

年

卷

期

14

1

第

第



# 工 程

## 第十四卷 第一號

中華民國三十年六月一日出版

Handwritten notes: R, 440.5, 160, 2

### 目 錄 提 要

交通政策和交通工程

當前我國公路之建設問題

近來公路技術之改進

吾人在鐵路計劃與選線中應注意之幾點

土壤力學

土壤力學於沉箱工作之應用

參加物級配與施壓對於道路土壤穩定性之影響

彈性橋墩多孔拱橋之力矩及推力分配法

中國工程師學會發行  
商務印書館香港分館總經售

# MARCONI

*The first and foremost name in radio engineering*

---

HIGH POWER BROADCASTING TRANSMITTERS  
COMMERCIAL TELEGRAPH & TELEPHONE STATIONS  
RADIO BEACONS & DIRECTION FINDERS  
AIRCRAFT & AERODROME RADIO EQUIPMENT  
NAVAL & MILITARY STATIONS  
TELEVISION TRANSMITTERS  
FACSIMILE APPARATUS  
SHIP STATIONS  
DEPTH SOUNDING DEVICES FOR MARINE USE  
PUBLIC ADDRESS SYSTEMS  
TELEPHONE TERMINAL & PRIVACY APPARATUS  
COMMERCIAL TELEGRAPH & TELEPHONE RECEIVERS  
CENTRAL TRAFFIC OFFICE EQUIPMENT

---

Standard Signal Generators: High Frequency Measuring Equipment:  
Cathode Ray Oscillographs: Beat Frequency Oscillators:  
Inductance Capacity & Impedance Comparators: Universal Wavemeters:  
Field Strength Measuring Equipment: Variable Attenuators & Inductors:  
Decade Resistances & Potentiometers: Inductance  
Capacity & Impedance Bridges:  
*together with a full range of*  
*Laboratory Standard Apparatus and Precision Instruments for Communication Purposes.*

---

*Manufacturing & Service Facilities  
at Hong Kong & Shanghai*

---

*Affiliations in all Parts of the World*

---

馬 可 尼 ( 中 國 ) 有 限 公 司

## MARCONI (CHINA) LIMITED

(INCORPORATED UNDER THE COMPANIES ORDINANCE OF HONG KONG)

Subsidiary of MARCONI'S WIRELESS TELEGRAPH CO., LTD., London

---

HEAD OFFICE: ST. GEORGE'S BUILDING, HONG KONG . . . . PHONE 24700.  
BRANCH OFFICE: GLEN LINE BUILDING. SHANGHAI . . . . PHONE 11466.



香港總經理處大道中十六號四樓香港新亞藥廠各大藥均有代售

# 胚生蒙

因為有特殊的成份

所以有驚人功效



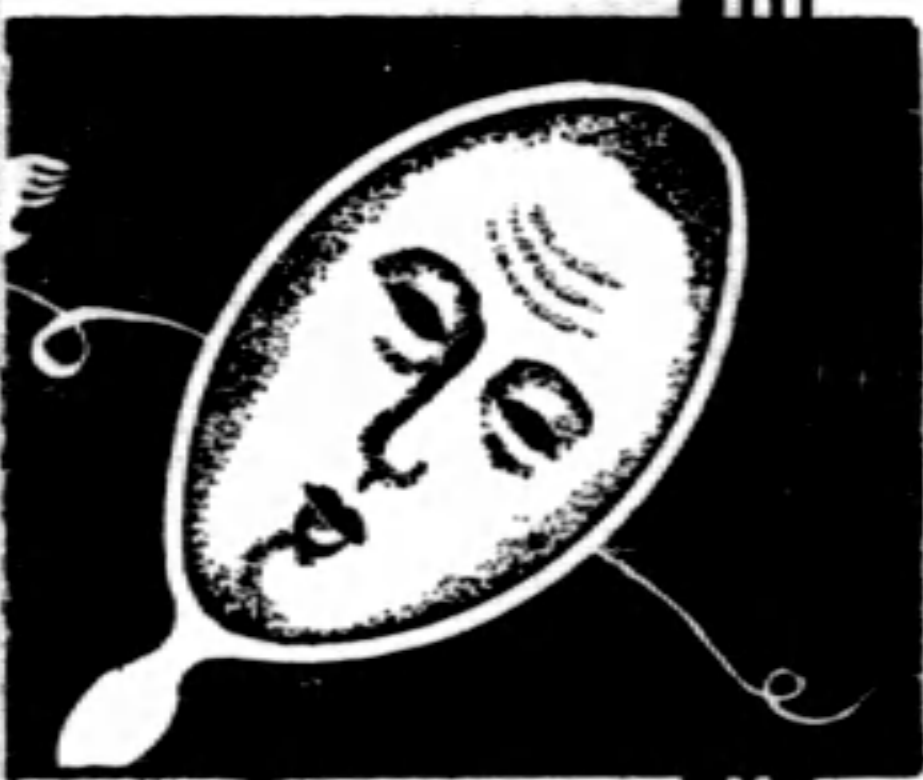
·育發長助·



·慾食進亢·



·麟育嗣廣·



·春青復回·



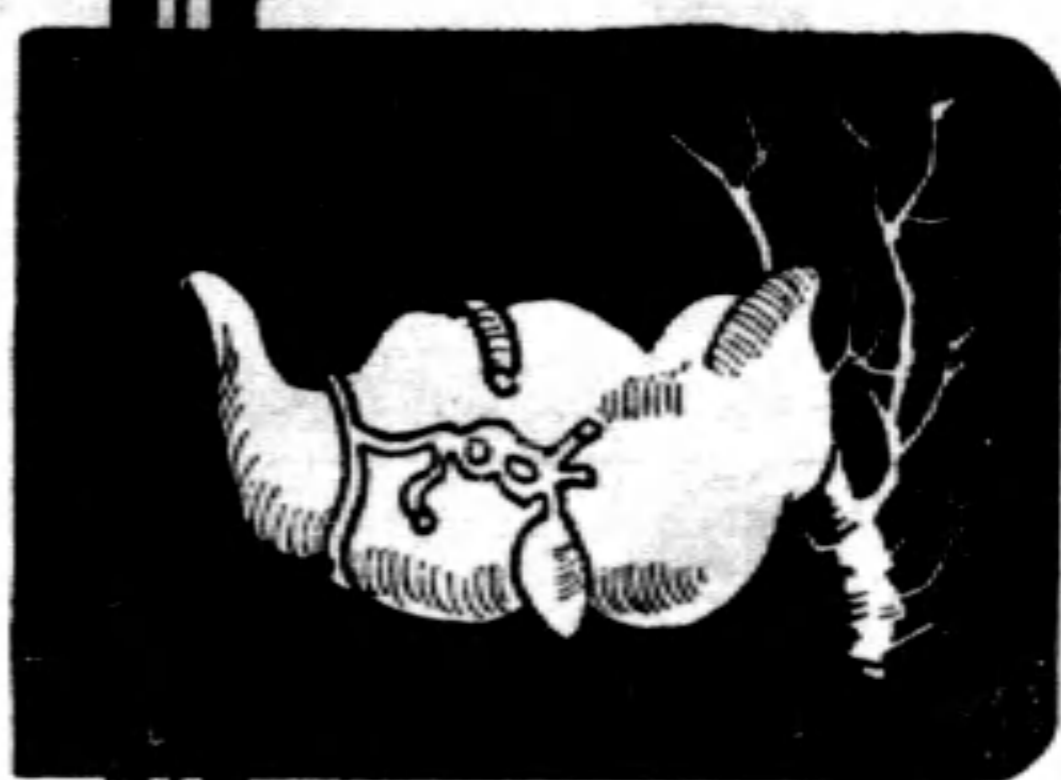
·血補身強·



·胎胞物動·



·体垂下腦·



·肝牛參人·



·命他惟·



·質物礦·

世界動蕩不已人生日感艱困非得有明快頭腦強壯體格無畏精神安能應付此時機服用「胚生蒙」確能康強延年病魔遠避以其成份名貴功效偉大故一致公認為超時代之科學大補物男女老幼四季宜服



105

## 造製廠藥亞新海巨

# 維他賜保命

歌得真正健康 須求真良藥

## 補品最難選擇

何種補品能及維他賜保命之聲譽  
何種補品能普遍全國而盛行  
何種補品能補五官和百體

信誼為國內有數之化學製藥廠設備完  
美聘有中西藥學醫學專家數十位人才  
集中製造極度嚴格出品精益求精首先  
發明十字形內分泌結晶體為醫藥界所  
推重非普通製劑所能望其項背也

### 主治

神經衰弱 希司脫利  
病後產後 腰痠背痛  
遺精陽萎 月經不調  
生育艱難 調理各症  
貧血瘦弱 一般虛弱

補針

補丸



分男用士用兩種

上海信誼化學製藥廠監製  
各大藥房均有出售

# 銀 行 牌



中國南洋兄弟煙草公司出品

南洋企業股份有限公司  
中國國貨實業服務社 合辦

# 香港華僑廠商出品目錄

正在趕編  
九月出版

◆ 歡迎廠商參加列名 ◆

國貨與實業  
月刊  
中國國貨實業服務社發行

## 特點

- 一、本公司為促進華僑製品外銷起見，特編印華僑廠商出品目錄，將華僑貨品之製造廠名商標圖樣等詳載靡遺，精雅廣博，異常惹目。參加登載之頁數，由廠商自由認定。
- 二、本目錄預定初版五千冊，分送國內外各工商金融團體，為推銷華貨極有力量之宣傳利器，一經參加登載，身價十倍。

參加廠商納費辦法承索即寄或由本社派員面洽

## 中國國貨實業服務社啟

香港雪廠街十號六樓 電話：三二五八一

中國國貨實業服務社譯印

# 香港商品運銷英屬各地須知

廠家貿易欲得優惠稅率者不可不備

每冊港幣五毫

- 一、歐戰正劇，交戰國貨物輸出困難，正中華貨品推銷國外之最好機會。
- 二、英屬地遍布全球，為香港華僑工業製品最佳之推廣市場。
- 三、香港製造之中國貨運銷英屬各地，可受特惠之中國貨運銷英屬各地，惟各地有各地之法令，頗為複雜。
- 四、本會蒐集英屬各地優惠稅率之有關資料，詳備靡遺，足供廠商貿易上之參考。

中國國貨實業服務社  
香港雪廠街十號六樓

# 商務印書館 新出戰時讀物

## 英文中國年鑑 第五回

The Chinese Year Book, Fifth Issue  
1940-1941

元五廿價定 冊一

重慶邦交討論會編 本年  
第五回和前一回(一九  
三八—三九)可說同是戰  
時專號。在取材上，這兩  
回是相銜的；而在編  
制上，第五回則改分爲一  
般國勢、抗日戰爭、戰時  
政治三大部，更便檢閱。  
正文凡廿九篇，均取材於  
直接的來源，由各專家分  
別撰述。全書八百餘頁，  
道林紙精印，另附英文  
地圖一大幅。可以看看  
年來抗戰建國各方面的實  
錄，亦爲增進國際理解的  
利器。

## 抗戰第一年

角五元三價定 冊二

止截日二廿月七 折八價特

王叔明編 本書選輯七  
七蘆溝橋事變起第一  
內的抗戰史料，依地域  
及時間爲順序的排列，  
計自第一期抗戰直至第  
三期抗戰開始，東戰場  
西戰場南戰場北戰場與  
中原大戰各戰役的重  
要史料，無不包羅在  
內。所選多爲戰場實地  
描寫文字，與軍事家的  
談話，戰地通訊等等；  
末附抗戰第一年内大事  
日誌及他種重要文獻多  
種。可作抗戰史讀，亦  
可作抗戰文藝讀。

## 中國軍制史上冊

黃聖叔著 是書內容將我國歷代兵制，分章論述，上起黃帝，下迄民國二十四年，共四千六百餘年，徵引廣博，闡釋精詳。茲先出上冊，凡四卷，二十章，述至明代爲止。

一冊 定價一元五角  
特價八折 七月八日止

## 中國國民兵役史略

劉曉桑著 將中國國民兵役制度分爲五個時期，詳加敘述：夏殷以前爲萌芽時期，周代爲成熟時期，兩漢六朝爲絕續時期，唐代爲復興時期，宋元明清爲衰落時期。書末附錄我國現行兵役法與英美俄法德意日等國之兵役制度。

一冊 定價六角

## 中國民族女英雄傳記

嚴濟寬編著 本編爲培養婦女民族觀念，凡古來婦女之知兵好義能禦外侮衛民族者，列入內編；其有英武善戰而功績僅被於一方或一姓一家無與於民族者，則列入外編。取材於史傳志乘及各家文集筆記，務求翔實。

一冊 定價五角

## 一九四一歐戰時美國的大學

梁暉第著 書凡八章，分述美國大學在第一次歐戰期中的軍事訓練，婦女組織，以及戰時工作等等；最後指示我國大學在抗戰時期應執行之各項方策。

一冊 定價八角

## 世界戰爭與世界經濟

李次民編 本書除闡明戰爭與經濟之聯繫外，對於其他經濟現象如戰後之慘狀，復興之過程，合理化之完成，恐慌之氣氛，軍需景氣之迴光反照，以及世界新經濟恐慌的到來等，均有詳細之論述，精密之統計。

## 戰時經濟問題

中國經濟學社編 本集內容包含關於戰時經濟論文二十九篇，均爲該社社員提交第十五屆年會宣讀者，依其性質，約分爲經濟戰爭，經濟建設，農業金融，外匯統制，物價統制，地方財政，及稅務行政等七類。未附該社第十五屆年會紀錄。

## 美國遠東外交政策

周繼銓著 先將美國外交政策作一鳥瞰，次就門戶開放政策，金元外交，作扼要之分析，對於中美條約所含蓄之意義，尤能分次說明。至美國與日本之磨擦，美國遠東政策之障礙及其動向，均基於政治科學立場，加以論述。

## 未來的海戰

K. F. F. 著 余敬豪等譯 內容分三大部份：第一部，軍備競爭的序幕；第二部，戰艦與戰略；第三部，戰爭。關於未來各海的海戰，其趨勢與可能結果，均能根據事實，預作估計。

## 普通軍用天文學

陳運燭編 內容分總論，角度，時，地球，太陽，太陰，潮汐，恆星的利用等八章，末附各種軍用有關之實用表十二種。凡天文學在軍事上之用途及其應用之方法，備述無遺。

## 簡易空氣動力學

A. Klemm 著 王達新譯 內容共分十九章，首論空氣與大氣之性質，流線流及白諾德氏定律，次述飛行之基本原理，飛機性能之基本計算法，飛機力學綱要，及橫方縱方安定性，最後論變翼機之空氣動力學與飛機各部之阻力。

## 毒氣傷害治療要義

張耀德譯 本書原名 Manual of Gas Casualties，爲英國軍部所編化學戰爭叢書之一。內容分十章，對於各種化學戰爭物質之病理、藥理、症狀及治療各方面，敘述頗詳。

## 傷兵和難民的救濟

葛慕詳編 內容先述救濟傷兵和難民的必要，以下列舉療養、收容、教育、以及工役等等救濟的方法。

# 南洋

欲明瞭其地的

現代情勢，

古代史實，

華僑狀況，

請選讀

下列各書：



## 南洋地理

沈厥成 二冊 (定價元)

南洋羣島一瞥 (少年史地叢書)

何爾玉等編 四〇

南天樂園

黃素封著 八〇

二十世紀之南洋

丘守愚著 三六〇

科學的南洋

黃素封著 三二〇

十七世紀南洋羣島航海記兩種

Lyko等著 黃素封等譯 一二〇

南洋史綱要

李長傳著 七〇

演越遊記

胡嘉著 一五〇

占婆史 (尙志學會叢書)

Maspero著 馮承鈞譯 四五

暹羅古代史 (史地小叢書)

王又申譯 四〇

暹羅現代史 (新時代史地叢書)

曼谷日日報編 王又申譯 五〇

暹羅王鄭昭傳 (史地叢書)

Watkan著 許雲樵譯 二〇

暹羅雜記

楊文瑛著 五〇

中緬關係史

王婆楞著 一〇〇

中緬之交

Metford著 伍況甫譯 一五〇

緬甸一瞥 (少年史地叢書)

Kelly著 汪今鸞譯 三〇

印度古佛國遊記

李俊承著 四〇〇

印度新志 (史地小叢書)

陳友生編譯 七〇

印度現代史 (新時代史地叢書)

向達著 七〇

## 英屬馬來亞地理

張禮千編 七五

檳榔嶼開闢史

Bookworm著 顧因明等譯 四五

馬來亞歷史概要

張禮千著 七〇

馬來羣島遊記

Wallace著 呂金錄譯 二冊 一六〇

荷屬東印度概況

費振東譯 一二〇

荷屬東印度地理

沈厥成編 五五

荷屬東印度歷史 (少年史地叢書)

沈厥成著 二五

爪哇與東印度羣島

Carpenter著 丘學訓譯 七〇

爪哇一瞥 (少年史地叢書)

Zeheltema著 李誠芳譯 三〇

菲律賓史 (史地小叢書)

李長傳編譯 四〇

蘇門答刺古國考 (史地叢書)

Ferrand著 馮承鈞譯 三五

交廣印度兩道考 (史地叢書)

Pillot著 馮承鈞譯 四〇

鄭和下西洋考

Pillot著 馮承鈞譯 六五

瀛涯勝覽校注 (史地小叢書)

馮承鈞校注 二〇

星槎勝覽校注 (史地小叢書)

馮承鈞校注 三〇

海錄注 (史地小叢書)

馮承鈞注 四五

中國南洋交通史 (中國文化叢書)

馮承鈞著 三三五

中華民族拓殖南洋史

劉繼宣等著 一八〇

南洋華僑史 (史地小叢書)

李長傳著 三五

南洋華僑與閩粵社會

陳達著 一八〇

華僑名人故事錄

黃競初編著 三〇

商務印書館出版



# ◆ 工程雜誌本期廣告索引 ◆

## INDEX TO ADVERTISERS

馬可尼(中國)有限公司	封面	內	Hunt Engineering Corporation	第 8 頁
新亞藥廠	目錄	前	本會社會服務部	第 22 頁
信誼化學製藥廠	目錄	前	寶琴行	第 64 頁
中國南洋兄弟烟草公司	目錄	前	Keuffel & Esser Co.	第 64 頁
中國國貨實業服務社	目錄	前	新昌營造廠	第 78 頁
商務印書館	目錄及	前 他頁	天廚味精廠	第 88 頁
Universal Sales(China) Inc.	正文	前	航空材料出口行	第 88 頁
交通銀行	第 8 頁		中國保險有限公司	第 92 頁
			上海聯保水火險有限公司	第 94 頁
			中國電氣股份有限公司	底面外



## 建 · 築 · 書

商務印書館出版

營造法式	宋李誥著	8冊	100.00元	三和士	馮雄著	1冊	.50元
房屋建築學(職業教科書)	唐英等編	1冊	.50元	圻工	馮雄著	2冊	.70元
房屋	薛次莘著	1冊	.80元	土工(職業教科書)	楊文淵編	1冊	40元
建築圖學(職業教科書)	火永彰編	1冊	.60元	美國住宅問題概觀	國際勞工局著	1冊	.40元
鋼鐵屋架設計(職業教科書)	周頌文編	1冊	1.00元	暖氣工程	陸警鐘著	1冊	.55元
實用鋼筋混凝土建築法	Malphettes著 顧在堪譯		1.40元	冷氣工程	黃述善著	1冊	.35元
				屋內電燈裝置概要	丁俊編	1冊	.15元

中國工程師學會會刊

# 工程

總編輯 沈怡

副總編輯 沈嗣芳

---

## 第十四卷第一號目錄

(民國三十年六月一日出版)

---

論	著：	黃伯樵	交通政策和交通工程.....	1
論	文：	趙祖康	當前我國公路之建設問題.....	9
		趙祖康 陳孚華	近來公路技術之改進.....	15
		王竹亭	吾人在鐵路計劃與選線中應注意之幾點.....	23
		茅以昇	土壤力學.....	35
		王達時	土壤力學於沉箱工作之應用.....	45
		崔龍光	參加物級配與施壓對於道路土壤穩定性之影響.....	57
		厲汝尙	彈性橋墩多孔拱橋之力矩及推力分配法.....	65
		李 苾	多相交流發電機之瞬間短路電流.....	79
		姚南笙	電機製造事業採用國產紗包線代替漆包或單紗漆包線之 檢討.....	89
附	錄：	經濟部全國度量衡局辦理統一全國度量衡工作概況.....		93

---

中國工程師學會發行

商務印書館香港分館總經售

# NOW GREATER SAFETY— FAR LONGER MILEAGE

## FOR TRUCKS AND BUSES



### IMPROVED 5 WAYS NO EXTRA COST!

If you're looking for ways to cut your tyre costs to a minimum — fit Goodyear Giants — now further improved.

- LOW STRETCH SUPERTWIST CORD
- MULTIPLE COMPOUNDING
- DOUBLE BREAKER STRIPS
- DUAL BEADS
- WAVELESS FABRIC

Yes, 5 big, important improvements — at no extra cost. And here's what they mean:

— Amazingly long, trouble-free mileage — Far longer tread wear — Greater resistance to speed heat, road shocks, abuse — Extra safety from bursts and punctures — Extra protection for driver, passengers, loads, equipment — Protection against costly delays, repairs, idle trucks, broken schedules.

**CALL US**  
See these better giants. Have us explain the 5 big, new improvements — show how they will cut your costs — increase your profits.

# GOOD YEAR GIANTS

SOLE DISTRIBUTOR FOR CHINA & HONGKONG  
UNIVERSAL SALES (CHINA) INC.

SHANGHAI OFFICE  
51 Canton Road

HONGKONG OFFICE  
36 French Bank Building

# 交通政策和交通工程

黃伯樵

## 交通之重要性

以一個有四千二百多年歷史，一千一百十七萬三千五百多平方公里，四萬七千三百五十三萬多人口的中華民國，在世界幾乎連一個三等國的地位還不能維持，這是甚麼緣故呢？我們想，交通建設不發達，雖不是根本的，也必是主要的原因。惟其交通不發達，所以政治不能統一，所以資源不夠開發。惟其資源不夠開發，所以貧；惟其政治不能統一，所以弱。既貧且弱就造成今日中華民國的境地。

我們在七七事變以前，全國營業鐵路線統共只有一萬四千多公里；可以行駛汽車的公路路線，統共只有十萬零九千四百多公里；可以行駛機力船的內河航線，統共只有一萬五千四百多公里；民用飛機航空線統共只有一萬一千多公里；而機車，客貨車，汽車，飛機都不能自己製造；輪船還能自造，但只得六十萬噸。惟有電訊比較發達，全國有線電報線路十二萬五千多公里，長途電話線路七萬四千七百多公里；郵路也相當發達，有五十萬六千一百多公里。但須得注意的，以上的統計都還是包括東北四省在內，並且一部份還是在九一八事變以後所踴躍趕速經營。

不過抗戰到如今已歷三年十個月，還能支持不敗，並且更有決定的勝利的希望，也可以說還靠着九一八事變以後的多少交通建設。鐵路像粵漢線，滬杭甬線的接通；浙贛線，蘇嘉線，京贛線之添築；隴海線之延長；長江輪渡，錢塘江大橋的完成；對於抗戰初期堅強的支撐，實在是一個不可磨滅的功績。湘桂線衡桂，桂柳段的在戰爭中趕成

通車，對於桂南戰役也有重大的幫助。公路的大規模建築，且遍及於西南北，抗戰以來又新完成三千餘公里，還有川桂等省內河的疏濬，川江機械化絞灘站的設置，大批新式木船的建造，都和大後方的運輸和各海口被封鎖後國際間的運輸，起了最有價值的作用。至於航空線的溝通陪都的重慶和東南的香港，西南的仰光，西北的阿拉木圖（從此再通莫斯科）以及西南北各省會，更有莫大的貢獻。抗戰以後的電訊，有線電報線路添闢了三萬零二百多公里，長途電話線路添闢了二萬一千多公里，郵政也完成了大規模的軍郵網。這都是大大的供給了戰時的需要。所以現在大家公認大後方的交通和大前方的軍事處於同等重要的地位。

## 經濟建設綱領

但以中國面積之大，人口之多，這些交通建設還是不夠。要保證抗戰建國大業的完成，當然還須大量的擴展。不過就全部經濟建設說，交通建設只是其中一環，所以談到交通建設，不能不顧及其他部門的經濟建設，使得互相配合，共生作用。譬如大規模工礦業開發的地方，運輸路線就應擴展到那裏，方好便利原料和成品的往來。又譬如既確定要在某一時期建設多少交通線路，就得準備好多少必要的器材，由各部門工業自己製造，或向國外訂購，並籌畫這一筆經費。換句話，交通政策應顧到經濟政策，經濟政策也應顧到交通政策。現在我國的經濟政策，可以抗戰建國綱領為準繩。抗戰建國綱領第十七條規定：「經濟建設應以軍事為中心，同時注意改善人民生活；實行計劃經濟，獎勵海內外人民投資，擴大戰時生

產。』這就指示一個經濟建設的原則。又第二十三條規定：『整理交通系統，舉辦水陸空聯運，增築鐵路公路，加開航線。』這就指示一個交通建設的方向。

中國經濟建設協會是國內工程界，交通界，企業界，金融界，和學術界中堅分子所組織，於中華民國二十八年四月成立，其宗旨便是『擁護政府國策，研討，準備，及促成我國經濟建設計劃。』他們曾根據研討的結果，準備一個『中國經濟建設綱領』。現在的初稿，全部總綱有十七條，就是參照抗戰建國綱領經濟部門和民生主義所擬訂。其中和交通建設有關的，可以摘出下面五條：

『經濟建設以國防為中心，同時注意改善人民生活。本此目標，實施計畫經濟，以奠定國家工業化之基礎。積極建設重工業。為輔助其發展，儘先開發交通與動力。……』

『關係國家經濟命脈之鎖鑰事業，國防直接需要之主要製造事業，及其他宜由政府統籌或統制之重要事業，概歸國營；其餘民營。』

『國營企業採取公司組織。其機構及職權，與行政機關劃分，盡量商業化。』

『戰後應從速舉辦大規模建設性之公共工程，如水利及交通事業之發展，以容納復員之士兵及失業之民衆。』

### 交通建設 綱

交通部門的綱領共十條，就是根據總綱擬訂，摘出最重要的下面七條：

『運輸事業應以鐵路運輸與水運為主，公路運輸與空運為輔。依此主輔關係，制定聯絡全國國防，政治，經濟中心之運輸系統。鐵路應先興築國防與經濟主要幹線，水運應先發展沿海岸與江河間之運輸幹線。各主要運輸線與各大都市之間應以公路運輸與空運聯絡之。』

『全國鐵路之建築，應以採用標準軌距為原則。其有因地勢關係而暫用一公尺

之窄軌距者，應與標準軌距之鐵路各自成一區域，不得互相攙雜，致在整個鐵路運輸上貽將來之一大障礙。

『電訊事業，國內應以發展長途電話為主，而以電報為輔，市內電話亦應盡量發展；國際應積極發展無線電報之國際直接線路而輔之以無線電話。……』

『郵政事業應盡量向邊區及鄉區推廣。……』

『交通事業中鐵路，公路，水運，電訊，空運之幹線，應歸國營。其有政府一時未能興辦者，得暫准許民營，滿約後收歸國營。支線得歸省市經營，或准許人民投資經營。郵政事業國營。』

『國營交通事業中屬於運輸事業者，鐵路，公路，水運，與空運合組一事業機關；屬於通訊事業者，電訊與郵政合組一事業總機關；各自統籌經營。』

『國營鐵路運輸事業之管理，改用集中分區管理制度，使徹底成為商業化與合理化。』

概括以上所引綱領，可再有幾個重要的說明：

### 交通網

(一)交通事業包括好多種，必須各按他效用的大小，配合國防和民生的需要，分別主輔關係，構成『運輸網』和『通訊網』，再看需要的緩急，財力的盈絀，規定建設的先後。不過要樹立這一種『交通網』，必須確定幾個中心，就性質說，像政治的，軍事的，經濟的，文化的；就地域說，像全國的，各省的，分區的。然後利用地勢，把線路就這幾個中心聯貫起來，便成一個完善的『交通網』。其實這種觀念，是從早就存在的。譬如秦始皇帝興築馳道，便是把咸陽做中心，向東散佈一個扇形的『馳道網』。元朝以後的『驛道』，也便是把北京做中心，溝通各省省城，形成一個『驛道網』。晚清議建鐵路，也把北京做中心，向東設一線通

東三省，向西設一線通甘肅，向南設兩線，一通漢口，一通清江浦。（後改浦口）爲何向南只到漢口和清江浦呢，因爲在當時以爲到那裏便可和長江的輪船銜接。這種網當然太簡單，但是所包含的原理不過如此。

### 交通事業國營

（二）交通事業以國營爲原則。簡單的說，這有兩個原因：一因交通事業是最和國防有密切關係，由國家來經營比較指揮便利。二因交通事業是獨占事業，由國家來經營可以節制資本。原來用兵最要靠運輸和情報，是古今中外一個不易的原則，只是工具有不同罷了。不過要運用便利，必須集中於一個有政治力量的機構之下，所以像英美的鐵路，公路雖都歸商人經營，戰時也要歸國家統制。就我國的交通事業說：郵政向來是國營的；電訊先是民營的，後來也歸國營，現在長途電話有省營的，將來自以同歸國營爲善；鐵路早以國營爲原則；公路幹線也歸國營；航空自始便歸國營；輪船水運則有國營招商局。是早已樹立交通事業國營的規模。惟將來大規模的交通建設，要一時多方並進，怕國家財力一時不及，則惟有斟酌利用民衆財力，以促完成，作爲過渡的辦法。至從節制資本的見地而把交通事業劃歸國營，早已見於民生主義並規定於中國國民黨對內政策，同時也就是發達國家資本，實業計畫便是照這原則而擬訂。

### 國營交通事業商業化

（三）國營交通事業應和交通行政主管機關劃分，使國營交通事業澈底商業化，便以國家爲股東，按一般企業公司組織，和民營公司同受主管行政機關的監督。我們提出這一套理論，有幾種希望：一是要使國營交通事業超然於政治影響之外，不致再發生過去常有的現象，一個交通總長或部長更動，接著各個鐵路局長，電報局長都要跟著更動，而局長更動了，以下的處長，科長也要紛紛更動，因此難得一個長期安定的局面，保持

充分的發展。二是使得交通部本身可以縮小組織，從今以後只管計畫交通建設，執行那計畫，並監督那計畫執行已完成的交通事業。三是使得交通事業雖是國營，卻非官辦，用人行政好比一個民營公司，有他用人行政的全權，不受交通部的牽率。其實這種局面原已局部實現，像歐亞和中國航空公司便是一個例子。改組後的招商局也已完全商業組織。最澈底商業化的是郵政總局，交通部也已沒有郵政司。七七事變以前成立的幾個鐵路公司，名義是商業組織，實際和旁的鐵路局沒有區別，他們的職權仍和交通部混雜不清。我們主張今後的國營交通事業不問名義怎樣，事實總須適合這一個原則。交通部儘可代表國家把某一國營交通事業主持組織起來，但是這一步工作完成後，便須讓他按照商業組織，自由行使職權，自己只處在一個監督地位。

### 國營交通事業併爲三個機關

（四）國營交通事業機關以其性質與效用相似關係，陸水空運輸合成一個機關經營，通訊把電訊和郵政分成兩個機關經營。這一個辦法的用意，是在集中，積極的便於統籌辦理，消極的易於減少虛糜。郵政現在只有一個總局，當然不成問題。電訊照現在狀況，雖有各區電政管理局，而事實上是集中在交通部的電政司，只須把電政司劃出交通部之外，像從前電政總局一般，似乎也沒有多大困難。運輸情形複雜，輪船和飛機而外，陸上還有鐵路和公路。惟其如此，我們以爲格外應得合成一個機關經營。大概現代戰爭的進退成敗，差不多大部份要決定於運輸系統的疏密遲速。要達到密和速的目的，在平時先得有配合的建設，到戰時才能有統一的運用。這就非安置在一個現代合理化的國營企業機構之下不可。況且我國政治上常有一種現象，正是幾個平等和並立的單位各自堅執他的立場，大家要求他的事業的擴展，做上級機關的沒法解決，那就不問緩急輕重，

只把經費平均分配，說是希望平均發展，結果卻是沒有一個可以實現他按照預定計畫的發展。要不然，只憑本人對於各單位感情的好壞，或許各單位對於本人勢力的大小，確定他計畫的准駁和預算的多少。那就不如安放在一個機構之下，可以按照中央核定的計畫經濟原則，通籌辦理。有的人以為中國區域這樣廣大，預測將來的交通事業又是那麼繁重，怕不是一個機關可以容納。就是可以容納，這機構也必是非常龐大，怕不易應付。這也說得有理。其實只要看坎拿大的太平洋鐵路公司便是把火車，輪船，汽車，飛機的運輸整個兒兼辦的。並且無論怎樣，在戰後起先的幾年裏邊，國營鐵路和公路至多不過一萬數千公里，國營輪船和飛機也至多不過百數十艘，便是把一個現代化的機構來經營，決不是一件難事。將來到某一部門運輸極度發展，確非獨立門戶不可時，也儘可分出。或分別成立一個機構，而在上面設立一『卡特爾』以統轄起來，也未嘗不可。不過在這一時期，倘能安放在一個機構中，至少行政管理費可以大減，人事間的磨擦，營業上的競爭可以避免。我們試設想戰後財政該是怎樣艱難，一切設施該是怎樣千頭萬緒，實在不能不事事力求撙節，除去糜費；處處力求融洽，減少阻力。所以二十九年元旦成立的中國運輸公司，統轄全國國營鐵路，公路，水運，空運四部門運輸事業，實在是一個比較合理，也比較前進的組織。在目前雖只管局部的公路，而成績也不怎樣顯著，但這不是制度問題，我們不必因噎廢食。

照上面所說，交通事業包括兩大部份：一是『運輸』，一是『通訊』。每部份之中，又包括許多種。兩相比較，通訊稍簡單，運輸很繁重，而在運輸事業之中，鐵路該處特別重要地位，所以如今再把我們對於鐵路建設的原則一提：

### 鐵路建設原則

(甲)我國為輸入國防及重工業所必需的

器材並輸出農礦產品，故今後最切要的運輸，是大量運輸。所謂『任重致遠』，能負得起這個使命的，只有輪船和火車。但是對於軍事運輸，用輪船還不如用火車來得便利迅速，所以不能不儘先建設鐵路。孫中山先生實業計畫首注重於交通的開發而特別偏重於鐵路，雖沒有提及國防，但蔣總裁曾闡發實業計畫的意旨，認為實業計畫就是國防計畫。

(乙)我國經營鐵路，從前因為借用外債關係，都是每築成一線便設一個管理局。以後雖有幾線已合併管理，但當七七事變的前夕，除去東北四省不算，全部營業鐵路不到一萬公里而管理局卻有十四個之多。這就發現了許多壞現象：第一，是一切器材，一切資金，各歸各有，盈虧消長，沒法調劑。其次，是各有一行政組織，管理經費沒法節省。又其次，是各種設施各自為政，各謀自己的便利，無法統一，更談不到標準化和合理化。當時也有人見到這種弊病，可是已成之局要一下子改革，也有種種為難。但從經過這次大戰，大部份的鐵路已經淪陷，原有體制蕩然無存，儘可另起爐灶，不生多大障礙。我們的主張是把所有國營鐵路歸於一個總機構來管理；再按業務的繁簡，調度和運輸的便利，還有貨運的趨向，和國防經濟的需要，把若干接近的路線歸納為一區，每區內路線的長度約以暫管三百公里為度。這叫做『集中分區管理制度』。

(丙)我國管理鐵路的機構中，機務和車務向來是劃分為兩個各成系統的單位，彼此對立。常因步調不能一致，影響到營業。後來粵漢鐵路已在試行一種歸併為一個單位的制度，但還嫌不澈底。我們的主張是在總機構中設一個『營業部』，把客貨運的營業，機車車輛的調度和保養，都歸他通盤管理。在外邊每一區中，也是這樣，由區經理來綜持這三種工作。使得縱橫一貫，權責分明。

以上都是說交通政策。至於交通建設，正是千頭萬緒不能盡說。現在只想把最有關係的交通工程，從原則上提出幾點：

### 交通建設標準

#### (一) 規定和勵行交通器材及工程標準

一切技術標準的重要，在稍能談合理化或科學管理的人大家都知道，無須細說。對於交通事業，顧名思義，似乎格外重要，如果所用器材，所做工程沒有一定標準，他的本身便就格格不通了。舉一個例：滬杭甬鐵路在上次淞滬戰役中淪陷時，要把他的大機車從錢塘江大橋退入浙贛鐵路，而浙贛鐵路有一段還沒有改換較重鋼軌，不能負荷軸壓力十六公噸之機車，臨時只好拆卸才能過軌。這就是因為兩路鋼軌不是同一標準的緣故。我國鐵路大多是借外債築成，債權者的主要條件之一，必須採購他們本國的器材。所以全國鐵路路線雖寥寥可數，而一切器材卻形形色色，應有盡有。這一個條件，後來雖有相當修正，並且歷來交通或鐵道行政當局還制定許多規範。可是一因已成之局，積重難返；二因財力等關係，不能不有時遷就變通。近年公路繼興，因為事前沒有標準，各色各樣的汽車都有，恰好和鐵路機車犯着同樣毛病。（戰時購貨為難，只求有汽車，不能再問汽車種類，也是一個可以原諒之原因。）我國一切建設器材，種類太複雜的還有一個主要的原因，便是主持人物在那一國留學的，常歡喜採用那一國的出品。至於為某種不可告人原因而定要採用那一個牌子的，更是在所不免。像這樣漫無標準的弊病，也說不勝說。最顯著而重要的，一是管理困難，種類既繁複，不能不每一種積有相當數量的備貨，積壓成本極大。像鐵路器材，照章要儲備足供六月個以上使用的數量，而這種器材大多數須購自外洋，非經兩三個月不能交貨，種類一多，大量資金呆滯，其不經濟不難想像。二是使用困難，因為各有各的型式，彼此不能移用，常為一小小機件的缺

乏，以致整個機械的廢置。現在公路上有許多汽車，常為只缺乏一小小配件以致長期停擱，終致損壞。我們從事交通事業的人們，在這一次戰事中，因為器材沒有標準而感受的痛苦和損失，必能人人言之深切，希望從今應有澈底的覺悟。

『中國經濟建設綱領初稿』工業部門特設一條是『訂定工業標準，厲行標準化，以節省消耗，增進生產。』這實是一個很重要的政策。其實這一種工作，經濟部全國度量衡局近年徵集到各國關係工業標準的參考圖書已有二萬三千多種，經編成的工業標準草案，也已有六百七十餘種之多。交通部對於機務和橋梁規範，也在從新澈底研究修訂。我想這事大勢所趨，勢在必行。我現在想加以鼓吹的，便是審訂這種標準，當然必須採用各國最新式的，但還須顧到給本國情勢所限制的條件。且自飛機製造技術越發進步，戰爭態勢隨着根本變化。我們從事交通事業的人們，經過這一次大戰中敵人空襲的經驗，對於如何防免空襲的破壞和如何減少空襲的損失，應在審訂標準時特別鄭重注意。可是我們敵人的空襲還是幼稚的，試看這次歐洲大戰中英德等國的相互空襲何等嚴重。那末，我們的審訂標準，也更不能不把這種情勢做參考。而怎樣使交通事業設備如鐵路綫的多少和站臺的長短配合軍事運輸需要，以及建築物的堅固性怎樣足供軍事上的利用，諸如此類，在審訂各項技術標準時也須特加注意。（凌鴻勛君作『鐵路在抗戰中的表現及今後築路的教訓』一文，闡發頗詳，可供參考。）再則各國技術上的進步永無窮期，我們自己也應有不斷的改善，故這種技術標準每經過若干年期後，應再修訂一次。但是更有一點最為重要的，便是這種技術標準在審訂之中，尙未公佈之前，我們儘可提出種種批評，以求折衷至當。若一經公佈，便應忠實奉行，沒有一個例外。記得前清末年，練兵自強，各省各買槍砲，李鴻章



主張應揀定幾種最好的樣子，以後各省採購必須在這幾種樣子之中。他所顧慮，各種槍砲各有合於他的型式的子彈，事急時，怕不能移轉使用。當時他們還沒有標準化這一種名詞，可是已有標準化的觀念。但是經過了三四十年，我們的兵器已有標準麼。其他一切建設也是這樣。我們不可再蹉跎了。至於權度是實行工業標準的基本，我國權度既已規定公制，就得一致遵行。這本是工程上最起碼的條件。可惜現在我們工程師中繪圖樣，做論文，寫報告，作計畫，還在雜用其他非法權度，只顧小我方便，不守國家法令。所以也願順便一提，喚起大家的覺悟。

### 交通器材

(二)採用國產器材和鼓勵華商廠家自造  
工欲善其事，必先利其器。談到經濟建設怎樣取給他需要的器材，實是一個重大問題。交通建設需要的器材最為繁複，單是鐵路上所用已不下六千種。可憐得很，我們舉辦交通建設，也已有好幾十年歷史，可是大多數的交通器材都要向外國採購。所以交通建設越發達，國際貿易上的漏卮也越大，差不多給人家開闢財源。再說前清末年，一般大人先生練兵，自己也造輪船，造槍砲，以為富強之基便在於此。後來他們發覺連工廠中和輪船上用的煤，還有造機器，造槍砲殼用的鋼鐵，做彈殼用的銅，都是要從外國買來的，一旦外國來源斷絕了，怎麼辦呢，第一輪船沒有煤就不能開動。他們急了，於是他們要開煤鐵銅鉛等礦，自己冶鍊。他們的結果怎樣，無須追問。他們的覺悟，自然是不錯的。現在我們做工程師的，那知識決不會比那般學八股的大人先生低。我們應該怎麼辦呢。我們做工程師的，從技術上看，當然以採用品質優良的外國製造品最為痛快。但是從國家經濟上看，很可寒心。我們應該盡量在國內訪求可以代用的物料，鼓勵國內廠家自行做照製造，在技術上給他們充分協助，他們資金不夠也可設法救濟。我們要耐

煩些，幫他們成功。製成的貨品雖或一時差些，總是國貨。價格雖或有時貴些，賺錢的總是國人。據我在京滬滬杭甬鐵路上幾年的實際經驗，和幾家國貨製造廠家的誠意合作，結果很是圓滿。現在國際運輸路線斷絕，外國貨來源阻滯，但是像電線等電訊器材，我們自造的也很好供給使用。原來供給隨需要而來，如果我們從事交通建設的工程師都能各盡心力，採用國產器材，鼓勵華商廠家自造，他們自會慢慢兒擴充設備，改良技術，希望適應這一種交易。舊廠家得利了，或許還有新廠家成立。他們彼此競爭，出品自會格外精益求精。那末，交通建設大規模的舉辦時，各種製造業必隨着發達，各種基本工業也必隨着開發，實是兩利之道。

### 交通工程人才

(三)儲備交通工程人才 我國真正的工程人才太缺乏了。交通部門不能在例外。抗戰初發生時，無線電的需要突然增加，有了設備，卻沒法找到運用無線電人才，大家在着急。公路上最感困難的，汽油而外，是沒有熟練的機務人才。便是運務人才也很需要。後來一部份鐵路淪陷了，撤退下來的這一類員工彌補了局部的缺憾。多少優秀分子，你搶我奪，平日要好朋友，常因為拉人鬧翻了。現在我們設想：一天淪陷的各鐵路要恢復了，將從那裏找人來工作呢。原來的員工大都已有了事，一部份便是在公路上。要去找回來麼，公路交通就得停頓。不找回來麼，鐵路交通怕難回復。假定再要擴充新路線，怕更沒有辦法。鐵路如此，其他交通事業也何莫不然。譬如輪船和飛機兩種運輸事業，將來必得大大擴展，一時向那裏去找這種工程人才呢。所以我們要準備交通建設，器材果然重要，人才更是重要，不能不早作準備，而於工程部門為特別重要，因為像辦理營業和會計等業務人才還比較的可用速成方法養成，而工程人才簡直非經過長期

充分訓練不夠應用。我們聽說蘇聯舉辦五年計畫，同時並計畫儲備需要的人才。像第一個五年計畫中，要添建鐵路一萬九千公里，還要改良舊鐵路，便預計到最後一年，工程師必須要補充到三千一百人，技術員一萬一千人，他們便同時在高級技術學校，預備工作人員學校，特種訓練學校等處分別養成。我們今後的經濟建設，將是怎樣一個計畫，還沒有知道。譬如孫中山先生實業計畫中開發交通一部門，要築鐵路十萬英里。（合十六萬一千公里）築公路一百萬英里。（合一百六十一萬公里）還要開運河，還要增設電報，電話，無線電，使徧佈全國。那試問要多少工程人才呢。我們可以提出一個粗枝大葉的估計，在戰前一萬公里鐵路上的工務和機務員工，大概是有七萬六千人；那麼，十六萬公里的鐵路造成時，便要工務和機務員工一百二十一萬六千人，試問將用怎樣方法去儲備呢。再就公路計算，戰前每一千公里，平均有大客車與貨車共一百三十七輛，戰時不能把統計宣佈，當然要增加很多。現在姑且照此比例而論，則一百六十一萬公里的公路，便可有二十二萬零五百七十輛的汽車，就是要二十二萬零五百七十名的汽車司機，試問將用怎樣方法儲備呢。照現在情形，招用汽車司機已成絕大問題，如果添築公路到這里數，其困難更可想見。並且工程人才素質的高下，直接影響到建設效率的高下，所以決不能，也決不可粗製濫造。現在多少建設事業所遇到的困難，工程人才品質較差，不能不說是一個較重要的原因。我們眼看有多少工程人才現在因為人才供不應求等等關係，處在較高和較重要的地位，其實按其資歷經驗或許不很相稱。『蜀中無大將，廖化作先鋒。』我們不想鄙薄人家。我們諒解

其中有困難的原因。我們對於個人的成就，當然是樂觀，但對於國家的建設，無寧是表示悲觀。切望大家注意這一個嚴重的問題。至於怎樣訓練，在『中國經濟建設綱領初稿』中提出一個原則，便是『培養技術及管理人才，使教育與建設需要互相聯繫……。』

#### 交通為經濟建設中最重要的一環

以上的話說得太多了。現在要來結束這一個論題。我們以為交通建設誠然是經濟建設的一環，卻是最重要的一環。任何一國要沒有現代的交通，可說等於沒有現代的國防，就是一切生產事業也不能充分興辦，更談不到充分發展。德國和義大利的復興，都先從改進一切交通建設入手，故收效特快。蘇聯實施三個五年計劃，也先把交通和重工業做一個基礎。孫中山先生的實業計畫包涵很廣博，其實特別注重的是交通，而對於鐵路格外說得詳細。就我們抗戰以來的情形說，有好幾次作戰的勝敗，其關鍵都在運輸工具轉運軍隊軍需和電訊傳遞軍事消息的得力和不得力。後方常鬧物價飛漲，物資不夠供應，還有外銷貨物還不能盡其量更不能迅速，也都為運輸工具不夠應付需要。

三十年三月中，八中全會通過之戰時三年建設計劃，其中關於交通的凡三條：

『（一）增闢國際及通海路線，便利政府物資之輸入；

『（二）改善及發展各省間交通運輸，適應國民經濟之需要；

『（三）加強前後方聯絡交通，以為爭取最後勝利之準備。』

足見中央也已確認交通和國防民生關係之重大。所以今後的經濟建設，更不得不特別從交通建設做起。

# 交通銀行

民國紀元前四年創立

國民政府特許為發展全國實業銀行

資本：貳千萬元 · 公積：七百萬元

經營一切銀行業務

各大商埠均通匯兌

董事長 錢永銘 總經理 唐壽民

### Branch Offices

NEW YORK  
LONDON  
Canton  
Chengtu  
Chungking  
Foochow  
Hankow  
Kunming  
Peiping  
Tientsin  
Tsingtao

## HUNT ENGINEERING CORPORATION

SUBSIDIARY OF  
WILLIAM HUNT & COMPANY  
HEAD OFFICES, SHANGHAI

### Affiliates

Hunt Steamship Corp.  
William Hunt & Co.  
Wharf & Godown Admn.

### GENERAL AGENTS FOR:

AMERICAN CHAIN & CABLE COMPANY, INC.  
FAIRBANKS, MORSE & COMPANY  
GENERAL RAILWAY SIGNAL CO.  
GILBERT GILKES & GORDON LTD.  
ILLINOIS POWDER MANUFACTURING CO., INC.  
OKONITE & CALLENDER COMPANY  
OIL WELL SUPPLY COMPANY  
PULLMAN-STANDARD CAR EXPORT CORPORATION  
REPUBLIC STEEL CORPORATION  
STROMBERG-CARLSON TELEPHONE MANUFACTURING CO.  
S. MORGAN SMITH CO.  
WESTINGHOUSE ELECTRIC INTERNATIONAL COMPANY  
WHITE MOTOR COMPANY

### AND OTHERS

HONG KONG OFFICE

TELEPHONE: 31104-31105

211-214 GLOUCESTER BLDG.

# 當前我國公路之建設問題

趙祖康

## 序言

溯自民國二十一年，全國經濟委員會開始主持督造各省公路之時起，全國公路建設，突飛猛進，至抗戰發生，中間不過六七載，於時基礎初奠，正待循序發展，而因戰事繼續，客觀之要求，遽形加大，如鐵路之減少，軍運之增繁，使公路事業，驟然膨脹，而生複雜現象。如水流管中，因管徑驟大，而起亂流（Turbulent Flow），固為勢所難免，推究原因，不外（一）在路線方面，需要之路線，及其工程標準，驟然加多提高，形勢劇變，今日所需要者，明日忽變而為應予破壞。（二）在施工方面，趕工辦法代替正常程序。（三）在運輸方面，交通器材不能適應運輸之需要。（四）在財力方面，幣價降低，與人工工具材料之缺乏，演成惡性循環。（五）在機構與人力方面，組織加多，及技術員工在數與質上不能完全協調適應，演成特殊狀態。在此種種局勢之下，三四年來，公路建設人員，一面奮鬥，一面調整，同時無日不在希望全部環境之改善，俾公路建設，得以健全成長，更愉快的負起使命，加速的完成抗戰建國功業之一部份工作。現為考慮此要求，請將當前公路問題，分作下列各段敘述：

- （一）我國公路建設之使命與原則，
  - （二）我國公路之現階段，
  - （三）當前公路建設之途徑與政策，
  - （四）我國公路建設之方案，
- 等四端，提請本會同人指教為幸。

## 一 我國當前及今後公路建設之主要使命似應包括下列數端

- （1）開闢國際路線，以充實國防資源。
- （2）建造軍用路線，以供給軍事運輸。
- （3）建造行政路線，以聯絡地方中央。
- （4）建造經濟路線，以發展國內資源。
- （5）建造地方路線，以便利一般交通。

上列所稱各種路線，係指其作用而言。一路備具數種作用，自不乏其例，在實行建設各種路線之際，有三項原則應予注意：

（1）公路與其他水陸交通，應合理化，使公路與鐵道航運，能相互聯繫，分工合作，而不重複衝突；但由戰時觀點言之，鐵路之任務有時不能不使公路負擔，已有鐵路或水路交通地段，有時不能不使公路並行參加，故更有一原則，即：

（2）公路路線及設備應國防化。不論何種作用之路線，為目前抗戰及今後國防計，均應全部的或局部的使合於國防之用。如路線之計劃，工程標準規定之適合於軍用；車輛運輸設備，如汽車牌號之限制，噸位之提高，沿公路之加油站、修理站之設立等均應從國防觀點出發，始能負擔戰時之運輸與載重，達到必要之安全與速度，及平時之國防準備；但由現代全面戰爭之觀點言之，後方運輸與軍事同等重要，目前運輸器材如車輛輪胎油料之日漸匱乏與昂貴，足以妨害民衆行旅之安定，同時為戰後國民經濟之發展，民衆交通之便利計，公路建設應更有一原則，即：

(3) 公路發展及利用應大衆化。如廣築鄉村道路，獎勵大客車，限制小客車，提倡驛運，鼓吹自行車等，使農村經濟因交通便利而繁榮，使工商實業因交通便利而發達，使民生所資衣食原料因交通便利而豐足，使民主教育因交通便利而普及。在大衆化一點上就本質論，公路本較其他交通方式爲適宜，當仁不讓，自應負起其使命。我國公路之使命及公路建設之原則既如此，試以國內公路現況對照以資研討。

## 二 我國公路之現階段

(1) 國際路線 現有國際路線可列舉者，在西南爲滇緬路線（接通緬甸），桂越及滇越路線（接通越南），桂粵路線，（接通香港對岸）；在西北爲甘新路線，（接通蘇俄），合計共長四、五七四公里；在計劃中者爲康印路線（接通印度），約長一、〇〇〇公里。

(2) 軍事路線 軍用路線性質可分爲兩種，一種用以啣接前後方交通，一種用以便利前方動作，前者在西南可以列舉川黔，黔滇，川滇，湘桂，川湘，湘黔，黔桂，及施工中之樂西，西祥，川中，桂穗等路線；在西北有西蘭，西漢，漢白，漢渝，長坪，咸榆，新綏，甘川，天雙，川陝，川鄂等路線，合計已成者，約長九、六八〇公里，未成者，約長二、五五四公里；其用以便利前方動作者，另行彙計，茲不贅列。

(3) 政治路線 路線之特別便利發布政令客郵之載運，加強地方與中央政治之聯繫者可列舉西南之川滇，京滇，與川康等路線，及計劃中之康藏路線；在西北有甘青，川陝等路線，及計劃中之青川，青康等路線，合計已成者約八、一五〇公里，未成者約四、六四〇公里。

(4) 經濟路線 以上各路自同時有其開發經濟之價值，如甘新路之於油礦，川黔，樂西之於鐵礦，西祥，川滇之於銅礦，贛南

公路之於錳礦，湖南公路之於錒礦，貴州公路之於汞礦，桂省公路之於錫礦，川康青等公路之於金礦，以及各處煤、鹽、桐油、茶葉、棉花、羊毛之運輸，或由幹線，或加築支線，其里程未予分別計算。

總計現存已成路線約長八萬餘公里，未成路線約長三、七六八公里，有路面可常年通車者約二萬公里，無路面者六萬餘公里。

以上爲公路路線概況，茲論公路之利用。

(5) 公路利用與交通器材 公路之功效應以利用之程度爲判斷，即應以運量之大小爲衡。試以西南西北若干代表路線，共長八千九百餘公里者之運量數字分析之：計各該路平均每日有車四十七輛行駛，假定後方重要路一萬五千公里，以每日行車五十輛計，又所餘七萬餘公里，假定以每日十輛計，則總計八萬餘公里之路，每天運量有一百五十萬車公里，即全國平均每天共有車 7,500 輛在路上行駛。設其中百分之五十爲軍用卡車，而以是項能力運輸物資；又設物資自起運點至分配點，距離爲三千公里，卡車載重爲二公噸半，則每日運輸能力約爲 600 公噸。

據交通部汽車牌照管理所車輛統計報告，我國領有國字牌照之汽車至二十九年十月底止計一萬四千九百餘輛，假定軍事運輸機關及國際之汽車亦約一萬五千輛，兩者共計約三萬輛，每日行駛百分數，假定佔全部車輛數之 25% 得 7,500 輛，與前項估計相符，可見我國現有公路運輸能力，以已有之車輛數量論，尙未充分發揮，其理由不外

1. 燃料之缺乏，
2. 車輛管理與保養之不善，
3. 車輛修理能力之薄弱與破壞之迅速，
4. 公路工程實際標準不高，養路不盡合法，車輛狀況又差，行車速度低小，
5. 車輛調度不盡得法，
6. 沿公路不需要之檢查太多，

7. 司機之技能與紀律不盡優良等七項原因。故為提高運輸量，不能僅求增加車輛，倘對第一點油料之缺乏無法解決，雖加車輛亦不能行駛；倘燃料不缺，而第2, 3, 5各點不加改良，則每日停駛待修車輛之數字，仍不能減低，即所加新車，亦將破壞而停駛。故除充實燃料與車輛外，尤應 1. 加強車輛之保養與修理能力， 2. 改善路線與路面工程之標準， 3. 改善行車檢查制度， 4. 改進管理司機辦法， 5. 對於車輛及公路工程與交通方面增加夜間行車設備，使每日可駛車輛之百分數加高及行車之速度加大。設可駛車輛百分數及行車速度各增一倍，即每日之運輸能力增加四倍。以前例言之，目下每日軍需運輸，或入口物資，即可一躍而為二千四百噸，即等於增加軍用車輛一萬一千二百五十輛，以市價四萬元一輛計之，等於增加購車費四萬五千萬元，倘合民用車輛計之，等於增加購車費九萬萬元。同時行車費用，則反而減低，以每車公里減低一元計之，即每天一百五十萬車公里，可省一百五十萬元，每年可省四萬五千萬元。

(6) 公路工程與運輸 機械保養與修理部份，事屬機械工程專家研究範圍，姑不具論，僅由前節分析結果，可見公路工程，關係運輸能力與運輸費用者至鉅，尤以所影響於行車之安全速度一點，為最關重要。在公路工程中，直接影響行車之安全速度者，可列舉 1. 坡度， 2. 灣道， 3. 視距， 4. 路面， 5. 駛道寬度。故以上五項設計標準均應以行車速度為根據，尤應注意使全路設計無不協調之處，換言之，即應使行車條件一致，全路上無過高或過低之處。惟設計速度之高低，直接影響工程數量，與工程費用之大小，倘工程費過大，則款不易籌，有礙進展。是故設計標準之高低，應嚴密考慮，現交通部公路總管理處之設計準則，規定行車速度如下表：

路 別	行 車 速 度 (公里/小時)		
	平 原 區	邱 陵 區	山 嶺 區
甲 等	80	60	40
乙 等	70	50	30
丙 等	60	40	20

所有路線設計，如前所述，係根據上項速度所擬定，但路面之重要，亦不亞於路線。我國公路運輸日增，路線日多，運輸費用與養路費用之數字，已凌駕工程費用而上，其結果需求於路面者亦日甚，可謂已踏入我國公路工程之路面時代。自經委會在南京京湯路上作第一、第二試驗路面以後，最近交通部公路總管理處，有第三、第四試驗路面之興築，其性質分別如下：

第一試驗路 塊砌（磚塊、石塊）碎石及水泥混凝土路面——在南京。

第二試驗路 瀝青表面處治碎石路面——在南京。

第三試驗路 代柏油及土壤小泥路面——在重慶。

第四試驗路 級配土壤及石灰結碎石路面——在昆明。

各次試驗路面之設計，一方面顯示路面設計理論之進展，一方面顯示我國需要路面之性質。質言之，碎石路面，仍為目前之主要路面，而以低價路面為研究之重心。低價路面，以就地取材為計劃要素，就地取材莫若砂石泥土之類為便利。砂石泥土，總稱之曰土壤，故在目前我國公路運輸量之狀況下，土壤路面，似或最合理想，而土壤路面如何可以穩定，遂為當前路面之重要問題。

(7) 運輸路線與軍事 由前所述運輸經濟已因工程標準而大有出入，倘更就軍事觀之，一線之得失，其出入更何止倍蓰。其有應早修而未修者，臨時趕工，雖幸而打通，費已不貲，不幸而有誤軍用，物資之損失更鉅。其有已動工而須半途作廢者，損失

動亦百千萬元，雖局勢萬變，未可逆觀，但早作準備，未始不可減少犧牲至於最低程度。故路線一項，常應先事規劃，如多組勘測隊，常設石工隊，多備築路器材等，與軍事節節呼應。

(8) 公路財源與工程 至於路線已經擬定，或工程亦已開始，亦有因工款支絀，而遲遲不能動工者，或已動工不能如期進行者，輕則耗工糜款，重則貽誤機宜，直接間接，損失甚鉅。故工款來源，應妥為籌劃，而戰時施工，一切手續，亦不應拘守成例，與常時等觀。

綜上所述，凡公路之財源，路線之規劃，工程標準之實行，交通管理之推進，運輸工具之充實，以及員工之培植，築路器材之採辦等，均為當前公路上重要問題，而為全國上下所亟欲解決者。吾人明知非旦夕所能解決，但如有途徑可循，亦不難計日而達，茲不揣譎陋，試為擬議如後：

### 三 當前公路建設之途徑與政策

(1) 路款來源之開發 路款來源，大別之可分為政府撥款，與用路者繳納稅捐兩種。政府撥款，或由中央，或由地方，故公路事業費用，可有多種來源，分則薄弱，合則充裕。以往公路，多數為中央撥款督造，亦有為地方自籌所辦。茲考世界各國公路，其財源出於中央者，成份漸多，故其管理亦漸有集中之勢。現今似應採取此制，明白規定，何者應由中央舉辦，中央管理，謂為國道，何者應由地方舉辦，地方管理，謂為省道，或縣道。至於運輸，亦可隨時規定，何者可由政府經營，何者可由私人經營，何者可由公私合營。茲為清晰起見，分別列舉如下：

