煨桿之粗細，電流之大小，均有關係，電煨位置略分三種。(一)向下煨(Downward Welding)或稱平煨，(Flat Welding)被煨面為橫置之平面，煨桿之行動方向為前後平行，煨法最易，因其得地心吸力之助。(二)垂直煨(Vertical Welding)被煨面為一垂直面，煨桿行動方向為上下直行，煨法較難於平

煅,速度較緩,垂直煅多自下向上,蓋煅成部分可使鋼液不致流動,如煅桿之行動速度適宜,鋼液鎔解速度不致過快,則鎔解之頂端亦不致有過臃之鋼液積成小槽之處,此種煅法電流不可過大,已鎔之鋼液往往因地心吸力而向下流動,故速度須較慢於平煅。(三)上方煅(Overhead Welding)鋼液之附着係賴表皮張力及黏着力,蓋以其方向適與地心吸力相反,煅工須使煅桿與底鋼之煅縫忽離忽和,電弧忽生忽滅,和則彼此接觸電弧遂滅,離則電弧再生,如是方能使煅桿上小圓球體之鋼液一一附着於底鋼之上,此種位置之煅法在三種中為最難,煅工之技術最為繁難,速度最慢,其所須時間往往為平煅二倍或三倍,因此上方煅之位置非必不得已時多不用之,計劃師必須設法避免之。

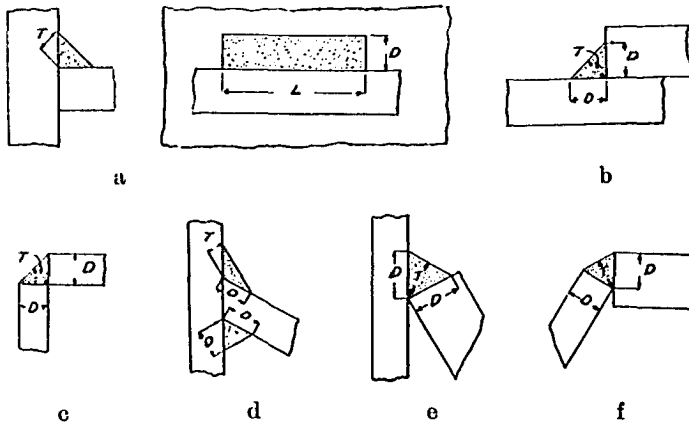
電弧煅之種類 弧煅之種類實甚繁多,但簡單言之可分為二種,(一)條形煅(Fillet Weld)(二)頂端煅,(Butt Weld)

條形煅(以下簡稱條煅)為一三棱形之煅鋼,其切面成一等腰三角形,此三角形之鋼條位置於兩被煅鋼件之未斷面或半斷面所構成之凹角內,所謂未煅面即鋼件之原面(rolled face)半斷面係指垂直於鋼件原面之切面

頂端煅(以下簡稱頂煅)(Butt Weld)亦為三棱形之煅鋼,其切面成三角形或梯形,其喉寬(Throat)(煅鋼之切面上

沿兩鋼分離線之最薄厚度稱為喉寬等於此切面之高度且平行於兩鋼件之主軸或其一之主軸。

第十一圖所示為最常見之各式條煨如b圖其切面為一直角三角形銳角均為四十五度中心角非直角者



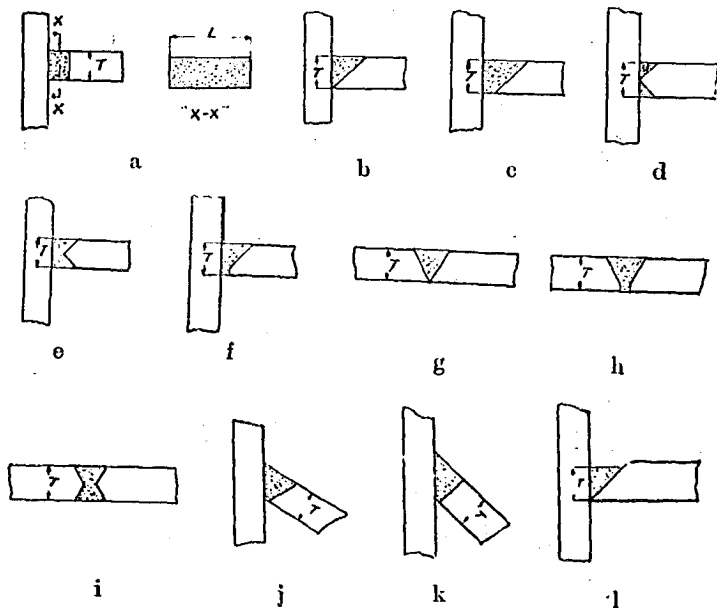
第 十 一 圖

亦頗常用大致最小不得過六十度最大不得過百二十度大於百二十度者可用C圖方式替代各圖所示T為喉寬D為兩被煨面上同等之長度稱為煨寬用以示弧煨之大小者a圖之L則為煨鋼之長簡稱煨長其餘各圖均未示煨長

第十二圖所示為各式習見之頂端煨 a 圖為敞頂煨

(Open butts) b, c, f, l, 各圖爲單斜面頂煨(Single bevel butts) d, e 兩圖爲雙斜面頂煨(Double bevel butts) g, h 兩圖爲單V字式頂煨(Single V butts) i 圖爲雙V字式頂煨(Double V butts) j 及 k 爲斜頂煨此種煨法其喉寬及煨寬均爲計算強度時之重要量度。

做頂煨之煨法較難,其離縫必須夠寬,可容煨桿伸入,能否使煨桿伸入不僅爲煨與喉寬之關係,並須注意是



第十二圖



否兩面均可電煨，普通做法，皆先將離縫之下面關合，然後自上煨之，或將左(或右)方關合，而煨桿從右(或左)方伸入煨之，否則鎔鋼液必不易存於煨縫之中，做頂縫多借鄰近之鋼件使離縫關合，如無此適當之鋼件，可用銅片代之，此種煨法，僅適用於下列情形。(一)被煨之鋼件甚薄一公分之鋼板或一公分以下者均適用之，(二)其長度為水平者，(三)離縫可用其他煨件關合者，

單斜面或雙斜面之頂煨其斜面最小不得過四十五度，最大不可過六十度，單雙V字式頂煨其V字之中心角大致在四十五度至九十度之間。

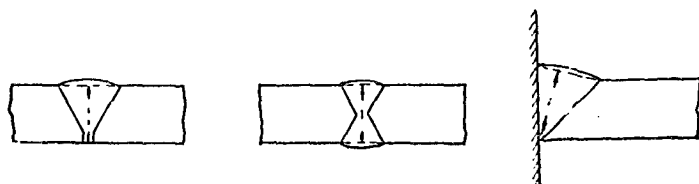


第 十 三 圖

第十三圖所示為各式扇形切面之條煨，外凸之半月形稱為增固 (Reinforcement)，係因煨工之習慣或設計之規定而成，惟增固無關於喉寬，蓋喉寬仍以扇形之內切三角形之高度為準，有時增固固可增加弧煨之強力，但對於縱面剪割應力所增甚小，而此種力又適為弧煨常有之應力，故增固之效用不大，此外扇形條煨又有弱點，蓋不便檢查有無複疊層，且較平頂條煨多費材料，故不經濟，計算弧煨應力時多不算入增固，有時因特別情形

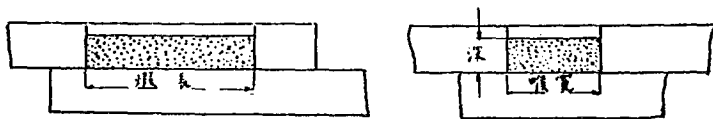
條煅必須做成一九十度之扇形，向內凹陷之條煅則必不可用，因其喉寬不易檢定也。

第十四圖為增固之頂端煅，此亦弧煅中所常見者，亦如前節所論，增固部分並不增加喉寬，故計算弧煅之強力時不計及之。



第十四圖

箱槽煅 (Slot Weld) 係一種特異形狀之頂端煅，在設計及製圖上所用之符號均與頂煅不同，如第十五圖所示者即是，法將底鋼之一鑿成一長方形之空槽，槽寬不得



第十五圖

狹於底鋼之厚，將煅鋼鑄入箱槽之內，使槽之兩邊與未鑿槽之底鋼煅合，此種煅法多用於受縱面剪割應力之處，煅鋼之深常等於底鋼之厚或稍薄，但不得小於喉寬之半，箱槽煅在重大之桁構建築上之接板連接 (Gusset

joint)最爲重要。

間歇煨 (Intermittent Weld) 係一種不連續之短條煨,有時煨縫之應力無須一連續之長煨時,可用此種煨法,此種煨法費時較長,因其電煨須時生時滅故也。

釘煨 (Tack Welding or Tacking) 係將兩鋼件在適當之處用小電煨煨合,其用意在使兩煨件於真正煨合時彼此在適當之位置,釘煨實爲一種預備手續,與結構工程上所用之拴釘及鉗夾以集合各零件之功用相類,在真正煨合時最好將釘煨剷除,或重新鎔化,倘釘煨並不妨碍正式煨合,則無須此種手續。

電弧煨之術語 表示弧煨之量度時,弧煨之種類,大小,長度,均須表明,餘如煨縫是曲是直,有無增固,切面是 否一致,以及其餘一切特點,不能用一簡單種類名詞表示者,均須註明,如僅稱“條煨”而無其他附註,其意係指一九十度之條煨,兩邊鎔面相等,上端平頂,無增固,橫切面一致,煨縫直,故有煨寬(D)及煨長(L)即可表示一條煨,頂煨可用喉寬,煨長,及其角度之形狀,(如單雙斜面或V. 字形等)表示敞頂煨則無所謂角度,但離縫之寬度須註明,筍槽煨須用喉寬,煨深,及煨長表示,煨深係煨鋼之厚而非筍槽之深,蓋除煨鋼將筍槽填滿外煨深皆薄於槽深。

製圖及設計上常用之符號如下，設一條煨煨寬一為公分，煨長為二十五公分，其符號應為 If25 中文可寫為一條 25。又設一單斜面之頂煨，喉寬為一公分，煨長為二十公分，角度為四十五度，其符號為  $45^\circ$  S. bev. butt.  $1 \times 20$ 。中文為  $45^\circ$  單斜頂  $1 \times 20$ 。又設一笏槽煨，喉寬二公分，煨深一公分，煨長三十公分，其符號  $2 \times 1 \times 30$  Slot Weld。中文為  $2 \times 1 \times 30$  槽煨，此處槽煨兩字必須註明，否則易與鑿槽之符混淆，特異之點必須註明並附以圖表。

煨長頗難確定，因煨鋼之末端往往成一小凹口，如為一次煨，或單層煨，此小凹口之切面，寬實不能及理論上規定之切面，此小凹口之直徑約為六公厘，或稍大，故煨鋼末端之五六公厘，其強力較弱，如遇上述情形，最好煨長有效部分僅算至小凹口之起點，故煨長之定義，實為一三棱形煨鋼之軸長，末端之凹及前端不規則部分其切面不合規定者，均不得算入，此種辦法為一班所公認，有效煨長必先規定，煨工及檢查員必須注意煨長是否夠長，換言之即煨鋼之起點及末端之凹口是否列入煨長之內是也，此種延長煨鋼之法事實上往往不易辦到，但亦無關緊要，今試舉例言之，如工圖上註明在一公厘厚之鋼角上，煨一一公分之條煨，煨長為二十五公分，按理煨工須將煨鋼延長五六公厘於煨角之末端，但假設

---

被煅合之鋼件,僅長二十五公分,即其尾端與鋼角齊頭,使煅鋼無可延長,如遇此種情形,煅工可將煅鋼轉一拐角,或用簡單手術將末端小凹口塗平,均可應用。

# 鉛 蓄 電 池

趙 師 梅

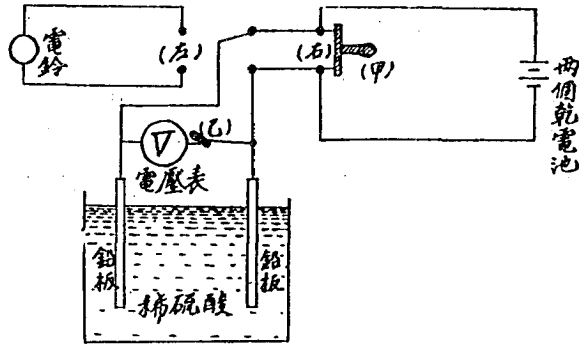
## 一.緒言.

年來國內用蓄電池者日多,雖主管者,千方留意,以期電池之工作完善,壽命長久,但恆為直接管理電池之電工,缺乏電池常識所誤,使有用之機器,瞬成廢物,殊為可惜,茲將鉛鉛稀硫酸電池之構造,及應保護之各點,檢書於後,庶用電池者,雖無高深電池學理,亦可以暢曉其工用,為其他如錳鐵鉀鹼之愛迪生電池,及新出鉛鹽板強硫酸電池,管理雖不若鉛電池之煩勞,然其價值均較貴,而效律又較低,除軍用或特殊情形外,市面鮮有其物,本篇所述,故未及之.

## 二.構造.

設用純鉛板兩塊,使其一端浸於比重1.2之稀硫酸中,其他端用電綫引出,經過雙極雙開關(甲)而達於兩個乾電池上,如圖一氣泡必由鉛板而出,其一板之泡,較他板為多,經過半時,或一小時後,一板必變成棕紅色,其他板之顏色,似乎未變,若詳細觀察,則板面必成無數小孔

之海棉形  
矣。圖中之  
電壓表必  
讀2.5弗打，  
此時若將  
開關(甲)中  
立，乾電池  
之電源已  
斷，而電壓



第 一 圖

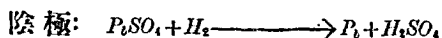
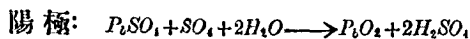
表必仍讀2.0弗打，此2.0弗打之電池，即鉛鉛酸液電池，通稱為鉛蓄電池，若將(甲)關至左邊，電鈴必響，因能力很小，響之時間殊短耳，同時電壓表必由2.0弗打，漸降至1.7弗打，為時較慢，再由1.7弗打，降至0度，為時很速，而棕紅色之鉛板，亦漸成原來之灰色，電池所蓄之電，似已放完，若再將開關(甲)中立，並將開關(乙)打開，經過數刻鐘後，再將(甲)關至左方，仍可使電鈴一響，不過為時更短耳，若重將(甲)關至右邊，則前述種種，可重現於眼底，此即鉛蓄電池蓄電放電之情形也。

上述之棕紅色鉛板，係二養化鉛  $PbO_2$  所成，乃電池之陽極，海棉形之灰色鉛板，即氣泡放出較多之板，乃電池之陰極，電池放電之後，陰陽兩板均成灰色之硫酸鉛

$PbSO_4$  與原來鉛板之顏色相似,不過此電成之硫酸鉛與結晶體之硫酸鉛則大異,蓋前者可通電,使仍變為二養化鉛與海棉形之鉛,後者乃不通電,不能電解之礦物,倘電成之硫酸鉛,若不即時通電,使其還原,十數日後,亦變成結晶體之硫酸鉛,而電池成廢物矣,設結晶之期短,而結晶體附於板面者不厚,則尚有補救之法詳後,

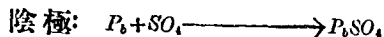
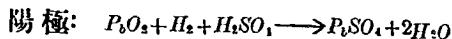
### Ⅲ. 化學等式.

#### 1. 蓄電情形:



依上式觀之,兩極均放出硫酸,因之池內硫酸之比重增高,蓄滿之後,若繼續灌電,則陽極之硫酸鉛,悉成二養化鉛,再無鉛可以養化,故養氣由陽極而出,同時陰極之硫酸鉛,均成海棉體之鉛,再無硫酸根可放,故輕氣由陰極而出,此輕養二氣,最忌火燭,否則有爆發之禍。

#### 2. 放電情形:



兩極均吸入硫酸根,故池內之比重減少,所當注意者,則陽極之二養化鉛,及陰極之海棉鉛,僅十分之一,至八分之一變成硫酸鉛,而硫酸鉛之體積,較原來兩極之

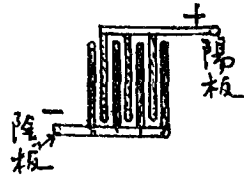


分子皆大,板面之密度亦增,池中硫酸,不易透入板內,故板內之二養化鉛或海棉鉛,得以保持原來狀態,若放電時,將陰陽兩板之原料,悉變成爲硫酸鉛,則電池必結晶化,而爲廢物矣,

前言陰陽兩板之體積增大,茲稍詳言之,普通陰板100立方寸之鉛,可變成290立方寸之硫酸鉛,陽板100立方寸之二養化鉛,可變成180立方寸之硫酸鉛,陰板增加之體積,雖較陽板爲多,但陰板係海棉體,其分子之結合堅牢,放電時少有奇形之膨漲,而陽極二養化鉛之分子結合力殊弱,空隙又少,放電時,每有灣曲脫落之事,欲使陽極板兩面膨漲均衡,故電池之陰極板,恆較陽極多一塊,如圖二。

#### Ⅲ. 陰陽極之造法:

鉛電池之造法,僅有兩種,一爲改良鉛電池發明家卜爛特氏之爛板 (Plant's Plates.) 一爲法爾氏之粘板 (Pasted Plates.) 茲分詳於下:



第 二 圖

##### 1. 爛板:

爛板之陽極,係用折疊形之鉛板,或平鉛板,鑿有無數深槽者,浸入比重1.2之硫酸中,加有少量之硝酸或鹽酸或醋酸者,使電經過,而化鉛爲二養化鉛,需時約二日

至三日,需電力十倍以上之常度電力,陰極之造法,最初亦如陽極,迨放電之後,灌入陰電,則變成海棉形鉛板矣。

電池之壽命,恆以其能力,不少於原來能力百分之八十為標準,陰極之壽命約 2,500 至 3,000 週(每蓄電一次與放電一次謂之一週)爛板陽極之壽命約 1,500 至 2,000 週,陰極之消失能力,係由於海棉鉛之分子,漸漸增大,空隙減少,使鉛與硫酸接觸之面積亦減少,最後幾與平鉛板無異,故能力消失,陽極之消失能力,咸由於二養化鉛之分子結合不堅,漸漸脫落,沉於電池之底,久而久之,板上之二養化鉛,將剩餘無幾矣。

## 2. 粘板:

粘板之陽極,係用養化鉛 ( $PbO$ ), 百分之五十五,二養化鉛  $PbO_2$ , 百分之二十五,硫酸鉛  $PbSO_4$ , 百分之二十三種粉末,用稀硫酸調和,其硬度如粉牆之石灰,然後塗塞於預製之鉛架方格中, (方格係內空大,外口小,故原料不易落下)乘濕浸於稀硫酸數日,再灌以陽電,需時三日至四日,需電力約八倍常度電力,灌滿之後,板上之原料百分之九十必變成爲二養化鉛,百分之七爲養化鉛,百分之三爲硫酸鉛,此剩餘之硫酸鉛,蓋用以粘附二養化鉛者,否則板上之原料必有脫落之弊,粘板陰極,造法亦如陽極,不過所用之粉末,全爲養化鉛,而方格鉛架,乃外口大

內空小之方格,因陰極分子結合堅牢,無脫落之虞也。

粘板陽極之壽命,約200至300週,陰極較長約400週,因此造電池者,多用粘板陰極,而用爛板陽極,蓋欲使陰陽兩極之壽命相等也。

前述之粘板,均甚柔弱,不能受車輛之震動,故不適於車輛之用,茲將變相之粘板或爛板,專供車輛之用者,舉出三種,分列於下:

(一).箱式陰極:(Box Negative Plate)

箱式陰板,係將帶潤之養化鉛粉末,壓成方塊,而塞入預製之鉛架方格中,再將方格之兩面,用鑽有無數小孔之薄鉛皮封固,(如藏物於箱中者然,故曰箱式,)將板浸入稀硫酸中,灌以陰電而成,配合箱式陰板之極,多係爛板,

(二).鹽化陽極,(Chloride Positive)

最初之鹽化陽極,係用鉛鹽  $PbCl_2$  與錫鹽  $ZnCl_2$  之結晶體,加熱使鎔,鑄成一板,再用水將錫鹽煮去,剩下一焦煤形之鉛鹽板,將該板浸入稀硫酸中,灌以陽電而成,此種辦法,現已不用,而現有之鹽化板,係用一折疊鉛皮帶,捲成小餅,而塞入預鑽之鉛板孔中,將板浸入稀硫酸中,用爛板造法而成。

(三).穿甲板:(Ironolad Exide)

穿甲板之陽極,係用一硬橡皮管,管週圍鋸有無數橫口,將養化鉛之粉末,充實管中,管之正中心,曾置有鉛綫一梗,以導電之出入,每一陽板,係用多數橡皮管,編成一排而成,灌電之法,與粘板一樣,此種電池之陰極,多係粘板。

#### V. 電池上所用之名詞:

##### 1. 電力;電壓;電流:(Watt Hour; Volt; Ampere)

電池上所用電力為啓羅瓦特小時,或瓦特小時,電壓為弗打,電流為安培耳,與普通所用之電單位一樣。

##### 2. 電量:(Ampere-Hour)

電量之單位,為安培耳小時,係電池平均放出或蓄入之電流,乘其工作之時間而成,電池之大小,恆以此單位定之。

##### 3. 常電流:(Normal Rate Current)

凡電池之電量,用八小時(間有用十小時者)除之,所得之電流,謂之常度電流,例如一電池之電量為120安培耳小時,以八小時除之,得十五安培耳之常度電流,意謂此電池能供給十五安培耳之電流,至八小時之久,而電池之電壓,不降至1.8弗打以下,若不知電池之電量,可用每方呎之陽極板,放出或蓄入十安培耳之電流,為常度電流,例如有一電池,係三層陽板,與四層陰板,交錯而用

如圖二每板之面積,設爲 $1.0 \text{ 呎} \times 1.5 \text{ 呎} = 1.5 \text{ 平方呎}$ ,三層之面積,爲 $4.5 \text{ 平方呎}$ ,則該電池之常度流爲 $4.5 \times 10 = 45 \text{ 安培耳}$ 該電池之電量爲八小時乘其常度電流而成即 $8 \times 45 = 360 \text{ 安培耳小時}$ 。

#### 4. 初次蓄電:(First Charging)

新電池裝好之後,即可將比重 $1.2$ 之冷稀硫酸灌入,用 $\frac{1}{3}$ 之常度電流繼續蓄入,至二日或三日之久,至電壓與酸之比重不變爲度,若製電池者,有特別規章,須依其規章而行,此點應特別留心,電池之溫度以不超過 $100.^\circ\text{F}$ 爲限。

#### 5. 常度蓄電:(Normal Charging)

普通蓄電之辦法,約有兩種,一爲定壓蓄電,即蓄電時自始至終,電源之電壓不變,例如一 $150 \text{ 安培耳小時}$ 之電池,係三池聯接而成,每池之電阻爲 $.016 \text{ 歐姆}$ ,放電後之電壓爲 $1.8 \text{ 弗打}$ ,蓄電時之電壓,最初必爲 $2.25 \text{ 弗打}$ ,蓄滿之後,約爲 $2.63 \text{ 弗打}$ ,倘用一 $3 \times 2.63 = 7.89 \text{ 弗打}$ 之電源,經過 $0.035 \text{ 歐姆}$ 之電阻,灌入該池,則最初半小時內之電流必爲三十安培耳左右 $(7.89 - 3 \times 1.8) \div (.035 + 3 \times .016) = 30 \text{ 安培耳}$ ,漸久則每池之電壓漸高,灌入之電流亦因之漸漸減少,五小時之後,每池之電壓,當爲 $2.4 \text{ 弗打}$ 而灌入之電流約十安培耳,迨八小時後,每池之電壓,亦必爲 $2.6 + \text{弗打}$ 即

$3 \times 2,6 = 7,8$  弗打之電池電壓與電源之電壓相埒斯時電池已滿灌入之電流必在一安培耳以下,定壓蓄電,須時約五小時至八小時。

其二爲定流蓄電,卽蓄電時,自始至終,灌入之電流不變,例如上舉之電池,其常度電流爲18,75安培耳( $150 \div 8 = 18,75$ ),若用9安培耳之定流灌入,十六小時之後,灌入之電量,已有 $9 \times 16 = 144$ 安培耳小時,斯時若電池放出之氣泡不過多,繼續蓄入二小時,卽可蓄滿,若氣泡過多,則須將電流減爲四或五安培耳繼續蓄入三小時方可。

上述兩種之蓄電辦法,均可採用,所最應注意者,則爲電池是否蓄滿,蓄滿後,應如何偵察,最便利最安全之法,爲蓄電至電池之電壓與硫酸之比重至不變爲度,

#### 6. 滿蓄電流 (Finishing Rate).

電池將蓄滿之時,若灌入之電流過大,兩柱放出之氣泡必多,陽極上之二養化鉛有被鼓脫之虞,因之凡將蓄滿之電池,使灌入之電流減 $\frac{1}{3}$ 至 $\frac{1}{4}$ 之常度電流,此減少之電流,謂之滿蓄電流,滿蓄電流時間之久暫,應以電池之電壓及其硫酸之比重至不變爲止。

#### 7. 過度蓄電: Overcharging.

電池蓄滿之後,若繼續灌入電流,兩極均放出氣泡,蓋所用之電力,完全將池內之水分爲輕養二氣,此種蓄

電,謂之過度蓄電,用電池者,姑無論所蓄之電力,已否用完,至少每月須過度蓄電一次,過度蓄電所用之電流,恆為滿蓄電流。

#### 8. 低度蓄電: Undercharging.

電池放電之後,設蓄入之電量,小於或等於放出之電量,謂之低度蓄電,最易使兩極晶化,須特別免除之。

#### 9. 放電:(Discharging).

放電時所得之電力,僅有蓄入電力百分之七十五至百分之八十,而放出之電量,恆為蓄入者百分之九十以上,此皆以常度放電與常度蓄電而言,若將放電之時間縮短,則其電力與電量均較常度放電為小,例如一電池之電量為八安培耳小時,依下表所列之時間放之,使放完後之電壓均為1.75弗打,則所得之電量如表之第三行。

時 間	電 流	電 量
8 小時	1.0 安培耳	8. 安培小時
5 小時	1.4 安培耳	7. 安培小時
3 小時	2.0 安培耳	6. 安培小時
1 小時	4.0 安培耳	4. 安培小時
20 分	8.0 安培耳	2.7 安培小時
5 分	16.0 安培耳	1.3 安培小時

#### 10. 過度放電 Overdischarging.

放電時,使電池之電壓降至1.75或1.75弗打以下,謂

之過度放電,用電池者對於過度放電須絕對免除之,

#### VI. 結晶化(Sulphation).

結晶化係放電時所成之硫酸鉛,若不即時灌電,使其兩極還原,漸久則變成結晶體之硫酸鉛,此結晶體之硫酸鉛,因不通電,故不能電解,而電池失其效用矣,其造成電池晶化之主因,則為低度蓄電,與過度放電,其他如硫酸之過濃或過稀或不純潔,亦有造成晶化趨勢。

晶化係由兩極之板面漸漸向板裏進展,晶化後,既不通電,而分子又甚緊密,迨至相當厚度,板外之硫酸,不易透入板內,故晶化漸慢,蓋晶化須與硫酸接觸,方可成功,若晶化不深,可用過度蓄電,使兩極均放出氣泡,而將此薄層之晶化硫酸鉛,鼓脫沈於池底,或將兩極取出,用竹,木,玻璃或硬橡皮之刀(忌用金屬)將板面晶化剝去,乘其未乾,即浸入池中,蓄電使滿亦可,若晶化過深,可用徧李氏(Penley)之辦法救濟之,其法係將晶化電池之硫酸抽出,換以水溶之純硫酸鈉( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ),其成份為一斤純硫酸鈉,加五斤蒸溜水而成,然後用常度電流,灌入六十小時之久,再將硫酸鈉之液抽出,仍將比重1.2之硫酸灌入,經過初次蓄電,即可使用。

