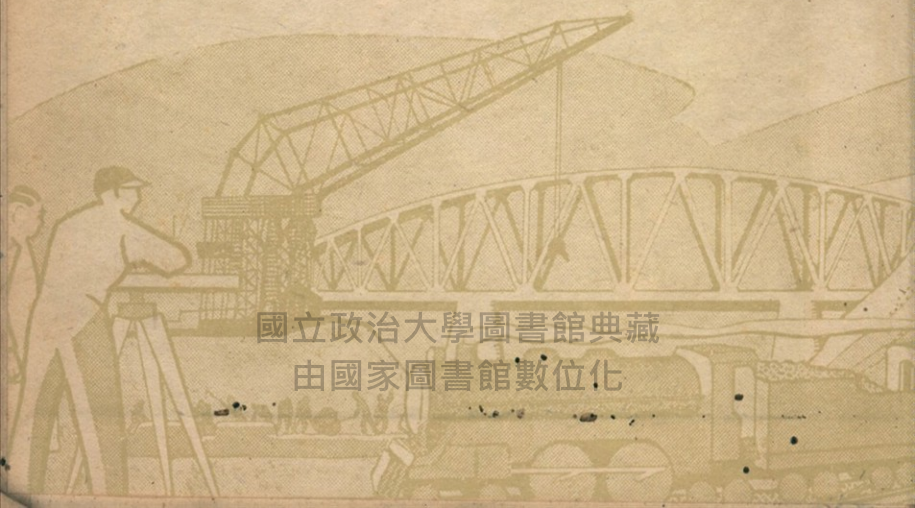


03001

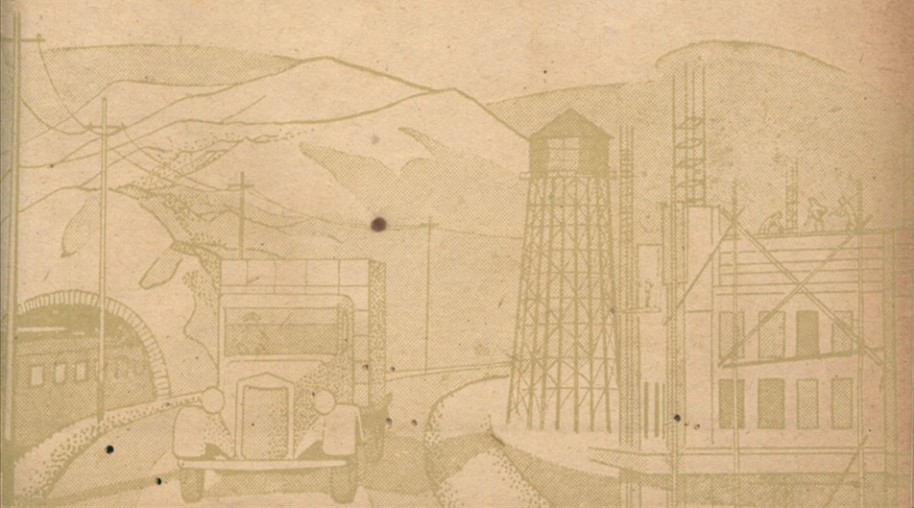
實用
土木工程學



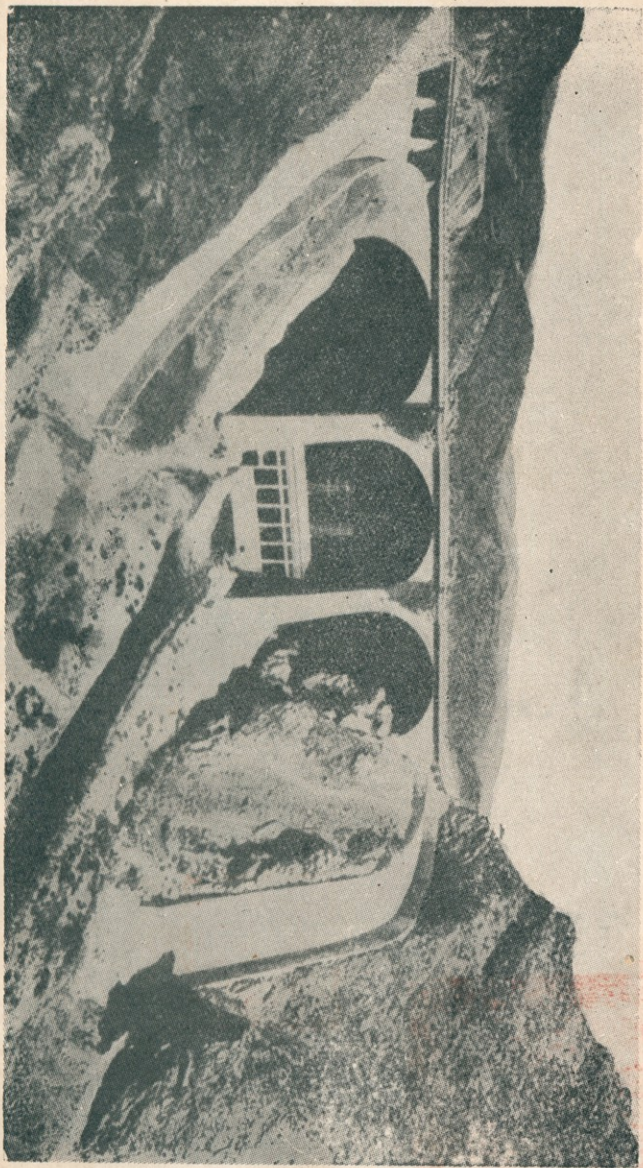

A215180



國立政治大學圖書館典藏
由國家圖書館數位化



中國科學社
梁紹桐紀念基金
資助出版



在庫利治壩下游之外觀，顯示水力發電廠及二溢水道

601.08
131
中國科學社工程叢書
實用土木工程學
第一冊



靜力學及水力學

BY
EDWARD R. MAURER,
Professor of Mechanics, University of Wisconsin,
&
FREDERICK E. TURNEAURE,
Professor of Engineering, University of Wisconsin.

譯述者

沈寶璋 顧世楫



中國科學圖書儀器公司發行

215180

序

中國科學社負發揚科學文化之使命，近年來經本社出版之科學書籍，雖已逐漸增多，惟尙無獨成系統之專著，而於應用科學方面，尤感缺乏，爰有編譯工程叢書之議，藉以弭此缺憾。但工程學門類至繁，從事編譯，豈屬率爾操觚所能濟事，其未能早日見諸實行者，經費與人才之困難，實爲其主要原因。

民國二十七年春，本社雖處於特殊環境之中，惟出版事業尙未受若何影響。是時社友汪胡楨，顧世楫等適來海上。諸君之於土木工程學，造詣甚深，且在工程界任職歷二十餘年，久著勞績，其於著述之事，亦深感興趣而遊刃有餘。故經本社理事會議決，以主編實用土木工程學之事任之，而爲本社發行工程叢書之嚆矢。

土木工程學雖僅屬工程學之一門，惟其範圍之廣，效用之宏，遠非其他任何工程學所可比擬。即在國家承平之日，凡屬發展交通，水利，改良衛生，市政之事，幾無一非土木工程師是賴。他日戰事結束，百端待舉，其最感迫切而需要者，恐更無過於土木工程學範圍內之各項建設，良以其有關國計民生，至爲深切。本社

乘此時機，特先以此書問世，亦所以稍爲國家貢獻於萬一耳。

此書係以美國技術學會之土木工程叢書最新版本（一九三八年版）爲藍本，而從事逐譯，經年餘之努力，始克有所成就。今擬先後出版者凡十餘種，關於本書之性質，及編譯之經過，另有弁言，以爲讀者介紹，茲不多贅。惟此書既以實用爲主，故不涉高深理論，幸讀者勿以其淺顯爲病。蓋土木工程學之任何門類，俱可輯爲專書，苟不厭求詳，則雖累數十冊而未能盡。此非本社發行工程叢書之原意，且在今日之吾國學術界，亦暫無此需要焉。

民國二十九年一月

楊孝述

弁 言

土木工程學宏博淵深，門類至富。自測量力學等基本學科起，以至交通、水利、衛生、結構諸專門學科止，標舉其名，何慮數十餘種。而每一學科之西文著述，浩如烟海，即在吾國出版界，屬於土木工程學之著述及譯本，近年亦日見增多，但各書之程度不齊，詳略互異，其能彙聚土木工程學各科於一書，自成系統，以供學子自修或初學入門之用者，尙不多觀。西文書籍中之各種土木工程師袖珍手冊，雖包羅宏富，應有盡有，但咸係供參考之需，不宜初學及自修之用，且求之國內，尙未見有從事著譯此種書籍者。

以吾國學術界目前之需要而論，與其多出博雅精深之理論書籍，無甯印行切合實用之專門著述，庶學校中得取爲教材，自修者可資以研究，既免西文扞格之苦，而深得舉一反三之樂。中國科學社之發行工程叢書，其要旨殆亦在是。同人等受命主編實用土木工程學，未嘗忽視此意；惟自慚譚陋，若從事撰著，誠恐剪裁難期盡當，爰經審慎選定美國技術學會出版之土木工程叢書，作爲譯述之藍本。是書之優點，即在注重實用，避免高深理論，其引用數學之處，僅及三角法

爲止，使讀者極易了解。惟有關實用之公式及圖表，仍多盡量採入，以資參考。書中舉例固力求明顯，且凡遇應用計算方法處，恆附以若干習題，以備觀摩。全書七冊，計附圖一千六百餘幅，尤爲他書所罕有，故極適宜於作爲教本及自修課本之用。凡此種種，讀者當能自行評定其價值，毋待同人等之絮述焉。

本書在美國學術界久居重要地位，其執筆者不下十餘人，或係富有經驗之領袖工程師，或爲著名大學之專科教授，無一非著作等身爲工程界知名之士，故能出其餘緒，刪蕪存要，而成此極有價值之鉅著。是書之最早版本，刊行於一九〇八年，去今蓋已三十年矣。歷年屢經增損，不知已再版若干次。今本書所採用者，乃一九三八年之最新版本，凡七鉅冊，其內容如下：

- 第一冊 平面測量學，一工程契約及規範，
- 第二冊 材料力學，一靜力學，一道路學，
- 第三冊 鋼建築學，
- 第四冊 屋架結構，一橋梁工程學
- 第五冊 混凝土工程學，
- 第六冊 水力學，一給水工程學，一溝渠工程學，
- 第七冊 鐵路工程學，一土工學。

按此七冊之內容，似係偏重於量之區分，故不甚與修學之先後程序相合。今酌加更改，以基本學科列於首，並將水力學與靜力學合成一冊，其餘可分者則

分之，計得十二冊，而定爲下列之次序：

- 第一冊 靜力學及水力學，
- 第二冊 材料力學，
- 第三冊 平面測量學，
- 第四冊 道路學，
- 第五冊 鐵路工程學，
- 第六冊 土工學，
- 第七冊 給水工程學，
- 第八冊 溝渠工程學，
- 第九冊 混凝土工程學，
- 第十冊 鋼建築學，
- 第十一冊 房屋及橋梁工程學，
- 第十二冊 工程契約及規範。

在此十二冊中，凡屬土木工程學之主要學科，固已大致具備，惟此最新版本，已刪去河道、海港、水力發電及灌溉等數種。同人等力所能及，尙擬繼續搜採名著，次第譯述，以成全帙。

原書因非出於一人手筆，故在編制方面不盡劃一，且不另分章，亦無詳細目錄，檢查時稍感不便。故現已於譯本中一律爲之區分章節，製成詳備之目錄，置於每書之首，而原書所附之索引，則予刪除。

在譯書之過程中，以選定專門名詞爲最感困難之事，蓋國內關於學術上之譯名，尙未統一，尤以土木

工程學之門類既繁，名詞特多，其中雖有若干譯名，已爲先進著作家所引用，但尙多紛歧，難資依據。同人等爲集思廣益起見，曾經數十次之集會商討，並決定儘量採用教育部已經公佈之各項專門名詞，其未備者，則由同人等審慎擬定，務使全書前後一致。雖未敢云至當，但已確盡一番攷慮抉擇之功，或足爲統一土木工程學專門名詞之濫觴。茲爲便於讀者檢查起見，另列中英文譯名對照表於每書之末。俟全書殺青以後，當再按英文字母次序，編印土木工程學辭彙，以供國內工程家之參考。至於書中之地名及人名，則概從音譯，以商務印書館出版之標準漢譯外國地名人名表爲準則，以期一律。其在書中所見者，亦列對照表，附於書後。

原書關於度量衡單位，均係英制，雖猶爲吾國工程界所通用，但與普通教本中所採用之米制不合，讀者或將引爲不便。爰經另編簡明之單位換算表，刊於每書之首頁，以便推算。

工程書籍中之算式及符號，恆較其他書籍爲多。稍有謬誤，每使讀者思索竟日而不明源委。其切於實用之表式，尤不容有一數字或甚至一小數點之誤列，致發生重大之紛擾。本書關於印稿校對之事，係由主編者與譯者反覆爲之，雖未敢云絕無魯魚亥豕之誤，但已盡最大努力，使印刷上之錯誤減至極少。即原書