1. 國道建設費 建築改善及養路費用由國庫負擔。

2. 省道建設費 分(一)中央補助線，由中央督造，並依法補助經費；(二)省方自

築線，由省方自籌經費。

3. 縣道建設費 由各縣自籌經費，利用國民工役，建築改善並保養之，但得請省方補助。

至於運輸事業之經營，不屬工程範圍，暫不贅論。

(2) 路線系統之規劃 根據前節路線有分為國道省道縣道之必要，茲試為分類如下：

1. 國道網 凡路線之性質，不限於一省或數省，或其性質特殊者，可由中央劃為國道，故國道之里程，可因時勢需要，而逐年增加或變更。

2. 省道網 凡路線之性質，不限於一縣或數縣，而與本省或鄰省有關係者，可由省政府劃為省道，其里程亦可由時勢之需要而逐年增加。

3. 縣道 凡路線不屬於國道省道之範圍，而純屬地方性質者，謂之縣道。

(3) 工程標準之劃一 全國公路工程標準，應有統一規定（但具有彈性），並應由政府監督執行。現在交通部公路總管理處將公路分為甲乙丙三種，其標準依路之運輸量與運輸性質而定。又分平原區，邱陵區及山嶺區三類，視沿路之地形而異。惟運輸量及運輸性質，均隨時變化，少者可以增多，普通者可以變為特殊，路線之標準，自須隨時調整，以謀適應，初定時不可過高，過高則不經濟，亦不可不預留改善地步，以免將來改善困難。

(4) 路政機構之運用 我國幅員廣大，加以公路事業驟然膨脹，對於準則之執行，新工與改善工程之實施，如何可以美善，有賴於機構之運用者正多，茲亦試擬如次：

1. 在中央應由交通部總管全國公路路政，為督察便利起見，可將全國分為若干督察區，代表分別督察。

2. 在各省應有專管公路機關，其組織由中央核定之，其總工程師由交通部核委

之。

3 各縣縣政府應設專管公路之技術人員，其人選由省政府公路管理機關核委之，並受省政府公路總工程司之指揮。

(5) 交通器材之供給 公路功用之發揮，端賴有充份之交通器材，而現代之機械化與高速度化之交通，處處均在國防上，政治上與經濟上，以至於工程標準上，發生重要而有決定性之作用。在此舉世注重國防交通期間，我國所用之交通器材，自以能適應此種交通為合宜。我國目前因重工業之初興，向未能大量供給汽車與燃料，應積極提倡製造配件，裝配汽車，煉製代汽油，煉鋼，以及製造引擎，探採汽油。此種事業，規模宏大，政府人力財力有限，自應一面由政府酌量自辦，一面鼓勵人民參加，而從旁監督之，以期公路交通事業得以分工合作，加速前進，至於畜力車輛運輸，亦可提倡，作為低速度運輸之用。

綜上所述，我國公路建設，在目前及今後相當期間，其應取之政策，可得三點如下：

1. 在財力來源方面，應採地方中央分擔政策。
2. 在工程標準方面，應採分期改善政策。
3. 在運輸事業方面，應採政府監督民營政策。

#### 四 我國公路建設方案

茲根據以上之分析參照總理建國大綱，試擬我國公路建設之簡要草案，提請研討。

##### (甲) 路線系統及其分期建造計劃

- (1) 國道路線網二十萬公里，分二十年完成，每年改善五千公里，新工五千公里。
- (2) 省道路線網六十萬公里，分三十年完成，每年改善一萬公里，新工二萬公里。
- (3) 縣道路線網八十萬公里，分四十年完成，每年改善一萬公里，新工二萬公里。

「說明」以上合計一百六十萬公里，每年新工四萬五千公里，十年後，道路可以五倍於現有里程，重要國道可以完成過半。

所需工作人數，以每公里需一萬工，每年工作三百天計，全部（改善及新工）共需七萬萬工，每天應有二百三十三萬人，參加工作，如人工缺乏，自需延長建造期限，或採用機械。

##### (乙) 交通器材及其分期添造計劃

###### (1) 公共客貨汽車二十萬輛。

我國鋼鐵及汽油不能大量增產，故暫採取公用政策（即提倡大客車及貨車，並多由公共汽車公司辦理），以期交通工具得充分利用。五年以內，假定每年須添車五千輛，其中二千輛為替換舊車，三千輛為擴充業務之用，五年以後，再開始自行裝造汽車，分十年完成二十萬輛公共汽車，屆時約每三至四公里，可得公共客車或貨車一輛，專供公共用途，至於私人汽車不計在內。

依上計劃，第五年應有年產一萬輛之汽車工廠，第十年應有年產二萬輛之汽車工廠，第十五年應有年產五萬輛之汽車工廠；每年汽車工業需用各種鋼料，約為五萬至二十五萬噸；每年須汽車動力燃料六萬萬加侖。

###### (2) 膠輪大車八百萬輛，分四十年完成。

如全國農民以三萬萬二千萬計，設農民每四十人有膠輪大車一輛，則全國應有膠輪大車八百萬輛，分四十年完成之，每年製造二十萬輛，屆時每公里公路，將有膠輪大車五輛。

至於需要之膠輪，可用舊輪胎，由國外輸入；每年應增產之騾馬，亦應預事籌劃。

##### (丙) 公路員司及其分期訓練計劃

(1) 公路工程員司十萬人，二十年訓練完成。

養路工程，假定每二十公里用工程技術人員一名，一百六十萬公里，需八萬人；



新工及改善，每五公里用技術人員一名，常川應有二萬人，以上共需用公路工程員司十萬人。

(2) 汽車工程員司十萬人，十年訓練完成。

製造汽車技術人員，十五年後，常川應有二萬人；修理汽車技術人員，每五輛用一名計，二十萬輛客貨汽車，共需四萬人；汽車配件製造人員，亦以每五輛用一名計，共需四萬人，以上合用汽車工程員司十萬人。

(3) 公路管理員司二十萬人，十年訓練完成。

車務及站務管理人員，以每五輛用一名計，二十萬輛客貨汽車，共需四萬人。

會計、電訊、文書、材料等管理人員，亦以每五輛用一名計，二十萬輛客貨汽車，共需四萬人。

駕駛人員以百分之六十車輛常川行駛計，二十萬輛客貨汽車，共需十二萬人。

私人汽車應用人員，未計在內。

以上合需公路管理人員二十萬人。

至於訓練辦法，似可仿照最近國防最高委員會訓練電機機械人員辦法，加以擴充，茲不贅述。

## 五 結 論

十年前我國公路僅五萬餘公里，二十一年起，每年增加約一萬公里。抗戰發生，新

路亦年有增加，且多在地，建築費用日多，自不待言，而運量激增，物價工資高漲，更使養路與改善費用，大量增加。此項費用幾於完全由政府負擔，合中央，地方，直接，間接，所用之工程費計之，每年當達二三萬萬元。考之英美各國，每年公路事業費，亦多用於改善工程，英國每年費四千萬金鎊，大部充作改善經費；美國每年費十二萬萬美金，其新路線之增加不多。我國當前，在中央似應注意於幹路之改善，及少數必要國際路線之改善；在地方，似應積極提倡興築省道縣道。至抗戰結束時，則舉國上下，對於破壞公路之整理修復，新闢路線之興建，尤應同時並進，所需工程費，照目前情況，就全國地形平均估計，新路每一萬公里，需費在五萬萬至十萬萬元之間；改善工程，每一萬公里，需費約一萬萬元以上。總理公路計劃，如擬分作四十年完成，此項工程費用，照目前估計，每年當在二十七萬萬元以上，自非由中央地方分擔合作，斷難完成。至於如此鉅大數字，所含之人才、物力及管理機構，意義之重大，亦不難想像得之。本文所論，因倉卒屬稿，掛漏及錯誤之處，知所不免，拋磚引玉，是所望於本會諸君。

附註：本文承會友張昌華兄協助擬稿，附此誌謝。

## 道路 鐵道 工程書

商務印書館出版

道路工程學(工程叢書)	洪觀濤著	1册	定價 1.80元
道路工程	吳國柄著	1册	定價 .60元
道路(工學小叢書)	劉友惠等著	1册	定價 .30元
鐵路(工學小叢書)	聶肇靈著	1册	定價 .35元
鐵路工程學(職業學校教科書)	凌鴻助編	1册	定價 1.00元
鐵道測量及土工(職業學校教科書)	吳承祺編	1册	定價 .80元
鐵路測量學	呂 謹 著	1册	定價 4.00元
養路工程學	夏堅白等著	1册	定價 2.60元

# 近年公路技術之改進

趙祖康 陳孚華

緒言	
訂線	
(一)訂線之技術	
(二)訂線之安全	
(甲)坡度	
(乙)曲線	
(丙)坡度折減	
(丁)視距	
路面	
(一)路面種類之選擇	
(甲)低級路面	
(1)碎石路面	
(2)礫石路面	
(乙)中級路面	
(1)級配石子路面	
(2)瀝青處治級配石子路面	
(3)食鹽處治級配石子路面	
(4)水泥土壤路面	
(二)路面實驗之進展	
排水	
(一)表面排水	
(二)地下排水	
養路	
(一)訓練監工人員	
(二)加強養路組織	
準則	
(一)公路沿線地形之劃分	
(二)公路等級之劃分	

## 公路訂線

過去對於公路訂線多未加深切注意，只求通車而不顧路線之經濟與安全。當時車輛稀少，路線不佳對於行車亦無顯着不便，故大部公路多係沿用原有火車道加寬修平，坡度曲線方面亦僅求能勉強應用而已。近年來，公路運輸量激增，更因軍事運輸需要迅速安全，同時路面改進行車速度增加，於是路線問題漸趨嚴重，不但需要迅速安全之路線，且因燃料來源缺乏，更需注意及行車經濟問題。惟路線即訂，改善老路較之測量新線尤為困難，此種情形不但我國如此，考之歐美各國公路發展史，亦均有同樣情況，因運輸量增加而注意及路面改進，路面改進則行車速度增加，行車速度增加則路線必需改善。因果相循為一般現象，公路總管理處有鑒於此，除盡量改善老路外，對於新路路線特別注意及其將來發展，務使路線改善費減至最低限度，對於公路訂線特別注意訂線技術，與行車之效率兩項，茲分述如左：

### (一)訂線之技術

原理上公路訂線與鐵路訂線大體相同，惟因所行駛車輛性質不同，故不但公路訂線法不能應用於鐵路，即鐵路訂線法亦不能應用於公路，前者為一般所知，而後者則多為一般忽視，以為路線若能通行火車，行駛汽車自應無問題，而忽略及經濟立場。鐵路因列車長度關係縱坡度必須長，變換坡度處亦不宜過多，故鐵路路基之建築往往須要高填深挖；公路則不同，變換坡度對於行駛汽車無大關係，縱坡度之長度對於行車亦無顯著利益。同時因公路之坡度曲線限制與鐵路不同，可以運用訂線技巧避免土石方艱巨處，如不加注意，結果則虛費土石方在所不免。公路路線對於土石方既應力求經濟，故對於路線設計，應加注意，測量後之縱斷面圖必須經過詳細設計，參照橫斷面圖，依照規定步驟訂設計線，使設計線所通過之每斷面之填挖，均接近平衡。坡度在4%以下時，則盡量採用起伏坡度，即利用多數之單複及反向豎線相合而成，以能避免大填挖為原由。

最近公路總管理處，並擬厘訂各等公路每公里土石方平均數量，測量時如超過所規定數量，必須更加詳細考慮比較，務使土石方數量減至最低可能限度。

## (二)訂線之安全

目前公路路線最大缺點為坡度彎道與視距三項：

(甲)坡度 已往公路以經濟及時間關係，對於坡度方面多未能合乎標準，尤其是在越嶺路線最大坡度在 10% 以上者頗為常見。此種坡度固應避免，但目前急於改善者為陡坡過長處。陡坡過長，則夏日汽車行駛其上，必須屢次加水，以減機械之過熱，雖在 6% 坡度上，如長度超過至百公尺，汽車行駛亦易發生障礙。總管理處最近規定之準則，對於最大坡度，仍准用至 10%，惟對各種坡度之長度，則加以嚴密之規定，同時在各路改善工程中，首先改善此種情形，以利行車。

(乙)曲線 曲線最小半徑，已往各省規定雖均在十五公尺以上，而事實上多未能作到，目前各路最小半徑，在八公尺左右者仍甚多。已往因車輛稀少，曲線半徑過小，尚不顯著，目前運輸量激增，彎道過小，不但影響公路運輸能力，對於安全方面，亦極有礙，例如滇緬路所用之拖車，車身長達十二公尺，行駛於急灣上，偶一不慎，即有翻車之虞。

公路總管理處最近頒佈標準中，最小半徑雖仍係十五公尺，然經切實督察，小於十五公尺之半徑絕對不准使用。在改善工程方面，首先注意及平原區域之過小曲線，然後盡量注意及越嶺線之回頭彎道，例如筑昆段安南附近之二十四倒拐，前者行旅視為畏途，經改善後現已不復危險矣。

(丙)坡度折減 坡度過大，曲線過小，對於行車固不便利，而坡度無折減之弊尤甚，即急灣陡坡之合在一處，汽車行駛此種地段，極為危險，駕駛爛熟者，對此尚能勉

強應付，但若在此時遇對方來車，則勢必兩方停車，一方或雙方再行倒車始能通過。已往訂線者，對於此點多不注意，測量規程中對此項亦鮮有切實規定，公路總管理處最近所頒發之準則中，對此項有特別嚴密之規定，最近新測各路，如漢渝，樂西，川中等路，對於此項規訂均能遵守。

(丁)視距 目前西南各路汽車肇事之事，時有所聞，其原因一半固由於司機之不慎，一半則由於公路工程未合標準，惟其中如路基過狹，灣道過急，坡度過陡等，均為肇事之因。惟其中最重要者，厥為視距不足，已往對於視距問題，多未加注意，故如川桂，川滇各路，視距均不足二十公尺，司機在急灣處，雖鳴喇叭，警告來車，但有時仍難引起來車注意，待司機眼見來車已不及停止，不得不轉急灣以圖迴避，於是翻車與撞車之事時時發生。此外在縱向視距過短，亦易發生危險，即豎曲線長度過短之病。在丘陵區中行車速度較大而路面寬度不及五公尺，汽車多行駛於路面中心，在坡度變更處，因豎曲線長度過短，不能豫先發現來車，殆發見時急轉迴避之乃致翻車。關於視距不足除由公路總管理處積極改善各路視距不足處，採取之辦法有三：

(1)開邊坡法 此法所費有限，而收效甚大，最近成渝公路老鷹岩盤山線採用此法，減少行車肇事事甚多。

(2)行車上下分道 於急灣處路面中心劃線，使來往車輛上下分道。

(3)減低行車速度 公路總管理處規定在山嶺區行車速度，不得超過二十五公里，更於視距不足處，樹立行車速度限制標誌，並組織有公路巡察隊，以嚴厲執行規定限制。

除上述公路訂線之技術與公路訂線之安全二項外，其他如路基土壤，路面材料等之與訂線之關係，均為以前訂線所未注意者。例如訂線時，應避免路床土壤排水不易改善

之地段，有時路線應遷就路面材料產源豐富處，凡此種種，均為以前訂線者所忽略，而亦為目前特別注意之事項。惟公路訂線技術原則上雖經確定，而事實上抗戰時期修築之公路多係趕工性質，軍事限期急迫，不容訂線者有充分考慮時間，例如滇緬公路，長達九百六十公里，橫越橫斷山區，工程之艱巨為國內僅見，而自開始測量至通車為時不過十個月，進展之速，為中外所嘉許，測量時多係隨測隨開工，決無充分考慮時間，以致該路有若干處路線有改善之必要，公路總管理處有鑒於此，對於計劃修築之路線。先派測量隊詳細勘測，並予以充分時間，使有比較復測之機會，然後開工時得從容不迫，目前已派隊測量者，有康青路，川青路，甘川路等，而最近完成之天雙路，漢渝路，正在興築中之樂西路，均依照總管理處之準則施測，較之已往公路工程，已有顯著之進步矣。

## 路 面

公路建築可分為三個階段：第一階段為路基之建築，亦即土路通車之時期。此時車輛往往較為稀少，迨車輛漸增，土路不能勝任時，則有鋪築低級路面之必要，此為第二階段。至車輛數目激增，低級路面不能勝任時，則更進至第三階段，即鋪築高級路面時期。至於應在何時改鋪何種路面決定之因素，最重要者為經濟之立點。美國常例：凡公路每日車輛在一百輛以上者，即可鋪築路面；每日車輛在七百五十輛以上者，始改鋪高級路面。我國公路，在抗戰前因運輸量甚低，路面問題並不嚴重；抗戰以後運輸量激增，更因軍事運輸需要迅速安全，路面問題目前遂形成公路之中心問題。茲將近年來路面種類之選擇及路面實驗之進展分述如次：

### (一) 路面種類之選擇

我國公路路面大抵均為碎石路面，但研究碎石路面是否能應付目前車輛？是否能合

乎經濟？則仍應加研究。查路面種類，在十年前不過為二大類：即高級路面與低級路面。高級路面包括一切磚塊、石塊、木塊、混凝土、瀝青等路面；低級包括礫石、碎石、砂泥等路面。近十年來公路研究突飛猛晉，尤以美國公路學者認為低級路面有深切研究之必要，因之有級配路面之發明。此項發明仍稱為低級路面，但事實上級配路面係介於高級與低級間之一種路面，吾人可稱之為中級路面。我國公路因每日車輛數目不多，未能鋪築高級路面；且鋪築高級路面之材料：如混凝土路之鋼筋，瀝青路之油料，木塊路之臭油，均須用外匯購買，故目前我國尚無能力顧及此。吾人應立即採用者為低級路面及中級路面兩種。茲分述如下：

(甲) 低級路面 低級路面最重要者有二：即為碎石路面及礫石路面。

(1) 碎石路面 碎石路面之發明遠在百年前，普通採用者為水結碎石路，我國所用者為泥結碎石路，按泥結碎石路若鋪築養護得法，未始不能為良好之低級路面；惟以往鋪築碎石路方法往往未能合乎規則：例如石子質地必須堅韌，其硬度韌度等應合於實驗室之規定，而一般築路選擇石子時，因求打碎之省事，往往採用軟石，以致車輛行駛數月後，石子磨蝕，遂失去路面之效用；又如碎石之大小亦有規定，而普通打碎石子時對於尺寸多未能嚴格符合；灌漿時黏土成份或多或少，均未能合於預定之標準；碎石路面本非優等之路面，而鋪築時又漫不經意，以致我國路面情形未能良好。目前總管理處重新厘訂碎石路面之施工規範及詳細施工法，並注意養路，務使鋪築碎石路之技術漸臻完善。

(2) 礫石路面 礫石路面在我國採用者尙少，在美國則此種路面佔全部低級路面百分之七十以上。礫石路面在車輛稀少之公路極為適用，其造價亦較廉；蓋所用石子無須

打碎，在沿河路線採取材料極為方便，今後擬大量採用之。

(乙)中級路面 中級路面種類甚多，目前採用者有級配路面，瀝青處治級配路面，食鹽處治級配路面，水泥土壤路面等，茲分述如下：

(1)級配石子路面 級配石子路面之原理在用不同級配下石子砂料之結合料混合而成，使其密度達最高度。每立方公尺碎石路面材料不過重二公噸，而每立方公尺級配石子路面之重量則可達二·三公噸。密度大則水分不易浸入，路面不易損壞；同時石子尺寸最大不過一英寸，故表面平滑，雖日久亦無顛波不平之弊。

級配石子路面在世界各國尤其在美國已大量鋪築，但在我國鋪築者尚少。湖南省公路路面素稱為全國最佳者，若細查其成功之原因，則知湖南省所鋪之路面，事實上並非碎石路面，而為類似級配石子路面；蓋其鋪築時所用砂及石子均具有級配，養路時復注意用有級配之砂拌和少量黏土所築成，而非碎石路面本來面目矣。目前公路總管理處對於此種路面立求推廣，最近在樂西公路試鋪五十餘公里，所有路面材料均經嚴格試驗配合，使能接近理想成份，結果如何，則尚未能臆度。

(2)瀝青處治級配石子路面 級配石子路面抵抗車輛磨蝕力不強，故車輛每日若超過二百輛時，表面應加處治。在美國處治路面材料大多數用瀝青，無論何種瀝青均可用為處治級配石子路面之用，土瀝青柏油乳化劑等均可應用，所用數量每平方公尺不過半加侖。我國雖不產瀝青，但將來工業發展，柏油為製造焦之副產品，必可大量出產；即使此項瀝青須購自外國，而用量甚少，較之鋪築瀝青路經濟多矣。今年年初總管理處鋪築滇越公路路面即擬用此法，嗣後因時局關係遂告作罷，未能試用，殊為可惜！

(三)食鹽處治級配石子路面 食鹽與氣

化鈣均有保持路面作用。氯化鈣在我國價格過高，不能採用；而食鹽在川中公路及沿海區域價格甚廉，可以試用。目前正在試驗中以備抗戰後在沿海各省推行。

(4)水泥土壤路面 水泥土壤路面係用6%至16%之水泥與土壤混合結成之路面，水泥之作用在穩定土壤，故此種路面不可與普通混凝土混為一談。美國波得蘭水泥公司經數年之研究已有相當成效，現正在推行中。我國在西北西蘭公路曾試鋪十餘公里，惟因種種關係，未能滿意，現正在繼續研究中。

其他中級路面如石灰黏土結碎石路面，為改良碎石路面之一種重要方法。桐油處治級配石子路面，其作用可以代替柏油水泥結碎石路面，可以比擬混凝土路。但此數種路面有待於試驗者尚多，目前尚未能推行。

## (二)路面實驗之進展

路面實驗可分為實驗室研究與試驗路研究兩種。關於實驗室實驗，始於二十六年經濟委員會公路處與上海交通大學合作。對於土壤路面問題分別研究，繼在南京成立中央路面試驗室，內設土壤瀝青材料等組，各種設備甫具雛形，而公路處遷武漢，此部工作遂形停頓。二十九年初公路總管理處以路面實驗研究至為重要，不能久擱，遂與清華大學合作，成立公路研究實驗室於昆明，專一致力於公路研究之注意。最近復擬與國內各區大學合作研究，以推廣此項工作。此外交通部路工實驗所亦將於短期內成立，以資推進此項工作。

關於試驗路研究亦始於二十六年。經濟委員會公路處在南京湯山附近鋪築有試驗路一段，其中包括有彈石路面、水泥路面、竹筋混凝土路面、磚塊石塊路面及瀝青處治碎石路面等，惟所試驗各種路面，均係高級路面，對於低級路面之試驗，則有二十七年在西蘭公路所鋪之水泥土壤路面，及最近在重慶上清寺之桐油處治水泥土路面等，同時

在昆明成立第四試驗路，研究級配石子路面、碎石路面等之鋪築法。

目前我國急需一種較碎石路面更進一步之路面，同時碎石路面之鋪築法亦應加以研究，故今後對於實驗研究之目的有四：

- (1) 碎石路面之研究。
- (2) 級配石子路面之研究（注意施工法）。
- (3) 級配石子路面表面處治之研究。
- (4) 各種穩定土壤方法之研究。

路面不良影響於行車費至巨，歐美各國對於路面經濟之研究，莫不極為重視；尤為不產汽油之國家，如德國對於汽油消耗計算之精密，務使每一加侖汽油均能達到最大效用。我國現有重要公路在西南約有五千公里，每日車輛平均一百二十輛，在西北約有四千公里，每日車輛平均亦數十輛。若將此九千公里之公路由碎石路面改為高級路面，每輛汽車每公里可節省之費用加以估計，當在數萬萬元之譜。目前西南西北各路改善路面之結果，對於汽油消耗已有顯著節省。

### 路基排水

排水問題在公路建築上最為重要，例如路面破裂，路基沉陷，以及邊坡坍方等，均係水在其中醞釀而成。美國公路界對於公路工程之口號為「不漏水之屋頂，與乾燥之地窖」，已往我國公路建築，對於屋頂部份，尚能注意，例如路拱邊溝等皆有設施。而對於地窖則毫未加以注意，以致一至雨季，路基存水，無法宣洩，種種劣痕均呈目前，影響交通，至為嚴重。排水可分為兩部份，表面排水及地下排水兩部，茲分述如次：

#### (一) 表面排水

表面排水可分為路面排水、邊溝排水及天溝排水三部，已往對於此路面排水及邊溝排水，天溝排水三部工程，雖均有設備，惟尚未切實注意，例如路拱往往過小，以致水分不能宣洩，存積於路面上，因之透於路基

中，浸蝕路面，為害至巨。關於邊溝，則多隨路面縱斷面之起伏，出水之處亦過少，有水份流於邊溝中數百公尺未能洩出，以致邊溝磨蝕淤塞，影響及路基。目前新修及改善各路，除對於路拱特別注意外，對於邊溝之坡度，在測量時，加測邊溝縱斷面，使邊溝流水不致過急，每一二百公尺，必須有洩水之設備，同時在邊溝坡度大處或路基土壤鬆弱處，用石塊鋪砌以防磨蝕。對養路方面，更加注意邊溝情形，不使淤塞。至於天溝排水，則已往更少注意，天溝設備，對於表面排水最為重要，蓋滲透於土壤之水分，因有來自地下者，而來自表面雨水之滲透，則尤居多數。天溝之設備，其最大之效用，即係阻止雨水流入土中，以致發生邊坡坍方，但設溝之位置，應加特別注意，凡土質已鬆動之處，決不可設，應設於滑潤平面之外，否則不只不能避坍方，反能加速其實現。關於天溝之設備，滇緬路已加注意，惟開挖之位置尚未妥善，故收效亦不宏，為避免新修各路將來邊坡坍方起見，所有挖土地段，土質鬆脆處，一律均加設天溝並注意其位置，務使能橫截水流，此種設備，雖略增工程費，而對於將來養路費，則節省甚多。

#### (二) 地下排水

地下排水之方法，最主要為埋設暗溝，暗溝之作用，在截留山坡滲下之水導之他去，而不使之滲入路面之下。蓋地下水流之方向，完全係循其阻力最少之途徑而行，故水能集中於暗溝之中而引於路外。為避免暗溝埋設之地點不當，而不能生排水效用，應用土鑽，將土鑽打入土中以探求滲水地點及其水流方向，然後作暗溝之設計，庶不致不發生效用。或疑土鑽探求未必能準確，滲漏之量時有變更，即使埋設暗溝，或不能完全收效；然此項工程，所費無幾，為經濟起見，可不用瓦管，而改用盲溝，假設十個，有半數收效，則所得已超過所費。蓋暗溝之設備，不但可以防止水分浸及路面

使路面沉陷，而且可防止邊坡坍方，為路基工程中最重要之一部，歷來我國公路建築，對於暗溝設備，因其功效未能立即收穫，故多付之厥如，工程預算中亦鮮有此項，公路總管理處現對於此問題加以深切注意，擬派專人研究訓練排水工程司專門解決排水問題，以求路面之安全，路基之穩定。

## 養 路

公路能否持久，固視建築之良窳以為斷，然若不加以保養，雖建築本善，亦難期其久遠，蓋自然界之風化雨蝕，車輛行駛之軋礫輾壓，在在使路面路基以及橋樑涵洞發生損壞，始微終鉅，寢成廢路。故一路之健全，必有賴於保護，自不待言。養護工作為公路經常工程，若不得其道，則消費大而收效小。我國公路對於養路工程，殊少注意，迨經濟委員會公路處督施全國公路養路工程始被重視，欲求路面養路得法，應注重(一)訓練監工人員，(二)加強養路組織。

### (一)訓練監工人員

目前養路辦法多於路面不平處或石子剝落處，就近挖取路基邊坡土壤，隨意填滿，或先填以大塊石子，再加以土壤即算竣事，道班工人，初不問所填之土壤係黏土抑係沙土？在面層材料散失大石塊露出之地段，道班之工作均係挖取邊坡土壤，以當細料，如土壤幸而係沙土質，則尚可勉強適用，如係黏土質，經雨浸泡後，則滑潤非常，對於行車至為危險。養路材料，須多用沙土少用黏土，為人人所知，道班之所以不用沙土者，一因不願在遠處運土，再因監工人員根本不能鑑別沙土與黏土。沙土在各種土壤中，往往有大量含蓋，其顏色亦不一，例如雲南之紅土層，若不細心觀察，莫不以為完全係紅色黏土，此種土壤，有沙土質黏土，有粉沙質黏土，有沙土質壤土，有沙土質，有黏土質，而其顏色大半為紅色，養路時，應採用沙土質者，若採取不便，則求其次亦應採

用沙土質黏土，或沙土質壤土之含沙成分較高者(60%以上)，往往有黏土質與沙土質土壤相隔不過三十餘公尺，而道班取前者而舍後者，蓋兩種土壤，均係紅色，監工人員不能鑑別之。其他如一般養路工人主要任務，只知鋪修路面，對於排水工作，如疏通邊溝，改善路拱等，未嘗顧及。凡此種種，究其原因，在監工人員，對養路無基本之認識，目前各路有鑒於此，分批調路上監工人員回路局受訓，灌輸以養路基本知識，俾能稱職。

### (二)加強養路組織

養路道班工作效率，全在監工人員之督促，督促不嚴，則道班晏起早歸，每日工作敷衍了事，故每個道班或每兩個道班，應有監工人員負管理責任，關於道班工房之設備，尤為重要，湖南省公路，對於此項工作，最為注意，使道班住宿地點，不至離工地過遠，減少每日往返時間，現西南各路，均仿湖南辦法，每十公里至十五公里有道房一所，每公里有道班一名，此種設施，對於養路有顯著之補益，公路總管理局最近復於成渝川陝二路成立實驗區，用改良方法養路，同時訓練養路監工人員，如此二路養路成功，則其他各路可以仿此二路養路辦法。

## 準 則

我國對於公路設計準則，以往各省，各自為政，福建、浙江、江蘇、陝西、甘肅各省，多採用浙江公路局頒佈標準，湖南、湖北、江西等省，則多採用湖南標準，其他各省則均與浙江湖南所規定者，大同小異。惟二省之規定，較為簡單，例如對於坡度之規定，只有最大坡度之規定，而無坡度折減與兩個以上坡度連續使用之規定。全國經濟委員會成立後，對於公路設計準則，曾有劃一規定，惟能切實遵行者甚少，最近公路總管理處，根據抗戰時公路之需要，及以往之實際情形，重新規定公路設計準則，其特點如下：

### (一)公路沿線地形之劃分

公路所經過之地域，因其地形對工程上之關係，劃分為平原區，丘陵區，與山嶺區三種。凡崇山峻嶺，地形複雜，土石方艱巨，其天然坡度在7%以上者，為山嶺區；凡丘陵起伏，地形和緩，其天然坡度在4%至7%之間者，為丘陵區；凡地形平坦，工程簡易，其自然坡度在4%以下者，為平原區。一條公路可經過數種不同區域，踏勘工程司應決定全路中何屬於山嶺區，何屬於丘陵區，何屬於平原區，然後測量隊即可按各區之標準施測。

### (二)公路等級之劃分

劃分公路等級，應先注意公路上目前及將來車輛數目，車輛種類，公路所經過城市之目前及將來人口，軍事上之運輸情形，車輛數目。按美國一九三〇年 A. R. B. A. 規定分公路為甲乙丙三級：

甲級車輛每日一千至五千輛。

乙級車輛每日五百至一千輛。

丙級車輛每日五百輛以下。

我國公路上車輛數目，尙未有精確調查，惟絕少有每日超過五百輛者，普通每日在一百輛左右。查美國共有車輛約三千萬輛，分佈於重要公路，約一百萬公里，平均每公里有汽車三十輛；我國現僅有汽車約三萬輛，分佈於重要公路，約一萬公里，每公里僅有汽車二·三輛，故按汽車數量上觀之，我國公路僅能及美國之丙級路工程標準。

車輛種類：查美國公路上汽車卡車，僅佔全部百分之十；我國公路上，則卡車數目至少在百分之八十以上，故若按每日公路上貨運噸數劃分等級，我國公路貨運噸數，可及美國之乙級公路。

經過城市之人口：按美國規定甲級公路每長約一百五十公里，必須經過人口在五萬以上之城市一處，乙級則其距城市之距離較遠；我國城市人口雖多，但其性質，並未

商業化，未能如美國之能影響於公路運輸之巨。

軍事上重要：如德國之汽車專用道，所經過之處，並非重要城市，亦少經濟價值，其所以修築此種超等公路，完全為軍事上運輸便捷起見；我國公路，若因軍事上之需要，雖目前車輛稀少，亦無經濟價值，但仍可修築甲級公路。

根據以上各節，我國公路等級，劃分如左：

● 甲等路 凡聯絡數省之重要幹線，目前或預計將來每日行駛汽車在五百輛至一千輛者，為甲等路。

乙等路 凡聯絡重要城市之幹線，目前或預計將來每日行駛汽車在一百輛至五百輛者，為乙等路。

丙等路 凡次要路線，目前或預計將來每日行駛汽車在一百輛以下者，為丙等路。

凡有關軍事之公路，其等級得視其需要，採用甲乙丙之任何一等路，根據三種區域，及三種地域公路設計準則，可分為九種，更由已往經驗，規定各等公路在各區中最大行車速度，即可規定視距半徑坡度豎曲線長度超高加寬等，目前所訂之準則，在丙等路之標準，較已往所訂者稍低，甲乙等則較高，使全國所有公路，最低限度可達到丙等標準。

總觀以上所論，路線與路面為公路之骨幹，而欲求路線之改進，必須由設計準則着手；欲求路面之改善，則必須注意設計、施工、排水與養路。我國公路歷史至短，至今僅有二十餘年，以往國人對於公路工程，常為一般所輕視，以為公路工程簡易，不需高深技術，抗戰以來，公路交通因環境之需要，而頓形重要，公路工程始受注意，三年來已有進步，然因公路運輸量之激增，技術方面，亟應力求精進，是所望於會員諸君共同研討者也。



中國工程師學會香港分會

# 社會服務部

◇集合各部門技術人才

◇為國貨製造廠家服務

## 業務項目

- (一) 常年顧問
- (二) 工廠設計
- (三) 機器估價
- (四) 裝置修理
- (五) 化驗材料
- (六) 機器檢查
- (七) 採購物料
- (八) 改良管理
- (九) 訓練員工
- (十) 介紹人才
- (十一) 鑒定事件
- (十二) 其他事項

地址 香港雪廠街十號五十四號房

電話 三二五八一號

# 吾人在鐵路計劃與選線中應注意之幾點

王竹亭

## 一 概論

鐵路興築之動機，恆在應付一種或數種需要；此種需要之主要者，當為軍事政治與經濟等項。三者固無截然之劃野，互相聯繫而混合；但每一鐵路必有其主要任務，其餘因素只居次要地位。不過有一種重要原則，吾人必須遵守者，即無論鐵路功用何在，皆須在可能範圍中，求在運用上（此間所謂運用包括鐵路建築投資之行息，還本，工程及設備之保養與折舊，及執行運輸時所發生之一切開支與鐵路收入互相比較）得到最大經濟效率；即謂以最少之能力消耗，換取最大運輸數量。根據鐵路之主要使命，參照其次要功用，以規定其品質及機能，（運輸能力，連同路線標準，機車式樣，站間距離，行車速度，號誌制度，等等），是為「計劃」，計劃須以進求上述最大經濟效率為前提。按照既定之品質與機能，運用測量與設計之技術，就自然地形以設置路線，是為「選線」。選線須以在適合既定質能條件下，得到最經濟路線（指路線建築時期之工程費款與營業時期之保養開支兩項而言）為目的。國家因某種需要興築某一鐵路之方針既定，第一問題，當為路線之計劃。應經行何等區域與城市，應準備供應何種性質與若干數量之運務，相應決定採用何種軌制（標準制或窄軌制）；鐵路等級（姑分為幹線與支線）；路面路基標準；單軌或雙軌；（雙軌以上目前尚無討論之必要）；採用何種最大坡度(Ruling grade)；使用何種動力（手推，馬拽，蒸汽機，電動機，內燃機，

汽電合用等等）；何種機車；與夫行車管理制度；號誌種類；站間距離；機段長短；鐵路最大運輸能力每日應為若干延噸公里；以至運務供給據點（通都大邑，礦區農場，工廠商市。娛樂集會場所）與聯運處所（水陸碼頭，水道公路及其他鐵路聯運地點）之聯繫等等；皆屬於計劃問題。此間各項決定之後，再進一步而研究路線本身之經濟事項，如工程難易之比較；投資經濟價值之估計；路線微細項目之設計；工程材料之採擇等等問題概屬於「選線」。

## 二 鐵路建築之目的

鐵路之興築必有其需要，已如前述。然不論其需要在軍事在政治或在經濟，其功用則在運輸；故凡計劃建築一路，不宜只以建築費款之高低為研究之重心；而宜在應付當前運輸原則下，能使建築投資得到最高經濟效率。工程司計劃路線時，常常求工款之減低，工期之短縮，以至鑄成未來運用上永久之缺憾。工程司須認清鐵路之建築，非只要物理的成功一條鐵路而已，乃以運用鐵路而完成運輸為目的。鐵路壽命動輒數百年，運輸費用之多寡，影響鐵路之經濟莫大；倘為求建築費中一元之縮減而貽運用時期中十元百元之損失，實為不智之事。即使國家財政困難，築路工款須極度縮減，但工程司在設計路線時，亦須遵循理論及技術規程，預定將來改善計劃，以便逐步革新，使臻合理地步。總而言之「選線」工程司決不可不懂或忽略「運用」一事，吾人宜確立口號，以為選線工程司之箴銘，即「築路乃為運用」

——“Construction for Operation”。

### 三 鐵路計劃之要點

(一)運輸數量 先有運輸要求之發生，始有交通工具之建立，人力拖擔，牲畜馱運，船舶航遞，板車汽車鐵路飛機等運輸工具之形形色色，皆應運輸之質與量而出現；單論鐵路，亦無不然，有寬轍，有窄轍，有單線，有複線，有幹線，有支線；或為客運鐵路；或為貨運鐵路；或為公用鐵路；或為專用鐵路；蒸汽，電力，等等動力以及作業設備亦各有不同；無不配合運輸性質與數量，以為選擇之標準；而運輸數量一項，尤為鐵路計劃之基礎。在某種運輸數量之下，應築窄轍；運輸數量增加至若何程度，應作標準軌距；何種運輸數量需要幹線標準；何種需要支線標準；按照運輸數量之大小，規定平地山地路線最大坡度之不同；遇有鐵路上下方向之運輸數量不等，則分別規定兩方之最大坡度，即所謂調整坡度。又如機車車輛之設計，列車載重與行駛速度之配合，站間距離，行車方法，與夫車站車場機廠車房路面軌道等項之規定，皆與運輸數量有直接而密切關係。然則吾人不欲以科學方法，設計鐵路以求其合理則已，如然，則在設計路線以前，須先完成一種準備工作；即詳盡可靠之經濟調查，此當包含直接間接足以影響運輸數量之一切經濟狀態。若夫人口之多寡（人口本身之動轉影響客運；其經濟活動——如經營商業，開發地蘊，興辦農林，以及其他種種企業之舉辦——影響貨運）；地利天時之優劣；礦藏之貧富；森林水產禽畜皮毛等項之產量，甚至人民生活方式，宗教信仰，均與運輸有關；必須詳細調查，以為估計運量之根據。此外尚須詳細研究人口增加之趨勢，及路線通車後經濟狀態之可能變化；以估計運務發展之前程。

(二)運輸能力 鐵路在單位時間（一

日，一月，或一年）中所能完成之運量，稱為運輸能力，貨運以延噸公里為單位；客運以延人公里為單位。以貨運言，在單位時間中所完成運輸之重量，乘其運程即得運輸能力。以客運言，在單位時間中所完成運輸之人數，乘以運程，即得運輸能力。路線所須具有之運輸能力，當然須由運量之多少以規定。需要之運輸能力既定，即進一步而規定幾種主要技術特點：（1）軌距，（2）機車（動力種類及機車式樣），（3）最大坡度，（4）列車駛行之經濟速度，（5）站間距離，（6）行車方法及號誌等項。至於其他技術細目，多可依賴上列各項而推定。（例如路面及橋樑承重標準，可隨機車式樣行駛速度而推定）茲不討論。

【軌距】在與軌道中線垂直方向中，兩軌頂部內邊距離（德國習慣係在軌頂下方十四公哩處量此距離）稱為軌距。因運輸要大小不同，軌距大小亦異。自〇·七五公尺至一·五二四公尺，為習見之軌距。我國以一·四三五公尺為標準軌距，而以一公尺為窄轍。決定採用某種軌距時，除運量大小外，尚須顧及路網全局之彼此聯繫。所有幹線及其直接聯繫之次要線，均宜採用標準軌距；在運量微小且無發達展望，或因自然或經濟關係，與外界隔離之狹小區域（如島嶼，礦區，工廠鐵路之直接與水道聯絡者及其他）；或臨時應軍事需要所建築之輕便路線；得採用窄轍。窄轍路線，路基縮狹，橋涵薄弱，彎道緊急，土石工程因而減低，一切設備及工程均較標準軌距之標準為低；故可省費。此為窄轍之最大優點。但吾人亦不可忽略其缺點：（甲）與標準軌距路線聯運站上必多一番裝卸手續，費用增大。（乙）機車牽引力愈大，及車輛載量愈大，則機力之經濟效率愈高，此為不易之定論，而且為鐵路運用中不可忽視之因素（見 C. C. Williams: *Design of Railroad Location* p. 156, 177, 211）。窄轍路線上之機車既

小，列車重量及車輛載重皆相應減低；因而自機力運用之觀點而言，不為經濟。(丙)機車車輛與標準軌距路線不能互相過軌，在軍事時期為大缺憾。

【機車】鐵路機車，按動力而言約分三種：曰蒸汽機車，曰電動機車，曰內燃機車。如按機車車輪與鋼軌間關係而言，約分三種：曰摩阻機車（利用輪箍與軌頂間摩阻力以發生動轉）；曰齒輪機車（利用第三軌與機車齒輪間之阻力以發生動轉，此種適用於坡度強大之路線）；曰摩阻齒輪混合機車。如以使用範圍而言，則有貨運機車與客運機車之分。此外尙可按照機車構造性能以區分之，但茲不詳論於此。我國目前所側重者，當為摩阻鐵路之蒸汽機車（將來可進一步而設計電力機車及山嶽區內之齒輪機車）。茲只就摩阻蒸汽機車之貨運機車，申述於次，蓋吾人目前計劃鐵路，只能以貨運為研究之對象也。機車效能概以挽力表示；普通所用貨運機車，挽力約在五六千公斤至一萬二三千公斤。挽力之公斤數，除以列車每噸重量阻力之公斤數，即得列車最大重量之噸數。逾此則機車不能牽引矣。〔所謂每噸重量阻力，其計算相當繁複，茲不詳論。其發生之原因大致在：(a)上坡行駛，(b)彎道行駛，(c)增高速度，(d)空氣相對流動，(e)軸頸與軸承間之摩擦，(f)輪箍與軌頂間之摩擦，(g)車輛後面之真空作用，(h)車架之震動，(i)車輪在鋼軌接頭處之衝擊，(j)軌道抗力之不勻，(k)輪箍表面與軌頂之磨蝕不平，(l)車軸裝架之不正，(m)機車機器內部之摩擦，(n)列車開駛時之慣性，(o)軌面凝冰結垢以及潮濕等。〕挽力以外，更有一種因素，亦足限制列車重量，即輪與軌間之黏着力。此與機車之黏着重量及輪軌摩阻係數成正比。在普通情形

下，摩阻係數可視為固定不變之常數，則輪軌間黏着力惟視機車黏着重量之大小以消長。吾人於列車開動之初，時見機車主輪空轉不前，此即黏着重量不足之表現。美國鐵路，常以乾沙鋪設於軌面上，以求摩阻係數之增大，而補黏着重量之不足，然此種補救措置，有損於輪軌本身，不宜常用。吾人於選擇機車時，除挽力外，尙須注意於黏着重量，理至明矣。計劃鐵路時，宜就運輸數量之現狀，與前瞻，參酌機車使用年齡，地區氣候情況等因素，以選擇機車式樣。最好將國內各路所有機車，按其構造性能詳為分類而研究之，由工務機務車務專家確立將來購置機車之劃一標準，並大概規定在某種情況之不宜採用某種機車，以為計劃鐵路之標準。

【坡度】路線之理想狀態，當然是直且平。但因自然關係，此為不可能之事，路線必須有坡度，必須有彎曲（列車動力計算中，恆將彎道折合為當量坡度）。列車載重隨機車挽力及列車行駛阻力而變化，但在固定挽力之下，列車載重直接受列車行駛阻力之左右。行駛阻力所含因素至夥，已如前述，其中主要部份，首推坡度阻力。同一機車，在固定速度之下，坡度愈大則載重愈小，或在固定載重之下，坡度愈大，則速度愈低，是故坡度之大小，足以左右列車載重及速度。載重及速度為鐵路運輸能力之構成

因子： $(\text{噸數}) \times \frac{(\text{公里})}{(\text{小時})} = \frac{(\text{延噸公里})}{(\text{小時})}$ ，即

載重乘速度為鐵路在單位時間中所完成之延噸公里數。適可表示其運輸能力；然則坡度一大一小之間，全線運輸能力繫焉。列車載重及速度之規定，須以全路或全段中最大坡度（如在彎道上尙須加以彎道折合坡度）為基礎。列車重量公式概略言之則為：

$$(\text{列車重量}) = \frac{(\text{挽力}) \text{公斤} - (\text{機車重量}) \text{公噸} \times [(\text{機車每噸阻力}) \text{公斤} + (\text{最大坡度})^0 / 100]}{(\text{列車每噸阻力}) \text{公斤} + (\text{最大坡度})^0 / 100}$$

在一定機車挽力之下（挽力與速度有固定關係），如列車重量不變，則最大坡度亦為不可變動之數值。路線除最大坡度外，尚有自零至最大坡度間之各種坡度；其中更可劃分為三種<sup>1</sup>，（在下坡行駛中），（甲）（基本阻力）+（彎道阻力） $>$ -（坡度阻力）時，此下坡稱為無害下坡，列車行駛必須開放汽閥。（乙）（基本阻力）+（彎道阻力） $<$ -（坡度阻力）時，此下坡稱為有害下坡，蓋列車駛行時必須將機車汽閥關閉，而且須使用軛機故也。（丙）（基本阻力）+（彎道阻力） $=$ -（坡度阻力）時，此下坡稱為極限無害下坡；下坡行駛時，機車不用蒸汽，亦不使用軛機，故亦可稱為使軛極限下坡。蓋下坡稍微陡峻，則必須使用軛機也。吾人在選線時，宜儘量避免有害下坡，而最好能多用極限無害下坡。至於此極限無害下坡之數值，則可按照機車運用原理<sup>1</sup>，不難推求之。此外尚有所謂「遺失坡度」者，德語稱之為 Verlorene Neigung；英語可稱為 Loss in Level；即路線經行山嶺及河流時，或因跨越分水嶺而展線（Developing the Line）時，為省縮土石工程，採用反向坡度；即謂路線正應提高之際，反用下坡，此下坡即稱為遺失下坡。非萬不得已時，此為選線工程司所忌用；蓋在展線時，恆因誤用遺失坡度，使路線無謂延長，或竟不能昇達所需要之高度也。最大坡度之規定，宜以運輸需要，地勢情形，毗連路線之最大坡度（與夫軍事需要）為根據。各國習慣，多按地形將全國分為若干區域，以規定鐵路之最大坡度。除開利用列車運動能力或利用輔助機車以事克服之超強坡度外，路線皆須遵守所定之最大坡度，而不超過之。此種最大坡度之規定，須有合理之基礎。我國可將全國分為四區：（甲）極平區域——平坦地勢，分水嶺地勢緩和而寬曠，溝谷或河槽坡度微小，——可

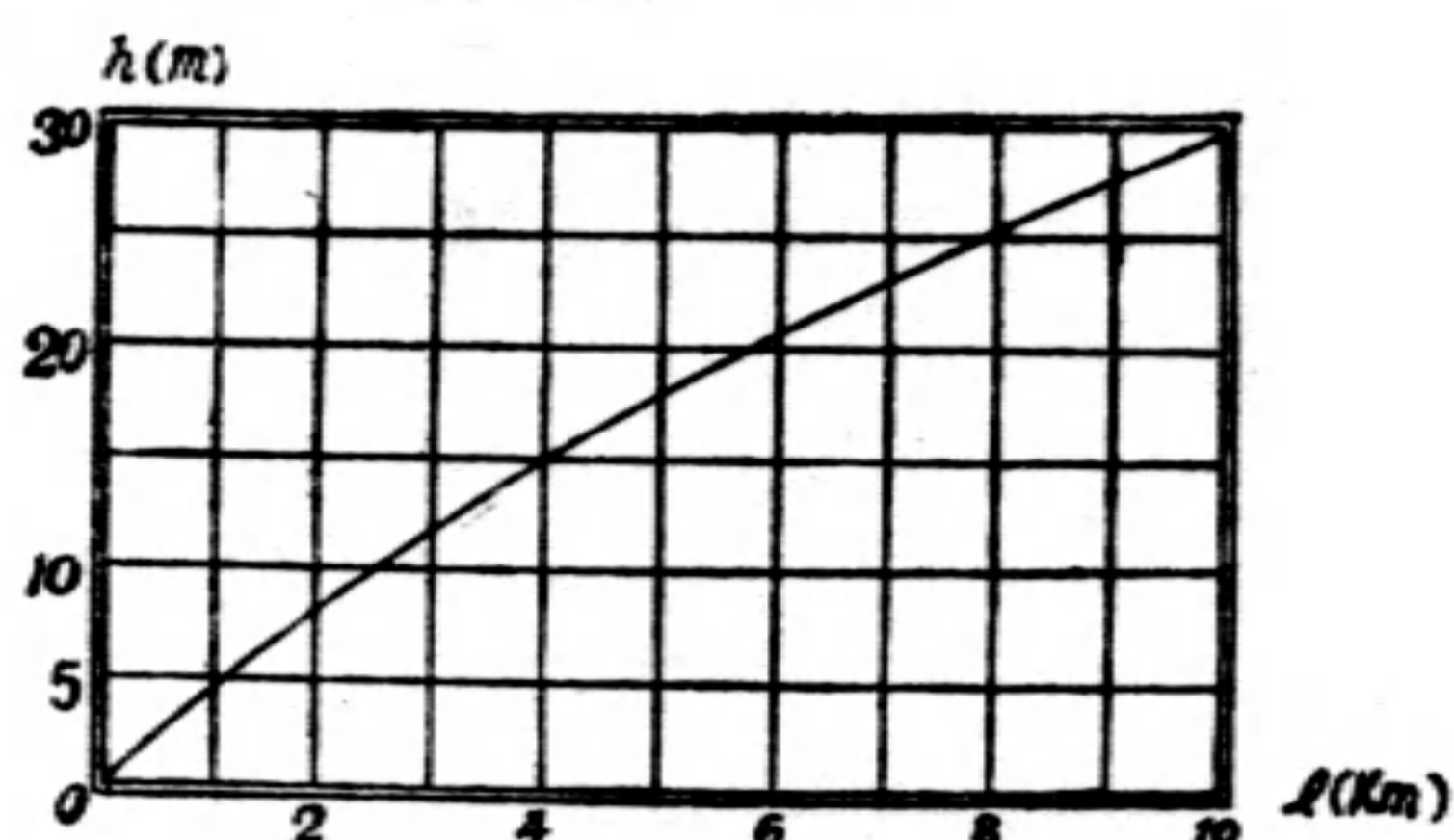
用千分之三至五為最大坡度。（乙）平易區域——地勢略有起伏，分水嶺地勢尚屬緩闊，惟稍見邱陵；溝谷坡度不大，可用千分之五至七為最大坡度。（丙）困難區域——地勢起伏不平，分水嶺地勢狹曲，溝谷坡度顯著，可用千分之八或十一為最大坡度。（丁）山嶺區域——最大坡度或須用至千分之十二以上。選擇最大坡度時，宜在適合運輸數量條件之下，就建築費與營業費兩項分析研究，以求最經濟之條件。先研究而假定鐵路之可能路線（連同其相應的最大坡度），再就工程費與營業費一一比較，以選定一種路線（連同其最大坡度）。選擇最大坡度之方法甚夥，然約言之可分詳確方法與簡略方法兩種；茲分述其概要於次：（A）詳確方法：實際計算各項工程與設備之數量及單價，將各種可能路線之建築費分別計算。

$$\begin{aligned}
 (\text{建築費}) = & (\text{路線長度})(\text{與長度成正比工程每里費款}) + (\text{土石方數量})(\text{單價}) \\
 & + (\text{橋涵數量})(\text{單價}) + (\text{車站費款}) \\
 & + (\text{車輛設備費款}) + (\text{特別工程費款})
 \end{aligned}$$

然後再按照每個路線之平面剖面圖，依照列車運用原理，分別計算營業費。每年中建築投資之還本，行息，與建築物之保養，可視為建築費之百分數，與之相依消長，由此可求得每年保養與營業所需要費款之總額；此數額為「最大坡度」之函數；其值最低之路線（連同其最大坡度）最為經濟。（B）簡略方法：簡略方法甚多，茲就 Protodiagonoff 法簡述之。在地形相似之區域內，在地形圖上，將路線據點，按假定最大坡度，用直線（或折線）連起，劃分里程，將相隔一公里（ $l=1$  公里），相隔二公里（ $l=2$  公里）；相隔三公里（ $l=3$  公里）；……諸點之高度差，分列於表中（例如下表）：

公 里	標 高	高 度				差
		l=1公里	l=2公里	l=3公里	l=4公里	
0	102.31	8.00	12.10	14.60	17.20	.....