#### VII. 硫酸:

電池所用之硫酸務必純淨,若含有白金,(製酸時



所用白金鍋)雖少至千萬之一,則可增陰極之自動放電至百分之五十,硫酸之比重,在蓄滿之電池約為1.210至1.280,在放完之電池約為1.180,過濃則促兩極之局部硫酸化,使電池之壽命減短,過淡則兩極容易晶化,茲將一分1.84比重之硫酸應加之水量,列表於下。

調和時只能將硫酸向量好之水中,慢慢傾入,俟其冷後,方可灌入電池中。

硫酸在池中之高度以超過兩極上邊半寸為度,酸中若

比 重	水之成分 用體積比	水之成分 用重量比
1.200	4.3	2.4
1.210	4.0	2.2
1.240	3.4	1.9
1.280	2.75	1.5

含有金屬之分子,則蓄滿之電池,雖電源已斷,陰極必有氣泡放出,此乃陰極局部酸化之明證,應換純潔之硫酸,否則該電池有不能蓄滿之弊。

#### Ⅷ.存儲:

電池雖久停不用,每月或每兩月仍須過度蓄電一次,若感覺此法不便,可用乾法儲之,乾儲之法,首將電池蓄滿,用五小時之時間,將電放完,至每池之電壓至1.5弗打為止,抽出池內之硫酸,然後灌以蒸溜水,迨二十四小時後,將水吸出,聽其鉛板自乾,如此則電池可永久存儲

不壞,用時將1,210之硫酸注入,與以“初次蓄電”即可使用。

若電池內之沉澱過厚,須將鉛板取出洗滌,或因鉛板灣曲,須取出扳直,亦可用乾儲之法,使池中無酸無水,然後兩極整個取出,置於棹上,依次將陰陽兩板間之距離木條抽脫,分開兩板,各用清水沖洗,或扳直,迨其手續完後可依原樣放入池中,與以初次蓄電可也。設感覺此等手續麻煩,聞有將電池蓄滿,即將兩板取出洗滌,或扳直,所應注意者有兩點,其一須乘其兩極未乾即重浸入池中,其二,沖洗時,水之沖力須小,否則陽板之分子有沖脫之虞。

#### IX. 結論.

鉛電池之構造及其工作情形,前已詳言之,茲將該電池應注意之各點檢書於後,俾用電池者,易於觀覽焉:

1. 長使電池在蓄滿之情形。
2. 蓄電時用八小時或十小時之時間蓄滿。
3. 常用之電池,每星期須過度蓄電一次,不常用之電池,每兩星期須過度蓄電一次。
4. 用一電量表(安培耳小時表)使蓄入之電量,恆有十分之一多於放出之量。
4. 每次放電以放完爲好,但放電時間不可超過三

---

日以上。

6. 電池之溫度須在  $100^{\circ}\text{F}$  以下。

7. 硫酸須純淨,而比重不得大於 1.280,亦不得小於 1.180。

8. 硫酸須高出鉛板上邊半寸。

9. 每星期須詳細檢閱一次,觀其有無灣曲,短流之弊。

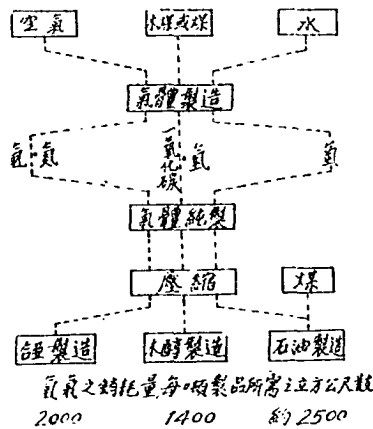
## 人造汽油,木醇,及銻之化工問題

萬 册 先

汽油爲飛機汽車等之必需燃料,木醇直接及間接用於製造顏料炸藥及多種有機物,銻爲由空氣製造氮化物之始基,皆極重要之化學品,平日爲民生之所利賴,戰時則爲國防之不可或缺,是以歐美各國年來對上述諸物之人造法,研究不遺餘力,且已卓見成效,吾國化工落後,每歲輸入之汽油,煤油,顏料,炸藥,及硫酸銻等物,幾值兩萬萬元(據民二十一海關報告:汽油,煤油,柴油等值70,000,000海關金單位,顏料值12,000,000金單位,硫酸銻,硝酸,硝,及智利硝等值9,500,000金單位,共計值91,500,000海關金單位,約合國幣183,000,000元,軍用火藥之未列入海關報告冊者,尚不在此數內),平日利權外溢,固極可痛心,設遇戰爭,來源斷絕,且將仰給無從,鮑許(Carl Bosch)教授近在挪威科學社演講是項人造法之種種問題,全文已登載於一九三四年一月十日Die Chemische Fabrik雜誌,經英人摘要譯出,登載於一九三四年三月The Industrial Chimist雜誌,茲譯述於下,以備國內化學者之參考。

‘氫化’(hydrogenation)一語,在二十世紀之初,尚祇普遍認為加氫素於未飽和之有機化合物內,至於今日,則加氫素於元素基,或未飽和物,可得無數之有機及無機人造物品,由實驗室之研究擴充為大規模之製造,其間問題甚多,最近數年間,有多數氫化方法已演進為龐大之製造,本文之所討論,則為德國葛吉顏料公司(I. G. Farben-industrie)將氮素氫化以成銻,一氧化碳氫化以成木醇,及煤(或木煤,礦物油或煤膏)氫化以成石油諸法,從實驗室之實驗演進為商業上製造,所遇之各種問題。

此三種氫化雖不乏相同之點,然因其各個化學變化之差異,故所遇諸問題常於氫化技術上有極普遍之重要性,下圖(第一圖)總括三法,并用圖解表示葛吉公司洛那工廠(Lena Works)之實際應用情形,空氣,水蒸汽,及木煤(或焦炭)為三種製造之共同原料,亦即此三人造法所需氫氣之來源,各項製造均須將所用氫氣純製,惟其



第一圖：氫化製造程序表。

所需之純度則有差別，純製之氣經壓縮後，方可供實際接觸製造之用，此接觸法亦因製品而異。

第一表：大規模氫化之化學作用。

	化 學 作 用	所需氫量 $m^3/噸$	發出熱量 $Cal./mol.$
氫之製造	$N_2 + 3H_2 = 2NH_3$	2,000	+12
木醇之製造	$CO + 2H_2 = CH_3OH$	1,400	+21
煤之氫化	煤 + $H_2$ = 石油	約 2,500	放熱
礦物油之氫化	油 + $H_2$ = 石油	約 750	放熱
煤符之氫化	煤符 + $H_2$ = 石油	約 1,000	放熱
	旁 歧 作 用		
木醇之製造：			
異丁醇	$4CO + 8H_2 = C_4H_9OH + 8H_2O$	2,420	+33
甲烷	$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O$	4,200	+52
煤, 油, 煤符之氫化：			
甲烷	$C_{16}H_{34} + 15H_2 = 16CH_4$	1,300	+197
	$C_6H_6CH_3 \cdot C_6H_5 + 20H_2 = 13CH_4$	2,150	+273

上表將三種化學作用之方式敘述較詳，人造氫及木醇雖可用簡單化學公式表述，而煤之氫化，因有甚多並行作用 (simultaneous reactions)，殊不能如是簡單。一則煤中碳素呈高度疊合狀 (polymerisation)，及與少量之氫相

結合，須待氫化以成碳氫物；次則高分子量碳氫物須經分裂氫化(destructive hydrogenation)以成低級碳氫物(即石油)。三種製造均需用多量氫氣；其各個數量，雖有差異，但由表中之數字觀之，則氫之製備，對於各法，均極重要。

此三製法均為放熱作用，惟所放之熱，數量上亦有多寡之分，因其放熱，故化學作用之平衡必隨溫度低落而趨近成品方面，然化學作用之速率則隨溫度而增高。欲得最高效率之製造，端賴善於控制其所生之熱，以保持其各自所需之最宜溫度。鋸及木醇製成後，其容積視原來較小，加壓則氣體縮小，故知工作於高壓下有助於製造，於是建造此種作用器之材料發生問題。

大多數之氫化法，苟無接觸劑以增加其速度，將緩至不能為工業上之應用。但接觸劑之功用，必須能於加速所需之化學作用外，同時更能防止其他種種不需要之旁岐作用(如第一表後半所列者)，使氫化時獲得最高量之製品，方可稱為有效之接觸劑。

於此似常論及氫氣之製造，現代製人造鋸之工廠，有於每小時內製氫氣多至一百萬立方公尺者，可想見其規模之宏偉矣。工業上氫氣之製出有各種方法，其取舍全視原料及動力之供給，與氫氣應用之處而定。如鋸之製造需用氫及氮，碳化氫氣體不宜存在，以其將逐漸

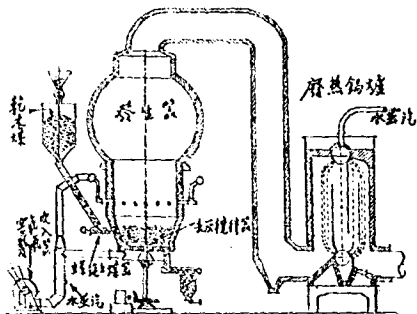
聚積於此製造之循環系統內，其驅除必至連帶損失氫氣，木醇之製造需用氫及一氧化碳，此中如有氮及碳氫物亦將聚積為害如上所述，石油之製造需用未經稀釋之氫氣及碳氫氣在此為不相宜之稀釋物。

純氫之製備，當以電解法(electrolysis)為最簡單，然除挪威及北意大利等處能應用水力發電外，雖以現時電解槽製作之精，此法不適用於工業製氫。

葛吉公司由焦炭水煤氣製氫以供製錘之用，其用以製木醇及石油之氫，若用非連續水煤氣法製造，則在轉換時必有氮摻入氫中為患，而祇能利用其總製氫量四分之三以作氫化，此難題經過長久之研究，近始因佛蘭克耳林得(Frankl-Linde)式氧氣水煤氣發生器而解決，此器以氧氣代替前此所用之空氣，葛吉公司裝有類似之製器，其焙滓(clinkering)

等患現已有法解決，氧氣水煤氣現已可用焦炭由數種型式之發生器製出矣。

洛那工廠鄰近，木煤儲藏極富，故特別注意於由木煤製造氫氣。



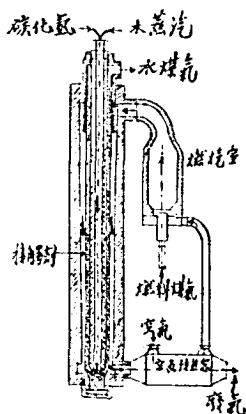
第二圖 永克勒式發生器之構造略圖



積多年之研究,此問題現已因應用氧氣而成功第二圖簡單表示此種永克勒(winkler)式發生器之構造,粒狀之乾木煤居於爐心氣化劑由爐之較低處導入而上昇通過此煤層,氣之上升攪動木煤成沸騰之液狀,氣化時之溫度約為 $1,000^{\circ}\text{C}$ ;其帶起之煤塵又為在發生器內稍高處導入之氧氣及水蒸汽所氣化。

此種發生器可製動力煤氣(power gas),人造銻所需之氮氫氣或人造木醇及石油所需之無氮之水煤氣,用相當之氣化劑可製各種欲得之氣體: 用空氣及水蒸汽之混合劑,可製動力煤氣;用等量混合之氧氣氮氣,加水蒸汽,可製人造銻所需之混合氣;用純氧及多量之水蒸汽,可製氮氣,用此發生器可氣化木煤全部,同時因所用之高溫而使不需要之碳化氫物絕跡。葛吉公司現已有此種發生器,每小時能製75,000立方公尺以上之氣體,或可認為全世界最大之發生器矣。

泛水煤氣製氮氣,亦可用碳化氫物為原料,水蒸汽及碳化氫於溫度 $800^{\circ}\text{C}$ 時通過一種活性還



第三圖製氮接觸器略圖

原鏷之接觸劑可得水煤氣，此接觸劑對於元素狀或化合物狀之微量硫均有敏感，故應用時必須預先將所有之硫變成硫化氫，再以吸收法除盡之。上圖(第三圖)簡單表示此種裝置，應用此法之一大困難，在尋獲一種築爐材料，能於所需之溫度下傳輸其所需多量之熱。

氫之純潔須視其應用之途而異，製人造鏷之氮氣混合氣須絕對不含硫化氫或一氧化碳，以期長保其所用之接觸劑製人造木醇之一氧化碳及氫混合氣須無硫化氫之存在，因此處之接觸劑雖比較上對之有抵抗力，而爐內各銅件則易被損毀，製人造石油時氫之純製最爲簡易，所用之接觸劑及製造器均有抗硫之力，同時則一氧化碳之爲害祇限於虛耗氫氣而已。

氫之純製須經過數步手續，一氧化碳之除去，在使與水蒸汽共同經過一接觸劑而變爲氫，氧，及二氧化碳。製鏷及石油用之氫，須儘量受此處理，其用以製木醇者僅須提純至能配合成相當之混合物即可。

焦炭所製水煤氣中之少量硫可用活性木炭除去之，木煤所製水煤氣含硫較多，若用上法，佔地過大，故須先用一種吸收液以除去其大部份之硫，現已發現一種液體，於低溫時吸收硫化氫，而在較高溫度時再行放出，經過吸收液之氣體再行通過活性木炭以除去其殘留

之微量硫化氫。

二氧化碳可用水在壓力下洗去。製人造銻之氣體須最後再於二百氣壓下以氯化低銅洗除其遺留之微量二氧化碳；其製人造木醇及石油者，均無須加此末步精製。

於此亦可聯帶提及煤氣之冷凝析提法(refrigerative fractionation)。此法可製造少含氮氣之氫氣以爲製木醇及石油之用，惟必須應用特種計劃。焦炭爐所產之碳化氫氣體，可以上述之法處理之。

第二表： 製造 1,000 立方公尺氫氣，提淨，及  
壓縮至 200 氣壓所需之材料及動力表。

	需 要 數 量			
	焦 炭 公 斤	木 煤 (水份50%) 公 斤	燃料煤氣 $\frac{1,000 \text{ c.h.u.}}{m^3}$	能 量 K.w.h.
焦炭水煤氣，不連續法	700	—	—	800
焦炭水煤氣，用氧氣	540	—	—	950
木煤水煤氣，用氧氣	—	1,900	—	1,000
煤氣，冷凝法	—	—	2,700	1,000
以水蒸汽分解碳氫物	—	—	3,200	800
電解	—	—	—	6,300

上表爲製造在  $0^{\circ}\text{C}$  及  $760\text{mm}$  下 1,000 立方公尺之氫

氣,更壓縮至 200 氣壓,所需用材料及能力之平均數量。選擇製氫法時,對此數字,並氫之用途,資本,製作維持,及修理等費用,均須加以通盤籌劃。

接觸劑常為氫化法本身之一重要因素,所需之溫度,壓力,及所佔容積均隨之而定,關於接觸作用之研究雖多,其某種之性質慣例 (qualitative regularities) 雖已發現,不幸現尚不能預測孰為最佳之接觸劑,或其最良形態,方最適宜於某種化變,此二事均賴循序試驗以發現之。接觸劑不徒須具有所需作用之加速及向導性,更須兼有抵抗化學及物理變遷之強性。

現時製人造鋨之接觸劑為特別精純之金屬狀鐵,經用少許鹼及氧化鋁以增加其活力者,為此人造法之接觸劑,已試過二萬有餘種,正在研究中者,為數尙夥。

製人造木醇之接觸劑,其向導作用特為重要,因一氧化碳經氫化,能變成複雜混合之碳化氫物,醇類,醛類,酮類,及酸類,以鉻酸增加活力之氧化鋅,為近時用於此人造法之接觸劑,欲使製品之重要部份成為木醇,則此劑之成分,在規定標準內僅能微有差異,此種特性亦可利用之以製各種高級醇,即改變接觸劑之成分及環境以製各醇。

為煤之氫化尋一相當之接觸劑,實為最困難之問

題,在此製造之初步中,本着眼於氫化高度縮結之碳複物 (highly condensed carbon complexes):同時所有石油中不相宜之成分,如氧,硫,及氮等亦均經氫化,而其氫化物可以除去,第二步則為氫化此種重油(或礦物油或煤膏經初步氫化而成之中級油),此處之接觸劑須能於增速重分子之分裂及氫化外,更能控制此兩作用之相對速度,苟分解盛行而氫化落後,則有不飽和物,或其縮合物之形成,苟氫化過形猛烈,則將成為不需要之甲烷而虛耗氫氣,上述各無機元素之氫化,亦須助其完成;而同時其中之硫為一顯著之接觸劑毒物 (typical catalyst poison).

木煤之鹼性灰滓阻礙氫化之初步過程,必須設法中利之,助煤氫化之接觸劑,以溶液狀塗敷於煤上,因所處理數量之龐大,其機械之設計遂成為一大難題。

在搜求氫化煤接觸劑之過程中,最初發現鐵族金屬之硫化物可資應用,繼而尋出第六類(sixth group)各元素之氧化物,在化製中變成硫化物,有較高之接觸活力,隨後又知用製就之特種形態之此類硫化物為更有效,現時之接觸劑以鐵,鎢,及鉬為其根基。

氫化製造之工廠設計有問題甚多,照第一表所示,可知氫化時有巨大熱量放出,此熱必須除去,否則其溫度將升高而致作用之平衡趨離製品方面,更將於鉅之

合成及煤之氫化中,引起種種不利之旁歧作用,尤有進者,如溫度超過控制,其結果將釀成嚴重之損失。

化變所生之熱,往往可爲進入之冷氣所吸取;製鋇及木醇所用之管狀爐,卽爲助此吸取。再者,化成物及冷氣可於化變區之相當地段導入,同時其生產量之控制亦有助於溫度之調節。

與溫度之調整有密切之關係者,厥爲熱力之保存。在可能範圍內,作用之熱應足抵償製造時耗散之熱,故高度生產需有高效之換熱器 (heat exchanger); 製造此器使能應用於高壓下,則需要特種技能。

最後更有構造之材料問題,人造鋇之壓力爐須有抗氫之夾層以禦氫之侵蝕,人造木醇中之一氧化碳與鐵化合而成碳氧鐵則損毀製器而毒害接觸劑,現已有某種銅及錳之合金發明,頗能抵抗一氧化碳之侵蝕。

煤之氫化器必須兼能抗氫及拒硫之侵害,硫化鐵爲患,可用曾在鋅之蒸氣中長久加熱之鐵解除此害,鋅之擴散 (diffusion) 鐵者,結成一種鉄鋅混合晶體於鉄之表面,而能阻禦硫化物之形成。

構造材料既須抵禦化學侵蝕,復須在高溫時具有高度強力 (great mechanical strength), 今日已有滿意之舍銘,鉍,鈳,及鎢之合金鋼可供應用,此種鋼能永久承受所用

之高溫及高壓,并不與氫及硫化氫發生作用。

第三表: 總論。

氫化法	作用之氣			接觸劑		製造器之材料須能抵抗
	需要	有害	不需	功用	根基物	
人造銜	$H_2, N_2,$	$CO, H_2S$	$C_2H_4$	加速。	金屬物	$H_2$ 及溫度。
人造木醇	$H_2, CO$	$H_2S$	$C_2H_4, N_2$	加速及向導。	氧化物	$H_2, CO$ 及溫度。
人造石油	$H_2$	—	$C_2H_4, N_2,$ $CO$	分裂及氫化之 並行加速。氧、 硫、氮之氫化。 向導作用。抗 硫性。	硫化物	度。 $H_2, H_2S,$ 溫度及壓力 $c$

上表將前述諸點撮要表列,作為本文之簡單總論。

## 五百鎊至八百鎊蒸汽動力廠

### 設計之新趨勢

James A. Powell 原著 笈遠綸譯

晚近吾國新式高壓蒸汽動力廠逐漸增加，如南京之首都電廠，杭州之閘口電廠，以及上海之電力公司均其著者也。其汽壓均在四百鎊左右，且均用粉煤為燃料。在最近之將來汽壓或可增高至五百鎊或五百鎊以上。蓋美國目下之蒸汽動力廠為增加效率起見恆用汽壓在千鎊以上，即普通動力廠之汽壓亦均在五百鎊至八百鎊之間，吾國動力廠不思進步則已，若不然，必須自增高汽壓着手也。頃讀最近（九月號）美國機工月報見 Powell 氏關於此種動力廠之著述一篇，其中材料頗為新穎，茲特譯其意，聊盡介紹之責而已，諒為吾國注意動力廠設計者所樂知歟。譯者謹識。

#### （一）緣起

蒸汽電力廠之設計，其頭緒之紛繁，今尤甚于昔。蓋每廠自昔已有其特種問題與環境勢力，如燃料之價值與種類，需電量之比率，冷凝水之供給，地基之穩固等。但今日除此以外，對於一切社會政治及經濟之勢力，設計者



亦殊不可忽視。

民衆莫不需要最低電價，但同時對於動力廠所生之雜音與煙灰亦所深惡，故設計者亦不得不增加此種去音與去灰之設備，其結果電廠之開辦費亦必照增，此外政府公用局往往定有規律限制動力廠之設計，其規律有為合理者，但有時竟未必合理，此又增加設計者困難之一端也。

又因受世界不景氣之影響，多數製造動力設備之廠家多縮小範圍，今若驟事復興，各廠之出貨速力不能隨之驟增，其結果各種重要設備自定貨之日起至少非有六個月之久不克應用，此又時間上之限制也。

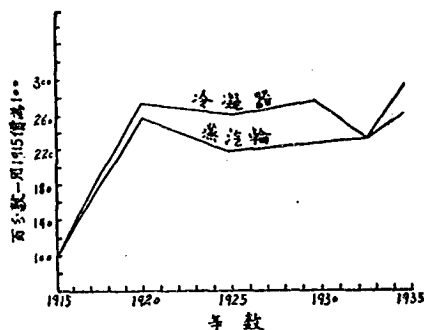
在最近之十年內，每電單位之需煤量逐漸減少，但電廠之開辦費並未多增，此乃由于應用高壓及高溫之蒸汽所致，公用業對於此點較工廠稍易提倡，新式之設備可供尋常之需，較舊式之設備可作後備供最高需電量時之用，但工廠所設之電廠則較守舊，蓋本廠所需之電量及汽量在短期內恆無特別增加，故往往不值大發展也。

目下對於設計千四百鎊之高壓蒸汽廠，工程界已有相當經驗，又對於高溫至華氏一千度所需之種種材料亦有相當紀錄，故此為一適當時期考慮如何可以設計一最經濟而最合理化之原動力廠並使電價臻于最低

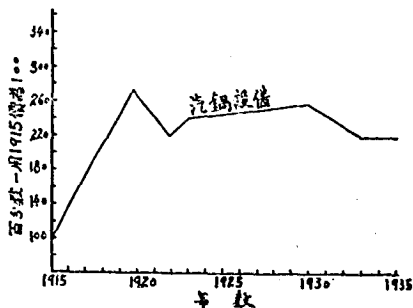
之數也。吾人此時並不希望祇減少費煤量。蓋每年煤價與設備利息相較甚少。故今後設計者宜多注意廠中之固定費用也。

圖一指示自一九一五至一九三五廿年內汽輪與冷凝器價值漲落之平均情形。圖中價值係代表該時期內此兩種設備之平均售價。于此時期內設計方法及所用材料均有相當改進。其結果乃產生較優及較穩妥之設備。故其價值遞增。至對於價值增加詳細討論。現尙缺如。

圖二係指示近二十年來鍋爐價值之漲落情形。在此時期汽壓驟增。但鍋爐設備之質地雖較前高。其售價則並未增加甚多。



(圖一)汽輪與冷凝器之物價指數



(圖二)汽鍋設備之物價指數

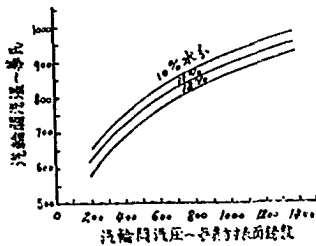
(二)本篇之討論範圍

本篇所討論者，乃關於冷凝式之動力廠，其汽輪之電量為自五千至二萬五千單位，其速力為每分鐘三千六百轉，而其汽壓為五百至八百磅也。

(三)汽輪

目下每電單位之汽輪價，較有史以來任何時為高，但其效率亦較前增加，換言之，即較前經濟較前省汽，無形中減少工作費用，故對於增價亦有相當反影響也。數年前低壓輪葉之水分甚成問題，往往須不時停機修理或更換被侵蝕之輪葉，但自應用高壓及較佳材料與設計以來，此類侵蝕已不成問題，即水分高至百分之十二時，現代汽輪之使用期間(availability)亦不發生任何影響。圖三係表示超熱蒸汽溫度與汽閥壓對於各種廢汽之水分百分數之關係，此紀錄係根據蒸空廿九寸Rankine循環百分之八十效率之新式汽輪。

倘汽輪之效率較小，則廢汽中之水分亦可較少也。若廢汽中之水分有許可定數，則某種汽壓所需之最低超熱度數可自圖中定之。例如汽壓為六百五十磅，而廢汽中



(圖三)廢汽中之水分百分數  
(蒸空廿九寸, Rankine 循環效率約之八十)

之許可水分爲百分之十一，則最低之超熱溫度須華氏八百十五度也。此紀錄指示超熱爲汽輪前部之情形所限。蓋須視超熱器之材料及汽輪高壓部分所用之材料而定。汽輪之用溫度高于華氏八百五十度者尙在試驗時期。如使用期間須長久時仍宜暫緩採用此種溫度爲佳。

#### (四) 冷凝器

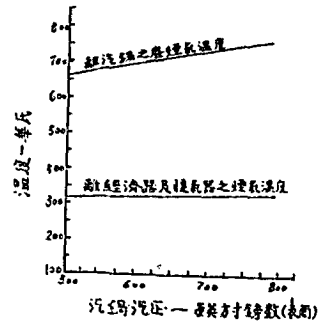
從傳熱觀點論，高效率冷凝器目下甚多。在最近期內似亦無相當改進。適當尺寸之冷凝器，須視燃料價值，汽輪所需之真空，電荷率，與冷水溫度，各點之經濟研究指示每鎊蒸汽所需之冷凝面似有減少之趨勢。蓋冷凝器之價昂也。冷凝水之用綠汽已使冷凝器可以久用，並與試驗時之情形相符。有某廠自添裝綠氣設備後，自一九廿九年至今尙未修理或洗滌，但冷凝器之真空度數並未降低。

#### (五) 產生蒸汽設備

每廠蒸汽設備之選擇，較任何設備之選擇，尤加重要。今日無所謂標準設備之名辭。鍋爐汽鍋超熱器(Superheater)經濟器(Economizer)及暖氣器(Air heater)均須善爲選擇與布置。蓋諸設備與汽壓汽溫煤類煤價電荷率等項，均有密切關係也。蒸汽設備之每鎊較前略低，即高壓高溫之增加，亦未見其對於市價有若何影響。此乃由于製造