中偶有算式及符號數字等錯誤，亦一一爲之糾正。此雖細節，但亦所以表示同人等鄭重將事之微意，故樂爲讀者告焉。

同人等聞見有限，疵謬之處在所難免，倘蒙讀者賜予匡教，不勝感幸。

民國二十九年一月，上海 汪胡楨 顧世楫

譯者贅語

力學之應用於土木工程範圍內者，殆爲其最淺顯之部分，即所謂工程力學或應用力學是也。工程力學普通又分爲靜力學，動力學，水力學及材料力學諸部。靜力學及動力學，本屬於固體力學之範圍，而水力學則爲流體力學之一部分，凡此皆已在物理學中粗示端倪，惟習土木工程學者，更當就其實用方面，加以深切之研究。

就土木工程學而言，靜力學及水力學，實尤關重要。前者爲設計各項建築及結構工程之根據，而後者則爲規劃一切水利及衛生工程之根本。此二者在原著中係分見於兩冊，今以其同爲基本性質之學科，故合併爲一書。除材料力學已另列專冊外，其動力學部分，因應用之處較少，原著既闕，茲亦從略。

靜力學及水力學理雖淺顯，但亦不乏引用高深數學之處。惟原著以切於實用爲主，不涉深奧理論，故內容並不廣泛。但讀者苟能就此範圍研求純熟，則不僅於修習本叢書其他各科時有左右逢源之樂，即進而研習高級之工程力學，亦游刃有餘矣。

民國二十九年一月

顧世楫

原 序

人類之工作，在工程各部門內，其驚奇偉大與莊嚴，殆無過於土木工程師矣。夫有土木工程師，庶幾向視爲無法飛渡之天塹，可以架橋跨越；建摩雲之鋼構，俾建築藝術家得以踵事增華；穿隧重巒，不差累黍；登山涉水，探測人跡未到之境域；他若建築巴拿馬運河，箭石壩，羅斯福壩，水廠濾池及一切公共工程，幾無一非土木工程師之偉績。

鑒於土木工程之重要性，及以清晰通俗文字陳述此廣大領域內一切理論與實際發展之需要，始引起出版者以編纂此巨著之旨趣。出版者之宗旨，在乎供給曾受訓練之工程師以權威之資料，俾易解決當前之問題，並使有志向學之士，得了然于近代之發展以急起直追也。

土木工程書籍，汗牛充棟，瀏覽匪易。此書說理力求簡賅，術語力求減少，重複之章節竭力刪除，輯爲七冊，便於攜帶，附有索引，以利查檢，凡此均欲使適合讀者之需要耳。

本書在技術文學界之地位，久已爲世人所推崇，一致認爲標準之參考書，茲出版者，復不惜煩費，加以

修正，務使包羅益廣而效用益宏也。

在結語中，應向編著諸君子深致謝意。諸君子咸屬富有經驗之工程師與教育界知名之士，本書之得以問世，皆其努力協助之所賜也。

靜力學目錄

	頁數		
第一章 緒論	1	14. 一力分解爲兩個分力	
1. 力	1	之代數法	13
2. 力之規定及圖示	2	第三章 同點力之平衡	16
3. 符號	3	15. 平衡條件之規定	16
4. 比例尺	3	16. 平衡之圖解條件	16
5. 同點力及不同點力	4	17. 平衡之代數條件	19
6. 平衡及平衡力	4	第四章 構架分析;『接合	
7. 合力及合成	5	點法』	22
8. 分力及分解	5	18. 構架	22
第二章 同點力,合成及分		19. 構架荷重	22
解	6	20. 集點荷重之計算	2
9. 兩同點力合成之圖解		21. 構架一肢之應力	2
法	6	22. 在接合點之力	2
10. 兩同點力合成之代數		23. 普通解法	2
法	8	24. 構架圖解分析之符號	32
11. 力之多邊形	10	25. 一接合點之多邊形	32
12. 兩個以上同點力之合		26. 應力圖	33
成	10	27. 應力紀錄	37
13. 一力分解爲兩同點分		28. 雪荷重之分析	42
力之圖解法	12	29. 風荷重之分析	42

第五章 不同點力之合成.....49

30. 合成之圖解法.....49

31. 諸力互相平行或近乎
平行.....50

32. 合成之定義及規則.....51

33. 代數法之合成.....52

34. 力耦.....54

第六章 不同點力之平衡.....55

35. 不同點不平行力之平
衡條件.....5536. 不同點平行力之平衡
條件.....56

37. 反動力之決定.....56

第七章 構架分析(續);

『取截面法』.....63

38. 張力肢及壓力肢之力.....63

39. 取截面法.....63

40. 芬克式構架之完全分
析.....6841. 死重, 雪重及風壓諸
應力之合併.....7542. 屋架之頂面有改變斜
坡者.....77

水 力 學 目 錄

	頁數
第一章 概述	81
1. 定義.....	81
2. 量之單位.....	81
3. 水之重量.....	81
4. 大氣壓力.....	82
第二章 水在靜止時之壓力	
力.....	83
5. 壓力之傳遞.....	83
6. 水重所生之壓力.....	85
7. 作用於平面上之水壓力	
力.....	88
8. 已知方向之壓力.....	89
9. 在曲面上之壓力.....	91
10. 管壁及空心柱體所受	
之破裂壓力.....	92
11. 封閉管及空心柱體內	
之縱向應力.....	93
12. 矩形面積上之壓力中	
心.....	95
13. 任何形式平面上之壓力中心.....	96
14. 浮力對於沉入水中物體之影響.....	101
15. 比重.....	101
第三章 經過孔之水流	103
16. 水流經過孔之速度.....	103
17. 用孔量水之法.....	104
18. 經過小孔之流量.....	105
19. 實驗所得之流量係數.....	107
第四章 堰上之水流	109
20. 普通解釋.....	109
21. 計算流量之公式.....	110
22. 流量係數.....	111
23. <u>夫朗西斯</u> 公式.....	113
24. 潛堰.....	113
25. 不規則形之堰.....	114
第五章 經過管中之水流	116
26. 各不同速度下之管中	
流量.....	116

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 27. 關於經過管中水流之
普通原理..... 117 | 35. 普通公式..... 132 |
| 28. 管中摩擦損失之公式 119 | 36. 水理平均半徑..... 134 |
| 29. 水理坡度綫..... 125 | 37. 經過普通污水渠之水
流..... 134 |
| 30. 虹吸..... 126 | 第七章 河道內水流之測
量法..... 137 |
| 31. 水流經過特種形式之
管..... 126 | 38. 普通方法..... 137 |
| 32. 木條箍成之管..... 126 | 39. 流速之變更..... 137 |
| 33. 救火軟管..... 127 | 40. 流速計之用法..... 13 |
| 34. 管內水頭之次要損失 129 | 41. 浮標之用法..... 140 |
| 第六章 敞槽內之水流..... 132 | |

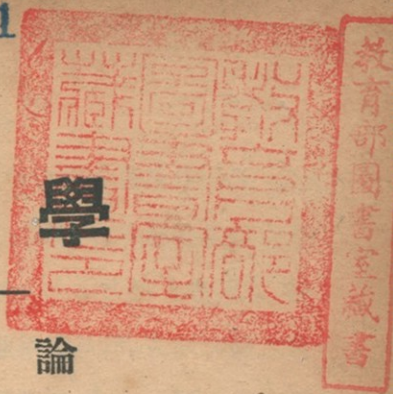
641.01

791

v.1

部 02221

靜 力 學



第一章 緒 論

靜力學爲力學之一支，專論述外力作用於靜止物體之原理，及其應用者也。

靜力學之討論及計算，有兩種極不同之方法。在第一種方法，所討論之數量，均用綫表示之，其論述完全應用幾何圖形，而其計算亦利用合於比例尺之繪圖；此名『圖解法』。在第二種方法，所論列之數量，均用記號表示之，一如普通之代數及算術，而其討論及計算，均用代數，算術及三角方法；此名『代數法』。本書將兩法並用，如遇問題，當擇兩法中之較適當者而用之。

1. 力 力之意義，學者諒已相當明瞭，茲將有關力之幾點定義，重述如次。力者一推，或一拉而已。每力均有量；表示一已知力之量，常稱之爲大於某標準力若干倍。此處即以重量之標準爲標準，以其取用甚便也。故所謂一力等於 100 磅云者，卽一力等於 100 磅之重量也。

又一力必有方向；所謂力之方向者，言此物體若僅受此一力作用時，卽將依此方向移動也。圖 1 表示一物體正被一繩拉向右，故作用於物體之力之方向，係水平而向右。此方向可於圖內繪一綫以表示之，此綫與繩平行，上有箭端指向右方。

又一力必有『施力地方』，即物體上力所作用之地方也。如施力地方為極小，可看作一點，即名為『施力點』。一鐵道機車之輪，施壓力（推力或力）於鐵軌，輪與軌面接觸之部份，即為此壓力之施力地方。但為實用起見，此壓力常當為作用於一點（即接觸面之中心點），此點即車輪作用於鐵軌之力之施力點也。

一力有施力點者，亦稱有『作用綫』，此名稱即指通過力之施力點而與其方向平行之直綫也。如圖 1，加於物體之力之作用綫，即代表繩之直綫。此處須注意力之方向及其作用綫之分別；方向者圖內之任何水平綫可以表示之，惟須加一箭頭指向右方足矣，但作用綫僅有繩之直綫可代表之，有一定之地位，無一定之長度者也。



圖 1

力之方向用箭頭所代表之一部份，稱為力之『向』。上圖之力之向，係向右，而非向左。

2. 力之規定及圖示 在靜力學中，凡一力之(1)量，(2)作用綫，及(3)向均為已知者，則此力已屬完全規定。此三項均可用圖表明之。如上圖 1，直綫即表示作用於物體之力之作用綫，綫上指向右方之箭頭即為力之向，綫上所劃定之長度，即依照某種比例尺所表示力之量也。例如力之量為 50 磅，則用 1" 等於 100 磅之比例尺，長度 $\frac{1}{2}$ " 即表示此量。

一問題如與許多力有關，則為便利起見，常用兩條直綫以表示一力，一綫表示量，一綫表示作用綫，箭端可放在任何一綫上。圖 2 即同樣表示前例之力，AB（長 $\frac{1}{2}$ "）表示力之量，而 ab 表示其作用綫。AB 可繪於圖內任何處，惟長度則有一定，蓋比例尺所規定也。

一圖內繪有力所作用之物體，及力之作用綫者，名爲『地位圖』，如圖2-a。若物體亦用比例尺繪成，則此比例尺可爲每吋等於若干吋或若干呎。一圖內將力之量，用比例尺繪成者，如圖2-b，此圖有許多名稱，今稱爲『力圖』。力圖之比例尺，常

爲一時等於若干磅或若干噸。



圖 2

3. 符號 同樣一力，如表示於分離之兩圖內者，常用特種符號；即直綫兩端用兩個大寫字母者，爲表示力之量；用兩個小寫字母，置於綫之兩側者，表示力之作用綫（參看圖2）。故凡論及一力，祇須說其兩端之大寫字母；如“力 AB”者，即用 AB 及 ab 綫所表示之量，作用綫，及向之力也。

如在代數法中，力常用字母 F 表示之。

4. 比例尺 本書內所用之比例尺，常爲一時等於若干呎或若干磅，如 $1'' = 10'$ ， $1'' = 100$ 磅等。每一吋所代表之呎數或磅數稱爲『比例數』。

欲求一距離或一力所應代表之長度，即將此距離或力，用比例數除之。其商數即爲圖上應繪之長度。欲求圖上所繪代表距離或力之綫之原有量，即將此綫之長度，用比例數乘之，其乘積即距離或力之量也。

繪圖時所用之比例尺，視圖之大小及所繪物量之尺寸而定。欲表示之數量，如以所選比例數除之，其所得商數，即可用手頭所備之尺容易在圖上繪出者，此比例即爲適用矣。

【例一】 設有一尺每吋分爲 32 分之一，若欲代表 40 磅，32 磅，56 磅，及 70 磅，問用何種比例尺最爲便利？

依此比例尺，若以 $1'' = 32$ 磅，則各力之長度如下。

$$\frac{40}{32} = 1\frac{1}{4}; \quad \frac{32}{32} = 1; \quad \frac{56}{32} = 1\frac{3}{4}; \quad \frac{70}{32} = 1\frac{3}{16}$$

此諸長度均可用 16 等分之尺繪出之，故 $1'' = 32$ 磅實爲適用之比例尺。

【例二】 設比例尺爲 $1'' = 200$ 磅，問 1.20''，2.11''，及 0.75'' 諸長度代表若干？

依照上述法則，將各長度用 200 乘之可矣，即

$$1.20 \times 200 = 240 \text{ 磅}; \quad 2.11 \times 200 = 422 \text{ 磅}; \quad 0.75 \times 200 = 150 \text{ 磅}.$$