將所得高度差按相隔距離 (l) 分別求其平均數值 (h)。用 (l) 及 (h) 之相應數值，作一曲線，稱為地勢起伏曲線：



此曲線之公式，據 Protodiagonoff 研究所得為  $h = 2.303k \log\left(1 + \frac{l}{m}\right)$ 。此式所用之  $k$  及  $m$  為依隨地形而變化之常數，( $k$  以公尺計， $m$  以公里計)。假設  $h_{10}$  表示  $h$  與  $l$  坐標圖中， $l$  等於 10 公里處  $h$  之值； $s_{10}$  表示  $h_{10}$  與地勢起伏曲線及平軸間所包括之面積 (公尺公里)；據 Protodiagonoff 研究結果，而知  $\frac{s_{10}}{h_{10}}$  為  $m$  之函數，其互相關係，如下表所示：

$m$	$s_{10} : h_{10}$	$m$	$s_{10} : h_{10}$	$m$	$s_{10} : h_{10}$
0.05	8.16	1.40	6.63	3.80	6.05
0.10	7.93	1.60	6.55	4.00	6.02
0.20	7.66	1.80	6.48	4.50	5.95
0.30	7.47	2.00	6.42	5.00	5.90
0.40	7.33	2.20	6.36	5.50	5.85
0.50	7.22	2.40	6.31	6.00	5.80
0.60	7.12	2.60	6.26	6.30	5.77
0.70	7.03	2.80	6.22	7.00	5.73
0.80	6.96	3.00	6.18	8.00	5.67
0.90	6.89	3.20	6.14	9.00	5.62
1.00	6.83	3.40	6.11	10.00	5.57
1.20	6.72	3.60	6.08		

按  $m, h, l$  之數值，可推算  $k$  之數值； $k = \frac{h}{2.303 \log\left(1 + \frac{l}{m}\right)}$ ，Protodiagonoff 就

多種地形及路線實際分析歸納而推得下列公式，以求路線縱剖面中每公里之平均填方挖方面積  $A_1$  及  $A_2$ ，平方公尺。(此兩種面積當然亦可照面積儀計算之)。

$$A_1 = k \left[ 170 \left( \frac{I}{i_0} \right)^{0.92} - 100 \right] + 100 \left[ 1 - \frac{1}{1 + 1.8 \left( \frac{i_0}{I} \right)^2} \right],$$

$$A_2 = K \left[ 160 \left( \frac{I}{i_0} \right)^{0.84} - 100 \right] + 400 \left[ 1 - \frac{1}{1 + 1.8 \left( \frac{i_0}{I} \right)^2} \right]$$

此間  $(I)$  等於  $\frac{K}{m}$ ；而  $(i_0)$  為最大坡度， $^{\circ}/_{00}$ 。每公里平均土石方則為（以立方公尺計）； $V = A_1 B_1 + A_2 B_2 + 2000 \alpha \left( \frac{A_1 + A_2}{1000} \right)^2$ 。此間  $\alpha$  為填挖邊坡之平均坡度（平距除以高度）。 $B_1 B_2$  為填方挖方之頂寬；此為估計土石方之簡捷方法。不過實際用此公式時，須按各比較線之土石工程性質（如石質之成分，填挖中心高度之大小，施工難易，取出廢方之遠近），各估以合理之單價，以求路線比較之正確。其他各項工程（如橋涵，路面，及特種工程），亦可約略估計；因而求得各比較線之建築費；再與營業費相合，以決定最大坡度之數值。

【經濟速度】鐵路運用之原則，首在：(a) 在單位時間中，完成最大之運務，即延噸公里數達到最大數值；及 (b) 使每延噸公里之運輸成本，減至最低限度。延噸公里數在單位時間中達到最高點時，運輸成本亦近於最低點，此曾經專家根據分析而證明，茲不詳論。吾人今所追求者，端在單位時間中，所完成延噸公里數之最高數值。在同一坡度上，列車用同一機車行駛，則行駛速度與列車載重消長相反，如提高速度，則必犧牲載重；其延噸公里數未必增長；如提高載重，則速度必減；延噸公里數未必加大。故吾人所求者不為速度之一味提高，亦不為載重之無限增大，而在兩者乘積之最大數值。即（速度） $\times$ （載重）=（最大數值）條件必須成立也。在此條件中，速度稱為經濟速度。原則如此，實際計算難得精確，不過可按此原則以謀列車載重及速度之配合，近於合理而已。全段坡度自不一律，運用此原則時，須將全段中推求一種平均坡度，以作計算根據；吾人計劃路線時，宜就路線性質，機車式樣，以求在營業時期，可用所謂經濟

速度，以完成運輸需要。

【站間距離】設某單軌鐵路，甲乙兩站間距離二四〇公里，如其間不設錯車站，則列車自甲站開出後，必須到達乙站，始能自乙站向甲站開出列車。如行車平均時速為二〇公里，則列車自甲至乙復自乙返甲，所需時間為二十四小時（暫不計在站周轉之耽擱）。即謂鐵路每晝夜之運輸能力為一對列車；倘在甲乙兩站之間，加開平分車站一處，稱為丙站；則甲乙兩站得同時向丙站各開車一列；同時到達丙站，兩車錯讓，各奔前程，以達端點，亦若一個列車自甲站開達丙站，復轉頭而返甲站；同時另一列車自乙站開達丙站，復轉頭而返乙站；站間距離縮小一倍；來往甲乙站間之列車數目適增加一倍。餘亦如此類推，而知站間距離愈小，則列車來往數目愈大。站間距離縮小至極限，而為零；則單軌路線即變為雙軌路線矣。雙軌路線上，欲求其最大運輸能力之成立，須將列車數目儘量增加，列車理想最大密度，則為各列車銜接，在路線同一方向中作等速運動，亦若工廠習用之循環帶然，在上行下行方向中，各自川流不息的作等速運動；但實際並不若此，因技術限制，與經濟要求，列車既不能依照相同速度行駛，更不能各個相連，繼續不斷。不過確因為追循這個目的，而將區截距離竭力減少，將行車設備，行車號誌，力求完善。我國目前宜側重單軌路線；在單軌路線計劃工作中，亦力求站間距離之適當短小，及互相均等。所謂短小，所謂均等，均以站間行駛所需時間為度量；並非指對地面距離而言也。單軌路線，可先按每天二十四對列車設計，即站間往返一次，連同列車在車站應技術需要而停留所需時間，等於一小時。（運務需要再超過此限度時，可即鋪設雙軌），故工程司在

選線時，宜將每段坡度上列車往返一次所需時間，隨時計算，連續相加，一俟積滿至「六十分鐘減去車站停留時間」時，即應選擇平直地段，一公里左右（此視車站等級而定），以備設站之用；即使路線現時運務甚小，無若大行車密度之需要；但在選線時必須預留餘地，儘可暫不全部設站，一俟需要到臨，即可按預定計劃，在預留地位，開設車站。譬如一至軍運時期，則全部車站開設，可用「平行行駛法」(Paralell Graphic 或稱 Uniform train interval)；每晝夜行駛二十四對列車（不過實際上不能預定利用二十四對列車之可能，而須空留二三對，以作意外事變發生時之周轉餘地）。列車行駛所需時間之計算方法至夥；普通所用，每種坡度與以平均速度之方法，甚不正確；如用積分法，以解決此項問題，又嫌過於繁複。故許多專家發明許多圖解法。茲擬擇一手續簡單適合選線需要之圖解法約述之，以供參考，此為柏林高等工校鐵路主任教授密勒氏所創作者：

- $Z_c$  表示機車輪周比挽力（即每重一噸所有之挽力）……kg/t(即每噸公斤數)
- $Z_i$  表示機車汽缸比挽力……kg/t
- $w_o^{tt}$  表示機車連同煤水車之比阻……kg/t
- $w_o$  表示列車基本阻力（即每重一噸所有之阻力）……kg/t
- $w_o^g$  表示車輛比阻……kg/t
- $i$  表示坡度比阻(亦即坡度 $^0/_{00}$ ) ……kg/t
- $Q$  表示列車重量 …… t
- $T$  表示煤水車重量 …… t
- $V$  表示行駛速度……km/hr  
(每小時公里數)
- $G$  表示車輛重量 ……t (即公噸)
- $L$  表示機車重量 …… t
- $L_a$  表示機車黏着重量 …… t
- $W_{oo}^{tt}$  表示用汽行駛時，機車煤水車之阻力 …… kg

$W_{oc}^{tt}$  表示閉汽行駛時，機車煤水車之阻力 …… kg

$W_{ic}^t$  表示閉汽行駛時機器阻力與汽缸空氣阻力，其數值因機車式樣與速度而變，貨機車(2-10-0)適中速度下，其值在 770 kg 左右；高速機車(4-6-2)適中速度下 (30-90 km/hr) 其值在 450-555 kg 之間。

常數  $c_1 =$  { 2.50……普通機車  
2.65……高速機車

$c_2 =$  { 5.8……機車有主軸 2……汽缸 2  
6.0……機車有主軸 3……汽缸 4  
7.3……機車有主軸 3……汽缸 2  
7.5……機車有主軸 4……汽缸 4  
8.4……機車有主軸 4……汽缸 2  
8.6……機車有主軸 5……汽缸 4  
9.3……機車有主軸 5……汽缸 2  
9.5……機車有主軸 5……汽缸 4

$c_3$  因機器摩擦而推求之常數，普通可假定為  $c_3=0.04$ 。

$c_4$  依機車橫斷面而變，普通可假定為  $c_4=6m^2$ 。

列車行駛可分兩種方式：一為閉汽行駛，一為用汽行駛，在各種等速運動之下，比挽力與比阻永久相等。可按各種速度以作挽力變化曲線（亦可稱為挽力線）。如圖 1. 在  $V$  軸以下，作比阻線（即  $w_o$  線）。列車用汽行駛時（假定行駛於上坡  $i^0/_{00}$ ），如為等速運動，則汽缸挽力與行駛阻力相等；即  $Z_i = W_{oo}^{tt} + (L+T)i + G(i + w_o^g)$ ；但知用汽行駛時：

$$W_{oo}^{tt} = c_1(L - L_a) + c_2L_a + c_3Z_i + c_4\left(\frac{V}{10}\right)^2 \text{ kg,}$$

而閉汽行駛時

$$W_{oc}^{tt} = W_{ic}^t + c_1(L - L_a) + c_2L_a + c_4\left(\frac{V}{10}\right)^2 \text{ kg,}$$

上列兩式相較可得

$$W_{oo}^{tt} = W_{oc}^{tt} - W_{ic}^t + c_3Z_i$$



上列公式各項各除以  $Q$ ，而得

$$\frac{Z_i(1-c_3) + W_{it}}{Q} = \frac{W_{oc} + Gw_o}{Q} + \frac{(G+L+T)i}{Q}$$

亦即  $Z_c = \pm i + w_o$ 。而知輪周比挽力與比阻相等而成平衡矣。在各種行駛速度之下，均可由機車挽力之記錄圖上，取其相應挽力，以作『挽力速度』曲線。如圖 2 所示，為德國國家鐵路 G56.16 式貨機車之挽力記錄圖，以示汽缸挽力 ( $Z_i$ ) 與速度 ( $V$ )，截汽點 ( $\epsilon$ ) 及每秒鐘燃煤量 ( $\beta$ ) 之互相關係。圖中立軸表示汽缸挽力  $Z_i$ , kg；平軸表示每秒鐘燃煤量 ( $\beta$ ) kg/sec；斜線表示速度  $V$  km/hr，及截汽點  $\epsilon\%$ 。列車行駛時，汽缸挽力變化情形，用粗線表示，在爐籠燃煤量  $\beta$  達到最大限度，而為固定數值時，比挽力線成為垂線；其最大極限為汽鍋最大能力，圖中以虛線表示；在低小速度中，此汽缸挽力線與黏着挽力線相符合；不過開駛之初，為防止主輪空轉起見，所有挽力不能使立刻增達最高點，而須徐徐增長；故以  $mn$  一段代替黏着挽力線中之  $m'n$  部份。在  $Z_i$  軸之左方，離開  $\frac{W_{it}}{Q}$  處，作垂直線。自任意  $Z_i$  之數值相應點上，作水平線，向右方截量與此汽缸挽力相應之  $\frac{Z_i(1-c_3)}{Q}$  距離；例如在  $Z_i = 17000$  kg 處，作水平距離  $x$ ，如圖所示。因為 G 56.16 式機車有下列機構：

$L+T = 141$  t (其中  $L_a = 82.5$  t;  $T+L-L_a = 58.5$  t)  
 $W_{it} = 770$  kg.  $c_1 = 2.5$ ;  $c_2 = 9.4$ ;  $1-c_3 = 0.96$ ;  
 $c_4 = 6$ ；假定  $G = 1100$  t, ( $Q = 1241$  t)，  
 且以  $1^\circ/_{\infty} = 5$  mm 之比例尺計算，可得各種距離：

$$\frac{W_{it}}{Q} = 0.62^\circ/_{\infty}; \quad \frac{Z_i(1-c_3)}{Q} = 13.14^\circ/_{\infty};$$

$$Z_c = w_o + i = 13.14 + 0.62^\circ/_{\infty}$$

水平距離  $x = 13.14 + 0.62 = 13.76^\circ/_{\infty}$  之右端，與原點  $o$  相連，而成直線， $0-2-4$ 。倘若列車速度為  $V = 40$  km/hr，則在粗線與  $V = 40$  曲線相交之點，向左作水平線，(即自點 1 引平線向左，與  $o^1$  點上之垂線相交於  $03$ ；至此則點 2，點 3 間之距離，等於與  $(i+w_o)$  相應之  $Z_i$ ，在圖 1 上，假設已有速度 ( $V$ ) 與阻力 ( $w_o$ ) 之關係曲線，即  $w_o$  線，比例尺與圖 2 相同，在  $w_o$  線上  $V = 40$  相應點上，向上量垂直距離  $2_1 \rightarrow 3_1 = 2 \rightarrow 3$  (圖 2)。上端之點  $3_1$  即為挽力線上之一點，如將各種速度下之點如  $3_1$  者作出，並連以平順之曲線，即得列車用汽行駛時之挽力線 (圖 1)。在速度軸以上至挽力線間之垂線，為列車行駛於平直路段上之加速機力，直至速度升高至挽力線與速度軸交點之速度，列車始變為等速運動。自  $V$  軸向上量  $i^\circ/_{\infty}$  距離，以作水平線，而與挽力線相交，交點處所對之速度，即為此坡度上列車之最大等速度。如已知一種初速度  $V_1$  及一固定之時間  $\Delta t$ ，在平均輪周挽力為  $Z^m$  時，可完成之速度變化為  $\Delta V = V_2 - V_1$ ，則可用圖解法推求此間之平均速度， $V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$ ，及其相應之距離變化  $\Delta l$ 。

列車載重每噸之行駛機力，為

$$\pm P = Z - (i + w_o) = \frac{1000(1+\delta)}{g} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

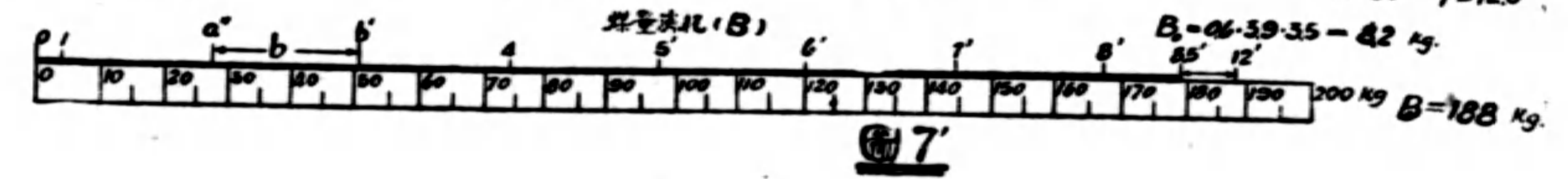
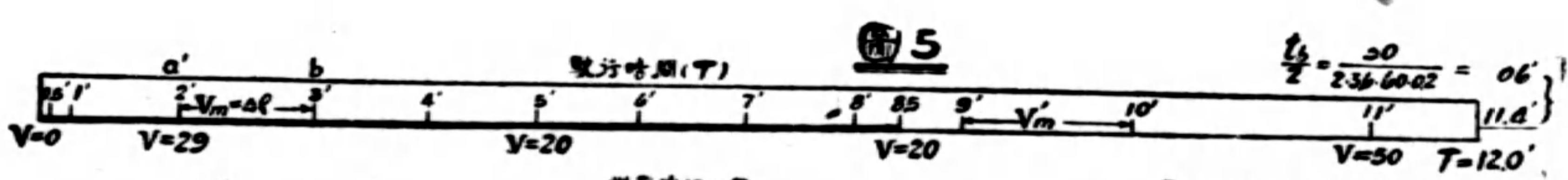
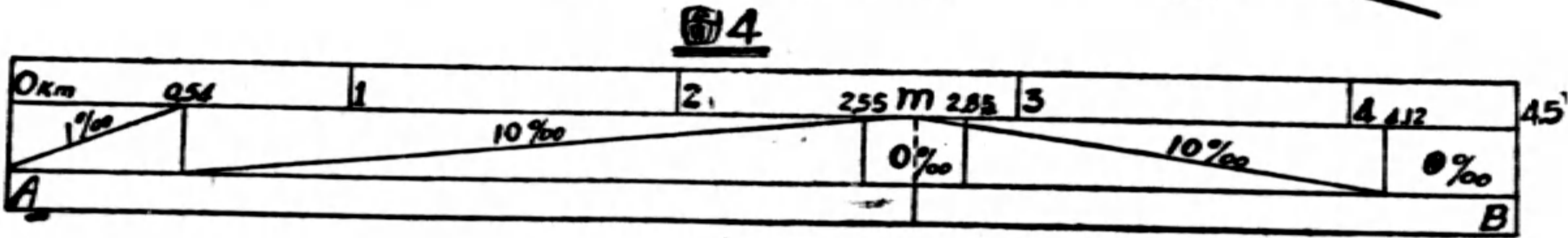
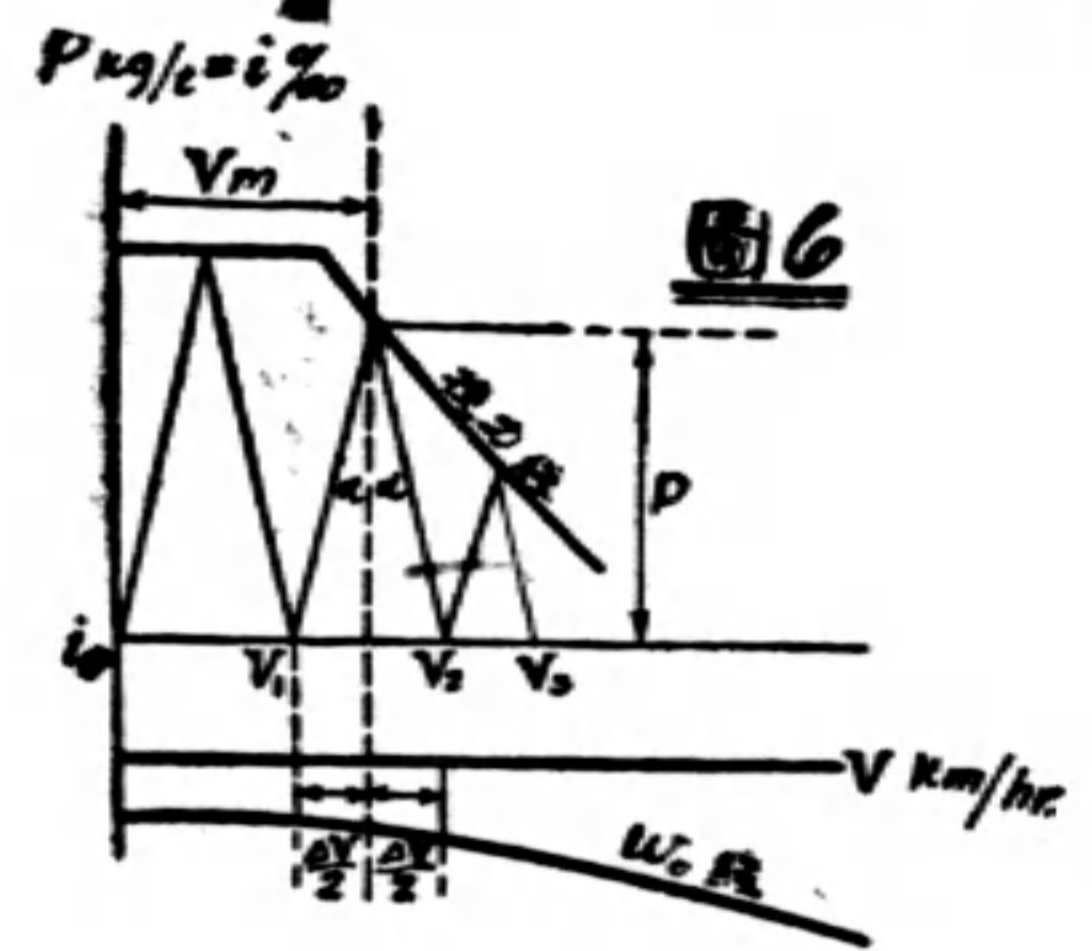
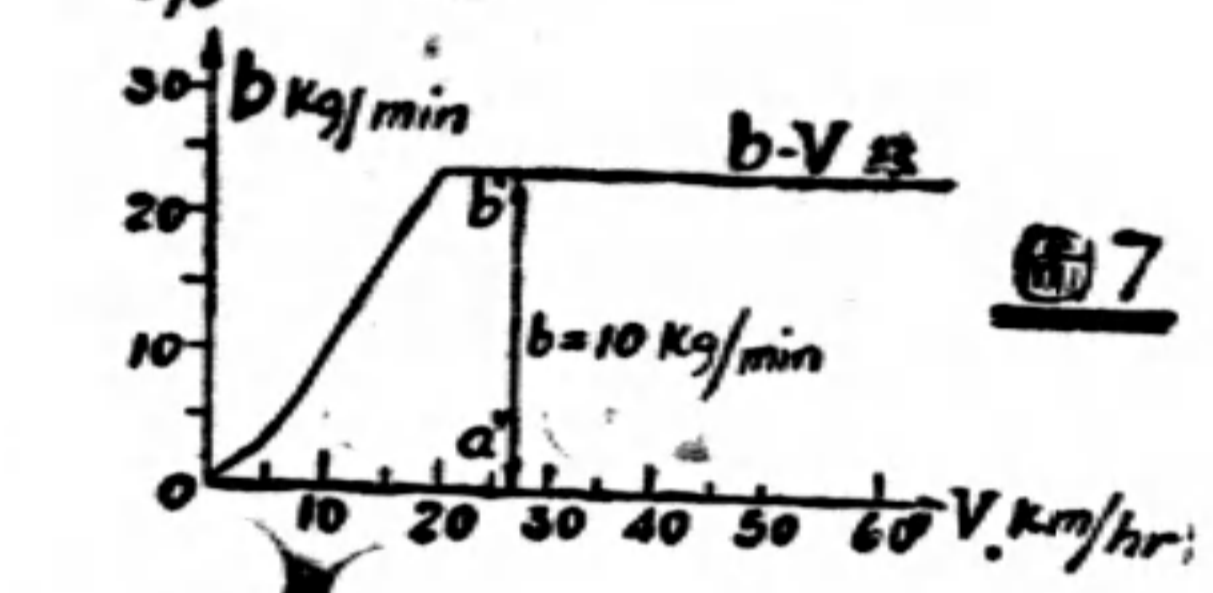
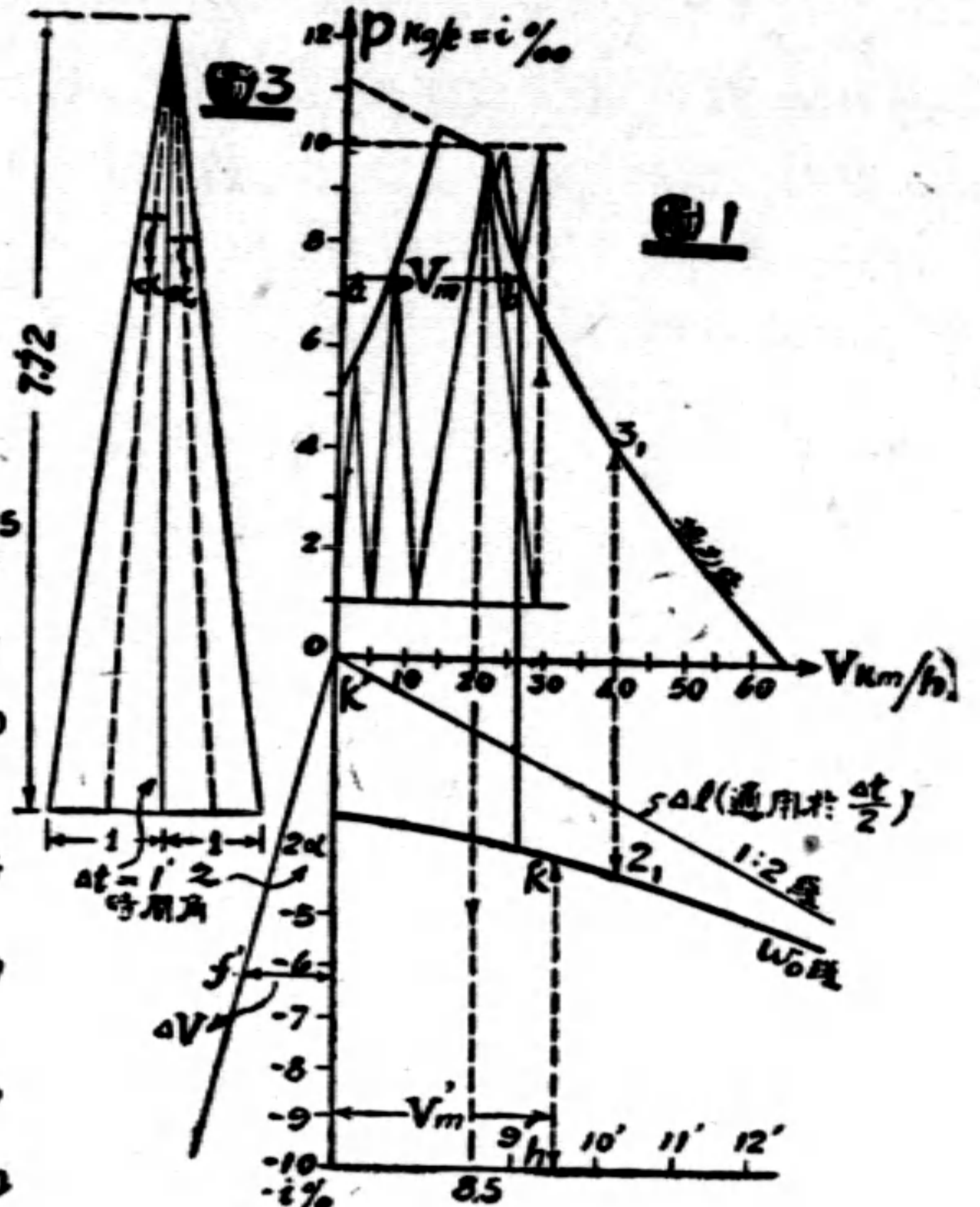
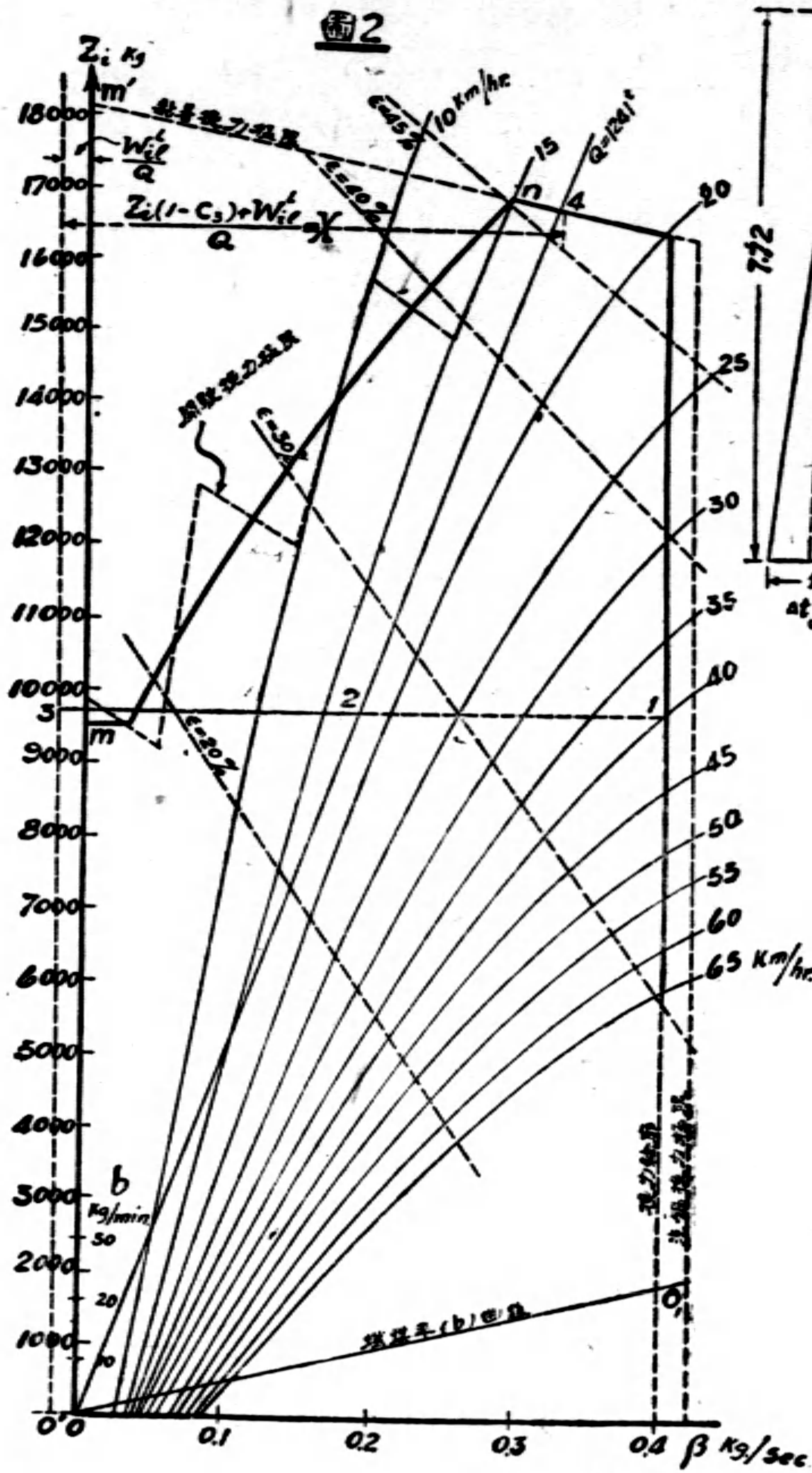
此處  $\delta$  為列車轉動部份所生影響之百分數。約在 5% 至 9% 之間，因為  $V = \frac{V \text{ km/hr}}{3.6} \text{ m/sec}$ ，

故在  $\Delta t$  為固定數值之下，應得下式：

$$\pm P = \frac{1000(1+\delta)}{3.6 \cdot g \cdot \Delta t} \times \Delta V;$$

$$\text{或即謂 } \frac{\Delta V}{2} : P = \frac{36g\Delta t}{2 \times 1000(1+\delta)} = \text{const.}$$

然則在固定時間段落 ( $\Delta t$ ) 中，速度變化之半數與平均行駛機力之比為常數；在此時間段落 ( $\Delta t$ ) 中，平均速度為



$$V_m = V_1 \pm \frac{\Delta V}{2} \text{ km/hr.}$$

在挽力圖(圖 6)中，自速度  $V_1$  點向上作垂線，使與一種坡度  $i_1^0/_{00}$  之水平線相交，自此交點引線向上偏右，使與垂線成  $\alpha$  角；且使與挽力線相交，而且合於下列條件：

$$\tan \alpha = \frac{3.6g \cdot \Delta t}{2 \times 1000(1+\delta)}$$

此處  $\alpha$  角稱為『時間角』。至此則經過  $\alpha$  角頂點之垂線與  $i_1^0/_{00}$  水平線上  $V_1$  點所截長度，正是表示  $\frac{\Delta V}{2}$  之數值，而  $\alpha$  角頂點至  $i_1^0/_{00}$  水平線間之垂線，則足以表示平均行駛機力  $p$ 。自  $\alpha$  角頂點用同一角度  $\alpha$ ，向下偏右引線，以交  $i_1^0/_{00}$  水平線而得  $V_2$ ；即為  $\Delta t$  時間段落之終速度。然後再以  $V_2$  為初速度，而求第二個  $\Delta t$  中之終速度  $V_3$ ；如此類推；此時間變化  $\Delta t$  中，所發生之距離變化則為  $\Delta l = V_m \cdot \Delta t$ 。為使此圖解簡化起見，可使  $\Delta l$  與  $V_m$  所用比例尺，合於一定條件：即使圖之  $\Delta l$  與  $V_m$  長度相等。如此則可自  $P$  軸起，向右作水平距離  $V_m$ ，以示  $\Delta l$  之數值。且向右接續作此距離；如在路線縱剖圖上，按法作出  $P$  與  $V$  之變化曲線，而再作出『時間角』及  $V_m$ ， $\Delta l$  等線，則所有時間距離速度之變化，皆平行顯明出於一幅圖上。假設時間段落為  $\Delta t = 1 \text{ 分鐘} = \frac{1}{60} \text{ hr}$ ，距離比例尺為 1:25000 即每  $K_m$  用 40mm 表示；在時間段落  $\Delta t$  中，平均速度為

$$V_m = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{1K_m}{1 \text{ 分鐘}} = \frac{1K_m}{\frac{1}{60} \text{ hr}} = \frac{60K_m}{\text{hr}}$$

但  $V_m$  及  $\Delta l$  乃以相等長度表示，故  $60 \text{ km/hr}$

$$= 40 \text{ mm 之長度。而知 } 1 \text{ km/hr} = \frac{40}{60}$$

$$= 0.667 \text{ mm 之長度。今定係數 } (1+\delta) = 1.09$$

假設  $\Delta t = 60 \text{ 秒}$ ，

$$\text{則 } \frac{\Delta V}{2} : p = \frac{3.6 \times 60g}{2 \times 1000 \times 1.09} = \frac{1}{1.03}$$

既已假定  $p = i = w_0 = 1 \text{ kg/t} = 1^0/_{00} = 5 \text{ mm}$

之長度，且  $V = 1 \text{ km/hr} = 0.667 \text{ mm}$  之長度，故得

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{1}{1.03} \frac{\text{km/hr}}{\text{kg/t}} = \frac{1}{1.03} \times \frac{0.667}{5} = \frac{1}{7.72} \\ &= \frac{\Delta V}{2} : p \end{aligned}$$

此即時間角對於垂線所成之斜度  $\frac{1}{7.72}$  (圖 3)。

茲試舉例以說明行駛時間圖解推求法：設有路線一段 AB，其坡度情形，如圖 4 所示。列車自 A 站開往 B 站，所用時間及速度變化，在圖 5 中與圖 4 中之里程，對照示出。用汽行部份用粗線表示；列車自 A 站開駛後，先入  $i = 1^0/_{00}$  之上坡；在圖 1 之挽力阻力軸上，相當  $i = 1^0/_{00}$  處，作水平線，在其上面作兩個『時間角三角形』；其頂點交在挽力線，其所用時間段落為  $\frac{\Delta t}{2} = 0.5$ 。

在此半分鐘之時間段落  $\frac{\Delta t}{2}$  中，所行距離，可於此兩個三角形頂點垂線下載取 1:2 斜線與  $V$  軸間之垂線距離，而得之。且將此兩個距離移至圖 5，自左端起 ( $V = 0 \text{ km/hr}$ )，先作出第一個半分鐘之距離，標以 0.5'；再接作第二個半分鐘之距離，標以 1.0'，即可知半分鐘及一分鐘間，列車完成路程，為站間某一段落矣。更作第三個三角形，以  $\Delta t = 1'$  為時間段落，直接在  $V$  軸上量平均速度之距離，(不用 1:2 斜線)，作於圖 5 上，標以 2:0'；是為第二分鐘末列車所達之點；可同法推求點 3.0'，但適介乎兩種坡度 ( $i = 1^0/_{00}$  及  $i = 10^0/_{00}$ ) 之間；故宜先作  $i = 10^0/_{00}$  點之水平線，再作第三個三角形，右方脚底之垂線，使與  $i = 10^0/_{00}$  之水平線相交 (相當  $V = 29 \text{ km/hr}$ )，而自此交點反向作『時間角三角形』，使頂點向下，仍位於挽力線上；以一分鐘為時間段落，即  $\Delta t = 1'$ ，續作三角形，直至脚底與挽力線相交 (或相近) 為止。 ( $V = 20 \text{ km/hr}$ ) 將三角形頂點與阻力軸間水平距離移至圖

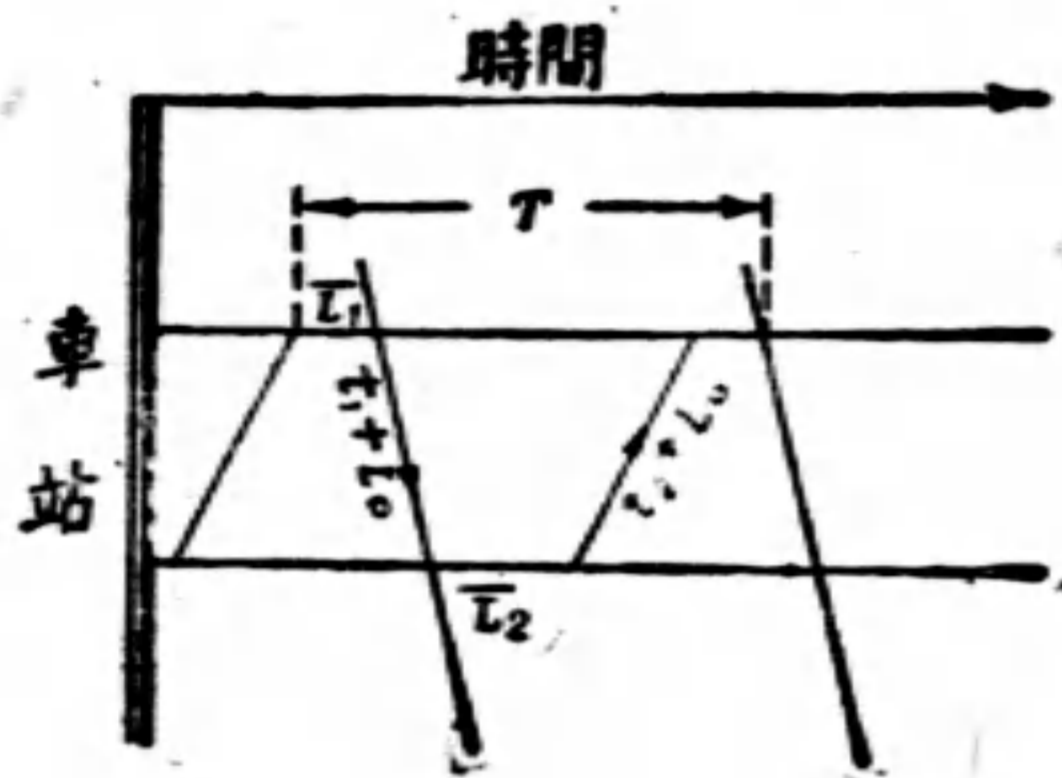
5，而得時間與距離之關係，一如上述。（例如圖 1 上之 a-b，即圖 5 上 a'-b' 距離，而與 2' 至 3' 分鐘時間相應者也。） $i=10^0/_{00}$  阻力線既與挽力線相交於  $V=20$  之點，故在  $i=10^0/_{00}$  上坡，列車將以等速度  $V=20$  行駛，每分鐘所行距離當為常數，可在  $V$  軸上得之。如此則圖 5 上連續標以分鐘數，直至坡度改變為止。列車行入下坡 ( $i=-10^0/_{00}$ ) 後，即關閉汽閥，自  $V=0$  點起(圖 1) 向左下方作直線，與垂線成爲  $2\alpha$  角。坡度阻力爲負號，變爲挽力。此負號阻力 ( $-i$ ) 減去基本阻力 ( $w_0$ ) 後，即列車增加速度之挽力。圖 5 所示列車行至  $m$  點時，所需時間爲 8.5'，此點所對之速度爲  $V_1=20$ 。自此列車駛入  $m$  點後之下坡，速度漸增，既知初速爲  $V=20$ ，坡度爲  $i=-10^0/_{00}$ ，則經過半分鐘後 (9' 時) 其速度之增加  $\frac{\Delta V}{2}$  及其間 ( $i-w_0$ ) 之平均數值，可先估量；而後推求  $\frac{\Delta V}{2}$  之值。例如在圖 1 上，先假定 9'-10' 間 ( $i-w_0$ ) 之平均數值爲  $\overline{kh}$ ，然後將  $\overline{kh}$  之長度用兩脚規移至  $i$ -軸而成  $\overline{k'h'}$ ，作水平線  $\overline{h'f'}=\Delta V$ ，再在  $-i=10^0/_{00}$  之水平線上，自 9' 起 ( $V$  軸) 向右繼續截量  $\Delta V$  之長度而至 10' 點，此點 10' 即與列車行至 10 分鐘時所擁有之速度相應者也，蓋因根據前述理論  $\frac{\Delta V}{2} : p = \frac{\Delta V}{2} : (i-w_0) = \tan \alpha$ ，而按作圖，則有  $\frac{\Delta V}{i-w_0} = \tan 2\alpha$ ，或因  $\alpha$  角度甚小，可作爲  $2 \times \frac{\Delta V}{2} : (i-w_0) = 2 \tan \alpha$ ，亦即  $\frac{\Delta V}{2} : (i-w_0) = \tan \alpha$  也；同法以求 11'，12' 等點，將每個時間段落 ( $\Delta t$ ) 間之平均速度 (如 9'-10' 間之  $V'_m$ )，用兩脚規移至圖 5 (9'-10' 間之  $V'_m$ ) 上，而得 10' 以後各點，列車駛入車站 (B)，用軌行駛，則宜將使軌時間之半數，(如在站不停) 加入以上所得行駛時間，以得 A B 間行

駛時間總數，使軌時間則用  $t_b = \frac{V_2}{3.6 \times 60 V_i}$

計算，此處  $V_2$  爲使軌初列車速度 (km/hr)， $V_b$  爲使軌減速度 (m/sec)，更可進一步而推求煤量消耗以爲計算營業費之基礎。在圖 2 中，水平軸表示煤量消耗 kg/sec，在立軸上劃出每分鐘消耗量  $b$  kg/min，作  $\overline{00}$  斜線，以示  $b$  隨  $\beta$  數值之變化，立軸  $b=10$  時其代表線長度爲 8mm； $b$  與  $\beta$  之關係爲  $b=60\beta$ ；在等速挽力線與挽力輪廓之交點下，截取  $b$  線與  $\beta$  線間垂線距離，按其速度移至圖 7，使成  $b-V$  曲線。在圖 7' 上，用  $b_i$  比例尺劃出  $b$  之數值：10，20，30……，再按圖 5 上每分鐘 ( $\Delta t$ ) 之平均速度距離  $V_m$  (如  $\overline{a'b'}=V_m=\Delta l$ ) 在圖 7 中之相應速度點上，量取  $b$  之長度 (如  $\overline{a''b''}$ )，且移之至圖 7' 上方水平距離，(如  $\overline{a''b''}=b=10$  kg/min)。如此類推，可得列車行駛任何時間後，所消耗煤量之對照。閉汽行駛段落中，尚須使機車維持可以發生挽力狀態，其煤量消耗可作  $0.6 Ar$  kg/min。此處  $Ar$  爲爐篦面積，以  $m^2$  計。例題中採用  $Ar=3.9m^2$ 。故閉汽行駛時煤量消耗爲  $0.6 \times 3.9 \times 3.5' = 8.2$  kg。

【行車號誌及行車方法】 號誌所以應技術需要而保障行車之安全者也。列車在同一方向行駛，須互相隔以適當距離，此距離與列車軌機能力有直接關係。號誌主要原則，端在於列車發見停車號誌 (或準備停車號誌) 後，至達到危險地點前，列車能使軌停車。假設列車行駛無錯車之需要 (雙轍路線)，亦無讓車之需要 (平行速度行車)，則最理想之情形，爲每個方向中，列車與列車間，各隔以使軌距離。且號誌連續林立於沿線，前行列車一有停車或緩行事故發生，隨時可用號誌通知後行列車停車或緩進；如此則列車密度增達最高限度。但實際則不如此。只能在相當距離間，設號誌一處，以利行車；但由此原則可知號誌設備愈爲精細，則開行

列車次數愈多。精確號誌加以完美之行車方法（電氣路籤，集中營制，連同區截機，連鎖機；列車止動器等等先進設備運輸能力可以提高。假設在單軌路線上，用平行速度行車（站間距離勻等），每個站間列車來往一次，（即對開一對列車）所需時間為上行列車在站間行駛時間  $t_1$  與下行列車行駛時間  $t_2$  之和（包括每個列車開駛及停駛時間消耗  $\tau_0$ ）；加以兩站聯絡所需時間，（向前程站要求放車，答允，通知開車等必經之手



續)  $\tau_1 + \tau_2$ ；站間過車能力如以列車對數計則為：

$$N^1 = \frac{1440}{t_1 + t_2 + 2\tau_0 + \tau_1 + \tau_2} \text{ (時間以分鐘計) } \cdot$$

$$T = t_1 + t_2 + 2\tau_0 + \tau_1 + \tau_2$$

假設吾人將站間聯絡方法（包括號誌方法）改善，使兩站聯絡所需時間減低  $2\Delta\tau_{12}$ ，則列車對數增多而為：

$$N'' = \frac{1440}{t_1 + t_2 + 2\tau_0 + \tau_1 + \tau_2 - 2\Delta\tau_{12}} ;$$

$$\text{兩數相比得一係數: } \alpha = \frac{N''}{N^1} = \frac{1}{1 - \frac{N^1 \Delta\tau_{12}}{720}}$$

列車對數變化係數  $\alpha$  及列車商業速度（將在站停留時間消耗計及之平均速度）變化係數  $\beta$ ，皆隨每日列車對數而變化；可見下表：

聯絡方法	$L_1 + L_2$	每 晝 夜 列 車 對 數									
		8		16		24		30		36	
		$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
路 籤	11	1.00	0.94	1.00	0.88	1.00	0.82	1.00	0.77	1.00	0.73
電話電報	14	0.97	0.92	0.94	0.84	0.91	0.77	0.89	0.71	0.87	0.65
自動區域	4	1.08	0.98	1.18	0.96	1.30	0.94	1.41	0.92	1.53	0.90

附註：表中以路籤法為單位(1.00)，而比較其他各法。

上方計算以列車平行對開，站間距離勻等為假定，不過舉例以申明理論而已，實際情形中，站間距離不必勻等列車不必定平行開行（有高速低速之分；有重載方向輕載方向之別），然此舉例已足說明鐵路運輸能力與行車方法及號誌確有重要關係矣。

#### 四 結論

以上所述，不過擇鐵路計劃理論中最重要各點作一無系統的檢討；約而言之，在設計時，對於鐵路各部門均須個別分析，以求其在工程上與營業上均得到最經濟之點。至於鐵路路線之各部門則約為：

(甲) 路線：包括路基土石方工程（連同路線在平面與立面上之形態），橋梁，涵

洞，隧道，路面，（軌道）養路房屋等等。

(乙) 車站：包括停車會車等一切設備，連同房屋廠所等等。

(丙) 機車車輛：機車車輛停放廠，檢車廠，修理廠，轉盤等等。

(丁) 動力廠：電廠，變壓所，導線等等。

(戊) 給水：蓄水池，吸水站，水塔，水管，水鶴等等。

(己) 號誌及電信：電報，電話，無線電臺，號誌區截機，連鎖機等等。

(庚) 房屋：辦公房屋，員工住宅，俱樂部，消費合作社，學校，醫院及其他屬於鐵路之房屋。

# 土 壤 力 學

## 茅 以 昇

### 引 言

本篇雖擬在年會宣讀，但不敢當論文之稱；以既非研究，更無創獲，不過敷陳本題大意，以求工程司之注意而已。工程司所應注意者多矣，於茲國家嚴重時期，尤宜集中力量於現實問題，其有關建國大計之足影響工程效用及經濟者，若非急待着手，或不必普遍的努力而即可有成者，儘可留待抗戰勝利之後，再圖籌劃進行；然此非所以語於土壤力學也。

土壤力學爲新興之應用科學，其目的在求明瞭土之內容及動態，以爲土方，河工，及一切基礎之設計及施工的張本。試思國防，交通，實業等經濟建設，有能離開土壤而從事者乎？凡與土有關，則安全，經濟，效用，等等，立成問題。蓋以往之土方河工及一切基礎工程，皆難免財力人力及時間之虛擲，甚或損及生命財產，不可勝算；今欲不蹈覆轍，惟有速求明瞭土之內容及動態，其尤要者，必須明瞭本國土壤之內容及動態；此非鋼鐵洋灰可比，得沿用外國研究之成果也。以我國土壤之廣，將來建設之多，土壤力學之重要，無待詞費矣。

土壤爲最平凡最古老之材料，以外國科學之發達，迄於最近，方有研究之動機，且時至今日，仍未有普遍的認識，則其事之不易，亦屬顯然。惟其如此，我國工程司，尤宜發揮力量，自動參加，以期協同樹立本科之基礎。因：

(1) 土壤力學之研究，如醫藥之治病，必須經過長時間，大空間之考察試驗，方能累積有成，漸進漸得。

(2) 土壤力學之功效，小成小用，大成大用，隨時隨地，均有需要，均有結果。

(3) 土壤力學之發展，外國尙在萌芽，我如急起直追，迎頭趕上，則於國際學術界之貢獻，必有事半功倍之效。

故作者自主辦錢塘橋工，即致力土壤力學，自愧學淺，無所成就，然錢塘橋工之得最後成功，未始不得力於此，而四年前函約賈薩基教授來華，幸承惠允（其時蔡方蔭君在奧，曾協同進行），亦緣此信念之激動。抗戰軍興，情形驟變，賈氏雖未克履約，而作者愚誠，終未稍減。近年在唐山工學院，時作土壤力學之演講，並擬有推進此項研究之實施計劃，茲值本會九屆年會，羣賢畢集，特提供草案，以當嚆引。我會員中，頗多專精土壤力學者，倘承指正，曷勝感幸。

本篇分前後兩部，前部略述土壤力學之內容，乃摭拾書報資料，纂集而成者，後部爲推進土壤力學之計劃草案，謹貢芻蕘，以求各專家之教正者。

### 上 土壤力學發凡

#### 一 土壤與工程司

任何工程司之畢生事業，無一能與土壤絕緣者，而以土木工程司爲尤甚。土壤爲地面物質之總稱，簡言之不過泥沙而已。然而一切工程，皆賴此土壤之抵抗力，爲其最終支柱。人類初有工程，土壤即其對象，堪稱爲歷史最久用途最廣之工程材料。試思今日世界，普遍的致力於一物，投資最鉅，費工最多，有勝於土壤者乎？鐵路公路之土方，橋樑房屋之基礎，以及水利，隧道，溝

渠，市政等土木工程，其占全部工款工期之最大百分數者，皆有關土壤之消費也。凡一工程之是否艱難，規模之是否宏大，其衡量標準，亦土壤也。然土壤本身價值，乃至為低微，幾可無償而得（通常價值為勞力或地權關係），以最賤之物，博最貴之工，最平凡之材料，成最偉大之建築，工程司對於任何事物之觀感，當無有更奇於土壤者。

土壤雖常物，而內容之奧妙，卻無倫比。悉隨大自然之偶然變化而形成，其間綜錯複雜之關係，毫無規律可循；自古以來，天下之大，無兩地土壤確具有同質同性者。不似鋼鐵與洋灰，純係人工製品，所有質地與用途，皆可預測。故鋼鐵洋灰，雖屬近代產物，而工程司知之有素，應用裕如；土壤自來如此，歷久未變，而工程司知之獨少，應付維艱。因之一切近代工程，凡與土壤有直接關係者，如基礎，如河工，其技術上之進步，皆比較遲緩；而經濟上之損失，遂不可數計。土壤本最古材料，以今日科學之進步，仍未能洞悉其竅要，尚須更新方法研究之，不可不謂為工程史上之憾事。

## 二 工程司與基礎學

一切工程皆建立於地上，其與土壤接觸並傳達壓力之部份，謂之基礎。基礎不固，工程等於虛設，其重要不言可喻。昔時一切工程設計，皆憑經驗為之，其『地上建築』與『地下基礎』之安全及經濟程度，皆無從估算。嗣後應用力學之理論及木石等料之性質，日漸明瞭，地上建築之設計，始日趨於合理化。然地下基礎雖同係木石等料所造成，應用力學之原理亦同樣有效，而以四周土壤性質之不明，其間內在之潛力，又無從預測，所造成之基礎，遂往往不能適用，甚至走樣陷落，連同上部建築，一併傾塌。唯一辦法，祇有約略的，甚或盲目的，加大基礎之尺寸，以經濟上代價，求安全之保障。然加大結果，有時適足為害，故基礎工程，在往昔直無善法處理。遇有重大建築如橋

梁，開壩等，影響大眾之生命財產者，其設計責任，尤為重大。幸而工成，歷時不朽，則主事者造福地方，受人崇拜，固所當然；而有時以一普通之擋土牆，因地基不穩，遂召岸塌路崩之禍，其間成功失敗，豈盡經驗所關，偶然的幸與不幸，亦所難免矣！工程事業而不能有絕對把握，則其癥結所在，當然為基礎學上最嚴重之問題。此嚴重問題由土壤而來，土壤不能控制，則基礎工程之實施，安得不受其阻礙乎！

然而近世文明之演進途中，基礎工程，究不能不謂為佔有重要之地位，則不能不歸功於少數出類拔萃之工程司。彼等遇事細心，觀察靈敏，積其一生經驗，致力於所擔之責任，不論工程鉅細，務以科學方法，始終其事，由小而大，自淺入深，故得於工程史上，時作驚人紀錄，當然值得吾人之傾佩。即在普通房屋，或土方工程，其設計周詳，施工允當之例亦甚多，此輩工程司，雖對土壤之知識未充，而遇事謹慎，不肯盲從，所貢獻者，遂亦可觀。今日基礎工程之地位，殆皆上述人才所博得；謂為個人成就，固屬各有千秋，而就基礎工程之全局言，則未得有一般的進步，其中顯然別有困難，值得吾人之注意。

此困難為何？當然是土壤問題未得解決。然其尤關重要者，則普通工程司往往不認識此問題之存在。以為從書本上尋得各種土壤之『勝任載重』，再用書本上之各種公式，推算基礎尺寸，完全做照上部建築之設計，即可盡其能事。殊不知書中載重表，係指某種土壤而言，而土壤之分類名稱，素不統一，如所謂『細泥』(Fine Clay)，可指鬆散粒泥或堅硬如石之泥，其載重力大不相同。倘工程司見所得報告，指明土壤為細泥，即用書中細泥之載重力，不問實際土壤究為『粒泥』抑『泥石』，則其設計之謬誤，何堪設想。又如書中所謂『勝任載重』(Safe Bearing Capacity)一語，若不註明載

重後之『容許沉陷』(Allowable Settlement) 則爲無意義，因土壤中基礎，未有不下沉者，其沉陷狀況，及所需時間，均足影響上部建築之安全或效用，而工程司所當預爲之計者。至書中理論公式，疏漏尤多，引用稍有不慎，設計即不可靠，其危險更不待言。今以不可靠之公式，根據無意義之載重表，欲於性質不明之土壤上，求得一安全經濟之基礎設計，其爲事實所不許，何待智者而後知。然普通基礎工程，固仍多如是作法，其幸而完成無礙者，視爲當然，其久勞無功或成而復圮者，視爲意外，則何怪一般的基礎工程，未有長足的進步乎？

於此有當說明者，基礎工程之現狀，其責任實由工程司所負者爲多。至若書本作者雖曾供給不可靠之公式，或無意義之載重表，但其著書原旨，祇在發表其個人之研究或經驗，初未料讀其書者，竟不假思索而依樣葫蘆，照抄照用。最初作者，對於公式或載重之說明，每不厭求詳，列舉其個人研究經過，備作閱者參考。不意用之既久，後來作者，往往並此而無之，遂使今之讀者，誤認爲寶筏，援用之而不疑，則書之爲害，亦不容爲諱者。

總之，自有基礎工程以來，除少數例外，其設計均可視作一種藝術而非科學，乃憑無系統之經驗及簡單之成規，雜以個人愛憎，依刻板的方式做成者。普通美其名曰『良規』(Good Practice)，是卽基礎工程之往蹟。

### 三 基礎工程之設計

已往基礎工程之設計，往往祇憑理論，視『土壓力公式』(Earth Pressure Formulas) 爲天經地義，並以公式中之假定，作爲眞事實，連類推及土壤之性質，一切皆以此假定爲依歸，而純用數學手續解決之。但事實上則有大謬不然者；例如公式中假定(1)土壤爲完美的，均勻的，乾淨細小之顆粒所組成，(2)顆粒間之『磨擦係數』等於此種土

質『休角』之正切(Coefficient of Internal Friction = Tangent of Angle of Repose of the Material)，(3)土之『旁壓力』(Lateral Pressure) 愈深愈大，其增長與深度成正比，(4)土崩時依一平面分離，此平面謂之『崩裂面』(Plane of Rupture)等，皆係指理想的材料(Ideal Material)而言，其性質可用數語表明之。然實際上之土壤，欲確切說明其性質，則雖千言萬語不能盡；以上假定，能一一有效乎？又如木樁基礎之沉陷(Settlement)，常識上以爲僅試一樁之下沉度即可推知此全基之下沉度。而實際上衆樁排列，彼此牽制，全基之沉陷，較諸一樁之單獨沉陷，有多至五倍以至五百倍者。又如木樁承載量之公式，若 Engineering News Formula 之類，祇可算得一樁之承載力，而在一羣木樁之基礎中，其合併承載量及沉陷，則均非此公式所能及。又如關於擋土牆之理論，盈篇累幅，其中祇幾何作圖及數學演算而已，關於土之性質，除假定外，別不在意。又如『蘭金公式』(Rankine Formula) 素爲工程司所奉爲圭臬者，而某君曾舉一例，援用此公式及關於『休角』之假定，算得一隧道在泥土中之安全程度，以鬆軟如膏之泥土爲最佳，但若在堅硬之泥土中，則此隧道有陷坍之危險，其背謬有如此者。

凡此所述，非謂理論本身之謬誤，乃說明誤用之不當。一切結論，皆有(1)假設(Hypothesis)，(2)理論(Theory)，及(3)定律(Law)之分。其區別在所引佐證之確實程度。最確實者之結論爲定律，最不可靠者爲假設。而基礎學中往往漫引假設爲理論。待此理論見於書本，則讀者又認爲定律。以此爲設計之依據，安得不債事乎？故普通之擋土牆(Retaining Wall)，橋頭翼牆(Wing Wall)，橋台(Abutment)等，往往落成未久而龜裂。蓋牆後土壤，並無此假想之性質，而其動態亦不依此『數學玄虛』



(Mathematical Fiction)之路線也。

理論公式之作者，本其經驗所得，將研究結果，公諸於世，對於基礎學之進步，貢獻實多，當然值得工程司之欽敬。倘併此公式而無之，則工程司如遇基礎設計，勢必更將束手。雖有誤用公式而債事者，但在謹慎工程司手中，此種理論及公式，仍不失為一種應付土壤問題之工具。凡工具皆有缺點，如何善用其長，則神而明之，存乎其人。以理論公式言，第一須知各名詞之確切意義，第二須知其適用之環境，第三須知其所憑藉之佐證。由此推測其可靠程度，則用此工具時方不致反為所誤。此過去偉大基礎之所以成功，而為一般工程司所當師法者。

以上三條件——名詞，環境及佐證——在普通情形下異常難解。欲希望公式作者單獨發表其意義，而用公式者更能完全明瞭其意義，殆為事實所難能。因此三事皆牽涉土壤之性質及動態，非經工程司之集體研究，並作普遍的考察及試驗，不能得有共同之了解也。茲依次說明之。

#### 四 土壤性質

岩石經風化作用，其剝蝕殘餘部份，委棄積存於大地者，均為土壤。工程司常用『卵石』(Gravel)『粗礫』(Coarse Sand)『細砂』(Fine Sand)『粘土』(Clay)『淤泥』(Silt)等名詞形容之。蓋皆『顆粒』(Solid Grains)，『水份』，『氣體』(Gas)，及『膠子』(Colloid Gel)四項物質組合而成。此項組合之複雜，極天地造化之妙；欲尋一標準分類法，使讀者顧名思義，即能斷定土壤之種類，而明其四項物質組合之狀況，殆為不可能之事。草草區分，固可別為『砂』『泥』兩大類，砂為顆粒顯著之土壤，泥為黏性顯著之土壤，但純砂純泥，皆試驗室中名詞，而為實際上所罕見者。亦有根據(1)礦石成份，(2)空隙成份，(3)顆粒組合，(4)水份或(5)膠子成份等方法分類者。其中第三法，以顆粒粗細之成份，

別為若干類，每類定一名稱，曾經第一次國際土壤會議(1927)，採為標準，但絕不足說明土壤之內容，或推測其性質；而土壤性質，則為基礎設計最重要之張本，而工程司所最當明晰者。

土壤性質之影響工程者，當然甚多，舉其要者如(1)壓力增加時體積之『壓縮率』(Compressibility)，(2)『透水率』(Permeability)，(3)無載重時之既有『剪力』(Shearing Resistance)等，均足推知土壤在載重時適用之程度。然則將此數種性質，設法斷定，即可將土壤分類，並作設計之張本乎？此須視環境情形，而非一成不變者。因任何土壤，皆受下述外力之影響而變更其性質：晴雨，雪霜，寒暑，風暴，河流，地泉，潮汐，地震，草皮，樹根，蟲豸及微生物等所發生之機械的化學的熱力的及電力的作用，以及人為的壓緊，疏鬆，加水，去濕等方法。土壤內之份子，既已極其複雜之能事，而外來影響，更係多方面且隨時隨地皆可發生者，則其性質之難以斷定，誠足令人氣短。無已，祇有承認土壤變態之存在，為工程司者，當知其變態之得失，務於設計時對變態之最大限度，審慎權衡其輕重，儘量的預為之計，不令小小變動，推翻全局（如房屋之不均衡的沉陷，可以致災），如是而已。然而此豈易事乎？

土壤為天所造，天然事物，未有不複雜者。故土壤性質，斷非僅知其名而能了了，雖用最精深之數學原理，亦必無濟於事。唯一之科學方法，為考察其實際情形，並試驗其各別性質，然後綜合的加以研究，或可窺測其中奧妙之什一。

#### 五 土壤考察

土壤性質，非同假想，不必待工程肇禍而後知。凡施工之際，自動土時起，苟逐日考察土壤表面之變化，必可發現若干事實，足以推知土質及潛力之真相。所惜者，普通工程司往往無暇及此，而徒斤斤於原設計之

實施。土在足下，不值一盼，因此而貽誤事機，不可勝算。蓋倘放膽一觀，祇須留意數種現象，逐日比較其衍變之形跡，不待多時，必可發其深省，而不再懷疑土壤學家之警告；警告為何，即任何土壤之性質，絕不與工程司所假想者相同！經此考察，則理論中之真情與假想畢露，因此而確定各種理論之價值，則可作為附帶的收穫。

因工程失敗，緣於土壤關係者居多，故土壤考察之重要，已博得現代工程司之注意。且有離開書房或試驗室，而於工地帳篷內，作土壤研究者。考察時，僅憑肉眼之所見，當然甚少，不得不賴各種儀器之輔助，以期精確。其中最要者，為『取樣器』(Sampler)，可於施工地點，以之採取土壤，名為『土樣』(Soil Sample)，用作試驗之需。此種土樣，應就地廣為採取，且須保存其『原來狀態』(Natural State)，不但顆粒之配合，不可擾動，即其中水份氣質，亦當設法維持，則土壤真相，或可於土樣中，窺見一斑。

除土樣外，施工時對於土壤之考察，尚應核對設計之當否，並預測工程完畢後之效用。考察時所用儀器及方法，務須標準化，以便比較及研究；且應附具極詳細之說明，使讀其報告者，得完全明瞭當地之情況。尤當注意者，考察務須澈底，使其結論不致空泛或偏頗。如觀察一房屋之『沉陷』，若其面積有一方之大(100'×100')，則屋下土質情形，應推測至一百五十呎之深，方能得有較確之結論。因在一實例，屋下一百三十呎之泥層，曾使此屋下沉達一呎之多也。又如開深溝時，需用木板支持土壤，此板後之士，往往有『拱力作用』(Arching Effect)，因而變更土之旁壓力。故支持木板時，所用『支架』(Timbering)之作法，亦與旁壓力有關，將來支架拆去，拱力影響猶存，此在作考察報告時，所當詳切說明者。

土樣取得後，即送試驗室，以便鑑定其

性質。施工報告中，有奇特現象，須待解說者，第一步工作，亦係在試驗室。試驗後，方有研究之資料。

## 六 土壤試驗

試驗結果，為最確鑿之資料，科學上定律，皆從此中得來，故土壤問題之解決，亦必有賴於試驗。從廣義言之，工地考察，亦試驗之一部份，而大規模之試驗，亦有就地舉行，不能限於室內者。但終以室內為多，且其事繁複，牽涉多種科學，故土壤試驗，成為專門學術，究心於此者，有『土壤專家』之稱，固不必皆由工程司兼任也。

最初土壤試驗，皆由材料試驗室或水工試驗所兼辦，至1929年，奧國維也納工科學大學，始有獨立完美之土壤試驗室(Soil Mechanics Laboratory)。其後美國哈佛大學於1930年，康乃爾大學於1935年，及其他各大學與工程機關，相繼設立。然迄今總數，仍不甚多，據1936年統計，則全世界不過三十所而已。

土壤試驗室之重要部份，為『保溫房』(Constant Temperature Room)及『保濕房』(Humid Room)。其中溫度及濕度，可分別管制，以便維持固定之溫度或水份。試驗室之儀器及機械，除普通材料試驗所用者外，大率係專家自行設計，就試驗需要，特別製造者。

土壤試驗之種類甚多，就其重要者，可區分如下：

(甲)關於土壤分類者 此類包括『器械分析』(Mechanical Analysis)，『化學分析』(Chemical Analysis)，『礦植物分析』，『顯微鏡觀察』等方法，用以化分土壤種類，並鑑定其名稱。如(1)顆粒大小及分配，(2)顆粒形狀，(3)空隙成份，(4)比重，(5)水之成份，(6)空氣成份，(7)石灰成份，(8)植物成份，(9)『乾濕程度』(Consistency)等。

(乙)關於土壤性質者 凡土壤在工程上

所表現之性質，皆與其潛力有關，而潛力則受其成份及特質之影響。下述各試驗，皆所以測定土壤之「物理上性質」(Physical Properties)：(1) 剪力 (Shearing Strength)，(2) 壓力 (Compressive Strength)，(3) 緊固 (Consolidation)，(4) 透水率 (Permeability)，(5) 毛管壓力 (Capillary Pressure)，(6) 冰凍現象 (Frost Action)，(7) 張力 (Expansion Pressure)，(8) 膠子 (Colloids) 等。

(丙)關於土壤理論者 應用力學理論，當然為解決土壤問題之基幹，但以土質複雜，蘊藏之因數特多，縱然從理論演得公式，而其中「係數」(Coefficients) 待求(水利學中此例甚多)，或事實上尚難應用，則須假試驗方法，探明其中真相，因此而發現新的見解，藉以改善土壤理論者，事例極多。故試驗室中，關於土壤理論之試驗，初無固定範圍。茲為說明內容計，姑舉數例，以狀一斑：(1) 樁旁之壓力分配，(2) 泥土中向上壓力 (Hydrostatic Uplift)，(3) 砂之彈性 (Elasticity of Sand)，(4) 主應力與空隙率 (Principal Stresses and Voids Ratio)，(5) 土之拱力 (Arching in Soil)，(6) 邊土之穩度 (Stability of Slope)，(7) 隧道四周之壓力分配，(8) 土壩漏水性 (Seepage Through Dams)，(9) 模型之「光彈」(Photo-Elastic) 試驗。

### 七 土壤研究

工地考察及室內試驗，為研究土壤之必要工作；因所得資料，皆有確切佐證，且有時可用數字說明，無隱約模糊之弊；就此資料而研究，則無論有無結果，所費時間，皆非虛擲；其幸而有成，則可以改良當前之工事，縱然無功，其紀載及經過，猶值得將來研究之參考。否則若憑假想及推論，搬弄數學玄虛，則人人研究，各執一辭，土壤學術永無進步矣。考察及試驗之技術，至近年始普遍而精進，故土壤研究之成就，亦日新月

異；風聲所播，昔日拘泥成見，專重理論或祇談經驗者，漸覺其狹隘之非，不但互泯爭端，且有相率共同研究者，此為工程界之一大轉變。

土壤研究之目的，在統一土壤名詞，鑑定每種性質，推測外力影響，建議設計方法，以及增進研究技術等。此項工作，從上次歐戰後，即已發軔，然以內容繁複，今方樹其始基，距理想境界，相去仍遠。即以準確程度一端論，任何土樣，取至試驗室時，皆不能與其天然狀態，絕對相同；即將來取樣方法改良，而所試驗者，仍不過一「樣」而已；土壤性質，隨時隨地皆可變化，從各種土樣中，豈遂能絕對的斷定一切乎？且其間有個人經驗及特性 (Personal Equation) 關係，試驗結果之精密程度，亦難有一定標準。因之研究結論，亦不免寬泛或略帶彈性；至如何發揮其效用，則不能不視工程司之實際經驗。故土壤研究之進行，須賴試驗室內之「土壤專家」(Soil Scientist) 及實施建設之工程司 (Practical Engineer) 雙方分工合作，互解難題，而後漸達理想之境界。

土壤專家之責任為如何乎？(1) 研究簡單明確之土壤數種，(2) 求其性質，(3) 及其測驗之方法，(4) 漸進而求土壤之分類法，(5) 各種土壤之動態及外力之影響，(6) 改良「取樣」「試驗」及「校對」之儀器及方法，(7) 推求土質土性之成因及變化之原理，(8) 從力學，化學，電學等科學，研究土壤之一切反應 (Reaction) 等。