及設計術之進步也。汽鍋設計因汽壓增高所受之逐漸進化，甚值吾人之注意。有一時期，汽壓因鉗釘構造之限制，幾達最高峯，六百五十鎊之汽壓恆用直管鉗釘汽鍋。曲管汽鍋則限于低壓，六百五十鎊以上之汽壓，多用鍛鍋。汽壓之增進較汽溫之增進為速，故用六百鎊以上之廠，恆用重溫循環 (Reheat cycle) 但未幾六百鎊之廠與一千二百鎊之廠相較，後者又較前者為經濟。蓋其重溫循環效率較高而所增之蒸汽設備亦無多也。但自高溫超熱器與汽輸出，簡單直伸式 (Simple Straight expansion) 廠用汽壓自六百鎊至八百鎊又較通用。同時電銲術亦漸精。故汽鍋恆用電銲。蓋較鉗法經濟而便利也。自是重溫式之廠漸不通用矣。蓋單伸式之廠設計較易，且工作費用較廉也。用現代式之高壓汽鍋及供水設備，鍋爐使用期間殊不減于汽輪之期間也。因超熱度數增高，超熱器之設計亦增多研究與改進。夫超熱器之設計與燃料之種類，爐內之許可炭汽量，爐之種類，爐壁之種類，超熱器前之爐水面，及鍋面之多寡，經過超熱器之汽降，以及鍋水之溫度等點有關。因有以上諸點之複雜及不定，設計者恆計劃多給溫度，庶幾實際需要不致缺乏。此點對於汽輪設計者，稍加困難。且超熱器之設計，多根據經驗而少學理。故設計時不宜與傳統式相差太遠，且溫度亦不宜

太高，致使不適于汽輪之用，因汽壓之增高，飽和蒸汽之溫度亦增，故鍋爐煙氣溫度亦須高，方可傳熱，但全部之蒸汽設備因此而減少，故每磅蒸汽所需之開辦費亦減低。近代最經濟之蒸汽設備，其煙氣之溫度恆較飽和溫度高自華氏二百至二百五十度。圖四表示鍋爐煙氣之平均溫度及自利用煙氣之省熱器內所出之煙氣溫度之關係。鍋爐所出煙氣之熱，可用經濟器暖氣器及二種速合器吸收之，此種設備之選擇，需視省熱設備之價值，煤所需之空氣溫度，與省煤量之價值相較而定。若用粉煤，則需用熱空氣烘煤，其溫度視煤之種類而定。若用經濟器，則熱空氣往往可用汽輪流汽(Bled Steam)烘之。此法對於空氣之溫度較易節制，並可適合煤之水分，且可省經過熱氣空之器周折。



(圖四) 煙氣溫度

#### (六) 去氣熱水器(Deaerating feedwater heater)

高壓之鍋管，不僅需要無水碱，且需無侵蝕，故去氣之設備，在現代式廠中甚為重要。去氣熱水器例有多數水槽使鍋水經過其間，並用蒸汽沖刷使去養氣，廢蒸汽又經過一通空氣之冷凝器，俾蒸汽之熱可以為鍋水所吸收。

如是可以增加鍋水之溫度約華氏三十度。此種去汽熱水器，須使鍋水之養氣量降低重每立特〇。〇一立方生的。

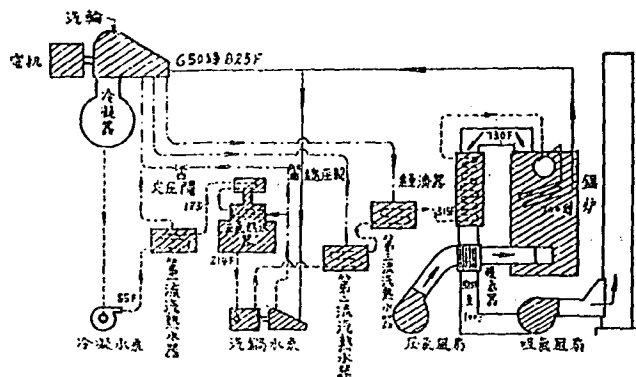
### (七)鍋水治法

鍋水設備及節制，在每動力廠中占甚重要之地位。蓋鍋水必需有相當壓力與熱量，並需無侵蝕及生水碱之物質，且需無生沫之濃度。故每設計一新廠之第一步，即用化學方法分析該廠所用之生水，及其時節之變化。蓋此點與將來重要設備之選擇及熱循環頗有關係也。

### (八)熱循環(Heat cycle)

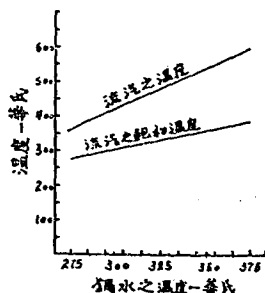
從使用鍋爐，經濟布置鍋面及節制超熱諸點言，鍋水在未入汽鍋前，需有最高之溫度。此溫度最高時可至蒸汽之飽和溫度下華氏一百度以內，故宜採用經濟器。但若需用非常高溫空氣預熱時，則不在此例。假若冷凝器之水之溫度為華氏八十五度時，往往須置一流汽式之熱鍋(Bleeder Heater)于冷凝水泵及去氣熱水鍋之間，偷去氣熱水器之溫度，為華氏二百一十四度，則流汽式之熱水器須將水之溫度升高至華氏一百七十至一百八十四度之間，始能合乎五百鎊至八百鎊之汽壓用。水泵以汽輪轉動之鍋水泵為最佳，其廢汽宜用于去氣熱水鍋內，俾有充分蒸氣作去氣之工作。完美之熱循環，可用圖

## 五之縮壓閥(reducing valve)及等壓閥(constant pressure valve)



(圖五)五百磅至八百磅汽壓動力廠之各部聯絡圖

二者節制之,利用汽輪流氣燒熱鍋水爲目下最經濟之辦法,因此流汽已在汽輪內作相當工作也,但若增加鍋水溫度,則汽輪流氣之超熱,亦需遞增,此點可于圖六見之,但此超熱之需要增加,漸使流汽式之熱水法少用,即用之,亦于設計上增加不尠困難,吾人似可用接觸式熱水器 (Contact Heater) 以代之,但此又增加熱循環之複雜,並需一單獨鍋水泵,故在去氣熱水器以



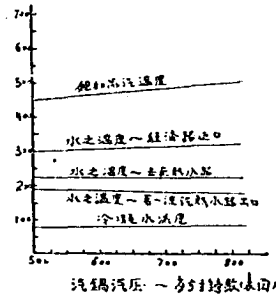
(圖六)蒸汽之超熱度數



後,甚少用二個以上,流汽熱水器者,此後如需增加鍋水溫度,恆用經濟器以代之,圖七表示各種汽壓所需之鍋水溫度。

(九)汽壓與汽溫

以上所述,係適用於鍋爐汽壓五百鎊至八百鎊之間,而汽輪汽壓約較此稍低五十至七十鎊,超熱蒸汽之溫度,約在華氏七百五十至八百五十度之間,其定溫度須視汽輪而定,汽溫之超過華氏八百五十度者,尚在試驗時期,並祇用於複壓式汽輪 (Compound turbing) 中圖高溫蒸汽祇用於高壓部份也。



(圖七) 蒸汽與水之溫度

(十)結論

綜合各種觀點及勢力吾人可得下列之結論(一)將來直凝循環式(Straight Condensing cycle)之動力廠,其生電率在五千至二萬五千瓩之間者,最宜于汽壓五百鎊至八百鎊,汽溫在華氏七百五十至八百五十度之間。(二)若用汽壓約在七百鎊而汽溫在華氏八百二十五度時,倘廠中所用之煤價及電荷均不過高,則其所出之每瓩小時電價亦最低。(三)若用經濟器時至多不得用三個以上之熱水器,但需用特別高溫之空氣時,不在此例。(四)假

---

定鍋爐使用期間與汽輪使用期間相等則每汽輪宜有一單獨汽鍋供給其所需蒸汽(五)所有廠中輔助設備除鍋泵外均宜用電動法其電可由廠用電機(Station Service Generator) 供給之。

## 錳及其在鋼鐵業上之地位

邵 逸 周

「戰爭礦物」、「權威礦物」、「關鍵礦物」(Key Minerals,)均為歐洲以後新興之名詞;今之黠武國家搶奪殖民地,亦以要求「特殊礦物自給」為口號;此均礦物與人類之關係,日趨重要之明證也。蓋現代國防,非如古時完全以筋肉是賴,在在必倚工業之輔助,而工業——尤其是軍械工業——之主要原料悉為礦產,故此類特殊礦物,包括與軍械工業有關之一切礦物。

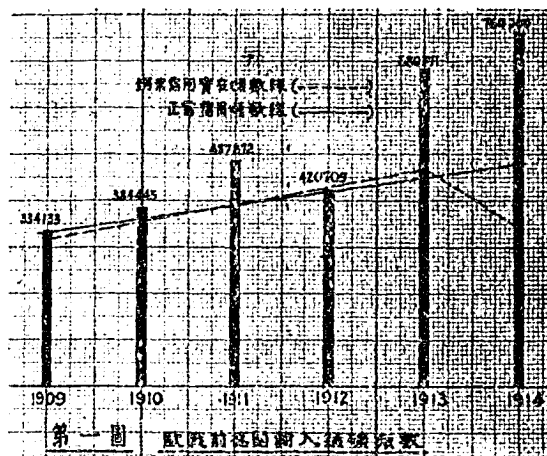
錳為此類礦物之一,惟銷量數字不及煤、鐵、油之多,而用途復涉及專門技術,故為一般人士所忽略,必須從事於有關之工業者,方能瞭解其地位而重視之。錳之主要用途,乃在鋼鐵業,其重要程度,可由歐戰時列強需錳之急迫情狀觀之。德國原缺錳、鎢、鎳、鉬等礦,故於戰前數年,即從事屯積以為戰爭之準備。

第一圖<sup>(1)</sup>表示其屯積錳礦數量,惟歐戰沿長超出預定期間,以致屯積錳量仍不敷用,終因缺乏,影響鋼質而

(1) G. R. Leath: World minerals and world politics, p. 143

受窘迫,美國需用之錳素,亦仰給於外國輸入,但在歐戰期內,曾以高價與政府之獎勵,在國內作一度大事搜求與發展,惟結果僅能自給 30%, 其餘之 70% 仍須輸入, (1918年),故於

歐戰結束之後,美國政府以戰時所得之教訓,深感此項問題之嚴重,乃設國防合金委員會研究本國一切不足之



合金原料,該委員會對於美國所需之錳礦問題,於 1925 年發表其供獻政府四項意見:<sup>(2)</sup>(一)屯積鉅量錳礦,作為永備戰需之用;(二)責成各學術機關研究代替品;(三)投資於國外之豐富錳礦區域,以圖握有支配之權;(四)探勘國內錳礦,并規定非至戰時,不得開採,最後,英國在歐戰時,雖有印度豐富之錳礦,供其採運,但鑑於戰時海

(2) C. K. Leith: Some political aspects of the world manganese situation, 'Trans. A. I. M. M. E.', Vol. 75, p. 265.

運在在之受威脅,亦在搜求其他較近之資源與代替品,并儲相當錳量以作永備,近來非洲錳礦之興盛,可證其努力也。

觀夫英美各國對於錳礦供給問題,雖在歐戰之後,尤孜孜不忘,錳之重要,可以揣測,錳礦在地質上分集於少數國家,吾國錳礦量質均非上乘,但較之英美各國,猶勝一籌。1928年吾國錳礦產量佔世界額百分之1.6,除一小部份供製電池之用外,其餘完全輸售日本,因以國內議論龐雜,「錳礦國營」「錳礦統制」等口號亦乘時而起,愈是政策不定,錳業亦愈衰落,惟吾國既擁此天惠,應如何以最合理之處治而為全國謀最大之福利,不獨為吾政府無可避免之責任,抑亦學術界應作之研究,根據此旨,著者乃將之錳地質,產狀,以及其在鋼鐵上之用途彙而為一有系統之記載,而成此文,其簡陋不周之處,尚希讀者不吝賜教為感!

### 第一段 錳礦之地質與分佈

#### (一)地殼之含錳量與錳素礦物

地殼所含之重金素,以鐵為最多,錳次之,錳量與磷,鎳,各相等,其數雖微,惟分佈散漫,幾無一種岩石不含少許,當岩漿凝固時,錳與鎂鐵或鎂鐵鈣,矽等化合物伴生者多,而直接凝成氧化物者少,故錳亦為鹽基性元素,無論

何種鐵礦均含錳少許，惟鐵與錳量之比律則不一，低者1000鐵:1錳，高者10Fe:1Mn。且以菱鐵礦含錳為最多，據福其氏<sup>(3)</sup>(Vogt)稱：在1908年世界共產鐵礦125兆噸，含錳分析如下：—

1000-750 Fe:1 Mn	之鐵砂	數	兆噸
750-250 Fe:1 Mn	之鐵砂	數	兆噸
250-100 Fe:1 Mn	之鐵砂	20	兆噸
100-50 Fe:1 Mn	之鐵砂	50	兆噸
50-25 Fe:1 Mn	之鐵砂	數	兆噸
25-10 Fe:1 Mn	之鐵砂	數	兆噸
10-1 Fe:1 Mn	之鐵砂	數	兆噸
1-50 Fe:1 Mn	之鐵砂	1	兆噸

據此推算，鐵平均含錳數為50—75Fe:1Mn。再據克拉克氏<sup>(4)</sup>(F. W. Clarke)之分析，地殼含錳素如下：—

	火成岩	頁岩	砂岩	灰岩	平均 以重計	
佔地殼百分數	95%	4%	0.75%	0.25%		
地殼內鐵質百分數	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.65	4.02	1.07	.34	2.69
	FeO	3.46	2.45	0.30	...	3.39
地殼內錳質百分數	MnO	0.10	.....	...	0.05	0.09

可見兩說之數字，均尚脗合，錳在天然界內為量甚小，亦無疑義。

(3) Beyschlag, Vogt and Krusch: Ore deposits, p. 160.

(4) F. W. Clarke: Data of geo-chemistry, p.32.

錳在地殼中均為化合物,以與氧,碳酸,矽酸等化合物者為最普遍,與硫,磷,砷,等化合物者則較稀罕,其最普遍之化合物,亦即最有經濟價值之錳礦石,第一表列入緊要錳素礦物及其理化性質。

第一表 錳礦物及其理化性質一覽表

錳 礦 物		化學公式	錳量 %	結晶系	硬度	比重	產 狀 及 其 他
中 名	英 名						
錳 氧 石	Manganosite	MnO	77.43	等軸	5-6	5.18	系灰色八面體體,置空氣中漸變黑,為稀有之礦物,產於瑞典
軟 錳 石 (礬石)	Pyrolusite	MnO <sub>2</sub>	83.17	斜方	1-2.5	4.8	表面為塊狀,或鐘乳狀,斷口現針狀晶體,與硬錳伴生。
類 晶 錳 石	Polianite	MnO <sub>2</sub>	63.17	斜方	6-6.5	4.942	為假晶體,係附水硬錳之表殼結晶。
輝 錳 石	Hausmanite	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	72.0	正方	5-5.5	4.7-4.8	單個球雙生錳體,有時亦為粒塊狀。
錳 涅 石	Pyrochroite	Mn(OH) <sub>2</sub>	61.74	斜方	.....	.....	成片狀,有真珠光澤,為罕見礦物。
水 錳 礦	Manganite	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	62.5	斜方	3.5-4	4.3	單粒狀,或輻射柱體,由硬錳或假錳而成,易生變化。
稀 錳 礦	Braunite	3Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·MnSiO <sub>3</sub>	69.6	正方	6-6.5	4.75-4.82	正方錳體,或塊狀。
普 魯 錳 石	Rhodonite	MnSiO <sub>3</sub>	41.9	三斜	5-6	3.4-3.7	為平面,柱面,與底面之混合體,與硬錳石伴生。
硬 錳 礦	Psilomelane	MnO <sub>2</sub> ·(H <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O or BaO)	49-62	非晶質	5-6	3.7-4.7	葡萄狀,鐘乳狀,與礬石,軟錳礦伴生。
菱 錳 礦	Rhodocrosite	MnCO <sub>3</sub>	47.2	六方	3.5-4.5	3.3-3.0	晶體稀見,葡萄狀塊與方鉛礦硬錳礦伴生。
錳 土	Wad	MnO <sub>2</sub> ·nMn <sup>2+</sup> ·xH <sub>2</sub> O	不定	非晶質	1-6	3-4.25	土狀,宜製染料及化學用。
沼 錳	Bog Manganese	Wad+(SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> or BaO)	不定	非晶質	.....	.....	塊狀,產於湖沼之內。
錳 銅 礦	Crednerite	2Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3CuO	39.61	非晶質	4.5	4.9-5.1	黑褐色,金屬光澤,剝片狀。
錳 結 晶	Asbolane	nMnO <sub>2</sub> ·xCO <sub>2</sub> ·yH <sub>2</sub> O	不定	非晶質	——	——	土狀,結可達32%。
錳 銅 土	Lampadite	wad-xCuO·yH <sub>2</sub> O	不定	非晶質	——	——	土狀,銅質可達4-18%。
鐵 錳 石	Franklinite	(Fe,Mn,Zn)(Fe,Mn) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-12	等軸	5.5-6.5	5-5.2	八面體或粒狀結晶,與硬錳礦伴生。
鐵 錳 石	Bixbyte	Fe <sub>3</sub> Mn <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	34.39	等軸	6-16.5	4.945	黑色等軸晶,常與黃玉伴生於流紋岩內之穴孔。
鈷 酸 錳	Huebnerite	MnWO <sub>4</sub>	20-25	單斜	4.5-5.5	6.7-7.3	錳形晶體,易形成塊狀,與錳礦伴生石英脈中。
鈷 礦 石	Wolframite	FeMnWO <sub>4</sub>	15.30	單斜	5.5-5	7.1-7.5	薄片粒狀塊狀,為原生錳礦。

鉻鐵礦	Columbite	$\begin{matrix} (\text{FeMn}) \\ (\text{Nb,Ta})\text{O}_6 \\ 2 \end{matrix}$	9.84	斜方	6	5.4—6.5	雙錐狀，產於錫甘之花阿石脈中。
錳榴石	Spessartite	$\text{Mn}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_2$	33.22	等軸	.....	4—4.3	亮紅色晶體，產花阿石內。
四錳礦	Alabandite	$\text{MnS}$	63.1	等軸	3.5—4	3.95—4.04	立方晶體，色黑，與他種硫磺金屬伴生。

上表所列之礦石，不下二十餘種。惟市場所見之錳礦，僅限於二類化合物：(一) 含水與無水之氧化體；(二) 炭酸與矽酸體；其餘之礦石，或為稀見之標本，如鐵錳石是，或為他種金屬之資源，如錳鉛土之以鉛為主要是也。

## (二) 錳礦之構成化學

礦石 (Ore) 這個名詞，含有經濟意義。一堆錳質天然化合物，若所含錳量之市值，足償採冶之費而有餘，始得稱為錳礦或錳礦石；否則，僅能謂為一種礦物 (Mineral)，代表礦物學上之興趣而已。且礦石與脈石伴生，在開採過程中，勢難將脈石除淨，然脈石愈多，則礦值愈低，故每一種礦石，當有一能使採冶費與售價相抵之最低含礦量，以維持其開採價值。當然，此項最低限量係隨採冶工程之進展而異，有昔以成分低而稱為廢石者，今則以科學之進展，減低採冶費用，而視為寶貴之資源。此種成例甚多，以不涉本文範圍，故不贅述。茲舉數種普通礦石現行最高與最低開採標準如下，以明此旨：<sup>(5)</sup>—

鐵礦標準，以每百噸提煉 30—50 噸純鐵為合格。

(5) See (3) p. 206.



---

錳礦標準,以每百噸提煉	15—25	噸純錳為合格,
鉛礦標準,以每百噸提煉	10—20	噸純鉛為合格,
錫(脈)標準,以每百噸提煉	0.75—1.5	噸純錫為合格,
銅(礦)標準,以每百噸提煉	1.25—2.25	噸純銅為合格,
鎳(礦)標準,以每百噸提煉	1.25—2	噸純鎳為合格,
銀(礦)標準,以每百噸提煉	50—200	公斤銀為合格,
金(礦)標準,以每百噸提煉	1.00—2.00	公斤金為合格,

錳礦之標準,既須含純錳15—25%以上,而錳在地殼內之平均成分,又不過0.09%,然則錳礦經過何種聚積,始能成為今日有價值開採之礦床?此在未論錳礦之用途以前,吾人應了解之問題。

錳與鐵之化合物,不獨在火成岩內伴生,且均易溶解。故錳鐵礦之成因,論者僉認為係地面之浸水,或地下之升水,含有碳酸或硫酸,滲透岩層,將其鐵錳溶解以去,而流至空隙或其他稀疎岩層之內,遇有氣壓變化,或其他化學作用之時,重複沈澱而成者。但錳與鐵在酸液內之溶度既同,其沈澱變化亦復相似,此對於解釋錳鐵礦之同生,即錳附生於鐵礦之內,(錳量為次要)頗為合理。然對錳礦本身(即含鐵極少),何以成功換言之,鐵錳在同一溶液中,如何能各自單獨分聚?則解釋未盡也。尋常所謂錳與鐵之氧化、溶解、沈澱等性質相同一說,係指其大

勢而言,其實其中分別甚為明顯,茲為概述於次:一

(a) 鐵與錳氧化 在天然界內一氧化鐵 ( $FeO$ ) 與二羥化鐵 ( $Fe(OH)_2$ ) 均所未見,而一氧化錳 (Manganosite) 與二羥化錳 (Pyrochroite) 則為普通之礦物;再二氧化錳 ( $MnO_2$ ) 為軟錳礦,或細晶錳氧二,均錳礦之主要化合物,而鐵亦無此等同級氧化體,此鐵與錳感受天然氧化程度之不同也。

(b) 鐵與錳之溶解與沈澱 據 Fresenius<sup>(6)</sup> 之研究結果當錳鐵溶於同一碳酸液內,使受同等空氣氧化作用,則鐵成三羥化鐵 ( $Fe(OH)_3$ ) 而沈澱時,錳猶溶解為重碳酸;至最後乃沈澱為錳碳酸,雜於凝灰岩內,換言之,錳之溶解度較鐵為久,是為第一步之分出,此一說也。狄氏<sup>(7)</sup> (Dieulafoy) 則以熱量化學解釋之,在同一混液內,各種解合之秩序,可依其作用發出之熱量大小擺列,例如,在



兩公式,鐵之氧化作用當在前,錳之氧化作用當在後,再從

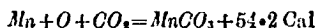
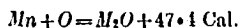
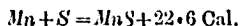
(6) cited by G. Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie, 2d. ed. Vol. 1, p540.

(7) Cited by F. W. Clarke in Data of Geo-chemistry, p. 535.



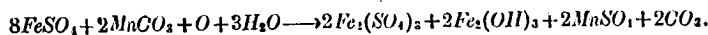
兩公式觀之，炭酸錳當成於前，炭酸鐵則成於後。

因此，當氧與二氧化碳同時存在而為量不多時，錳則成碳酸錳，鐵則成氧化鐵，而前者有溶解性，隨水濾去，後者則沈澱下落，如是錳與鐵乃得分開，此又一說也。錳之最穩定化合物，亦可照其構成熱量而定：—

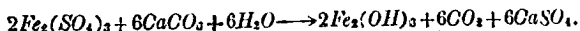


據此，二氧化錳為錳礦床之最普遍礦物，蓋有故矣。

此外，鄧氏<sup>(8)</sup> (Dunnington) 發現另一解釋，由硫化鐵所成之酸液，可溶解錳氧化合物，而同時可成三硫酸化二鐵及三羥化二鐵，可作公式如下：—



硫酸鐵與石灰岩則有以下之急速作用：—



(8) Am. Jour. Sci., 3rd Series, Vol 36, 1888. p. 175.

而硫酸錳與灰岩之變化則極慢，須有充分空氣之氧化，方得變為氧化錳體，故錳與鐵之硫酸化合物，同時流過灰岩時，則錳與鐵亦得根據以上作用而分開焉。

錳礦之產狀，分礦脈、礦床、湖礦、凝核礦等，其成因大多可依上述之化學原則推測，惟是否為簡單填塞、沈積或雜有交替或接觸作用，以及為一種地質作用，或混合數種地質作用，則礦與礦別，不能以一定律概括一切也。茲將各種產狀略論於次：—

甲、礦脈錳礦 錳礦脈係以錳液經過地層之空隙，受作用而沈澱，填塞而成者，間有圍岩受交替作用，亦變為礦脈之一部。以出產言，此類錳礦佔次要地位，等全額百公之十而已。此類礦脈，有者產於石英斑岩內，有者產於石灰岩或白雲岩內，但均有地動現象，岩層有為太古時代者，有為近代者，其緊要產地為德之 Harz，及 Thuringia，<sup>(9)</sup>及日本<sup>(10)</sup>各地，但現呈探罄之象。

乙、礦床錳礦 錳礦床可分為湖錳礦(水成岩內

(9) Dr. Carl Zerrener: Die Braunstein oder Manganerzbergbau in Deutschland, Frankreich und Spanien.

(10) U. S. Bureau of Mines. Mining in Japan, 1919

之錳鑛床屬之),及凝核狀錳鑛(今海洋深底正在構成之凝核錳鑛屬之)兩種,茲為分別紀述如下:—

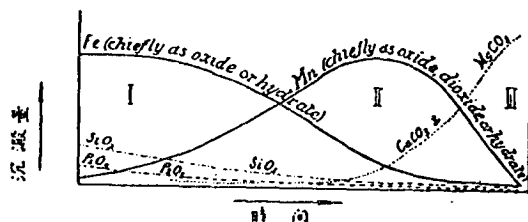
(a) 湖錳鑛 泉水或由風化帶下浸之水,含有炭、矽、磷、硫等酸,當其流經岩層,一切可能溶解之鐵、錳、鈣、鎂、鉛、鉀、鈉等氧化體,均被溶解,運載以去,鐵在溶液內大部分為  $FeO$ , 極少  $Fe_2O_3$ ; 錳完全為  $MnO$ , 絕無  $MnO_2$ .<sup>(11)</sup> 當此混合溶液穿出地面時,如不與植腐酸 (Humic Acid) 或其他有機物體接觸,則受空氣之氧化,揮發炭酸,此時如溶液含錳鐵較多,而鈣鎂等氧化體較少,則其沈澱之次序如下:<sup>(12)</sup>—

1. 鐵先沈澱為含水氧化鐵,而附有矽、磷、砒等酸體,此時錳、鈣、鎂等氧化體沈下者極少,惟大部分之懸混物亦澄定。
2. 其次則為二氧化錳 ( $MnO_2$ ), 及各含水錳氧體。
3. 末則為炭酸鹽類,尤以鈣、鎂等炭酸體為最顯著。

上述秩序,可以第二圖<sup>(13)</sup>表之,橫軸為時間,直軸沈澱重量。

在中性或還原性液內,鐵與錳之炭酸體同時下

(11) }  
 (12) } Boyschlag, Vogt and Krusch: Ore deposits, pp. 970-980  
 (13) }



第二圖

鐵錳溶液氧化沉澱程序圖

I, II, III 表示沉澱之各階段

沈、菱鐵礦含錳較多，是其明證。在充分氧化鐵液內，鐵先下沈，附有錳體；最後，錳下沈，亦附有鐵體。挪威之 Glitrevand 為一好例，在其出口之點鐵土與泥砂，磷酸等混合沈積，距口稍遠，則為錳土，而鐵砂磷酸等，幾無踪跡可尋。

據上所述，足知錳鐵各礦之連鎖，一端為含錳之鐵礦床（或湖廣），一端為含鐵之錳礦，其間復有等量之鐵錳礦，均係一種成因而受有沈澱之變化者。今之主要湖錳礦產地，為芬蘭、挪威、瑞典。其他礦床錳礦產地為巴西、印度、蘇俄。

(b) 凝核錳礦 自 1891 年英船<sup>(14)</sup> Challenger 探海旅行報告發表後，海洋深處底上之沈積，已不復如前之神祕矣。在一千公尺至六千公尺深度之間，海底

(14) Challenger report: Deep-sea deposits, pp. 417-423.