習 題

1. 比例尺爲 $1'' = 500$ 磅，欲代表 1250, 675, 及 900 磅諸力，問各需長度若干？

答 2.5, 1.35, 及 1.8 比

2. 比例尺爲 $1'' = 80$ 磅。問 $1\frac{1}{4}''$ 及 $1.6''$ 所代表之力大小若干？

答 100 磅及 128 磅

5. **同點力及不同點力** 若有多數力之作用綫，交於一點者稱爲同點力，或稱同點系，相交之點稱爲力之同點。若多數力之作用綫不交於一點，稱爲不同點力或不同點系。

本文所討論之力，其作用綫均限於在同一平面內者。但有時吾人所遭遇之問題，其力之作用綫並不在同一平面內，此則亦可引用本文之理論解答之。

6. **平衡及平衡力** 一靜止物體，受許多力作用時，每一力均

有移動此物體之傾向，但結果此諸力有時可互相抵消，稱爲『平衡』。在一平衡系中，任何一力對於其他諸力均爲平衡也。一力能對於諸力平衡者，稱爲諸力之『平衡力』。

7. 合力及合成 任何一力，能與一羣力發生同樣作用者（指與他力平衡而言），此力名爲此一羣力之『合力』。故一羣力之合力與其平衡力，量及作用綫均相同，而方向則相反。

構成一羣力之合力之方法，名爲力之『合成』。

8. 分力及分解 任何數力，其合併作用，與一力之作用相同者，此數力名爲此一力之『分力』。構成一力之分力之方法，名爲力之『分解』。分解之最重要者，爲以一力解成兩個分力。

第二章 同點力合成及分解

9. 兩同點力合成之圖解法 設 AB 及 BC (圖 3) 表示兩力之量及方向, 則 AC 即表示其合力之量及方向。此名『三角形定律』。

合力之作用綫, 爲與 AC 平行, 而通過已知兩力之交點, 故 ac 即合力之作用綫也。

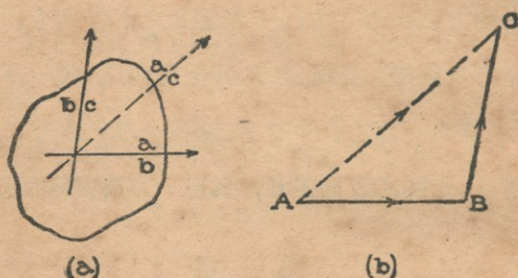


圖 3

此定律可用實驗證明之, 用兩個彈簧秤, 一塊畫圖板, 及幾條繩, 作成圖 4 之裝置。先將圖板直立(圖上未顯示), 兩彈簧秤即懸於板上之兩釘上。再將兩秤用繩牽連於小環 A , 另將一件重體懸於環上(此重體亦不顯於圖上)。 A 環在三力作用下, 呈平衡狀態, 即向下一力, 等於懸體之重量, 上面兩力即兩繩之拉力, 其量可於彈簧秤上讀得之。其第一力即其他兩力之平衡力。已知懸體之重量及彈簧秤上之讀數。用某種便利之比例尺, 繪出 AB 綫, 等於右上側之繩之拉力, 又繪出 BC 綫, 平行而等於左上側繩之拉力, 則連接 AC 之綫, 適爲垂直綫, 其長度(依比例尺)即等於懸體之重量。故

AC 綫,其箭頭向下,即為環之兩向上拉力之平衡力;其箭頭向上,即為此兩拉力之合力。

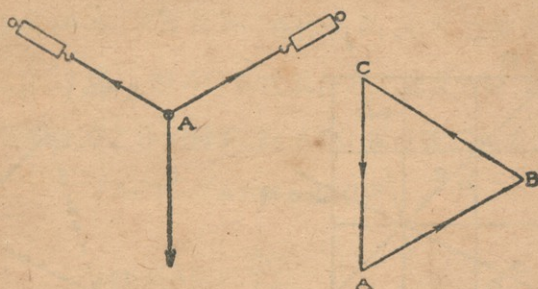


圖 4

圖 3 三角形箭頭之方向,須特別注意,更須澈底明瞭,此蓋本篇學識之基礎也。

【例】圖 5 表示一板,3 呎見方,作用諸力,均顯示其上。試求其中 100 磅及 80 磅兩力之合力。

先將木板另繪一圖,將欲求合力之兩力,繪於其上,如圖 6。然後用便利之比例尺,如每一吋等於 100 磅,從任意便利點 A,依 100 磅力之方向,繪出 AB 綫,並使 AB 等於 1 吋,即代表 100 磅;再從

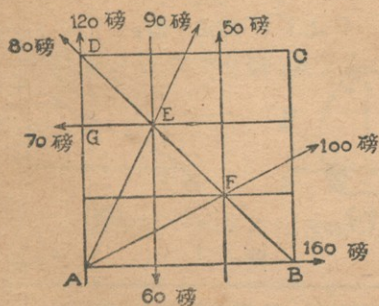
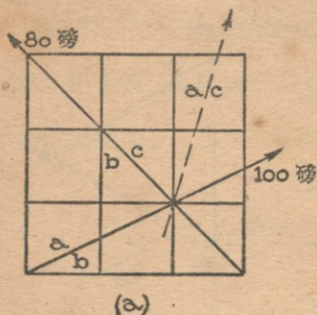


圖 5

B 點依第二力之方向,繪出 BC 綫,使 BC 等於 0.8 吋,即依比例尺代表 80 磅。於是 AC 綫,其箭端自 A 指向 C,即代表合力之量及方向矣。用比例尺量得 AC 等於 1.06 吋,故合力等於 $1.06 \times 100 = 106$ 磅。

合力之作用綫為 ac ，係與 AC 平行，而經過兩力之交點（即兩力之同點）。若將符號補齊，則圖中其他兩力之作用綫應稱為 ab 及 bc 。



比例尺 $1'' = 100$ 磅

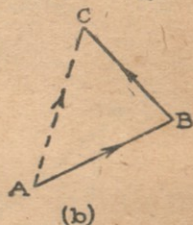


圖 6

習題*

1. 試求圖 5 中 100 及 120 磅兩力之合力。

答 合力之量為 188 磅，方向自 A 向上，經過 D 之右側 1.62 呎處之一點。

2. 試求圖 5 中 120 及 160 磅兩力之合力。

答 合力為 200 磅，方向自 A 向上，經 C 之下 9'' 處之一點。

10 兩同點力合成之代數法 兩同點力作用綫間之角，若非 90 度，則其代數法並不簡單，可應用圖解法。若

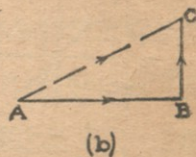
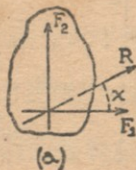


圖 7

* 習題用紙，不可小於大號信箋，每題須用一紙。讀答數時須知力所用之板為三呎見方。

其角適為 90 度,則代數法較為簡單矣,試述如次。

圖 7-a 表示一物體,有 F_1 及 F_2 兩力,同經過物體內之某點,而其夾角適成 90 度。AB 及 BC 各代表 F_1 及 F_2 之量及方向,依照三角形定律(9 節),則 AC 即代表合力之量及方向,而 R 綫(與 AC 平行)即此合力之作用綫矣。因 ABC 為直角三角形,

$$\text{故} \quad (AC)^2 = (AB)^2 + (BC)^2$$

$$\text{又} \quad \tan CAB = \frac{BC}{AB}$$

設 R 代表合力,則 AC, AB, 及 BC 即各代表 R, F_1 , 及 F_2 ; 又 CAB 角 = x , 故 $R^2 = F_1^2 + F_2^2$; 即 $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$, 及 $\tan x = \frac{F_2}{F_1}$ 。用此兩方程式,即可計算合力之量,及其作用綫與 F_1 所成之斜角。

【例】試就圖 5 之 120 及 160 磅兩力,以求其合力。

$$\begin{aligned} \text{以 160 磅力作為 } F_1, \text{ 則 } R &= \sqrt{160^2 + 120^2} = \sqrt{25600 + 14400} \\ &= \sqrt{40000} = 200 \text{ 磅} \end{aligned}$$

$$\text{又 } \tan x = \frac{120}{160} = \frac{3}{4}; \quad \text{故 } x = 36^\circ 52'.$$

即其合力之量為 200 磅,其方向(圖 5)為向右斜上,與水平成 $36^\circ 52'$ 之角。

習 題

1. 試求圖 5 之 50 及 70 磅兩力之合力。

$$\text{答} \quad \left\{ \begin{array}{l} R = 86 \text{ 磅} \\ \text{合力及 70 磅力之夾角為 } 35^\circ 32' \end{array} \right.$$

2. 試求圖 5 之 60 及 70 磅兩力之合力。

$$\text{答} \begin{cases} R = 92.2 \text{ 磅} \\ R \text{ 及 } 70 \text{ 磅力之夾角爲 } 40^\circ 36' \end{cases}$$

11. 力之多邊形 若將任何數力，各依其量及方向連續繪成，而其箭頭係順同一路線進行者，此形式名爲力之多邊形。圖 8 之 ABCD 爲圖 5 之 80, 90, 及 100 磅三力之多邊形，因 AB, BC 及 CD 三綫各表示此三力之量及方向，而其箭端係順同一路線進行，自 A 達 D。

惟一羣力可以繪成許多個多邊形 無兩個相同。如 $A_1B_1C_1D$ 及 $A_2B_2C_2D_2$ 均爲 80, 90, 及 100 磅三力之多邊形也。但 $A_3B_3C_3D$ 並非此三力之多邊形，此所當注意者，因其所繪之量及方向雖與三力相同，但其箭頭並不順同一路線進行也。

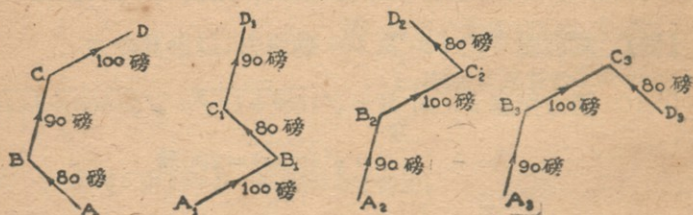


圖 8

一多邊形不必爲閉合形，若一羣同點力之多邊形爲閉合形，則其合力即等於零。

習 題

1. 試就圖 5 之 100, 120, 及 160 磅三力，繪成數個力之多邊形，愈多愈好。惟須注意，多邊形內之箭端，必須順同一路線進行。

12. 兩以上同點力之合成 此用圖解法較爲簡單，故其代數法本文不再說明矣，圖解合成法之規則如下：

(1) 先將已知之力,繪成力之多邊形。

(2) 連接此多邊形之兩端成一直綫,置一箭頭於此連接綫上,其方向須自多邊形之始點指向其終點。此綫即代表其合力之量及方向矣。

(3) 再由諸力之同點繪一直綫,與(2)之連接綫相平行,則此綫即為其合力之作用綫。

【例】 試就圖 5 同交於 E 點之四力,求其合力。

先畫原有之圖板,並將代表諸力之作用綫繪入,惟不列字母,如圖 9。然後構造力之多邊形,自 A 點依一力(70 磅力)之方向,畫 AB 直綫,等於 70 磅(依比例尺 $70 \div 100 = 0.7''$)。再從 B 點依第二力 80 磅)之方向,畫 BC 綫等於 $0.8''$,以代表 80 磅。再從 C 點依第三力(90 磅)之方向,畫 CD 綫等於 $0.9''$,以代表 90 磅。最後從 D 點依第四力之方向,畫 DE 綫等於 $0.6''$,以代表 60 磅。如此自 A 達 E,造成多邊形 ABCDE。

其次連接 AE 綫,置一箭頭,使自 A 指向 E,此即代表合力之量及方向也。量得 AE 等於 $1.16''$,即合力為 $1.16 \times 100 = 116$ 磅。

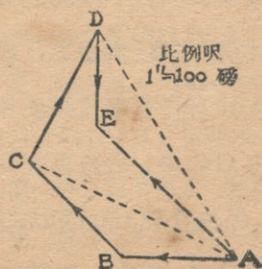
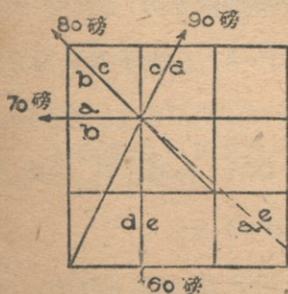


圖 9

再次經過力之同點，畫 ae 綫，與 AE 平行。此即合力之作用綫。（爲補齊符號起見，所有 70, 80, 90 及 60 磅諸力之作用綫，各以 $ab, bc, cd, \text{及 } de$ 記之）

此合成法則，可以證明無訛。依三角形定律， AC 綫其箭頭自 A 向 C ，爲代表 70, 80 磅兩力之合力之量及方向。依同律， AD 其箭頭自 A 向 D ，爲代表 AC 及 90 磅力之合力之量及方向，亦即代表 70, 80 及 90 磅三力之合力也。又依同律， AE 其箭頭自 A 向 E ，爲代表 AD 及 60 磅力之合力之量及方向。故本節方法與三角形定律可得同樣結果，惟應用此方法，較爲簡便，因此法無需 AC 及 AD 兩直綫也。