工程司之責任為如何乎？(1) 從專家之研究，徵驗其結論於工地，(2) 於施工狀況下，研究精密之取樣法及各種量度法，(3) 利用土之特性，改善工程，(4) 根據專家所得之結論，設計工程及工具，(5) 就「原土」研究其性質，俾作專家之參考，(6) 供給專家關於整個工程自始至終之觀察資料，(7) 遇有奇特現象，報告專家研究等。

例如下列各問題，現均在研究之中，而無一能由專家或工程司單獨解決者：(1)公路之路基 (Subgrade) 及路面，(2)鐵路公路之排水方法，(3)填土挖土之施工，(4)路基之冰凍現象，(5)各種土壤之承載量，(6)木樁或洋灰樁之承載量，(7)橋基及房屋之下沉度，(8)地下建築(如隧道)之土壓力，(9)擋土牆之穩度及彈性移動 (Elastic Movement)，(10)河岸之崩坍及侵蝕，(11)河道之變遷，(12)堤壩之穩度及基礎，(13)深溝邊土之崩陷等。

故土壤專家及工程司，對於土壤之研究，各有責任，各有目標；同時須互相聯絡，互相協助，方能彼此有成，相得益彰。所有應用科學中，其『應用』及『科學』，必須常期的亦步亦趨，缺一不可，關係深切，有如土壤之研究者，尙不多觀。故此種研究，現已成爲一種最新的科學，名爲『土壤力學』(Soil Mechanics)。

#### 八 土壤力學

土壤力學之目的，係以『工地考察』及『室內試驗』之方法，研究土壤性質，及其所受外力之影響，俾於基礎及土方問題，得有合理解決，藉作設計及施工之準則。其對象爲『原土』及『自然力』，故力學如何應用於土壤，及土壤如何受力學之支配，即本學科之精義所在，而與『農業土壤學』(Agronomy)之所由劃分。昔時研究土壤者，往往以數學及力學爲唯一之工具，但從事土壤力學者，則須旁涉物理，化學，地質，氣象，礦物，動植物等學科，足見其包羅之富。

自重要基礎工程，時遭意外，舊時土壤理論，漸形動搖以來，工程司對於土壤之觀念，爲之一變。上次歐戰後，遂發生『研究土壤』之運動，以維也納工科學之寶薩基教授 (Prof. Terzaghi) 爲中堅。一時風起雲從，咸憬然於過去之疏失，於是土壤研究，成爲新興的科學，而寶薩基氏遂爲土壤力學

之權威。

在寶氏以前，研究土壤者，窮思極慮，擬對各種土壤之性質，求得相當數字，以爲代入各種公式中，任何條件，一算即得，便與橋梁設計，大同小異，土壤問題，豈非就此解決。然土壤究非鋼鐵或洋灰可比，此種希望，永無實現之一日。蓋研究土壤，猶醫士之治病，人之秉質不一，感應互差，治療原則雖同，而施術之際，差以毫厘，謬以千里。土壤之複雜，初無殊於病症，必如醫士之虛心，始收研究之功效。此例經寶氏一語道破，工程界始轉移目光，潛心於土壤資料之搜集，及考察試驗之工作。經全世界之努力，此新興科學，遂逐漸奠其始基，發展之速，出人意表。至 1936 年時，更有『國際土壤力學會議』(International Conference on Soil Mechanics) 之召集。於是土壤力學，漸成爲工程司必備之工具，其於學術上之供獻，固足承先啓後，而於將來工程之經濟上及安全上之補益，更屬無可限量。此複雜奧妙之土壤問題，今竟覓得最可靠之鎖鑰，不可不謂爲人類大幸事也。

#### 下 推進我國土壤力學之計劃草案

土壤力學之內容及其重要性，具如上述。可知此種科學之研究，固已不易，而欲普遍的推行於工程界，則其困難，有甚於他種應用科學者：

(1) 有史以來，即有土工及基礎，昔時設計憑經驗，近來設計兼憑理論，所成功者多矣，因之不易認識土壤力學之需要。

(2) 力學爲標準之純粹科學，土壤爲性質最複雜之物料，今欲將力學施於土壤，如何發生聯繫，殊難得適當之概念，以變化因數過多，則有無處下手之苦也。

(3) 土壤隨地隨時而易性，一處研究，未必適用於他處。工程事業皆有時間性，今若一物未造，而先須窮年累月，研究地下問題，如何得人諒解。

(4) 土壤力學之推動，須賴工程司及科學家保持密切關係，長期的致力於某一問題之解決，方可冀有若干成績之表現，而此成績又必累積的循一個方向增進，方可冀有事實上之裨益，此種研究工夫，非一般工程司所能堪。

(5) 工程司最重現實，不蹈空虛；土壤本身雖非空虛，力學原理，亦易驗證，但土壤力學之研究，如前提錯誤，即易蹈空虛之弊，遂足使工程司裹足。

(6) 土壤力學，在一般工程學校，均未列入課程，工程司在受教期間，且無此根柢，則於服務之時，更何能責其研究，即有心努力，亦難覓同志之士，互助互勉。

以上為先進國家之情況，若在我國，則一般工程進步，且感遲緩，今當百廢待舉之時，豈有餘暇，消磨於此種科學之研究乎？雖然，經始之難，在無信念，今如覺悟土壤力學之重要，及其在經濟方面之價值，則「雖覆一簣，進吾往也」，將來收穫，必遠在耕耘之上。此不得不呼籲我工程同志力圖邁進，相期共勉矣。

茲本此意，擬具推進我國土壤力學之計畫草案如下：

(甲) 學校方面 大學工學院，應否講授土壤力學，即在國外，猶成問題。反對者以本門學科之基礎，尙未能確立，一切重要結論，仍在繼續研究之中，倘學者徒知舊日理論之非，而無新者以代之，則信仰動搖，必致影響其他學業。而主張講授者，則以大學教育，重在訓練思想，最忌盲從；土壤力學，正在進展之中，若及時灌輸，不但增益其本門智識，且可啓發其研究精神，尤屬一舉兩得。權衡輕重，自以講授為宜。似可於各工學院之土木工程系四年級，添列本課，與通常講授之基礎學同時並進，由同一教師擔任，以期聯繫。或將兩課合併，在開講基礎之前，導以土壤力學之大意，使知基礎學中之問題，及其解決之途徑。另於材料

實驗及水工實驗之課程中，加入關於土壤部份，使知土壤之複雜情形，以期增加日後受教時之興趣。工學院中如有設立研究部者，更可將土壤力學列為重要課程，講解實驗並重，以期獲得實際上之貢獻。

(乙) 工程機關方面 土壤力學之基礎，建築於實驗，考察及研究；而實驗考察之責任則工程機關所應負擔者為多。任何工程機關之事業，皆與土壤有關，其事業之經濟效能及價值，應以土壤研究如何為憑斷。普通不甚感覺其嚴重，皆緣無形中之消耗未加注意之故。試以電燈廠言，似與土壤力學無關矣，然發電機之基礎，則建築於土壤之上，倘基礎下沉，稍欠平勻，必致影響機件之動作及效率，而平時所不易覺察者。又如引擎用水，電線桿架等，皆與土壤有關，隨時隨地可發生困難，增加發電成本者。舉一以例其餘，則土木工程機關之責任，更無待說。然機關經費皆有限制，欲持為土壤力學，增加負擔，則不但不能普遍辦到，且恐反有妨礙進行之慮。故現時所希望於各機關者，在期明瞭本題之重要，而加以協助。若全國工程機關，皆願出其餘力，參加本題之研究，則所獲結果，必有超越他國之上者。如下列各項，皆為各工程機關所優為，而土壤力學專家所求之不得者：

(1) 任何工程預算內，在測量或調查或建築項下，酌留數額，以便搜集有關當地土壤之資料，並作實驗研究之準備。

(2) 派遣工程司督修或實施各項土木工程時，不論其職位高低，均請其兼作關於當地土壤之報告；有必要時，並請作必不可少之簡單實驗。此項報告及實驗成果，由該機關長期保存，以備各方參考。

(3) 已完竣之工程，因土壤關係，時有走樣沉陷情形，若對照開工前之土壤考察，或可推知若干因果關係。故若工程機關責令保養工程之工程司，按照規定項目，定期的作詳確報告，必可發現重要資料，以供土壤

專家之研究。

(4)現時土木工程司，對於土壤力學，多未暇涉獵，各工程機關，宜儘量的予以研究便利，圖書儀器設備之類，更宜就財力所及，設法購置，以供應用。

(丙)工程司方面 工程司離校稍久者，對於所習學科，除與其事業有直接關係者外，多有日漸生疏之感，而以純粹理論（如數學），及專賴強記而得者（如地質）為尤甚。土壤力學之內容，富於理論及強記之資料，既非工程司所素習，或未易投其所好。然如決心研究，則理論與強記，立即發生聯繫，由此而獲得一種鎖鑰，應用於解釋現狀及預測將來，時有奇驗，則信心不由而生，自必增進其興趣。况工程司最能負責，對於職務，須求澈底明瞭，不容絲毫含混；今土壤研究，直接影響於工程之安全及經濟，則為其事業與名譽計，當更無漠視或厭聞之心理。惟一問題，祇是如何着手，如何進行而已。

(1)先求對於土壤力學得一簡單明確之概念，繼擇其最易着力部份，廣搜資料，並多留意工程刊物之有關論文，俾作準備。

(2)設計時，務將土壤因素，列入關係條件之內。如可利用舊有資料，則應驗證其真實性。如須就地調查考察，則務須講求方法之週密，及樣品之保藏，使其結果，不但可供一時之利用，且足為他方之借鑑。

(3)完工後，應長期的注意其工程之狀況，倘發現特異情形，不論影響大小，宜推求其故，藉以校正設計施工時之差誤。

(5)將所得經驗，隨時於工程刊物中發表，廣徵討論，俾作日後研究之指針。

(丁)學術機關團體方面 土壤力學，範圍極廣，今當研究進行，未屆段落之時，必須關係各方，通力合作，有無相通，切磋共濟，方可日有進展，逐漸樹立必備之基礎。然本科學術是整個的，各方如何合作，始能齊一步驟，增進效能，則必有賴於學術機關

及團體為之聯繫。茲就國內有關之學術團體言，則如(1)中國工程師學會，(2)水利工程學會，(3)土木工程師學會，(4)中國地質學會，(5)中國礦冶工程學會等；就學術機關言，則如(1)中央研究院，(2)北平研究院，(3)經濟部之地質調查所，(4)中央工業試驗所，(5)中央水工試驗所，(6)礦冶研究所等；均可聯合討論，研求進行方案，以便分配工作，彙集資料，並舉行會議，刊布論文。其於我國土壤力學之進展，當必有極大之關係。以上各學術機關團體中，中國工程師學會，利害關係，比較切近，其會員中，又多散佈於其他機關團體者，對於此項工作，尤應居主動地位；似可於最短期間，發起召集『中國土壤力學會』，參照1936年國際土壤力學會經過，研討我國現狀，並擬訂進行綱領；則今後各方之研究，始有共同標的，而免隔閡參商之虞。倘經我學術界之努力，使土壤力學之基礎，得於國內樹立，並進而在國際上有所表現，則豈僅我中國工程師學會之幸歟？

近年來國內會議甚多，而成效彰著者則甚少，其故皆緣於事前之準備不充分。以今日交通之困難，時間之寶貴，如開會而不獲開會之益，則為害孰甚。故莫若先用通信方法，徵求論文及意見，嗣就收到資料，加以審查整理，視結果如何，再定會期；甚或逕用通信方法，就各參加此項問題者相互討論，一俟意見集中，即可作為議決案，通告施行，尤得簡便之要。

(1)由中國工程師學會，指定會員三人，負籌備會議之責，(2)由此負責會員通函各有關之學術機關及團體，請各推定負責者二人或一人，加入籌備，(3)由以上負責籌備人員，合組『中國土壤力學會』籌備委員會，為辦事迅速起見，各籌備人員以同居一地或相近者為宜，(4)由此委員會擬定進行綱領，分函各有關機關學校團體，個別研究，發揮意見，並徵集論文，以便測驗

各方之興趣及反應，(5)由委員會就收到資料，加以整理，先於中國工程師學會之「工程」雜誌發表，其尤關重要者，並為投稿於外國之工程刊物，(6)經相當時日後，委員會再酌察情形，決定會議之組織辦法及召集日期，(7)如暫時尚無會議必要，則可將委員會進行狀況定期公佈之，俟時機成熟，再行召集，(8)委員會可代表中國學術界與各國有關土壤力學之學術團體通訊，並於必要時參加本題之國際會議，(9)本委員會於會議召集後解散，在會議前，無論時日久暫，本委員會即為我國土壤力學之推動力，其經常事業費，由各加入機關團體分任之。

至上述之進行綱領，可就國內外現狀，暫擬大要如后：

(1)審訂標準名詞 土壤力學為新興科學，其中名詞繁多，日有增益，在國外已有標準化之必要，我國現時譯著伊始，方興未艾，尤應將各種名詞，早為審定，庶可統一意義，免滋淆混。

(2)編纂大學用書 土壤力學之文獻，多係德文寫述，於英文中，欲求一合用之大學教本，至今尚無其選；故英美各大學中，未將此科列入課程者，此亦其重要原因之一。我國工程教本，素感缺乏，然他科尚可求之於國外，土壤力學則更非自編不可，因其中所述資料，應以我國工程為對象也。

(3)計劃實驗儀器 土壤力學所需之儀器，多係工程司或土壤專家所自製，故除小部份有關鑑定性質者外，其餘多無標準，不

似普通材料試驗，小至一針之微，咸有統一之規定也。我國儀器缺乏，此時宜先求其有，再論其他，似可於各學校，各機關中，凡已有材料試驗設備者，儘量添置土壤需用之儀器，如須在國內自造，則可聯合計劃，於供求相需之中，兼寓標準之義。

(4)指導研究實施 我國土壤力學之程度，遠遜先進各國，毋庸為諱，今當倡導伊始，如能延聘本科權威學者，如賓薩基氏之類來華，週歷各校演講，並為計劃「中央土工實驗所」之設備及進行方案，則於推動本科之研究實施，必大有效力。工程司中有對此特感興趣者，並可隨同視察，常親教澤，則繼承有人，不必長賴客卿之助矣。

上述進行草案，其最重關鍵，在工程司對於土壤力學之興趣。倘由一團體盡力鼓勵，始終不懈，則於引起注意之後，當必有再接再厲者。作者本此愚衷，因向本會申請，擬捐贈「石渠獎金」一名，專為獎勵本會會員對於土壤力學有特殊貢獻者之用。其數微末，不足云獎，略表本人對此科前途之熱誠希望而已。

土壤力學之性質，雖近似醫學，而其對象則有大不相同者。人體具有天然抵抗力，「不藥是醫」有時或竟然有效，而土壤則非醫不治者。醫治差誤，且必致債事。茲以賓氏在國際土壤力學會議中所發之警語，作本文之結束：「土壤力學之於工程，猶近代醫學之於治療，應以排斥「走方郎中」為第一義」。

## 工 程 專 冊

唐 凌 閣 編 2冊 定價各 3.00元

全書分訂上下兩冊：上册之第一部份羅列數學、力學、應用流體力學、熱學、電磁之各項公式原理，附加簡單之說明；第二部份搜集參考必需之數理表格；末附西文索引，一一繫以漢譯。下冊之第一部份為工程紀錄，關於全國工廠與生產之統計，工程學校工程期刊之調查等，無不儘量採錄；第二部份為關於工業、工程法規之摘要；末附四角號碼索引。

商 務 印 書 館 出 版

# 土壤力學於沉箱工作之應用

王 達 時

## 目 要

- (一) 引言
- (二) 土壤之應力及荷量
- (三) 豎坑與沉箱之開挖
- (四) 美國績彩城之地質
- (五) 沉陷一百呎直徑及七呎牆厚鋼筋混凝土沉箱入土之預定計劃
- (六) 施工時實測之結果
- (七) 結論

## 一 引言

年前遊學美國，隨霍色爾 (Housel) 教授習土壤力學，適斯時績彩城 (City of Detroit) 興建大規模下水道工程，聘霍氏為顧問工程司，余乃得機參加工作，在霍氏之指導下，根據土壤力學新論，擬定沉箱及隧道等工程之進程序，結果極稱圓滿。關於利用沉箱本身重量，沉入地層一項，尤饒興趣。爰將經歷所得，紀載本篇，以供國內工程界之研究焉。

## 二 土壤之應力荷量

地質學家於土壤之分類，項目甚多，基此研究基礎土壤問題，勢難得切合實用之結果，根據實驗所知土壤受力後之反應，土壤可分為黏土 (Cohesive Soil) 與粒土 (Granular Material) 兩類，前者之荷量，基於剪力 (Shearing Resistance)；後者基於壓力傳佈角 (Angle of Pressure Transmission)。霍氏於粒土之荷量問題，曾有專論發表，茲不贅述。

黏土之主應力 黏土經載重後，其中任

何一點，於各方向平面上，常有垂直應力， $P_1, P_2$ ，與剪力， $f_s$  (圖一) 發生，若某平

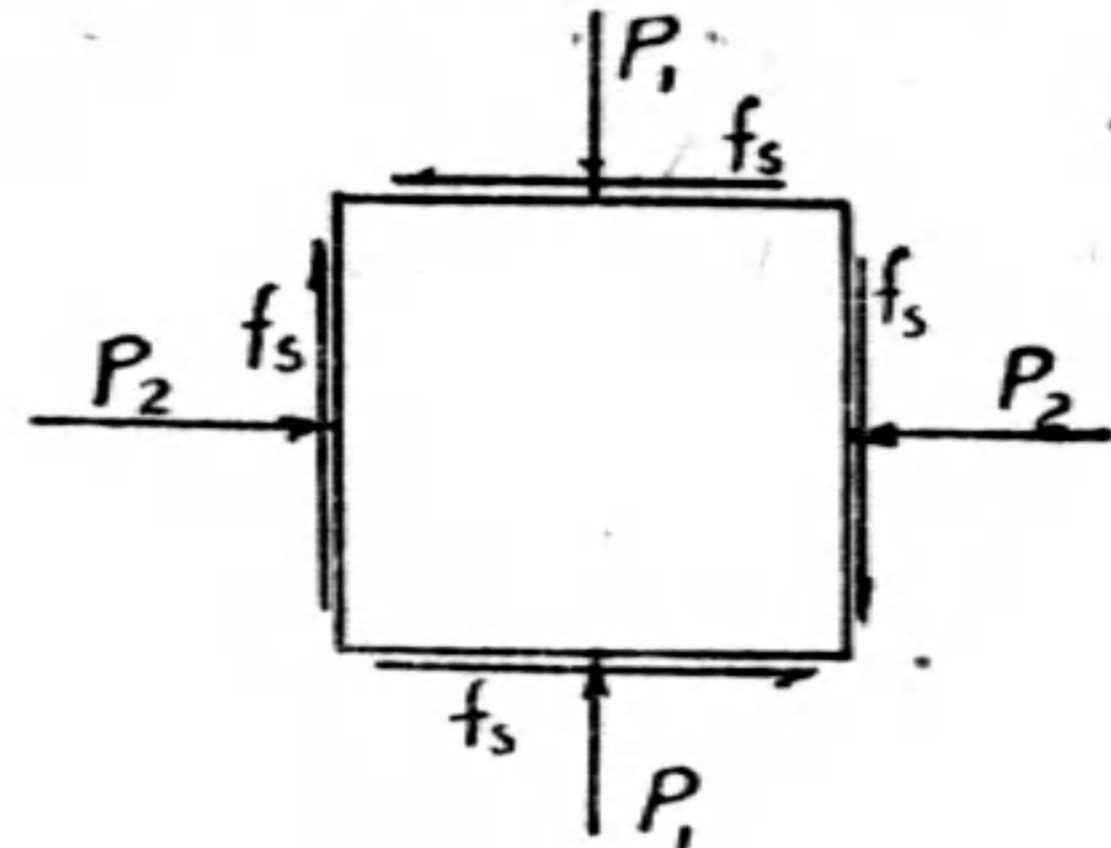


圖 (一)

面上僅有垂直壓力存在，而無剪力發生時，則無論其垂直壓力為最大或最小，均稱主應力，而此平面，稱謂主面。

主應力所產生之剪應力 主應力在土壤中某一點之垂直平面上。經過該點斜面上剪應力之最大值，等於二分之一最大主應力與最小主應力之差，其證如下：

(圖二甲) 中  $P_v, P_h$  及  $m$  各為最大

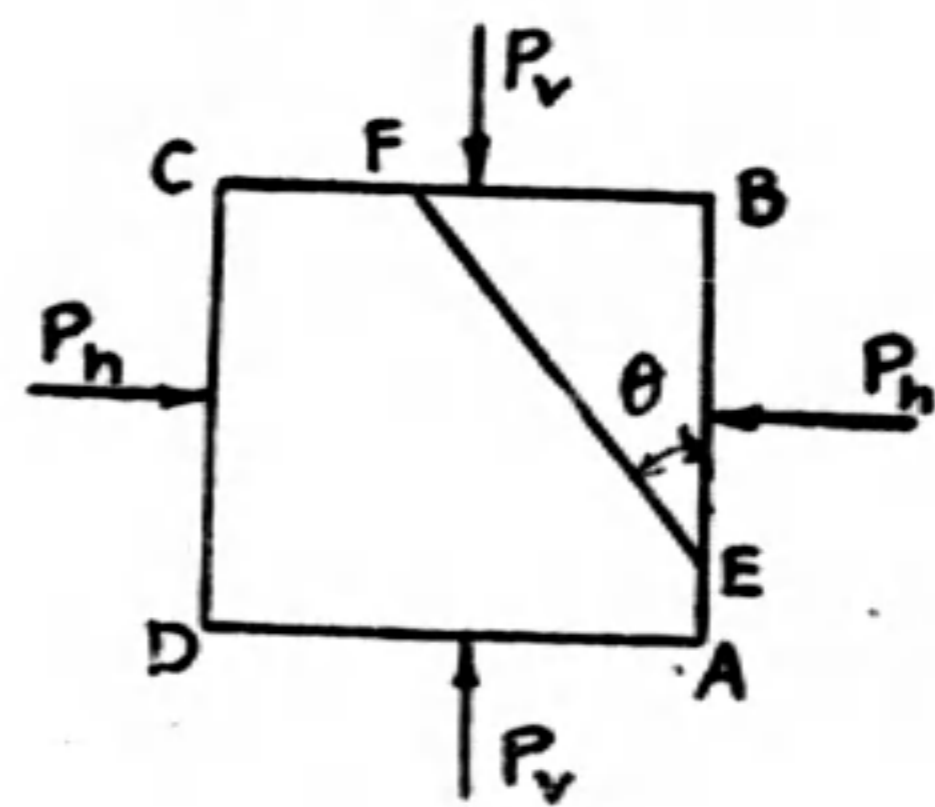


圖 (二甲)

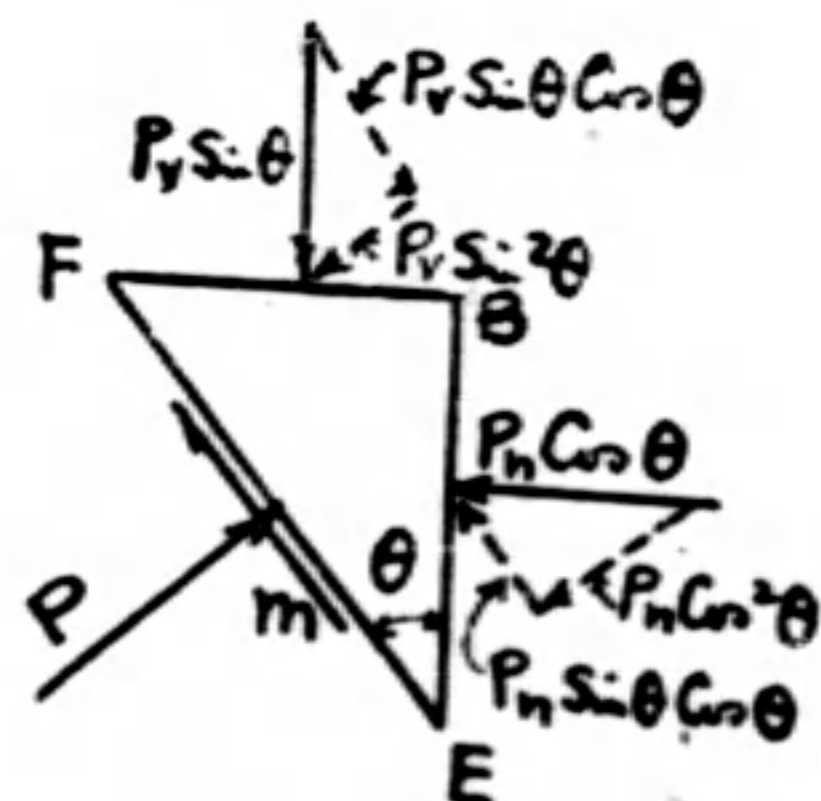


圖 (二乙)



主應力，最小主應力，及斜面  $EF$  上之剪應力，設  $EF$  等於一，則  $EBF$  各面上之力，如圖（二乙）所示，應用靜力學中之平衡定律，得

$$m = P_v \sin \theta \cos \theta - P_h \sin \theta \cos \theta = \frac{1}{2} (P_v - P_h) \times 2 \sin \theta \cos \theta$$

或  $m = \frac{1}{2} (P_v - P_h) \sin 2\theta \dots\dots\dots (1)$

如  $m$  最大，則

$$\frac{dm}{d\theta} = (P_h - P_v) \cos 2\theta = 0$$

$$P_v - P_h \neq 0$$

$$\cos 2\theta = 0$$

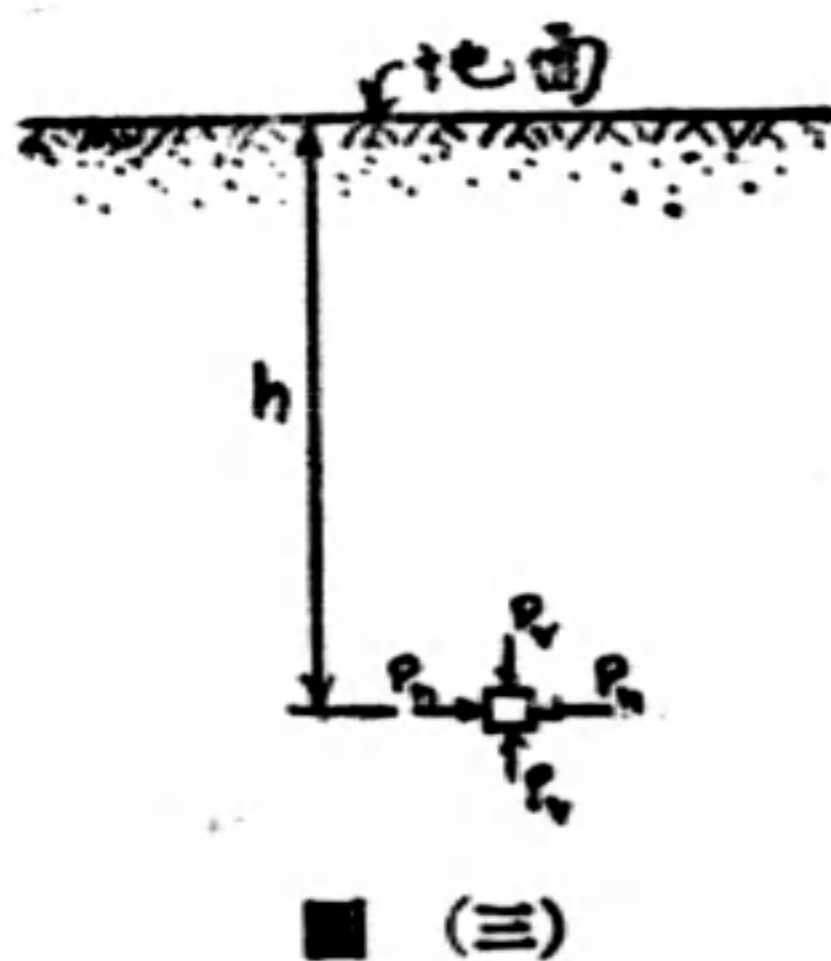
$$2\theta = \cos^{-1} 0 = \frac{\pi}{2}$$

$$\theta = \frac{\pi}{4}$$

以此代入式（1），得最大剪應力

$$m = \frac{1}{2} (P_v - P_h) \sin 2 \times \frac{\pi}{4} = \frac{1}{2} (P_v - P_h) \dots\dots\dots (2)$$

最大剪應力在土壤之應用 設土壤單位體積之重量為  $\omega$ ，在深度等於  $h$  處之垂直壓力



$$P_v = \omega h \dots\dots\dots (3)$$

以此代入式（2），得

$$m = \frac{1}{2} (\omega h - P_h)$$

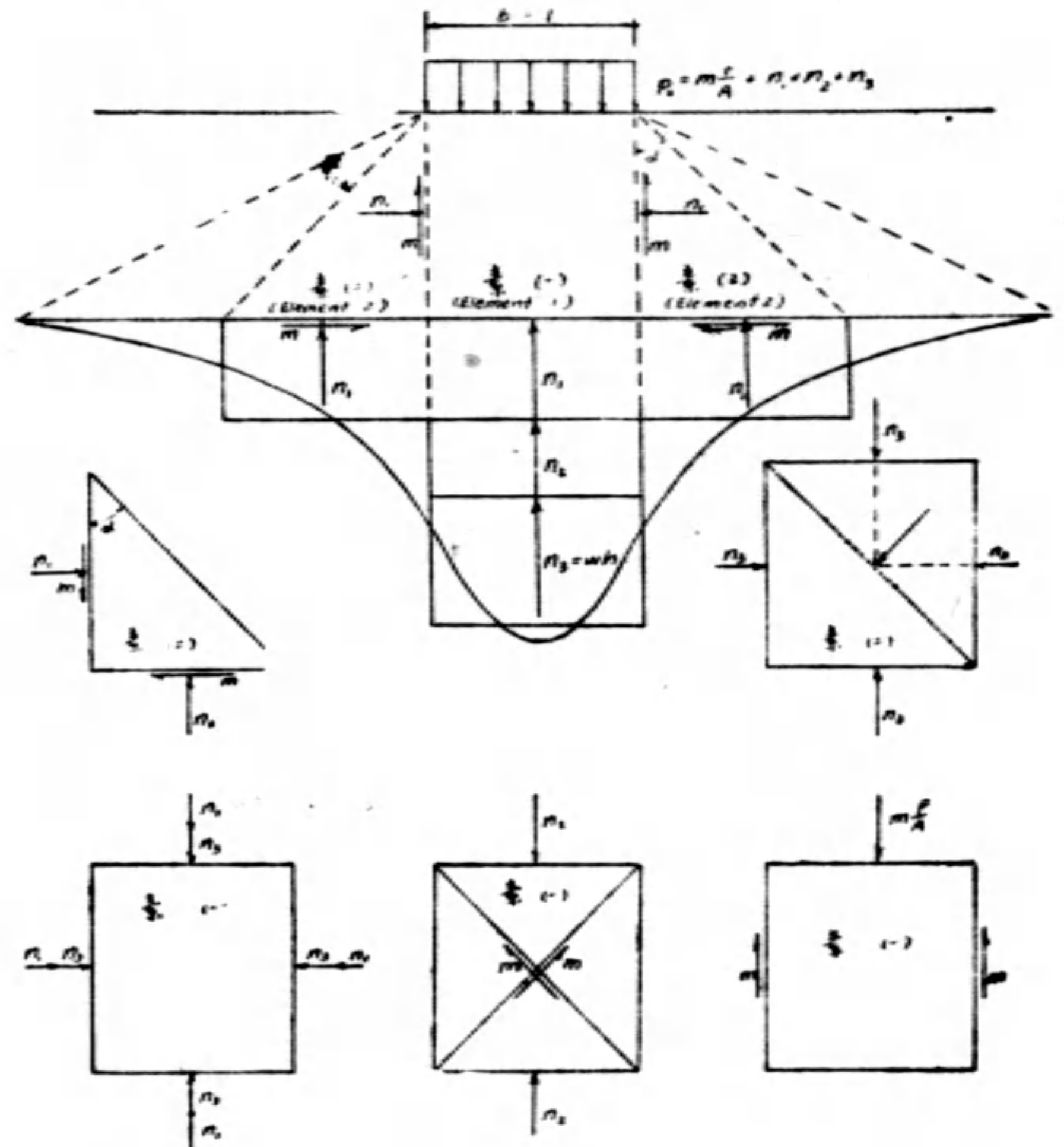
或  $P_h = \omega h - 2m \dots\dots\dots (4)$

當  $\omega h$  等於剪應力之兩倍時， $P_h$  等於零，即  $\omega h - 2m = 0$

$$h = \frac{2m}{\omega} \dots\dots\dots (5)$$

稱此深度為黏土之臨危深度(Critian Depth)，以後以  $h_c$  表示之。

土壤之荷量 根據土壤壓力分佈研究之結果，黏土有兩種主要反應力，即中柱部份之密集壓力，與形成壓力橫向分佈在中柱圍面上之反力是也。若能示此兩種反應力以可能直接度量之因素，則從圖（四）所示各部之平衡關係，可得土壤之最大荷量。



圖（四） 土壤受力壓縮帶內之應力分析

中柱所示『素（一）』，於形變之反應，產生兩項顯異之反力：第一項包括三種性質類似之壓力組成， $n_1, n_2$ ，及  $n_3$ ， $n_1$  為專由周圍物體之圍籠作用，所生立體壓縮產生之垂直壓力； $n_2$  為由地面傳下之垂直壓力，而未增橫壓分力至土壤之最大量，致使四十五度之斜面上，發生最大剪應力； $n_3$  為由過載所生之壓力。上述三種應力因素，均稱啓發壓力 (Developed Pressure)，此示中柱傳遞垂

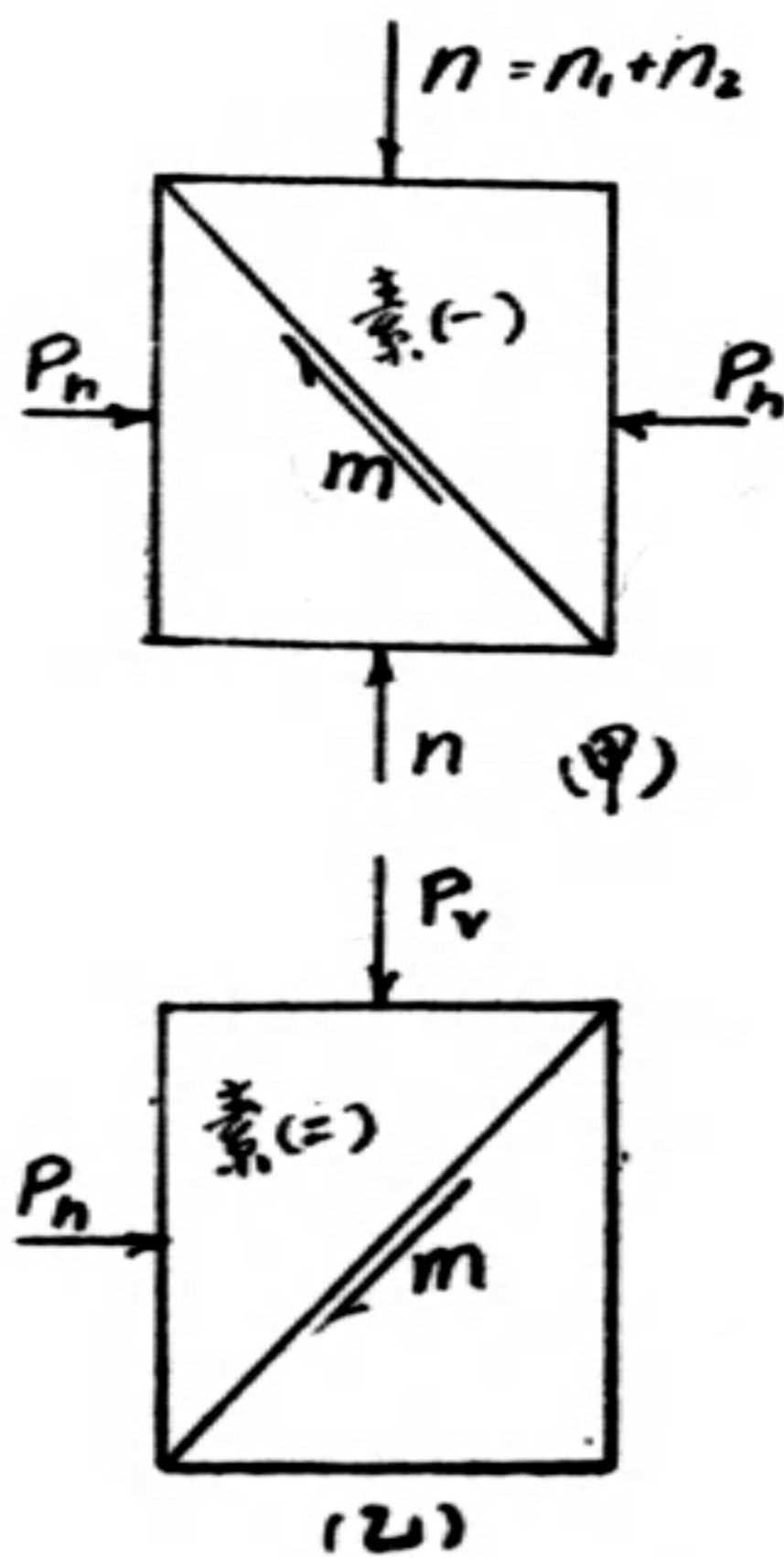
直壓力之能量，不致由橫向移動而失敗。

壓力之橫向分佈，由於中柱圍面上之剪應力， $m$ ，作用，此第二項應力因素，亦須顧及。此項荷量為荷板（或基礎）周長， $P$ ，之函數，以荷板面積， $A$ ，除總周力， $Pm$ ，即可與第一項壓力因素相加，而得黏土之荷量公式為

$$P_0 = m \frac{P}{A} + n_1 + n_2 + n_3 \dots\dots\dots(6)$$

從壓縮帶內外之「素(二)」平衡，可得一有意義之關係，在未超過剪應力， $m_1$ 以前，中柱無壓力密集之現象，壓縮帶以內之壓力成均等分佈，即  $n_1$  是也。同時「素(二)」因圍範面上之剪應力關係，必須產生橫壓力， $n_1$  當「素(二)」橫直兩面上之垂直壓力， $n_1$ ，相等時，根據靜力學之平衡定律，兩面上之剪力必與  $n_1$  相等，若欲適合上述條件，平均分佈角必為四十五度。（圖四）

上述各項壓力因素之分析，第二項  $m \frac{P}{A}$  可以度量得之，第一項中  $n_3$  等於  $\omega h$ ， $h$  為土壤深度，亦可直接測得； $n_1$  與  $n_2$  可照下列步驟得之圖(五)中  $n$  為  $n_1$  與  $n_2$  之和。



■ (五)

由圖(五甲)得

$$\frac{1}{\sqrt{2}} n - \frac{1}{\sqrt{2}} P_n = \sqrt{2} m$$

$$n - P_n = 2 m \dots\dots\dots(7)$$

由圖(五乙)得

$$\frac{1}{\sqrt{2}} P_n - \frac{1}{\sqrt{2}} P_v = \sqrt{2} m$$

$$P_v - P_n = 2 m \dots\dots\dots(8)$$

現  $P_v = 0$ ，故

$$P_n = 2 m \dots\dots\dots(9)$$

以此代入式(七)，得

$$n = 4 m \dots\dots\dots(10)$$

以式(10)之結果，代入式(6)，得黏土之荷量公式為

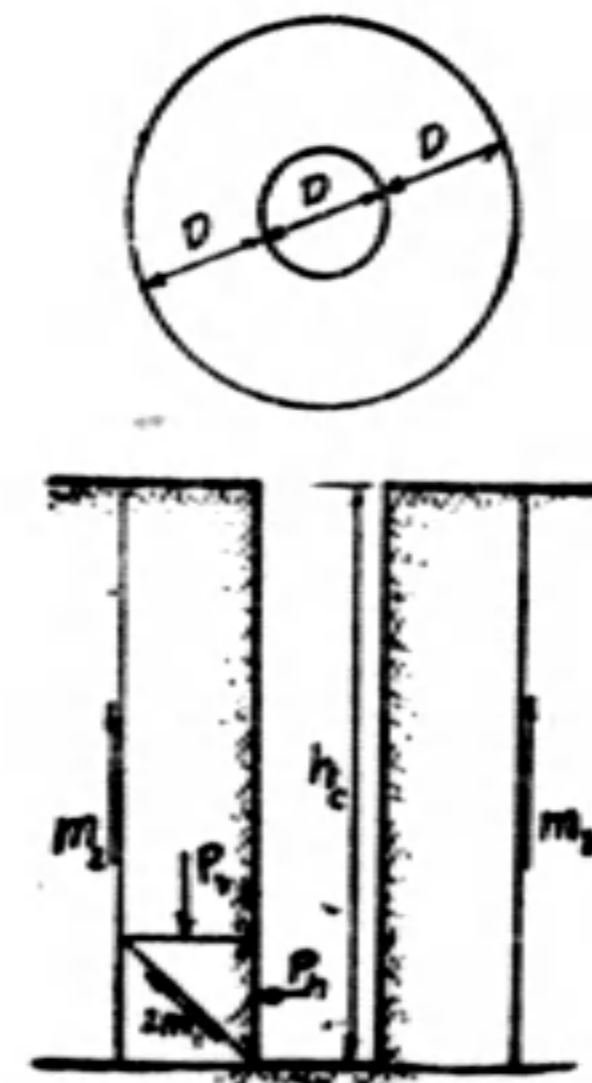
$$p_0 = m \frac{P}{A} + 4 m + \omega h \dots\dots\dots(11)$$

式中  $p_0$  為荷量， $P$  為荷板下中柱之周面， $A$  為荷板面積， $h$  為土壤深度， $\omega$  為土壤單位體積之重量， $m$  為土壤之剪應力。

### 三 豎坑與沉箱之開挖

本節所述豎坑與沉箱挖鑿之臨危深度， $h_c$ ，均假定垂直反力之平均剪應力為  $m_2$ ，而某深度之剪應力為  $m_1$ ，所有豎坑與沉箱之直徑為  $D$ 。

(一)無支撐豎坑之開挖 從圖(六)得



■ (六)

$$P_v = \omega h_c - 3 D \pi h_c m_2 / \left( \frac{q \pi D^2}{4} - \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$P_v = \omega h_c - 3 h_c m_2 / 2 D \dots\dots\dots(12甲)$$

$$P_v - P_s = 2m_1, \text{ 但 } P_s = 0$$

$$\text{故 } P_v = 2m_1 \dots \dots \dots (12\text{乙})$$

當開挖及臨危深度時，式 (12甲) 與式 (12乙) 相等。

$$\omega h_c - 3 h_c m_2 / 2 D = 2 m_1$$

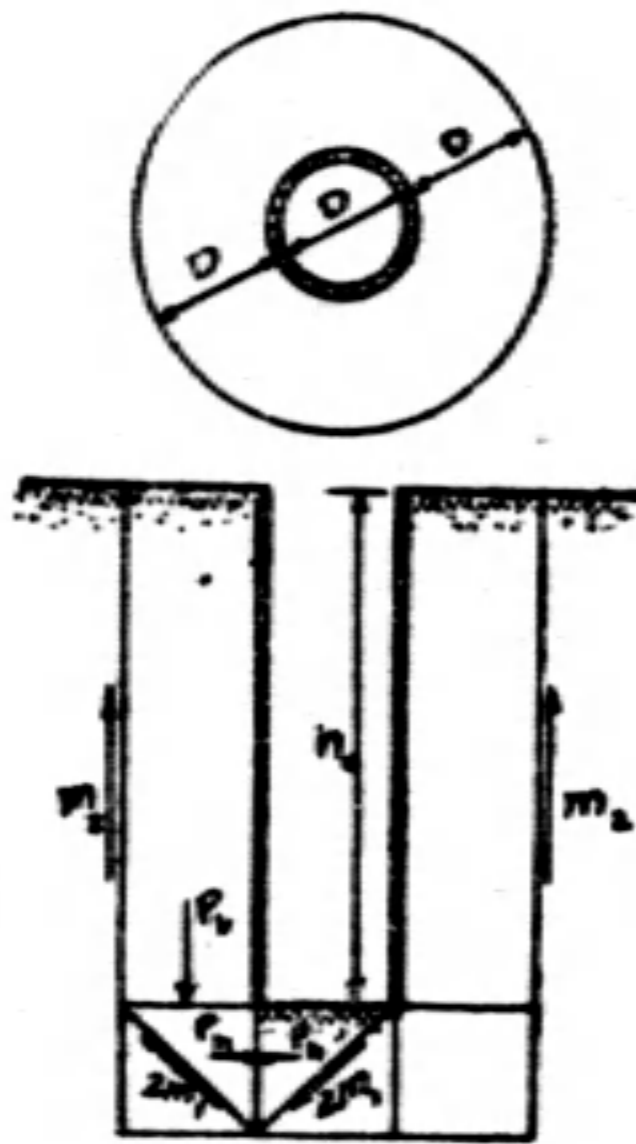
$$(2 \omega D - 3 m_2) h_c = 4 D m_1$$

$$h_c = \frac{4 D m_1}{2 D \omega - 3 m_2} \dots \dots \dots (12)$$

(二) 有支撐豎坑 ( 沉箱 ) 之開挖，挖鑿至支撐同深，而土壤有向箱內起昇之趨勢從圖(七)得

$$P_v = \omega h_c - 3 h_c m_2 / 2 D \dots \dots \dots (13\text{甲})$$

當開挖及臨危深度時。



■ (七)

$$P_v = 4 m_1 = \omega h_c - 3 h_c m_2 / 2 D$$

$$8 D m_1 = (2 D \omega - 3 m_2) h_c$$

$$h_c = \frac{8 D m_1}{2 D \omega - 3 m_2} \dots \dots \dots (13\text{乙})$$

(三) 箱內挖土未及支撐之下端，留以抵抗箱內土壤之起昇。

(甲) 鋼板樁支撐，尖端無反力作用。

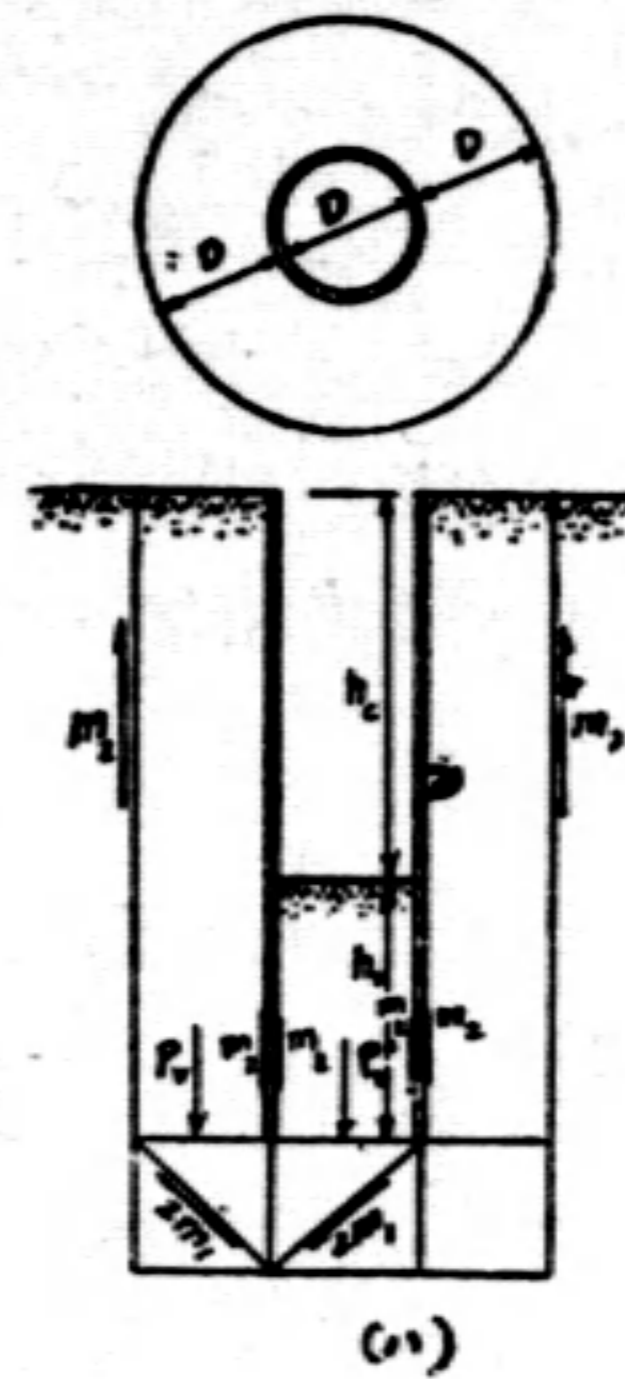
從圖(八)得

$$P_v = \omega(h_c + h_1) - 3(h_c + h_1)m_2 / 2 D - h_1 m_2 / 2 D \dots \dots \dots (14\text{甲})$$

$$P_v' = \omega h_1 + 4 h_1 m_2 / D \dots \dots \dots (14\text{乙})$$

當開挖及臨危深度時， $P_v = P_v' + 4 m_1$ ，故

$$\omega(h_c + h_1) - 3(h_c + h_1)m_2 / 2 D - h_1 m_2 / 2 D = \omega h_1 + 4 h_1 m_2 / D + 4 m_1$$



■ (八)

$$\omega h_c - 3 h_c m_2 / 2 D = 4 m_1 + 6 h_1 m_2 / D$$

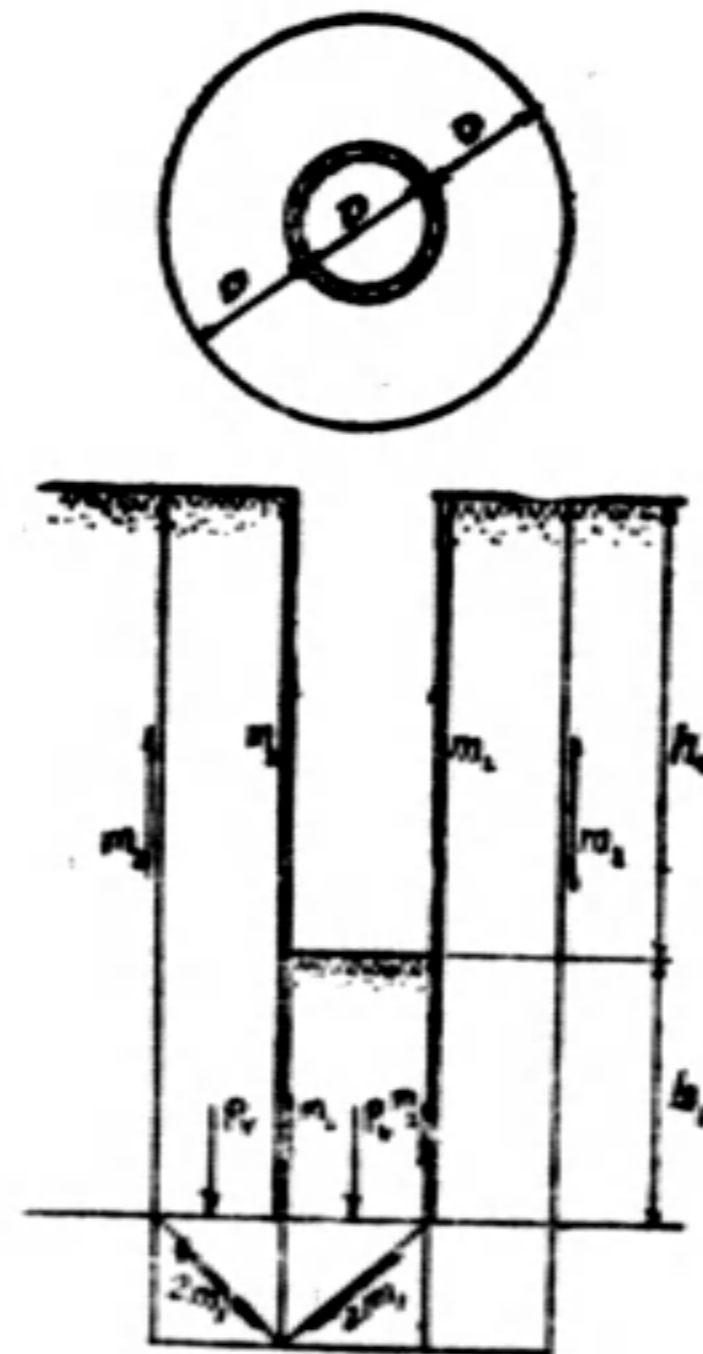
$$h_c = \frac{8 D m_1 + 12 h_1 m_2}{2 D \omega - 3 m_2} \dots \dots \dots (14)$$

(乙) 混凝土沉箱由其本身之重量沉陷入土，其牆底有反力，而離堅土或石層之距離為無限大。

從圖(九)得

$$P_v = \omega(h_c + h_1) - 2(h_c + h_1)m_2 / D \dots \dots \dots (15\text{甲})$$

$$P_v' = \omega h_1 + 4 h_1 m_2 / D \dots \dots \dots (15\text{乙})$$



■ (九)

當開挖及臨危深度時， $P_v = P_v' + 4 m_1$ ，故

$$\omega(h_c + h_1) - 2(h_c + h_1)m_2 / D = \omega h_1 + 4 h_1 m_2 / D + 4 m_1$$

$$\omega h_c - 2 h_c m_2 / D = 6 h_1 m_2 / D + 4 m_1$$

$$h_c = \frac{4 D m_1 + 6 h_1 m_2}{D \omega - 2 m_2} \dots\dots\dots (15丙)$$

(丙)與(乙)中沉箱相同，惟沉箱下端離堅土或石層甚近，起昇作用為離石層之距離， $X$ ，所管制。

設  $x$  小於二分之一  $D$ ，從圖(10)得

$$P_v = \omega(h_c + h_1) - [(D + 2x)\pi + d\pi]$$

$$(h_c + h_1) m_2 / \frac{\pi}{4} [(D + 2x)^2 - D^2]$$

$$P_v = \omega(h_c + h_1) - 2(h_c + h_1)$$

$$m_2 / x \dots\dots\dots (16甲)$$

$$P_v' = \omega h_1 + 2 h_1 m_2 / x \dots\dots\dots (16乙)$$

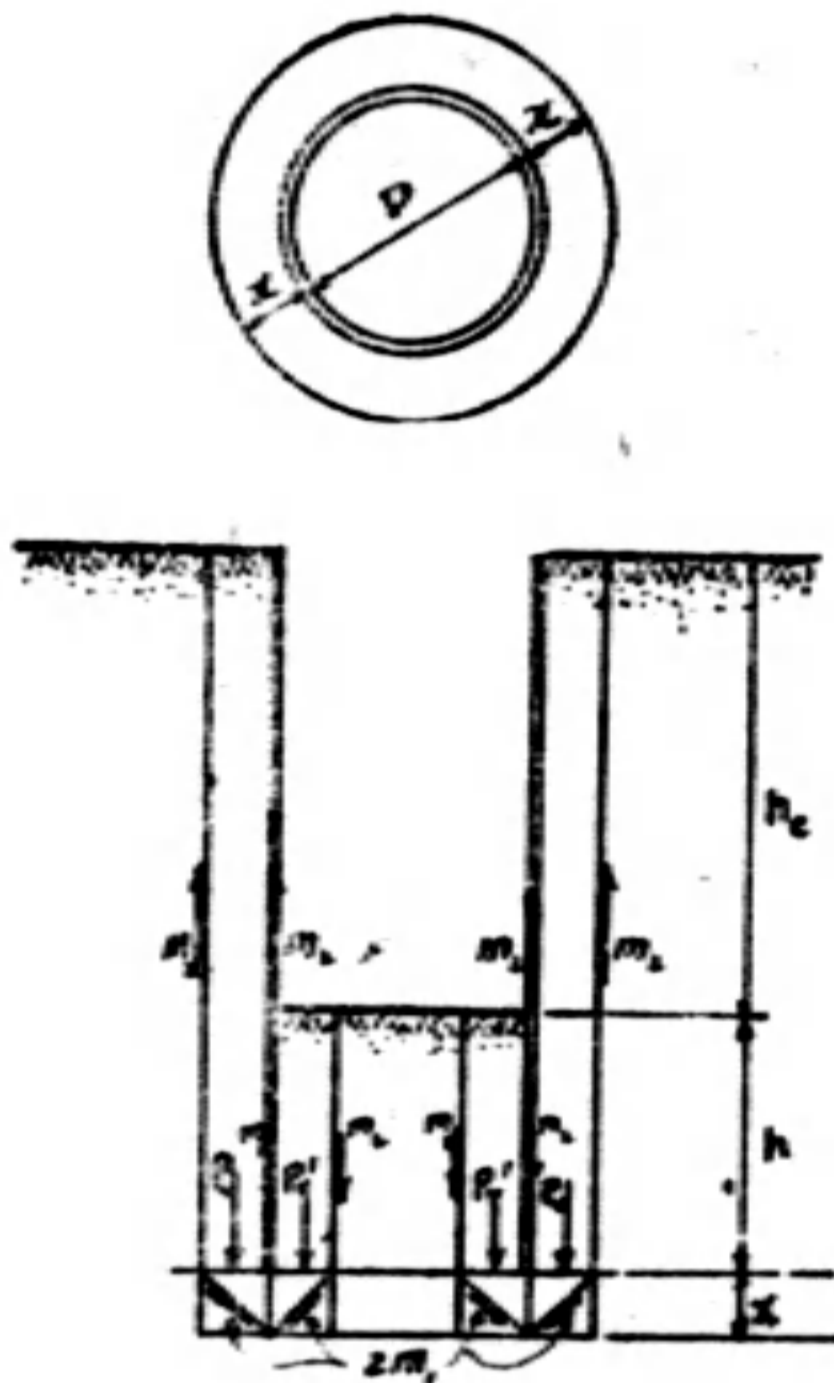


圖 (十)

當開挖及臨危深度時， $P_v = P_v' + 4 m_1$

$$\omega(h_c + h_1) - 2(h_c + h_1) m_2 / x$$

$$= \omega h_1 + 2 h_1 m_2 / x + 4 m_1$$

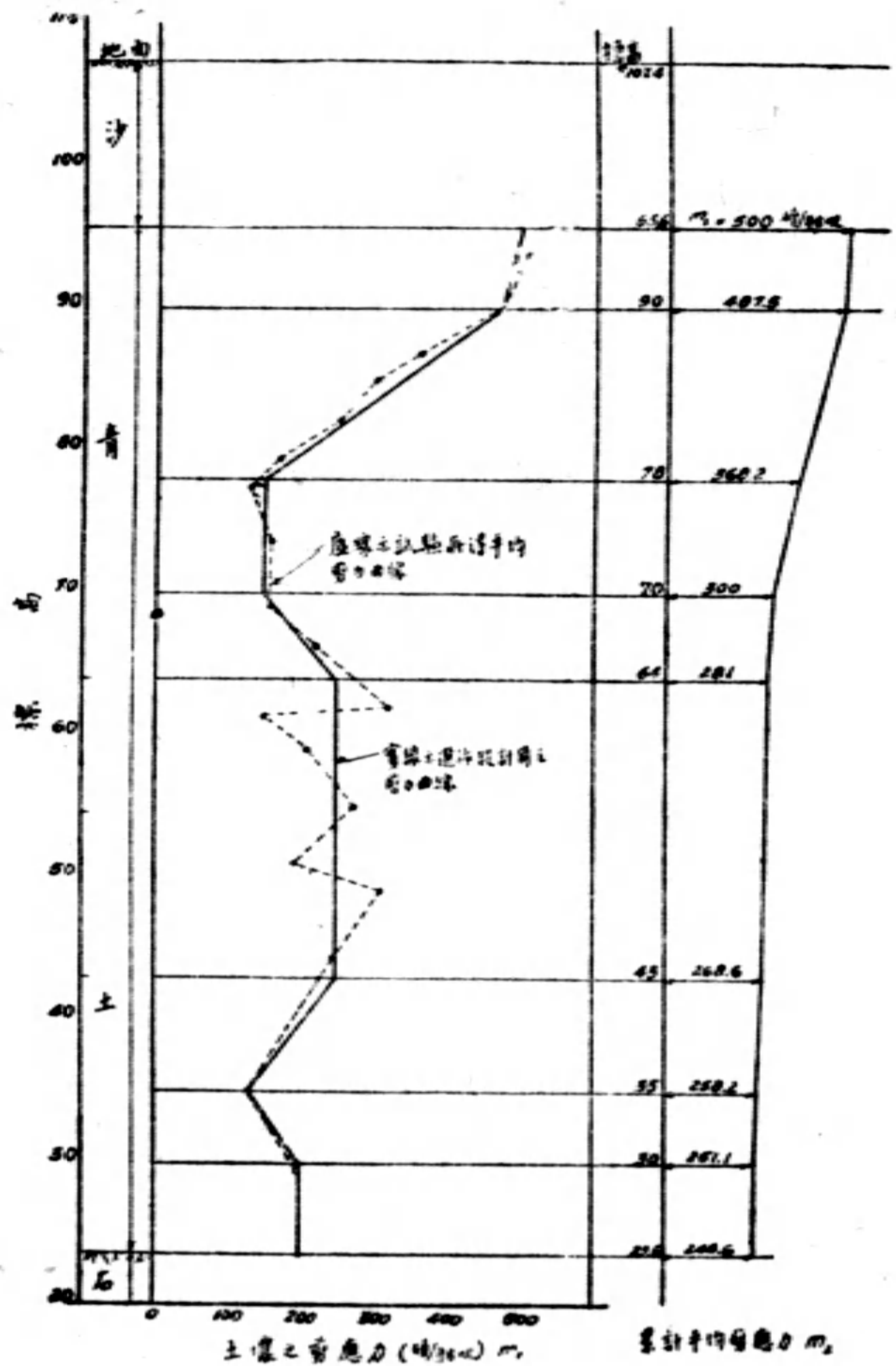
$$h_c = \frac{4 m_2 h_1 + 4 m_1 x}{\omega x - 2 m_2}$$

$$= \frac{4(m_2 h_1 + 4 m_1 x)}{\omega x - 2 m_2} \dots\dots\dots (16)$$

根據式(16)，在本節情形之下，臨危深度與沉箱之直徑不涉，而為  $X$  之函數。

### 四 績彩城之地質

應用上述土壤力學理論，於施工地點之土質情形，必須於事前作精詳之探驗。績彩城下水道工程抽水站處之地面標高為 107.4 呎，標高 95.4 呎以上為沙土，標高 95.4 呎與 23.6 呎之間為青土 (Blue Clay)，以下即為石層，在不同深度二十一處，採取土樣，作種種必要之試驗，圖(十一)示各深度土壤之剪應力。