上最顯著之物，爲錳氧之凝核體，係放射虫，抱球虫，矽藻，及翼足類各生物軟土，附於浮石，珊瑚，介殼，或魚骨之表而成者，其單獨體，大者可達一尺對徑，重十公斤，狀爲同心之錳氧薄層環繞，中核爲魚骨，魚齒，或他物，含錳量自百分之4.16%至63.23%，其平均分析如下：—

$Fe_2O_3$   $MnO_2$   $SiO_2$   $Al_2O_3$   $CaO$   $P_2O_5$   $H_2O$

取於太平洋底者<sup>(15)</sup> 27.46 23.60 16.03 10.21 0.92 0.023 17.82%

取於卡里邊海底者<sup>(16)</sup> 16.63 24.17 27.84 1.32 2.04 2.22 10.95%

至凝核體之含錳來源，學者意見頗不一致；有人認爲錳氧體原含於海底之地泉中，當泉水外噴與海水相觸時，遂被沈澱而出，此一說也。有謂錳原爲硫酸錳，含於海水之內，因受有機體之還原作用而沈澱者，此又一說也。而麥雷<sup>(17)</sup> (Murray) 氏則認此類錳質乃隨火山岩屑而來，錳被溶解後，復氧化沈澱以成凝體不溶解物，藏於深海之紅土帶，此說較爲有據，但錳由河流運入海洋，更近情理，蓋表出地面之火山岩，經雨水侵蝕，錳分乃成碳酸而被溶解，并隨河流而至海洋，當行至離岸較遠之處，乃受海水氧化作用而被沈澱，證之河水之分析含錳多，而海

(15) From the Challenger Expedition, after Grumbel.

(16) From the Vega Expedition, after Lindstrom.

(17) Proc. Roy. Soc. Edinburgh, Vol. 13, p. 19, 1890.

洋之水含錳極微，更可置信也。

### (三)世界錳礦之分佈與產額

錳素分佈雖廣，而能富集成礦者，僅見於少數國家，今之列強對於錳礦，無一能自給，平常需用均賴他國之輸入，至英國雖有印度與非洲之蘊藏，但海運艱難，仍為美中不足，茲將各洲之分佈狀態，概述於次：—

1. 歐洲 蘇俄為錳礦最富之國家，其齊阿杜里<sup>(18)</sup> (Chinturi)之礦區，計有200兆噸之儲量，已採73兆噸，此外Nikopol, Gaisinsk, 西比利亞，北柯克塞(Caucosia)亦有豐富儲量，全國錳礦業均由蘇俄政府主持，除自用外，其剩餘量售美洲及其他國家。

西班牙、義大利、瑞典均產極豐富之錳礦，有者含錳百之六十(60%)以上，但量不大，德、法、比、希拉、土耳其所產之錳礦，量既少，質亦欠佳。

2. 南北美洲 美國為礦藏最富之國，但以錳論，適為其反，量既不大，質亦低劣，大部為含錳之鐵礦；在歐戰時，因煉鋼之需要，曾一度獎勵發展，惟最旺時，自產僅能供需求之30%，其餘70%仍須倚靠運入；其在1929年產運情狀，列於下方，以示美國錳礦供求之一斑：—

(18) J. V. W. Reynnders: Manganese resources in relation to domestic consumption, Trans, A. I. M. M. E., Vol. 75, p. 273.



第二表<sup>(19)</sup>——1929年美國運產錳礦表

	錳 礦	錳 鐵 合 金	鏡 鐵
運入(上等)	664,269噸	71,2118噸	13,828噸
自產(上等)	60,379噸	410,416 噸	137,143噸
自產鐵礦(含錳 5-30%)	1,188,258噸		

加拿大產錳,年達數萬噸,但尙不敷應用。

南美之阿根廷、巴西、智利等國,亦產錳礦,以巴西爲最著,質亦上乘,大都經過風化之富集。巴西錳礦業大都爲美國鋼鐵業之投資,故產錳完全供給美國之需求。其他南美各礦,亦運售美國。且美與古巴在1902年之條約,有古巴錳礦免稅運入美國之協定。

3. 非洲 金岸(Gold Coast)爲英之屬地,有面積八萬方英里,據其地質調查所(Kitson)吉斯敦<sup>(20)</sup>氏報告,該國錳礦可分三類:—

A. 含錳千枚岩,未經風化,礦爲氧化錳,依然現原來沉積之狀態。

(19) Mineral industry: Vol. 41. p. 355.

(20) Sir A. E. Kitson & Major N. R. Junner. Manganese ore deposits of the Gold Coast, Africa, Trans. A. I. M. M. E. vol 75, pp372-396.

B. Spessartite(錳榴石)間附薔薇石,雜有同生之黑雲母,雲母片岩等,係由千枚岩變化而成者。

C. 由(A)與(B)兩種之鑛岩,再經風化而富集者,此類之價值,乃依其精選程度而定。

金岸之最大錳鑛在 Insuta-Dagwin 城,鑛區爲一高岡,約二英里長,錳爲塊狀,細粒枝狀,凝核狀,現採錳鑛平均分析:—

錳%	鐵%	矽%	磷%
50—53	2—4	3—7	0.1—0.12

此外,尙有低質錳鑛蘊藏甚多,均未開採,金岸錳鑛之經營,大都爲英美之投資。

比國康哥之錳鑛情形,大致與金岸相同,但爲比國鋼鐵業所經營。

非洲南部亦有錳鑛數處,其最要緊要者在 Krugersd-  
orf 地方,錳鑛生於白雲石內,鑛石爲爲硬錳鑛及軟錳鑛。

其次爲 Postmasburg 錳鑛,該鑛自 1922 年發見以後,日趨重要,鑛區約四十英里長,爲硬錳鑛床 (Psilomelane),間有達二十尺厚者,夾於板岩及含鐵礫岩中,平均含錳 42—58%,矽 1.75—7%,鐵 3.25—10.9%,無磷。如以四英尺厚計,其露於地面者,約有九十萬噸;如以 10 英尺深

計之，則為二百萬噸，此為歐戰後新興錳礦區，近來美國鋼鐵各公司，已簽合辦條約，并投巨資以謀開發。

4. 亞洲 印度產錳最豐之礦，在中部 Madras, Bombay, Bengal, 及 Lower Burma 各省。中省錳礦有限公司係英國鋼業之組織，產量最大，共執有礦區二十處，計有上等錳礦儲量二千萬噸，產錳分析：錳 51%；磷 0.105；矽 7.4%；鐵 6.5%。

日本 在 1918 年產錳 57000 噸，其平均分析為：—

錳	鐵	矽	錳	硫	磷	銅	水份
45—57%	1—5%	1—21%	無	0.020—0.07%	痕跡	3.21%	

中國 吾國之錳礦業，發達較遲，自漢陽鐵廠開爐之後，湖北大冶白楊林之錳礦，始為漢冶萍公司所開採，以供製鐵之需，礦為脈狀，位於石灰岩中，含鐵百分之 52%，錳 5.54%，實為含錳之鐵礦也。吾國現知最著之錳礦，處於湘、粵、桂、贛等省，礦為沈積礦床式，嵌於水成岩層中，含錳之豐瘠，則視次生富集作用之深淺而定。各地地質情形，頗相彷彿，大致含錳礦層<sup>(21)</sup>位於石炭紀之石灰岩上，先有紅粘土一層，其上即為錳礦層，含硬錳礦與軟錳礦，層塊大者達二千噸，見於鶴嶺<sup>(22)</sup>錳礦，小者厚僅數寸，如耒陽常寧等處，礦質分析含錳

(21)}  
 (22)} 見「中國礦業誌略」189 頁

45% 至 55%，鐵3—6%， $SiO_2$  5—12%，磷0.1至0.4%。錳礦層之上為砂岩，亦含錳氧鐵氧等，惟成分甚低，商礦最大者，為裕牲錳礦公司，出產運售日本。

未陽之菱河東岸，產結核狀錳礦，散佈於紅土中，惟下有石灰岩，上有沙岩，亦與他處同，此礦為漢冶萍公司所經營，盛時月產五六千噸，其餘之產地<sup>(23)</sup>則為遼寧興縣之黑松林（玉華公司），北平附近，江蘇海洲，安徽蕪湖，湖南安仁郴州，廣西之武宜桂平，浙江杭州溫州，福建莆田，廣東欽州防城，江西樂平等處，有者已開採，有者仍僅見礦苗而已，中國全部產量，自漢冶萍停爐後，有百分之九十售供日本之用，礦砂分析有以下之記載：—

廣西錳沙：錳56%，矽氧 2%，鐵 3%，硫及磷微量。

湖南錳沙：錳40%，矽氧 20%，（矽氣太多價低十餘元）。

世界產錳之國，著名於世者，為巴西，印度，蘇俄，歐戰之後，新興者，有金岸南非洲等處，第三表<sup>(24)</sup>表示1928年各主要國產額百分數，世界儲量分佈則列於第三圖

(23) 鐵業週報十一集 180 頁

(24) J. W. Erey: Geographic distribution of world minerals production, published in Mineral Economics, p.17.

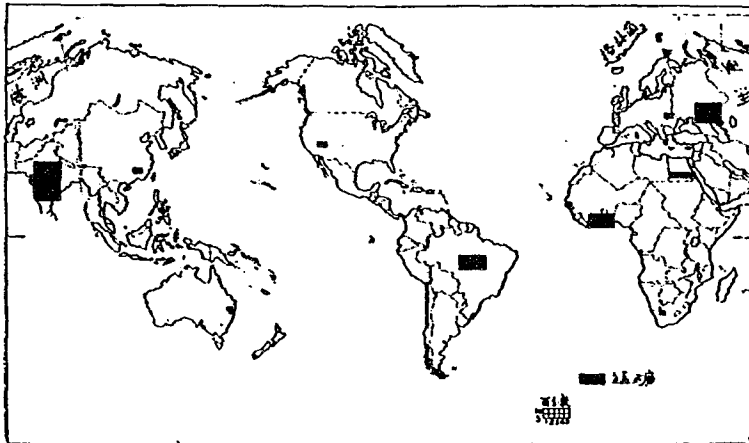
(25) 各主要產錳國之歷年產量則列於第四 (26) 圖。

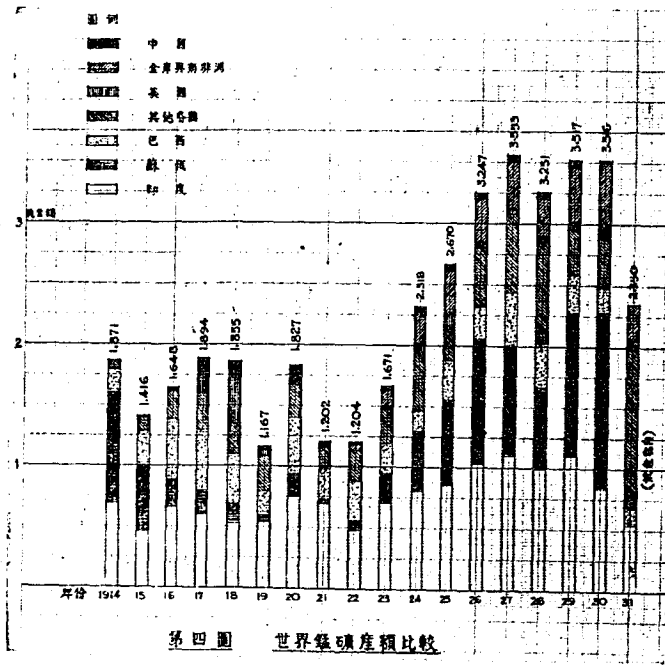
第 三 表

1928 年重要產錳國家之產量百分比

印度	38.3%	} 8.47%
蘇俄	19.2%	
巴西	13.8%	
金岸	13.4%	
埃及	5.3%	
羅馬尼亞	1.3%	
美國	1.9%	
中國	1.7%	
荷屬東印度	1.1%	
總計	96.0%	
其他國家	4.0%	
	100.0	

第三圖 世界錳礦分佈圖





第四圖 世界錳礦產額比較

吾國錳礦業最盛時代,年產達五萬餘噸,近年則低落不止數倍,見第四表。<sup>(27)</sup>

(25) Same as above, p. 47

(26) 本圖產量數字,取於 Mineral Industry, Vol. 41.

(27) 中國第四次礦業紀要

第四表——中國近年錳礦產額表

地 區	年 份			
	民國廿年 1931	二十一年 1932	二十二年 1933	二十三年 1934
湖南湘潭	11,000	5,471	227	879
廣 東	8,200	500	500	50
廣 西	12,000	15,530	8773	1,000
遼 寧	650	60	750	700
共 計	31,850	21,561	10,250	2,629

世界之錳礦問題，其癥結不在整個儲量之多寡，而在各工業國家，在戰時無供給之保障，因此，在代替品未發現以前，錳礦將斷續為列強魚肉弱國政治背景之一，殆無疑義。

### 第二段 錳素之冶煉性質

#### 一、錳之工業應用略史

在1666年格老浦 (Glauber) 曾有研究二氧化錳 ( $MnO_2$ ) 之記載，但比時當其為一種元素，直至1774年，始由希勒 (Scheele) 證明其為氧化體，據哈氏<sup>(1)</sup>之考據甘氏 (Ghan) 為冶煉錳質成功之第一人，但包氏<sup>(2)</sup>則謂里曼 (Sven Rinm-

(1) B. A. Hadfield: The Metal manganese and its properties; production of ferro-manganese and its history. J. I. & S. I. Vol. CXV p.151.

(2) H. M. Boylston: The importance of manganese in the steel industry. Trans. A. I. M. M. E. Vol. 75, p. 397.

ann, 瑞典礦物學家)已於 1773 年提煉成功,兩說孰是,頗不易斷,惟錳加入鐵內,可使其失去磁生,係里曼所發明,則為衆議所許也,瑞諾(William Reynold)於 1799 年在英國得有摺用錳氧製鋼之專利,1808 年威耳金孫(John Wilkinson)復得有英國專利,以錳礦加入冶鐵鼓風爐,可以增進生鐵之質料,墨協(Mushet)父子亦努力於錳之應用,并於 1830 年創煉含錳百分之三十之鐵錳合金,但未被鋼鐵業所重視,1839 年 Josiah Heath 亦發見錳有增進鋼品煨性之效能,此外,研究錳之應用者,尚有法拉第(Faraday),栢大(Berthier)等人,然鋼鐵業始終漠視此種結果,故以上專利發明,均無進展。

貝塞麥發明壓風煉鋼後,製鋼量為之突增,當時所用生鐵,係由瑞典含錳之鐵砂冶煉而成者,惟錳之效用未明,其助貝氏製法之成功亦無人感到,其後改用不含錳質之生鐵製鋼,忽發現鋼質變劣,而製煉程序亦不復如前順手,同時在美之貝塞麥鋼廠,則進行無變異,此在當時頗視為難於解釋之事,嗣經(Robert Mushet)墨協之研究,始知有加錳之必要,於是錳鐵合金之製造,重被推進,而於 1865 年格拉斯哥之亨得遜氏,開始製煉成功,1866 年西門氏(William Siemens)呈准以鐵錳合金加入鋼爐,為克制硫分爐劑之專利。



1888年哈特斐爾 (Robert Hadfield) 發表其研究之合金錳鋼之結果，鋼含錳 12—14%，炭 1.25%，其性質奇特，出人意料，從此合金鋼開一新紀元，而研究錳之性質者亦蓬起，因之錳在鋼鐵之作用，漸以明瞭。

錳之元素形狀，論者不一，如梅勒氏 (Mellor)<sup>(3)</sup> 在現代無機化學內，述錳為一灰色金屬，稍帶紅痕，與鈹相似，較鐵既脆且硬；戴遜<sup>(4)</sup> (Dyson) 謂有淡紅痕跡，頗軟，易受打磨；摠瑞推里 (Zereteli) 謂其性質像鐵之處甚多，極脆硬，且有似銻之光亮，此種參差描述，考之當日製煉情形，自無足怪，蓋不獨錳之純度不等，且試驗之溫度，及雜質之種類，亦均無可稽攷也。羅孫罕<sup>(5)</sup> 最近在英之國立物理試驗館，曾提製極純潔之錳素標本，含錳 99.98%，其主要雜質為炭素，此項標本呈銀色粗晶質，有柱狀斷口，稍有染黃色，硬度為 550 Brinell，極脆，可以畫刮玻璃，此當為最準確之記述。

錳之其他性質，亦同樣不能賅合，例如比重最低為 7.0，乃 Hjelm 與 栢曼 所定；最高為 8.013 係 約翰 (John) 所定。據 (Heraus) 哈爾斯 試驗 99% 純度之錳素為 1245°C，梅勒則謂

(3) Modern inorganic chemistry, London, 1925.

(4) The chemical age, Feb, 6th 1926: Manganese, its alloys and uses.

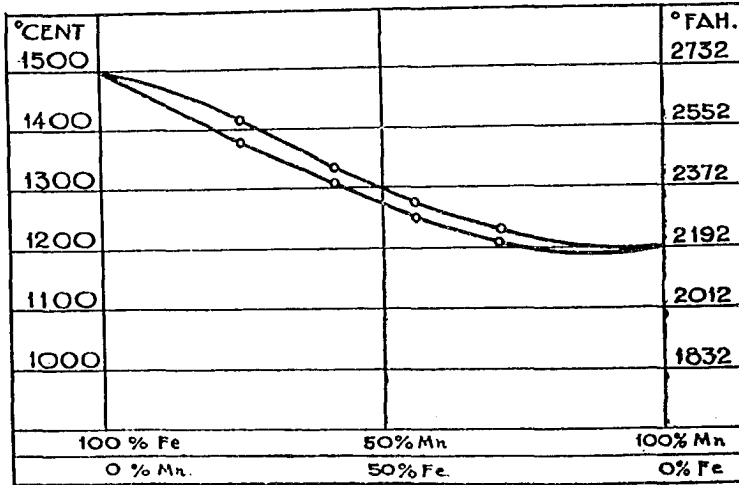
(5) Dr. W. Rosenhain: cited by Hadfield in his paper referred to in (1)

爲 1225°C, 哈特斐爾所試驗之 97.47% 至 98.40% 之純錳, 則爲 1240°C.

### 二. 錳鐵雙合金

普通鑄鐵所含之緊要雜體, 爲硫, 磷, 炭, 矽, 錳, 五質, 各施以不同性質變化之影響, 換言之, 卽爲各質與鐵所成合金性質之表現. 硫在鑄鐵內, 可成一硫鐵 ( $FeS$ ); 磷爲化合物  $Fe_3P$  或  $Fe_2P$ ,<sup>(6)</sup> 矽與鐵則有二種化合物  $FeSi$  與  $FeSi_2$ ;<sup>(7)</sup> 炭亦有二體, 一爲自由炭——石墨 (Graphite), 一爲化合物

第五圖 鐵錳雙合金熱平衡圖



(6) Davies: Stahl und Eisen, Juno, 1926.

(7) Cited by G. H. Gulliver in "Metallic alloys", p. 332.

$Fe_3C$ 。惟錳則獨異，與鐵不成化合物，但屬於第二類之雙合金，即在流固兩體狀態，任何摻合成分，錳鐵均能互相完全溶解，第五圖為錳鐵雙合金之熱平衡圖，此類合金之顯微構造，似純金屬，為多邊粒體聚集，並成松枝構造。

### 三、錳與鑄鐵內之炭分關係

鑄鐵約含炭3—4.5%，當炭為石墨狀，則鑄鐵性韌而呈灰色斷口；如為化合物—( $Fe_3C$ )，則性脆而呈白色斷口，錳質加入，則發生新影響，據斯道吞(Stoughton)<sup>(8)</sup>稱，錳在鑄鐵內，除中和硫之需用外，與鐵炭化合( $FeMn_3C$ )；但據Arnold與Read二氏之研究<sup>(9)</sup>鑄鐵所含之錳不超出4.58%時，炭為炭化三錳( $Mn_3C$ )與炭化三鐵( $Fe_3C$ )，成簡單固液體(Solid Solution)；如超出4.58%而達13.88%，則有一大部分 $Mn_3C$ 與 $Fe_3C$ 化合為雙炭化合物，而有 $3Fe_3C, Mn_3C$ 之公式。

柯氏(H. I. Coe)<sup>(10)</sup>亦曾細讀錳對於低流鑄鐵之影響，其結論有三：—

- a. 在同一炭分之鑄鐵，錳有減低熔點之效能。
- b. 錳於鐵炭易溶物(Eutectic Mixture)之溫度，不發生影響。
- c. 加增錳分可使珠鐵之變點(Pearlite Change point)，逐

(8) B. Stoughton; The metallurgy of iron and steel, p. 459.

(9) Cited by J. E. Huret in "Metallurgy of cast iron", p. 110.

(10) J. I. & S. I. 1910 no. 2.

漸降低與漸隱,至錳達8%時,則此變點完全淹沒。

關於鑄鐵所含之化合炭分,錳亦有變遷影響,但須錳增至百分之六以上,方能顯著,此亦柯氏第二次研究所得之結果,其詳見第五表:—

第五表

錳與鑄鐵內化合炭分穩定之關係

砂%	錳%	總炭%	石墨炭%	化合炭%	石墨佔總炭之%
2.45	1.07	3.71	3.45	0.26	93.0
2.46	1.00	3.70	3.39	0.31	91.6
2.35	1.61	3.63	3.16	0.47	87.1
2.35	2.23	3.60	3.25	0.35	90.3
2.39	2.65	3.60	3.33	0.27	92.3
2.48	3.45	3.70	3.12	0.58	84.3
2.44	4.19	3.80	2.94	0.86	77.4
2.40	5.15	3.12	2.69	0.43	86.2
2.34	5.83	3.40	2.65	0.75	77.9
2.40	6.62	3.24	2.60	0.64	80.2
2.38	8.35	3.85	2.15	1.70	55.9
2.45	9.89	3.85	2.10	1.75	54.5
2.41	10.30	3.95	1.98	1.97	50.0
2.48	11.15	4.00	1.85	2.15	46.2
2.54	17.6	4.25	1.14	3.11	26.7
2.96	30.3	3.89	Nil	3.89	0

據 $Fe_3C$ 公式之分子量，鑄鐵含炭之最高理論分量，不得超過6.68%，但實際上鐵與 $Fe_3C$ 所成之易溶物，含炭分4.3%，故4.3%以上之炭分，均為石墨狀并於凝結時至少有一部分浮於鑄鐵表面而成屑滓 (Kish)，故鑄鐵之總炭分量，在 $1500^{\circ}C$ 之高溫時，只能溶解至5.5%，但若加錳分，不獨降低同量炭分鑄鐵之溶線，（見柯氏之第一結論）且能增高鑄鐵溶解之總炭分，當錳增加至70—80%，炭分可達6.8%，蓋此時炭之存在，不為 $Fe_3C$ ，而為 $Mn_3C$ ，其化合性極穩定，而能凝固於鑄鐵內，不發生變化也，故在冶鐵爐內，加高錳分，即等於加高炭分，（特製之高錳低炭鑄鐵在外），其詳見第六表<sup>(11)</sup>。

### 第 六 表

#### 含錳合金之分析

總炭%	矽%	硫%	磷%	錳%
4.3	0.5	0.025	0.02	0.35
5.06	0.61	0.021	0.16	10.5
5.5	0.32	0.026	0.094	15.3
6.6	0.68	0.023	0.19	75.0
7.01	0.69	0.016	0.24	80.0

#### 四. 錳與鑄鐵內之硫分關係

硫與鐵極易化合為 $FeS$ ，此體在鋼內減低其強度，而使

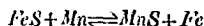
(11) F. Clements: Blast furnace practice, Vol. I.

熱脆(即不能受煅煉),如產於鑄鐵,則使矽分減低炭分變為化合物,及硫鐵有分結作用,在在足以變更鑄鐵之緊要性質,但據製鐵爐之化冶記載,凡鐵沙含有錳分而製煉成鑄鐵者,雖含硫分,不足為害,故錳與鑄鐵內硫分之關係,早惹煉鐵業注目而研究。

錳與硫化鐵之化學作用,可用公式代表如次:—



據此,一單位硫需 1.73 單位錳,以成硫化錳,然考之實際,則需八倍以上之理論分量,<sup>(12)</sup>方能收其中和之效,故有人以為上項作用須以平衡公式代之,即



其作用由左而右,或由右而左,則視兩邊之分量與溫度之變化而異,此說言之似甚成理,而無證明,錳與硫化合以外,尚有炭(至少在鑄鐵內成  $Mn_2C$ )與其他元素之化合,以此解釋,其超出理論之需量,似更較妥當也。<sup>(13)</sup>

硫化錳 ( $MnS$ ) 之熔點甚高,在普通煉爐內,不能溶化,據 Levy<sup>(14)</sup>之報告為  $1400^{\circ}C$ ,但據羅耳(Rohr)之研究,則為  $1620^{\circ}C$ ,羅耳手定之  $MnS$  與  $FeS$  之熱平衡圖,印於第六圖,其最低之熔點(即易溶混合物之熔點),為  $1180^{\circ}C$ ,已在鐵炭易熔點

(12) Stead: J. I. & S. I. 1903, no. 1, p. 146.

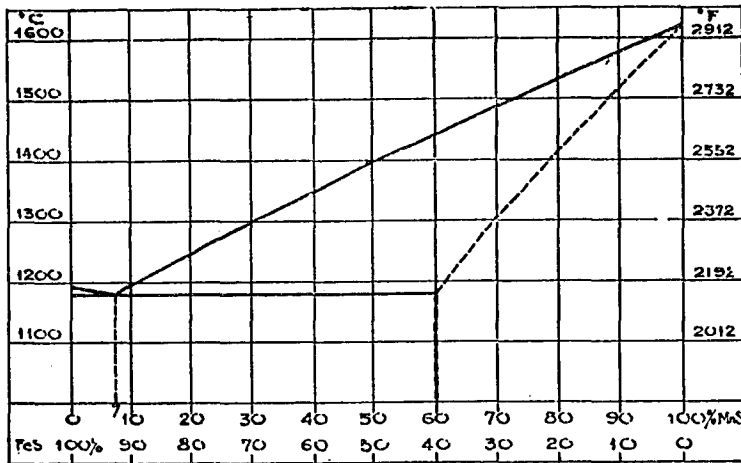
(13) F. Clements: Blast furnace practice Vol I p. 92.

(14) See (9)

(1130°C)之上,故固體化硫錳既在以上溫度凝固而比重又輕,(3.6—3.8)乃自上浮,而有浸入爐渣之勢或在鑄鐵之內分結(Segregation)而呈硫印(Sulphur Print),黑斯特(Hurst)<sup>(15)</sup>曾作離心鑄鐵品 (Centsifugal Cast) 之考察與分析,據稱

**EQUILIBRIUM DIAGRAM FOR SYSTEM FeS M<sub>N</sub>S**  
[ROHL.]

第六圖——硫化鐵與硫化錳之熱平衡圖



如鑄品厚大,冷卻時間較長,其所含之硫化錳,乃受離心力之作用,而集於內圈,可見,硫化錳之比重既輕且為不溶解物其各部分分析如下:—

(15) See (9) p. 101.