習 題

1. 試就圖 5，經過 A 點之四力，求其合力。

答 合力爲 380 磅，自 A 向上經 C 點下 0.45 呎處之一點。

2. 試就圖 5 同交於 F 點之三力，求其合力。

答 合力爲 155 磅，自 F 向上，經 C 點左 0.57 呎處之一點。

13. 一力分解爲兩同點分力之圖解法 此可將三角形定律反用之。例如將圖 5 內 100 磅之力，分解爲兩分力，先繪圖 10-a，以表示此力之作用綫，次畫 AB 綫（圖 10-b），以表示其量及方向。然後自 A 及 B 畫任意兩直綫使相交於 C ； AC, CB 上之箭端爲自 A 指 C ，及自 C 指 B 。於是再在其地位圖內，作兩直綫，各與 AC 及 CB 平行，而相交於 100 磅力之作用綫 ab 上。

此分解法是否無訛，可就已得之兩分力，反求其合力，以證明之。若求得之合力，與原有力之量，方向，及向，均相符合，則分解法

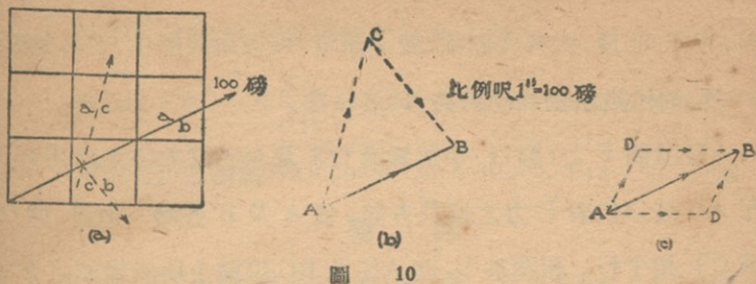


圖 10

即無錯訛。

惟上項分解法,並無一定,因自 A 及 B 所繪兩直綫,係隨意作成也。即一力可用無數方法分解為兩個分力。但分力若須滿足某項條件,則僅有一種分解法矣。分解法之最重要者,即分力之作用綫為已知;如此則條件確定,方法祇有一種,試舉例明之。

【例】 試將圖 5 內 100 磅之力,分解為沿 AE 及 AB 之兩力。

用圖 10 之地位圖,作 AB 綫於圖 10-c,以代表 100 磅力之量及方向。然後自 A 作一直綫,與一分力之作用綫平行,又自 B 作一直綫與他分力之作用綫平行,即得交點 D (或 D')。故 AD 及 DB (或 AD' 及 D'B) 即代表所求兩分力之量及方向矣。

習 題

1. 試將圖 5 內 160 磅之力,分解為沿 AF 及 AE 之兩分力。

答 { 第一分力為 238½ 磅,其向自 A 向 F
 第二分力為 119½ 磅,其向自 E 向 A

2. 試將圖 5 內 50 磅之力,分解為沿 FA, 及 FB 之兩分力。

答 { 第一分力為 37.3 磅,其向自 A 向 F
 第二分力為 47.0 磅,其向自 B 向 F

14. 一力分解為兩個分力之代數法 兩分力之作用綫相交之

角，若非 90 度，則其代數法，並不簡單，可仍用圖解法，若其角適為 90 度，則代數法較為簡易矣，試述如次。

設欲將 F 力(圖11)分解為沿 OX 及 OY 兩直線之兩分力。先作 AB 綫以代表 F 力之量及方向，從 A 及 B 各繪一直綫，與 OX 及 OY 相平行，相交於 C ，則 AC 及 BC 依圖上所繪箭頭之方向，即代表所求兩分力之量及方向矣。

今設 F' 及 F'' 代表沿 OX 及 OY 之分力， x 及 y 各表示 F 及 F' 間與 F 及 F'' 間之夾角，則 AC 及 BC 即表示 F' 及 F'' ，而 BAC 角及 ABC 角即表示 x 及 y 角，由直角三角形 ABC ，即得

$$F' = F \cos x,$$

及 $F'' = F \cos y.$

凡一力所分解之兩分力，互成直角者，此分力即名為直角分力。即

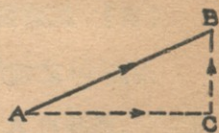
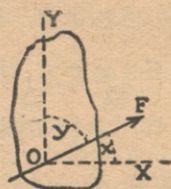


圖 11

F' 及 F'' 為 F 之直角分力也。

上述方程式，即表示凡一力沿任何直綫之直角分力，即等於此力與其夾角之餘弦相乘之積；又一力沿其自身作用綫之直角分力即等於其本力，而沿其垂直方向之直角分力等於零。

【例一】 一力等於 120 磅，與水平綫成 22 度角。問其沿水平綫之分力為若干？*

$$\cos 22^\circ = 0.927, \text{故分力為 } 120 \times 0.927 = 111.24 \text{ 磅}$$

【例二】 問圖 5 內 90 磅之力，沿垂直綫之分力為若干？

* 凡不說明是否直角，皆指直角分力也

本題應先求 90 磅力與垂直綫間之角度。

$$\text{因 } \tan \text{EAG} = \frac{\text{EG}}{\text{AG}} = \frac{1}{2}, \quad \text{故 EAG 角} = 26^{\circ}34'$$

所求之分力等於 $90 \times \cos 26^{\circ}34' = 90 \times 0.8944 = 80.50$ 磅

習 題

1. 一力爲 80 磅,與水平綫成 60 度角。試求其垂直及水平兩分力。

答 40 磅,及 69.28 磅

2. 試求圖 5 內 100 磅力之垂直及水平分力,及其方向。

答 $\begin{cases} 89.44 \text{ 磅, 向右} \\ 44.72 \text{ 磅, 向上} \end{cases}$

3. 試求圖 5 內 70 磅力沿 EA 綫之分力,及其方向。

答 31.29 磅,自 E 向 A

第三章 同點力之平衡

15. 平衡條件之規定 所謂一羣力之平衡條件者，即為一種關係；欲得力之平衡，必須滿足此種關係；或有此關係時，其諸力即得平衡也。

欲一羣力得其平衡，其平衡力或其合力，必等於零，此平衡之一條件也。若一羣力已得平衡，則力與力亦互相平衡，故其平衡力及其力之合力亦等於零。此合力等於零之必要條件，實為平衡之通用條件，因其與各種力之系統有關也。在特種力羣，尚有特種條件，其中數項，當於下文述之。

16. 平衡之圖解條件 一羣同點力平衡之圖解條件，即其力之多邊形，必須為閉合。因多邊形若為閉合，則其合力等於零，此在 11 節中已述之。

應用此條件，凡與在平衡狀態之同點力有關之問題，均可解之。下述之問題，為其最普通而重要者。

一羣同點力在平衡狀態，除兩力外，其餘諸力均為已知，而此兩力之作用綫，亦為已知，今欲求此兩力之量及其方向。此問題在『構架分析』中，頻頻遇之（23 節至 26 節），茲擇其簡單者，試述如次。

【例一】圖 12 表示一物體，在斜面上，有繩繫之，得靜止不動。若物體重 120 磅，而斜面為完全平滑*，試求繩之拉力，及物體對於斜面之壓力各若干。

作用於此物體共有三力，即向下之重量，繩之拉力，及斜面之反動力或稱壓力，依本節頁底註解，此壓力係與斜

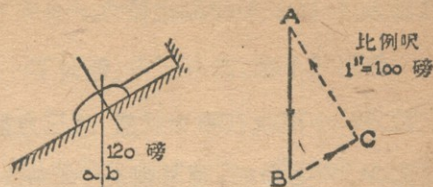


圖 12

面相垂直也。先作力之多邊形，使其閉合；繪 AB 綫（1.2"），以代表物體重量（120 磅）之量及其方向。然後從 A 畫一直綫與一力平行，再從 B 畫一直綫與第三力平行，此兩直綫相交於 C；故 ABCA 為一多邊形。AB 綫上之箭頭必須向下，而多邊形各邊之箭頭，必順同一路綫進行，故 BC 及 CA 之方向，均應如圖所示。

如此則 BC（0.6"，或 60 磅）代表繩之拉力之量及方向，CA（1.04" 或 104 磅）代表斜面加於物體之壓力之量及方向。

【例二】圖 13 表示一物體，重 200 磅，繫於一小環，其上用兩

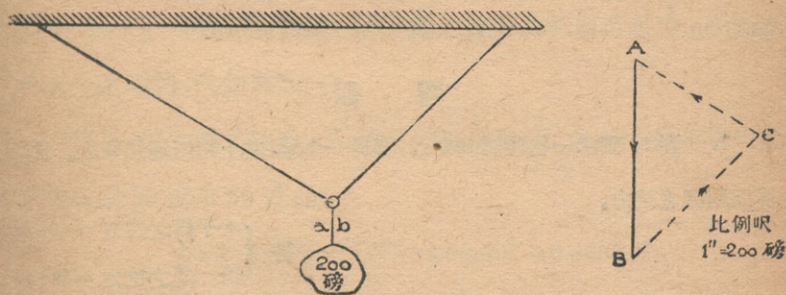


圖 13

* 所謂“完全平滑”面者，言對於物體之滑動，無抵抗力也。嚴格論之，世上並無此種平面，因任何實際平面，多少均有摩擦抵抗。但僅有實際上作為完全平滑而已。本書例題中為簡便起見，常用完全平滑之面，以避免摩擦力，故此種平面作用於上面所置物體之力，為與平面相垂直。

繩懸繫之。試求此兩繩之拉力。

作用於小環，計有三力，即向下一力，等於物體之重量，及兩繩之拉力。小環既在靜止狀態，此三力即得平衡，故其力之多邊形必係閉合。作多邊形，使其閉合，即可決定拉力之值矣。先繪 AB 綫（長 1''）以代表已知力 200 磅之量及方向，其箭頭必係向下；然後從 A 畫一直綫與一繩平行，再從 B 畫一直綫與第二繩平行，此兩直綫相交於 C。ABCA 即三力之多邊形，其各邊之箭頭，均須順同一路綫進行，故 BC 及 CA 之箭頭，均應如圖所示。如此則 BC 及 CA 即代表右左兩繩加于小環之拉力之量及方向，即

$$BC = 0.895'', \text{ 代表 } 179 \text{ 磅。}$$

$$CA = 0.725'', \text{ 代表 } 145 \text{ 磅。}$$

此拉力之方向極為明顯，故箭端均向上，但此處仍加釋明，使學者知其所以然耳。為補齊符號起見，右側之繩，須記以 *bc*；左側之繩，記以 *ca*。

習題

1. 圖 14 表示一物體重 800 磅，繫於一小環，其上用兩繩懸繫之。試計算此兩繩之拉力。

答 { 水平繩之拉力 = 400 磅
斜繩之拉力 = 894 磅

2. 假定在圖 12 維繫物體之繩為水平，斜面對於水平所成之角為 30 度，物體之重量為 120 磅，試求繩之拉力，及斜面之壓力。

答 { 拉力 = 68.7 磅
壓力 = 138 磅

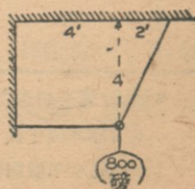


圖 14

3. 一球重 400 磅，放於 V 形槽內。槽之側面與水平各成 60 度角。試求槽之側面對於球之壓力。

答 400 磅

17. 平衡之代數條件 假定在平衡狀態之一羣同點力，每一力各以其沿相交成直角之兩綫之分力代替之，例如經過同點之水平及垂直兩綫。如此則分力之全部必仍在平衡狀態。因所有分力必沿兩綫之一（水平或垂直），故沿每一綫之所有分力，亦必各成平衡，蓋若有一組分力不平衡，則物體即沿此分力綫而移動矣。是以一羣同點力之平衡條件，為所有諸力化成沿相交成直角之任何兩綫之兩組分力，其合力必各等於零。

若沿上述兩直綫之一之分力，向同一方向者為正號，向反方向者為負號，則上述方法，可換言為『一羣同點力之平衡條件，即為沿相交成直角之兩綫上兩組分力之代數和，必各等於零。』