圖(十一) 美國績彩城下水道工程抽水站處之土壤剪應力試驗

### 五 沉陷一百呎直徑及七呎牆厚鋼筋混凝土沉箱入土之預定計劃

(一) 牆底反力之計算 下列牆底反力計

算，均根據黏土之重量為 125 磅/立方呎，沙土之重量為 100 磅/立方呎，並假定箱內沙土業已在事前挖去。

從圖(十二)得荷量之公式如下

$$p_0 = 4m_1 + \omega h + \frac{4m_2 h}{b} \dots\dots\dots(17)$$

下表所列數字係根據  $b$  等於 7 呎所得。

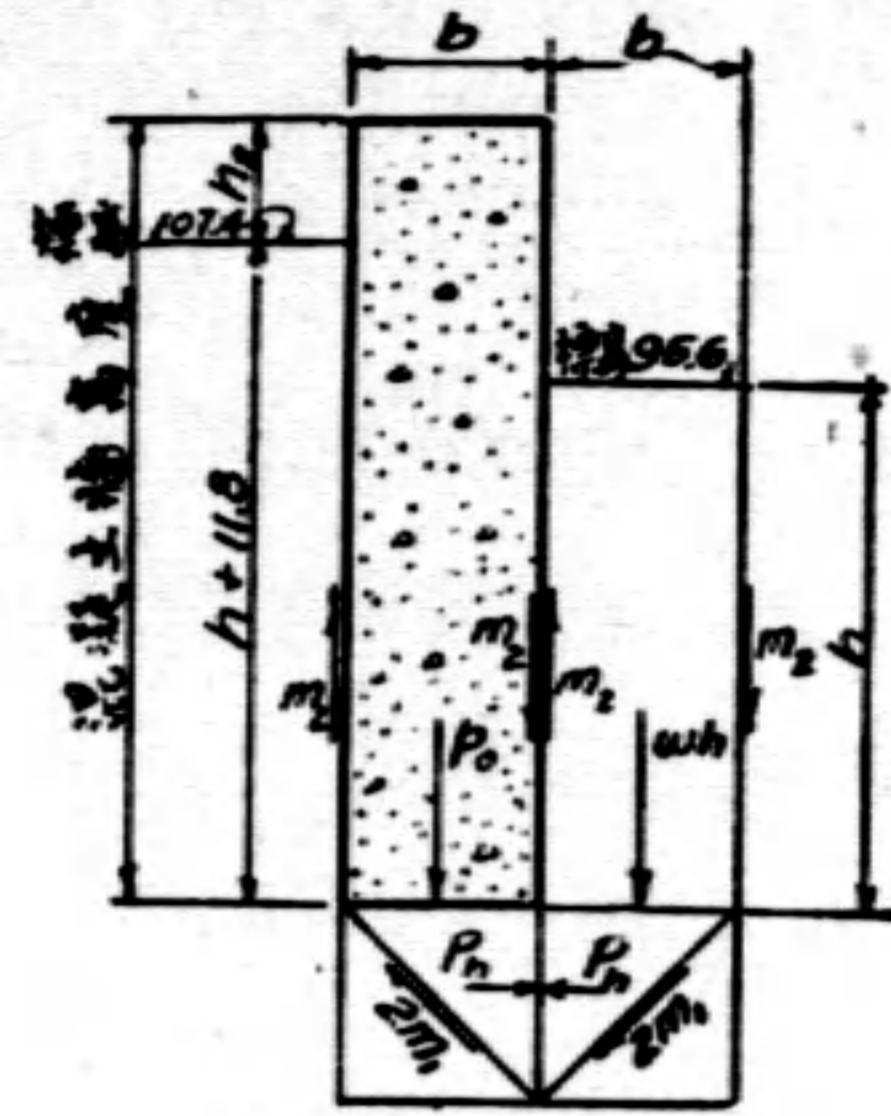


圖 (十二)

標高	$m_1$	$m_2$	$h$	$4m_1$	$\omega h$	$4m_2 h/b$	荷量, $p_0$
95.6	500	500	0	2000	0	0	2000
90.0	475	487.5	5.6	1900	700	1560	4360
78.0	150	368.2	17.6	600	2200	3700	6500
70.0	150	300	25.6	600	3200	4400	8200
64.0	250	281	31.6	1000	3950	5070	10020
43.0	250	268.6	52.6	1000	6575	8060	15635
35.0	130	258.2	60.6	520	7575	8930	17025
30.0	200	251.1	65.6	800	8200	9400	18400
23.6	200	246.6	72.0	800	9000	10100	19900

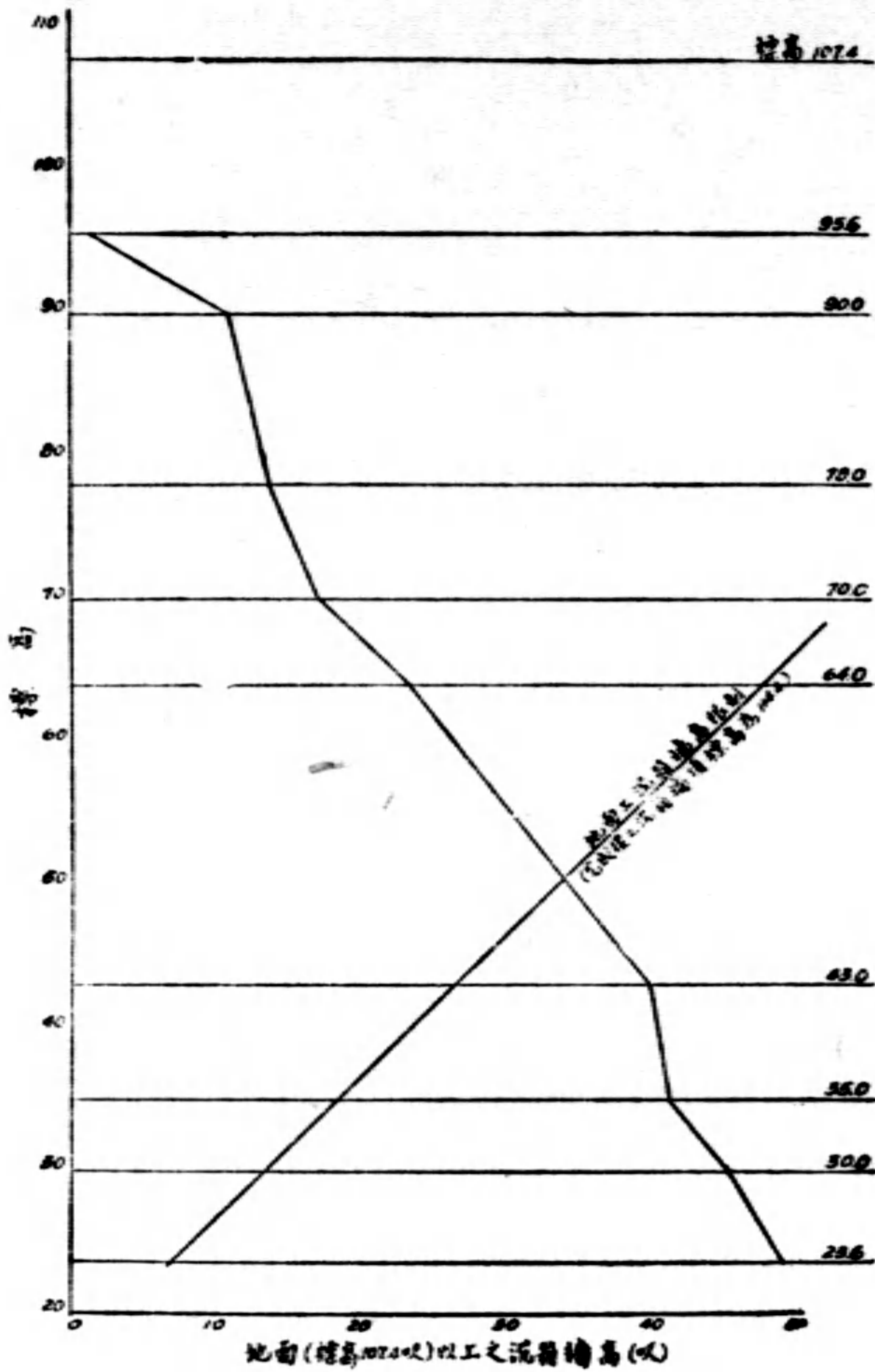
(二)圖(十二)中  $(h+h_2+11.8)$  等於混凝土牆之高度，設混凝土每立方呎之重量為 150 磅，則前節所得荷量之混凝土牆相等高，如下表所列：

標高	95.6	90.0	78.0	70.0	64.0	43.0	35.0	30.0	23.6
$p_0$	2000	4360	6500	8200	10020	15635	17025	18400	19900
混凝土牆相等高 $h+11.8+h_2$	13.3	29.1	43.3	54.7	66.8	104.2	113.5	122.7	132.7
地面以上土牆高 $h_2$	1.5	11.2	13.9	17.3	23.4	39.8	41.1	45.3	48.9

下頁圖(十三)示本表之數字。

(三)(甲)地面上最大牆高等於 10 呎時之沉陷情形 從圖(十三)可知，在本項情形下，

圖 (十三)



沉箱牆底沉陷至標高 90.6 呎時，即不能再向下沉，故必須陸續挖去箱內土壤，沉箱始克繼續下沉。設

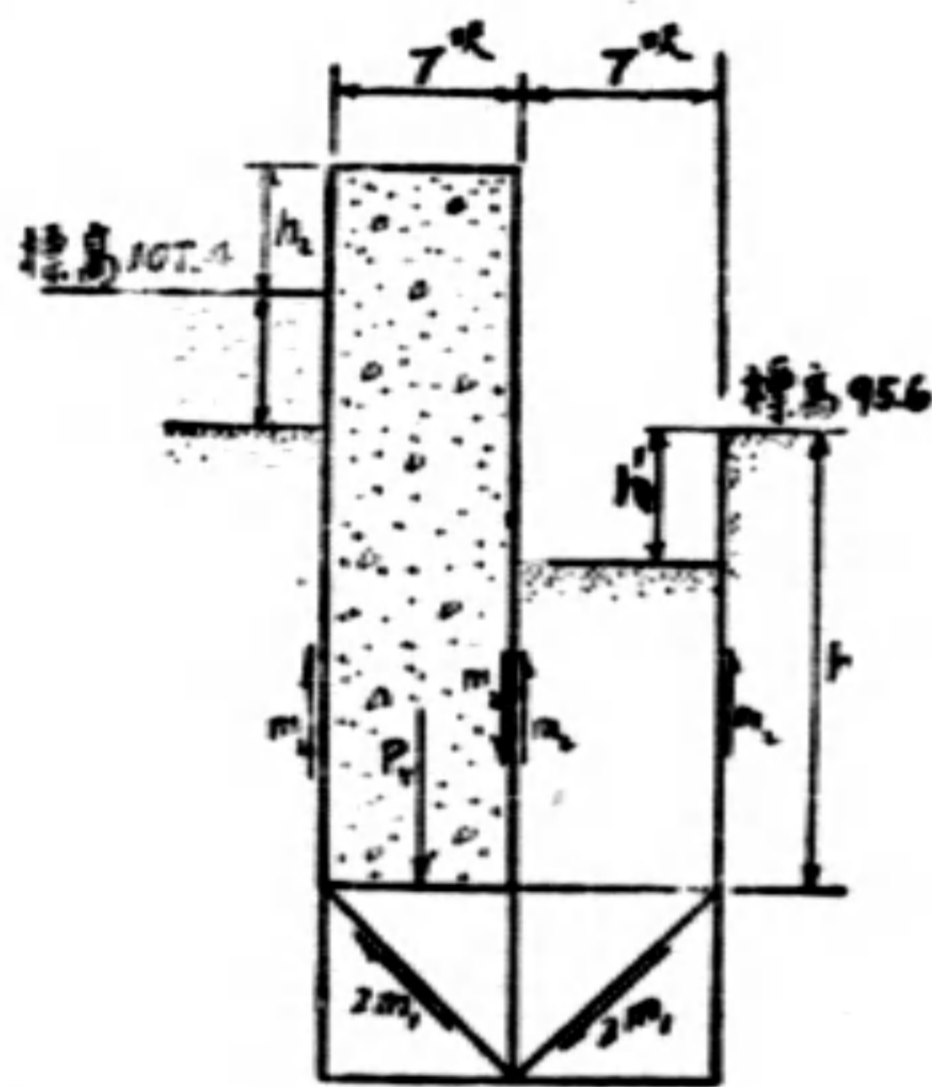


圖 (十四)

$$P_0 = \text{荷量} = 4m_1 + \omega h + \frac{4m_2 h}{b}$$

$$c = \text{單位寬度之混凝土牆重} = 150(h_2 + 11.8 + h)$$

$h'$  = 使沉箱繼續下沉，必須在箱內挖去之土壤深度，

$$\text{得 } \frac{3m_2 h'}{b} + 125 h' = p_0 - c = p_0 - 150$$

$$(h_2 + 11.8 + h)$$

$$(3m_2 + 125 \times 7) h' = 7[p_0 - 150$$

$$(h_2 + 11.8 + h)]$$

$$h' = \frac{p_0 - 150(h_2 + 11.8 + h)}{3m_2/7 + 125} \dots\dots\dots (18)$$

式(18)中  $h_2$  之最大值為 10 呎。

(i) 沉落箱底達標高 90.0 呎，

$$m_2 = 487.5, h = 5.6, p_0 = 4.360$$

$$h' = \frac{4360 - 150(21.8 + 5.6)}{3 \times 487.5/7 + 125} = 0.75 \text{ 呎，}$$

即箱內挖土須達標高 94.85

(ii) 沉落箱底達標高 78.0 呎，

$$m_2 = 368.2, h = 17.6, p_0 = 6,500$$

$$h' = \frac{6500 - 150(21.8 + 17.6)}{3 \times 368.2/7 + 125} = 2.08$$

呎，即箱內挖土須達標高 93.52

(iii) 沉落箱底達標高 70.0 呎，

$$m_2 = 300, h = 25.6, p_0 = 8.200$$

$$h' = \frac{8200 - 150(21.8 + 25.6)}{3 \times 300/7 + 125} = 4.29$$

呎，即箱內挖土須達標高 91.31

(iv) 沉落箱底達標高 64.0 呎，

$$m_2 = 281.0, h = 31.6, p_0 = 10.020$$

$$h' = \frac{10,020 - 150(21.8 + 31.6)}{3 \times 281/7 + 125} = 8.17$$

呎，即箱內挖土須達標高 87.43

(v) 沉落箱底達標高 43.0 呎，

$$m_2 = 268.6, h = 52.6, p_0 = 15,635$$

$$h' = \frac{15,635 - 150(21.8 + 52.6)}{3 \times 268.6/7 + 125} = 18.64$$

呎，即箱內挖土須達標高 76.96

(vi) 沉落箱底達標高 35.0 呎，

$$m_2 = 258.2, h = 60.6, p_0 = 17,025$$

$$h' = \frac{17,025 - 150(21.8 + 60.6)}{3 \times 258.2/7 + 125} = 19.78$$

呎，即箱內挖土須達標高 75.82

(vii) 沉落箱底達標高 30.0 呎，

$$m_2 = 251.1, h = 65.6, p_0 = 18,400$$

$$h' = \frac{18,400 - 150(21.8 + 65.6)}{3 \times 251.1/7 + 125} = 22.7$$

呎，即箱內挖土須達標高 72.90

(viii) 沉落箱底將達標高 23.6 呎，

$$m_2 = 246.6, h_2 = 7, h = 72,$$

$$p_0 = 19,900$$

$$h' = \frac{19,900 - 150(7 + 11.8 + 72)}{3 \times 246.6/7 + 125} = 27.2$$

呎，即箱內挖土須達標高 68.4

(乙) 地面上最大牆高等於 20 呎時之沉

陷情形 從圖(十三)知，在本項情形下，箱底達標高 67.3 呎後，如不設法在箱內陸續挖土，則沉箱不能繼續自動下沉，其挖土須達深度之計算如下：

(i) 沉落箱底達標高 64.0 呎，

$$m_2 = 281.0, e = 31.6, p_0 = 10,020$$

$$h' = \frac{10,020 - 150(31.8 + 31.6)}{3 \times 281.0/7 + 125} = 2.07$$

呎，即箱內挖土須達標高 93.53

(ii) 沉落箱底達標高 43.0 呎，

$$m_2 = 268.6, h = 52.6, p_0 = 15,635$$

$$h' = \frac{15,635 - 150(31.8 + 52.6)}{3 \times 268.6/7 + 125} = 12.6$$

呎，即箱內挖土須達標高 83.0

(iii) 沉落箱底達標高 35.0 呎，

$$m_2 = 258.2, h = 60.6, h_2 = 18.4,$$

$$p_0 = 17,025$$

$$h' = \frac{17,025 - 150(18.4 + 11.8 + 60.6)}{3 \times 258.2/7 + 125}$$

= 14.7 呎，即箱內挖土須達標高

80.9

(iv) 沉落箱底達標高 30.0 呎，

$$m_2 = 251.1, p_0 = 18,400,$$

$$h = 65.6, h_2 = 13.4$$

$$h' = \frac{18,400 - 150(13.4 + 11.8 + 65.6)}{3 \times 251.1/7 + 125}$$

= 20.6 呎，即箱內挖土須達標高 75.0

(v) 沉落箱底將達標高 23.6 呎，

$$m_2 = 246.6, p_0 = 19,900$$

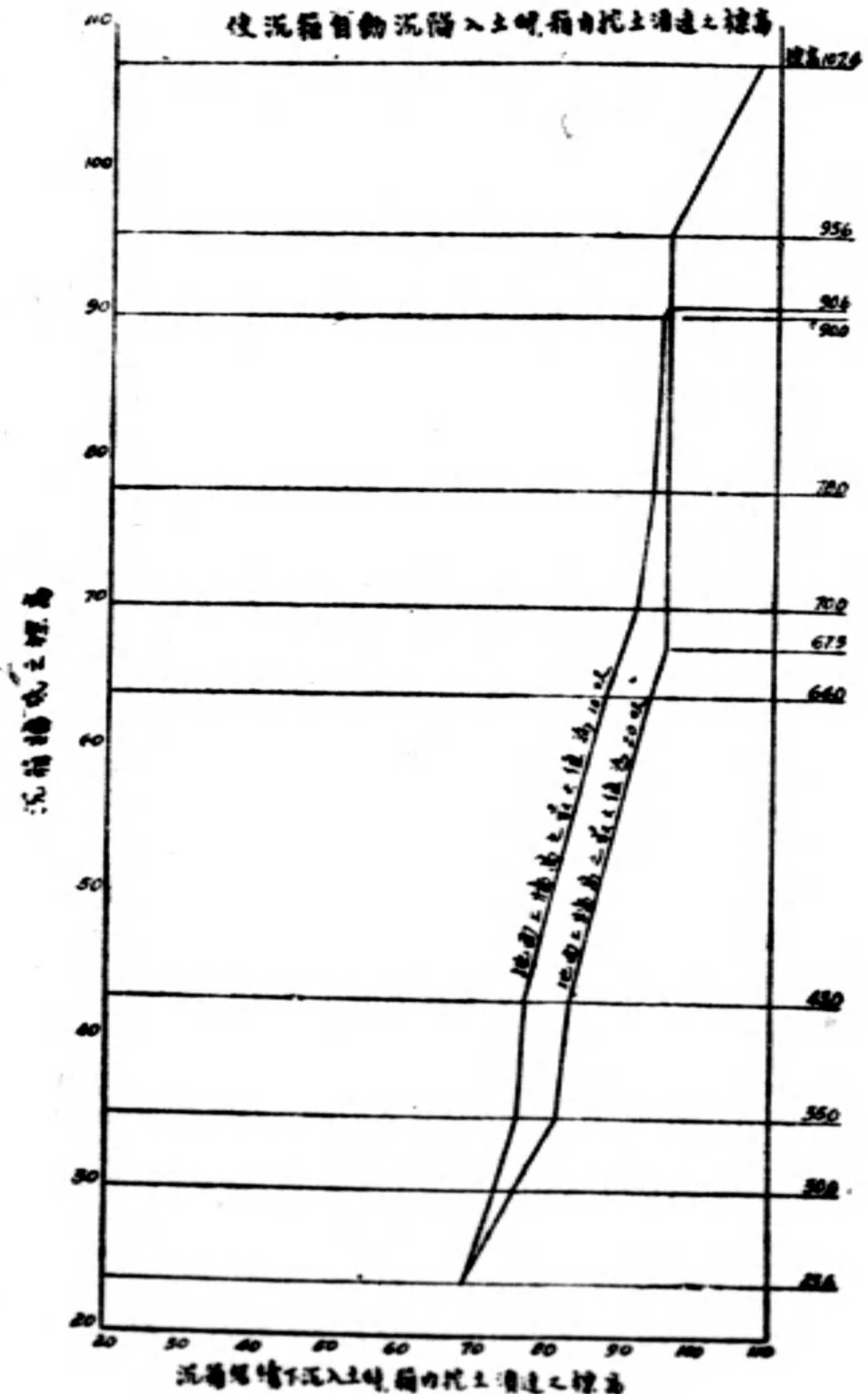
$h' = 27.2$  呎，即箱內挖土須達標高 68.4。

本節兩項情形之比較，見下頁圖(十五)

(四) 各種不同情形下，箱內挖土之臨危

深度

圖 (十五)



根據圖(十六)得

11.8 呎沙土重量及沙拱作用所生之垂直壓力

$$= \frac{11.8}{3} \times \frac{\pi}{4} (314^2 + 302.2^2 + 314 \times 302.2) - 11.8 \times \frac{\pi}{4} \times 114^2$$

$$= \frac{\pi}{4} (314^2 - 114^2) \times 100$$

=1160 磅/平方呎

(甲)尋常情形，下之箱內挖土臨危深度

從圖(十六)得

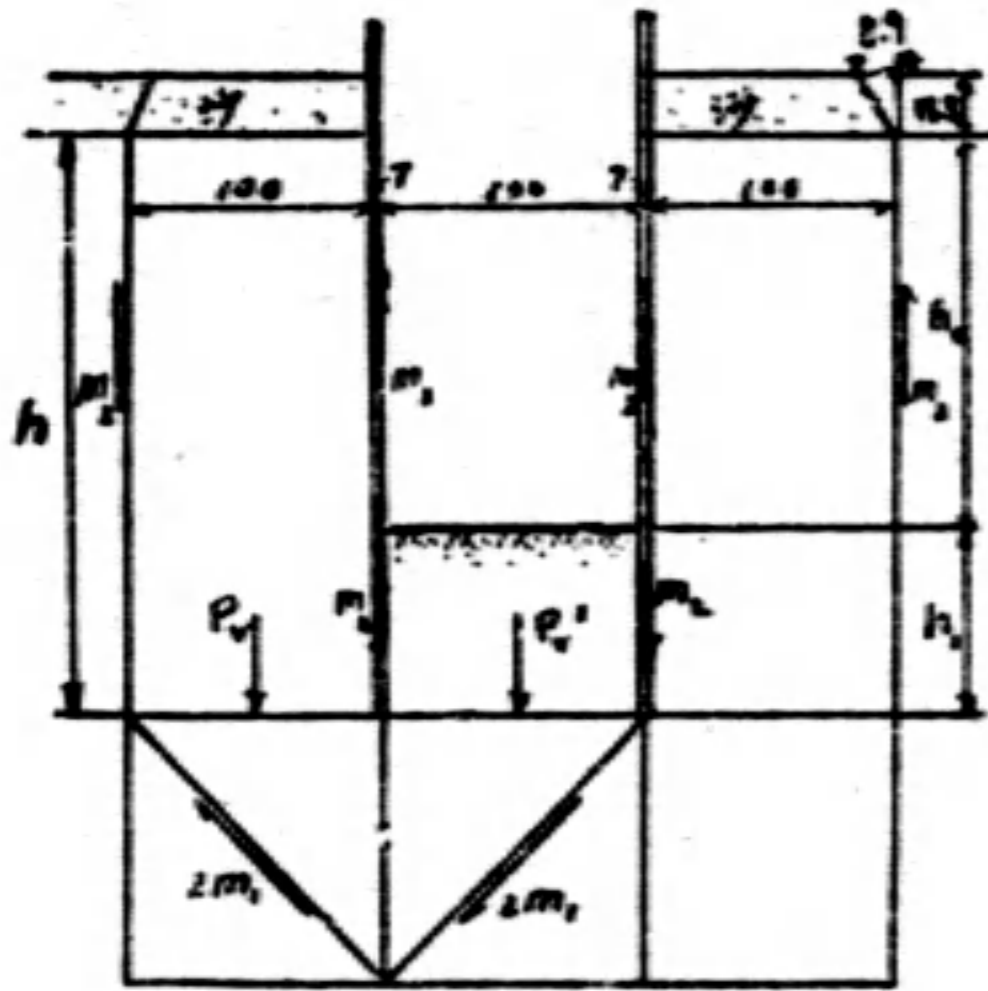


圖 (十六)

$$P_v = \omega h + 1160 - m_2 h \pi [(D+14)$$

$$+ (3D+14)] / \frac{\pi}{4} [(3D+14)^2$$

$$- (d+14)^2]$$

$$= \omega h + 1160 - 2 m_2 h / d$$

$$P_v' = \omega(h-h_c) + (h-h_c)m_2 \pi d \frac{\pi}{4} d^2$$

$$= \omega(h-h_c) + 4(h-h_c)m_2 / D$$

當臨危深度時， $P_v = P_v' + 4m_1$ 。故

$$\omega h + 1160 - 2 m_2 h / D = \omega(h-h_c)$$

$$+ 4(h-h_c)m_2 / D + 4 m_1$$

$$h_c = \frac{6 m_2 h + 4 m_1 D - 1160 D}{d \omega + 4 m_2} \dots \dots (19)$$

(乙)沉箱牆底離堅土或石層之距離， $x$ ，

小於二分之一  $D$ 。

$$P_v = \omega h + 1160 - m_2 h \pi [(D+14)$$

$$x = \frac{D}{2} - \frac{2 m_2}{\omega} \dots \dots \dots (22)$$

以此代入式(20)得

$$h_c = \frac{8 m_2 h + 4 m_1 (D - 4 m_2 / \omega) - 1160 (D - 4 m_2 / \omega)}{\omega D} \dots \dots \dots (23)$$

$$+ (D+14+2x)] / \frac{\pi}{4} [(2x+D+14)^2$$

$$- (D+14)^2]$$

$$= \omega m + 1160 - 2 m_2 h / x$$

$$P_v' = \omega(h-h_c) + (h-h_c)m_2 \pi$$

$$[d+(d-2x)] / \frac{\pi}{4} [D^2 - (d-2x)^2]$$

$$= \omega(h-h_c) + 2(h-h_c)m_2 / x$$

當臨危深度時， $P_v = P_v' + 4m_1$ ，故

$$\omega h + 1160 - 2 m_2 h / x = \omega(h-h_c)$$

$$+ 2(h-h_c)m_2 / x + 4 m_1$$

$$h_c = \frac{4 h m_2 + 4 m_1 x - 1160 x}{\omega x + 2 m_2} \dots \dots \dots (20)$$

(丙)  $x = \frac{D}{2}$  以此代入式(20)得

$$h_c = \frac{8 h m_2 + 4 m_1 d - 1160 D}{\omega d + 4 m_2} \dots \dots \dots (21)$$

(丁)除上述三種情形外，尚有其他一種，即  $x$  之值，適使直徑等於  $(D-2x)$  中心軸之重量，足以抵抗為軸周剪力所升起，在本項情形下。

$$\frac{\omega(D-2x)^2}{4} \pi (h-h_c) = (D-2x) \pi \times m_2$$

$$(h-h_c)$$

$$\omega(D-2x) = 4 m_2$$

$$D-2x = \frac{4 m_2}{\omega}$$



(丁)由式(19)計算之臨危深度

(i)箱底在標高 95.6 呎,  $h=0$ ,  $x=95.6-23.6=72$ ,  $m_1=500$

沙重及沙拱作用所生之壓力 = 1160

$$4m_1 = 4 \times 500 = 2000 > 1160$$

$$2m_1 = 2 \times 500 = 1000 < 1160$$

故  $h_c = h = 0$

(ii)箱底在標高 90.0 呎,  $h=5.6$ ,  $x=90.0-23.6=66.4 > \frac{50}{100}$ ,  $m_1=475$ ,  $m_2=487.5$

$$h_c = \frac{6 \times 487.5 + 4 \times 475 \times 100 - 1160 \times 100}{100 \times 125 + 4 \times 487.5} = 6.25 > 5.6, \text{ 此式不能應用}$$

沙重及沙拱作用所生之壓力 = +1160

$$\omega h = 125 \times 5.6 = +700$$

$$\text{起昇作用} = 2hm_2/D = 2 \times 5.6 \times 487.5/100 = -54.6$$

$$\text{合計} = 1812.4 > \frac{2m_1}{4m_1}$$

故  $h_c = h = 5.6$  呎

(iii)箱底在標高 78.0 呎,  $h=17.6$ ,  $x=78-23.6=54.4 > \frac{50}{100}$ ,  $m_1=150$ ,  $m_2=368.2$

$$h_c' = \frac{6 \times 368.2 \times 17.6 + 4 \times 150 \times 100 - 1160 \times 100}{100 \times 125 + 4 \times 368.2} = -1.37 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 96.97$$

(iv)箱底在標高 70.0 呎,  $h=25.6$ ,  $x=70-23.6=46.4$ ,  $m_1=150$ ,  $m_2=300$

$$h_c = \frac{6 \times 300 \times 25.6 + 4 \times 150 \times 100 - 116,000}{12500 + 1200} = -0.73 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 96.33$$

(v)箱底在標高 64.0 呎,  $h=31.6$ ,  $x=64-23.6=40.4$ ,  $m_1=250$ ,  $m_2=281.0$

$$h_c = \frac{6 \times 281 \times 31.6 + 4 \times 250 \times 100 - 116,000}{12500 + 4 \times 281.0} = 2.72 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 92.82$$

(vi)箱底在標高 43.0 呎,  $h=52.6$ ,  $x=43-23.6=19.4$ ,  $m_1=250$ ,  $m_2=268.6$

$$h_c = \frac{6 \times 268.6 \times 52.6 + 4 \times 250 \times 100 - 116,000}{12500 + 4 \times 268.6} = 5.00 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 90.55$$

(vii)箱底在標高 35.0 呎,  $h=60.6$ ,  $x=35-23.6=11.4$ ,  $m_1=130$ ,  $m_2=258.2$

$$h_c = \frac{6 \times 258.2 \times 60.6 + 4 \times 130 \times 100 - 116,000}{12500 + 4 \times 258.2} = 2.22 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 93.38$$

(viii)箱底在標高 30.0 呎,  $h=65.6$ ,  $x=30-23.6=6.4$ ,  $m_1=200$ ,  $m_2=251.1$

$$h_c = \frac{6 \times 251.1 \times 65.6 + 4 \times 200 \times 100 - 116,000}{12500 + 4 \times 251.1} = 4.64 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 909.6$$

(ix)箱底將達標高 23.6 呎,  $h=72.0$ ,  $x \rightarrow 0$ ,  $m_1=200$ ,  $m_2=246.6$

$$h_c = \frac{6 \times 246.6 \times 72 + 4 \times 200 \times 100 - 116,000}{12500 + 4 \times 246.6} = 5.25 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 90.35$$

(戊)由式(二〇), (二一), (二三)計算之臨危深度

(i)箱底在標高 73.6 呎,  $x = D/2 = 50$ ,  $h = 22.0$ ,  $m_1 = 150$ ,  $m_2 = 330.7$

$$h_c = \frac{4 \times 22 \times 330.7 + 4 \times 150 \times 50 - 1160 \times 50}{125 \times 50 + 2 \times 330.7} = 0.159 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 95.44$$

(ii)箱底在標高 70.0 呎,  $h = 25.6$ ,  $x = 46.4$ ,  $m_1 = 150$ ,  $m_2 = 300$

$$h_c = \frac{4 \times 25.6 \times 300 + 4 \times 150 \times 46.4 - 1160 \times 46.4}{125 \times 46.4 + 2 \times 300} = 0.744 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 94.86$$

(iii)箱底在標高 68.87 呎, 此數由試驗得來, 在此標高適  $x = \frac{1}{2}(D - 4m_2/D)$ ,

即式(二三)所須之條件,  $h = 26.73$ ,  $m_1 = 169$ ,  $m_2 = 296.4$ ,  $x = 45.27$

$$h_c = \frac{8 \times 296.4 \times 26.73 + 4 \times 169 \times 2 \times 45.27 - 1160 \times 2 \times 45.27}{12500} = 1.57 \text{ 呎, 即挖土可達}$$

標高 94.03

(iv)箱底在標高 64.0 呎,  $h = 31.6$ ,  $x = 40.4$ ,  $m_1 = 250$ ,  $m_2 = 281.0$

$$h_c = \frac{4 \times 31.6 \times 281 + 4 \times 250 \times 40.4 - 1160 \times 40.4}{125 \times 40.4 + 2 \times 281.0} = 5.51 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 90.49$$

(v)箱底在標高 43.0 呎,  $h = 52.6$ ,  $x = 19.4$ ,  $m_1 = 250$ ,  $m_2 = 268.6$

$$h_c = \frac{4 \times 52.6 \times 268.6 + 4 \times 250 \times 19.4 - 1160 \times 19.4}{125 \times 19.4 + 2 \times 268.6} = 17.98 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 776.2$$

(vi)箱底在標高 35.0 呎,  $h = 60.6$ ,  $x = 11.4$ ,  $m_1 = 130$ ,  $m_2 = 258.2$

$$h_c = \frac{4 \times 60.6 \times 258.2 + 4 \times 130 \times 11.4 - 1160 \times 11.4}{125 \times 11.4 + 2 \times 258.2} = 28.4 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 67.2$$

(vii)箱底在標高 30.0 呎,  $h = 65.6$ ,  $x = 6.4$ ,  $m_1 = 200$ ,  $m_2 = 251.1$

$$h_c = \frac{4 \times 65.6 \times 251.1 + 4 \times 200 \times 6.4 - 1160 \times 6.4}{125 \times 6.4 + 2 \times 251.1} = 41.0 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 54.6$$

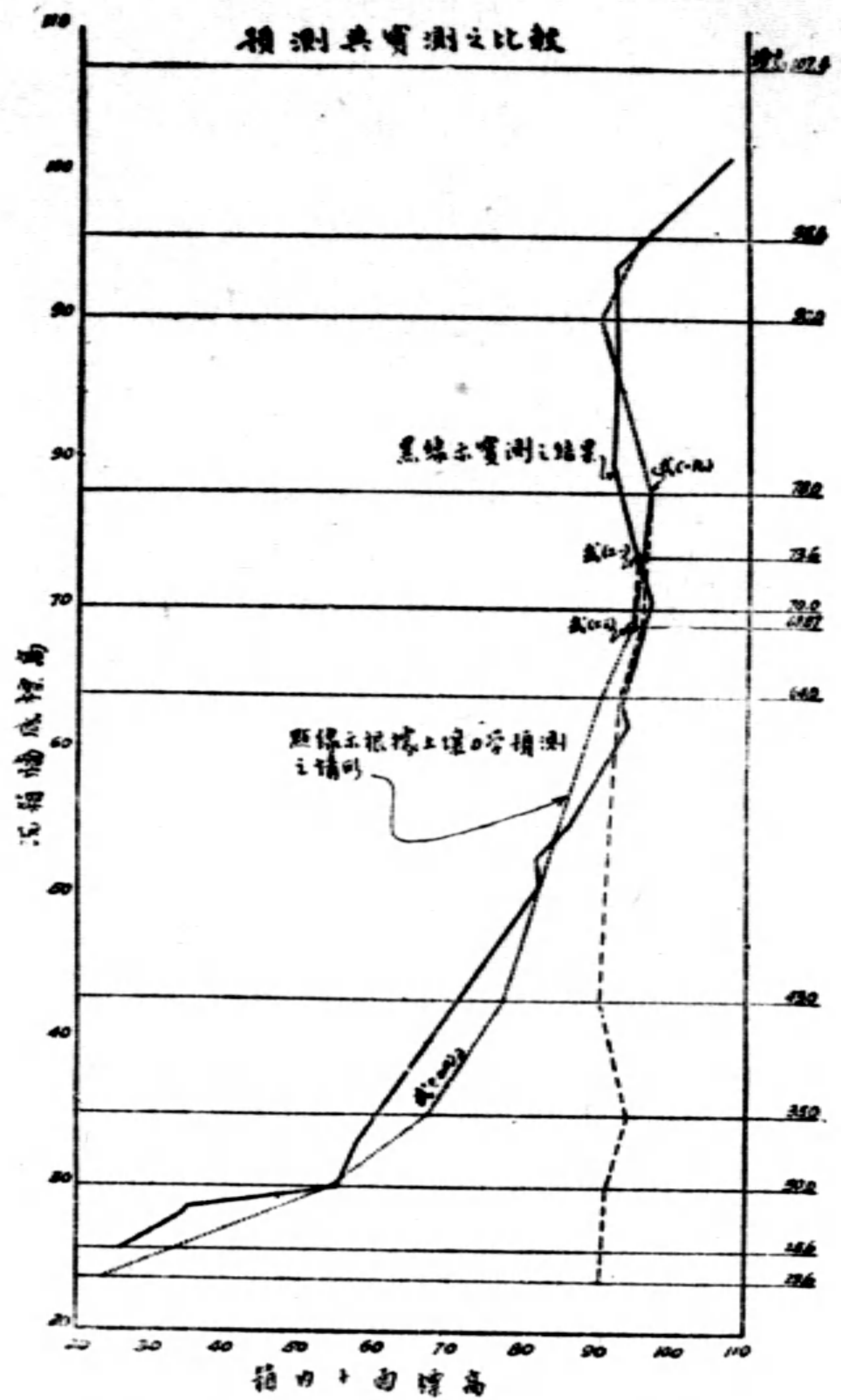
(viii)底近標高 23.6 呎,  $h = 72.0$ ,  $x \rightarrow 0$ ,  $m_1 = 200$ ,  $m_2 = 246.6$

$$h_c = \frac{4 \times 72.0 \times 246.6}{2 \times 246.6} = 14.4 \text{ 呎, 即挖土可達標高 } 28.6。$$

### 六 施工時實測之結果

圖 (十七)

沉箱牆底標高	箱內土面標高
101.2	107.5
93.5	92.0
87.5	92.0
80.0	91.5
74.5	94.5
70.5	97.0
63.5	93.0
60.2	94.0
55.0	86.0
52.7	82.0
51.5	82.5
33.0	58.0
30.0	55.0
28.5	35.0
28.0	34.0
25.6	25.6



### 七 結論

圖(十七)示實測與預測之比較：實線為施工時之實際結果；點線為依照霍色爾教授土壤力學理論之預測情形；兩者之最大差，均能在百分之十以內，此一般理論應用於實際工程問題時常有之現象，根據初次應用之結果，不能不說霍氏之理論經已成功，而於土壤力學及基礎工程有名貴之貢獻也。

作者書本文之目的，除報告如何應用土壤力學新論於沉箱工作外，並假全國工程師聚首一堂之機，介紹霍氏之黏土荷量公式。

$$p_0 = m \frac{P}{a} + 4m + \omega h$$

.....(11) (已見第 47 頁)

希再共同研究焉。

重慶邦交討論會  
編 纂  
商務印書館印行

**THE CHINESE YEAR BOOK**  
1940-1941, Fifth Issue  
**英文中國年鑑**  
第 五 回  
附英文中國地圖一大幅

道 林 紙 印  
精 裝 一 厚 冊  
定 價 二 十 五 元

# 參和物,級配,與施壓對於道路土壤

## 穩定性之影響

崔龍光

### 目次

- (一)引言
- (二)土壤穩定之定義
- (三)土壤穩定之原理
- (四)土壤穩定之實施
- (五)原理應用示例
- (六)結論

### 一 引言

我國道路多屬土路，約佔全數里程百分之八十。土壤為價最廉，且隨地皆有，在我國目前經濟情形下，此為最適宜之道路建築材料，殆無疑義，不過土壤之穩定性，隨其種類及環境而異，若不設法控制處理之，則天晴時路面材料鬆散，塵土飛揚；天雨時則泥濘難行，交通阻滯。故在今日我國軍運繁重時期，土路路面土壤之穩定研究實為急不容緩之工作。

而在我國城市中或附近之少數上中等路面鋪砌，不論其為剛性或非剛性者，亦每因路下層土壤之不穩定而失其承載效能，或則斷裂，或則陷落，所在多有。一九二九年 Terzaghi 及 Hogentogler 二氏曾著一文，<sup>①</sup>已言及「路床處治之設計，應以土壤性質試驗所得之資料為根據。」現在我國道路工程師，尙鮮注意及此土壤穩定之問題，爰為斯文，以求高明指正。

### 二 土壤穩定之定義

所謂土壤穩定者，乃增加天然土壤之磨擦抵抗與剪割強度之一種手續，其目的在使道路於任何天氣之下，能承載重大負荷，成為四季暢達孔道，而道路本身不致損壞及發生變形。穩定之方法，包含混合參和物 (Admixture) 施壓，及用特種技術原理與試驗，控制使之稠密。適當水份含量 (Optimum Water Content) 與級配 (Gradation) 對於土壤之穩定，關係均甚重大，參和物有使用土壤材料者，有使用潮解性化學品者，有使用電解質溶液者，有使用能溶解之膠粘化學品者，亦有使用不能溶解之結合料者。即有等土壤可參以石粉水坭石灰等物；有等土壤可用氯化鈣或瀝青材料作其穩定劑；有等土壤可加以粘土或沃土等是也。最佳之應用方法乃先將土壤犁鬆，約深六吋，然後將穩定劑散佈路面而耙和之。

### 三 土壤穩定原理

#### (甲)關於水方面者

土壤之不穩定，實因其本身膨脹與收縮。故欲使土壤穩定，非先控制其膨脹與收縮不可。土壤之膨脹與收縮，則因附着於土壤顆粒表面上之水膜隨天氣變化而變其厚度故也。

蘊藏於土壤中之水，可分為二種：

(A)游離水 (Free Water) 游離水不附着於土壤顆粒之表面而易為重力所吸去。

①在美國 Public Roads 雜誌第十卷第三期發表。

(參看圖一)



圖一 游離水填充土壤細孔之細孔及下降

(B)膜水 (Film Water) 膜水亦稱毛管水 (Capillary Water)。此種水附着於土壤顆粒表面；重力不能將其吸去。(參看圖二)

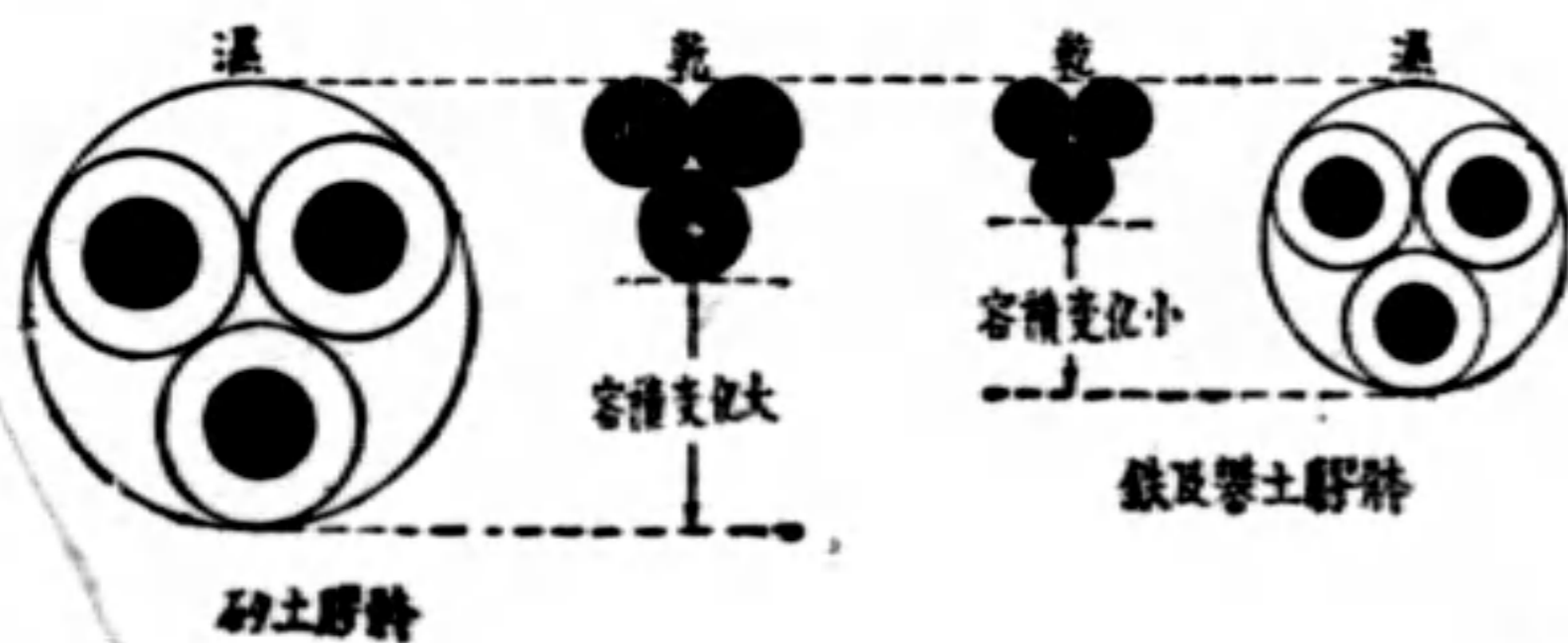


圖二 土壤顆粒吸着之膜水

各種土壤顆粒所吸着之水膜 (Water Film)，其厚度，各有不同。因此各種土壤之粘性亦各有不同。影響水膜厚度之因子有二：

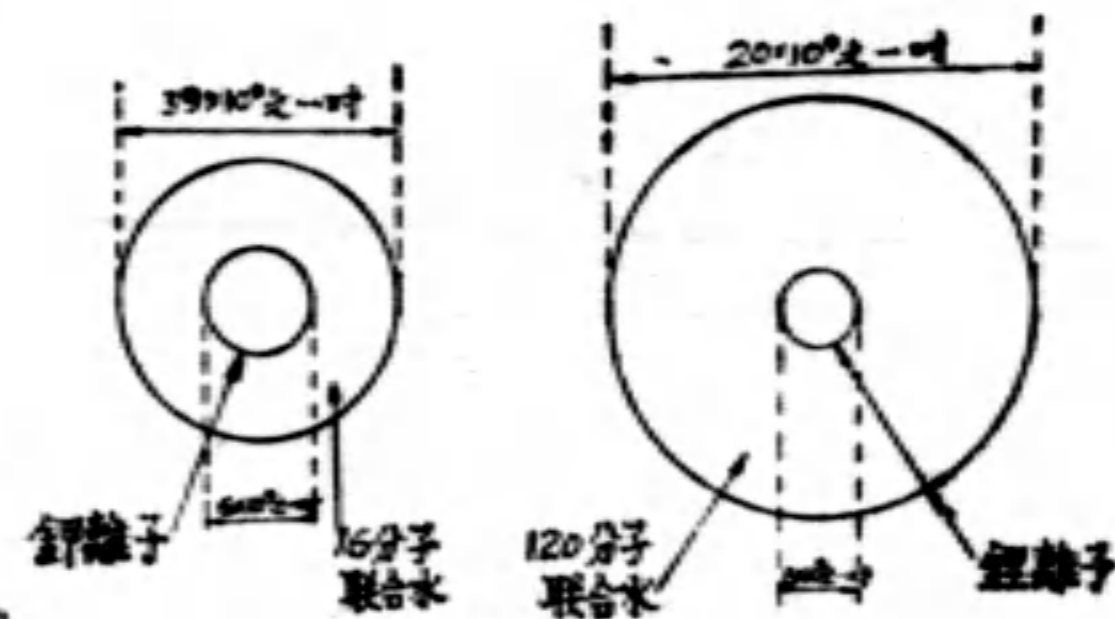
(1)化學組成 (Chemical Composition)

砂石膠體所吸着之水膜甚厚，故一乾一濕，其容積變化亦甚大。鐵及礬土膠體所吸着之水膜甚薄，故一乾一濕，其容積變化亦甚小。(參看圖三)



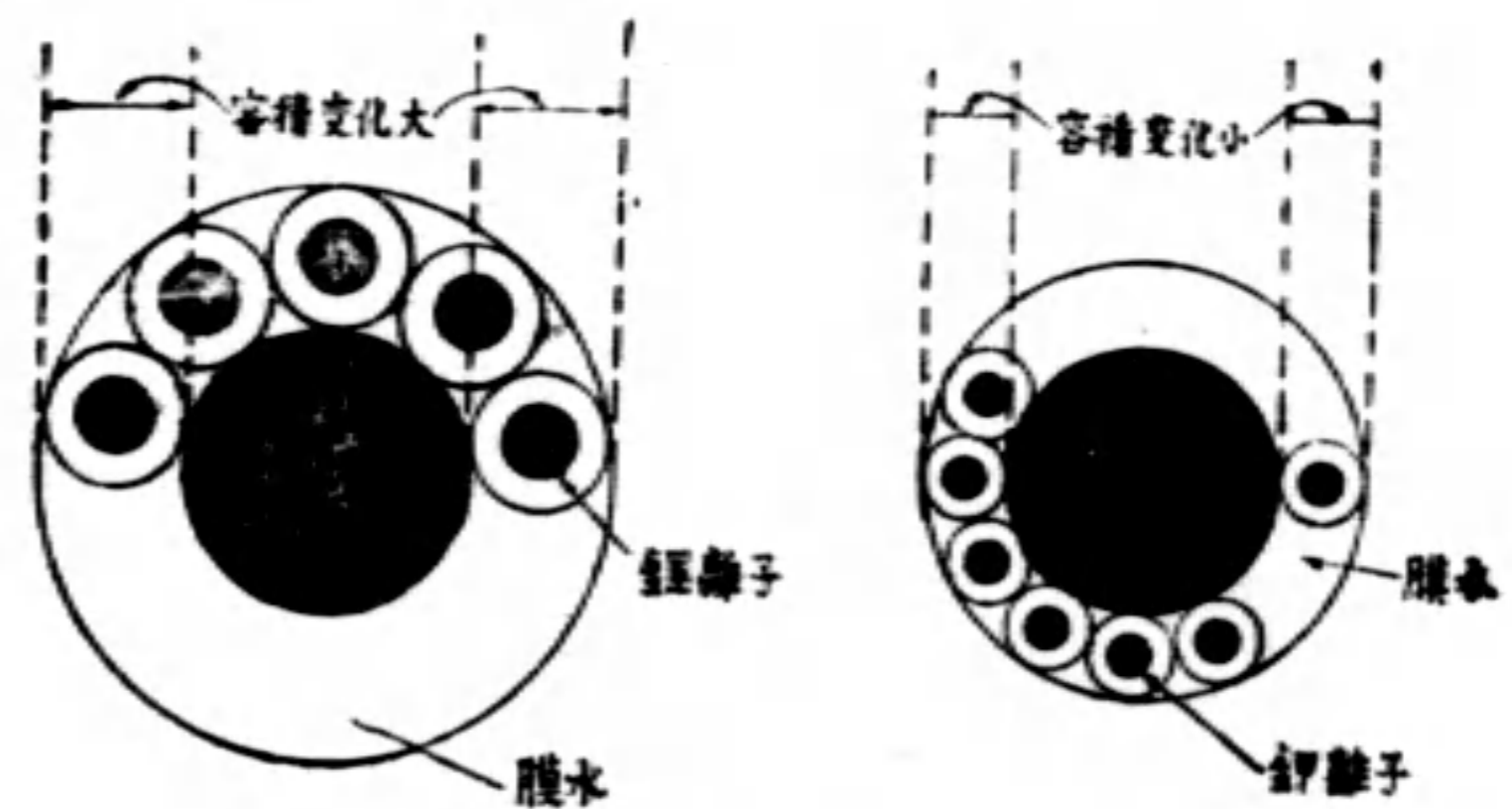
圖三 化學組成對於水膜厚度之影响

(2)離子之效應 (Effect of Ions) 離子之效應有二：第一，離子因組成本身物質不同之故，致其所吸着之水膜亦有厚薄之分。例如鋰離子可吸着一百二十分子之聯合水，而鉀則只能吸着十六分子之聯合水耳(參看圖四)。第二，上述之帶水膜離子常離化一



圖四 離子效應對水膜厚度之影响

土壤粒子。被離化之土壤粒子之水膜厚薄，則視乎其離子之聯合水多少。離子之性質如膨脹收縮與粘性等可直接傳予其所離化之土壤粒子。例如被鉀離子離化之粘土，可稱鉀質粘土，因該粘土之性質與鉀離子同。鉀離子所吸着之聯合水少容積變化不大，故鉀質粘土穩定。又如被鋰離子離化之鋰質粘土，因鋰離子吸着之聯合水多，故不穩定是也。故變更土壤之離子，則可變更土壤之穩定性。(參看圖五)



圖五 粘土粒子離化之圖解

水膜之優點為可使土壤粒子團結，但其劣點即天氣變化時，其容積亦隨之變化。故欲使土壤穩定，則必於土壤得有適當水分含量後，不可使水膜再發生變化。若欲使水分及水膜不變化，不能不施行各種穩定方法，如混合參和物於土壤中，或應用機械術或撒佈化學溶液及不溶解之結合料於土壤中以處理之。

## (乙)關於成分方面者

土壤之用作路基材料者，其穩定性決於其成份 (Ingredients)。路下層土壤 (Subgrade Soil) 所含之粒料 (Aggregate) 與結合料 (binder) 配合得宜者則其穩定性最高。(參看圖六) ②



圖六經穩定後底層之組織

若欲控制路下層土壤之穩定性，必先控制其成分之配合分量。此種控制方法稱為級配法。級配混合物 (Graded Mixture) 之規格以試驗定之，但亦需要經驗以運用試驗所得之結果。例如在某處為良好之路下層土壤，移至他處未必適用。① 良好之路面土壤若用在路下層者，因鮮蒸發機會，未必為良好之路基材料。粘性指數太高之結合料，每因粘性期間之含水量過多，致令粒料滑動，亦非理想之路基材料。② 美國 Texas 省公路局經多年之試驗與經驗始能定一 Caliche 類非剛性路基材料之規格。③ 一九三八年 Victor J. Brown 在其『土壤穩定』一文中曾述及四種經濟之級配混合物。④

土壤之成分可分粒料與結合料二大類，茲分別討論之。

(A) 粒料 (Aggregate) 粒料為成分中之較粗者。粒料因其體積之不同，可更分為下列三種：——

(1) 礫石、碎石、鑛渣 (Slag) 等，其體積自二吋至 1/10 吋。

(2) 沙或其他顆粒物質，其體積自 1/10 吋至 2/1,000 吋。

(3) 沉泥 (Silt) 或其他磨幼之岩石，其體積自 2/1,000 吋至 2/10,000 吋。

粒料之穩定性視乎其能溶解於水與否。粒料之可溶解者如碎石灰岩及鑛渣等，受水時其表面物質溶解成為膠粘材料，乾時能將粒料結合。(參看圖七)



圖七可溶解之粒料表面溶解後結合

可溶解之粒料，若級配及化學處理得法經交通結實之後，極為穩定。若再加以氯化鈣及氯化鈉等之助溶劑，則其穩定性更高。碎花崗岩為不能溶解之粒料，故其穩定性亦至低。補救之法可加以能溶解之石粉。

(B) 結合料 (Binder) 結合料為成分中之較細者，其產生自岩石之分化、風化、及經植物生長及枯朽而成；故其化學成分亦隨其母岩石而異。結合料亦可分下列之二種：——

(1) 粘土 (Clay)，其粒子之體積為 2/10,000 吋至 4/100,000 吋。

(2) 膠體 (Colloids)，包含有機性與無機性，有機性者則自植物腐化而來，其體積皆為 4/100,000 吋以下。

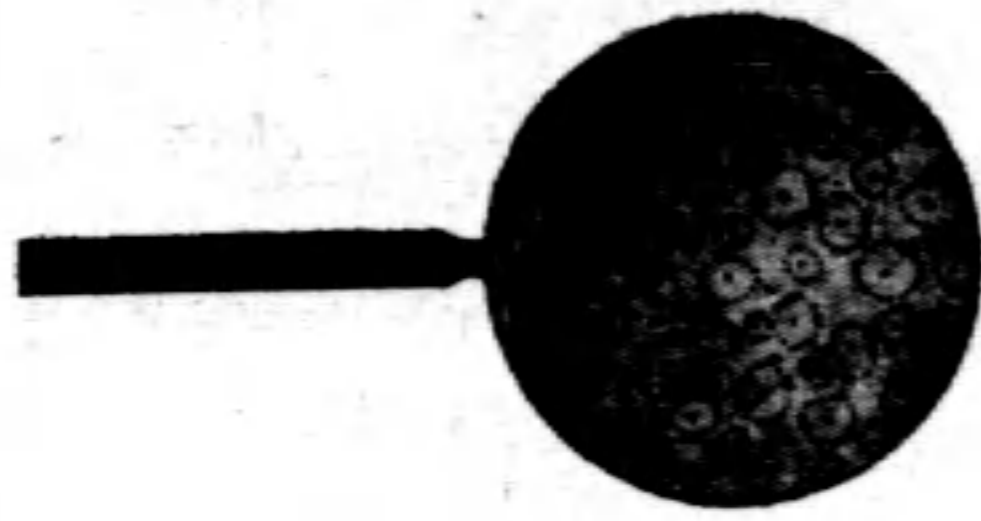
大多數之粘土受水皆能溶解，若配合得宜為粒料之良好結合料。膠體之顆粒為粒子

① W. H. Mills, Jr.: "Sampling and Testing Soil," 載 Civil Engineering 雜誌第八卷第七期。

② Frank H. Newman, Jr.: "Soil Stabilization," 載 Roads and Streets 雜誌第八十一卷第九期。  
(在結合料成分粘性指數圖中為劣區域者)

③ Victor J. Brown: "Soil Stabilization," 載 Roads and Streets 雜誌第八十一卷第四期。

羣，不若粒料之顆粒為獨立之粒子。(參看圖八)

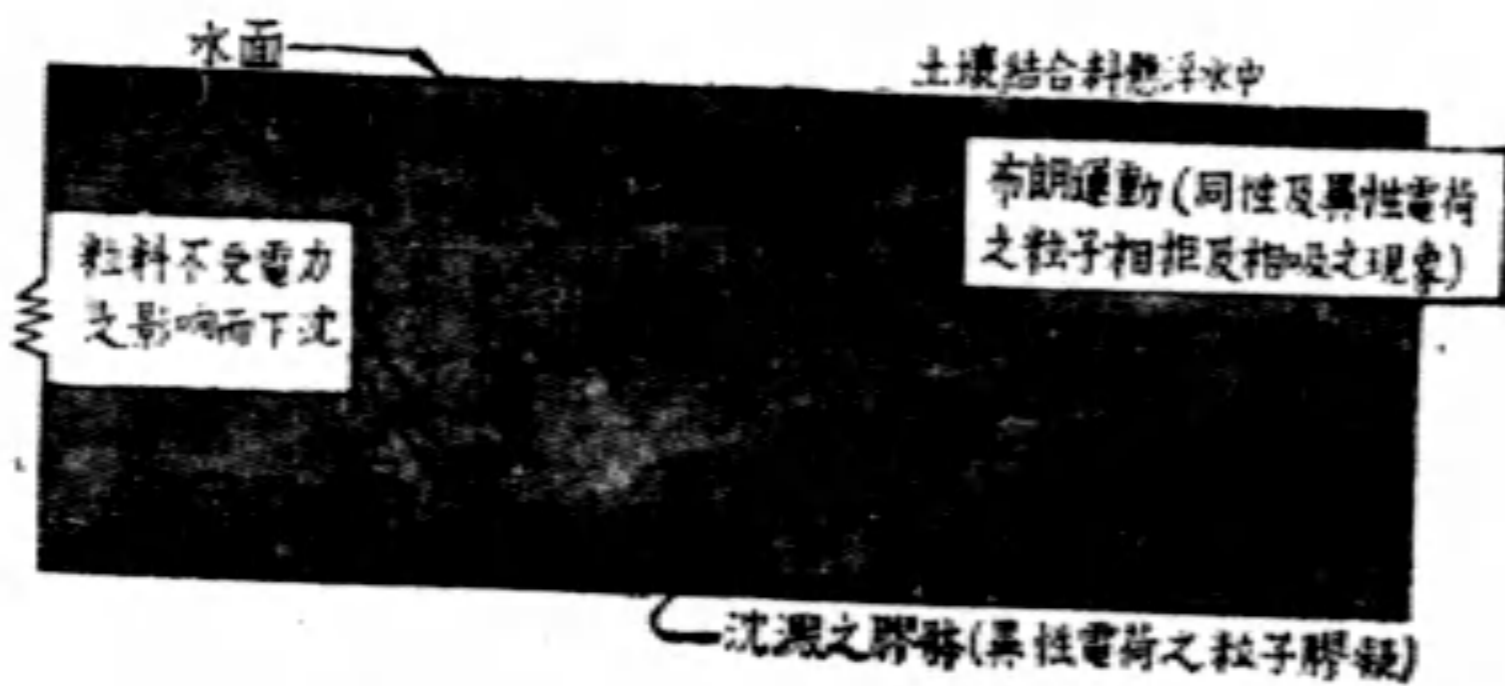


圖八土壤結合料之粒子羣

粒料為定性的。粘土與膠體為變性的。粘土與膠體之粒子羣，可用下列方法變更其性質：——

- (a) 在水中搖動之，
- (b) 以手處理之，
- (c) 以化學或電氣處理之。

粒料及結合料之粒子成負電荷，若改變土壤粒子所吸着之離子，則土壤之穩定性，亦可以改變。故研究土壤時，不應祇注意其體積及化學成份，亦須注意其形狀與電結構也。電力之影響。(有如圖九)