	分結部分	均勻部分
	%	%
Mn	0.60	0.33
S	0.23	0.06

分結部分含硫雖高，而無硬脆及其他之含硫惡劣性質，錳之功用，於斯可見。均勻部分含硫 0.06%，如照  $MnS$  公式計算，當有剩錳 0.2262%，此則為與炭及其他素化合之錳分而於冷卻不分結者，再察分結部分含錳 0.33%，如減去 0.2262%（與炭及他素化合錳分），則剩 0.1038%，適足與 0.23% 硫化合而成  $MnS$ ，故與前述超出錳量之解釋亦相脗合。

### 五. 鐵錳合金之種類

貝塞麥與西門子二種製鋼方法，未曾發明以前，雖有嘻士 (J. M. Heath) 于 1839 年發明錳炭 (Carburet of Manganese) 之製煉，(即為鏡鐵之一種)，而未能邀鋼業之注意，蓋當時盛行之坩鍋煉鋼，含炭甚高，故加錳雖能中和硫分，而同時亦可使其在軋軋時發裂，故自 1839 至 1860 年，錳合金之研究工作，幾致停頓，後因貝塞麥煉鋼法不能應用於缺乏錳質之生鐵時，始由貝氏資助亨特孫之研究，而於 1865 年採用西門子鋼爐成功製煉鐵錳合金。此項合金含錳 17—30% 在技術上實為一種新發展，但含炭仍多，



成本亦昂,故不久即停製,後來特諾公司 (Terre-Noire Co.) 之泡色氏 (Poucel), 及德人 Pricger, 利用已得之結果, 繼續努力改進, 乃於 1878 年成功第一次由鼓風爐 (Blastfurnace) 製煉含錳 82% 之鐵錳合金, 並將製品陳列於該年之巴黎展覽會, 至此貝塞麥低炭鋼板, 乃得大量製煉。<sup>(16)</sup> 從此以後, 低炭鐵錳合金, 矽錳合金, 電爐鐵錳合金, 以及用於鋼業之鎢, 鉻, 矽等合金, 均能蓬勃而興, 而合金鋼之用途, 亦日趨顯著。

英國之鐵錳合金製煉業, 在發展過程中, 對於技術煉量均能佔在領袖地位, 二十世紀以來, 情形稍變, 截至 1927 年止, 英國有六廠從事於製煉鐵錳合金, 共有煉爐十二座, 年產量二十四萬噸。<sup>(17)</sup>

美國在 1904 年以前, 僅有煉爐一座, 但在 1918 年, 已發展至煉爐十八座, 年產量三十萬噸以上。<sup>(18)</sup>

第六表表示英國所產各類鐵錳合金之分析, 其最可注意者, 鋼業採用金屬錳之純度, 已達到 97.85%; 低炭鐵錳之炭分, 亦能減至 0.58%, 此於製煉特種鋼料, 尤稱便利。

(16) } Hadfield: see 1 p. 284.  
(17) }

(18) R. M. Kenny: Manufacture of Ferro-Alloys, Trans. A. I. M. M. E. Vol. Lxll,

第六表<sup>(19)</sup> 英國用於鋼業之金屬錳及錳合金分析

	鐵錳合金 (Ferro-Manganese)		鏡鐵 Spiegel		錳 Metallic Manganese		低炭鐵錳合金 Low Carbon Ferro-Manganese		矽質鏡鐵 Silice Spiegel	矽錳合金 Silico Manganese
	高錳	低錳	%	%	%	%	%	%	%	%
錳	80.00	60.00	4.00-50.30	30.35-97.85	79.10-88.13	20.00	70.30			
炭	7.20	6.40	3.6	- .50	0.06- 1.18	0.58- 1.28	1.4	0.75		
砂	0.80	0.60	0.25	-0.70	0.60- 1.96	0.66- 5.22	12.30	20.70		
硫	0.014	0.005	nil	.....	0.208	.....	0.017	nil	.....	
磷	0.18	0.100	0.04	-0.09	0.068-0.30	.....	0.157	0.68	.....	
鐵	11.80	32.80	32.21-65.91	.....	0.78	.....		66.22		
錳					.....	1.63				

瑞典用電爐煉製之鐵錳合金，含炭分亦極低，分析如次：

(20) —

錳	炭	砂	硫	磷
79.31%	0.91%	0.60%	0.017	0.151

今之鐵錳合金出品，所含各項原素，孰應留孰應去，孰應多，孰應寡，均能預定配合成分，此誠為極大之技術進步。電爐化煉，亦以配劑更易管理，較風爐化煉為便利，惟以費用論，除在產電特殊便利之地外，電爐化煉不能與鼓風爐競爭，因之鼓風爐之化煉技術，亦日新月異，出品

(19) Prof. Bauerman: J. I. & S. I. 1908.

(20) Hadfield: See (1)

純美,其地位一時無衰頹之象也。

六.合金錳鋼之特性

錳之有益於鋼發見甚早,故嘻士發明製煉「錳炭」,係應用於坩鍋煉鋼為目的,惟以不詳其與炭分互為作用,未能發展錳質之特長而致中輟。孔氏(Khon)<sup>(21)</sup>于1871年曾有錳在鋼內,以延展二性之犧牲,換取硬度與強度之增長之語,可見當時對於錳之作用瞭解之一斑,錳在炭鋼之影響,可由第七表<sup>(22)</sup>觀之。

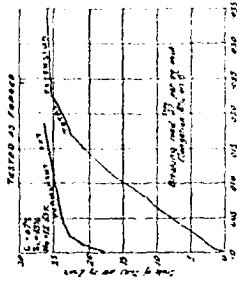
第 七 表

普通炭鋼之性質與含錳之關係

炭鋼名稱	化 學 分 析 %						熱 治 手 術	屈 點 (每平 方吋)	拉 強 (平 方吋)	伸 長 度 2 吋 之 (百分比)	硬 度 (布林 納年)	衝 強 (Izod) 呎磅	斷 裂 面積 %
	炭	矽	錳	錳	磷	硫							
.3炭鋼	35- 40 45	.30	.3 10 .8	—	.05	.05	熱至 850°C, 空氣冷 却。	18	25	20%	148 140 201	20	40
							熱至 850°C, 水球油冷, 再由 500°C-650°C 退火。	25	40	22	174- 223	25	40
加錳 .4 炭 鋼	35- 45	.30	.3- .8	.75 1.0	.05	.05	熱至 850°C, 油冷, 而 後升溫 650°C 退火, 空 氣冷卻。	25	40	20	174- 241	40	45
							熱至 850°C, 空氣冷 却。	16	30- 40	25	128	—	45
中等炭鋼	25- 45	.30	.1- .8	.50	.06	.06	熱至 850°C, 油冷, 再 升溫 675°C 退火。	21	35- 45	24	152- 207	—	48
							熱至 850°C, (1) 空氣冷 卻。	18	35- 45	23	148- 147	—	40
高等拉強 炭鋼	35- 45	.12 .35	.5 .8	.50	.01	.04	(2) 油冷, 再由 675°C, 退火。	24	40- 50	22	170- 211	—	45

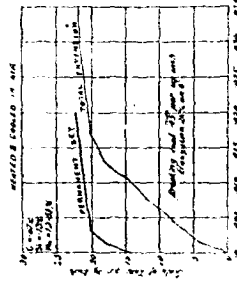
(21) Kohn: J. I. & S. I. 1871. Vol 1 p. 71.

(22) A. W. Judge: Engineering materials, Vol. 1, pp. 140-141.



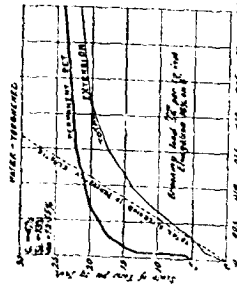
Extensions  
in Inches.

C 經熱治在在在中水冷却



Extensions  
in Inches.

B 經熱治在在空氣內冷却  
第七圖



A 未經熱治

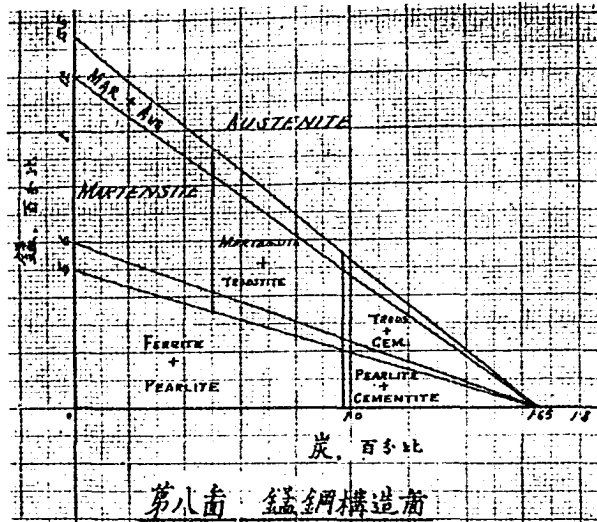
當泡色研究鐵錳合金之冶煉時，亦曾注意到合金錳鋼之製煉，惟錳分加至1%以上，鋼質轉變硬脆，加至2.5%時，脆弱更為顯著，至4.45%，其橫折力 (Transverse Strength) 僅及鑄鐵 (10 Tons Per Sq-In) 之三分之一。此類試驗標本，均陳列於1878年之巴黎展覽會，因是錳鋼試驗，一時遂無人過問。1880年以後，哈特裴爾 (Hadfield) 氏在其海客拉 (Heclaworks) 鋼廠內，復開始作一極有系統之錳鋼研究，於是乃得發現錳鋼之特殊性質，而於1888年<sup>(23)</sup>發表其試驗結果，錳鋼作用，至此完全明瞭，當錳加至5%左右，鋼質竟可鑄成粉末，惟繼續上增，其脆弱性似無變更，至

7.0%以後,則不獨强度恢復,且有特殊性質發展,至超出14%以後,則强度又逐漸減低而而變脆弱,哈氏發明之無磁性合金錳鋼,含錳12—14%,炭1—1.5%,其特殊性質,必須經過相當之熱冶(Heat Treatment)或使用,方能顯出,此亦為煉鋼之新事實,第七圖<sup>(23)</sup>抄於哈氏之原文,表示同一錳鋼含炭0.67%,矽0.13%,錳12.56%,其斷裂載荷,及伸長度,依據熱冶之不同而異:—

	斷裂載荷 (每平方吋)	伸長度 (八吋樣鋼之百分比)
未經熱冶	37 噸	8%
經熱冶而在空氣中冷却	45 噸	26%
經熱冶而在水中冷却	56 噸	38%

錳能降低鐵之變點溫度,其與炭分之相對關係,曾由谷雷(Guillet)訂定如第八圖,圖示14%錳可以在尋常溫度保留鐵的第三鐵(γ-iron)變狀;6—7%可以使其變為[第二鐵](β-iron, or Martensite),較之鎳之降低變點功用,則強一倍。

<sup>(23)</sup> } R. A. Hadfield: Proceedings of Institution of Civil Engineers,  
<sup>(24)</sup> }



現在市場常見之錳鋼,有以下之分析與性質:—

無磁性合金錳鋼:

分析:炭 1.00-1.5%;錳 12-15%;硫 0.06%;磷 0.08%;矽 0.25-0.4%。

鑄品強度(不加熱治):拉強 36-38噸(平方吋);伸長度 30%。

鍛品或軋品:拉強 55-65噸(每平方吋);伸長度不小於 40%。

彈限 = 5.5-10;硬度(布林納而) 200,但經應壓之後,表殼硬化,極強

以致不能鉋磨

錳鋼應用,可分為二類:(一)利用其硬度者,如破碎機之軋板,挖泥船之挖瓦,電車火車之叉道,慢速火車之輪滾,保險箱以及農具煤篩等等之製造;(二)利用其非磁

性,如磁石之箱盒,及鐵鉀船裝指南儀附近之部分,均以之爲製造原料。

### 七. 錳在鋼鐵業上用途之總述

錳在鋼鐵內之性質,已分述於前列各節,其用於冶鐵者,爲低錳之鐵礦,或低劣之錳礦,其用於煉鋼者,則爲鏡鐵(錳分不超出20—30%),鐵錳合金(錳分在80%左右),錳矽合金其間又有高炭低炭之別,蓋求某一種之鋼質,有某一種之錳劑,以適合其需要也,茲將其各種用途,分別概述如下,以資明晰:—

#### 甲. 除硫作用

1.  $MnS$ 在鼓風爐內輕而上浮,有攙入熔渣之趨勢,再由鼓風爐運至混合爐時,在鐵勺內因其熔點較高,凝固而不能溶解於炭鐵化合物體,故亦浮結于面,此兩作用,均爲減低硫分, T. L. Joseph<sup>(25)</sup>曾有以下之試驗記載:—

	鼓風爐鑄鐵		混合爐鑄鐵
	含錳%	含硫%	含硫%
29次試驗平均數	1.39	0.0867	0.041
89次試驗平均數	1.72	0.07	0.035
26次試驗平均數	2.13	0.073	0.031

(25) T. L. Joseph: Minnesota Manganiferous Iron ores, Trans. A. I. M. M. E. Vol 75. p. 315.

2. 西門子開爐之火焰與鋼接觸,故燃料內之硫分,有賴於錳之化合,而不浸入鋼內。

### 乙. 增加總炭及炭化合物

3. 錳分愈高,鐵內總炭分亦愈多,且與錳炭化合(見第三段第一節)令鐵之斷口變白而性硬脆,惟在應用方面,應有限制說明如下:

錳之第一作用,係與硫化合,充足硫體化合之剩餘錳分,始與炭化合,換言之,其第一使命,係將因硫之存在而化合之炭分,改爲石墨狀,即鐵成灰色斷口而性堅韌;中和硫分以後,錳有第二使命,即與炭化合而增加總炭及炭化合物,此點證之事實,昭合無訛。

### 丙. 合金鋼之製造

4. 高炭錳鋼(C. 1.25% 左右錳 12—15%)之特性,已述于第二段六節,近來美國復有中炭低錳合金鋼之製煉(Mn 1—3%, C. 0.2—0.4%),此種錳之物理性質,固不能與高炭錳鋼相比較,但有代替中炭鎳鋼或鎳鉻<sup>(26)</sup>鋼用途之可能,此項製煉普遍之後,又爲錳廣開另一新用途。

(26) Trans. A. I. M. M. E. Vol. 75, p. 442. Discussion on iron-manganese alloys low in carbon.



#### 丁.一般效益

5. 錳體在爐渣內,有降低熔點之效,即增加爐渣流动性,而增進工作便利;在熔帶 (Fusion Zone) 內,爐渣熔點溫度既降,則氣體易上透,氣壓減輕,可使冶煉效能加高。
6. 錳與氧之化合,亦極堅厚,故對於鑄鐵及鑄鋼,均有減少吸收氧氣之效,而增進鑄件品質。
7. 鋼件之受煅煉或輾壓時,如不含錳,常有開裂之虞。
8. 錳能安定鋼液,故鑄型時,無騰沸現象,而增進鋼質。
9. 錳於鋼質之構造,有精煉之功。
10. 錳有特殊性質,加入鋼內,惟必須經過適當之熱冶方法方能顯展。

#### 結論

錳為鋼鐵業上必須之品,已詳論於第二段,而今之有大鋼鐵產量之國家,則并無豐富之錳礦,亦詳見於第一段,故為保護戰爭時代之鋼鐵業起見,各國莫不年耗大宗金錢,作學術之研究,以期發現較為易得之代替品,然此問題,不易得一解決,故現在努力之趨向,無寧側重於節省及廢物利用二途,即所謂節流也。

據 F. H. Royster<sup>(27)</sup>之統計,現在鐵錳合金之冶煉,錳分損失於爐渣者,由 6.5% 之最低數達 20% 之最高數,消耗於爐之烟筒部分者,亦由 0.1 至 32%; 假設以煉鋼噸數計算,平均能省 0.2%, 則去年(1935)美國假產鋼 3333 萬噸,當可省錳 6666 噸,若折為 80% 鐵錳合金,則等於八萬三千餘噸,若折為 50% 礦砂,則等於拾三萬噸高等錳礦,有美國 1931 年錳礦年產額六倍之大,照現在所知情形,節省此數,當無特殊困難,此其一。開爐煉鋼之爐渣,據 E. F. Gono 之分析,<sup>(28)</sup> 含錳氣 ( $MnO$ ) 2.5—11.5% 以現在化冶之鐵砂含硫漸高而論,可作平均含錳 7.5%。美國於 1925 年產開爐鋼 3700 萬噸,以 10% 爐渣計,有爐渣 370 萬噸,再以 7.5%  $MnO$  計當含 22,7500 噸純  $MnO$ 。若能應用於冶鐵,亦無異增加美國年產錳礦量數倍也,此其二。此外技術之增進及新合金鋼之發現,均有間接減低錳礦消耗之影響,故節省與廢物利用二途,確有能收近效之可能。然在研究未達成功以前,錳之地位,因上等低硫鐵砂漸少之故,不獨不稍衰減,且有增加其緊要性質之趨勢。

本文插圖,承沈君仲濤高君也明幫助,特此誌謝。著者。

(27) Production of ferro-manganese in blast furnace Trans. A. I. M. M. E. Vol. 2. p. 19.

(28) E. F. Gono; American slags and their uses, Iron Age, 99, 890-900 April 12 1927.

## “建陽”輪及其主機之設計概要

郭 霖

### 引 言

武昌與漢口夾江而居，往來全仗舟楫，刻下建橋之議既未實行，欲利交通，惟有增加渡輪一法。湖北建設廳有見於此，乃於民二十三年添造渡輪二艘：一名建夏，一名建陽。建夏係上海合興造船廠承造，建陽則為武漢工程界數同人合組之江漢造船廠承包。船長同為一百十呎，造價同為六萬二千元。合同中所定之條件同為：

有效載重量	六十噸(船身重量除外)
速度	每小時八海浬半
機器	凝汽式 (Condensing Engines)
耗煤量(萍礦洗煤)	每小時不得過五百五十磅。

煤之成分如下：—

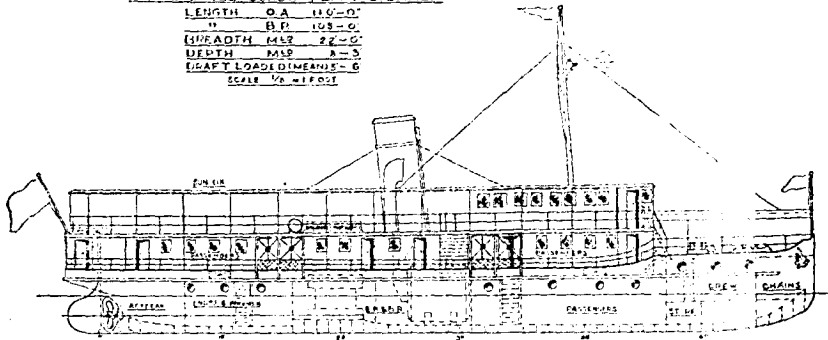
	水分	揮發物	固定炭	灰分	熱量(算得者)
洗統	4.0%	22.0%	58.0%	16.0%	13000 B.T.U./lb.
洗塊	4.0	23.0	60.0	13.0	13800

合同中並嚴切訂明：如耗煤量超過百分之十或速度低過百分之十時，建設廳即可拒絕受船。如所差在百分之

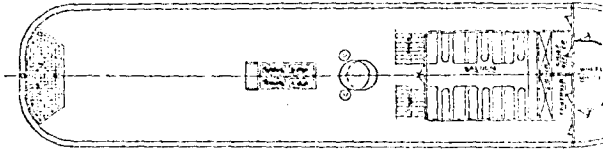
十以下時，按成扣減造價云云，江漢廠對於速度及其他條件皆認為不足顧慮，惟對耗煤量殊無把握，因前此所有之渡輪，皆用“非凝汽式之機器”(Non-Condensing Engines)，其滿儀時之耗煤量，率在每小時七百磅以上，凝汽式機器，用汽雖較經濟，但江漢廠從未造過，自毫無記錄可供參攷，因此對於設計工作十分注意，特設一設計委員會以董其事，幸造成後結果尚佳，速度與耗煤量皆較優于合同所規定之數，根據試車結果，其速度在每小時9.468海哩時，耗煤量亦不過五百四十二磅，若按合同所規定之速度及排水量折合計算，則耗煤量實祇四百四十餘磅耳，(算式詳後試車條)，雖試車時所用之方法是否準確，尙成問題，然與建夏在同樣情形下比較之，則建陽比「建夏」省煤多矣，近來航行已將一載，每月耗煤量皆比「建夏」少八噸左右，斯亦非始料所及矣。

雖然本輪在設計時，一則因時間不夠，再則因廠中工作人員不敷分配，故一切計劃多係用省略法在短時間內斟酌決定者，興工以後，雖欲改進，已不可能，今雖結果尚佳，然其間須加改善之處正復不少，非謂其已盡愜意也，茲姑仍就設計時之情形簡述于後，以存其真，同時將重要部分之工作圖樣隨篇刊印，以補筆述之不足。

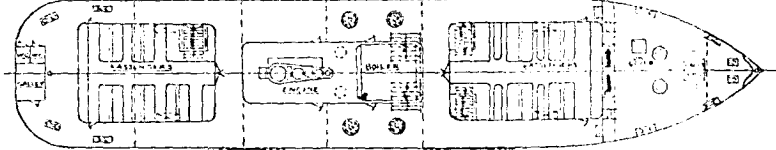
PRELIMINARY ARRANGEMENT  
 OF  
 STEEL SINGLE SCREW FERRY STEAMER  
 LENGTH O.A. 116'-0"  
 " B.P. 103'-0"  
 BREADTH M.L.B. 22'-0"  
 DEPTH M.L.B. 8'-3"  
 DECK LOAD DIMENSION - 6  
 SCALE 1/4" = 1'-0"



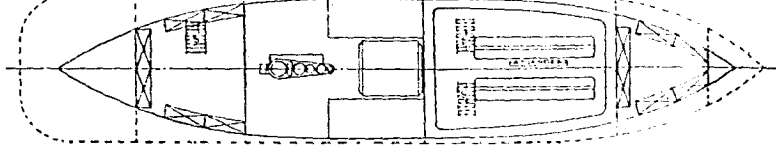
UPPER DEK



MAIN DEK



HOLDS



DRAWING No 4395

( 第 一 圖 )



## (一)船身(Hull)

對於船身設計,所懸之目標爲「輕」、「堅」、「穩定」及「省煤」四點。

船身若輕,不但材料可省,馬力亦可減低,耗煤量自亦較少,故本輪所用之材料,較任何同大之渡輪爲輕,由第二圖可以概見。

惟輕則難堅,自然之理也,欲其既輕且堅,自不能不多費周折,因此,乃採取一種特別作法,其法維何?即所謂「複樑式」(Web-Frame System)者是也,此法在船之縱橫上下各方向,皆用數條較深之樑交互組成,如此,則力量充實,其堅固之程度,應比採用較重材料以普通方法作成者,有過之無不及矣,但此種作法,祇能省料,不能省工,論工實較普通作法爲多,惟就武漢情形論,材料價值較人工爲昂,故採取此種作法對廠方與廳方皆屬有利,因輕則省煤,兼可多載客人,亦營業上之利也。

船身之大小,照建設廳指定之噸碼爲

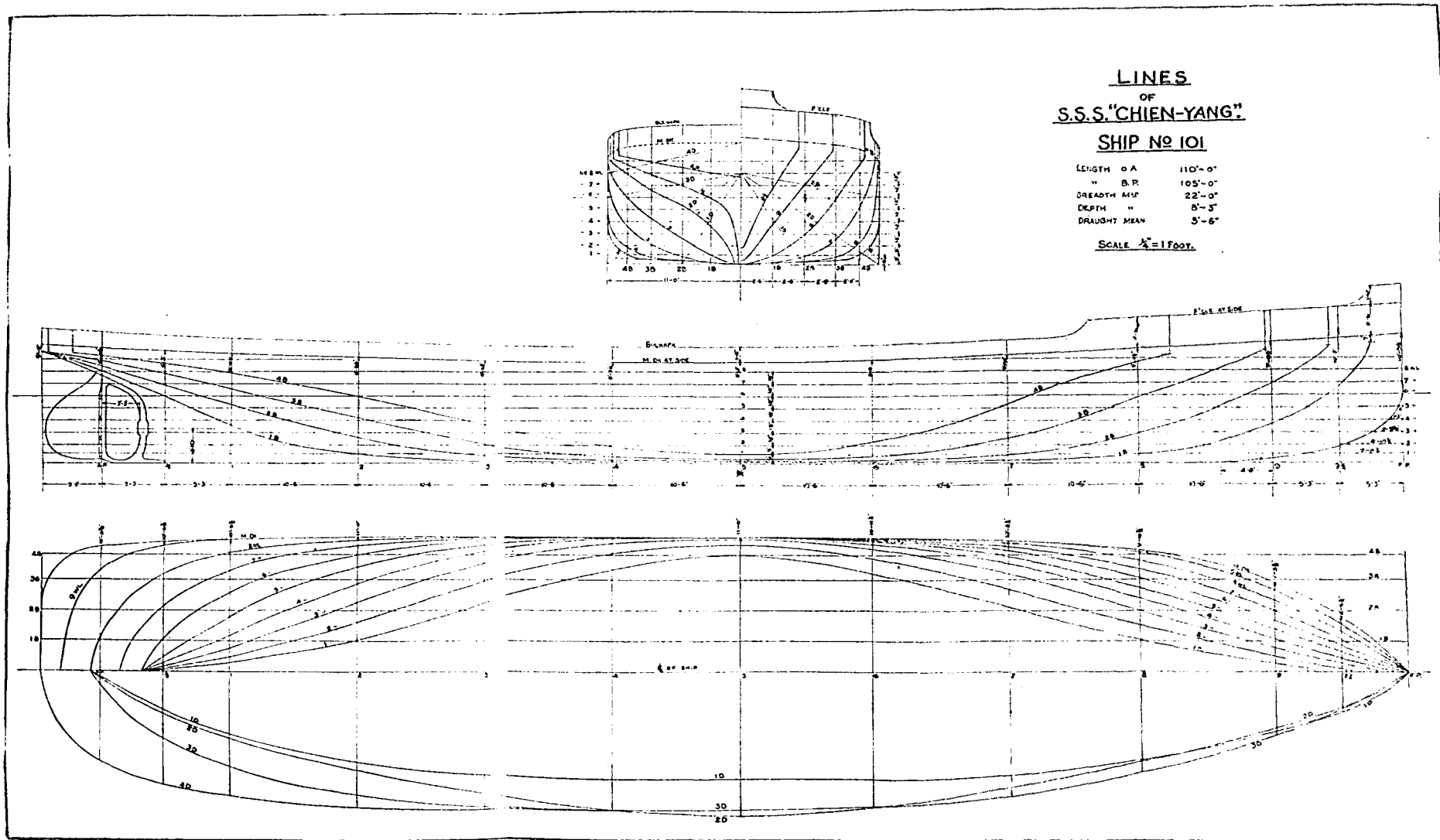
船長	110'-0"
垂線間之長	105'-0"
船寬	21'-0"
船深	8'-6"
吃水	6'-0"

此種呎碼，自屬可用，惟船身既已改輕，由此便發生一嚴重問題：即船身太輕，則穩定能力 (Righting moment) 即將減少，而渡輪之穩定度又特別重要，不得已，乃將船身加寬至二十二呎，同時將吃水減低至五呎六吋，因為穩心 (Metacentre) 與浮心 (Centre of Buoyancy) 間之距離常比例于