【例一】 試求 16 節例一內，繩之拉力及斜面之壓力。斜面對於水平之傾斜，已知為 30 度。

設 F_1 表示繩之拉力， F_2 表示斜面之壓力。此兩力與水平所成之角各為 30 度及 60 度，故

$$F_1 \text{ 之水平分力} = F_1 \times \cos 30^\circ = 0.8660 F_1,$$

$$F_2 \text{ 之水平分力} = F_2 \times \cos 60^\circ = 0.5000 F_2,$$

$$\text{重量之水平分力} = 0$$

F_1 及 F_2 與垂直綫所成之角為 60 度及 30 度，故

$$F_1 \text{ 之垂直分力} = F_1 \times \cos 60^\circ = 0.5000 F_1,$$

$$F_2 \text{ 之垂直分力} = F_2 \times \cos 30^\circ = 0.8660 F_2.$$

重量之垂直分力 = 120

原有三力既在平衡狀態，則水平及垂直分力必各成平衡，故

$$0.866 F_1 = 0.5 F_2$$

及

$$0.5 F_1 + 0.866 F_2 = 120$$

解此兩方程式，即得 F_1 及 F_2 ；先從第一式，

$$F_2 = \frac{0.866}{0.5} F_1 = 1.732 F_1, \quad \text{代入第二式，}$$

$$0.5 F_1 + 0.866 \times 1.732 F_1 = 120, \quad \text{或 } 2 F_1 = 120, \quad F_1 = 60 \text{ 磅。}$$

$$F_2 = 1.732 F_1 = 1.732 \times 60 = 103.92 \text{ 磅。}$$

【例二】 試用代數法，以求圖 13 內兩繩之拉力。左繩及右繩與頂板所成之角度，各為 30 度及 70 度 又物體重量為 100 磅。

設 F_1 及 F_2 各代表右繩及左繩之拉力。

則 F_1 之水平分力 = $F_1 \times \cos 70^\circ = 0.342 F_1$,

$$F_2 \text{ 之水平分力} = F_2 \times \cos 30^\circ = 0.866 F_2.$$

$$\text{重量之水平分力} = 0,$$

又 F_1 之垂直分力 = $F_1 \times \cos 20^\circ = 0.9397 F_1$,

$$F_2 \text{ 之垂直分力} = F_2 \times \cos 60^\circ = 0.500 F_2,$$

$$\text{重量之垂直分力} = 100.$$

原有三力 既在平衡狀態，則水平及垂直分力，必各成平衡，故

$$0.342 F_1 = 0.866 F_2,$$

及

$$0.9397 F_1 + 0.5000 F_2 = 100.$$

解此兩式，即可得未知數；先從第一式得

$$F_1 = \frac{0.866}{0.342} F_2 = 2.532 F_2$$

以此 F_1 代入第二式，得 $0.9397 \times 2.532 F_2 + 0.5 F_2 = 100$ ，

或 $2.88 F_2 = 100$ ，故 $F_2 = \frac{100}{2.88} = 34.72$ 磅，

又 $F_1 = 2.532 \times 34.72 = 87.91$ 磅。

習題

1. 試用代數法以解 16 節之習題 1. (先求斜繩與水平所成之角度，當得 $63^\circ 26'$)
2. 試用代數法以解 16 節之習題 2.
3. 試用代數法以解 16 節之習題 3.

第四章 構架分析：『接合點法』

18. 構架 構架者為一種結構，用以支持荷重，如屋架及橋架等是也。圖 16, 25, 26, 及 27 等，均表示構架之各種形式。其單獨之桿如 $\overline{12}$ 及 $\overline{23}$ 等（圖 16）。稱為構架之『肢』。連合一羣肢體於一處，其有關各部份構成一『接合點』。圖 15-a 表示一『活栓接合點』，15-b 表示一『帽釘接合點』。

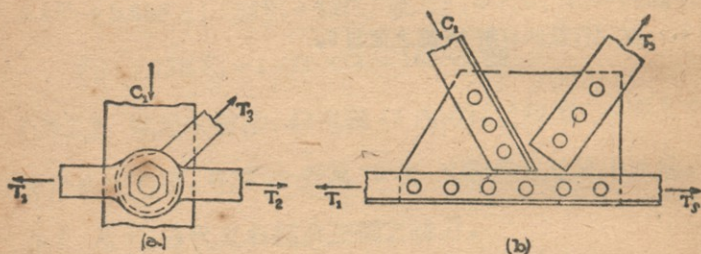


圖 15

19. 構架荷重 構架所擔負之荷重，可分別為固定荷重或死荷重，及活動荷重或活荷重。固定荷重或死荷重者，為一種荷重，其對於構架之作用地點為固定的；活動荷重或活荷重者，其作用地點，可在構架上移動也。

屋架荷重尋常均為固定，包括屋架之重量，屋頂之材料，有時更包括雪重及風壓力。橋架荷重則固定及活動兩者並有，前者包括橋架，橋面板或軌道，及雪之重量，以及風之壓力；後者為橋上經過之列車或車輛之重量。

屋架重量 在設計構架之前，必先估計構架之自身重量，至其

確實重量,必待設計完成,始可得知。現有許多公式,可以計算構架重量之約數,此種公式,大都從已成構架確實重量之經驗得來也。

設 W 為構架重量以磅計, l 為跨度或支點間之距離以呎計及 a 為兩構架間之距離,以呎計,則在鋼質構架。

$$W = al \left(\frac{l}{25} + 1 \right);$$

若在木質構架,則重量較此略小。

屋頂 置於兩屋架間以支托屋頂之梁,名為『桁條』,桁條之上,有時更置輕小之梁,稱為『椽』。椽者,用以支托屋頂板或其他覆蓋材料。有時桁條排列甚密,椽可省而不用。

下列為屋面每方呎,屋頂材料之重量,以磅計:

覆板: 木板, 3-5。

蓋片: 錫片, 1; 木片, 2-3; 鐵片, 1-3; 石板, 10; 瓦 12-25。

椽: 1.5-3。

桁條: 木質, 1-3; 鐵質, 2-4。

雪重 屋面所負擔之雪重,當然隨地域而異。尋常屋頂面積每方呎之雪重,作為自 10 磅至 30 磅。

風壓力 風之每方呎壓力,視風之速度,及屋面與風方向之傾斜角而定。風速每小時 90 哩,並沿水平方向進行者,足以在與風向垂直之面上,發生每方呎 40 磅之壓力。若其接觸面為傾斜,則其壓力如下:

與水平成 10° 角,每方呎 15 磅; 與水平成 30° 角,每方呎 32 磅;

與水平成 20° 角,每方呎 24 磅; 與水平成 40° 角,每方呎 36 磅;

與水平成 50° 至 90° 角,每方呎 40 磅

斜面上之風壓力，實際上與屋面相垂直。

20. 集點荷重之計算 屋頂之重量，連椽及桁條在內，均籍桁條之支點，以作用於屋架；風及雪之壓力亦同。有時所有桁條均擱於接合點上，如此則上述荷重，均作用於構架之接合點上。此種屋面及風雪荷重，每假定均作用於構架之上部接合點。依此假定，則不擱於接合點之桁條，其彎曲作用略而不計矣。此項彎曲作用，可以分別計算之。

構架之本身重量，亦常假定加於上部接合點；此假定當然不甚準確，但構架之上部肢桿，常較下部為重，故其重量之大部份亦確在上部接合點，此假定因此亦大概可用也。

【例一】 圖 16 表示一鋼質構架，屋頂每方呎重 15 磅，兩架間之距離為 14 呎。試求此構架之集點荷重。

架之跨度為 42 呎，依公式（19 節），此構架之重量為

$$14 \times 42 \left(\frac{42}{25} + 1 \right) = 1575.84 \text{ 磅}$$

斜面 $\overline{14}$ 之長度，依比例尺約為 $24\frac{1}{2}$ 呎，故一個構架所負擔之屋頂面積為 $48\frac{1}{2} \times 14 = 697$ 方呎，

屋頂重量等於 $697 \times 15 = 10,185$ 磅。

故總荷重等於 $1,575.84 + 10,185 = 11,760.84$ 磅。

此全部荷重應分配於 5 個上部接合點，但接合點(1)及(7)僅負擔其他接合點之半數。故在接合點(1)及(7)，其荷重各等於

$$\frac{1}{2} \times 11,760 = 1,470 \text{ 磅；}$$

在其他(2)(4)及(5)三接合點，其荷重各等於

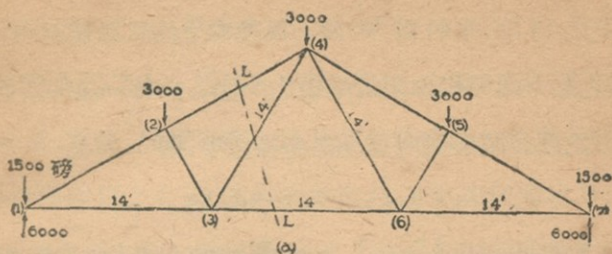


圖 16

$$\frac{1}{4} \times 11,760 = 2,940 \text{ 磅。}$$

惟構架之荷重, 原係約計數, 故為便利起見, 本例之集點荷重可作為 1,500 及 3,000 磅。

【例二】 試計算圖 16 之屋架上, 由於降雪之集點荷重, 兩屋架間之距離為 14 呎。

每一屋架所遮蓋之水平面積等於 $42 \times 14 = 588$ 方呎。

假定每方呎水平面積上雪之荷重為 10 磅, 則每一屋架所担任之雪重, 等於 $588 \times 10 = 5,880$ 磅。

此荷重應分配於上部各接合點, 故在接合點(1)及(7), 其荷重各為

$$\frac{1}{8} \times 5,880 = 735 \text{ 磅;}$$

在接合點(2)(4)及(5), 各為 $\frac{1}{4} \times 5880 = 1470$ 磅。

【例三】 試計算圖 16 之屋架上由於風力之集點荷重, 兩屋架間之距離為 14 呎。

屋面對於水平面之傾斜角, 可在依照比例尺所繪之圖上, 用分度規量得之, 或計算如次: 三角形 $\overline{346}$ 為等邊三角形, 故其內角各等於 60 度, 即三角形之高度等於 $14 \times \sin 60^\circ = 12.12$ 呎。

$$\tan \overline{413} = \frac{12.12}{21} = 0.577, \quad \text{故傾斜角 } \overline{413} = 30^\circ$$

依上文 19 節，傾斜為 30° 時，風壓力之適當數值為每方呎 32 磅。但風之壓力同時祇作用於屋頂之一側，故每一屋架所担負，僅為風壓力之施於該屋架所負全部面積之半，即

$$14 \times 24\frac{1}{2} \times 32 = 10,864 \text{ 磅。}$$

此壓力之半數加於接合點(2)，其餘接合點(1)及(4)各負擔 $\frac{1}{4}$ 。

習 題

1. 試就圖 27 之構架，以計算其本身重量之集點荷重，設屋頂每方呎重 12 磅，兩架（鋼質）間之距離為 12 呎。

答如圖 27 所示

2. 試計算圖 25 之構架上，由於雪重之集點荷重，雪荷重為每方呎 20 磅，架間之距離為 15 呎。

答 { 在接合點(4)及(7), 1,200磅
在接合點(1)及(3), 3,600磅
在接合點(2) 4,800磅

3. 試就圖 26 之屋架，計算其由於風力之集點荷重，兩架間之距離為 15 呎。

答 { 風壓力每方呎約為 29 磅；
在接合點(2)，風荷重為 4,860 磅；
在接合點(1)及(3)各為 2,430 磅。

21. 構架一肢之應力 若一構架之荷重，僅作用於接合點上，則其各肢或受張力或受壓力，但各肢之本身重量，除垂直者外，亦足使肢體彎曲也。桁條置於接合點間之肢上，則肢體亦受彎曲矣。故構架內有張力肢，壓力肢，及張力或壓力與彎曲應力合并之肢。凡簡單張力或壓力，稱為直接應力，與材料力學內所述者相同。

決定肢內直接應力之法, 稱爲『構架分析』。

22. 在接合點之力 所謂在一接合點之力者, 指所有加於此接合點之荷重, 重量, 反動力等, 以及會合於此接合點之各肢所作用之力。各肢所作用之力, 在壓力肢爲推力, 在張力肢爲拉力, 各依其肢之軸綫而作用者也。例如圖 15-a 之水平肢及斜肢均受張力, 故作用於接合點者均爲拉力, 其垂直肢係受壓力, 故作用於接合點者爲推力, 圖上已表明矣。作用於一接合點之力, 常爲同點力, 其作用綫均爲已知。

23. 普通解法 作用於一接合點之力, 係在平衡狀態, 且諸力皆同點力, 而其作用綫均爲已知, 故若他力之量均爲已知, 則吾人可以求得其中兩力之量。此係重要問題, 在上文 16 節中已述之, 且於 16, 17 兩節中, 舉例解釋之矣。

若欲分析一構架, 其荷重及反動力均已求得,* 則先擇僅有兩肢會合之接合點 (常爲兩端之接合)。將作用於此點之各力, 依 16 及 17 節之方法, 以求得在兩肢作用於此接合點之力。如此求得之力, 卽爲直接應力, 或簡稱應力。此力或爲推力或爲拉力, 卽同肢之他端, 作用於其他接合點之力也。

其次, 再擇其他一接合點, 使其作用之力僅有兩力爲未知者, 此兩力卽可同樣決定之。如此繼續進行, 使每一肢之應力均已決定爲止。茲舉例如下:

【例一】 試求圖 16 鋼質屋架各肢之應力。計算之荷重, 爲屋架自身重量, 及每方呎 15 磅之屋頂重量。兩架間之距離爲 14 呎。

* 求反動力之方法, 見下文第 37 節, 茲但述其數值而已。

本題之集點荷重，已於 20 節例一求得之，且已記明於圖 16 內兩端反動力顯然各等於全部荷重之半，即 $\frac{1}{2} \times 12,000 = 6,000$ 磅。