圖九粒料與結合料溶液之電效應

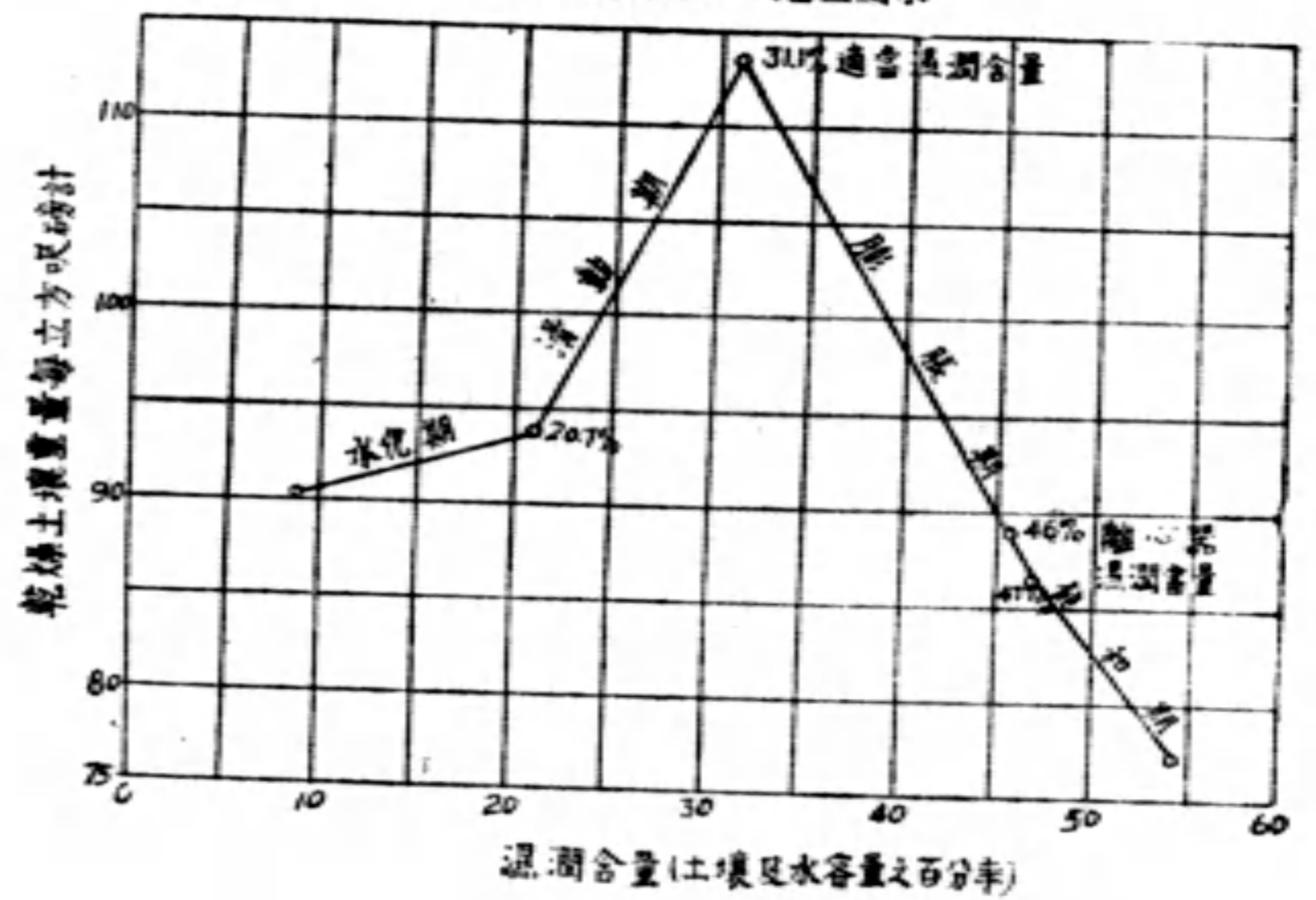
(丙)關於密度方面者

在任何天氣環境之下，土壤之密度最大者其穩定性亦大致為最大。土壤之密度則視乎其環繞土壤粒子之水膜厚薄而定

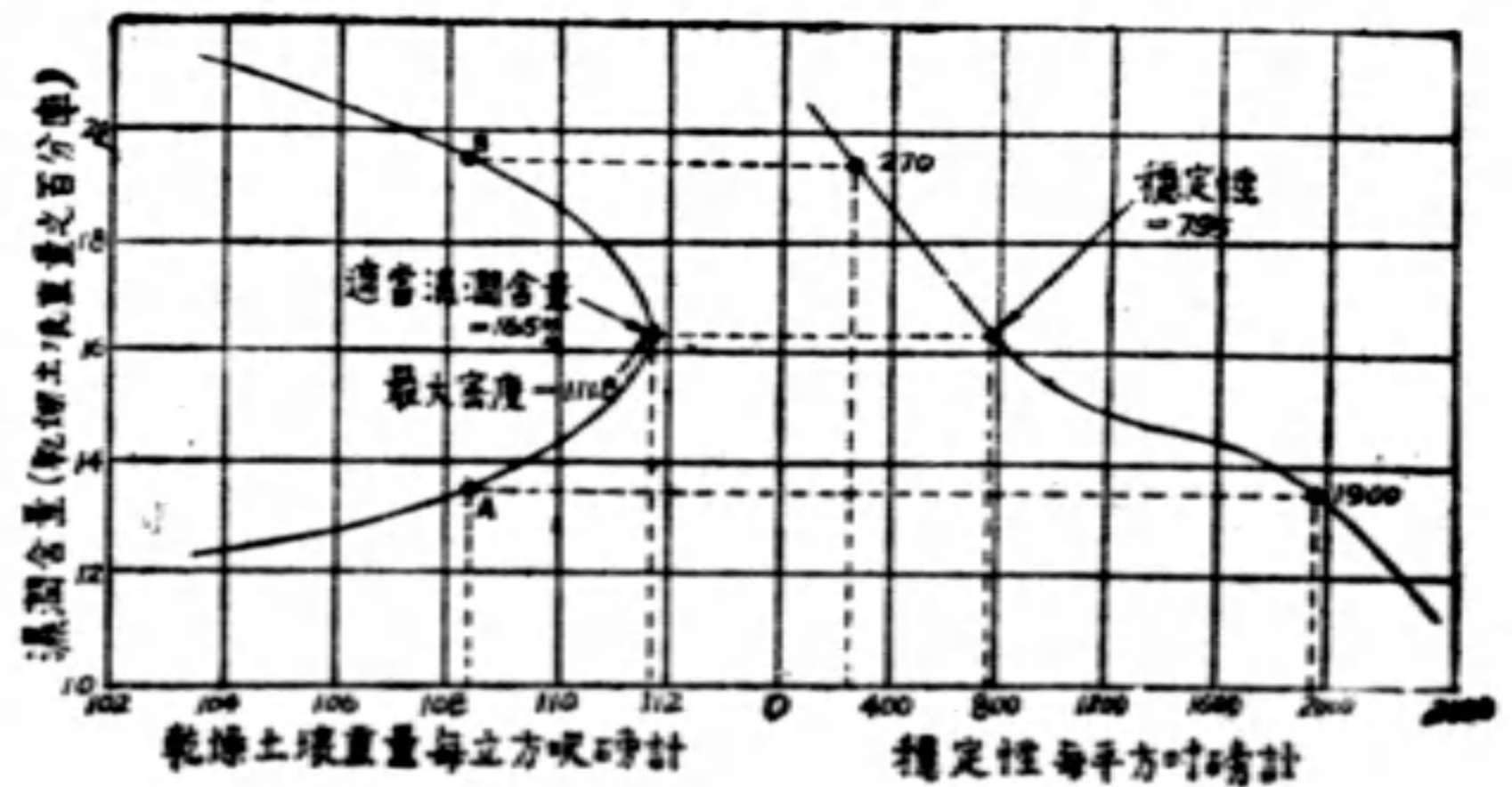
試舉圖十以闡明密度與水分之關係。土壤之含水量直至 20.7% 時，土質水化，此時期稱為水化期。土壤在此期間水化，水膜之凝聚力 (Cohesion) 頗大，但同時土壤粒子間亦有相當之摩阻力 (Friction) 以反抗之從 20.7% 至 31.1% 土壤漸達最大密度。在此期間水膜之凝聚力稍低而潤滑性驟高，土壤粒子潤滑。粒子於是互相滑動團結，粒

子間大部份空氣被逼出，故得最大密度。從 31.1% 至 47.7% 為膨脹期，穩定性及密度均漸低降。在 47.7% 時土壤粒子間之互相吸引力與重力吸引水分之力發生平衡狀態。47.7% 以後，粒子間所留餘之空氣復被水份逐出，以致土壤完全飽和，膨脹期曲線之坡度視乎土壤之比重，故大致為一常數。膨脹期之首尾含水量距離愈遠，則該土壤之膨脹愈大。滑動期曲線之坡度與膨脹期之坡度幾相等，惟符號相反耳，由此可知建築時設計之密度不難實現。滑動期之坡度愈大，則設計之密度愈難實現。(參看圖十)

圖十 密度與濕潤含量關係



又舉圖十一以闡明密度與含水量及穩定性之關係。土壤之含水量遞大，則穩定性遞低，含水量遞小，穩定性遞高。試觀左曲線：在最大密度之下有 A, B 兩點：A 點之含水量不及適當限度 B 點則越過適當限度，但其密度相等。圖十一所表示之土壤在密度為 108 時，其含水量可為 13.7 或 19.3，



圖十一 密度濕潤含量與穩定性之關係

其穩定性可為 1,900 或 270。

Proctor 施壓試驗乃為決定粒料與結合料配合分量之最妥善方法。最近五六年間，Proctor 壓土原則極為盛行。①其原理與方法見諸一九三三年時期數本 Engineering News-Record 雜誌中。②

#### 四 土壤穩定之實施

土壤穩定之實施法則甚多，各地公路機關均有其特法。方法之成立，多根據試驗及經驗。土壤穩定一名詞今已成為一般築路家之口頭禪，幾視之為『萬應藥』。土壤穩定實施方法雖多，概括之，不外乎下列十種：——

(1) 選擇一種天然土壤，其幼粒料及結合料之配合分量可在道路所在地之天氣環境維持最高之穩定性。其借土坑或在附近或在遠處。但有一問題，若適合之借土坑太遠，運費太昂，應否另覓附近之兩個或以上之借土坑，以人工方法配合其每個所需之分量，以適應吾人理想之級配？此問題為吾人所亟需研究而待解決者也。

(2) 加結合料於顆粒土壤 (Granular Soil)，用此種處理方法時吾人應注意二點即不可用結合料過多，及結合料之粘性指數不可過高。但亦須視各處之天氣及原有土壤之粒料情形而定。如結合料粘性指數過高，則級配後之土壤於天雨時極不穩定。③但亦不能用粘性指數太低之粘土以作結合料。若結合料之粘性指數太低，則級配後之土壤含活動之粘土粒子太少，以致土壤在長久曝日之後不團結。④故結合料之採用必須以試驗定之，若就近無適合之結合料，則或須另尋別種穩定劑如水坭，瀝青乳劑，石灰等是也。

(3) 加顆粒材料於凝聚土壤 (Cohesive Soil)。此種方法雲南激江縣城至金蓮鄉之路已採用之，該路為激江至徐家渡之孔道，至金蓮鄉者其中之一小段耳，不過該段在平原中，其餘則在山嶺上。該段路之交通多屬人馬，間亦有一二腳踏車通過。舊有土壤為軟泥粘土、沃土、及少量之沉泥與粘膠土，雨季時吸水頗快，即成泥漿，人馬難行，乾燥亦易。自經用顆粒材料（沙及幼礫石）處理後，不論晴雨，頗為穩定。

(4) 用潮解物質以處理級配土壤。級配土壤，或為理想之天然混合物，或為人工級配之混合物。潮解物質如氯化鈣，Dow-flake 等；此種物質可保持土壤之水分，使不致因乾燥而不穩定，同時亦可鎮止塵土。⑤

(5) 撒佈瀝青材料使土壤有防水性。土壤如含水過多，則載重能力銳減，其穩定性亦低，一切車輛騾馬，將陷入泥濘中。瀝青材料，尤其是柏油，為最好之防水劑，⑥施於路面之瀝青材料可用重熔 (Cut-back) 土瀝青，煤柏油，石油柏油 (Petroleum Tar)，松柏油 (Pine Tar)，乳化土瀝青 (Emulsified Asphalt) 及熔油 (Flux Oil) 等。

(6) 以顆粒材料與結合料配合得宜之天然土壤鋪填於舊路面後，再以潮解性物質處理之。

(7) 人工級配土壤之後（或加粘土於沙質土壤，或加沙於粘土土壤）。再以潮解性物質處理之。

(8) 以顆粒材料與結合料配合得宜之天然土壤鋪填於舊路面後，施瀝青油於新路面，以增加其防水性。

(9) 人工級配土壤之後，再施以瀝青油。

①與註(2)同。

② Engineering News-Record, Aug. 31, Sept. 7, 21 & 28, 1933.

③與註(3)同。

④ H. C. Weathers "Soil Stabilization Method" 載 Civil Engineering 雜誌第八卷第七期。



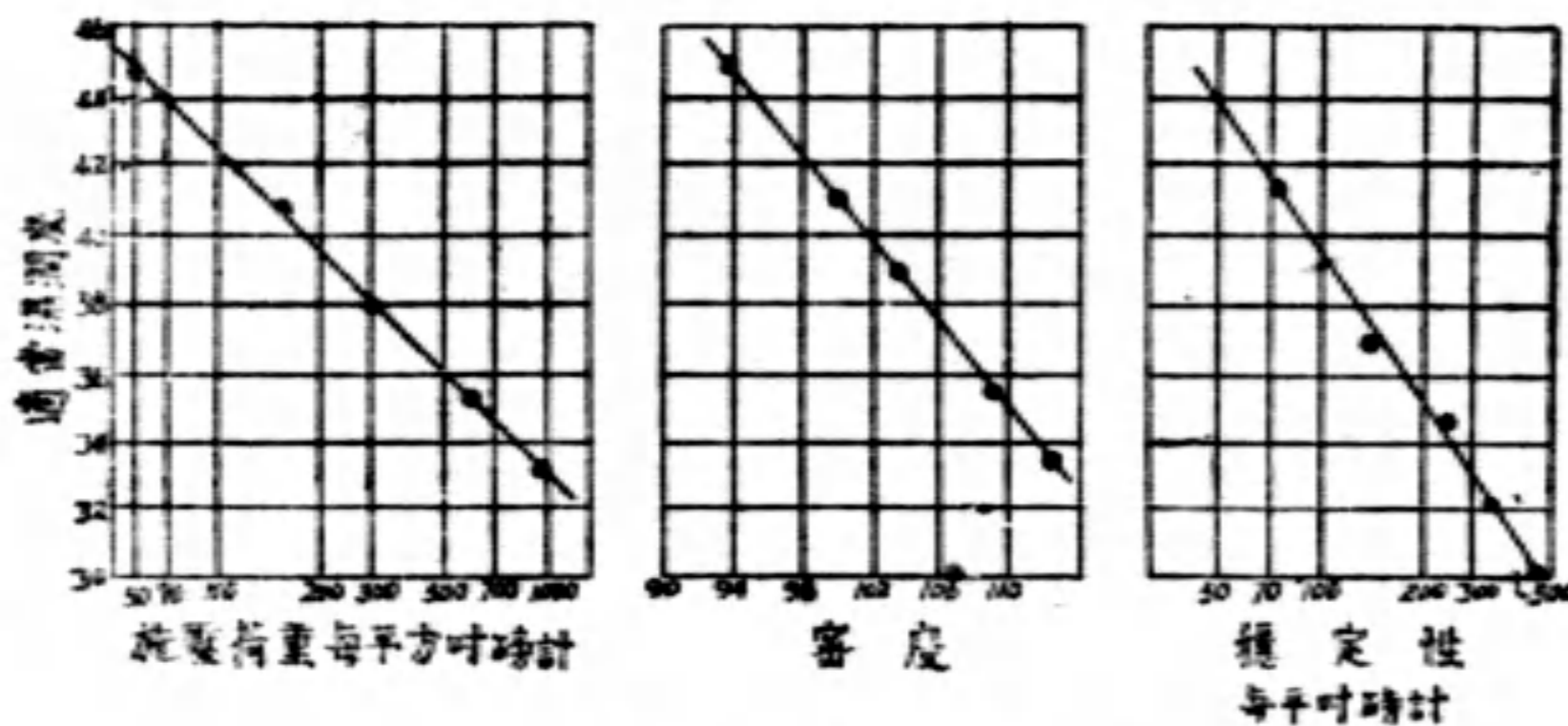
(10)用各種參和物以處理天然土壤，使之稠密。參和物有為物理材料 (Physical Materials) 者，有為化學材料 (Chemical Materials) 者。但二者土壤均除外。參和物之功用，乃永久免除原有土壤中膠體及粘土之不定性質，因此種性質能令土壤粒子變化容積也。

### 五 原理應用示例

#### (甲)填土

填土土壤之選擇，應以其可能壓實之密度為標準。試舉一例以解釋之：

設有土壤樣品 A，試驗其各種性質關係後。製圖如圖十二。



圖十二控制曲線(樣品A)

設施壓荷重定為 309 lb./sq. in.

則從圖十二之控制曲線可查知含水量應為 38.2%，壓實後密度為 104.4 lb. cu./ft., 穩定性為 117 lb./pb. in.。

又設含水量定為 4.14% (以容積計)。

則從曲線可查知施壓荷重應為 130 lb./sq. in., 壓實後密度為 99.2 lb./cu. ft., 穩定性為 69 lb./sq. in.。

#### (乙)路基

穩定路基之設計有二法：——

(A)以粘性指數為根據者

設某段路面之穩定需材料 800 Cu. yd., 其 P. I. (粘性指數) 須為 4, 路面原有材料為 350 Cu. yd.:

其 P. I. 已知為 2.

則必須從借土坑運來材料 450 Cu. yd.,

方足應用，借土坑土壤之 P. I. 應為若干方合用？

可用“Public Roads”雜誌之公式●求之：——

$$PI_m = PI_a + P_b \times (PI_b - PI_a)$$

$PI_m$  = 混合物之粘性指數。

$PI_a$  = 路面材料之粘性指數。

$PI_b$  = 借土坑材料之粘性指數。

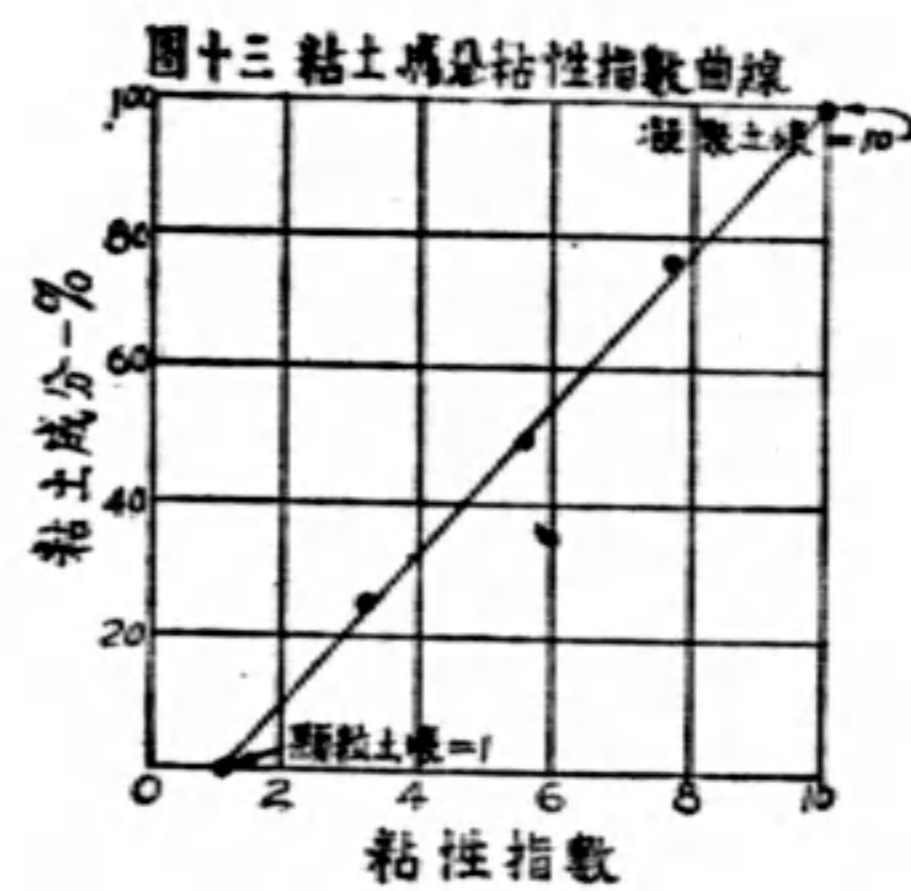
$P_b$  = 借土坑材料在混合物之成分。

代入公式：

$$4 = 2 + \frac{450}{800} \times (PI_b - 2)$$

$$(4 - 2) \times \frac{800}{450} = PI_b - 2$$

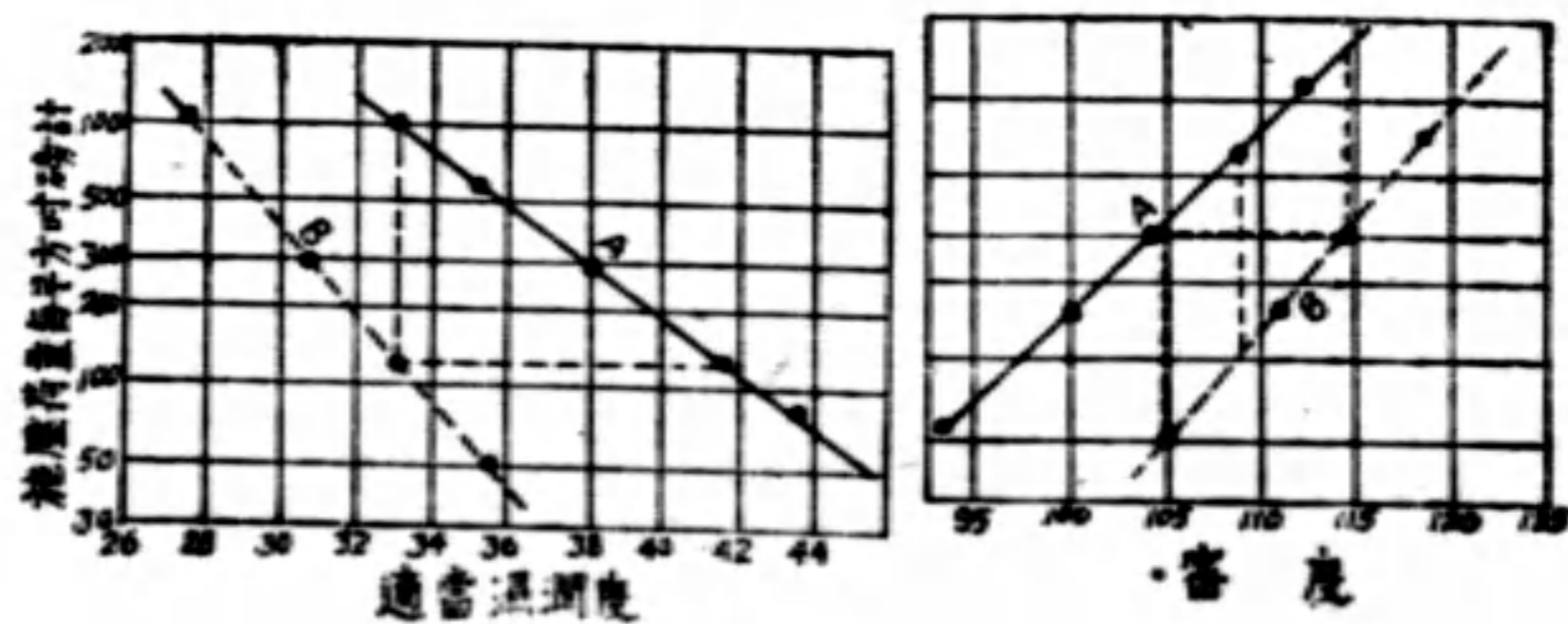
$$PI_b = \frac{1600}{450} + 2 = 5.56$$



從圖十三，借土坑之土壤，若其粘土成分為 51%，其粘性指數可為 5.56 也。

(B)以施壓試驗結果為根據者，

設有某土壤未參和氯化鈣時之樣品為 A, 已參和氯化鈣後之樣品為 B。(氯化鈣為電解質穩定劑，因其可影響水膜厚度，致令土壤較為密實。) 其試驗結果如圖十四。



圖十四控制曲線(樣品A B)

● “Public Roads” 一九三五年二月刊。

施壓荷重同為 135 lb./sq. in. 時 A 樣品之適當濕潤含量須 41.2, % B 樣品只須 33%。含水量同為 33% 時, A 樣品須施壓荷重 1,100 lb./sq. in., B 樣品只須 135 lb./sq. in.。施壓荷重同為 300 lb./sq. in. 時, A 樣品之密度只為 104.4 lb./cu. ft., B 樣品可為 114.5 lb./cu. ft.。欲得 104.4 lb./cu. ft. 之密度, A 樣品須施壓荷重 300 lb./sq. in., B 樣品只須 42 lb./sq. in.。電解質之改善土壤價值明矣

## 六 結 論

(1) 土壤粒子之化學組成, 其所吸着之離子, 及具有電化學性的參和物, 均可影響土壤粒子吸着之水膜厚度, 以致影響土壤可能壓實之密度。

(2) 在相等施壓荷重之下, 鐵及礫土質土壤比較砂石質土壤為密實。

(3) 在相等施壓荷重之下, 鉀質粘土之濕潤, 含量較高, 鈉質粘土之濕潤含量較低。

(4) 在相等交通容量結實之下, 路面土壤混合物之經氯化鈣處理過者, 比較未經處理過者為密實。

(5) 氯化鈣及食鹽等之穩定功效有三: 第一, 此種潮解性化學品可保持土壤之水分使其不致因太乾燥而不穩定。第二, 其電解質溶液可變更土壤之酸性或鹼性, 土壤粒子吸着之金屬離子, 及電場; 以致變更土壤之穩定性。第三, 可助粒料表面物質溶解, 成為膠粘材料, 乾時能將粒料結合, 土壤因之穩定。

(6) 級配混合物之規定, 應以試驗所得之結果為根據, 同時亦應以經驗而運用試驗所得之結果。

# 工 程

第十三卷第五號目錄

- 孫 拯：戰後中國工業政策  
 王龍甫：長方薄板撈皺之研究及其應用於鋼板梁設計  
 莊前鼎，王守融：連桿與活塞之運動及惰性效應  
 尹國墉：論電氣事業之利潤限制  
 鍾士模：鼠籠式旋轉子磁動力之分析  
 邢丕緒：蒲河開壩工程施工之經過  
 顧毅同：電話電纜平均之原理及其實施  
 天廚味精港廠酸鹼工場概況  
 沈 怡：全國水利建設綱領草案

中國工程師學會出版

商務印書館香港分館總經售

零售每冊港幣四角 郵費國內

每冊港幣六分 國外一角五分

預定全年六冊港幣二元四角

郵費國內港幣三角六分 國外九角

# 工 程

第十三卷第四號目錄

- 蔣總裁：中國工程師學會年會訓詞  
 陳立夫：中國工程教育問題  
 繆雲台：雲南經濟建設問題  
 施嘉揚：雲南之水力開發問題  
 計晉仁：模子工具焯火時最易發生的病象  
 葉 楷：汞弧整流器  
 徐均立：新倒音法  
 陳嘉祺，畢德顯：長波無線電定向器  
 章名濤：稅格電動機中之瓦感電抗  
 戈福祥，徐宗涑，徐廷荃：四川耐火材料之研究  
 顧毓珍：土法榨油改良之研究  
 張有齡：地基沉陷與動荷載之關係  
 第八屆年會報告

中國工程師學會出版

商務印書館香港分館總經售

零售每冊港幣四角 郵費國內

每冊港幣六分 國外一角五分

預定全年六冊港幣二元四角

郵費國內港幣三角六分 國外九角

# 寶琴行

◆. 品貨列下理經 ◆

雪佛蘭貨客車及其真正零件

固特異旗嘜輪胎及其附屬品

美孚行電油機油及其他出品

現貨常備

價格相宜

兼接定單

貨期準確

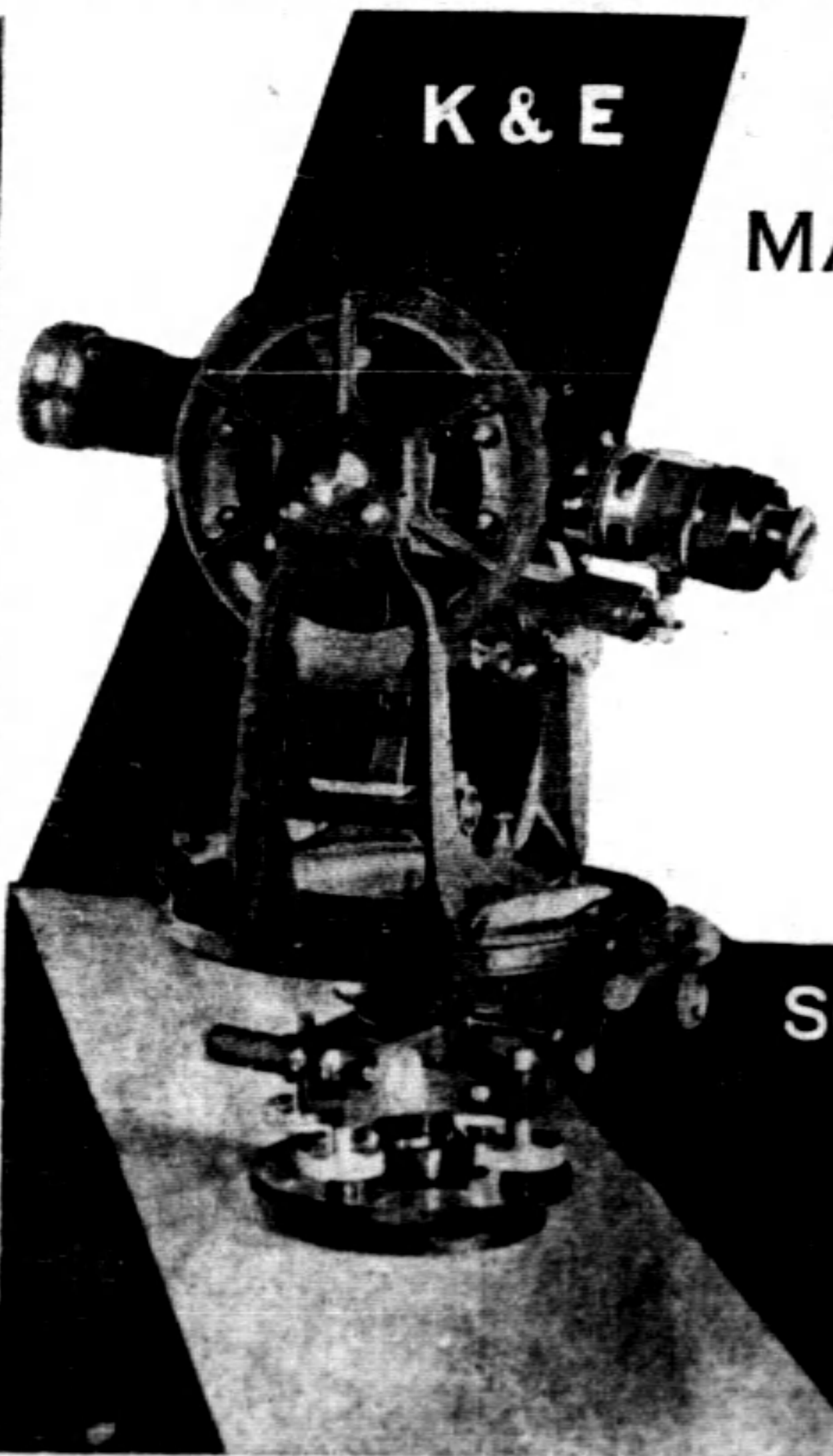
如荷惠顧

毋任歡迎

辦事處

香港 法國銀行二樓  
電話：三〇四五三  
曲江：民權路六十五號  
興寧：五全樓  
老隆：上街尾

K & E



KEUFFEL & ESSER Co., U. S. A.,  
MANUFACTURERS & SUPPLIERS OF  
SURVEYING INSTRUMENTS,  
DRAWING MATERIALS,  
MEASURING TAPES,  
SLIDE RULES.  
THE WORLD RENOWNED.

SOLE AGENTS IN CHINA  
ANDERSEN, MEYER & CO., LTD.  
SHANGHAI & HONGKONG  
BRANCHES & AGENTS  
ALL OVER CHINA

# 彈性橋墩多孔拱橋之力矩及推力分配法

厲汝尙

## 一 導言

生民之始，即知利用木石等物，架溝洫之兩岸，以通往來，此有橋梁之始也。迨至人類進化，交通頻繁，簡陋之橋梁，不足應付，於是木橋，浮橋，石拱橋，石版橋，鋼版橋，桁架橋及鋼筋混凝土等橋，應時而生。

作者於本文理論分析之先，將我國橋梁之發達史，略述概況，以示先民苦心慘淡之經營，吾輩子孫應如何發揚而光大之。

我國橋梁，於先秦時代，已頗有成就，如『周語』有：『川無舟梁，是廢先王之道也。』

橋梁與王道相提並論，其被人之重視，可見一斑，且當時已有利用舟舶為橋，即今之所謂浮橋者，見『大雅大明』『造舟為梁』之句，可為明證。又『孟子』有：『歲十一月徒杠成，十二月輿梁成。』之記載，匪特架橋之方法，已有驚人之進步，即施工之時期，亦有簡賅之規定。

石拱橋始於何時，史無明文記載，而漢時各書，已有曲梁，虹梁之名稱，則拱橋之於漢時，已廣為採用，殆無疑義。石拱橋又曰券橋，散見有清各書，且為近世匠人所通用。至於我國古代，橋梁之建築法，雖有一二藍本可尋，然考其內容，既無學理之討論；又乏法則之遵循。且術語各異，定義滑混，翻閱為難。以我國橋梁發達史觀之，歷今已有千數百年，竟無一善本之介紹，豈非咄咄怪事？然考其究竟，事有必然者，蓋我國數千年來之傳統教育，重文章，輕技藝，視百工為賤役，以雕蟲為小技，自命為士大

夫者，口不談物象之淫巧，書不載工程之理論，任之自生自滅，以致百工廢弛，萬事不興，故迨至今日，我國工程固有之價值，早已湮沒無聞，更遑論與世界各國工程學術一較短長耶？今日責在吾輩，能不勉之！

現代各國橋梁之趨勢，石橋已至人老珠黃之境，蓋石橋負重不大，且只能運用於河面較窄，跨徑 (Span Length) 較短之處，故鋼橋及鋼筋混凝土拱橋，取而代之。然鋼橋之建築費較鉅，我國今日之環境，勢所不許，是以設計我國十萬里之鐵路，及百萬里之公路時，所採用之橋梁，應以鋼筋混凝土拱橋為主題。如河面較寬，非單孔拱橋，所能跨越者，則非應用多孔拱橋不可，倘河底較深，水位亦高，且需注意航行之孔道，而橋墩又不能假設無後挫 (Yielding) 之現象，故彈性橋墩之多孔拱橋 (Multi-span Arches on Elastic Piers) 遂應時而問世矣。蓋使用彈性橋墩，既可增高航行孔道；又可減省橋基工料，且悅目美觀，『玉立亭亭水中央』較之臃腫矮胖之固定橋墩者，其藝術上之價值，又不可同日而語也。所謂彈性橋墩者，即橋墩細長，遵循彈性定律，使本橋拱上所負之荷重，傳遞應力於相隣之橋拱內，增加荷重長度 (Loaded Length) 者也。

彈性橋墩之多孔拱橋，其理論之分析法有五：

(1) 一般公式法 (Analysis by General Equations)。

(2) 彈性中心法 (Analysis by Elastic Center Method)。

(3) 彈性橢圓法 (Analysis by Means

of the Theory of the Ellipse of Elasticity)。

(4)力矩及推力分配法 (Analysis by Moment & Thrust Distribution Method)。

(5)模型機械法(Analysis by Mechanical Method)。

一般公式法，為各法則之本源，但所引伸之公式冗長，計算不便，彈性中心法，雖較簡易，已有專書介紹，可參閱“Elastic Arch Bridges” by McCullough & Thayer。彈性橢圓法，利用彈性橢圓之性質，作幾何之解法，雖畫法較便，但需用較大之比例尺，否則不能求得精確之數字。至於第五之模型機械法，則用特製之模型及儀器，窺其撓曲 (Deflection) 之大小，而定其應力，本法屬於實驗之一支，而非數理分析之本支也，故本文均不論及，僅將第四之力矩及推力分配法，加以分析如下：

### 二 LARSON之力矩及推力分配法

以力矩及推力分配法，分析彈性橋墩之多孔拱橋，非 Cross 教授所創見，而係 Larson 氏之初步使用，後經 Cross 教授加改善者也。

先是 Cross 教授公佈彼所發明之力矩分

配法後，有 Larson 氏者，鑒於 Cross 之名言「一切力之函數——包括力矩及接點之不衡力(Unbalanced Joint Force)等——均可分配，一如力矩分配者然。」有所啓發，遂應用於彈性橋墩多孔拱橋之分析，蓋此種之拱橋，負有荷重後，其接點(Joint)不但被轉動，而且同時發生線之位變也。(Subject to Linear Displacement as well as Rotation) 因此力矩之分配，不能與推力之分配，單獨進行。如某一接點之力矩已平衡，而該接點之部材 (Members Intersecting at that Joint)，其各端之水平推力，因之發生變易，故各該推力必須加以校正，同樣之情形，如部材之兩端，其水平推力已平衡，而力矩不平衡時，亦必加以校正也。

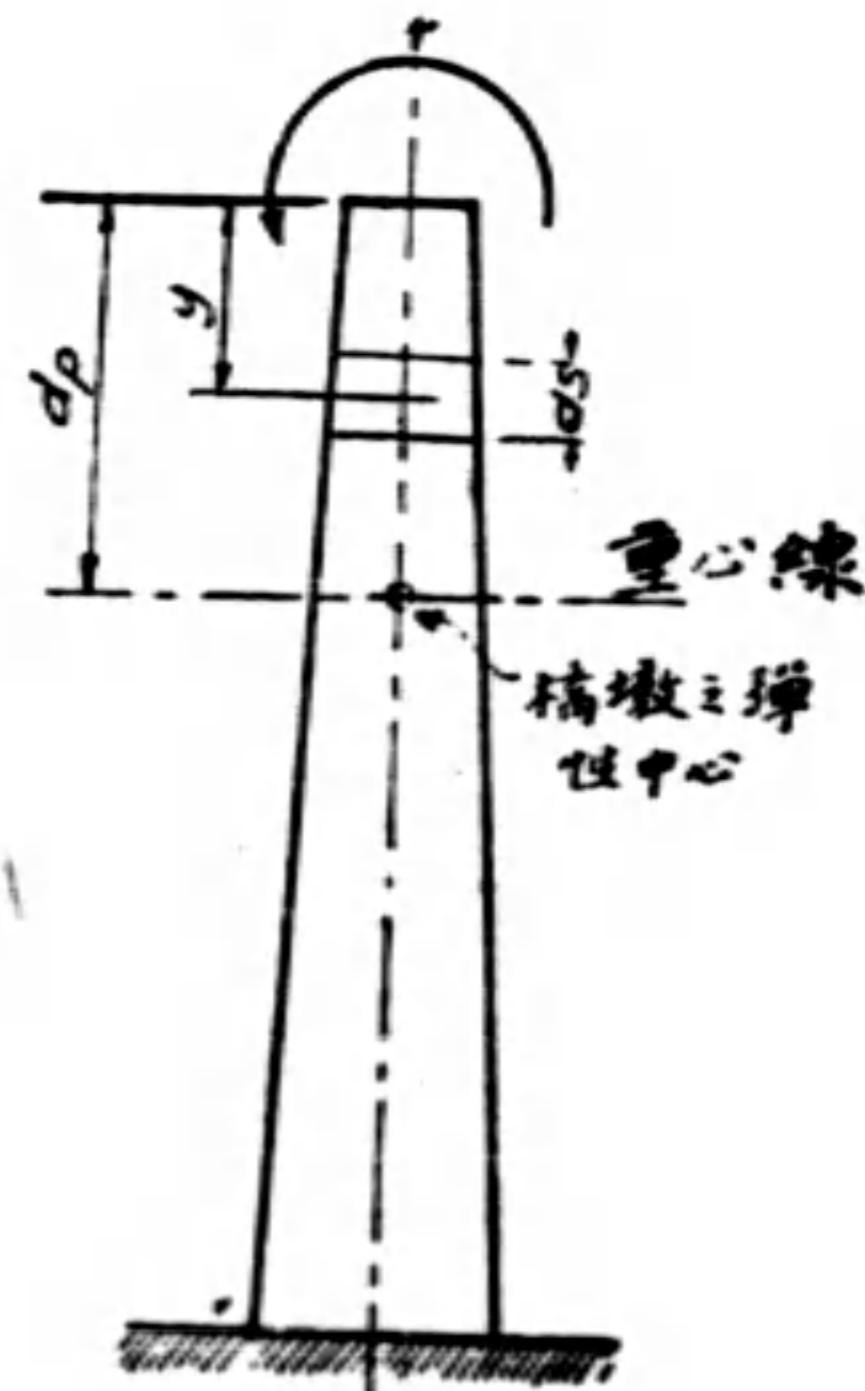
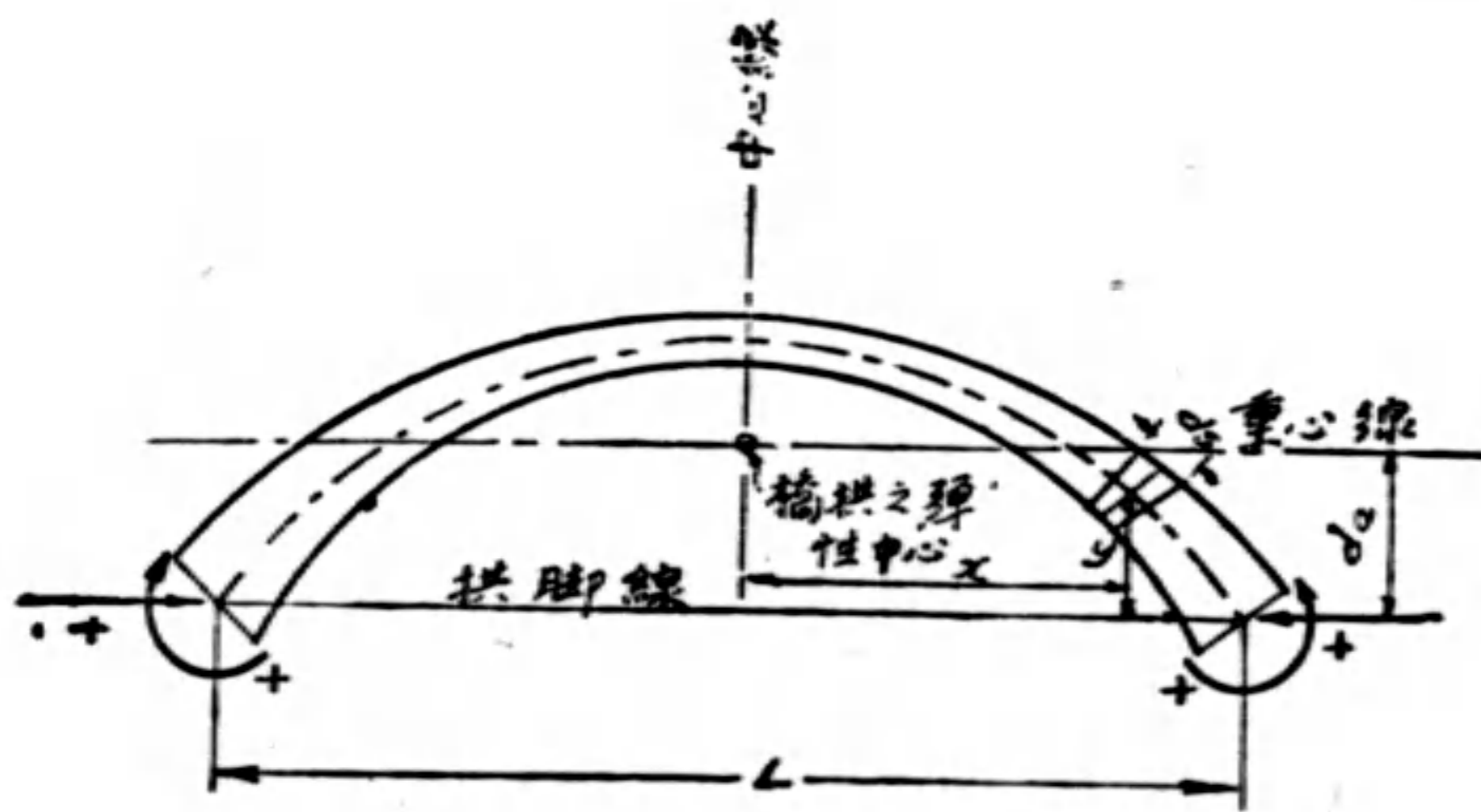
根據以上之理論，Larson 氏之使用力矩及推力分配法，於彈性橋墩多孔拱橋之分析，其步驟如下：

步驟 1.——

(a) 由拱橋所負之荷重，而計算每一橋拱之兩端，其「固定端之水平推力 (Fixed-end Horizontal Thrusts) 為若干。

(b) 由拱橋所負之荷重，而計算每一橋拱之兩端，其「固定端之力矩 (Fixed-end Moments) 為若干。

步驟 2.——



橋拱橋墩之推力及力矩正負符號圖

(圖一)

(a) 依照各接點之部材，其所抗水平撓曲 (Resistance to Horizontal Deflection) 之比例，而分配此不平衡之水平推力。其分配之百分數，等於  $\frac{J}{\Sigma J}$ 。此式中之  $J$ ，為所需之水平推力，作用於該部材之彈性中心上，使該部材之近端，發生一單位位變，而該部材之遠端係固定者。

設橋拱之彈性中心至拱腳線 (Spring Line) 之垂直距離為  $d_a$  (圖一)，橋墩之彈性中心至拱腳線之垂直距離為  $d_p$ ，橋拱之水平推力分配數為  $J_a$  及橋墩之水平推力分配數為  $J_p$ ，則

$$d_a = \frac{\Sigma \frac{ds}{EI}}{\Sigma \frac{ds}{EI}}$$

$$J_a = \frac{1}{\Sigma \frac{ds}{EI} - d_a^2 \Sigma \frac{ds}{EI}}$$

$$d_p = \frac{\Sigma \frac{ds}{EI}}{\Sigma \frac{ds}{EI}}$$

$$J_p = \frac{1}{\Sigma \frac{ds}{EI} - d_p^2 \Sigma \frac{ds}{EI}}$$

(b) 依照各接點之部材，其所抗轉動 (Resistance to Rotation) 之比例，而分配此不平衡之力矩於各接點間。其分配之百分數等於  $\frac{N}{\Sigma N}$ ，此式中之  $N$ ，為所需之力矩，使該部材之近端轉動一個單位，而該部材之遠端，係固定者。

設  $N_a$  等於橋拱之力矩分配數， $N_p$  等於橋墩之力矩分配數，則

$$N_a = \frac{1}{\Sigma \frac{ds}{EI}} + \frac{L^2}{4 \Sigma \frac{ds}{EI}} + d_a^2 J_a$$

$$N_p = \frac{1}{\Sigma \frac{ds}{EI}} + d_p^2 J_p$$

步驟 3. —

(a) 為使各部材保持平衡起見，將步驟 2 (a) 中各部材分配已妥之水平推力，傳遞 (Carry Over) 至其他一端，但符號相反。

(b) 將步驟 2 (b) 中各部材分配已妥之力矩，乘以  $r$ ，傳遞他端。 $r$  為傳遞因子 (Carry Over Factor)，其符號可正可負，視該部材之幾何性質 (Geometric Properties) 而定。

設  $r_a$  = 橋拱之傳遞因子，則

$$r_a = 1 - \frac{L^2}{2 N_a \Sigma \frac{ds}{EI}}$$

因橋墩之一端，為固定者，故無需  $r_p$ 。

步驟 4. —

(a) 將各該部材之兩端，於步驟 2 (b) 中所得之力矩，化為水平推力。該推力即等於力矩乘以  $h$ ，該  $h$  即等於一個單位力矩，作用於此部材之一端，在彈性中心上，所發生之水平推力者也。故

$$h_a = \frac{d_a J_a}{N_a}$$

$$h_p = \frac{d_p J_p}{N_p}$$

(b) 將各該部材之兩端，於步驟 2 (a) 中所得之水平推力，化為力矩。該力矩即等於水平推力與  $d$  之乘積。 $d$  為拱腳線至彈性中心之垂直距離，見步驟 2 (a)。

步驟 5. —

(a) 將步驟 3 (a) 與步驟 4 (a) 所得

\* 在引伸各該公式以前，基於兩種假定。(1) 在撓曲前後，各切面之平面不變。(2) 各項材料均遵循 Hooke 定律，如  $E$  為常數，則各式中之  $E$ ，均可消去。各該公式之引伸式甚簡，茲不贅述。

之水平推力，求其代數和。

(b) 將步驟 3 (b) 與步驟 4 (b) 所得之力矩，求其代數和。

既完成以上五個步驟，即完成力矩及推力分配法之一個循環。於步驟 5 (a) 中，得每一接點處之新水平推力。如結果所得，為不平衡推力，再如步驟 2 (a) 重新分配。於步驟 5 (b) 中，得每一接點處之新力矩，如結果所得為不平衡力矩，再依照步驟 2 (b) 之辦法重新分配。遵循以上各步驟，分配復分配，循環復循環，迨至各點之力矩與推力平衡而後已。

其結果之數值，計算如下：

橋拱各端之推力，等於步驟 1 (a)，2 (a) 及 5 (a) 所得各值之總和。

橋拱各端之力矩，等於步驟 1 (b)，2 (b) 及 5 (b) 所得各值之總和。

橋墩頂點之推力，等於步驟 1 (a)，2 (a) 及 4 (a) 所得各值之總和。

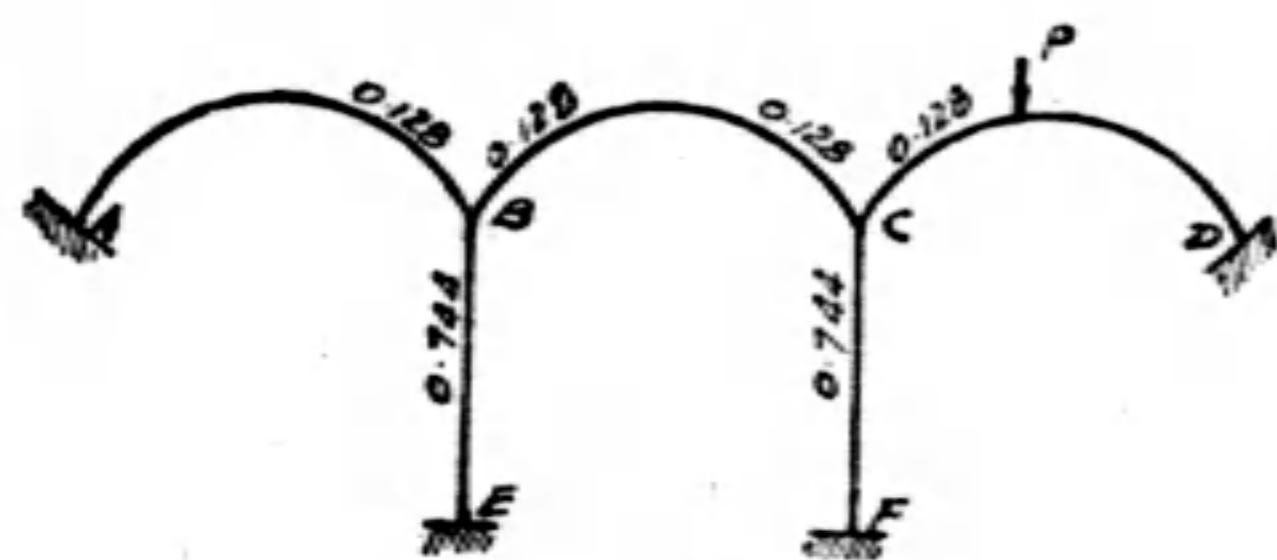
橋墩頂點之力矩，等於步驟 1 (b)，2 (b) 及 4 (b) 所得各值之總和。

### 三 LARSON 法之應用

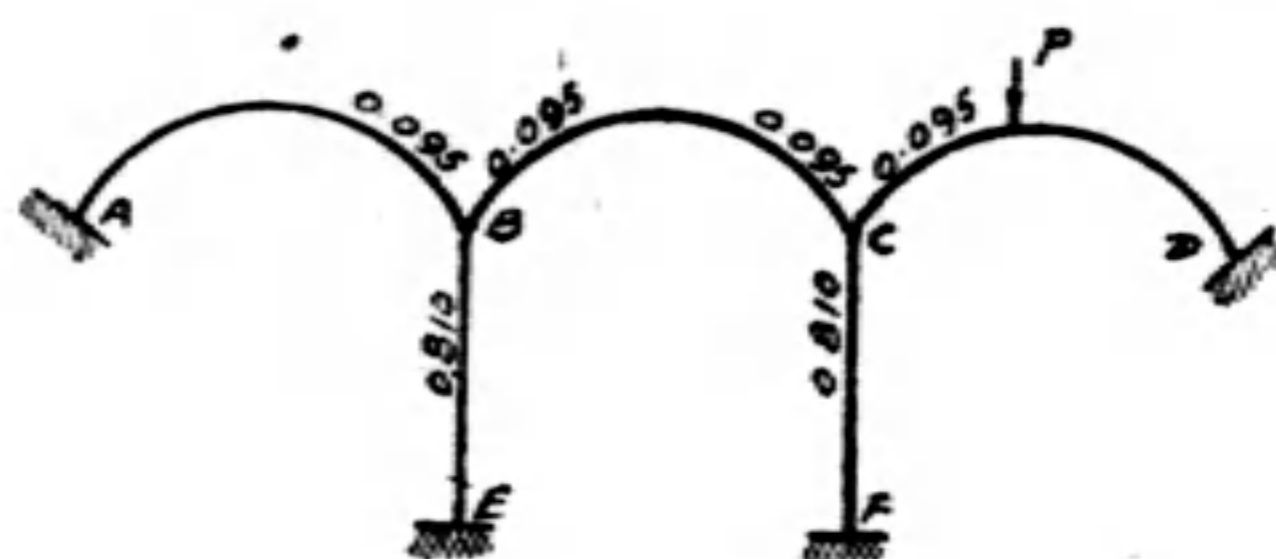
為簡單計算起見，設有一三孔拱橋（第一表），其橋拱之形狀大小均相同，二橋墩亦同高。且外橋拱與橋墩之一端，均固定於地。其所給之常數如下：

橋拱常數： $d_a=39.7$ ； $J_a=0.00111$ ； $N_a=2.53$ ； $h_a=0.0175$ ； $r_a=0.491$ 。

橋墩常數： $d_p=47.5$ ； $J_p=0.00643$ ；



水平推力分配因子



力矩分配因子

步驟	將水平推力分配於拱脚				乘 $h_a$	將力矩分配於拱脚				步驟				
1a				65.5		65.5						1b		
2a			8.4	-8.4				-14.0	+14.0	2b				
3a		-8.4	0	8.4				-6.7	0	3b				
4a		0	2.4	-2.4				0	+3.3	4b				
5a		-2.4	0	2.4				+3.3	0	5b				
2a		6.0	2.4	-2.4	6.0			+2.67	+3.3	-3.3	5b			
3a	-0.8	0	-0.8	1.5	-1.5			乘 $r_a$	+2.5	-2.5	+1.56	-1.56	5b	
4a	0	0.4	-0.4	2.7	-2.7			+1.2	0	+7.7	-1.2	0	-7.7	3b
5a	-0.8	0	-2.7	0.4	0			0	+3.2	-3.2	-5.9	+5.9	0	4b
2a	0	0.4	-0.4	1.9	-1.9			+3.2	0	-5.9	-3.2	0	+5.9	5b
3a	-0.4	0	-1.9	0.4	0			+4.4	+3.2	-1.4	-1.03	+5.9	-1.8	5b
4a	0	0.3	-0.3	0.4	0			0	+1.6	-1.6	-2.4	+2.4	0	2b
5a	-0.3	0	-0.4	0.3	0			+8	0	-1.2	-8	0	+1.2	3b
2a	0	0.3	-0.3	0.4	0			0	+1.6	-1.6	+7.5	-7.5	0	4b
3a	-0.7	0.3	-1.2	1.1	-0.8	0.5		+1.6	0	+7.5	-1.6	0	-7.5	5b
4a	0	0.4	-0.4	0.2	-0.2	0		+2.4	+1.6	+4.7	+5.1	-7.5	-6.3	5b
5a	-0.4	0	-0.2	0.4	0	0.2		0	+1.5	-1.5	+3.7	-3.7	0	2b
2a	0	0.3	-0.3	0.6	-0.6	0		+7	0	+1.8	-7	0	-1.8	3b
3a	-0.3	0	-0.6	0.3	0	0.6		0	+1.6	-1.6	-8	+8	0	4b
4a	-0.7	0.3	-0.1	0.1	-0.6	0.4		+1.6	0	-8	-1.6	0	+8	5b
5a	0	0.2	-0.2	0.5	-0.5	0		+2.3	+1.6	-6	-3.1	+8	-1.0	5b
Σ	-2.6	2.8	-6.3	7.0	-5.9	5.4		0	+7	-7	-1	+1	0	2b
								+9.1	+1.27	+2.31	+2.27	+1.813	+1.072	Σ

步驟	將水平推力分配於墩頂				乘 $d_p$	將力矩分配於墩頂				步驟
1a				0						
2a				4.87						2b
4a				16.5						4b
2a	4.4			8.7						2b
4a	3.1			18.8						4b
2a	2.7			10.8						2b
4a	1.9			2.9						4b
2a	2.0			1.0						2b
4a	1.8			4.4						4b
2a	1.4			2.9						2b
Σ	3.7			48.9						Σ

(第一表)

$N_p = 21.60$ ;  $h_p = 0.0141$ 。

求橋拱橋墩各端之推力及力矩，如固定端推力及力矩為已知者。

第一表所示之兩組圖表，左端為分配推力所用，右端則為分配力矩所用，其中有關係之部分，或為傳遞之作用，或為推力之方向，則以箭頭表之。

因  $p$  之荷重，作用於  $CD$  之橋拱上，其所發生之固定端推力為 65.5，其方向如箭頭所示。固定端力矩，則為 1440，（正負號如第一圖所規定者）。如步驟 1 (a) 及 1 (b) 所規定，將該固定端之推力及力矩，書於  $CD$  二欄內。然後再依照以前之步驟，逐次舉行。

例如在  $C$  接點之不平衡推力為 65.5，應先分配至此接點上之各部材。〔步驟 2 (a)〕分配於橋拱上之百分數等於  $\frac{J_a}{2J_a + J_p}$  = 12.8%；分配於橋墩上之百分數 =  $\frac{J_p}{2J_a + J_p}$  = 74.4%，故 8.4 (= 65.5 × 12.8%) 分配於橋拱，48.7 (= 65.5 × 74.4%) 則分配於橋墩。

分配不平衡之力矩，其比例數如次，至橋拱者 =  $\frac{N_a}{2N_a + N_p}$  = 9.5%，至橋墩者 =  $\frac{N_p}{2N_a + N_p}$  = 81.0%，故接點  $C$  之 -1440 不平衡力矩，應分至橋拱者為 -137 (= -1440 × 9.5%)，分至橋墩者為 -1166 (= -1440 × 81.0%)。