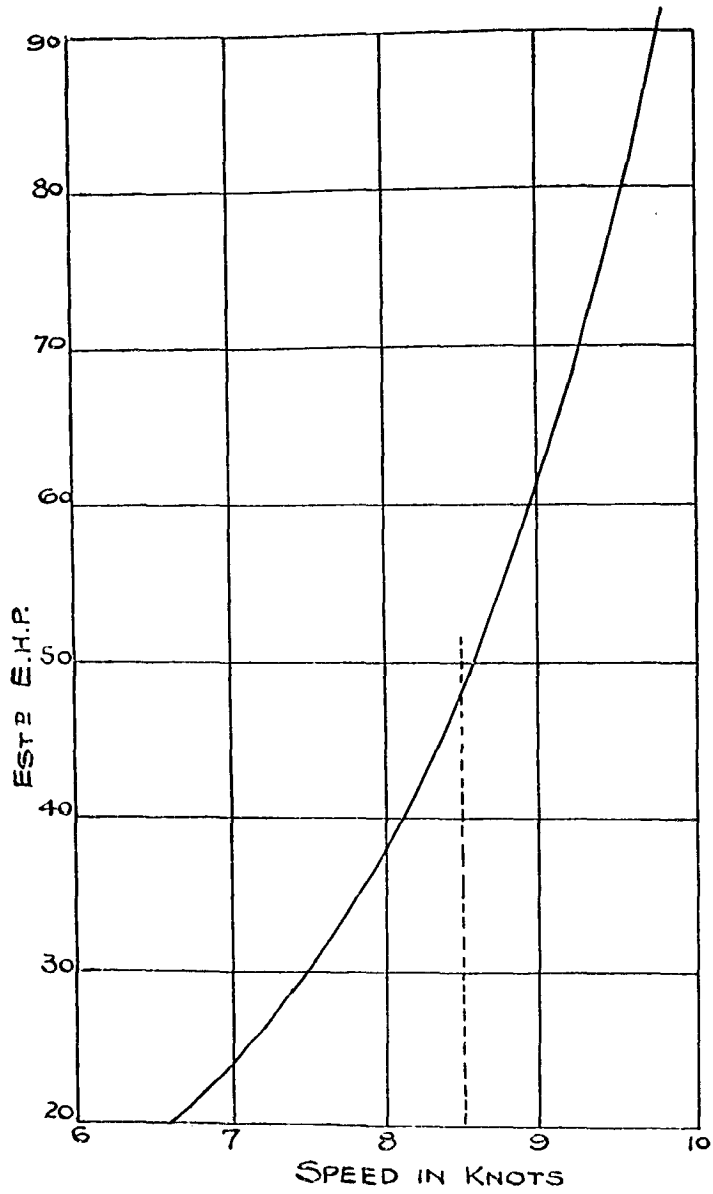
$$\frac{(\text{寬船})^2}{\text{吃水}}$$

故也，此種改善，事後業經事實證明，建夏未經加寬，故穩定度不及建陽，此乃武漢人士所共知者也。〔附註：此次添置渡輪，曾投標二次，最初建設應自定之底價，僅為每艘六萬元，但滬漢各廠所投之標，皆在八萬元上下，建廳乃擇其中之數廠作第二次之投票，合興廠自亦只好減輕材料，但該廠仍用建廳原開尺碼，故穩定度不無略小之嫌。〕惟船身加寬，吃水減低，二者皆與速度不利，蓋船身之“造浪阻力”(Wave making resistance) 常隨船寬與吃水之比例增加故也，阻力大則所需之馬力亦大，耗煤量即將隨之增高矣，而耗煤量過高，復有拒絕受船之險，當時因此頗費躊躇，繼而思之，本輪所規定之速度並不甚高，造浪阻力應不甚大，只須船壳形式合宜，影響應可減輕，于是乃決然更改如上述，惟在線圖 (Lines Plan) 方面特別留意耳 (參看第三圖)。





( 第三圖 )



( 第 四 圖 )

線圖設計，須顧及船身之阻力 (Resistance) 及穩定度 (Stability) 並噸位 (Displacement) 等等。其手續頗為繁複，欲詳加追記，勢不可能，僅撮記其大要如下：—

總噸位為197噸(此由估計全船重量而定)

塊形係數(Block Coefficient)為·558

中斷面係數(M. S. S. Coefficient)為·926

柱狀係數(Prismatic Coefficient)為·617

船壳及機器，重約120噸(煤、水、客、貨及壓載物除外)。

穩定度，隨客人所佔之之位置及壓載物之多寡而異，但就各種可能情形用省略法算得之結果，滿載時之“穩心高度”(Metacentric Height)約為3.0呎；最壞時，(即五百人同聚艙頂，煤與壓載物又皆去盡時)，其穩心高度亦尚約2.3呎；但此種情形，事實上殆絕難發生。

[馬力]——本輪船寬與吃水之比已超出推勒(Taylor)氏試驗範圍之外，本已不甚適用該氏試驗結果以求馬力矣。惟該法比較簡單可靠，故仍用之以求馬力，但將算得之結果加大百分之十。於是得第四圖，由此圖觀之，在 $8\frac{1}{2}$ 海哩時，所需之有效馬力，僅約為48。按推進係數(Propulsive Coefficient)0.48計算，則機器之馬力只須100即足。不過就此種渡輪言，尚有其他問題須加考慮，例如天氣不佳，煤質不良，及機艙管理不善，諸實際問題，皆須顧及。

最好再加大若干,庶機器不必常受過量之負荷致損機齡,且本輪之各種主要幫布 (Pumps) 皆由主機帶動,亦非將主機馬力加大不可,因此種種問題,乃將主機按160匹馬力設計。

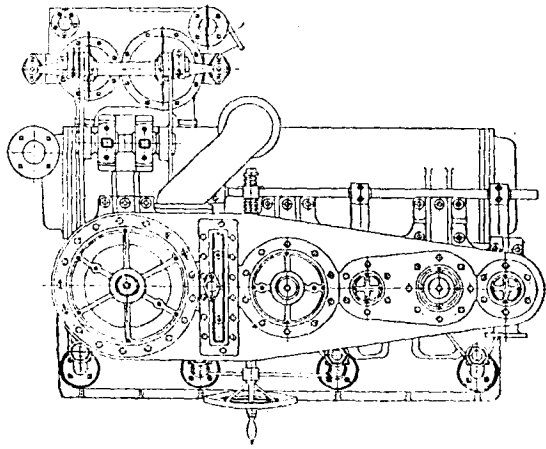
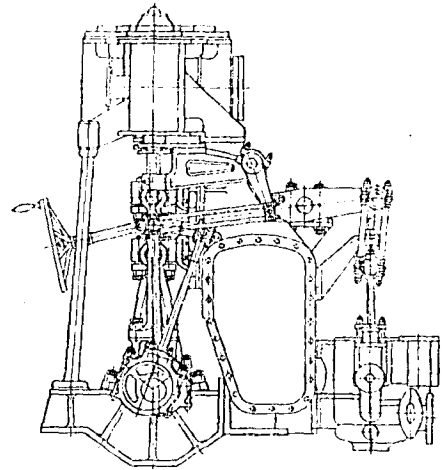
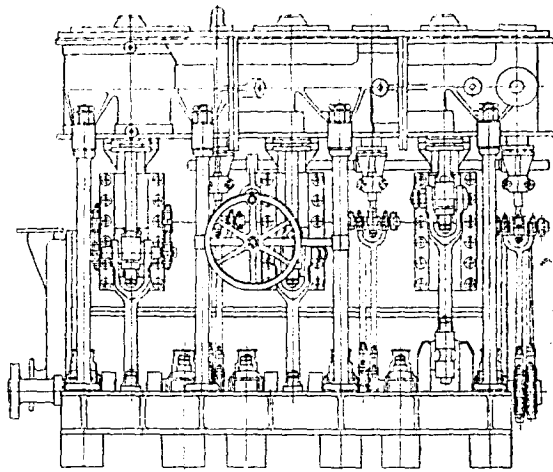
## (二) 主機(Main Engine)

合同中本已訂明主機為雙漲式蒸汽機(Compound Steam Engine),後經仔細考慮,覺耗煤量仍無絕對把握,因擬改用三漲式(Triple Expansion)蒸汽機,蒸汽在三漲式機器中,其“消失量”(Missing Quantity)較在雙漲式機器中為小,固無庸疑,惟此機之馬力甚小,僅160匹;蒸汽壓力,又因種種關係認為不宜太高,合同中僅定為150磅,在此種情形下用三漲機是否合算,殊成問題耳,但經約略估計,覺其工料價值相差仍不甚巨,於是乃決定採用三漲式,如第五圖。

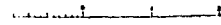
就船用機關言,活塞之速度(Piston Speed)本可由每分鐘600呎至每分鐘1000呎,但為減輕機器之磨損計,只定為500呎,再假定平均有效壓力(M. E. P.)為每平方英吋30磅,於是得低壓缸(Low Pressure Cylinder)之直徑為

$$D = \sqrt{\frac{42000 \times IHP}{30 \times 500}} = 21.2 \text{ 呎}$$

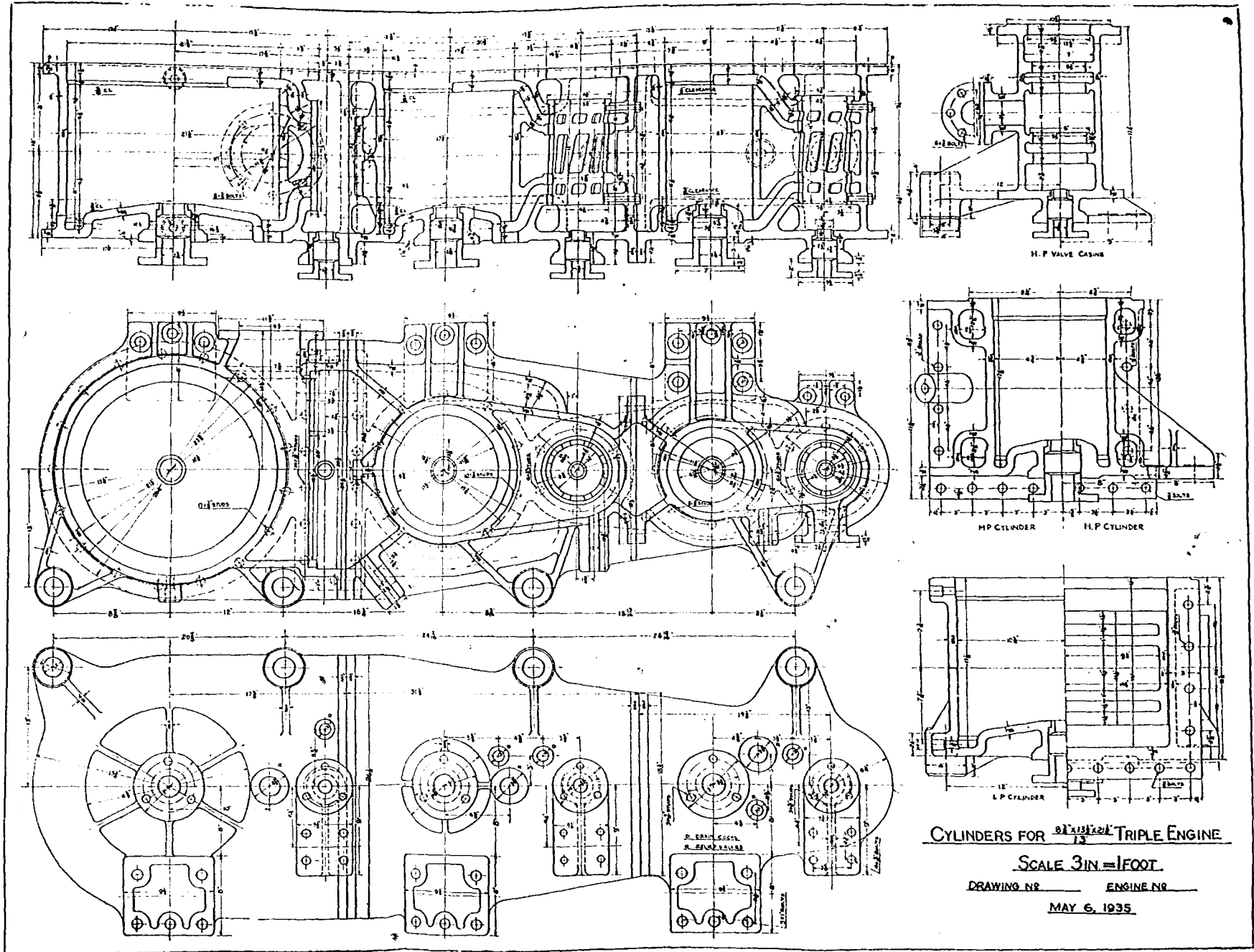
採用  $D=21'$



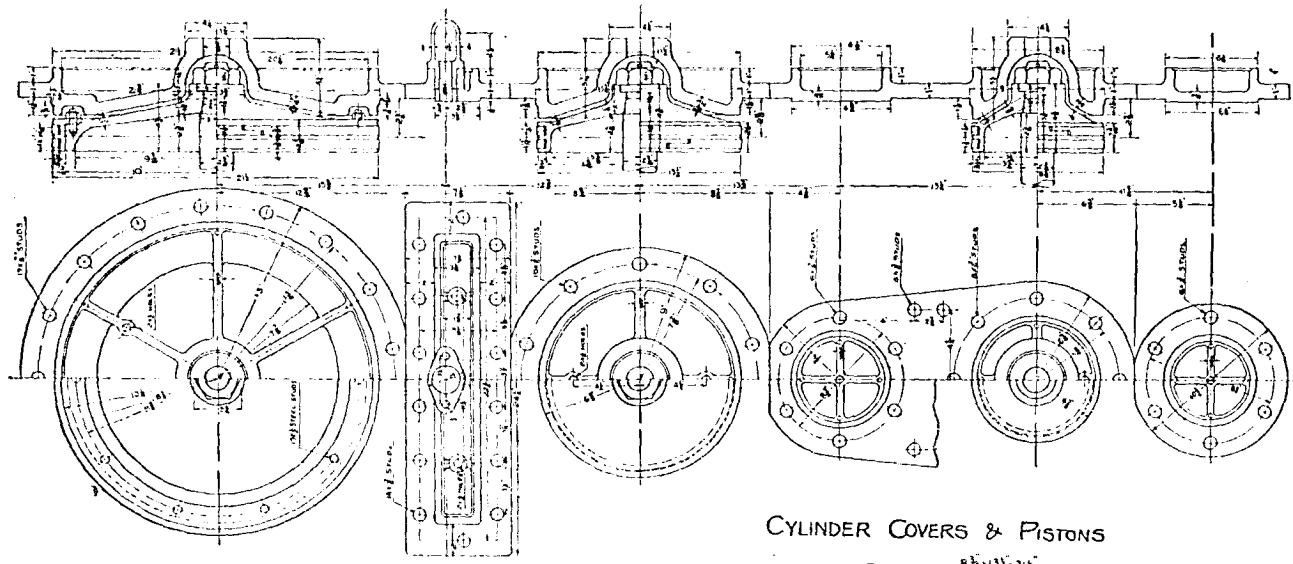
GENERAL ARRANGEMENT  
OF  
TRIPLE EXPANSION SURFACE  
CONDENSING ENGINE  $21' \times 15' \times 21'$   
SCALE 1/4" = 1 FOOT



( 第 五 圖 )



( 第六圖 )



CYLINDER COVERS & PISTONS

FOR ENG  $\frac{8\frac{1}{2} \times 11\frac{1}{2} \times 20\frac{1}{2}}$

SCALE 3 IN = 1 FOOT

( 第 七 圖 )

再參考已往記錄(Data),定各汽缸直徑之比爲

<i>H.P.</i>	<i>MP</i>	<i>L.P.</i>
.4	.63	1

于是得直徑爲  $8\frac{3}{4}"$        $13\frac{1}{4}"$        $21\frac{1}{4}"$ .

復假定衝程(Stroke)與低壓缸直徑之比爲.6,

得                      衝程 =  $13"$

即                      轉數 =  $230 R. P. M.$

就本輪性質言,此種轉數尙微嫌太高,因轉數高則不獨修理費增大,且非停止航行不能修理,縱不然,所需之滑機油亦必甚費,故武漢輪渡方面,表示不願轉數過高,惟本輪並不常需160馬力,即轉數亦不必常至  $230 R. P. M.$ 矣。且本機並無保溫之套缸(Jacket),轉數實宜稍快用汽方較經濟,故定衝程如上述,至此乃得主機之尺碼爲

$$\frac{8\frac{3}{4}" \times 13\frac{1}{4}" \times 21\frac{1}{4}"}{13"}$$

其詳細構造,如第六第七兩圖。

第二步工作,爲規定各汽缸之封汽點(Cut Off),先試定高壓缸之封汽點爲.65,于是得名義上之膨脹率(Nominal Expansion Ratio)爲  $9.32$ ,再假定下列各項:

蒸汽由鍋爐至主機所損失之壓力假定爲 10 磅,

低壓缸之倒壓力(Back Pressure)假定爲 6 磅,

示功圖之乘數(Diagram Factor)假定爲.63.



于是得蒸汽之平均壓力爲

$$M. E. P. = 0.63 \left( 155 - \frac{1 + \log_e 9.32}{9.32} - 6 \right) = 30.2 \text{ 非 / " }.$$

此與以前之假定相合,故高壓缸之封汽點即定爲.65.

關於中壓缸及低壓缸之封汽點,其初本擬根據威騰教授(Prof. Weighton)試驗結果定之,使成爲最經濟之封汽點(Cut off for max. economy);但算得之結果僅爲

$$\text{中壓缸之封汽點} = .58$$

$$\text{低壓缸之封汽點} = .56$$

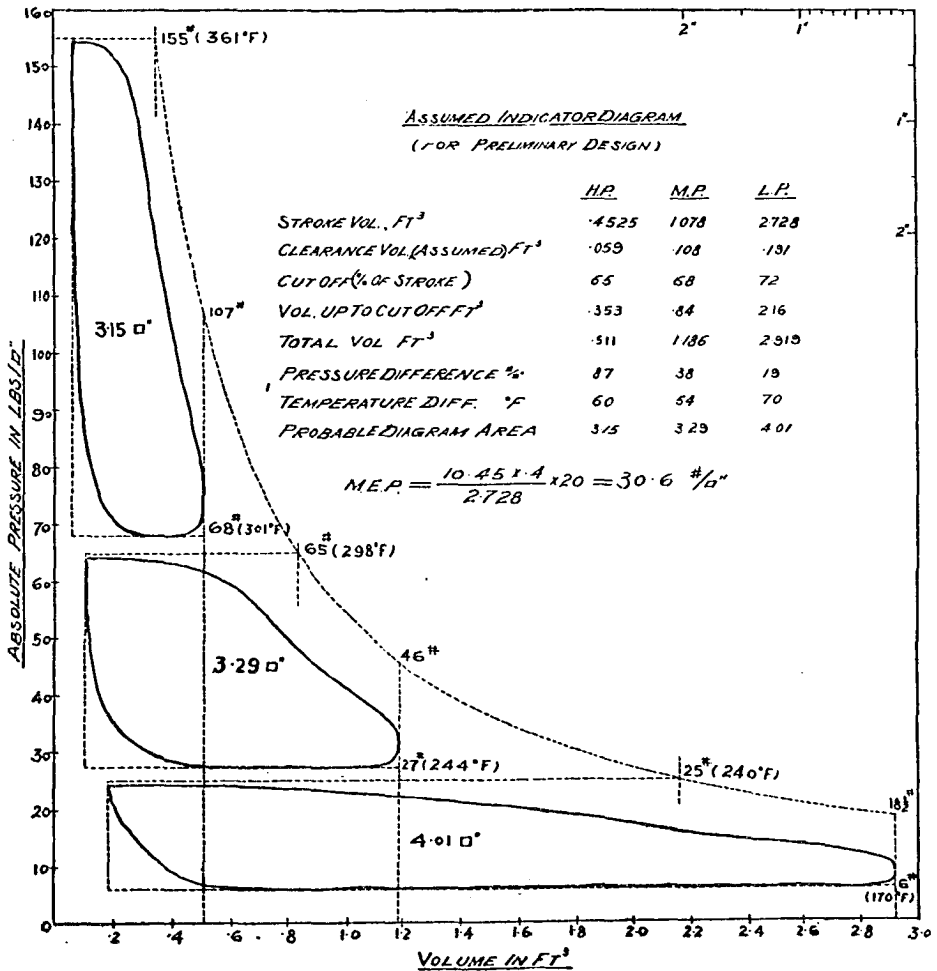
及畫成示功圖後,發見高壓缸之工作太少,低壓缸之工作太多,不合「平易運行」(Smooth running)之原則,惟照該試驗之結論,本機「最大馬力時之封汽點」(Cut off for max. power)爲

$$\text{中壓缸之封汽點} = .61$$

$$\text{低壓缸之封汽點} = .56$$

此時低壓缸之工作,仍嫌過多,乃決定採取下列之省略法設計:—

先假定膨脹線爲正雙曲線[(Rectangular hyperbola),即  $PV = \text{常數}$ ;雖係三缸,仍假定爲一連續不斷之曲線,如第八圖所示,然後假定三缸之汽隙容積(Clearance Volume)爲13%,10%及7%,並將各汽缸之總容積畫入圖內,如圖中直立之虛線所示,此時即不難看出後二缸之封汽點



( 第 八 圖 )

所應在之位置矣，乃假定一值，用試探法分之，使合下列各條件：—

- (1) 各缸內之溫度差(Temperature difference)應略相等；
- (2) 各缸內之工作面積(Area of Work)應略相等；
- (3) 由各工作面積之總和所得之“平均壓力”(M. E. P.) 應約為30磅/口”。[畫工作面積圖時，自應考慮蒸汽在汽缸內所受之一切影響，如摩擦阻力(Wire-drawing)，凝汽，漏汽與壓縮(Compression)等等]。

上圖低壓缸中之工作面積，乃有意使之稍大者，因各種「幫布」(如 Air pump, Circulating pump, feed, 與 Bilge pump 等)皆係由低壓缸之活塞(Piston)推動，其工作自然較多，且凝汽箱(Condenser)中之“真空”(Vacuum)難保不有時降低，(有時甚或完全不用凝汽箱亦屬可能)，為免使低壓缸中生局部之「負性工作」(Negative Work)計，其面積亦以略大為宜。

就第八圖觀之，壓力差(Pressure difference)最大不過87磅，則漏汽之患自應較少；溫度差最大不過70°F，則凝汽之機會亦應不多；故蒸汽之消失量(Missing Quantity)可以減低。再者，各缸工作之分配，大致相等，則機器之平衡(Balancing)亦應合宜。雖然，此圖中一切皆由假定並推測而來，殊難代表真值，本來之目的，亦只在求一大概之近

似值耳。然爲決定封汽點之位置計，此法似大可用。若所畫之面積圖不準，則其差誤或已平均分配于各汽缸矣。對封汽點之位置，應無重大影響，因此乃決定取

*H. P.      M. P.      L. P.*

封汽點(Cut off)      •65      •68      •72.

至此，乃定各汽瓣(Valves)之尺碼如第九圖。該圖附表所示之汽瓣裝配法(Valve Setting)，係由橢圓瓣路法(Valve ellipse)求得；但與由路羅氏(Reuleaux)法求得者亦甚接近。

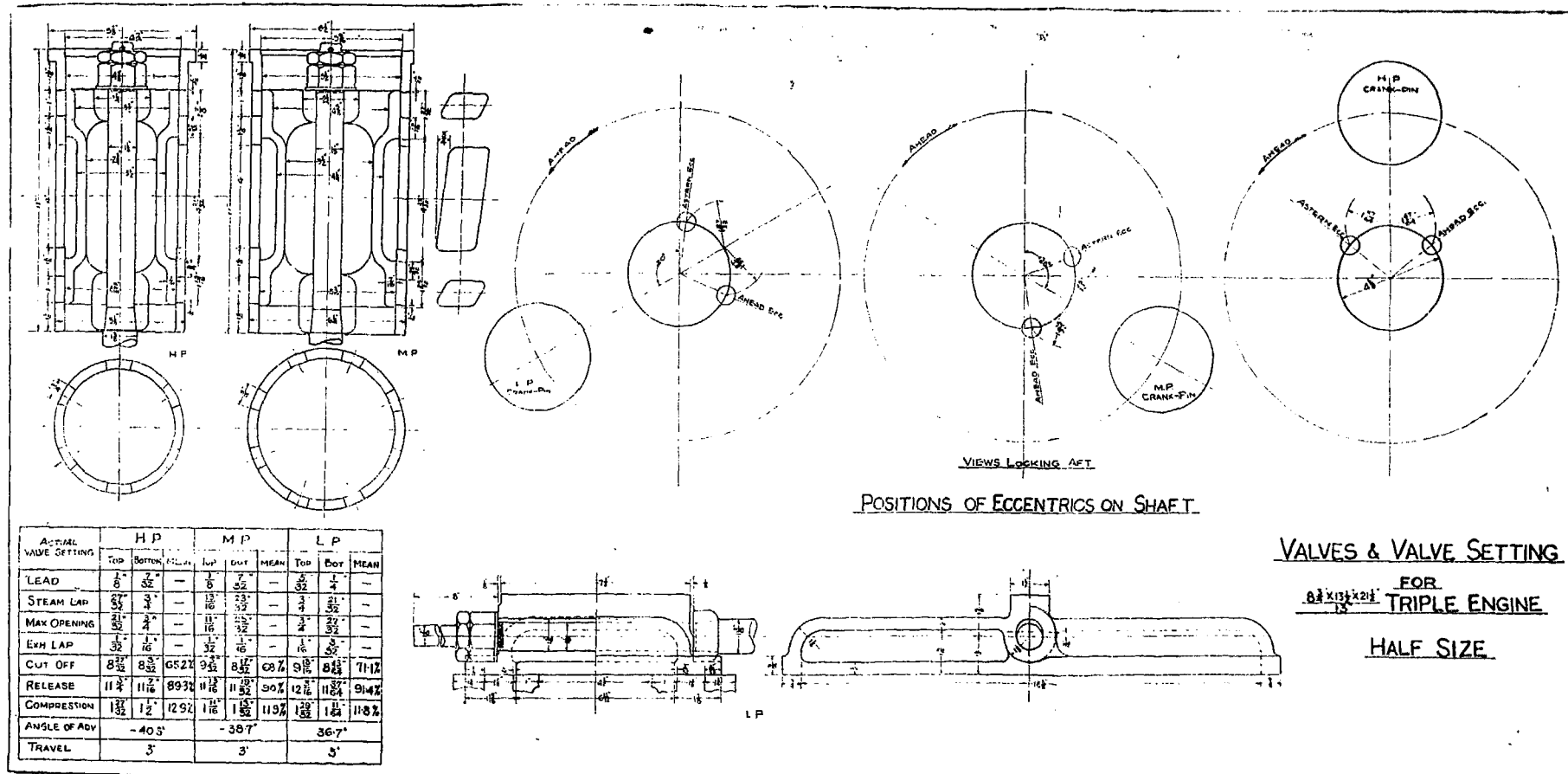
至于活塞桿(Piston rod)，連接桿(Connecting rod)，彎軸(Crank shaft)等等，僅力量上之計算耳，本文擬不細述，其構造如第十至第十二圖所示。