在接合點(1)，計有四力，即左端反動力(6,000 磅)，及上面之荷重(1,500 磅)。以及 $\overline{12}$ 、 $\overline{13}$ 兩肢所作用之力。今更用圖 17-a 以表明之。此未知之兩力，但須繪成力之閉合多邊形，即可決定之。先繪已知之力，作 AB 綫以代表反動力(長 1"，箭端向上)，又作 BC 綫以代表荷重(長 $\frac{1}{4}$ "，箭端向下)；再從 A、C 兩點，各作直綫與未知力平行，相交於 D (或 D')。於是 ABCDA 即為所需之多邊形，CD (長 $1\frac{1}{4}$ " = 9,000 磅)即代表斜肢 $\overline{12}$ 所作用於接合點之力，DA (長 1.3" = 7,800 磅)代表平肢 $\overline{13}$ 所作用於接合點之力。多邊形之箭端必須

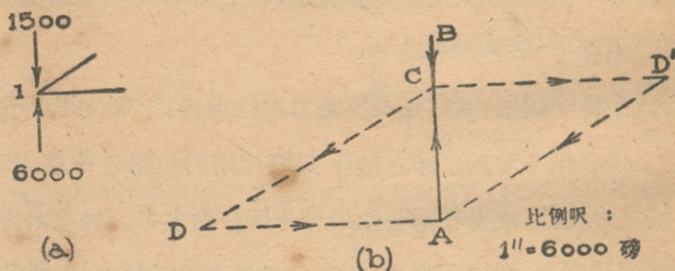


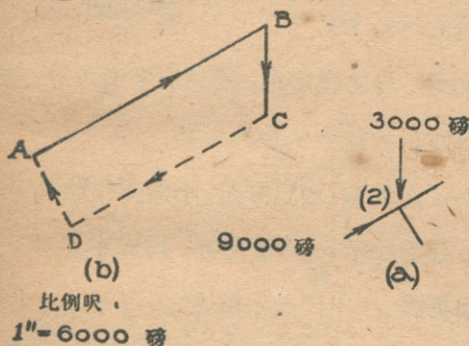
圖 17

同一路綫，故 CD、DA 之箭頭必須如圖所示，即斜肢 $\overline{12}$ 之作用，為推向此接合點，故為推力，而平肢 $\overline{13}$ 之作用，為離開此接合點，故為拉力，即 $\overline{12}$ 係受壓力，而 $\overline{13}$ 係受張力也。

若用 D' 點，其結果亦相同，因 ABCD'A 亦為多邊形，其箭端如圖所示，而 CD' 與 DA，及 D'A 與 CD 均相等而同向也。但此兩種多邊形，祇有一種可用，其理由當於下文述之。

又 $\overline{12}$ 係受壓力, 即有一推力 (9,000 磅) 作用於接合點 (2), 如圖 18-a; $\overline{13}$ 係受張力, 即有一拉力 (7,800 磅) 作用於接合點 (3), 如圖 19-a.

在接合點 (2), 計有四力, 即荷重 (3,000 磅), 及推力 9,000 磅, 以及 $\overline{24}$, $\overline{23}$ 兩肢所作用之力, 均表示於圖 18-a. 此未知之力, 可繪成閉合多邊形以決定之. 先繪已知之力, 作 AB 以代表 9,000 磅力 (長



1.5' 箭端向上), 又作 BC 以代表 3,000 磅荷重, (長 $\frac{1}{2}$ " 箭端向下;) 再從 A, C 兩點各作直綫, 與未知力平行, 相交於 D. 於是, ABCDA 即為所需之多

邊形, CD, DA 之箭端, 均須如圖所示. CD ($1.25'' = 7,500$ 磅) 即代表肢 $\overline{24}$ 所作用於接合點 (2) 之力, 此力推向接合點, 故為推力, 故肢 $\overline{24}$ 係受壓力者. DA ($0.43'' = 2,580$ 磅) 即代表肢 $\overline{23}$ 所作用於接合點 (2) 之力, 此力亦推向接合點, 故亦為推力, 故肢 $\overline{23}$ 係受壓力者. 肢 $\overline{23}$ 同樣以推力作用於接合點 (3), 如圖 19-a 所示.

在接合點 (3), 計有四力, 即 7,800 磅及 2,580 磅, 以及 $\overline{34}$, $\overline{36}$ 兩肢所作用於接合點之力. 今可繪成四力之多邊形以決定之. 作 AB (長 1.3" 箭頭向左) 以代表 7,800 磅力, 作 BC ($0.43''$, 箭端向下) 以代表 2,580 磅力. 然後從 A 及 C 畫兩直綫, 與未知力平行, 相交於 D, 則 ABCDA 即為力之多邊形, CD 之箭端向上, DA 則向

圖 18

右。 $CD(0.43'' = 2,580 \text{ 磅})$ 即代表肢 $\overline{34}$ 作用於接合點之力，此力離開接合點，為拉力，故肢 $\overline{34}$ 係受張力者。DA $(0.87'' = 5220 \text{ 磅})$ 即代表肢 $\overline{36}$ 作用於接合點之力，此力離開接合點，為拉力，故肢 $\overline{36}$ 亦係受張力者。

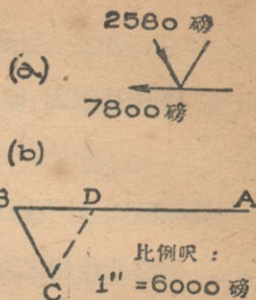


圖 19

今構架上各肢 $\overline{12}$, $\overline{13}$, $\overline{23}$, $\overline{24}$, $\overline{34}$ 及 $\overline{36}$ 之應力之量及種類，均已決定矣。構架右半邊各肢，與左半邊相當各肢之應力均相同，故無須更加分析矣。

【例二】試就圖 20-a 之構架，加以分析，此架支托於兩端，負擔荷重 1,800 及 600 磅，如圖所示。（為簡便計，姑假定荷重之值下面荷重，可作為一懸繫物體。今用代數法解之）。

右端及左端之反動力，各等於 900 及 1,500 磅，見下文 37 節例一。在接合點 (1)，計有三力，即反動力 1,500 磅，及 $\overline{13}$, $\overline{14}$ 兩肢所作用之力，今以 F_1 及 F_2 表之，如圖 20-b。此三力係在平衡狀態，故其水平及垂直分力亦各得平衡。但水平分力祇有兩個，垂直分力亦祇有兩個，故為分力之平衡起見， F_1 必向下作用，而 F_2 必向右。即肢 $\overline{13}$ 係推向接合點，故受壓力；肢 $\overline{14}$ 係拉離接合點，故受張力。

$$F_1 \text{ 之水平分力} = F_1 \cos 53^\circ 8' = 0.6 F_1^*$$

$$F_2 \text{ 之水平分力} = F_2$$

$$\text{又 } F_1 \text{ 之垂直分力} = F_1 \cos 36^\circ 52' = 0.8 F_1$$

$$\text{左端反動力之垂直分力} = 1,500 \text{ 磅。}$$

* 角度，可由構架之尺寸計算之；最便之法可將圖形放大，用分度規量之。

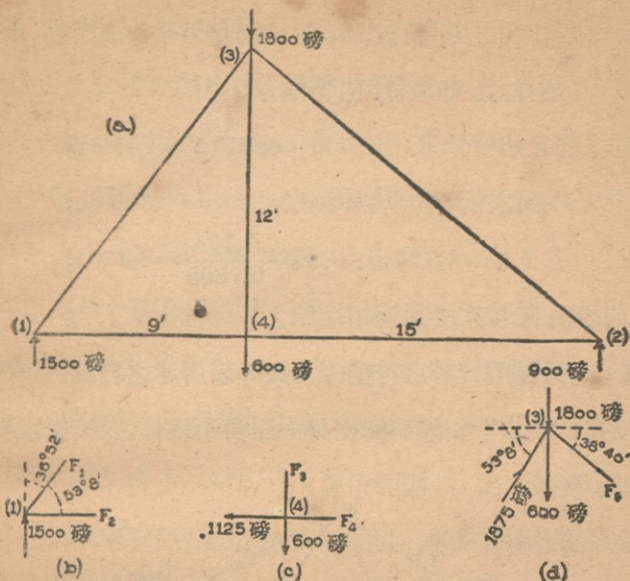


圖 20

故 $0.6 F_1 = F_2$, $0.8 F_1 = 1,500$; $F_1 = \frac{1,500}{0.8} = 1,875$ 磅,

$F_2 = 0.6 \times 1,875 = 1,125$ 磅。

已知肢 $\overline{14}$ 係受張力, 肢 $\overline{13}$ 係受壓力, 即 $\overline{14}$ 施拉力於接合點 (4), 而 $\overline{13}$ 施推力於接合點 (3), 如圖 20-c 及圖 20-d 所示。

故在接合點 (4), 計有荷重 600 磅, 拉力 1,125 磅, 及 $\overline{34}$, $\overline{24}$ 兩肢所作用之力, 今以 F_3 及 F_4 表之。此四力或為水平或為垂直, 故因平衡關係, F_4 必為拉力, 等於 1,125 磅, F_3 亦必為拉力, 等於 600 磅, 顯可毋庸計算矣。此 $\overline{34}$ 及 $\overline{24}$ 兩肢既均以拉力作用於接合點, 故均受張力。

肢 $\overline{43}$ 係受張力, 將接合點 (3) 拉向下, 如圖 20-a 所示。作用於此接合點之他力, 為荷重 1,800 磅, 推力 1,875 磅, 及拉力 600 磅,

以及肢 32 所作用之力，稱為 F_5 ，欲使兩水平分力成平衡，則 F_5 必向左。故 F_5 為推力，即肢 32 係受推力。

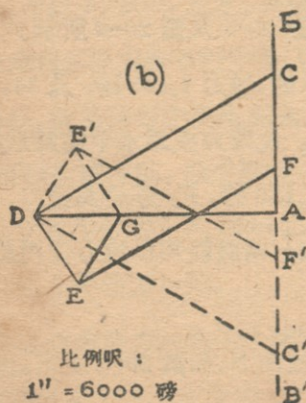
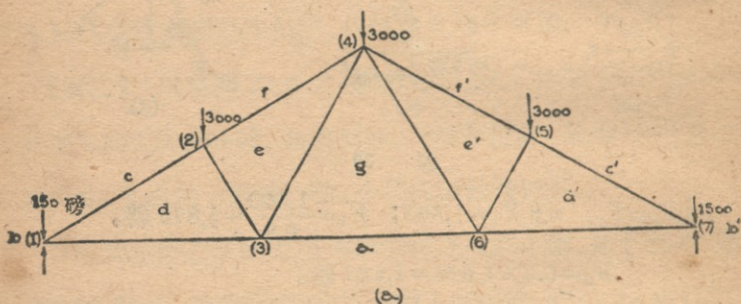
$$1,875 \text{ 磅之水平分力} = 1,875 \times \cos 53^\circ 8' = 1,125 \text{ 磅}$$

$$F_5 \text{ 之水平分力} = F_5 \times \cos 38^\circ 40' = 0.7808 F_5$$

$$0.7808 F_5 = 1,125, \quad F_5 = \frac{1,125}{0.7808} = 1,440 \text{ 磅。}$$

(此構架於後文更用圖解法解之)

24. 架圖解分析之符號 上文 3 節所述之符號，可同樣應用，並連貫推廣如下：構架圖內每一三角形地位，及荷重或反動力



比例尺：

$$1'' = 6000 \text{ 磅}$$

圖 21

之相鄰兩作用綫中間，均用一個小寫字母記明之（參看圖 21-a）。然後任何一綫兩側之字母，即為表示此綫，而同樣兩個大寫字母即表示作用於此綫之力。如圖 21-a 之 cd，即表示肢 12，而 CD 即表示作用於此肢之力，或其應力。

25. 一接合點之多邊形 欲繪成作用於一接合點之力之多邊形,可依各力在接合點周圍之次序,依次表示之,最為便利。此種作法,當然有兩種可能次序;例如,圖 20-a, $F_5, 600, 1,875,$ 及 $1,800$ 為一種次序,而 $F_5, 1,800, 1,875$ 及 600 為又一種次序。第一種為順時針的次序,第二種為反時針的次序。

將作用於一接合點之力,繪成力之多邊形,接合點周圍之各力,不論以何種次序表示之,此多邊形名為『接合點之多邊形』,而各依其順時針或反時針的次序,稱為順時針多邊形,或反時針多邊形。例如在圖 17-b, ABCDA 為接合點(1)之順時針多邊形。但 ABCD'A 僅為在接合點之力之多邊形,並非其接合點之多邊形,因其所表示各力之次序,與任何一種次序均不相合也。

(可試作此接合點之反時針多邊形,與 ABCDA 及 ABCD'A 比較之)。

26. 應力圖 一構架內諸接合點之多邊形,若分別作成,如 23 節例一,則每肢內之應力,均須表示兩次。此諸多邊形實可合并,使每肢內之應力毋須表示一次以上,如此可減少所繪之直綫矣。此種力之多邊形之合并者,稱為應力圖。