其餘各數值，可依照步驟 1 至步驟 5 各項之規定，按圖索驥即可。至於分配推力及力矩至橋墩時，毋需步驟 3 及 5 之原因，蓋橋墩底面固定於地面故也。

#### 四 CROSS 教授之力矩及推力分配法

綜觀以上所述之 Larson 法，步驟既多，手續亦繁。因  $J_p$  及  $N_p$  之值，均大

於  $J_a$  及  $N_a$ ，故分配至橋墩頂點之推力及力矩，其值甚大，是以循環分配之次數亦多也。如能免去此層之困難，即減少不平衡之推力及力矩分配於橋墩，則循環之次數可減，故 Cross 教授不以橋墩頂點，為分配力矩之點，而選擇某一點為依歸。決定此點之條件，即橋墩頂部因位變（無轉動）而發生之推力，對於此點而言，無不平衡之力矩發生。換言之，即橋墩頂部繞此點而轉動，所發生之推力，係平衡之推力也。

假定該點已選妥，則於分配力矩及推力時，橋墩可以略而不計，且兩端之橋拱，即近河岸之孔，亦可省去計算，因兩端為固定，僅有推力及力矩傳遞過去，而無推力及力矩傳遞過來故也。

Cross 教授根據以上所述之理論，擬定步驟如下：在未實行步驟之先，必需計算若干常數，以為分配推力及力矩之用，茲先將各常數之定義述之如下：

(a) 決定橋墩上中性點  $O$  (Neutral Point) (圖二) 之位置。決定  $O$  點之條件，即橋墩頂部繞此點而轉動，所發生之推力，係平衡之推力也。

(b) 推力抗率 (Thrust Stiffness) 所謂推力抗率者，即所需之推力，使該部材之一端，發生一個單位之位變，而不發生轉動者。

(c) 力矩抗率 (Moment Stiffness) 所謂力矩抗率者，即所需之力矩，使該部材之一端，繞中性點  $O$  而轉動，發生一個單位之角變，而不發生位變者。

將以上各常數決定後，再決定在每一部材內，因接點之位變（無轉動）所發生推力線——以後簡稱「位變推力線」——之位置。及每一部材內，因接點繞中性點而轉動（無位變），所發生之推力線——以後簡稱「轉動推力線」——之位置。推力線之位置既定，則分配之步驟如下：

步驟一：分配及傳遞各部材間之不平衡



推力。分配之數值，可以不用書明，僅將傳遞之數值，註之於各該地位上。連續舉行，及至收斂達於零之近似值，然後將傳遞之推力總和之。

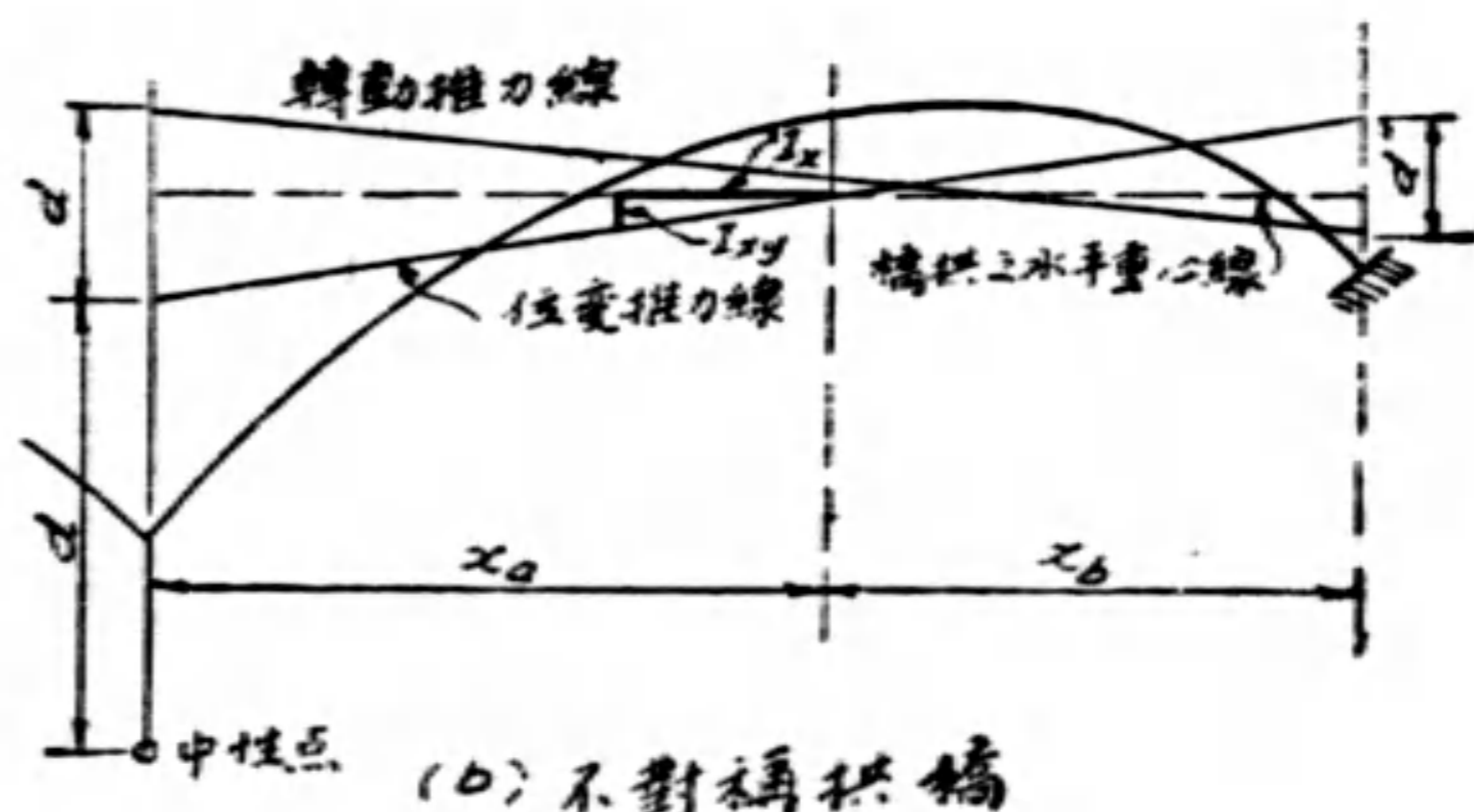
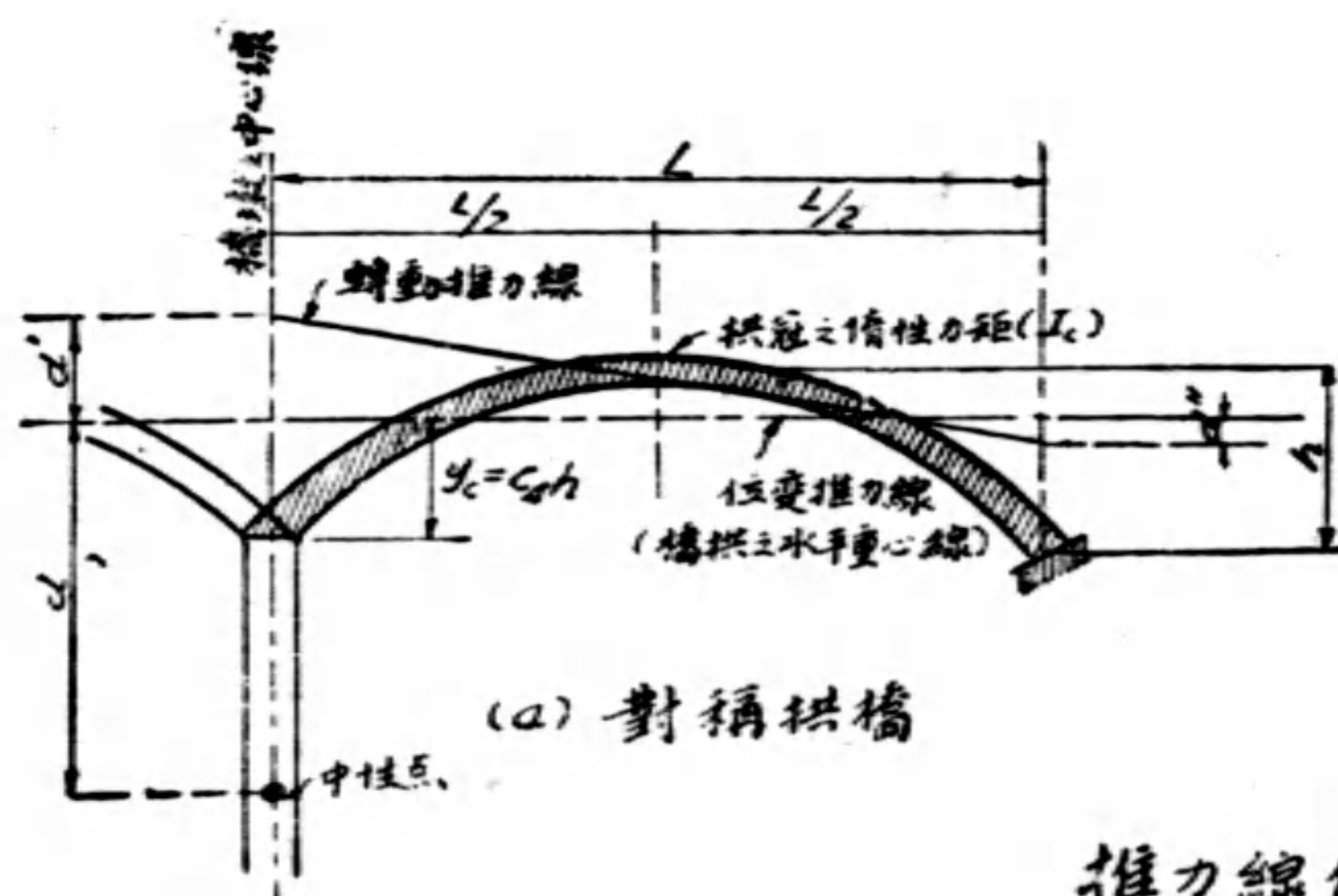
步驟二：由推力所產生之不平衡力矩，等於推力乘以自  $O$  點至推力線之垂直距離之乘積。

步驟三：將此不平衡之力矩，與原有不平衡之力矩，求其總和，然後分配而傳遞之。分配之數值，不用書明，僅將傳遞之數值註明而已。似此連續舉行，及至收斂達於零之近似值。再將傳遞之力矩，求其總和。

步驟四：此力矩所產生之不平衡推力，等於此力矩除以自  $O$  點至推力線之垂直距離，所得之商。

將以上之步驟，循環舉行，及至所求精確之數值，然後再求得以下之二值：

- (1) 因位變而產生之總推力。
- (2) 因轉動而產生之總推力。



推力線位置圖 (圖二)

各推力之值既定，且彼等作用線之位置亦已知，則任何有關之數值，均可以按靜力學之法則，求其結果矣。

在計算推力及力矩時，正負號之決定，不可不加以注意。一般之法則，即正力矩使部材之下邊發生拉力。反之為負。如於橋拱上之推力為正，曳力(Pull)為負，則拉力作用於軸線之上，即力臂為正，則所產生之力矩亦為正。此理甚明。

## 五 CROSS 法中之常數項

在分配不平衡之力矩及推力以前，必先計算若干常數，前節業已闡明其定義。然各常數，如何決定，需待證明。

無論對稱之拱橋，或不對稱之拱橋，以上之常數，均可自『相似柱體之理論(Theorems of Column Analogy)\*』推引而出。設有一對稱之拱橋(圖二 a)(不對稱之拱橋，如圖二 b 所示)其待決定之常數，已標明圖上。茲引伸其公式如下：

(1) 推力抗率：——等於一個單位之力矩，繞相似柱體切面上之水平軸線而轉動，在該切面之中性軸上一個單位垂直距離處，所發生之應力(Stress)。故對稱拱橋之推力抗率 =  $\frac{1}{I_y}$

$$\text{不對稱拱橋之推力抗率} = \frac{1}{I'_y} = \frac{1}{I_y - \frac{I_{xy}^2}{I_x}}$$

(2) 推力線之位置：——推力線即相似柱體切面上之中性軸。如為不對稱之拱橋，則『位變推力線』(見第 5 頁)與水平軸線，

\* 相似柱體之理論，非本文範圍之內，故不涉及，請參閱 "The Column Analogy" by Hardy Cross, Bul. 215, Eng. Exp. Sta., University Ill, 1930.

成一角度  $\tan^{-1} I_{xy}/I_y$ 。倘為對稱拱橋，則  $I_{xy}=0$ ，角度等於零，即「位變推力線」與水平軸線相吻合。設「轉動推力線」（見第 5 頁）與「位變推力線」，在橋墩或橋座之垂直軸線上之距離為  $d'$  及  $d''$ 。又中性點  $O$  與水平軸線之垂直距離為  $d$ 。則  $d, d'$  及  $d''$  之決定如下：

(a)  $O$  點之位置，使  $\Sigma \frac{d}{I_y} = 0$  即得。

(b)  $dd'$  及  $\frac{d''}{d'}$  之公式。吾人已知繞中性點  $O$  而發生一個單位之轉動，等於相似柱體切面上之  $O$  點，受有一個單位之荷重。因此荷重所發生之推力，沿相似柱體切面上之中性軸而作用。且此推力，等於相似柱體切面上，因此荷重之作用，所發生之纖維應力 (Fiber Stress)——自中性軸一個單位距離處之纖維應力。故中性軸可自兩點而決定，即相似柱體上之纖維應力等於零之兩點。故  $dd'$  及  $\frac{d''}{d'}$  之公式，可以引伸而得。

(i) 對稱之拱橋：——

$$\frac{1}{A} + \frac{\frac{L}{2}}{I_x} \frac{L}{2} + \frac{d}{I_y} d' = 0$$

及

$$\frac{1}{A} - \frac{\frac{L}{2}}{I_x} \frac{L}{2} + \frac{d}{I_y} d'' = 0$$

故

$$dd' = - \frac{\frac{1}{A} + \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2}{I_x}}{\frac{1}{I_y}}$$

及

$$\frac{d''}{d'} = \frac{\frac{1}{A} - \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2}{I_x}}{\frac{1}{A} + \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2}{I_x}}$$

(ii) 不對稱之拱橋：——依同理得

$$dd' = - \frac{\frac{1}{A} + \frac{x_o^2}{I_x}}{\frac{1}{I_y}}$$

及

$$\frac{d''}{d'} = \frac{\frac{1}{A} - \frac{x_o x_b}{I_x}}{\frac{1}{A} + \frac{x_o^2}{I_x}}$$

(3) 力矩抗率：——繞中性點  $O$  而轉動一個單位，其所產生之力矩（繞中性點  $O$  而言），等於一個單位荷重，作用於相似柱體切面之中性點上之應力。故

(i) 對稱之拱橋：

$$\text{力矩抗率} = \frac{1}{A} + \frac{\frac{L}{2}}{I_x} \frac{L}{2} + \frac{d}{I_y} d$$

$$= \left[ \frac{\frac{1}{A} + \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2}{I_x} + d^2}{\frac{1}{I_y}} \right] \frac{1}{I_y}$$

$$= (dd' + d^2) \frac{1}{I_y} = d(d+d') \frac{1}{I_y}$$

(ii) 不對稱之拱橋：——依同理得

$$\text{力矩抗率} = d(d+d') \frac{1}{I_y}$$

(4) 推力分配因子 (Distribution Factors)：——

(i) 對稱拱橋之推力分配因子

$$= \frac{1}{I_y} / \Sigma \frac{1}{I_y}$$

(ii) 不對稱拱橋之推力分配因子

$$= \frac{1}{I_y} / \Sigma \frac{1}{I_y}$$

(5) 力矩分配因子：——

(i) 對稱拱橋之力矩分配因子

$$= \frac{d(d+d') \frac{1}{I_y}}{\Sigma \left[ d(d+d') \frac{1}{I_y} \right]}$$

(ii) 不對稱拱橋之力矩分配因子

$$= \frac{d(d+d') \frac{1}{I_y'}}{\Sigma \left[ d(d+d') \frac{1}{I_y'} \right]}$$

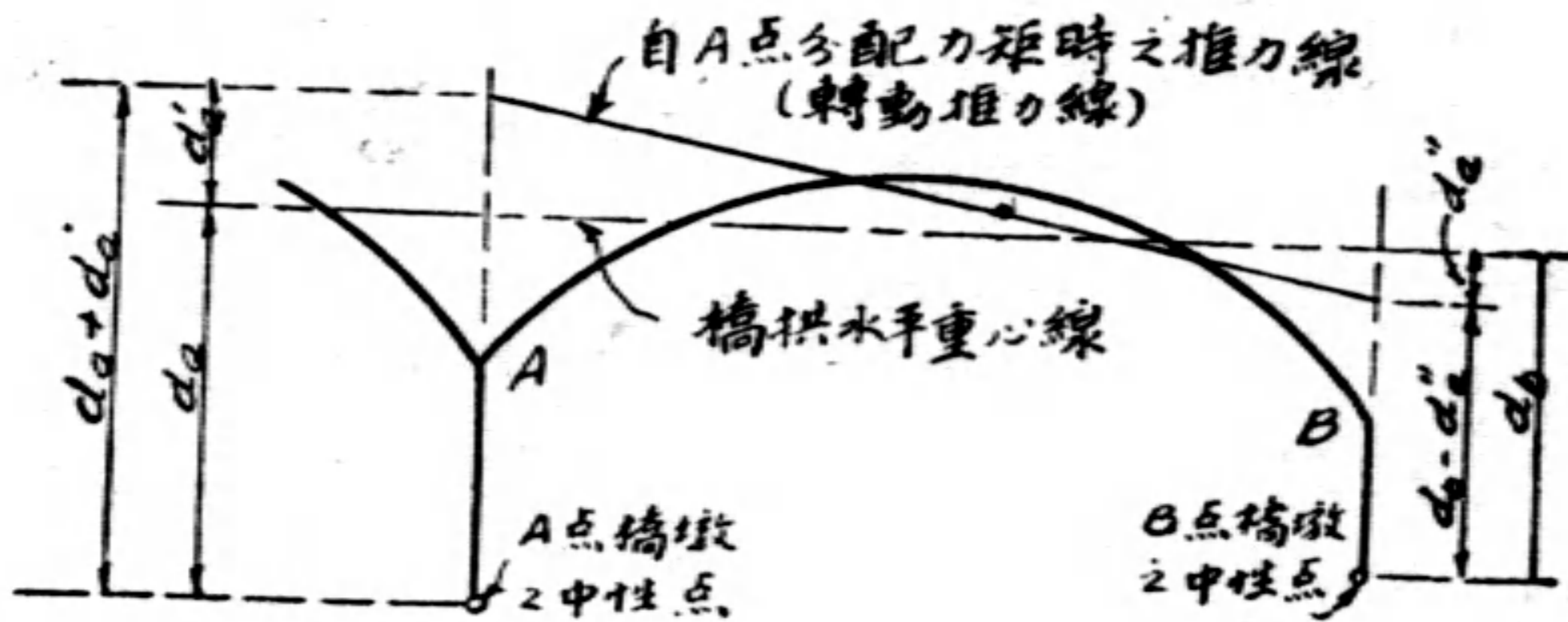
(6) 力矩傳遞因子 (Carry Over Factor), 力矩傳遞因子等於力矩分配因子, 乘以某一常數之乘積。所謂分配於橋拱之力矩, 係由推力所產生, 該推力則沿『轉動推力線』而作用, 使橋拱之他端, 產生一力矩 (繞中性點  $O$  而言)。該力矩等於推力與

力臂之乘積。故任意一接點之力矩, 傳遞至橋拱他端時, 應乘以下之比例數。(參閱圖三)

(i) 對稱之拱橋。

$$\text{力矩傳遞因子} = \frac{d_a(d_a+d_a') \frac{1}{I_y}}{\Sigma \left[ d_a(d_a+d_a') \frac{1}{I_y} \right]} \cdot \frac{d_b-d_a''}{d_a+d_a'}$$

凡下標  $a$  字者, 代表分配力矩之一端。 $b$  字者, 則為傳遞後之他端, 其關係如下圖。



推力線圖 (圖三)

(ii) 不對稱之拱橋。

$L = \text{跨徑長度}$

$$\text{力矩傳遞因子} = \frac{d_a(d_a+d_a') \frac{1}{I_y'}}{\Sigma \left[ d_a(d_a+d_a') \frac{1}{I_y'} \right]} \cdot \frac{d_b-d_a''}{d_a+d_a'}$$

$$\frac{1}{A} = c_2$$

$$\frac{x^2}{I_x} = c_3$$

以上各常數, 既經決定, 則可以進行分配之步驟。如對稱之拱橋, 其形式大小, 均依照 Whitney\* 氏之定則, 則以上之常數, 均可以自圖表中求得, 茲總述之如下。

Whitney 氏對於拱橋之常數項: (參閱第四圖)

$$\frac{1}{I_y} = c_1 \frac{K}{h^2} \left[ K = \frac{I_c}{L}, I_c = \text{拱冠處} \right]$$

之情性力矩 (Moment of Inertia at Crown.)

$y_c = c_4 h$ , ( $y_c = \text{自拱脚之中點至橋拱彈性中心之垂直距離}$ )

$$dd' = c_5 h^2, \quad c_5 = \frac{c_2 + c_3}{c_1}$$

$$\frac{d''}{d'} = c_6, \quad c_6 = \frac{c_3 - c_2}{c_2 + c_3}$$

以上  $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$  及  $c_6$  之值, 可自下表查得或算出。

\* Whitney 氏之定則, 請參閱 "Design of Symmetrical Concrete Arches." Trans. Am. Soc. C. E. Vol. 88, Page 931, 1925.

	$m=0.20$		$m=0.30$		$m=0.40$		$m=0.50$	
$C_2$	$\frac{1}{A}=1.67$		$\frac{1}{A}=1.54$		$\frac{1}{A}=1.43$		$\frac{1}{A}=1.33$	
$C_3$	$\frac{x^2}{I_x}=7.50$		$\frac{x^2}{I_x}=6.32$		$\frac{x^2}{I_x}=5.45$		$\frac{x^2}{I_x}=4.80$	
$N$	$C_1$	$C_4$	$C_1$	$C_4$	$C_1$	$C_4$	$C_1$	$C_4$
.15	36.10	.8389	28.90	.8201	24.33	.8040	21.19	.7901
.16	34.97	.8325	28.09	.8135	23.70	.7971	20.66	.7830
.17	33.90	.8262	27.32	.8069	23.15	.7903	20.16	.7760
.18	32.79	.8201	26.60	.8004	22.57	.7836	19.72	.7691
.19	31.85	.8139	25.91	.7940	21.98	.7770	19.27	.7622
.20	30.96	.8078	25.25	.7876	21.46	.7704	18.87	.7554
.21	30.12	.8017	24.57	.7813	21.05	.7638	18.48	.7487
.22	29.24	.7957	23.98	.7750	20.38	.7573	18.08	.7420
.23	28.41	.7897	23.36	.7688	20.08	.7509	17.67	.7353
.24	27.70	.7837	22.88	.7626	19.65	.7444	17.33	.7287
.25	27.03	.7778	22.32	.7564	19.23	.7381	17.01	.7222

Whitney 氏對稱拱橋之常數表 (圖四)

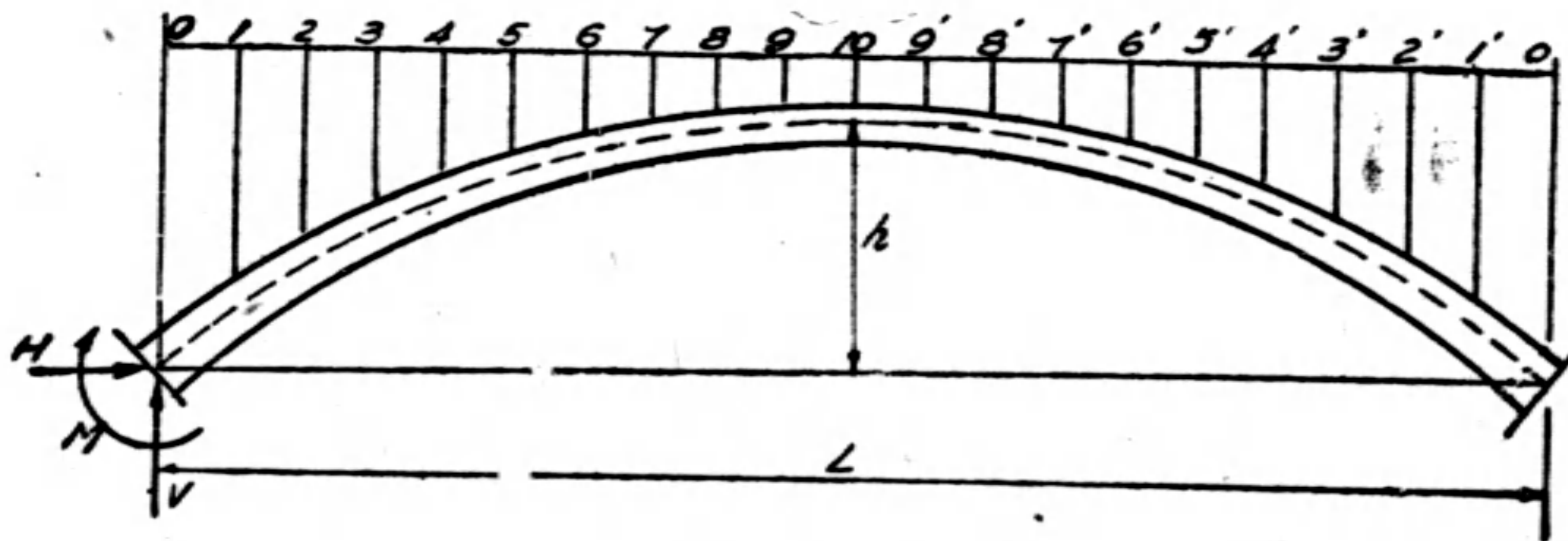
### 六 舉例

設有一四孔之拱橋，其形狀大小，均依照 Whitney 氏之規定， $m=0.40$ ， $N=0.20$ ，橋墩之寬狹，上下一致。各孔之跨徑，拱高(Rise)及拱冠之厚薄，墩高及墩寬，均如第二表所示。

由所給之條件，計算結果，詳列第二表及第三表。為解釋各表內所列之數值起見。特於第二表增設一行，書明列次。第三表則詳註步驟，以便解釋。

#### 第二表

第一列：係由第四圖，按照  $m=0.40$   $N=0.20$  查得  $c_1, c_5, c_6$  及  $c_4$  之值。



橋拱分點圖

\*  $m = \frac{I_c}{I_s} \sec \phi$ ， $I_c$  = 拱冠之慣性力矩； $I_s$  = 拱脚之慣性力矩， $\phi$  = 拱軸曲線在拱脚時之切線，與水平線相成之角度。 $N = \frac{v_{1/4}}{h}$ ； $v_{1/4}$  = 以  $x$  軸通過拱冠，在拱軸曲線四分之一處之  $v$  值。其詳情參閱 Whitney 氏之名著 "Design of Sym. Concrete Arches."

Whitney 氏對稱拱橋之拱冠推力常數 (C) 表  $H = CP \frac{L}{h}$

荷重點	m=0.15			m=0.20			m=0.25			m=0.30			m=0.40		
	N=0.15	N=0.20	N=0.25	N=0.15	N=0.20	N=0.25	N=0.15	N=0.20	N=0.25	N=0.15	N=0.20	N=0.25	N=0.15	N=0.20	N=0.25
1	0.007	0.006	0.005	0.008	0.007	0.006	0.008	0.007	0.006	0.008	0.007	0.006	0.008	0.007	0.006
2	0.027	0.023	0.020	0.029	0.025	0.021	0.030	0.026	0.023	0.031	0.027	0.024	0.032	0.028	0.025
3	0.060	0.052	0.046	0.062	0.054	0.048	0.062	0.056	0.050	0.064	0.057	0.051	0.066	0.060	0.054
4	0.100	0.090	0.080	0.100	0.092	0.082	0.102	0.094	0.084	0.102	0.096	0.086	0.105	0.096	0.088
5	0.144	0.132	0.120	0.144	0.133	0.121	0.144	0.133	0.122	0.144	0.135	0.124	0.144	0.135	0.126
6	0.189	0.175	0.161	0.188	0.175	0.161	0.186	0.172	0.161	0.184	0.172	0.162	0.183	0.172	0.162
7	0.230	0.215	0.200	0.226	0.212	0.200	0.221	0.210	0.198	0.220	0.209	0.198	0.216	0.207	0.196
8	0.262	0.246	0.232	0.256	0.243	0.230	0.250	0.240	0.228	0.248	0.237	0.226	0.242	0.230	0.224
9	0.282	0.268	0.254	0.276	0.262	0.250	0.270	0.259	0.246	0.266	0.256	0.245	0.259	0.251	0.241
10	0.290	0.276	0.262	0.283	0.270	0.257	0.277	0.266	0.254	0.272	0.262	0.252	0.265	0.256	0.247

附註：(1) 右半各值與左半各值對稱相等。(2) 表中未列之數，按照比例數算之。

Whitney 氏對稱拱橋之拱脚力矩常數 (K) 表  $M = KPL$

荷重點	m=0.15			m=0.20			m=0.25			m=0.30			m=0.40		
	N=0.15	N=0.20	N=0.25	N=0.15	N=0.20	N=0.25	N=0.15	N=0.20	N=0.25	N=0.15	N=0.20	N=0.25	N=0.15	N=0.20	N=0.25
1	-0.040	-0.242	-0.044	-0.040	-0.042	-0.044	-0.040	-0.041	-0.043	-0.040	-0.041	-0.042	-0.038	-0.040	-0.041
2	-0.066	-0.070	-0.073	-0.064	-0.068	-0.072	-0.063	-0.067	-0.072	-0.061	-0.066	-0.069	-0.059	-0.063	-0.070
3	-0.076	-0.083	-0.090	-0.072	-0.080	-0.084	-0.070	-0.077	-0.084	-0.068	-0.075	-0.081	-0.068	-0.072	-0.078
4	-0.070	-0.081	-0.092	-0.066	-0.068	-0.069	-0.063	-0.074	-0.084	-0.060	-0.071	-0.081	-0.057	-0.067	-0.076
5	-0.052	-0.066	-0.080	-0.049	-0.063	-0.076	-0.046	-0.060	-0.072	-0.044	-0.058	-0.070	-0.041	-0.054	-0.065
6	-0.020	-0.042	-0.058	-0.024	-0.040	-0.055	-0.023	-0.038	-0.056	-0.022	-0.037	-0.050	-0.020	-0.034	-0.046
7	+0.006	-0.014	-0.032	+0.004	-0.012	-0.030	+0.004	-0.012	-0.028	+0.004	-0.012	-0.026	+0.004	-0.010	-0.024
8	+0.038	+0.019	-0.002	+0.034	+0.015	-0.002	+0.032	+0.015	+0.000	+0.030	+0.015	+0.000	+0.029	+0.014	+0.000
9	+0.066	+0.046	+0.026	+0.062	+0.043	+0.025	+0.059	+0.041	+0.024	+0.056	+0.039	+0.022	+0.051	+0.036	+0.020
10	+0.090	+0.070	+0.050	+0.084	+0.065	+0.048	+0.080	+0.062	+0.044	+0.076	+0.058	+0.042	+0.070	+0.054	+0.040
9'	+0.100	+0.086	+0.066	+0.099	+0.080	+0.062	+0.094	+0.076	+0.059	+0.090	+0.072	+0.056	+0.083	+0.068	+0.052
8'	+0.112	+0.092	+0.073	+0.105	+0.090	+0.069	+0.100	+0.082	+0.066	+0.095	+0.079	+0.063	+0.089	+0.074	+0.059
7'	+0.108	+0.089	+0.071	+0.102	+0.085	+0.068	+0.098	+0.081	+0.065	+0.094	+0.079	+0.063	+0.088	+0.074	+0.060
6'	+0.096	+0.079	+0.063	+0.092	+0.076	+0.062	+0.088	+0.074	+0.059	+0.086	+0.071	+0.057	+0.081	+0.068	+0.055
5'	+0.078	+0.064	+0.050	+0.076	+0.062	+0.050	+0.073	+0.066	+0.048	+0.072	+0.060	+0.047	+0.070	+0.057	+0.046
4'	+0.058	+0.046	+0.036	+0.057	+0.046	+0.036	+0.054	+0.044	+0.035	+0.054	+0.046	+0.034	+0.053	+0.044	+0.034
3'	+0.036	+0.028	+0.022	+0.036	+0.028	+0.022	+0.036	+0.028	+0.022	+0.036	+0.028	+0.022	+0.036	+0.028	+0.022
2'	+0.019	+0.014	+0.010	+0.018	+0.014	+0.010	+0.019	+0.014	+0.010	+0.018	+0.014	+0.010	+0.019	+0.014	+0.011
1'	+0.006	+0.004	+0.003	+0.006	+0.004	+0.003	+0.006	+0.004	+0.003	+0.006	+0.004	+0.003	+0.006	+0.004	+0.003

附註：表中未列之數，按照比例算之

圖 五

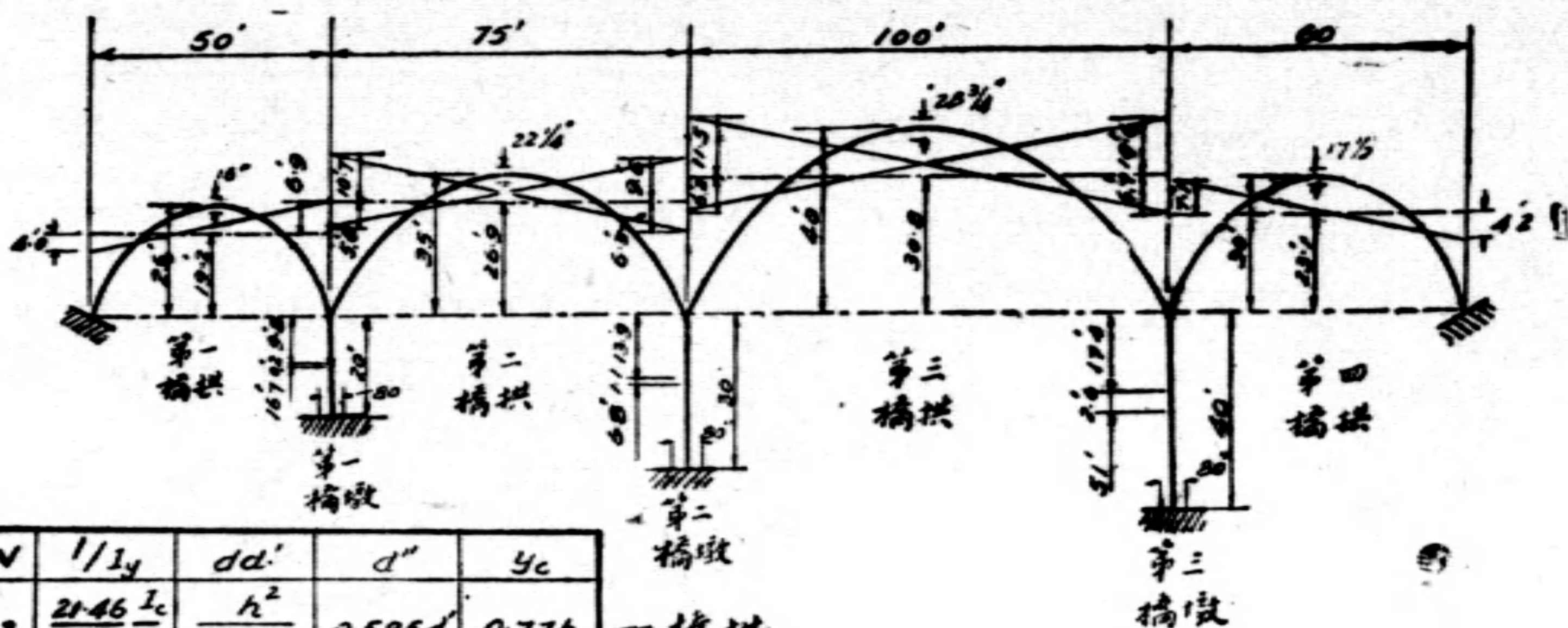
第二列：因橋墩之寬狹，上下一致。故  $I_y = 2 \int_0^{h/2} \frac{h^2 dh}{EI} = \frac{h^3}{12EI}$ ，因 E 為常數，故

暫省略不計，以下同此。所以  $\frac{1}{I_y} = \frac{12}{h^2} \cdot \frac{I}{h}$ ，至於  $dd'$  之值，則等於  $\frac{1}{\frac{1}{A}}$ ，因  $\frac{1}{A}$

$$= \int_0^h \frac{dh}{I} = \frac{h}{I}，故 dd' = \frac{h^2}{12} \cdot y_c = \frac{2 \int_0^{h/2} h \frac{dh}{I}}{A} = \frac{\frac{h^2}{2I}}{\frac{h}{I}} = \frac{h}{2}。$$

第三列：因拱肋面之寬度為一定，故  $I_c \propto t^3 \therefore \frac{1}{I_y} \propto \frac{t^3}{Lh^2}$ 。如假定第一拱之  $\frac{1}{I_y}$  為

$$1，則第二拱之 \frac{1}{I_y} = \frac{\left(\frac{22\frac{1}{4}}{12}\right)^3}{75 \times 35^2} \div \frac{\left(\frac{16}{12}\right)^3}{50 \times 25^2} = 0.92，其他做此。$$



	m	N	$\frac{1}{I_y}$	$dd'$	$d''$	$y_c$	
第一列	0.4	0.2	$\frac{21.46}{h^2} \frac{1}{L}$	$\frac{h^2}{3.12}$	$0.585d$	$0.77h$	→ 橋拱
第二列	橋墩寬度 上下一律	$\frac{12}{h^2} \frac{1}{h}$	$\frac{h^2}{12}$	—	—	$\frac{1}{2}h$	→ 橋墩

第三列	$\frac{1}{I_y} \propto \frac{t^3}{Lh^2}$	1		0.92		1.12		0.76		
第四列	相對之 $\frac{1}{I_y} \propto \frac{t^3}{h^3} \frac{12}{21.46}$		274		81		34.1			
第五列	$\Sigma$		276		83		36			
第六列	分配數 %	0.35	0.33	1.11		1.35	3.10	2.10		
第七列	$x y_c$	$x(-100) = -2740$ $x(+19.2) + 19$ $+ 25 = x(+26.9) =$ $\frac{-2696}{276}$ 98 = $\bar{y}_c$	$x(-15) = -1215$ $+ 35 = x(+30.8) =$ $\frac{-1155}{83}$ 13.9 = $\bar{y}_c$	$x(-200) = -682$ $+ 35 = x(+30.8) =$ $\frac{-629}{36}$ 17.4 = $\bar{y}_c$						
第八列	$d$	290	0.2	36.7	40.8	1.1	44.7	48.2	26	40.5
第九列	$d' \begin{cases} \frac{h^2}{3.12d} = \\ \frac{h^2}{12d} = \end{cases}$	6.9		10.7	9.6		11.5	10.6		7.1
第十列	$d'' = 0.585d'$	4.0		6.3	5.6		6.7	6.2		4.2
第十一列	$d(d' + d'') \frac{1}{I_y} =$	1040	9180	1600	1900	6160	2820	3180	4760	1460
第十二列	$\Sigma$		11820			10880			9400	
第十三列	%	8.8		13.5	17.5		26.0	33.8		15.5
第十四列	$x \frac{d_0 - d_0''}{d_0 + d_0''} =$	$x \frac{25}{359}$		$x \frac{34.5}{47.4}$	$x \frac{31.1}{50.4}$		$x \frac{41.5}{56.2}$	$x \frac{38.5}{58.8}$		$x \frac{36.3}{47.6}$
第十五列	力矩傳遞數 %	6.1		9.9	10.8		19.2	22.1		11.8

(第二表)

第四列：因橋拱之  $\frac{1}{I_y}$  常數為 21.46，而橋墩為 12，故相對之  $\frac{1}{I_y} \propto \frac{t^3}{h^3} \cdot \frac{12}{21.46}$

$$\therefore \frac{\left(\frac{80}{12}\right)^3}{20^3} \times \frac{12}{21.46} \div \frac{\left(\frac{16}{12}\right)^3}{50 \times 25^2} = 274$$

第五列：在同一接點處，將第三列與第四列所得之數，相加即得。如  $1 + 274 + 0.92 = 276$ 。



但  $\Sigma \frac{1}{I_y} = 267$ ，所以  $\bar{y}_c = -\frac{2696}{276} = -9.8$

第八列：求  $d$  之值，應使  $\Sigma \frac{d}{I_y} = 0$ ，

但於第七列所求得之  $\Sigma \frac{y_c}{I_y}$ ，并不等於 0，

故  $x$  軸應向下移動 9.8 呎，方能使  $\Sigma \frac{d}{I_y} = 0$ ，故橋墩之  $d = 10 - 9.8 = 0.2$ ，第一拱之  $d = 19.2 + 9.8 = 29.0$ 。

第九列：為求  $d'$  之用，由第一列得橋拱之  $dd' = \frac{h^2}{3.12} \therefore d' = \frac{h^2}{3.12d}$ ，故第一拱之  $d' = \frac{25^2}{3.12 \times 29} = 6.9$  其他做此。

第十列：因  $d'' = 0.585d'$   $\therefore$  第一拱之  $d'' = 0.585 \times 6.9 = 4.0$ 。

第十一列： $d(d'+d) \frac{1}{I_y} \therefore$  第一拱之  $d(d'+d) \frac{1}{I_y} = 29.0(6.9+29.0) \times 1 = 1040$ 。

第十二列：在同一接點處，將第十列與第十一列所得之值，相加即得。如第一接點處  $= 1040 + 9180 + 1600 = 11820$ 。

第十三列：本列為力矩分配因子  $= \frac{1040}{11820} = 8.5\%$ 。

第十四列：本列之  $\frac{d_b - d_a''}{d_a + d_a''}$ ，其算法如在第一拱  $= \frac{29.0 - 4.0}{29.0 + 6.9} = \frac{25}{35.9}$  在第二拱  $= \frac{40.8 - 6.3}{36.7 + 10.7} = \frac{34.5}{47.4}$ 。

第十五列：為力矩傳遞因子  $= 8.8\% \times \frac{25}{35.9} = 6.1\%$ 。

第三表：將第二表所算得之推力傳遞因子，及力矩傳遞因子，按各該地位，表明於圖上，然後計算固定端之力矩及推力。設有一荷重  $0.2^t = 200\#$  作用於  $BC$  之孔內，拱冠  $D$  處，如第三表所示。按照 Whitney 之曲線，自第五圖查得  $M = 0.054PL = 1080$  自第五圖查得  $H = 0.256 \frac{L}{h} p = 128$ 。

因推力之作用，對於  $o$  點所發生之力矩，等於推力乘以力臂 ( $\bar{y}_c$ )，故在  $B$  點不平衡力矩之總數，應等於  $1080 + 128 \times 13.9 = 1080 + 1780 = +2680$ 。

步驟一：在  $B$  點之右端之不平衡推力為  $+128$ ，應傳至  $A$  之左端為  $128 \times 1.11\% = +1.42$ 。由  $B$  之右端傳至  $C$  之左端為  $-[+128 \times 1.35\%] = -1.73$ 。(因在同一之跨徑內，根據 Cross 之定則，傳遞過去之數值，應與原符號相反)。最後將傳遞之推力相加，如在  $B$  之右端  $= -3.98 + 0.05 = -3.93$ 。

步驟二：將不平衡推力與  $d$  之乘積，化作不平衡之力矩，如在  $B$  之右端  $= -3.93 \times 44.7 = -176$ 。然後與原有之不平衡力矩求其總和，故在  $B$  之右端之不平衡力矩之總數  $= -176 + 2860 = +2684$ 。

步驟三：將步驟二所得之不平衡力矩之總和，分配而傳遞之。如在  $B$  之右端之不平衡力矩之總和，應傳至  $A$  之右端者，為  $2684 \times 10.8\% = +290$ ，再由  $A$  之右端傳至  $B$  之左端者，為  $-(+290 \times 9.9) = -29$ ，但在  $B$  點之不平衡力矩，為  $-29$  與  $+114$  之差，故由  $B$  點再傳至  $C$  之左端時  $= -[+114 - (-29)] \times 19.2\% = -28$ 。似此連續舉行，及至收斂將近於零。然後將各點之傳遞力矩，加以總和。如在  $B$  之右端等於  $-713 + (+114) + (-30) + (+6) + (-2) = -625$ 。

步驟四：將步驟三所得之不平衡力矩，化作推力。即將以上所得之傳遞力矩，被  $d - d''$  之值所除。如  $B$  之右端等於  $\frac{-625}{44.7 - 6.2}$

$$= \frac{-625}{38.5} = -16.25$$

以上四個步驟，既經完畢，即完成一個循環。然後再依照步驟一之規定，重行分配。及至收斂近似於零而後已。再將所有之步驟一所得之推力，求其總和，如在  $B$  之右端之總推力  $= -3.93 + (+0.30) = -3.63$ 。

化作力矩及推力之一步驟，即將各點推



力之總和，得該點之推力，如  $B$  點之推力  
 $= -3.63 + (-1.47) + (-16.25) + (-9.70)$   
 $= -31.05$  是也。化作力矩時，係按照該推  
 力之性質，作用於位變推力線或轉動推力線  
 上，而後乘以力臂，如係因推力之傳遞而得  
 之推力，則作用於『位變推力線上』，故應  
 乘以  $y_c$ ，如在  $B$  點  $(-3.63 - 1.47) \times 30.8$   
 $= -5.10 \times 30.8 = -157$  是也。倘因傳遞之  
 力矩化作推力者，則作用於『轉動推力線  
 上』。故應乘以  $y_c + d'$  或  $y_c - d''$ ，如在  $B$   
 點  $-16.25 \times (y_c + d') = -16.25(30.8 - 6.2)$   
 $= -16.25 \times 24.6 = -400$ ，及  $-9.70 \times (y_c$

$+d) = -9.70 \times (30.8 + 11.5) = -9.70 \times 423.$   
 $= -410$ ，所以在  $B$  之總分配力矩，等於  
 $-157 + (-400) + (-410) = -967$ 。

在  $D$  之力矩，等於在  $B, C$  二力矩之平  
 均值，（故寫於  $\frac{-1064 - 967}{2} = -1015$ ）及  
 推力與拱高之乘積，求其總和，即該點總分  
 配之力矩。再與固定端之力矩總和，即該點  
 之真正力矩。其詳見表末。至於  $D$  點之固  
 定端力矩則等於  $M - H \times h + V \times \frac{L}{2} = 1080$   
 $- 128 \times 40 + 100 \times 50 = +960$ 。

# 新 昌 營 造 廠

HSIN CHONG & CO.

◆ 承 包 建 築 工 程 ◆

現正進行中者有

南華鐵工廠

益豐搪瓷廠

大中國火柴廠等

及英軍部一切工

程

事務所：

雪廠街十八號

電話：二〇五七二

# 多相交流發電機之瞬間短路電流

李 宓

**摘要：**本文由磁鏈 (flux linkage) 不變與電阻為零兩假定，分析在短時電機內部電樞線捲與磁場線捲間之反應，及 Kilgore 氏之瞬流漏抗計算方法，一切推演，俱根據基本物理觀念，避免應用高深數學。

## (一) 電阻為零磁鏈不變兩假定

根據林慈定律 (Lenz's law)，當一通路線圈在磁場中移動，或磁場對線圈移動，則線圈中發生感應電流，此感應電流常取可阻止此種相互運動之方向，故此種變位運動需加入相當之機械能 (mechanical energy) 始能完成，換言之，在此相互變位之過程中，有相當之機械能變為電能而蓄諸磁場之中也。如此線圈之電阻為零，則電能將存於磁場之中，永不消失，亦即在此線圈內之感應電流，其值將維持不變。然在普通線圈之中，電阻之存在，在所不免，故感應電流逐漸減小，以至於零，電能遂變為熱能而消失。今設  $i$  表變位後  $t$  秒之感應電流值， $I_0$  表變位甫成時之感應電流值，(變位所需之時間幾為零)， $R$  表線圈電阻， $L$  表線圈之自感係數， $E$  表感應電流為  $i$  時之電能，而以變位完成之瞬間為時間之出發點，線圈內之電容略去不計，則

$$Ri + L \frac{di}{dt} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

解之得  $i = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} \dots\dots\dots (2)$

自(1)式  $Ri^2 dt = -Li di$

積分得  $-\frac{1}{2}i^2 \times L = \int Ri^2 dt$

$$\begin{aligned} &= \text{銅耗} \\ &= -E \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

(2)式表感應電流之變化情形， $t$  愈大， $i$  之值愈小，(3)式表示電能因電阻之存在而消失。

因感應電流取阻止變位之方向，故其發生之磁鏈之方向，因運動之方向不同而異，如變位減少磁鏈，則感應電流所產生之磁鏈之方向，與磁場對線圈所產生者同，否則互異。此項作用，可維持線圈之磁鏈，不因變位而異。

上段所述磁鏈不變現象，僅在變位完成之瞬間為然，且變位所需之時間應為零，否則該時磁鏈亦較未變位時略小，蓋在此情況下，感應電流之發生，始於變位之開始，而不始於變位之完成，在變位期間內，有銅耗之存在也。如線圈內之電阻阻甚小，則在變位完成後之短期間內，線圈內之電流，可視為一定不變，故其磁鏈之和，亦可視為一定不變。在交流發電機中，短路完成所經過之時間，即變位所需之時間，其值極小，幾等於零；加之電樞線捲與磁場線捲之電阻，遠較其感抗為小，故在計算瞬間最大電流時，俱可視為無電阻之線圈，假定磁鏈不變，自不致有嚴重之錯誤。

## (二) 短路時實際現象說明

多相交流機若僅有單相短路，其現象與單相機之短路相同，所異者最大短路電流發生之位置，略有不同耳。單相機之短路問題，在本文範圍以外，故不論，本文所謂短路，乃三相同時在額定電壓 (rated voltage) 下短路之謂，(短路前電樞電流為零)。

最大短路電流發生之位置，可由下述方

法求得之。

設  $E_m$  表最大瞬間交流電壓值， $L$  表自感係數 (電樞線捲/每相)， $\omega$  表轉動子之角速 [angular speed 用電位角 (electrical space angle)/秒表示]， $\alpha$  表短路時電樞線捲對磁場之相互位置 (用電位角表示)，

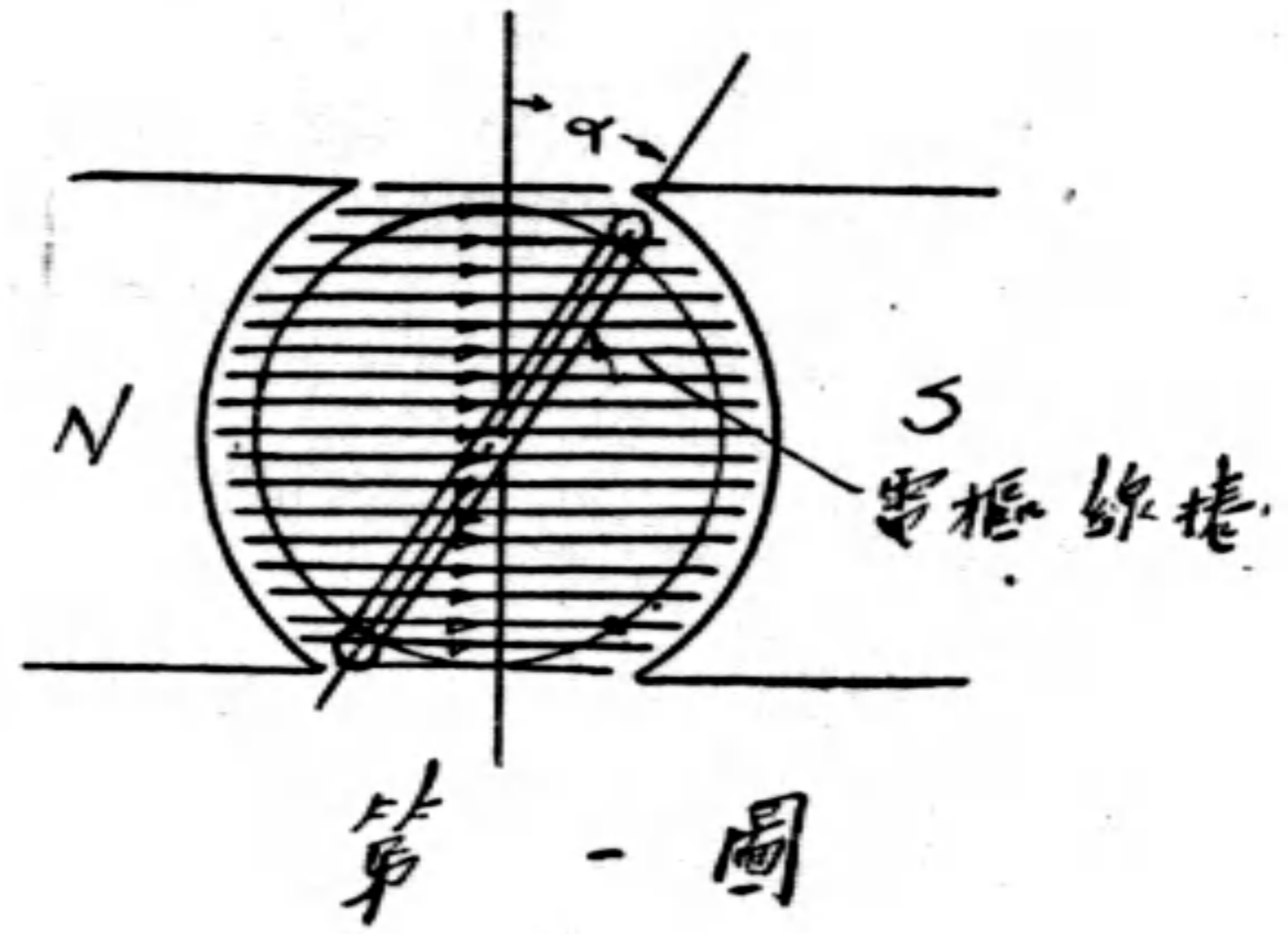
$$e = E_m \sin(\omega t + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (4) \textcircled{1}$$

解之得

$$i = \frac{-E_m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin\left(\alpha - \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}\right) e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin\left(\omega t + \alpha - \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}\right) \dots \dots \dots (5)$$

式中第一項為直流成分 (D. C. Component)，即維持磁鏈不變，而產生之感應電流。第二項係交流成分 (A. C. Component)，其振幅雖亦逐漸減小，但至相當之值後，即維持不變，此現象不能在上式中看出，因推演時，磁場線捲與電樞線捲之互誘關係，略去未計也。若  $\alpha = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} \pm \frac{\pi}{2}$ ，則直流成分之值最大，換言之，即在此時短路所得之瞬間短路電流值最大。若  $\alpha = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$ ，則短路時之瞬間短路電流中無直流成分存在，故瞬間短路電流之值最小。就交流機之電樞線捲而論， $\tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$  之值幾等於  $90^\circ$ ，故求最大短路電流之發生，電樞線捲在短路

時對磁場之相互位置  $\alpha$  應等於  $0$ ，或  $\pi$ ，而求最小短路電流之發生，則  $\alpha$  應等於  $\frac{\pi}{2}$ 。由此可知在電樞線捲包含最大磁鏈值時短路，可得最大短路電流，若短路發生於電樞線捲內包含之磁鏈值為零時，則短路電流最小。此種關係，可由第一圖明之。

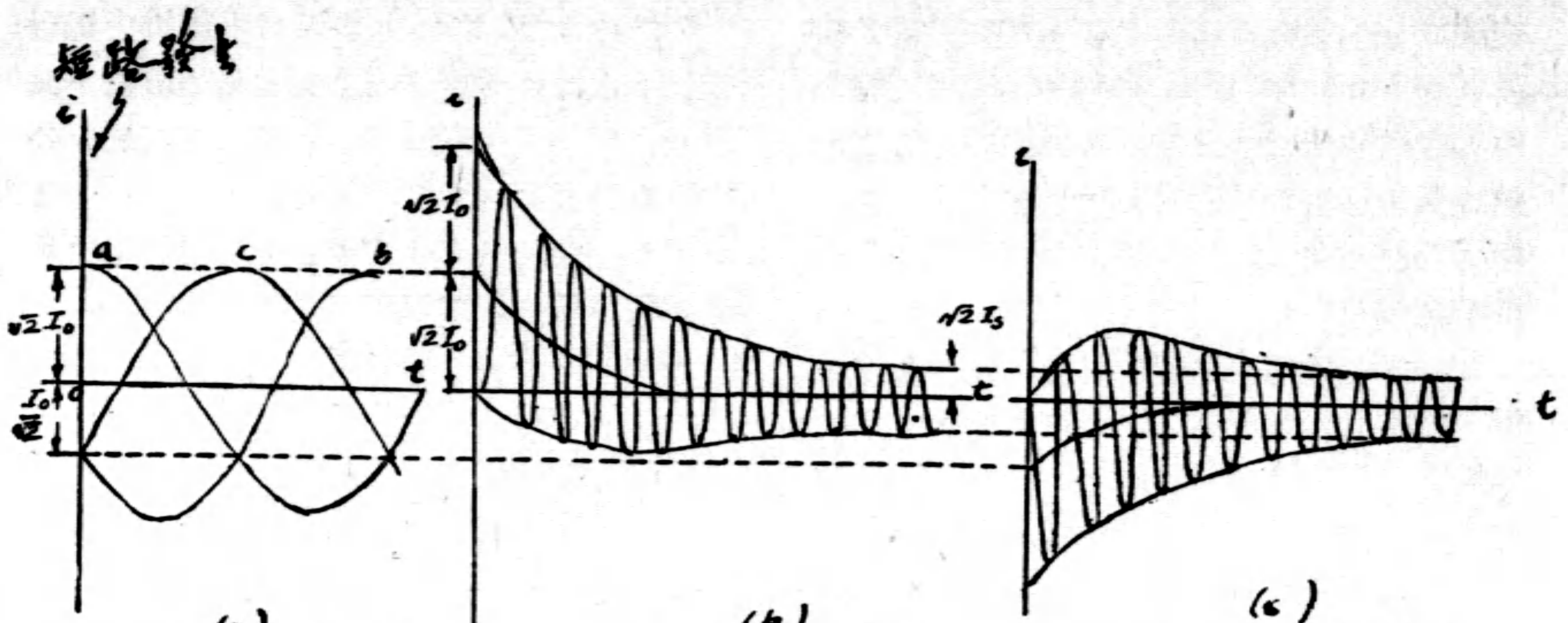


第二圖中 (a)，表示短路甫生瞬間各相所發生之釋磁電流，(瞬間短路電流中之交流成分)，如命其實效值為  $I_0$ ，則最大之釋磁電流為  $\sqrt{2} I_0$ ，(b) (c) 表示各相短路後電流值之變化情形，因各相線捲在短路發生之瞬間，驟有釋磁電流產生，其影響足使電樞各相線捲中之磁鏈減少。根據磁鏈不變假定，線捲中同時應有大小相等方向相反之電流產生，故在短路發生之瞬間，短路電流之值應為零。上述因維持磁鏈不變而產生之感應電流，(即瞬間短路電流中之直流成分)，其值因線捲內之銅耗逐漸減小。

① 此式中略去  $M \frac{di_f}{dt}$  一項，式中  $i_f$  表磁場捲中所生之感應電流， $M$  表互誘係數 (coefficient of mutual induction)，其值之變化情形，可以下式表之 (近似)，互誘係數  $M = M_m \cos(\omega t - \alpha)$ ， $M_m$  表最大互誘係數， $\alpha$  表電樞線捲之軸與磁場線捲之軸 (axis) 間之電位角， $i_f$  之值可以  $I_f e^{\frac{R_f t}{L_f}}$  表之 (參閱附註)，故第 (4) 式又可書為

$$E_m \sin(\omega t + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt} + M_m I_f \times \frac{R_f}{L_f} \times e^{\frac{R_f t}{L_f}} \times \cos(\omega t + \alpha)$$

( $I_f$  為短路瞬間磁場線捲中之感應電流)