### (三)鍋爐(Boiler)

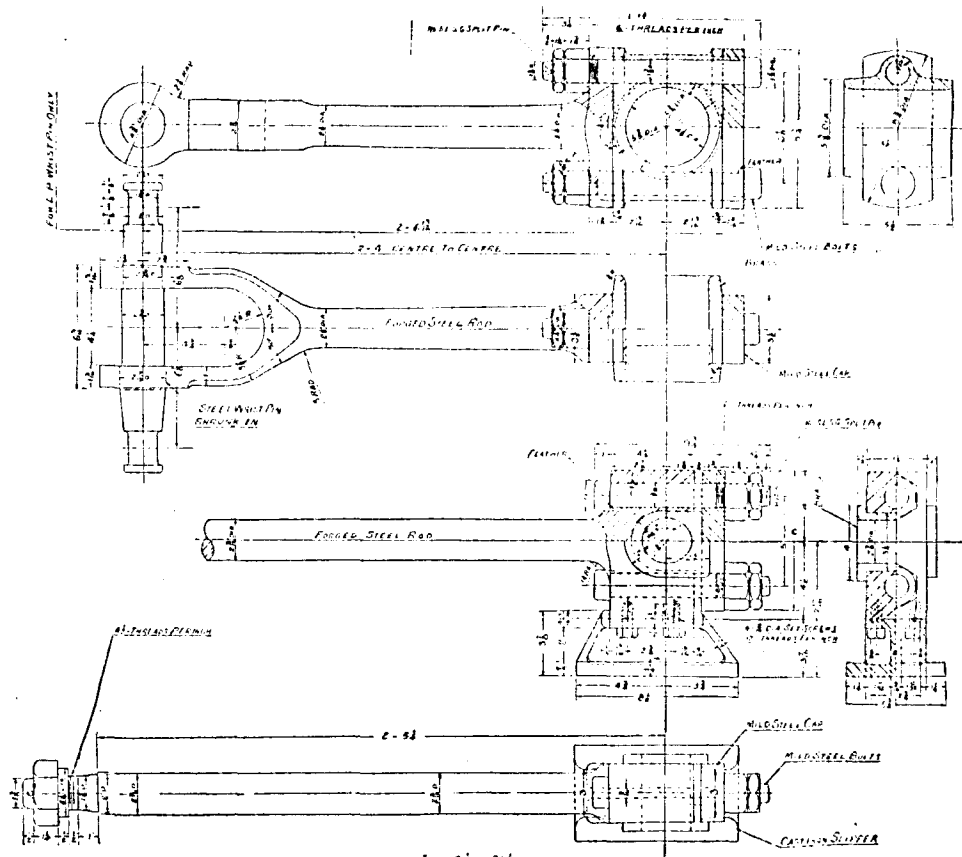
耗煤量既爲本設計之主要點，對鍋爐自不得不特別注意。當時所反覆考慮之點凡三：—

- (1) 受輻射熱(Radiant Heat)之面積，務須在可能範圍內盡量加大；
- (2) 務使水之循環(Circulation)十分流暢；
- (3) 務使火焰(Furnace Gases)流通之速度盡量加大，以期減少所謂“氣膜”(Gas Film)之影響。

但此三點殊不易同時圓滿解決，因欲利用輻射熱，則爐通(Funace)及燃燒室(Combustion Chamber)之面積即應加大；



( 第 九 圖 )



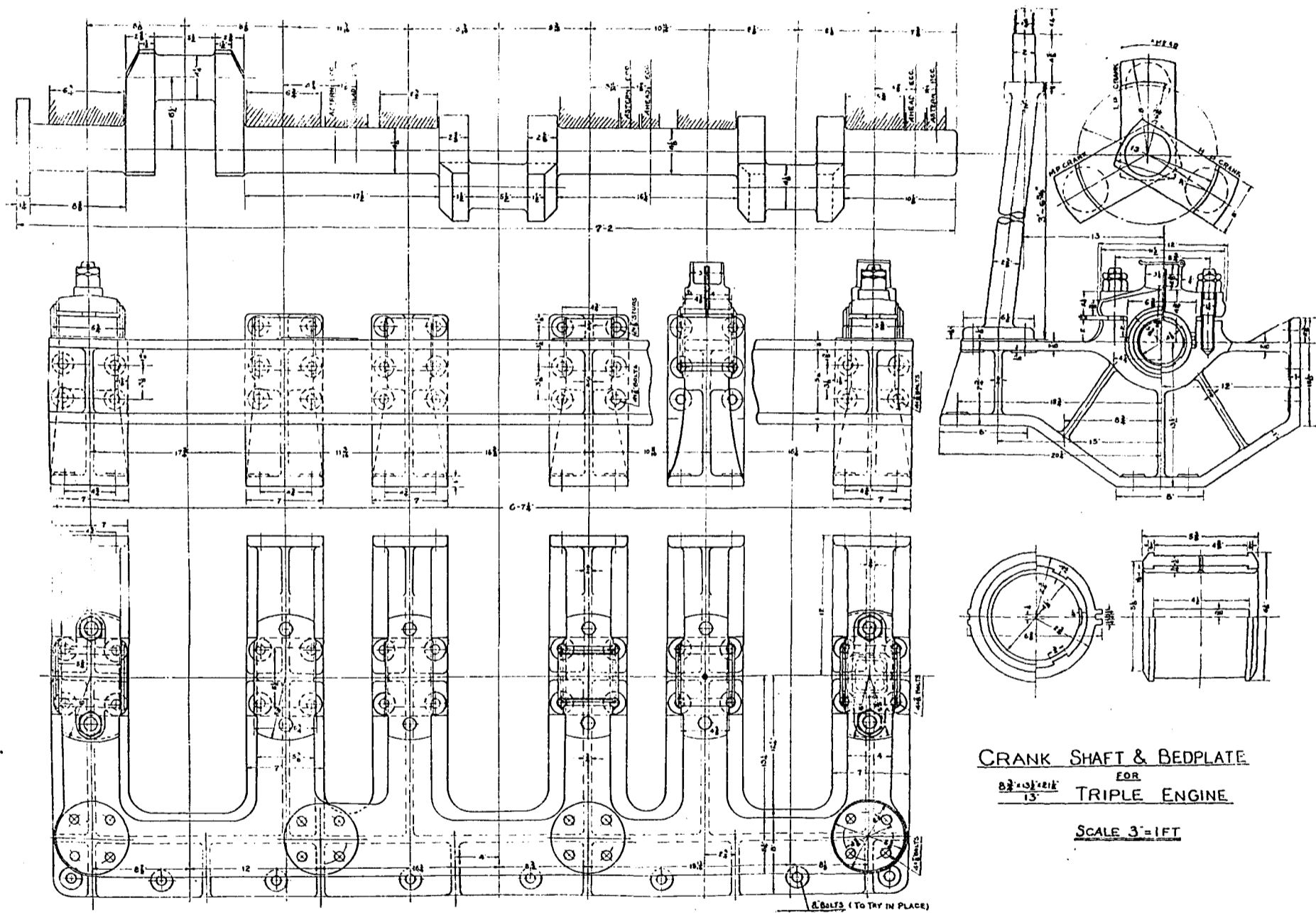
ENGINE  $8\frac{1}{2} \times 15\frac{1}{2} \times 21\frac{1}{2}$   
15

DETAILS OF PISTON & CONNECTING RODS

SCALE = HALF SIZE

( 第十圖 )





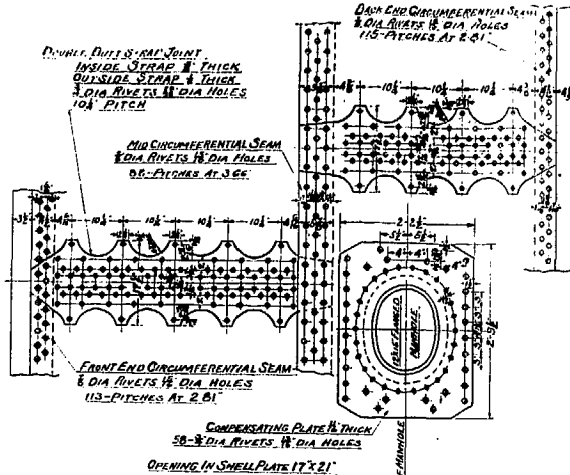
(第十二圖)



— PERCENTAGES —

LONGITUDINAL PLATE	92.4%	BACK CROSS SEAM PLATE	62.5%
LONGITUDINAL RIVET	126.6%	BACK CROSS SEAM RIVET	60.5%
END CIRCUMFERENTIAL PLATE	56.7%	FURNACE PLATE	54.6%
END CIRCUMFERENTIAL RIVET	64.5%	FURNACE RIVET	55.0%
MID CIRCUMFERENTIAL PLATE	24.5%	COMP. CHAMBER PLATE	53.1%
MID CIRCUMFERENTIAL RIVET	74.6%	COMP. CHAMBER RIVET	50.5%

— PARTICULARS —		— LIMITS OF TENSILE STRENGTH —	
HEATING SURFACE TUBES	535 0#	SHELL PLATES & BUTT STRAPS	287032 0#
" " 2 FURNACES	641 #	GIRDERS & LONG STAYS	287032 "
" " TOP SIDE OF C. CHAMBER	450 #	END PLATES & C. C. PLATES	267030 "
" " BACK OF C. CHAMBER	266 #	FURNACES	267030 "
" " BACK TUBE PLATES	13 6 #	MANHOLE COMP. PLATE	267030 "
TOTAL	6843 #	SCREWED STAYS & RIVETS	267030 "
GRATE AREA WITH A-B GRATE	24.9 #		
RATIO G.S. TO H.S.	1.275		
AREA THROUGH TUBES	3.95 #		



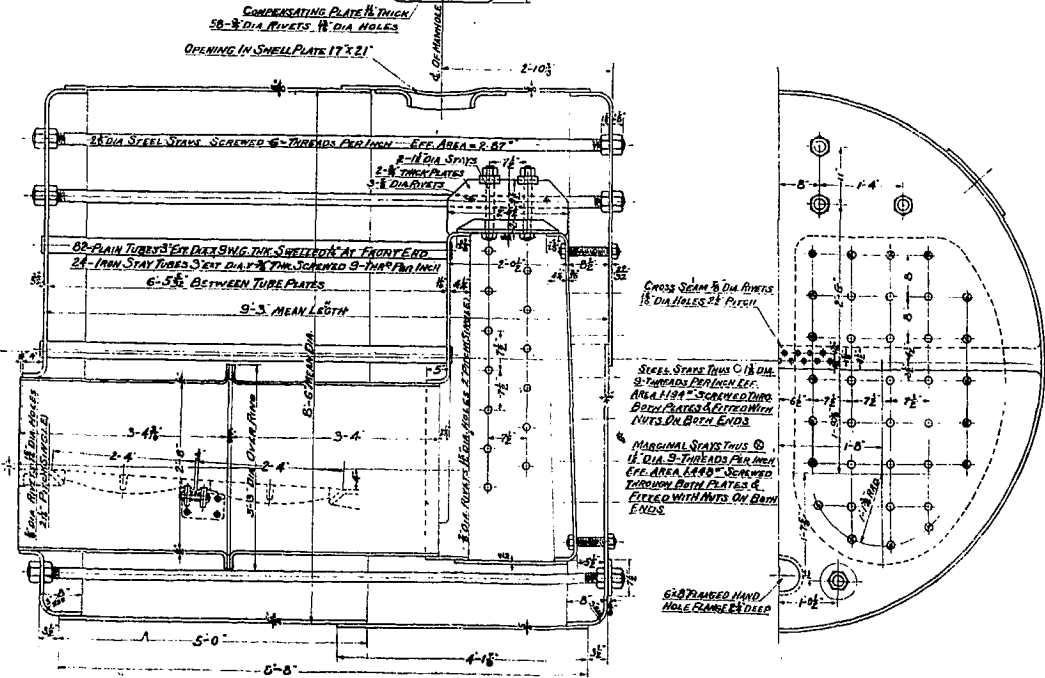
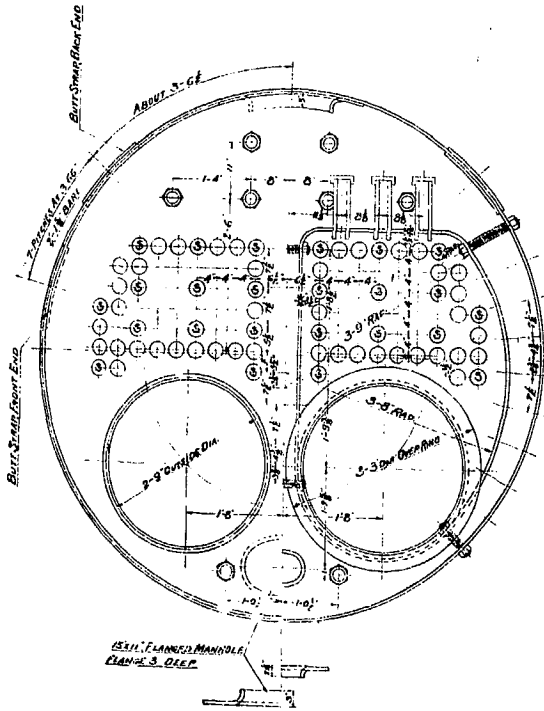
— MARINE BOILER —

8'-6" MEAN DIA. X 9'-3" MEAN LENGTH

WORKING PRESSURE 160 LBS.

HYDRAULIC TEST PRESSURE 290 LBS PER SQ.  
TO LLOYDS STANDARD

SCALE 1" = 1 FOOT

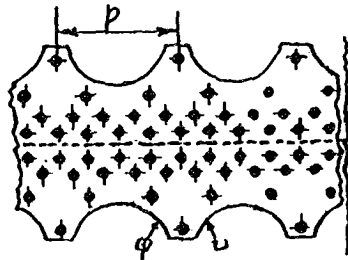


( 第十三圖 )

但爐床之面積(Grate Area),亦將隨之而大,耗煤量或且增高,在此種天然通風式(Natural Draught)之鍋爐中,欲使火焰流通之速度加大,火管(Tubes)之數目即應加多;但火管多則水循環便發生障阻矣,因此種種最後乃採取第十三圖之佈置,爐通共用二個,但爐床(Grate)之長僅四呎八吋,火管之直徑用三英吋,但管數祇一百零六根,惟管與管之間,其空隙僅一英吋,實宜稍稍加大;但又為鍋爐之直徑所限,因火艙中位置不多;且若加大直徑,則鍋爐外殼(Boiler Shell)即非加厚不可,不獨所費不貲,即重量增加亦非船身之利矣。

關於鍋爐外殼,當時尚有一頗為曲折之經過,可附記于此。緣本鍋爐之汽壓,在合同中本只規定為150磅,但現在既已將主機由雙漲式改為三漲式,而低壓缸之直徑又未加大,則此機之馬力必較與此低壓缸大同之雙漲機為小,將來試車時,萬一速度不夠,便擬將汽壓增至160磅,若萬一耗煤過多,除加高汽壓外,更擬改變高壓缸之封汽點,使效率稍稍加高,為預留此種地步計,乃決定在設計時,即將鍋爐及機器之材料力量,統按一百六十磅汽壓計算,由此遂發生一意外之問題焉,本鍋爐之造法,在合同中即已規定一切須合于路易氏法規(Lloyd's Rules),照該法規計算,160磅之鍋爐,其外殼以用 $\frac{11}{16}$ 吋厚

之鍋爐鋼板(Boiler Plate)爲宜。不料當時滬漢各地五金號皆無此種鋼板，如向歐美訂購，又爲時間所不許。正在爲難之際，忽漢口一日本商店有此種鋼板出售，貨在長崎，但馬上可以裝運，價亦不昂云云。但試問誰願購買此種貨物乎？！于是乃決定改變製造方法，就當時各五金號



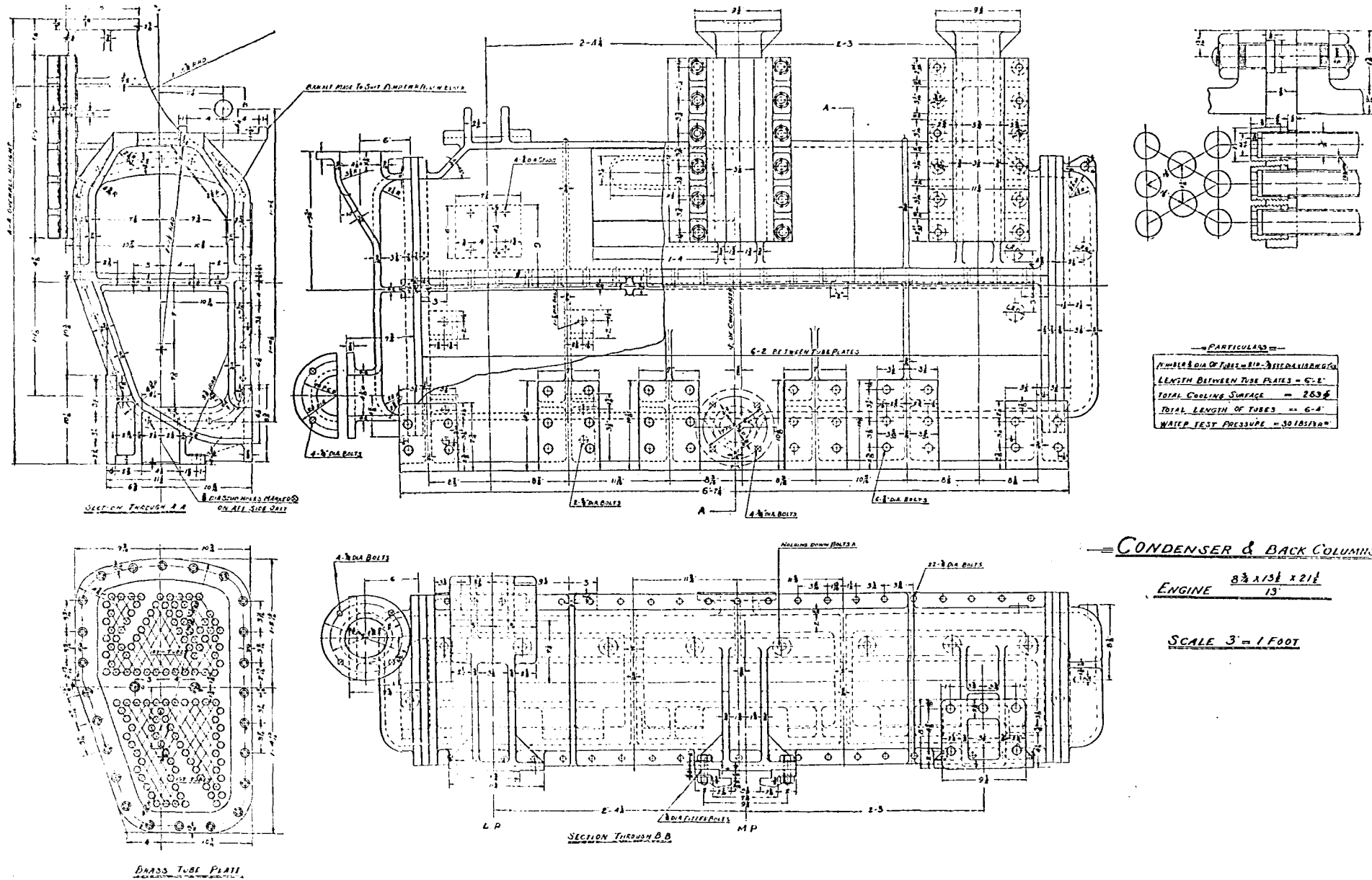
第十四圖

所有之鍋爐鋼板中擇用一種，用 $\frac{3}{8}$ "之鋼板，又略嫌太厚，乃決定用 $\frac{1}{2}$ "者，但將接縫法改如第十四圖所示，此種釘法之效率，可高至百分之92.4。此時即用 $\frac{3}{8}$ "之鋼板，已能受166磅之

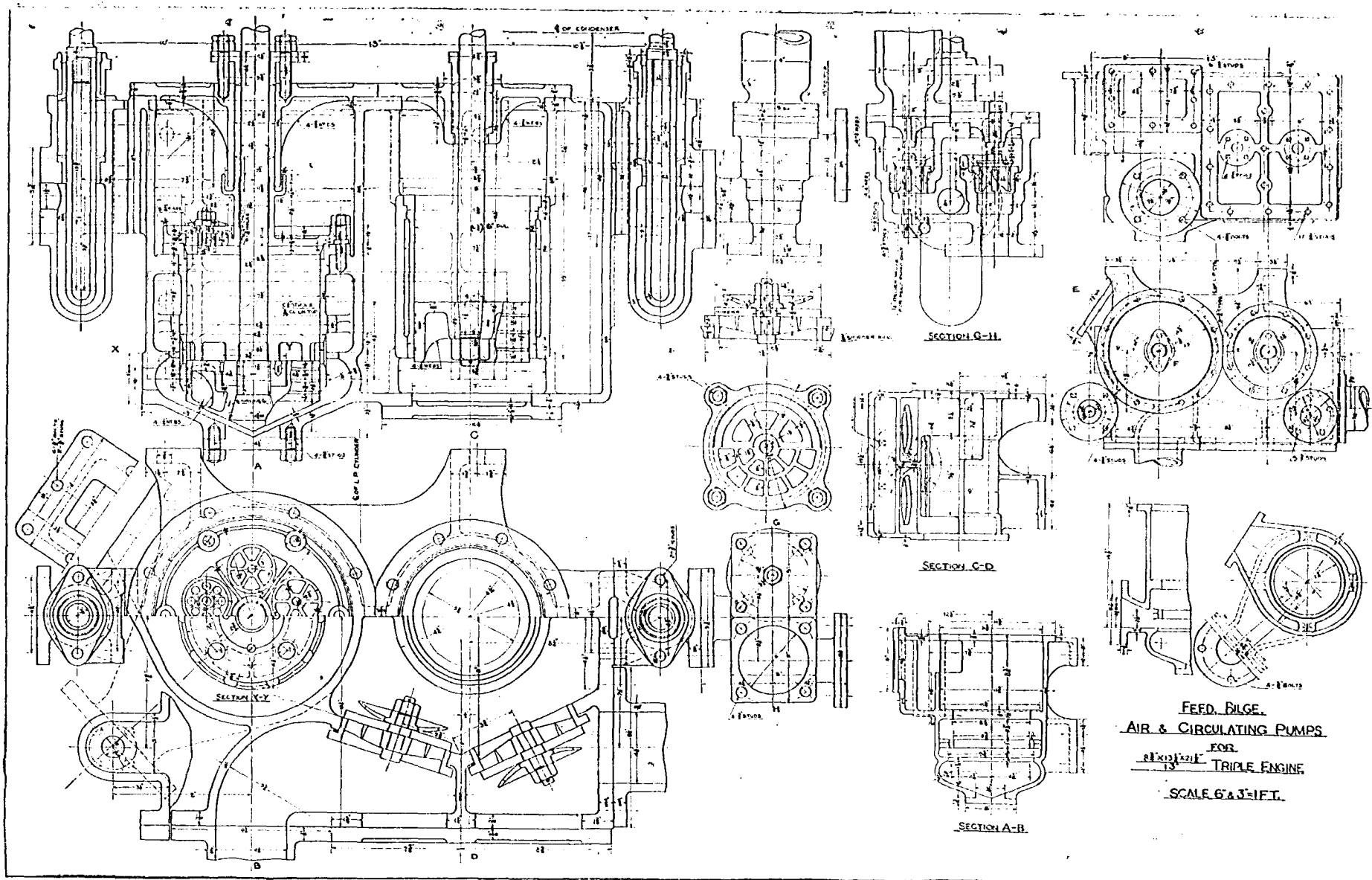
汽壓矣。惟武漢各工廠皆無水壓鉚釘裝置(Hydraulic Riveter)，僅用手力鉚釘，是否可靠，殊無絕對把握。幸此次鍋爐工人作事特別仔細，造成後用冷磅試驗(Hydraulic Test)，各接縫尚無漏水現象，僅上圖中甲乙等處略有汗意耳。就大體言，固可認爲滿意也。當時因貪接縫效率(Efficiency of Joint)之高，遂將“釘距”(Pitch)定爲 $1\frac{1}{4}$ "，此似微嫌太大，應以再減少許爲宜。

#### (四) 輔件(Auxiliaries)

##### 凝汽箱(Condenser)



第十五圖



(第十六圖)

就大機器言,每馬力約祇需一平方英尺之凝汽面積 (Cooling Surface) 即足。但本機馬力甚小,且恐江水不潔,以致凝汽面之效率日久變低,故定凝汽面積為每馬力  $1\frac{1}{2}$  平方英尺,即共需凝汽面 240 平方英尺。採用  $1\frac{1}{2}$ " 外徑之銅管,管長不可超過管徑之 100 倍,即 6'-3"。乃決定用 6'-2", 即共需管二百根。但繪圖時共用 214 根,如第十五圖所示。

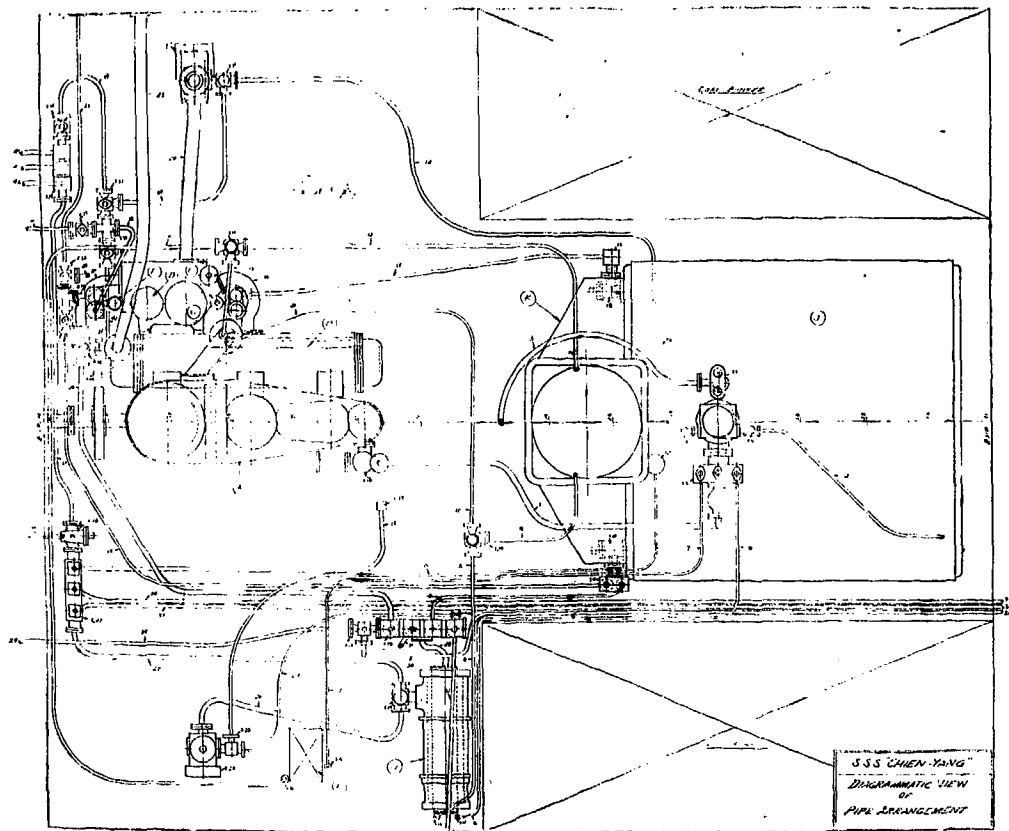
#### 循環幫布 (Circulating Pump)

假定機器之耗汽量 (Steam Consumption) 為每馬力每小時 18 磅,則待凝之蒸汽約為每小時 3000 磅。在夏季,江水溫度應約在華氏 85 度左右 (此係揣測之溫度)。此時若欲得 27" 至 28" 之“真空” (Vacuum), 所需之水約應為蒸汽之 70 倍 (即每分鐘約 350 英加侖)。在冬季,水溫甚低,40 倍于蒸汽之水量已大足用, (即約 200 英加侖)。若幫布太大,則凝成之水必致太冷,不獨有傷鍋爐,且損失熱量太多,亦不經濟。太小,又恐不宜於夏季。幫布上本有調節機關,但範圍究屬有限,不得已乃將循環幫布之活塞及內套共作二副,一副之直徑為 6"。備平時用;另一副之直徑為  $6\frac{1}{4}$ ", 專備夏季用。(參觀第十六圖)。試車時適在春初,故裝 6" 徑之活塞,彼時之真空為 28", 至本年夏季,滿擬必須改裝  $6\frac{1}{4}$ " 之活塞矣,不料夏季業已度完,仍無更換之必要。雖在盛夏,其“真空”仍在 27" 左右。意者本年夏季原不熱

有以致之歟。抑凝汽箱尚新，效力特大歟？不過真空尚可減低至26"，仍不碍事，(照Weighton氏試驗此類機器之真空過高，反不經濟，在26"至28"時耗汽最少)，故雖來年大熱或亦不必更換也。