圖 21-b 即為圖 21-a 之構架之應力圖,亦與圖 16 之構架相同。此應力圖中之實綫部份,即由構架左半部各接合點之個別各多邊形合并而成(圖 17, 18 及 19)。圖中可見各多邊形均為順時針的,但反時針多邊形,亦同樣可合并為應力圖也。

已知構架之荷重,欲繪一應力圖,其法如下

- (1) 求得支點之反動力。

(2) 依 24 節之規則，將字母記入構架圖內。

(3) 先將作用於構架之外力(荷重及反動力)，繪成力之多邊形，依各力在構架周圍之次序表示之，順時針或反時針均可。(此多邊形內表示荷重之部份，稱為荷重綫)

(4) 然後在此多邊形之邊上，構造諸接合點之多邊形。若外力多邊形為順時針的，則此種多邊形亦必須為順時針的；若為反時針的，亦同。(其第一接合點之多邊形，必須擇祇有兩肢會合之接合點，尋常在構架之支點。然後可依次繼續繪成各接合點之多邊形，使每多邊形之未知力不超過兩個，至應力圖全部完成為止)。

【例】 試就圖 22-a 之構架，繪其應力圖，此架支托於兩端，負擔 1,800 及 600 磅兩個荷重，如圖所示。

右端及左端之反動力，各等於 900 及 1,500 磅，見下文 37 節例一。依照上述方法，先將字母記入構架，如圖。然後將荷重及反動力繪成多邊形，此可從任何近便之一力開始，但必須順次序表示之。例如，從 1,800 磅荷重開始，順時針的次序，先繪成一直線，長 18 吋，以代表 1,800 磅(比例尺每吋等於 1,000 磅)。此力之作用綫為 bc ，故此綫當記為 BC ， B 點須在上端，其理由下文即可明瞭。第二力即為右端反動力 900 磅，於是從 C 點向上作一綫等於 0.9 吋，此力之作用綫為 ce ，故此綫須記為 CE ， C 點原在下端，故其上端即為 E (B 點置於頂端之理由已可瞭然)。再其次為 600 磅荷重，即從 E 向下作一綫等於 0.6 吋，此力之作用綫為 ef ，故記其下端為 F 。再次為左端反動力 1,500 磅，故再從 F 向上作一綫長 1.5 吋。若所繪各綫均屬準確，則最後一綫之尾端，必為 B 點，即此多邊形應閉合。

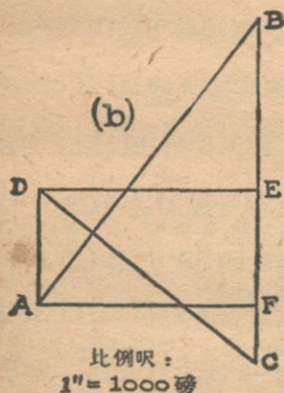
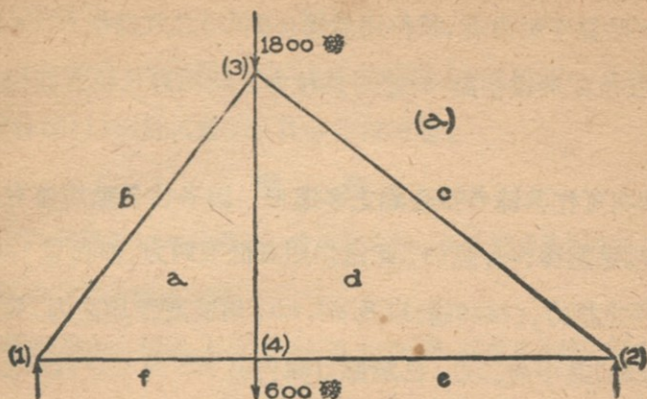


圖 22

現在可準備作接合點之多邊形；此可隨便從右端或左端開始，但必須為順時針的，因荷重及反動力之多邊形（BCEF B）亦係如此。設先從右端開始，此處計有三力，即右端反動力，及 de , dc ，是也，CE 即表示右端反動力，從 E 作直綫與 de

平行，又從 C 作直綫與 dc 平行，相交於 D。則 CEDC，即右端接合點之順時針的多邊形矣，因 CE 係向上，故 ED 之箭端須向左，DC 之箭端須向下。箭端可置於接合點相近處，不必置於應力圖內，此可由學者自為之。 ed 作用於接合點(2)之力為拉力，故 ed 係受張力，量得 ED 等於 1.12" 即張力之值為 1,120 磅。 dc 作用於接合點(2)之力為推力，故 dc 係受壓力，量得 DC 等於 1.44 吋，即壓力之值為 1,440 磅。

de 肢係受壓力者，故作用於接合點(3)之力為推力； de 係受張力者，故作用於接合點(4)之力為拉力。此推力及拉力亦用箭端表示之。

其次可作其餘各接合點之多邊形，因各接合點均僅有兩個未知力矣。姑選擇接合點(3)。此處作用者計有四力，即荷重 1,800 磅， cd 作用之推力，(1440磅)以及 ad , ab ，兩肢所作用之力，其量及向均為未知。其中前二力，已於應力圖內由 BC 及 CD 表示之，今但從 D 作直綫與 da 平行，從 B 作直綫與 ba 平行，相交於 A 。則 $BCDAB$ 即為此接合點之多邊形。 BC 之箭端向下， CD 者向上，故 DA 之箭端當向下， AB 當向上。即將箭端放於 da 及 ab 綫上，與接合點相近之處。此箭端即表示 da 肢作用於接合點之力為拉力，而 ba 為推力，故 da 係受張力，而 ba 係受壓力也。量得 DA 及 AB 各為 0.6 及 1.88 吋，故張力之值為 600 磅，壓力之值為 1,880 磅。

同樣將箭端放於 ad 及 ab 綫上，與接合點(1)及(4)相近之處，以表示拉力及推力之性質。現在僅有 af 應力為未知。此可作接合點(1)或接合點(4)之多邊形以決定之；今擇定接合點(4)。此處作用者有四力，即 600 磅荷重及 ed , da , af 三肢所作用之力。前三力已在圖內由 EF , DE , 及 DA 表示之，且 $ADEF$ 即構成此三力之多邊形（惟不閉合）。其第四力必將此多邊形閉合，即自 F 作直綫，與 af 平行，必經 A 點，此圖若準確作成，則此綫經過 A 點無疑。故 $ADEFA$ 即此四力之多邊形。 FA 上之箭端當向左，同樣將此箭端置於構架圖內之 af 上，與接合點(4)相近之處。如此則肢 af 作用於接合點(4)之力為拉力，即 af 係受張力，量 AF 得 1.12"，即張力

之值為 1,120 磅。

af 既受張力,則作用於接合點(1)為拉力,故可置一箭端於 af 上,與接合點(1)相近之處,以表示此拉力也。

習題

1. 試就前例圖 22-a 之構架,作成應力圖,使各個多邊形均為反時針的,並與圖 22 之應力圖相比較。

2. 圖 23 表示一構架,其頂點有荷重 2,000 磅。試求其各肢之應力

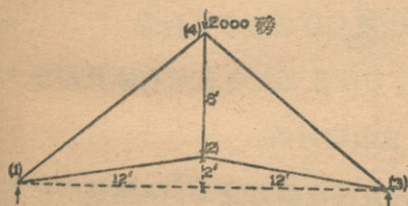


圖 23

答 { $\overline{12}$ 及 $\overline{23}$ 之應力 = 1,510 磅
 $\overline{14}$ 及 $\overline{43}$ 之應力 = 1,930 磅
 $\overline{24}$ 及之應力 = 490 磅

27. 應力紀錄 在構

架分析中,所求得各應力之

值,可作一紀錄,其應力之為抗張為抗壓,常用正負記號表示之。習慣上之用法頗不一律,茲特採用正號以示張力,負號以示壓力。如 +4,560 即為抗張應力 4,560 磅, -7,500 即為抗壓應力 7,500 磅。

分析所得之應力紀錄,可列成一表,如下文例一,或紀入構架本身圖內,如下文例二。

如前節所述,一枝內之應力為抗張或為抗壓,應視此肢對於兩端兩接合點之作用為拉力或為推力而定。代表各肢之直綫上,常置有箭端,如上文 26 節之例,凡在任何肢上,

兩箭端如互相對者為張力肢,

兩箭端如互相反背者為壓力肢。

一構架之分析,如依 24 節之方法將字母記入,又第一多邊形

(專為荷重及反動力者), 如依 26 節之方法作成, 則此字母系統足為繪製各接合點多邊形之指導, 當於下文說明之。惟任何兩平行綫, 一在構架圖內, 一在應力圖內, 必須用同樣兩字母表示之, 前者用小寫字母, 放於綫之兩側, 後者用同樣大寫字母, 放於綫之兩端。

【例一】 試就圖 24 之構架, 繪其應力圖。此架支托於兩端, 而負擔三個荷重, 各為 2,000 磅。兩端反動力各等於 3,000 磅。

依 26 節之方法, 先將字母記入構架圖內, 然後作荷重及反動力之多邊形。如圖 24-b, AB, BC, 及 CD 各為在接合點 (2), (3) 及 (5) 之荷重, 均用比例尺表示之。DE 及 EA 各表示右端及左端之反動力。此多邊形(ABCDEA)為順時針的。

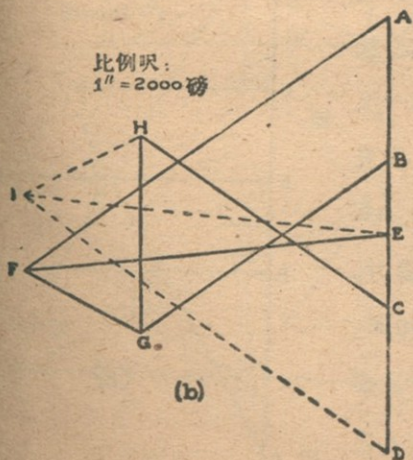
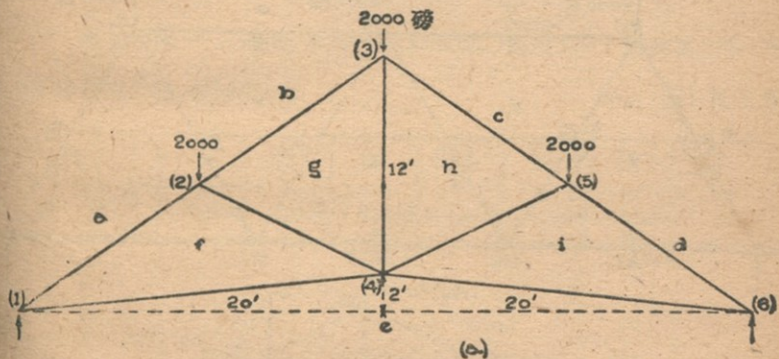
在接合點(1), 計有三力, 即左端反動力及 af , fe 兩肢所作用之力。此兩力須記為 AF 及 FE, 從 A 點作直綫與 af 平行, 又從 E 點作直綫與 ef 平行, 相交於 F。EAFE 即為接合點(1)之多邊形, EA 既作用向上(依多邊形), 故依次 AF 為向下, 而 FE 為向右。置適當箭端於 af 及 fe 上, 與接合點(1)相近處, 並紀錄此數肢之應力, 分別其為抗壓或抗張(如下表)。量得 AF 及 FE 各為 6,150 及 5,100 磅。

肢	af	fe	bg	fg	gh
應 力	-6,150	+5,100	-4,100	-1,875	+2,720

其次可作接合點(6)或(2)之多邊形, 蓋此兩接合點僅有兩個未知力也。在接合點(2), fg 及 bg 兩肢所作用之力為未知, 荷重 ab (2,000 磅) 及 af 所作用之力, 均為已知。此兩未知力須記為 FG 及 GB, 從 F 點作直綫與 fg 平行 又從 B 點作直綫與 bg 平行, 相

交於 G。FABGF 即為此接合點之多邊形, AB 既作用向下, 故順次 BG 為向下, GF 為向上。置適當箭端於 *bg* 及 *gf* 上, 與接合點 (2) 相近之處, 並紀錄此數肢之應力, 均為抗壓。量得 BG 及 GF 各為 4,100 及 1,875 磅。

其次可作接合點 (3) 或 (6) 之多邊形, 此兩接合點亦僅有兩個未知力也。在接合點 (3), *ch* 及 *hg* 兩肢所作用之力為未知, 荷重 2,000 磅及 *bg* 所作用之力 4,100 磅均為已知。兩未知力須記為 CH