(a) 短路瞬間各相之釋磁電流(即短路電流中之交流成分)時間坐標(Time-axis)已放大若干倍

(b) a相之短路電流

(c) b相之短路電流

第 二 圖

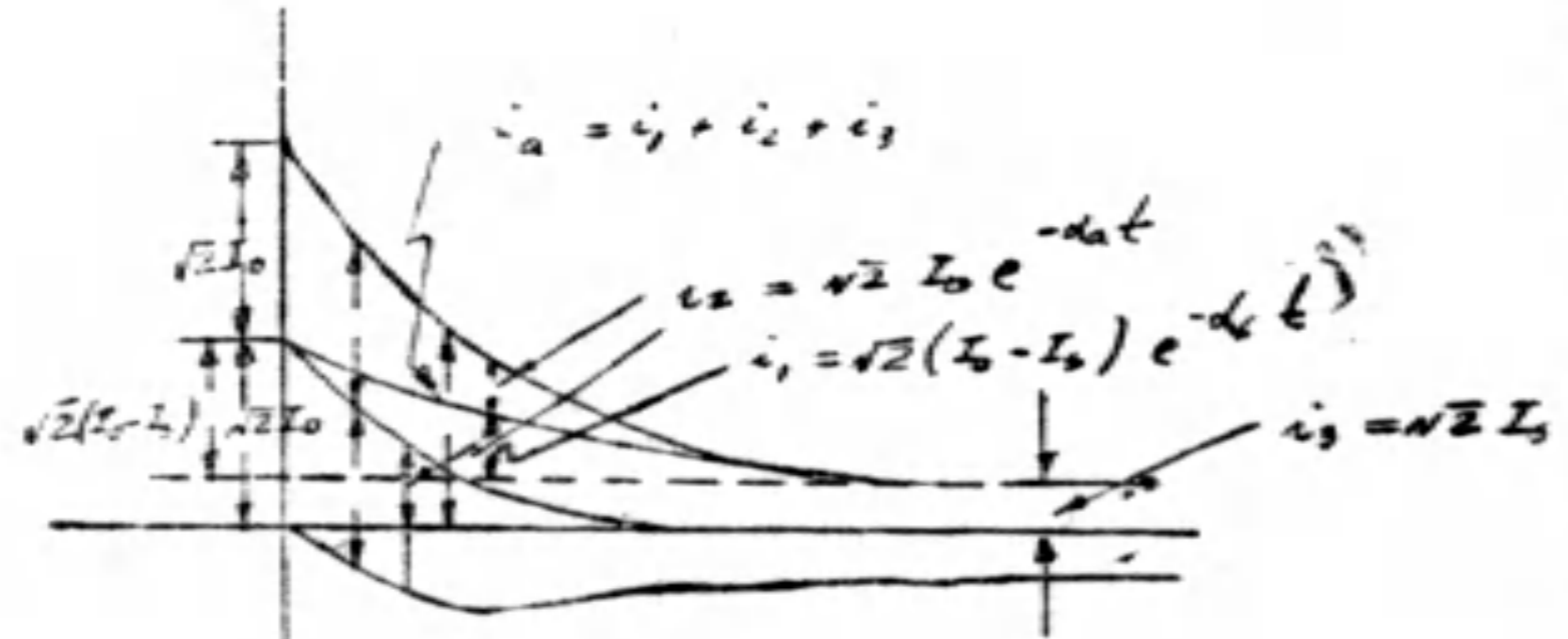
注意：(a)圖中時間軸上之單位長與(b)(c)二圖不相同，前者遠較後者為大。

設短路發生前瞬間電樞線捲所有之磁鏈之方向為正，則感應而生之直流成分亦為正，釋磁電流為負。電樞位置變動等於  $90^\circ$  (電位角)時，磁場對線捲所產生之磁鏈為零，故交流成分之瞬間值亦為零。此時線捲中之短路電流等於直流成分。電樞位置變動等於  $180^\circ$ 時，磁場對線捲所產生之磁鏈為負。如須維持磁鏈不變，則此時之交流成分當為勵磁電流，易言之，其值為正。故此時之瞬間短路電流係直流成分及交流成分之代數和

，其值最大，即所謂最大瞬間短路電流者也。以下各週波瞬間短路電流之變化情形，可以類推得之。

瞬間短路電流之電樞反應，其大小與其對磁極之相互位置，隨時變動，絕不一定。茲可分為直流成分之電樞反應，與交流成分之電樞反應，二者討論之。

一、交流成分之電樞反應： 交流成分之電樞反應，其大小雖隨時而變，而其與磁極之相互位置，則有一定。有短路時，恰與磁極相對，因電流對電壓間之滯角，幾為  $90^\circ$  也。短路發生之瞬間，電樞反應驟然增大，故磁場線捲所包含之磁力線，驟然減少。根據磁鏈不變假定，此時磁場線捲中，應有感應電流產生，其值足使磁場線捲中之磁鏈，維持不變。換言之，即此磁場線捲中之勵磁電流，驟然增大也。如磁極上有阻厄線捲 (damping winding) 存在，則其中亦有勵磁電流產生，因其抗阻 (impedance) 之值甚小，故電流之值甚大。此種情形，與變壓器同，惟堪為吾人注意者，即電樞線捲中



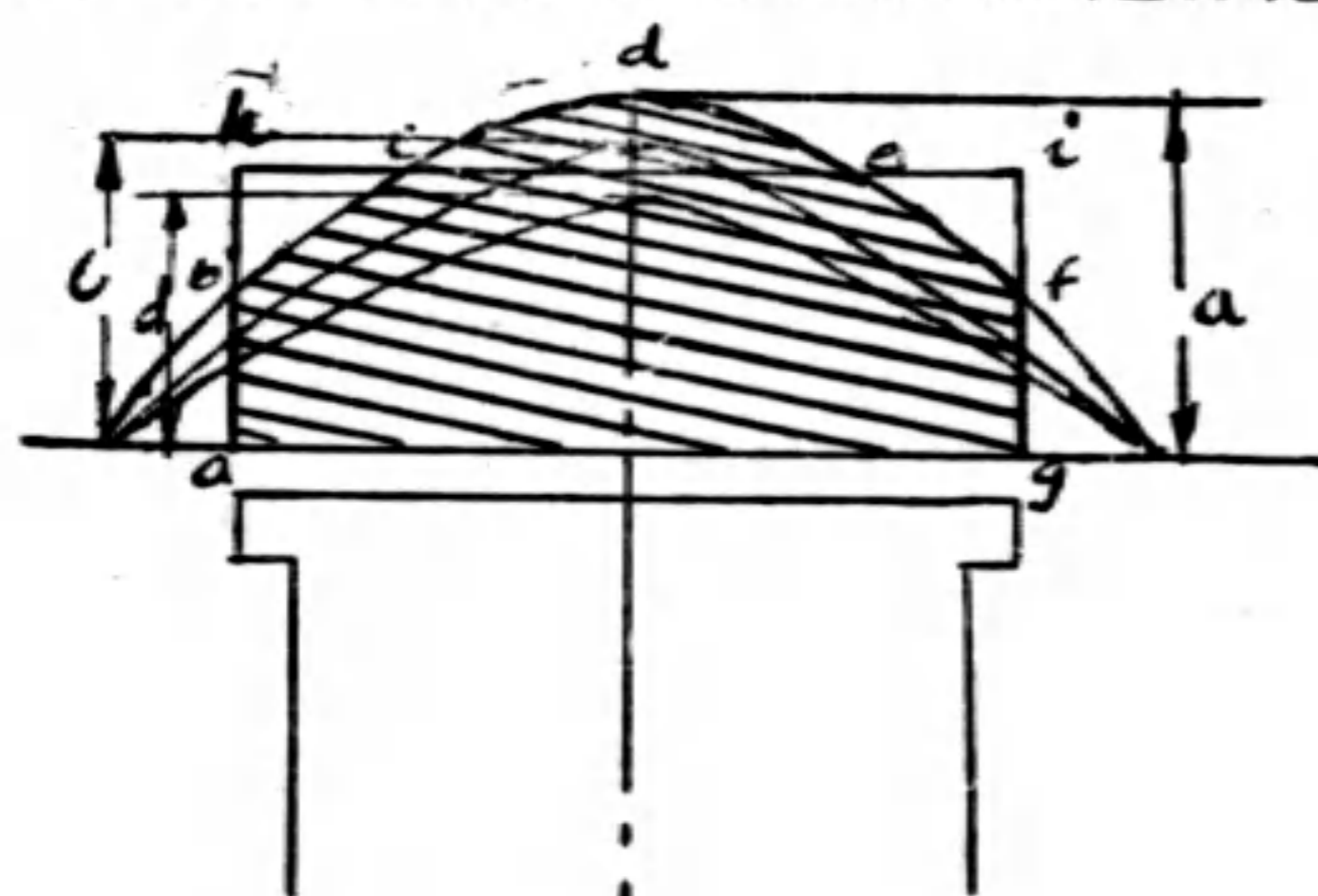
第 三 圖

- $I_0$  表 持續短路電流之值
- $d_2$  表 電樞線捲之減幅常數  $(= \frac{R_0}{L_0})$
- $d_1$  表 磁場線捲之減幅常數  $(= \frac{R_f}{L_f})$

交流成分，對磁極所產之基本(週率)磁力線波(fundamental flux wave)，非磁場線圈內勵磁電流所產生之基本磁力線波，或磁場線捲與阻厄線捲二者內勵磁電流所生之基本磁力線波之向量和(vector sum)所能完全抵消，其故有二：

一、各線捲內之勵磁電流，雖可產生磁鏈，維持其本身所包含之磁鏈數不變，然因磁極間有漏磁導(leakage permeance)，一部磁鏈之方向，不復穿過磁極，直達電樞鐵心。故電樞線捲中交流成分所產生之磁力線，其侵入磁場線捲者，中有一小部份，不能為勵磁電流所產生之磁力線所抵消也。

二、電樞與磁極間之反應，實際可視為電樞電流對磁場所產生之基本磁力線波，與磁極本身所產生之基本磁力線波間之反應，其他如磁極之次磁力線波(harmonics of flux wave)，對電樞所生之反應，影響甚微。電樞電流所產生之次磁力線波，其對電樞線捲之反應，與漏抗同故，可彙入漏磁之中。今電樞線捲與磁場線捲及阻厄線圈之分佈因數不同，故即使後者中勵磁電流所產之磁力線數量與侵入其中之磁力線同，方向恰彼此相對，其基本磁波彼此間，亦不能相消，此可由下圖明之(略去阻厄線捲)。



面積  $abcdefg = \text{面積 } ahig$

第 四 圖

$\psi = \frac{\text{磁極面之寬 (Width of Pole Shoe)}}{\text{極距 (Pole Pitch)}}$

圖中面積  $ahig$  表示磁場線捲中勵磁電流(感應而生者)所產生之磁力線數，面積  $abcdefg$  表示瞬間短路電流交流成分對磁極新產生磁力線數。前者比後面小，已如前述，今即令二者相等，則電樞線捲所產生之基本磁力線波之幅

$$a = \frac{2}{\pi} \int_{\frac{(1-\psi)\pi}{2}}^{\frac{(1+\psi)\pi}{2}} A \sin^2 \theta d\theta$$

$$= A \times \frac{\psi\pi + \sin \psi\pi}{\pi} \dots\dots\dots (6)$$

磁場線捲所產生之基本磁力線波之幅

$$f = \frac{2}{\pi} \int_{\frac{(1-\psi)\pi}{2}}^{\frac{(1+\psi)\pi}{2}} F \sin \theta d\theta$$

$$= \frac{4}{\pi} F \sin \left( \frac{\psi\pi}{2} \right) \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{今 } F = \frac{1}{\psi\pi} \int_{\frac{(1-\psi)\pi}{2}}^{\frac{(1+\psi)\pi}{2}} A \sin \theta d\theta$$

$$= \frac{2A \sin \left( \frac{\psi\pi}{2} \right)}{\psi\pi}$$

代入(7)式得

$$f = A \times \frac{8 \sin^2 \left( \frac{\psi\pi}{2} \right)}{\psi\pi^2} \dots\dots\dots (8)$$

比較(6)式與(8)式，可知  $a$  與  $f$  不能相等， $a$  恆較大，如面積  $abcd$  小於面積  $abefg$ ，則  $a$  與  $f$  之值，相差尤巨，固極顯而易見也。

電樞線捲交流成分，對磁場所產生之基

本磁力線波，既不能為磁場線捲（及阻厄線捲一如有阻厄線捲）內感應勵磁電流所產生之基本磁力線波完全抵消，故其相差之值，尙可在電樞線捲中產生一感應電壓，因其以同期速度對電樞線捲運動也。此感應電壓之相位，與剩餘之基本磁力線波同，而滯於電流之後約  $90^\circ$ ，其對電樞之反應，完全與漏抗降落 (leakage reactance drop) 相同，故此剩餘之基本磁力線波，可以彙入漏磁之中。此項漏磁為電機中平時所無，瞬流漏抗所以較平時漏抗大者，即由於此也。

此外尙有值得吾人注意者，即根據上述觀念計算而得之瞬流漏抗，其值恆失之過大，此無他，蓋因鐵心充磁飽和之影響，未嘗計入也。在短路之瞬間，電機內各部鐵心之磁力線密度，與未短路時相同，其值甚高（幾近飽和數值），故電樞線捲中短路電流交流成分所產生之磁場，與磁場線捲中之感應勵磁電流所產之磁場，不能產生計算時所預想可得之磁力線數，因此剩餘電磁力線波之磁力線數，與電樞線捲漏磁之和，小於計算所得，亦自在意料之中。如電機之礪磁曲線 (magnetizing curve or saturation curve) 已知，則漏抗（瞬流）之實際值亦可以精密計算，惟甚繁複。根據實際測驗，充磁飽和之現象，約可使瞬流漏抗之值減低 12%，故通常為簡便計，瞬流漏抗之實際值，即可用 0.88 乘計算所得之值而得也。

因磁場線捲及阻厄線捲中有電阻存在，感應電流逐漸減小，以至於零，其產生之磁力線波，亦隨同減小至零，電樞反應，逐漸增大，至磁場線捲及阻厄線捲中之感應電流為零時，其值最大，且維持不變，而短路電流，則逐漸減小以至持續短路電流 (sustained short-circuit current) 之值矣。故短路電流振幅之外包線，可由磁場線捲及阻厄線捲之減幅常數 (attenuation factor) 決定之，第三圖中所示，即無阻厄線捲之多相交流機之瞬間短路電流之變化情形也。

**二、直流成分之電樞反應：** 在短路之瞬間，直流成分所構成之基本磁力線波，大小與交流成分構成者相同，而方向相反，故其對磁極磁場，有勵磁之效應，（此效應使該時交流成分之釋磁效應等於零）。直流成分所構成之磁場，大異於交流成分所構成之磁場者，即其對電樞之位置一定，而對磁極則有反向之同期速度，其影響可使磁極磁力線波之幅，依基本週率而變化，此種變化，可在線捲（磁場與阻厄）中產生一同週率之電壓，因此電壓而產生同週率之電流，此電流之方向，在維持磁場線捲及阻厄線捲中之磁鏈不變。阻厄線捲之電阻極小，故感應而生之磁力線，恰與直流成分所產生者相對（位相），故幾能全部抵消，如無阻厄線捲，則因磁場線捲之電阻及漏磁較高，其感應而生之磁力線（有效），位相不恰與侵入線捲之磁力線相對，數量亦比較懸殊，故僅能抵消一部。磁極之磁力線波上，仍有依基本週率而變化之紋波 (ripple) 存也。此種磁極，以同期速度轉動，可在電樞線捲中產生二次諧波電流 (second harmonic current)，二次諧波電流在多相電樞線捲中之電樞反應為零，故對磁極無何影響，直流成分對電機內部之影響，即止於此。二次諧波電流之值極小，（比較基本週率電流），在尋常示波器 (oscillograph) 上，不能看到，惟磁場線捲中依基本週率而變化之阻厄電流 (damping current, 即因直流成分所構成之磁場而產生之感應電流)，則極為明顯。

因電樞內有銅耗，瞬間短路電流之直流成分，逐漸減小，以至於零，故直流成分所構成之磁場，亦隨同減小至零，在短路數秒鐘後，即不復存在矣。

綜合上列所述，可知瞬間短路電流之最大值，可由下式表明之（參閱第三圖）。

$$i_a = i_1 + i_2 + i_3 \\ = \sqrt{2} (I_0 - I_0) e^{-t/\tau} + \sqrt{2} I_0 e^{-t/\tau}$$

$$+\sqrt{2} I_s \dots\dots\dots (9) \textcircled{\bullet}$$

式中  $I_s$  表持續短路電流， $I_0$  表在短路瞬間，短路電流中交流成分之實效值。如電樞線捲之漏抗，電阻，瞬流漏抗，矩象同期感抗 (Quadrature synchronous reactance)，以及磁場線捲之電阻，漏抗為已知數，則任何時間 ( 短路後 ) 之最大短數電流值，俱可求得，惟如短路時  $\alpha \neq 0$  或  $\pi$ ，則上式須略加改動，因該時短路電流中之直流成分，不復為  $\sqrt{2} I_0$  也。設計接近電機之油開關時，其斷路容量 (interrupting capacity) 可由上式求出之。

### (三) 持續短路電流 ( $I_s$ ) 與短路瞬間短路電流中之交流成分之實效值 ( $I_0$ ) 計算

設磁極與電樞鐵心間之距離為  $g$ ，電樞每極之安匝 (ampere turn) 為  $A$ ，電樞鐵心之最小直徑為  $D_a$ ，磁極之數為  $P$ ，電樞每極每單位鐵心長 (公厘) 所可產生之磁力線為  $\varphi$ ，電樞安匝之分佈為正弦形，則

$$\begin{aligned} \varphi &= \int_0^{\frac{\pi D_a}{P}} \frac{1}{g} \times \frac{4\pi}{10} \times A \sin\left(\frac{P}{D_a} x\right) dx \\ &= \frac{1}{g} \times \frac{4\pi}{10} \times A \times \frac{D_a}{P} \cos\left(\frac{P}{D_a} x\right) \Big|_0^{\frac{\pi D_a}{P}} \\ &= \frac{4\pi}{10} A \times \frac{2D_a}{Pg} \dots\dots\dots (10) \\ &= A \cdot \lambda_a \end{aligned}$$

$$\text{式中 } \lambda_a = \frac{4\pi}{10} \times \frac{2D_a}{Pg} \dots\dots\dots (11)$$

Kilgore 氏名之為電樞磁導，此與通義所稱磁導者不同，兩者間差一常數，如用英尺制，則

$$\text{磁導 (Kilgore)} = \text{磁導 (通義)} \times 3.19$$

電樞電流所產生之磁場，對磁極有一定之相互位置，故對電樞線捲有同期之速度，如磁極與電樞鐵心間之磁導，到處相等，則產生之磁力線波與磁場同形，否則互異，基本磁力線波以同期速度旋轉，可在電樞線捲中產生一感應電壓，此感應電壓之位相，與基本磁力線波之位相相同，而滯於電樞電流之後  $90^\circ$  (電時角)；因基本磁力線波之位相，在電樞電流之後  $90^\circ$  (電位角) 也。此感應電壓之值，如以感抗降落代之，則此相當之感抗值 (reactance)，即通常所稱磁化感抗 (magnetizing reactance)，或同期感抗 (synchronous reactance)。電樞線捲中磁極磁場所生之感應電壓，即線端電壓，同期感抗降落，漏抗降落，及電阻降落等之向量和。

在隱極 (non-salient pole) 電機中，電樞電流所產生之磁場對於磁極之影響，與二者間之相互位置無關，故其同期感抗 ( $x_s$ ) 可以下式求得

$$x_s = \frac{\text{基本磁力線波對電樞線捲運動所生之感應電壓}}{\text{電樞電流}}$$

今設  $f$  表週率， $z$  表每相之導體數， $L_c$  表電樞鐵心之長， $n$  表相數， $K_p$  表節距因數 (pitch factor)， $K_d$  表分佈因數，(distribution factor)， $I_a$  表電樞電流 (實效值) 則

$$A = \frac{4}{\pi} \times \frac{n}{2} \times \frac{Z}{2P} K_p K_d \times \sqrt{2} I_a \quad (12)$$

$$x_s = \frac{\frac{\pi}{2} f K_p K_d Z L_c A \lambda_a \times 10^{-8}}{I_a}$$

代入 (12) 式並整理之

$$x_s = f L_c P n \left( \frac{z K_p K_d}{P} \right)^2 \lambda_a \times 10^{-8} \dots\dots\dots (13)$$

顯極 (Salient pole) 電機之電樞反應則不然，電樞電流所產之磁場與磁極之相互位置如不

● 電樞線捲與磁場線捲間之互誘關係，使  $\alpha_f$  與  $\alpha_a$  之值稍異於  $\frac{R_f}{L_f}$  與  $\frac{R_a}{L_a}$ ，但影響甚微，故可略去。

同，同期感抗之值亦異，以二者恰相對時最大，相差之電位角為 90° 時最小，但因極面 (pole shoe) 之寬，小於極距 (pole pitch)，其最大之值亦較  $x_s$  之值為小，固極顯而易見也。電樞磁場與磁極磁場之相互位置，視電樞電流之電力因數而定。電力因數為 1 時，兩者間之電位角為 90°；為 0 時恰彼此相對。故可分電樞電流為兩部，其一產生與磁極相對之磁場，另一產生與磁極相距為電位角 90° 之磁場，前者以  $i_d$  表之，後者以  $i_q$  表之，如命  $X_d$  表直對同期感抗 (direct

axis synchronous reactance)， $X_q$  表象限同期感抗 (Quadrature synchronous reactance)，則顯極電機中之由電樞反應而生感應電壓，可以  $i_d X_d + i_q X_q$  表之， $X_d$  與  $X_q$  又可由下列二式表之，

$$X_d = C_d x_s \dots\dots\dots (14)$$

$$X_q = C_q x_s \dots\dots\dots (15)$$

$C_q, C_d$  為二常數，大致視磁極極面寬度與極距之比值而定，其意義可由下面二式解釋之：

$$C_d = \frac{\text{電樞所產生之磁場正對磁極時，所產生之基本磁力線波之幅}}{\text{在磁極極面寬度等於極距時，同樣磁場所產生之基本磁力線波之幅}}$$

$$C_q = \frac{\text{電樞所產生之磁場與磁極間之電位角為 } 90^\circ \text{ 時，所產生之基本磁力線波之幅}}{\text{在磁極極面寬度等於極距時，同樣磁場所產生之基本磁力線波之幅}}$$

在短路時，電樞電流之電力因數幾為零，故其同期感抗實際即等於  $X_d$ ，其值可由 (14) 式計算得之，式中  $C_d$  之大略值等於

$$\frac{\psi\pi + \sin \psi\pi}{\pi}$$

此可由第四圖 (6) 式中明之，如需精密計算，則

$$C_d = C_1 C_m$$

式中  $C_1$  表磁極基本磁力線之幅，與實際最大磁力線密度之比例值，此值可實際圖繪磁力線分佈圖 (flux plotting) 得之，亦可於 Trans. A. I. E. E. 1927 p141 外斯門氏 (Wiesemann) 論文中直接找出之， $C_m$  表電樞基本磁場所產生之基本磁力線波之幅，與等值 (安匝相等) 之磁極磁場所產生之基本磁力線波之幅，之比例值，此可於下式得之

$$C_m = \frac{\psi\pi + \sin \psi\pi}{4 \sin \psi \frac{\pi}{2}}$$

$$\left( \text{式中 } \psi = \frac{\text{磁極極面寬度}}{\text{極距}} \right)$$

持續短路電流

$$I_s = \frac{V}{R + j(X_d + X_l)}$$

式中  $R$  表電樞電阻， $X_l$  表漏抗，惟  $R$  之值遠較  $X_d + X_l$  為小，故

$$|I_s| = \frac{V}{X_d + X_l} \dots\dots\dots (16)$$

由第四圖，可知瞬間短路電流中交流成分所產生之磁場，僅當磁極極面之一部，磁導最大，因之其所產生之磁力線，幾全部萃集於此，不經磁極極面而另循他途者，數值甚小，可以略去也。如假定空氣隙之長不變，且磁極極面側部之磁導為零，則空氣隙中磁力線密度變化情形，將如第四圖中  $efg$  曲線所示。設電樞每極之安匝為一，則侵入磁場線捲之磁力線  $\varphi$  當為

$$A \lambda_a \sin \frac{\psi\pi}{2} = \lambda_a \sin \left( \frac{\psi\pi}{2} \right)$$

又根據上述假定則 (第四圖，第 (7) 式)

$$\frac{\text{磁極基本磁力線波之幅}}{\text{實際磁極磁力線最大密度}} (C_1) = \frac{4}{\pi} \sin \left( \frac{\psi\pi}{2} \right)$$

$$\text{合併兩式得 } \varphi = \frac{\pi}{4} C_1 \lambda_a \dots\dots\dots (17)$$



故磁場線捲中之磁鏈變動值為  $\frac{\pi}{4} C_1 \lambda_a N_f$ ,

如磁極極面寬度等於極距，則磁場線捲每安匝所可產生之磁力線，當為電樞線捲每安匝

所可產生者之  $\frac{\pi}{2}$  倍，因設磁導為一，則一安

匝（平均）電樞線捲，所可產生之磁力線為

$\int_0^\pi \sin \theta d\theta$ ，亦即為 2，而一安匝磁場線捲所

可產生之磁力線則為  $\pi$  也。今每安匝電樞線

捲可產生之磁力線為  $\lambda_a$ ，故每安匝磁極線捲

所可產生之磁力線為  $\frac{\pi}{2} \lambda_a$ 。

在顯極交流機中，磁極極面寬度小於極距，磁極磁場之平均強度小於磁極磁場之最大強度，設令

$$C_p = \frac{\text{磁極磁力線之平均密度}}{\text{磁極磁力線之最大密度}}$$

則每安匝磁場線捲所可產生之磁力線，當為  $\frac{\pi}{2} \lambda_a C_p$ ，如空氣隙之長度不變，且磁極極

面側部之磁導為零，則  $C_p$  之值大致與  $\psi$  等， $C_p$  之值可由圖繪磁力線分佈圖得之，（若  $C_1$  已知，則可簡單計算得之），若求簡便，逕以  $\psi$  代之可也。

以上所述，僅於磁極間毫無漏磁導時為然，若極間之漏磁導為  $\lambda_f$ ，則每安匝場線捲可產生之漏磁為  $\lambda_f$ ，故可產生之磁力線之總和為

$$\frac{\pi}{2} \lambda_a C_p + \lambda_f, \dots \dots \dots (18)$$

磁場安匝  $N_f I_f$  ( $N_f$  表磁極線捲捲數， $I_f$  表磁極線捲內之電流——因電樞反應感應而生者) 所可產生之磁鏈數為

$$N_f I_f \left( \frac{\pi}{2} \lambda_a C_p + \lambda_f \right) N_f,$$

今設無阻厄線捲

$$\frac{\pi}{4} C_1 \lambda_a \times N_f - N_f I_f \left( \frac{\pi}{2} \lambda_a C_p + \lambda_f \right) N_f = 0 \quad (19)$$

故 
$$N_f I_f = \frac{\frac{\pi}{4} C_1 \lambda_a}{\frac{\pi}{2} C_p \lambda_a + \lambda_f} \dots \dots \dots (20)$$

若以文字表之，則為“短路電流中交流成分所產生之基本磁場，平均每安匝在磁極線捲感應而生之安匝數，應為

$$\frac{\frac{\pi}{4} C_1 \lambda_a}{\frac{\pi}{2} C_p \lambda_a + \lambda_f} \dots \dots \dots \text{也。}$$

$N_f I_f$  所產之磁力線，其影響（或穿過）電樞線捲者為

$$N_f I_f \cdot \frac{\pi}{2} C_p \lambda_a \dots \dots \dots (21)$$

今磁極極面之 (effective width) 相當寬度為  $C_p \times$  極距，故空氣隙中磁力線之最大密度為

$$\frac{N_f I_f \cdot \frac{\pi}{2} C_p \lambda_a}{C_p \times \text{極距}} = \frac{N_f I_f \cdot \frac{\pi}{2} \lambda_a}{\text{極距}} \dots \dots \dots (22)$$

而基本磁力線波之幅則為

$$\frac{N_f I_f \cdot \frac{\pi}{2} \lambda_a}{\text{極距}} \times C_1 \dots \dots \dots (23)$$

其包含之磁力線數（每極）

$$\begin{aligned} \phi_f &= \frac{N_f I_f \cdot \frac{\pi}{2} \lambda_a}{\text{極距}} \times C_1 \times \frac{2}{\pi} \times \text{極距} \\ &= N_f I_f C_1 \lambda_a \dots \dots \dots (24) \end{aligned}$$

代(20)式入(24)式得

$$\phi_f = \frac{\frac{\pi}{4} C_1^2 \lambda_a^2}{\frac{\pi}{2} C_p \lambda_a + \lambda_f}, \dots \dots \dots (25)$$

但電樞線捲中，短路電流交流成分所構成磁場，對磁極所產生之基本磁力線波之磁力線和為  $C_d \lambda_a$ ，.....(26)  
故剩餘基本磁力線波之磁力線數為

$$C_d \lambda_a = \frac{\frac{\pi}{4} C_1^2 \lambda_a^2}{\frac{\pi}{2} C_p \lambda_a + \lambda_f} \dots\dots\dots (27)$$

因此值為電樞中之電流所構成，故其對電樞之反應與漏磁相同，(10)式又可書為

$$x_s = X \lambda_a,$$

式中  $X = L l_c P n \left( \frac{z}{p} K_p K_d \right)^2$

$$\times 10^{-8}$$

故增加之漏抗  $X_f$  應為

$$\left( C_d \lambda_a - \frac{\frac{\pi}{4} C_1^2 \lambda_a^2}{\frac{\pi}{2} C_p \lambda_a + \lambda_f} \right) X \dots\dots\dots (28)$$

設  $X_l$  表漏抗， $X_{lu}'$  表鐵心未充磁飽和時之瞬流漏抗，則

$$X_{lu}' = X_l + X_f \dots\dots\dots (29)$$

$$\text{實際瞬流漏抗 } X_l = 0.88 \times X_{lu}' \dots\dots\dots (30)$$

$$I_0 = \frac{V}{X_l} \dots\dots\dots (31)$$

(31)式中  $V$  表線端電壓

極面漏磁導  $\lambda_f$  等於極端漏磁導與極側漏磁導之和，若命前者為  $\lambda_{fo}$ ，後者為  $\lambda_{fs}$  則

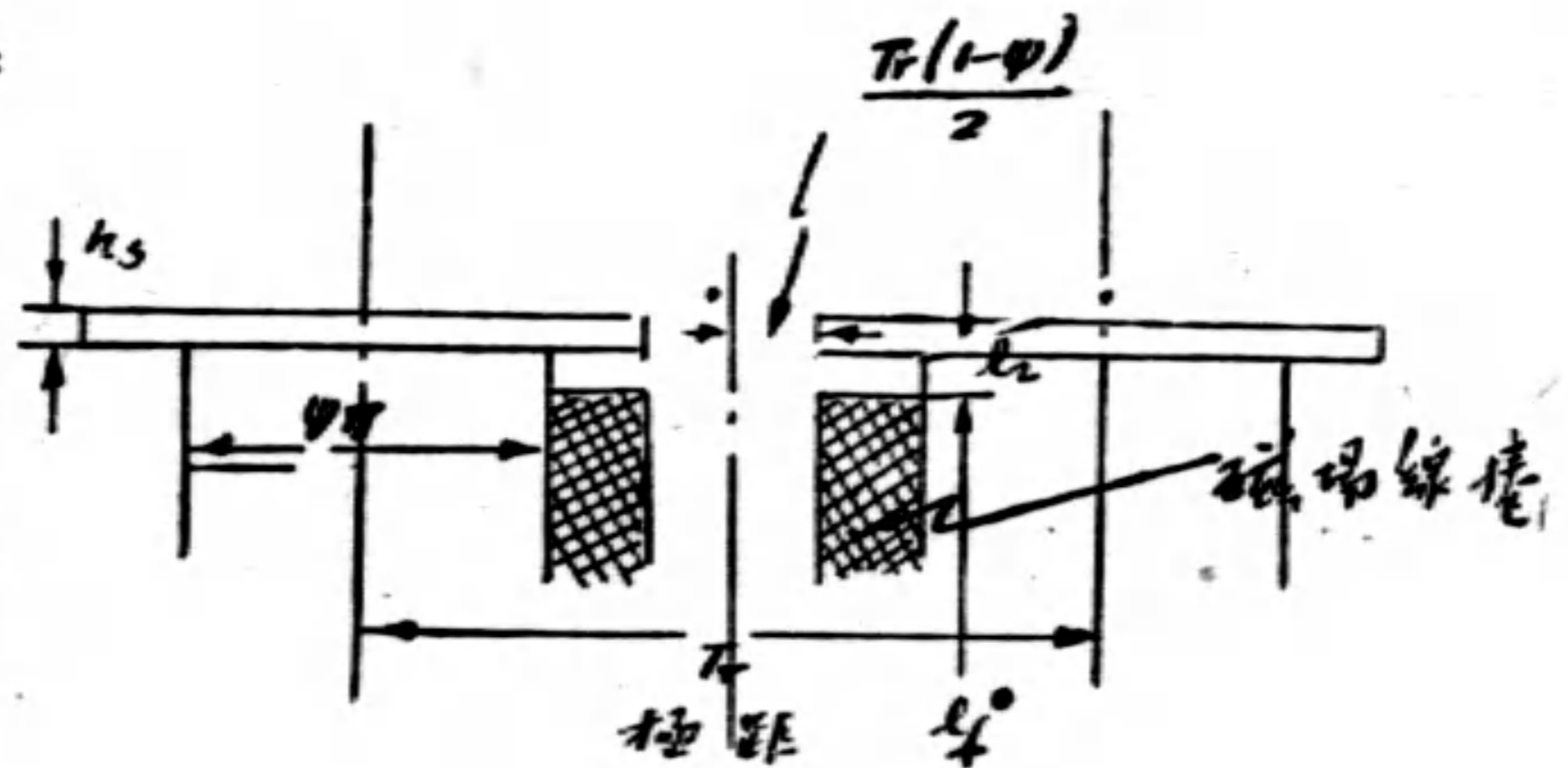
$$\lambda_f = \lambda_{fo} + \lambda_{fs}$$

$\lambda_{fo}$ ， $\lambda_{fs}$ ，可由極之大小形式簡單算出，惟為精確起見，則求出之公式當由磁力線分佈圖中所得之結果較正之，其值如下：

$$\lambda_{fs} = 3.19 \times \frac{4}{3} \left[ \frac{3(h_s + g - 0.055T_r)}{T_r(1-\psi)} + \frac{l_1 + 0.1T_r \left(1 - \frac{10}{p}\right) + 3l_2}{\frac{\pi}{p}(D_a - 2g - 2h_s - 0.4l_1) - w_p} \right]$$

$$\lambda_{fo} = 3.19 \times \left[ \frac{4(l_s - l_c) + 2l_1 + 0.5 w_p}{l_c} \right]$$

式中  $h_s$  表磁極極面之厚， $g$  表空氣隙之長， $T_r$  表旋轉子 (rotor) 之最大極距， $l_1$  表磁場線之長， $l_2$  表磁場線捲與極面間間隔板及絕緣之厚， $D_a$  表電樞之內直徑， $w_p$  表極身寬 (pole waist)， $l_c$  電樞鐵心之全長。



第 3 圖

中國工程師學會發行

# 工 程

十三卷第六號

商務印書館香港分館

總 經 售

沈 怡：中國工業化之幾個基本問題

陳廣沅：雙缸機車衡重之研究

王之卓：航空測量實體製圖儀有系統誤差之影響於天空三角鎖

呂鳳章：沿翼展環流分佈計算之另一方法

王敬立：鋼筋混凝土預力樑之設計

王敬立：長方形截面鋼筋混凝土連續預力樑

顧敬心：抗戰期內如何製造硝酸

應家豪：亞爾西愛一盞勵振機改用電子管之報告

# 天廚味精廠

香港工廠

規 模 宏 大 產 品 優 良

味 精      味 宗      醬 油 精      鹽 酸      燒 碱      漂 白 粉      澱 粉

製 造 廠      上 海 法 租 界 菜 市 路      香 港 九 龍 北 帝 街

營 業 所      上 海 愛 多 亞 路 一 二 三 號      香 港 莊 士 敦 道 五 十 九 號

## AVIQUIPO

AVIATION EQUIPMENT & SUPPLY, INC.

23 HAVEL STREET, NEW YORK CITY, U.S.A.

CABLE ADDRESS: AVIQUIPO

CHINA OFFICE: QUEEN'S BUILDING, HONGKONG.

CHENGTO OFFICE: CHENGTO, SZE,

TELEPHONE: 25143

美 商

# 航 空 材 料 出 口 行

專 售

各 式 飛 機      飛 機 零 件      及 附 屬 品      航 空 儀 器      降 落 傘 及      飛 行 衣 鞋      機 場 設 備      用 品 以 及      各 種 航 空      無 線 電 機      航 空 照 相      機 及 零 件      各 種 工 業      機 器 材 料      應 有 盡 有

# 電機製造事業採用國產紗包線代替漆包

## 或單紗漆包線之檢討

婁南笙

### 摘要

在倡用國貨聲中，電機製造事業，應該考慮稍稍修改設計，以求採用國產四十二支雙紗包線代替漆包或單紗漆包線。

### 一 緒言

製造電機之主要原料，為銅線及矽鋼片二種，向由外洋供給。自本年起，國產銅線次第問世，從此電機製造事業可以盡量採用國貨矣。

惟電機上所用銅線有圓線方線扁線之分，其絕緣又有漆包、單紗漆包、雙紗包、紙包之別。製造之方法不同，所需之設備亦異。現在國內電線廠之設備，可以輾製六公釐銅桿及拉製各號圓線，如果市場上方線及扁線之需要甚大，亦可設法增製。惟漆包設備尚付缺如，其原因有二。第一，漆包製造需要淨潔空氣，不得含有灰塵，故必須有極佳之通氣設備。第二，是項漆料，極易蒸乾，製造漆包之時，必需有大量漆料，時時循環，時加調和，否則漆之厚薄不同，則漆

包之厚薄各異也。

### 二 漆包之代用品

考漆包線之用途為製造無線電用之變壓器及各種用途之續電器 (Relay) 取其線細容易工作之意。電動機在二十五匹馬力以下，多用單紗漆包線作為線圈，亦係同樣意義。現在本國既不產漆包線，則設計工程師似應注重事實，在可能範圍以內，盡量採用代用品。

譬如無線電變壓器及線圈所用之漆包線直徑甚細，不能用紗包線代替者，不妨用雙絲包代替，又如電動機線圈原用單紗漆包者，可用雙紗包代替。茲根據各種絲包紗包漆包之標準厚度製成第一表，證世上述建議係屬可能，並不影響電機設計上佔空因數 (Space Factor) 甚大也。

### 三 可否採用國貨四十二支紗包製雙紗包線

普通所謂紗包線者皆係採用六十支以上之細紗為之，視銅線之直徑而異。例如第二表

第一表

線號 (英規)	銅線直徑 (英吋)	增之直徑 (英吋) 雙漆包後所	增之直徑 (英吋) 雙絲包後所	增之直徑 (英吋) 單紗漆包所	增之直徑 (英吋) 雙紗包所	增之直徑 (英吋) 三紗包所	直徑所增之 (英吋) 四紗包二支雙	直徑所增 (英吋) 四單編二支紗
6	0.192	—	4	—	13	20	15.4	11.5
8	0.160	—	—	—	—	—	—	—

第 一 表(續)

線 號(英規)	銅 線 直 徑 (英吋)	增 之 直 徑 雙 漆 包 後 所 (英 分 之 吋)	增 之 直 徑 雙 絲 包 後 所 (英 分 之 吋)	增 之 直 徑 單 紗 漆 包 所 (英 分 之 吋)	增 之 直 徑 雙 紗 之 包 所 (英 分 之 吋)	增 之 直 徑 三 紗 之 包 所 (英 分 之 吋)	直 徑 四 紗 包 所 增 之 雙 (英 分 之 吋)	直 徑 單 編 四 十 二 支 所 增 (英 分 之 吋)
9	0.144	4.3						
14	0.080	3.7	4	11.7	13	20	15.4	11.5
15	0.072	3.6						
17	0.056	3.4	4	9.8	11	20	15.4	11.5
18	0.048	3.2						
19	0.040	2.8	4	7.7	10	20	15.4	11.5
20	0.036	2.7						
22	0.028	2.5	4	7.5	10	20	15.4	11.5
23	0.024	2.4						
33	0.0100	1.5	3.5	6.8	9	20	15.4	11.5
34	0.0092	1.4	3.5	6.4	9 <sup>2</sup>	—	—	—
35	0.0084	1.3						
40	0.0032	.7	3.5	5.0	8	—	—	—

第 二 表

線 號 (英規)	銅 線 直 徑 (英吋)	增 之 直 徑 雙 紗 包 所 (英 分 之 吋)	用 紗	
			內 層	支 數 外 層
6   14	0.192   0.076	12/14	1/60 <sup>s</sup>	1/60 <sup>s</sup>

第 二 表(續)

線 號 (英規)	銅線直徑 (英吋)	雙增之直徑 紗包所 (英 分之 吋)	用 紗 數	
			內 層	外 層
15   17	0.072   0.052	10/12	1/80 <sup>S</sup>	1/80 <sup>S</sup>
18	0.048   0.044	9/11	1/80 <sup>S</sup>	1/100 <sup>S</sup>
19   20	0.040   0.036	10/11	1/80 <sup>S</sup>	1/100 <sup>S</sup>
20   22	0.034   0.028	9/11	1/80 <sup>S</sup>	1/100 <sup>S</sup>
23   24	0.024   0.022	8/10	1/80 <sup>S</sup>	1/100 <sup>S</sup>
25	0.020	8/10	1/100 <sup>S</sup>	1/100 <sup>S</sup>
26   33	0.018   0.010	8/10	1/100 <sup>S</sup>	1/120 <sup>S</sup>
34	0.0092	8/10	1/120 <sup>S</sup>	1/120 <sup>S</sup>
35   40	0.0084   0.0048	7/9	1/120 <sup>S</sup>	1/120 <sup>S</sup>

(註)上表 1/60s 指六十支單紗而言餘類推。

此項細紗非本國紗廠所產，故欲製造國產雙紗包線而合於上項標準者，非購買外國細紗不可

國產棉紗最細者為四十二支，用以製造紗包線似嫌不合標準程式，但從第一表詳細

比較之，其雙紗包層，尙較三紗包為薄而四十二支單紗編織後之紗層更較四十二支雙紗包為薄，故凡用三紗包線或英規十四號以上之雙紗包線者皆可考慮採用四十二支雙紗包線以為代替。該線所佔之空間因數當然較

大，不適用於已有之設計，但如開始製造大型發電機及電動機時，則何妨稍稍修改設計乎？

### 五 結論

查各種線圈之絕緣皆賴絕緣漆，故紗包一層或二層其作用在能吸收絕緣漆，一俟烘乾硬化，遂有阻止空氣潮濕內侵之效用。既如此則採用四十二支雙紗包之效用應當相同或且過之，因紗粗則能多吸收絕緣漆也。

所成問題者，則嫌其外徑較厚，不適用於已有之設計；但同時吾人須注意者則完全國貨之四十二支雙紗包圓銅線之價格，必較舶來品漆包，單紗漆包及雙紗包為低廉，即使稍稍修改設計，工具，與稍稍增加矽銅片之重量，仍能保持成本之低廉也。

### 四 採用四十二支雙紗包或編織線以代替紙包線

電力變壓器之高壓線圈，大概用雙紗包線故採用四十二支雙紗包線當可不成問題。其低壓線圈則多用紙包層數不等最少三四層，故用四十二支雙紗包或編織不成困難，因變壓器上佔空因數問題不比電動機為嚴重也。

# 中國保險股份有限公司

## 專 營

兵 險  
水 火 險  
人 壽 險  
其他保險

國內各地中國銀行  
均為經理處  
本公司

歐洲代理處  
倫敦威立斯斐勃求末司有限公司  
國外分公司

新加坡 吧城 吉隆坡  
菲律賓 仰光

香港分公司

地址：德輔道六號二樓

電話：三三一九八五二〇

假期二三五四六

# 經濟部全國度量衡局辦理統一全國

## 度量衡工作概況

本局自二十六年西遷以來，對於各省市度政另訂計劃，督導推行，以期劃一功成，奠定建國之磐石，茲將近年來推行概況擇要陳述於後：

### 一 視察川省度政

川康為復興民族根據地，政府極注重兩省經濟建設，惟欲求經濟發展順利，須先掃除其障礙，查川省度政尚未完全劃一，新舊紛雜，亟宜廓新，而欲促進川省度政，首須明瞭進展情況，本局鄭局及有鑒於斯，曾於二十七年十一月，親赴成都、嘉定、宜賓、及瀘縣等地視察，二十九年十二月，再度視察成渝公路及成都附近各縣，隨時隨地依照實際情形，分別予以指導糾正，並與該省各級及官商改進辦法，先後均獲圓滿結果，該省度政工作進行緊張，呈報劃一者紛至沓來，今後川省度政工作，當可如限完成也。

### 二 開辦康省度政

西康省度量衡檢定所於二十八年一月成立，該省與本局合設西康省度量衡製造廠，供應新器，二十九年秋季檢定所又成立檢定人員訓練班，畢業後分發各縣負推行之責，並擬先推行寧雅兩屬及省會度政，以次推及於特種部族區域，惟該省交通困難，風俗語言多與內地不同，將來衡要縣份劃一之後，人民觀感一新，明白新制利益，則偏遠各縣始易進行也。

### 三 成立甘肅省檢定所及重慶市檢定所

甘省檢定所於二十九年三月成立，該省建設廳長李世軍兼任所長，近由張廳長心一兼任，至各衡要縣份早已設立檢定分所，以新甘公路、陝甘公路各線推行，成績為優，二十九年秋間又開辦檢定人員訓練班，業經畢業，照章分發各縣積極進行，重慶市原設有檢定分所，本局遷渝後，以其為行都所在地，應迅予劃一以示範，各地曾經調整該分所人員健全組織機構，及市政府成立，分所亦擴大組織，改為重慶市檢定所，年來檢查甚力，已宣佈劃一，二十九年夏秋間敵機肆虐，該市工作進行稍受影響，冬季空襲減少，特加緊進行，並注意市郊各疏散區內劃一工作。

### 四 其他各省推行鳥瞰

年來各省度政，經本局督導，頗有進展，陝西省已擬恢復省檢定所，湖南省政府於二十九年十二月恢復省所，進行劃一，不遺餘力，贛、閩、浙三省，成績尤為優異，豫、皖等戰區省仍能照常維持，黔、滇、青、寧各省已在熱烈推行。

### 五 檢定室設備方面

本局對於度量衡器之檢定職責，除擔負檢定全國度量衡標準器頒發各地作為標準外，並檢定科學研究用之精細度量衡器，關於檢定設備力求完善，茲將本局現有檢定設備略述如次：

一長度檢定標準之設備，有鑲鋼質公尺一支，該尺長一公尺，最小分度為○。二公厘 (Millimetre)，附有放大鏡二具，曾經國際權度公局檢定，附有證書及詳密之差數



表，檢定準確度可達 $0.02$ 公厘。較此更精細者有一公尺水槽式較準機一架，該機藉水槽之保溫，刻微分螺旋之構造，及四十倍放大鏡等之裝置，檢定準確度可達 $0.001$ 公厘。此外有捲尺檢定架，及二十四公尺長鋼捲尺一支，為捲尺檢定之標準。

二質量檢定標準，備有經德國權度局檢定之精細砝碼一份。天平方面，以秤量而言，大者能秤一百公斤、五十公斤、三十公斤、五公斤等天秤，小者有自數百公分至一公分等天秤十餘架，最精細者有空氣連定式，及放大鏡視察之天秤各一架，其檢定準確度可達 $0.001$ 公絲 (Milligram)。

三溫度檢定設備，計有體溫計檢較器二架，標準體溫計二具，其檢定體溫計之準確度，達百度表 $0.1$ 度。

其他檢定設備尚多，因屬於普通檢定標

準器，從略。

## 六 製造廠工作方面

本局製造所成立已三十餘年，製造標準標本，民用各器，素為各界稱譽，準確精良，對於科學與工程所用精密計量器械，亦儘量承製，敵人封鎖沿海後，歐美儀器輸入困難，各方紛紛向本局訂製，有供不應求之勢，茲將設備及出品略述如左：

(一)設備 廠內分製圖、鉗工、機工、鑄工、鍛工、木工各部，並有刻工、漆工、秤工等技工。工作機械備有車床、鉋床、鑽床、銑床、磨床、及各種專門長度，與圓弧刻度機、輾機等。

(二)出品 標準器、標本器、民用器、案秤、台秤、天秤、各種測量儀器，及有關計量之各種試驗儀器等件。

# 上海聯保水火保險有限公司 香港分公司

專營水火保險業務

資本港幣叁百萬元

在中英政府註冊

信用昭著  
辦理公允  
賠償快捷  
手續簡便

本公司地址

香港德輔道中

廣東銀行六樓

電話：二一五一三 三三三二一七

代理處

香港永樂街二〇一號二樓

電話：三三四五八

主席董事 霍寶材

總經理兼港公司經理 鄧文炳

協理 傅湘丞

# 工 程

## THE JOURNAL OF

### THE CHINESE INSTITUTE OF ENGINEERS FOUNDED MARCH 1925—PUBLISHED BI-MONTHLY

#### 工程雜誌投稿簡章

- (1) 本刊登載之稿，概以中文為限。原稿如係西文，應請譯成中文投寄。
- (2) 投寄之稿，或自撰，或翻譯，其文體，文言白話不拘。
- (3) 投寄之稿，望繕寫清楚，並加新式標點符號，能依本刊行格（每行 19 字，橫寫，標點佔一字地位）繕寫者尤佳。如有附圖，必須用黑墨水繪在白紙上。
- (4) 投寄譯稿，並請附寄原本。如原本不便附寄，請將原文題目，原著者姓名，出版日期及地點，詳細敘明。
- (5) 度量衡請盡量用萬國公制，如遇英美制，請加括弧，而以折合之萬國公制記於其前。
- (6) 專門名詞，請盡量用國立編譯館審定之工程及科學名詞，如遇困難，請以原文名詞，加括弧註於該譯名後。
- (7) 稿末請註明姓名，字，住址，學歷，經歷，現任職務，以便通信。如願以筆名發表者，仍請註明真姓名。
- (8) 投寄之稿，不論揭載與否，原稿概不檢還。惟長篇在五千字以上者，如未揭載，得因預先聲明，寄還原稿。
- (9) 投寄之稿，俟揭載後，酌酬現金，每頁文圖以港幣二元為標準，其尤有價值之稿，從優議酬。
- (10) 投寄之稿經揭載後，其著作權為本刊所有，惟文責概由投稿人自負。在投寄之後，請勿投寄他處，以免重複刊出。
- (11) 投寄之稿，編輯部得酌量增刪之。但投稿人不願他人增刪者，可於投稿時預先聲明。
- (12) 投寄之稿，請掛號寄重慶郵政信箱 263 號，或香港郵政信箱 1643 號，中國工程師學會轉工程編輯部。

#### 中國工程師學會各地地址表

重慶總會	重慶上南區馬路 194 號之四
重慶分會	重慶川鹽銀行一樓
昆明分會	昆明北門街 71 號
香港分會	香港郵箱 1643 號
桂林分會	桂林郵箱 1028 號
梧州分會	廣西梧州市電力廠龍純如先生轉
成都分會	成都慈惠堂 31 號盛允丞先生轉
貴陽分會	貴陽禹門路西南公路局薛大華先生轉
平越分會	貴州平越交通大學唐山工程學院茅唐臣先生轉
遵義分會	貴州遵義浙江大學工學院李振吾先生轉
麗水分會	浙江麗水電政特派員辦事處趙曾珏先生轉
宜賓分會	四川宜賓郵箱 3000 號鮑國寶先生轉
嘉定分會	四川嘉定武漢大學工學院楊君實先生轉
瀘縣分會	四川瀘縣兵工署二十三廠吳景鏞先生轉
城固分會	陝西城固賴景瑞先生轉
西昌分會	西康西昌經濟部西昌辦事處胡博淵先生轉

#### 工程雜誌 第十四卷 第一號

民國三十年六月一日出版  
 內政部登記證 警字第 788 號  
 香港政府登記證 第 358 號  
 編輯人 沈 怡  
 發行人 中國工程師學會 沈嗣芳  
 印刷所 商務印書館香港分廠（香港英皇道）  
 總經售處 商務印書館香港分館（香港皇后大道）  
 分經售處 商務印書館分支館  
 重慶 成都 康定 長沙 衡陽 邵陽  
 貴陽 常德 梧州 桂林 柳州 昆明  
 開平 肇慶 梅縣 韶關 金華 鄞縣  
 恩施 萬縣 贛縣 福州 西安 蘭州  
 南鄭 南陽 廬江 新加坡 澳門 廣州灣

#### 本 刊 定 價 表

每兩月一冊 全年六冊 雙月一日發行

	冊數	價 目 (港幣)	郵 費 (港幣)	
			國內及本 港 澳 門	國 外
零 售	一冊	四 角	六 分	一角五分
預定全年	六冊	二元四角	三角六分	九 角

#### 廣告價目表 ADVERTISING RATES

地 位 Position	每 1 issue 港幣 H.K.\$	每年 (六期) 6 issues 港幣 H.K.\$
底封面外面 Outside Backcover	二百元 200	一千元 1,000
普通地位全面 Ordinary Full Page	一百元 100	五百元 500
普通地位半面 Ordinary Half Page	六十元 60	三百元 300

繪 圖 製 版 費 另 加  
 Designs and blocks to be charged extra.

# 中宣部 嘉許： 內政部

“查該書館近編通俗刊物時代知識小冊中，關於宣揚本黨主義，堅定抗戰建國信念之專著，如孫中山、民族主義、民權主義、民生主義、建國大綱、民權初步和集會演習、人民和國家、國民精神總動員、三民主義青年團等小冊，詞簡意賅，內容純正，堪為補助一般民衆對於抗戰建國之良好讀物，有裨宣傳，且售價低廉，旨在服務，殊堪嘉尚，除通行各省市廣為推銷外，仰即知照”。  
(錄內政部渝警字第003303號知照，中央宣傳部知文略同。)

●傳播時代知識 ●充實抗戰能力●

## 時代知識小冊

●適應民衆需要 ●提高文化水準●

### 內容分類統計

抗戰概念	10冊
讀書及應用	12冊
公民修養	26冊
社會生活	12冊
經濟及財政	24冊
政治及法律	20冊
國際情勢	40冊
外交關係	20冊
日本研究	34冊
軍事常識	22冊
自然科學	18冊
衛生及醫藥	18冊
工程	22冊
工業製造	34冊
農業	30冊
商業	16冊
文藝	20冊
歷史	24冊
傳記	64冊
地理	34冊

全輯 500 冊  
目錄備索

每冊零售定價二分(至少限購十冊)

第一輯五百冊 合售定價十元

王雲五主編

這一套小冊的編印，旨在斟酌當前環境，提供各科常識，以適應民衆多方需要，提高一般文化水準。第一輯五百冊，分納於二十大類。其中有關國內外情勢各冊，都能針對現狀立言。不涉空談。對於生產製造技能各冊，述敘切要，便於實際應用。全書文字概用語體，加新式標點，並附註釋，凡各界識字民衆均能閱讀。各冊體裁，除用普通說明式外，間採說書式對話式演講式等，並借故事趣談等引端，以增讀者興趣。特定廉價發售，以期普及。中央宣傳部及內政部以本書內多有『關於宣傳黨義、堅定抗戰建國信念之專著，詞簡意賅，內容純正，有裨宣傳，且售價低廉，旨在服務，』評為『補助一般民衆對於抗戰建國的良好讀物』。

### 商務印書館編印

重慶·成都·西安·梧州·昆明·貴陽·長沙·金華·福州

貌全化文示揭 料史國我理整



王雲五  
傅緯平 主編

第一輯書名及零售價

中國經學史	馬宗霍著	一册	定價二元
中國理學史	賈豐臻著	一册	定價三元
中國田賦史	陳登原著	一册	定價三元
中國鹽政史	曾仰豐著	一册	定價三元五角
中國法律思想史	楊憲武著	二册	定價六元
中國政黨史	楊幼炯著	一册	定價二元五角
中國交通史	白壽彝著	一册	定價三元
中國南洋交通史	馮承鈞著	一册	定價三元五角
中國殖民史	李長傳著	一册	定價三元五角
中國婚姻史	陳顯達著	一册	定價三元
中國文字學史	胡樸安著	二册	定價七元
中國算學史	李儼著	一册	定價三元五角
中國度量衡史	吳承洛著	一册	定價四元五角
中國醫學史	陳邦賢著	一册	定價四元五角
中國商業史	王孝通著	一册	定價三元五角
中國陶瓷史	吳仁敬著	一册	定價三元五角
中國繪畫史	俞劍華著	二册	定價七元
中國駢文史	劉麟生著	一册	定價二元
中國考古學史	衛聚賢著	一册	定價三元五角
中國民族史	林惠祥著	二册	定價七元

册五十二種十二輯二第 册四十二種十二輯一第

元十七售合輯每

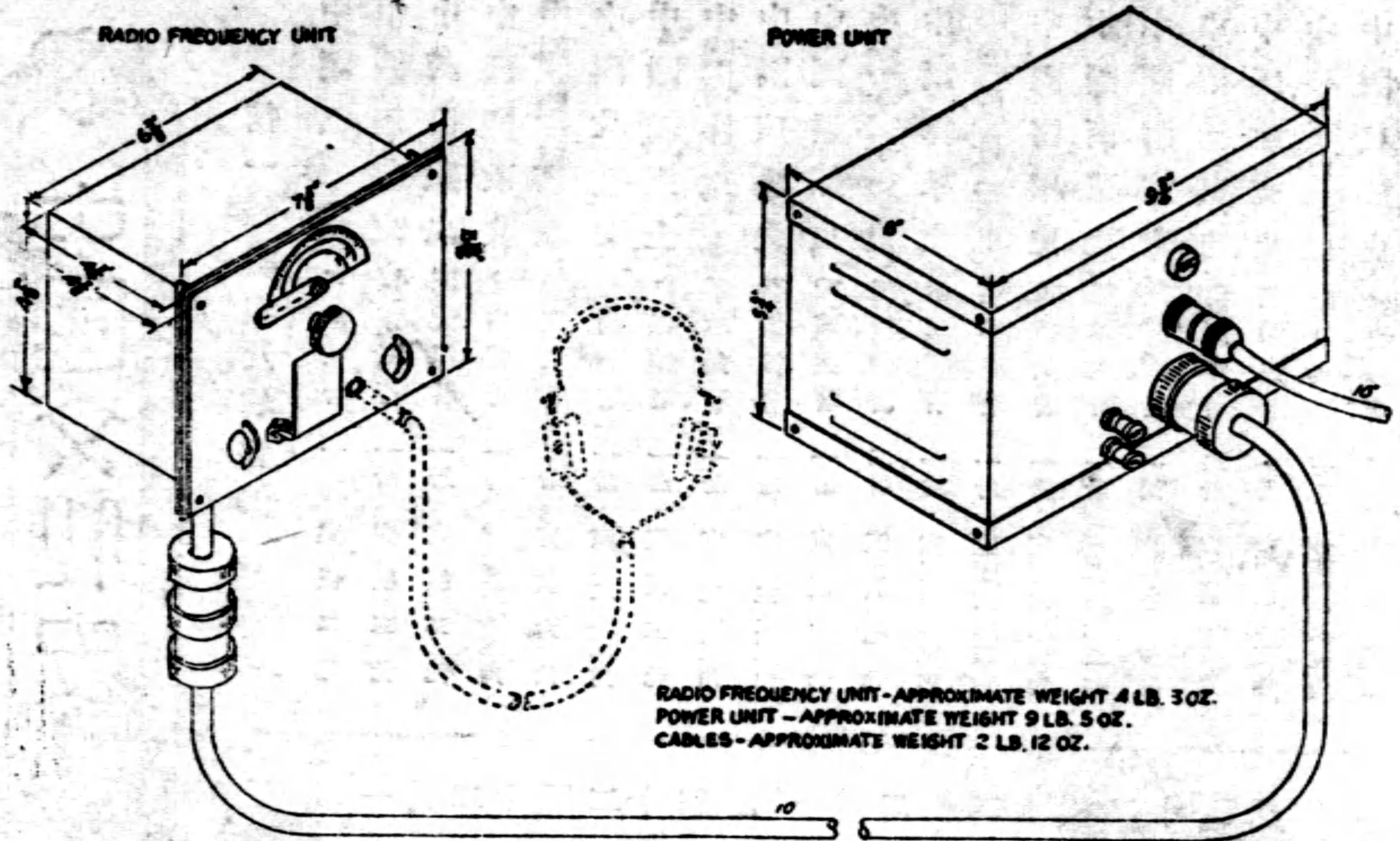
第二輯書名及零售價

中國目錄學史	姚名達著	一册	定價四元
中國倫理學史	蔡元培著	一册	定價二元
中國道教史	傅勤家著	一册	定價二元五角
中國稅制史	吳兆莘著	二册	定價六元
中國政治思想史	楊幼炯著	一册	定價三元五角
中國水利史	鄭肇經著	一册	定價四元
中國救荒史	鄧雲特著	一册	定價五元
中國教育思想史	任時先著	二册	定價六元
中國日本交通史	王輯五著	一册	定價二元五角
中國婦女生活史	陳東原著	一册	定價三元五角
中國訓詁學史	胡樸安著	一册	定價三元五角
中國音韻學史	張世祿著	二册	定價七元
中國漁業史	李士豪著	一册	定價三元
中國建築史	陳清泉譯	一册	定價三元五角
中國音樂史	陳清泉譯	一册	定價二元五角
中國韻文史	王鶴儀編譯	二册	定價六元五角
中國散文史	陳柱著	一册	定價三元
中國俗文學史	鄭振鐸著	二册	定價八元
中國地理學史	王庸著	一册	定價三元五角
中國疆域沿革史	顧頡剛著	一册	定價四元五角

行發館書印務商

# Western Electric

## 25A Radio Receiver



25A RADIO RECEIVER ASSEMBLY

Finger-tip tuning in three bands:

1. 200 to 415 kilocycles (1500 to 700 meters)
2. 500 to 1200 kilocycles (600 to 250 meters)
3. 2800 to 6800 kilocycles (107 to 44 meters)

Total weight including cables—16 pounds.

All electrical connections—by means of plug-in cables.

Either crystal control or continuous tuning in high frequency band.

Receives Phone, CW and MCW telegraph signals.

Average sensitivity—5 microvolts.

Audio output—500 milliwatts into standard headsets.

Automatic volume control—disconnected on beacon band.

Total power requirements—3 amperes at 12 volts.

Provision for attaching low impedance loop antenna equipment.

Small panel space required,  $7\frac{5}{8}$ " wide,  $5\frac{1}{8}$ " high and  $4\frac{3}{4}$ " deep.

如必西地飛  
 荷能電面機  
 垂勝公的與  
 詢任司通飛  
 竭愉無訊機  
 誠快線如或  
 奉 電採飛  
 答 設用機  
 備 與

總經理 中國電氣股份有限公司

China Electric Company  
LIMITED

INCORPORATED IN U. S. A.

WINDSOR BUILDING

HONG KONG