#### 爐水幫布(Feed Pump)

本機試車後，一切皆甚如意，惟爐水幫布喜作劈拍之聲，聞者病之，推原其故，當係由于機器轉數過高或吸水門(Suction Valve)漏水等原因所致，蓋此幫布之吸水門及輸水門(Delivery Valve)，皆屬自動式(Automatic)，啓閉需時，倘吸水門關閉太遲，或關閉不密，則“柱狀活塞”(Plunger)下行時輸水門不能立即張開，須俟下行速度加大時，始被水壓力驟然衝開，此時輸水管中之水，一律須於極短時間內加速前進，遂致震動作聲，大約機器轉數愈高，便愈易發生此弊，同時水門之重量，及門座之密合與否，亦有重大關係，故每一水門各有其適宜之來回數，過此以往，便易發聲，此通例也，本機之轉數常在190至230 r.p.m.之間，雖微嫌稍快，似亦不應便發大聲，想係因新製之水門，各面尚不十分密合，或因水門重量太輕，故關閉過遲，遂有此種現象，乃加一細彈簧(Spring)于其上，聲音果減小不少，迨後行走既久，聲音幾至全無，雖轉數高至230轉仍不發聲，僅補進冷水時尚偶一作聲耳，然發聲並不甚



S.S. "CHEN-YANG"  
 Diagrammatic View  
 of  
 Pipe Arrangement

LIST OF MACHINERY

MARKED	NAME
A	MAIN ENGINE
B	CONDENSER
C	AIR PUMP
D	CIRCULATION PUMP
E	FEED PUMP
F	STEAM & FEED PUMP
G	GENERAL SERVICE PUMP
H	DYNAMOMETER ENGINE
J	MAIN BOILER
K	STEAM BOX

LIST OF FITTINGS

1	DOUBLE SEAM BALL COCK VALVE
2	STOP VALVE MAIN STEAM LINE
3	FLYING STEAM VALVE CHECK
4	COCK FOR WASTE STEAM
5	COCK FOR WASTE TO WINDLESS
6	RAFFAN BALL COCK
7	SCUM VALVE
8	FEED CHECK COCK MAIN
9	FEED CHECK COCK AUXILIARY
10	FEED CHECK COCK CHECK PASSAGE
11	STOP VALVE FOR GENERAL SERVICE PUMP STEAM
12	STOP VALVE FOR GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
13	STOP VALVE FOR GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
14	STOP VALVE FOR DYNAMOMETER ENGINE STEAM
15	STOP VALVE FOR DYNAMOMETER ENGINE EXHAUST
16	COCK COCK FOR STEAM ENGINE EXHAUST TO CONDENSER
17	MAIN ENGINE STOP VALVE
18	AUXILIARY INJECTION VALVE
19	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO MAIN ENGINE
20	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP
21	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
22	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
23	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
24	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
25	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
26	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
27	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
28	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
29	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
30	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
31	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
32	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
33	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
34	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
35	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
36	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
37	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
38	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
39	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
40	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
41	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
42	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
43	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
44	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
45	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
46	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
47	CHANGE COCK FOR SEA WATER TO GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST

LIST OF PIPES

PIPE NO	SIZE	PURPOSE
1	3"	MAIN STEAM TO ENGINE
2	6"	EDUCTION PIPE
3	2"	WASTE STEAM
4	1 1/2"	STEAM TO WINDLESS
5	1"	STEAM TO WHISTLE
6	1 1/2"	STEAM TO GENERAL SERVICE PUMP
7	1 1/2"	STEAM TO DYNAMOMETER ENGINE
8	1 1/2"	GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST
9	1 1/2"	GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST TO CONDENSER
10	1 1/2"	GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST TO CONDENSER
11	1 1/2"	DYNAMOMETER ENGINE EXHAUST
12	1 1/2"	DYNAMOMETER ENGINE EXHAUST TO AIR PUMP
13	1 1/2"	DYNAMOMETER ENGINE EXHAUST TO CONDENSER
14	2"	BOILER BLOW-OFF
15	1 1/2"	SCUM PIPE
16	3/4"	AIR PUMP SUCTION
17	1 1/2"	MAIN FEED PIPE
18	1 1/2"	AUXILIARY FEED FROM GENERAL SERVICE PUMP
19	1 1/2"	AUXILIARY FEED FROM FEED PUMP
20	1 1/2"	CIRCULATION PUMP SUCTION
21	1 1/2"	CIRCULATION PUMP DELIVERY
22	1 1/2"	CIRCULATION WATER MAIN
23	1 1/2"	CIRCULATION WATER DISCHARGE OVERBOARD
24	1 1/2"	CIRCULATION WATER FOR GENERAL SERVICE PUMP
25	1 1/2"	SEA WATER TO AIR COCK
26	1 1/2"	GENERAL SERVICE PUMP SUCTION FROM SEA
27	1 1/2"	GENERAL SERVICE PUMP EXHAUST TO CONDENSER
28	1 1/2"	GENERAL SERVICE PUMP DELIVERY
29	1 1/2"	GENERAL SERVICE PUMP DISCHARGE TO AIR PUMP
30	1 1/2"	GENERAL SERVICE PUMP DISCHARGE TO FEED PUMP
31	1 1/2"	GENERAL SERVICE PUMP DISCHARGE TO FEED PUMP
32	1 1/2"	GENERAL SERVICE PUMP DISCHARGE OVERBOARD
33	2"	FRESH WATER TANK SUCTION
34	2"	ENGINE ROOM BILGE SUCTION
35	2"	ENGINE ROOM BILGE SUCTION
36	2"	AFT WING BILGE SUCTION STARBOARD
37	2"	CONNECTING PIPE
38	1 1/2"	BILGE PUMP SUCTION MAIN
39	1 1/2"	BILGE PUMP SUCTION FROM MAIN
40	1 1/2"	BILGE PUMP SUCTION FROM SEA
41	1 1/2"	BILGE PUMP SUCTION FROM AIR PUMP
42	1 1/2"	ENGINE ROOM BILGE SUCTION
43	1 1/2"	BILGE PUMP DISCHARGE OVERBOARD
44	1 1/2"	BILGE PUMP DISCHARGE TO FEED SERVICE
45	2"	AFT WING BILGE SUCTION PORT
46	2"	AFT WING BILGE SUCTION PORT
47	2"	AFT WING BILGE SUCTION

(第十七圖)



著,聽之而已。

各幫布之詳細構造,如第十六圖。

#### 總務幫布(General Service Pump)

總務幫布之任務,在於必要時代理一切(或大多數)幫布之職務。本機艙內之各種幫布,除“空氣”幫布(Air pump)外統可由總務幫布代行其職務。其接管法詳第十七圖。該總務幫布為一普通臥式雙缸蒸汽幫布(Duplex Steam Pump)。當時為節省時間計係由市上購入。

[附註]全船所有各機件,除此幫布與一電鼓係由市面購入外,其餘一切機件,大自主機,小至汽哨,皆由江漢廠自行設計製造。尚有許多機件如蒸汽絞錨機等等,未及細述。

#### (五)螺旋槳(Propeller)

螺旋槳關係船速及耗煤量至鉅,其效率自以愈高為愈妙。惟本輪尚有其他限制,不能僅以效率為唯一之目標。前此建設廳所有之渡輪中,曾有因乘客太少或多數擁擠于前艙時,船尾掀起致螺旋槳之尖端露出水面者。若有此種現象發生,則螺旋槳之效率即大受影響矣。本輪吃水又比其他渡輪為小,更易發生此弊。故不得不將螺旋槳之直徑縮至最小限度,但直徑過小亦必難使螺旋槳達到最高之效率。兩全之道,殊不易得。不得已,乃

將機器轉數略略加高。此木輪機器之衝程等等所以規定如上述也。

木輪之螺旋槳，係根據 Froude 與 Taylor 二氏之試驗結果分別設計而成。但在未算之先，尚有一部工作，即求螺旋槳之轉數及其所應吸收之馬力是也。木輪之機器馬力，雖定為 160 匹，但平時航行並不需如此之多，故螺旋槳所需之馬力，應以螺旋槳為出發點以估計之。惟此種估計，至難精確，因其變數太多，且皆不易確知故也。其中包括機械效率 (Mechanical Efficiency)，[輸送效率] (Transmission eff.)，[螺旋槳效率] (Propeller eff.) 及 [船壳效率] (Hull eff.) 等。為簡便計，可將各種效率合併計之，統稱為推進效率 (Propulsive efficiency)。木輪之主機，尚須推動各種幫布，亦即將此等幫布所耗之馬力歸入推進效率之內。幾經斟酌並計算，乃假定推進效率為 0.43。于是得下表：—

船速 ( $V$ )	8½	8¾	9	(以海裡計)
有效馬力 (E.H.P.)	48	54	61	(由第四圖得來)
機器之馬力 (I.H.P.)	112	126	142	

就木輪機器言， $IHP = 0.238 P_m N$ 。此處之  $P_m$  為平均有效壓力 (對低壓缸言)， $N$  為每分鐘之轉數。前在機器設計項下，本已定  $P_m$  為 30 磅，但木輪性質與他輪不同，在平時航行，常隨載重及天氣之變遷以調節鍋爐汽壓，故  $P_m$  並不一

定。爲兼顧平時效率計，乃假定如下：—

在	$V$	=	8½	8¾	9	Kts. 時,
假定	$P_m$	=	26½	28	29½	lbs./in. <sup>2</sup>
即	$IHP/N$	=	•63	•67	•70	
于是約得	$N$	=	180	190	200	R.P.M.
再假定	$\eta^h$	=	•63	•62	•61	
于是得	$P.H.P.$	=	78	87	100	$\left\{ P.H.P. = \frac{EHP}{\eta^h} \right.$

此處  $\eta$  爲螺旋槳之效率， $h$  爲船壳效率， $P.H.P.$  爲螺旋槳所吸收之馬力(H.P. absorbed)。本來  $h$  之值常去 1 不遠，此處所假定之  $\eta$  似略嫌太小；但因  $E.H.P.$  尙不十分可靠〔係由 Taylor 氏試驗結果，勉強用“外延法”(Extrapolation)求得者〕，故亦任之。

然後乃假定螺旋槳在“依流”(Wake Water)中之速度爲 .84V，于是由 Taylor 氏法，得

在	船速(V)	=8½	8¾	9	海裡時,
得	螺槳之直徑	=5	4.98	4.98	英尺
	螺距(Pitch)	=5.33	5.21	5.13	英尺
	效率(Eff.)	63.7	63.3	62.9%	
	滑失(Slip)	26.0	26.5	27.0%	
	車葉數(No of Blades)	皆係四葉式			
	寬徑比(Mean Width Ratio)	皆爲 .25			

上表中之直徑皆約爲 5 呎，即展開面約爲 10 平方呎，甚

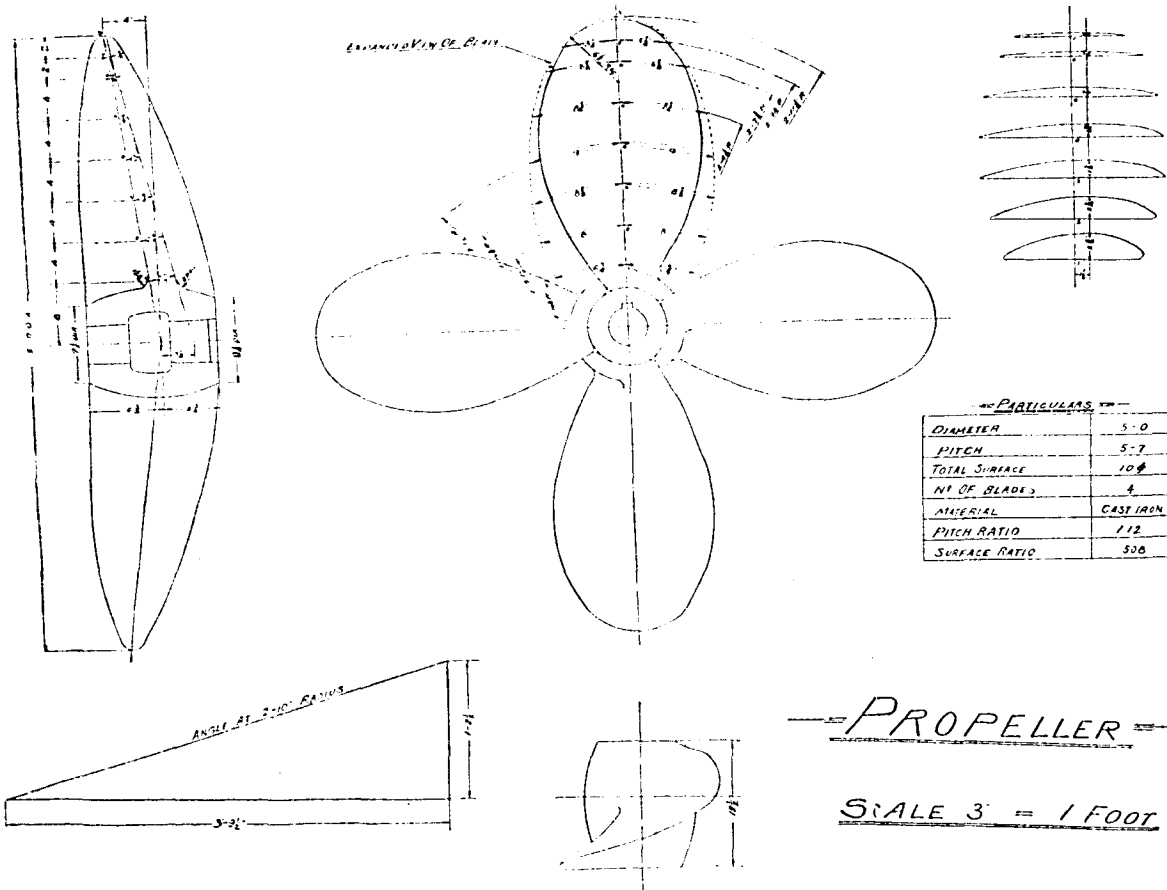
合木輪之用惟螺距尚須斟酌，乃再由Froude氏法，求得下列之結果：—

在	船速( $P$ )	=	8%	9	海涅
	直徑	=	5	5	英尺
	面積	=	10	10	平方呎時，
得	螺距	=	5'-8"	5'-7"	
	效率	=	67.6	67.0	%

于是乃決定用直徑 5'-0"，螺距 5'-7"。其餘如第十八圖所示。(上列設計，尚係臨時性質；不過試車後結果尚佳，故亦未再改製，就試車後之情形觀察，若改M.W.R.為2，同時將螺距加大，結果或當更佳)。

### (六)試車(Trial)

本輪試車時所用之方法，驟聞之殊覺滑稽。因武漢地方尚無試車用之“測程”裝置(Measured Mile)，初本擬請建設廳裝設，後經該廳航政處提議：即將此船由漢口江漢關開至金口，然後開回原處，詳記其所需時間及煤斤，即據以計算速度與耗煤量。蓋由江漢關至金口之距離，業經海關測定為十七海涅也，此項辦法，筆者驟聞之下幾欲失笑，但繼而思之，似亦未可厚非。因此距離大于“測程”之距離一十七倍，縱海關之丈量錯到半海涅，在每海涅中之差亦不過卅四之一耳(即2.94%)。假定某船之速度為10海涅，所記之速度，多則不過10.29海涅，少



( 第十八圖 )

亦不過 9.71 海涅耳,相差固不甚巨也。况海關測量之精確度未必不較優於此乎。雖然,此究非善法也,不能曲爲之諱。

筆者因事未克參加此項試驗,第就雙方正式試車後應方向省府報告中摘錄其結果如下:—

由漢口江漢關至金口河口止,共十七海理。

上行所需時間爲 2 點 12 分,即 123 分;

上行所需時間爲 1 點 31 分,即 91 分;

共用萍煤(二號小槽)2013 磅。

由此計算,得

$$\text{上行速度爲每小時 } \frac{17 \times 60}{123} = 7.727 \text{ 海涅}$$

$$\text{下行速度爲每小時 } \frac{17 \times 60}{91} = 11.209 \text{ 海涅}$$

$$\text{平均速度爲每小時 } 9.468 \text{ 海涅}$$

$$\text{耗煤量爲每小時 } \frac{2013 \times 60}{223} = 541.6 \text{ 磅}$$

試車時之平均吃水爲 4'-6",其時排量應爲 154 噸。此比設計之排水量(197 噸)尙少 43 噸,但速度則已超過一海涅。查

$$\text{耗煤量} \propto \text{馬力}$$

$$\text{而 } \text{馬力} \propto \Delta^{\frac{2}{3}} V^{\frac{10}{3}}$$

此處  $\Delta$  爲排水量,  $v$  爲速度, 若命耗煤量爲  $C$ , 則

$$\frac{C_1}{C_2} = \left( \frac{\Delta_1}{\Delta_2} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{10}{3}}$$

故按合同所訂之速度 8½ 海浬, 與設計之排水量 197 噸折合計算, 其耗煤量應爲

$$C_1 = 541.6 \left( \frac{197}{164} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{8.5}{9.468} \right)^{\frac{10}{3}}$$

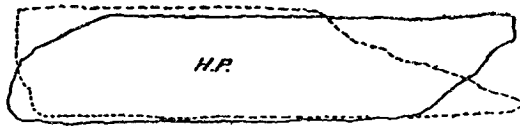
$$= 445 \text{ 磅/小時}$$

比所担保之耗煤量尙少 105 磅。(事後聞悉該次試車時, 各監試員曾在金口登岸, 停船約半小時, 故上記之速度與耗煤量尙非真值, 換言之, 卽速度尙不止 9.468 海浬, 耗煤量亦不及 541.6 磅, 因將停時與初開時之速度自非最大速度, 而停船期間內之耗煤量又須除外故也, 但因此“十七海浬”之距離根本亦有問題, 或者真值與上記之數字相去不遠, 亦未可知)。

至于平時之耗煤量, 據航政處在近十個月內之統計, 其結果如下:—

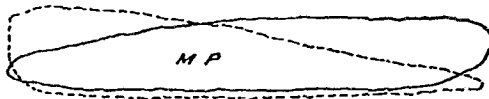
建夏輪每十二小時需煤	2.10 噸
建陽輪每十二小時需煤	1.93 噸
相差	0.17 噸

每日晨五時許起碇, 至夜十二時許收班, 每日工作約十九小時, 若每月平均按 30½ 日計算, 則建陽比建夏每月少



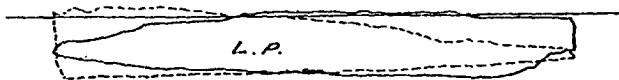

---

SPRING 90 R.P.M. 222  
 MEAN AREA 2.2350" MEAN HT 6.27"  
 .. LENGTH 3.563" M.E.P. 56.44 <sup>LB</sup>/<sub>sq</sub>"  
I.H.P. = 49.5




---

SPRING 60 R.P.M. 222  
 MEAN A. EA 1.3740" MEAN HT 4.114"  
 .. LENGTH 3.34" M.E.P. 24.68 <sup>LB</sup>/<sub>sq</sub>"  
I.H.P. = 51.5




---

SPRING 30 R.P.M. 222  
 MEAN AREA 1.2560" MEAN HT 3.45"  
 .. LENGTH 3.64" M.E.P. 10.35 <sup>LB</sup>/<sub>sq</sub>"  
I.H.P. = 54.8

TOTAL IHP 156

( 第 十 九 圖 )



耗之煤約爲

$$\frac{0.17}{12} \times 19 \times 30 \cdot 5 = 8.2 \text{ 噸。}$$

而此二輪之工作情形，則完全相同，造價亦復相同。

### 主機試驗

本輪未正式試車前，曾在江中自由開行一次，當時曾用示功儀(Indicators)測驗馬力，其結果如第十九圖及下所示：—

壓力(由表讀出)磅/□"				真空度 (吋)	迴轉數 (R.P.M.)	馬力 (IHP)
鍋 爐	高壓缸	中壓缸	低壓缸			
152	141	49	3	27.9	222	156

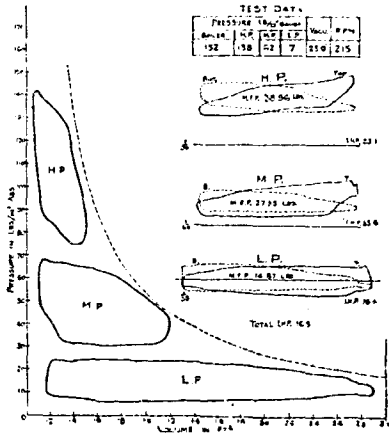
本擬續試 160 及 140 磅汽壓時之馬力，不料示功儀忽發生障礙，(因係新購未用者，各部尙不十分敏活)，遂即停止，取回修理後本擬重試，但船已交廳，加入航綫行駛矣，因見馬力已達 156，故亦未急于重試，及著筆爲此文時，始發見第十九圖中大氣壓力線(Atmospheric Line)之位置皆欠準確，不能畫成(綜合圖)(Combined Indicator Diagram)與第八圖比較，乃於二五年一月八日重往試驗，以爲此次可以順利進行矣，不料該機又因業已繼續工作十閱月，漏汽之處頗多，尤以高壓缸之「塞口」(Stuffing Box)爲最甚：蒸汽外泄，繚繞若雲霧，心甚悔之，但因已與航政處接洽

妥當，未便中輟，遂仍從事試驗。試得數圖後，覺高壓缸之工作圖面積過小，頗以爲異；及細詢船中人，始知高壓缸之「活塞筭」(Piston Rings)已只剩一匹矣。故所有之馬力幾全入後二缸，中缸之工作圖幾欲越出膨漲線之外。此由第二十至二十三圖可以概見。但事有出人意料之外者，此時之馬力則較前反增；雖在每分鐘230轉時，機器之震動(Vibration)亦非常之微，比初試車時反小。至於爐水幫布之響聲，亦低至不易察覺。綜觀全機，除漏汽外，固仍可認爲滿意也。茲姑將此次試驗之結果附刊于此，以殿斯篇。

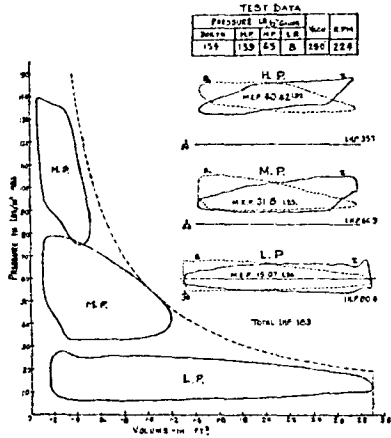
第二十圖代表滿載(Full load)時之馬力，計165匹；第二十一圖代表輕載(Light Load)時之馬力，計144匹；第二十二圖代表超載(Over-load)時之馬力，計183匹；第二十三圖代表超壓並超載時之馬力，計205匹。可惜因無測桿裝置，不知在上述各種馬力時船速究爲幾何！亦憾事也。

惟此時之馬力何以比十月前反大，殊爲一有趣之問題。大約此時因高壓缸之活塞漏汽過多，無形中已將此三漲式機，局部的變爲雙漲式機矣。雙漲機之馬力，自應比同大之三漲機爲大。但此亦得力于低壓缸之「平汽門」(Flat Slide Valve)；若低壓缸亦用「圓汽門」(Piston Valve)，則亦必漏汽，馬力定較前爲低矣。此時機器既已局部的

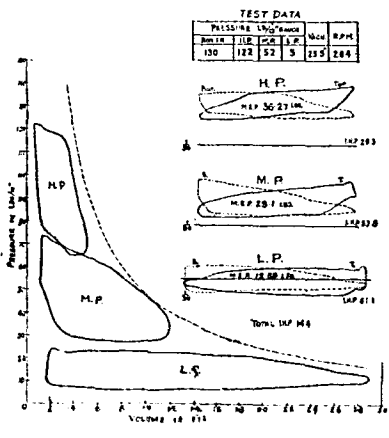




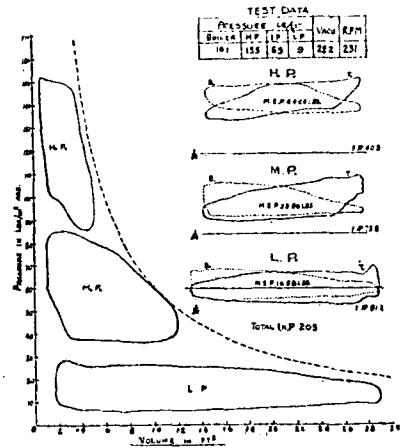
(第二十圖)



(第二十二圖)



(第二十一圖)



(第二十三圖)

變爲雙漲機，其熱效率或當稍遜，亦未可知，但詢之船中人，此時耗煤量並未增加，且煤質轉較前爲劣，意者此時各部已經行走如法，故推進效率較高，有以補償熱效率之不足歟？惟分別本亦甚微，非精密試驗不知也。就歷次渡江時之觀察，該機在日常航行時，其汽壓尚較低於第二十一圖所示；高壓缸之汽壓，平均約爲100磅有奇，迴轉數率在每分鐘190轉上下，由此推之，平時所用之馬力應在110與120之間，至於速度，大約在8½海裡左右，若然，則用推勒氏法以估計馬力，亦大致適合於此類船舶矣，惟爲穩妥計，似宜照算得之值加大15%左右。

計算上列各種馬力時，「活塞桿」(Piston Rod)之面積並未除外，「綜合圖」係由示功圖之平均值繪成，圖中各「膨漲線」並非「飽和線」(Saturation Curve)，乃係假定 $PV = \text{常數}$ ，並假定此常數爲「初壓」(Initial Pressure)與高壓缸封汽時之容積(Volume up to cut off)之連乘積以畫成者。至于「初壓」則係假定等於高壓缸之最大汽壓與大氣壓力之和。(各圖附表所列之氣缸壓力皆係最大值)。此種算法，自不能完全代表蒸汽在各缸中之實狀，但此處之目的，亦只在得一略圖，與第八圖比較，作爲下次設計時之參考耳。本亦可用「鍋爐汽壓」減若干磅以代「初壓」，但作上項試驗時，總汽門(Engine Stop Valve)有一二次未盡全開，

[鍋爐壓力]與[初壓]之關係自不一定,故上述之[保存記錄](Data-keeping)法,似較可靠,雖此次試驗所得之結果並不能代表該機在健全時之狀況,但漏汽時之記錄,亦自有其價值,固仍可留作參證之資也,其他各項如下表:—

	高壓缸	中壓缸	低壓缸	單位
行程容積(Stroke Volume)	•4525	1•078	2•728	立方尺
汽隙容積(Clearance Vol.)	•062	•112	•165	立方尺
汽隙容積對行程容積之比	13•70	10•40	6•03	%
封汽時之容積(Vol. at Cut Off)	•356	•845	2•131	立方尺
總容積(Total Volume)	•5125	1•190	2•893	立方尺

(表中所列之汽隙容積,係由汽缸圖算出)

至於平均壓力 $P_m$ 及示功圖乘數[(Diagram Factor) F],由各圖算得之值如下:—

	19 圖	20 圖	21 圖	22 圖	23 圖	
$P_m$	29•5	32•1	29•7	31•3	37•3	lb./□"
F	•56	•64	•65	•70	•64	

(第19圖代表未漏汽時之狀況)

第21,22,23三圖中,高壓之示功圖距初壓線過遠,想係示功儀所記之[大氣壓力線]欠準所致,應略向上移。若然,過汽道[(Receivers)之阻力,皆微嫌過大,若改為過汽管](Receiver Pipes),應較合宜。

# 國立武漢大學工科年刊

## 第一卷

價目	郵費
每卷零售	本國及日本加郵費八分
國幣五角	其他地域加郵費八角
本刊以十月為出版期	
費須先惠空函不覆	
各地代售處零售概不加郵費	

編輯者 國立武漢大學工科年刊委員會

發行者 國立武漢大學出版部

印刷者 國立武漢大學印刷所

代售處 商務印書館

總發行所 武昌國立武漢大學出版部

中華民國二十五年十二月發行

廿六年三月十六日  
直接附送