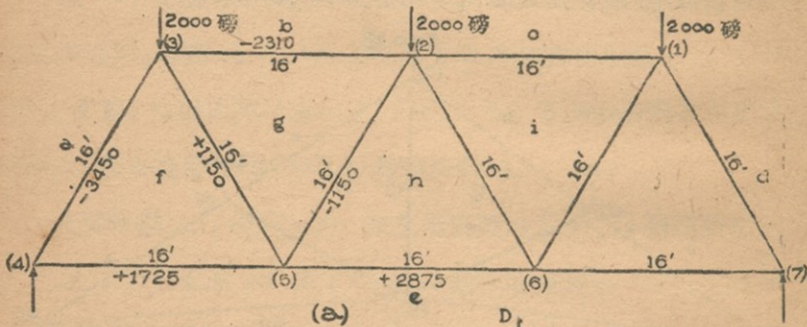
及 GH, 從 C 作直綫與 *ch* 平行, 又從 G 作直綫與 *gh* 平行, 相交於 H。則 GBCHG 即為此接合點之多邊形, BC 既作用向下, 故順次 CH 為向上, HG 為向下。置適當箭端於 *ch* 及 *hg* 上與接合點 (3) 相近之處, 並紀錄此數肢之應力, 分別其為抗壓及抗

張。量得 CH 及 HG 各為 4,100 及 2,720 磅。

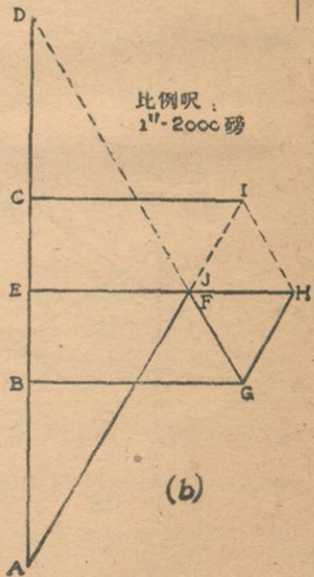
在右半邊各肢之應力，顯然與左半邊者相同，故毋須更作應力圖之全部矣。

【例二】 試分析圖 25 之構架。此架支托於兩端，負擔三個荷重，各 2,000 磅，如圖所示。每肢長 16 呎。

兩端反動力各等於 3,000 磅。依 26 節之方法，先將字母記入



構架圖內，然後作荷重及反動力之多邊形，可依諸力在構架周圍之任何次序為之。DCBAED 即為一反時針的多邊形，DC, CB 及 BA 代表在接合點(1), (2)及(3)之荷重，AE 為左端反動力，ED 為右端反動力。



各多邊形之作法，與上例相同，毋庸詞贅。AEFA 為接合點(4)之多邊形，EF(張力 1,725 磅)代表 ef 之應力，FA(壓力 3,450 磅)代表 af 之

應力。BAFGB 為接合點(3)之多邊形, FG (張力 1,150 磅)代表 fg 之應力, GB (壓力 2,300 磅)代表 gb 之應力。GFEHG 為接合點(5)之多邊形, HE (張力 2,875 磅)代表 eh 之應力,而 HG (壓力 1,150 磅)代表 hg 之應力。

在構架右半邊各肢之應力,顯然與左半邊者相同,故毋須更作應力圖之全部矣。

習 題

1. 試分析圖 26 之構架。此架支托於兩端, 負擔 2,000 磅荷重三個, 及 1,000 磅荷重二個, 如圖所示。 答。 應力見下表

肢	$\bar{12}$	$\bar{23}$	$\bar{14}$	$\bar{45}$	$\bar{24}$	$\bar{25}$	$\bar{35}$
應力	-8,950	-5,600	+8,000	+8,000	+1,000	-3,350	+3,000

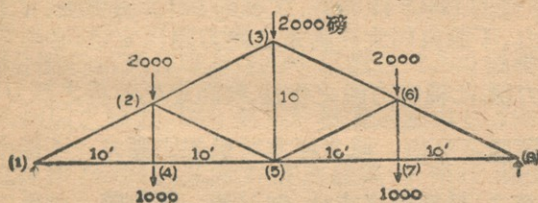


圖 26

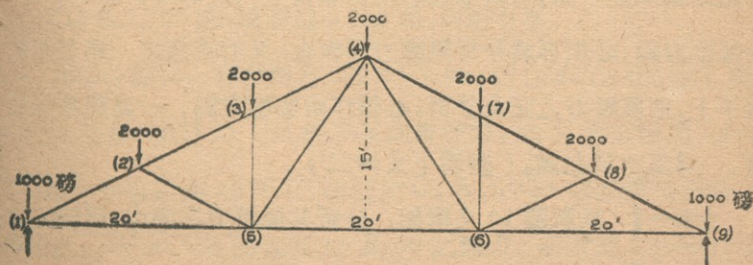


圖 27

2. 試分析圖 27 之構架。此架支托於兩端, 並負擔 2,000 磅荷重五個, 及

1,000 磅荷重兩個，如圖所示。

答。應力見下表

肢	$\overline{12}$	$\overline{23}$	$\overline{34}$	$\overline{51}$	$\overline{52}$	$\overline{53}$	$\overline{54}$	$\overline{56}$
應 力	-11,200	-8,900	-8,900	+10,000	-2,200	-2,000	+3,600	+6,000

28. 雪荷重之分析 雪之集點荷重，有時作為屋架及屋頂重量之集點荷重之一定分數。如 20 節之例一及例二，由於屋架及屋頂重量之集點荷重為 1,500 及 3,000 磅，由於雪之集點荷重為 735 及 1,470 磅，故雪重約為固定死荷重之二分之一。此即任何一肢由於雪荷重之應力，約等於其固定死荷重應力之二分之一。是以雪荷重應力，即可由固定荷重應力求得之，不須另造雪荷重之應力圖矣。

但有時各接合點由於雪之集點荷重，對於固定荷重之分數，並不一律。例如圖 25，屋頂之斜坡不同一部份為平頂，在此情形，則雪荷重之應力，不能由固定死荷重之應力圖決定之，必須單獨造作雪荷重之應力圖。此種應力圖之作法，與固定死荷重之應力圖相同。

29. 風荷重之分析 風之壓力所引起之應力，不能由固定荷重之應力計算之；最簡便之方法，即另造一應力圖。因風力同時祇作用於構架之一側，故構架左右兩側相當肢內之應力，並不相等，全部應力圖，必須專為分析風應力而作也。又若構架之一端若置於滾子上，則風壓力之完全分析，必須作兩個應力圖，一為風吹於右側，一為風吹於左側。（參看下文例二）

【例一】 試就圖 16 之構架，分析其風壓力之應力。兩架間之距離為 14 呎。

本例由於風壓力之集點荷重，已於 20 節例三求得之，今表示

於圖 28。設構架之兩端均固繫於支點上，則由於風力之反動力均與風壓力平行，右端及左端反動力各等於 3,600 及 7,200 磅，見下文 37 節第一項例二。

先就荷重及反動力，作順時針的多邊形。繪出 BC, CF 及 FF' 以代表在接合點 (1), (2) 及 (4) 之荷重，因接合點 (5) 及 (7) 上均無荷重，故 F' 點亦可作為 C' 及 B' 點。又繪 B'A 以代表右端反動力。若作圖準確，則所餘 AB, 必代表左端反動力，即 BCFF'C'B AB 為多邊形。

在接合點(1)計有四力，即反動力，荷重，及兩肢之應力。AB 及 BC 即代表前二力，由 C 作直綫與 *cd* 平行，又由 A 作直綫與 *ad* 平行，相交於 D。ABCD 即為該接合點之多邊形，CD 及 DA 即為兩個應力，前者為 7,750 磅壓力，後者為 9,000 磅張力。

在接合點(2)，亦有四力，即 *cd* 之應力(7,750 磅壓力)，荷重，及 *fe*, *ed*, 兩肢之應力。DC, 及 CF 即表示應力(7,750 磅)及荷重由 F 作直綫與 *fe* 平行，又由 D 作直綫與 *de* 平行，相交於 E。DC FED 即為該接合點之多邊形，FE 及 ED 即代表 *fe* 及 *ed* 之應力。前者為 7,750 磅，後者為 5,400 磅，均壓力也。

在接合點(3)，亦有四力，即 *ad*(9,000 磅)，*de* (5,400 磅)，及，*eg*, *ga* 是也。AD 及 DE 即表示前兩應力，由 E 作直綫與 *eg* 平行，由 A 作直綫與 *ag* 平行，相交於 G。ADEGA 即為該接合點之多邊形，EG 及 GA 即代表 *eg* 及 *ga* 之應力。前者為 5,400 磅，後者為 3,600 磅，均張力也。

在接合點(4)，計有五力，即 *eg* (5,400 磅)及 *ef* (7,750 磅)之

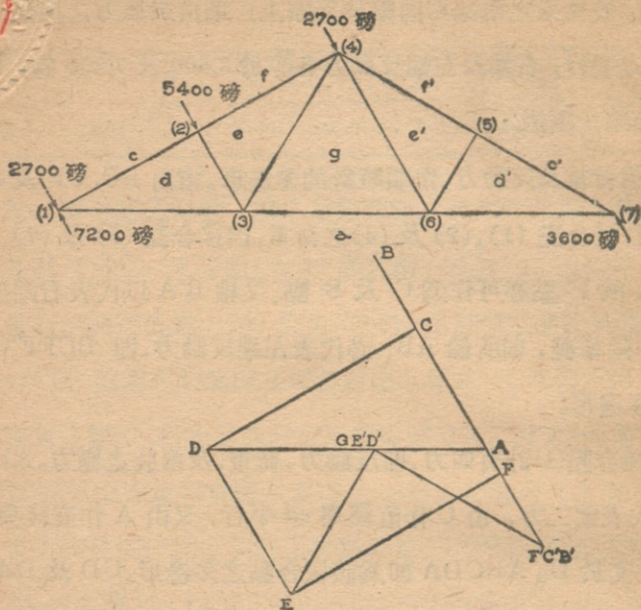


圖 28

應力，荷重，及 $f'e'$ 、 $e'g$ 之應力。GE, EF, 及 FF' 即表示前三力，由 F' 作直綫與 $f'e'$ 平行，由 G 作直綫與 $e'g$ 平行，相交於 E'。(第一綫即經過 G 點，故 E' 亦同在 G 點。) GEFF'E'G 為該接合點之多邊形，F'E' (6,250 磅壓力) 即代表 $f'e'$ 之應力。又 $E'G=0$ ，故風力對於 ge' 肢並無作用。

接合點(5)係由三肢會合，並無荷重。所有多邊形之各邊，與會合之各肢平行，今三肢中之兩肢係在一直綫，即三邊形之兩邊係互相平行，則第三邊必等於零。故 $e'd'$ 肢之應力等於零，而 $f'e'$ 及 $d'c'$ 之應力相等。此結果又可說明如下：在 $e'f'$ 、 $e'd'$ 及 $d'c'$ 三應力中，E'F' 即代表第一力(6,250)，由 F' 作直綫與 $c'd'$ 平行，又由 E' 作

直綫與 $e'd'$ 平行, 相交於 D' 。 $E'F'C'D'E'$ 即為該接合點之多邊形, $C'D'$ (6,250 磅壓力) 即代表 $e'd'$ 之應力。 E' 及 D' 既同在一點, 即 $E'D'$ 等於零, 故 $e'd'$ 上並無應力也。

ad' 之應力, 可決定之法不一, 惟今在接合點(6), 僅有兩力(因 ge' 及 $e'd'$ 均等於零), 則此兩力必相等而相反也。故 $d'a$ 之應力為張力而等於 3,600 磅。

【例二】 試分析圖 24 之屋架由於風壓力之應力, 兩架間之距離為 15 呎。

l_3 之長度等於 $\sqrt{20^2 + 14^2} = \sqrt{400 + 196} = 24.4'$, 故一構架所負擔風壓力之面積等於 $24.4 \times 15 = 366$ 方呎。

屋面與水平夾角之正切等於 $14 \div 20 = 0.7$; 故夾角約為 35 度。依 19 節, 斜面角為 30° 及 40° 者, 每方呎風壓力為 32 及 36 磅; 故斜面角為 35° , 則風壓力當為每方呎 34 磅。如此則風壓力之總數, 等於 $366 \times 34 = 12,444$ 磅, 或 12,400 磅。

風力之集點荷重, 在接合點(2)等於 $\frac{1}{4} \times 12,400$, 或即 6,200 磅; 在接合點(1)及(3), 則各為 $\frac{1}{2} \times 12,400$, 或各為 3,100 磅(參看圖 29)。

若風自右面吹來, 則接合點(5)之荷重為 6,200 磅, 接合點(3)及(6)各為 3,100 磅。

若構架之左端固繫於支點, 而右端置於滾子*上, 則風力在左面時, 其右端及左端之反動力, 各等於 3,780 及 9,550 磅; 風力在右面時, 其右端及左端反動力, 各等於 6,380 及 8,050 磅, 各如圖中所

* 因滾子可使構架得自由漲縮, 尋常構架長 55 呎以上者始用之, 此種短架毋需滾子也。

示。(反動力計算法見下文 37 節第一項例一。)

先論風力在左面，OA, AB 及 BC (圖 29-b) 各為接合點(1)，(2)及(3)之集點荷重，CE 及 EO 為右左兩端之反動力，故 OAB CDPEO 為荷重及反動力之多邊形(順時針的)。C 及 D, P 均為同一點，因接合點(5)及(6)均無荷重也。

接合點(1)之多邊形，為 EOAFE, AF 及 FE 各表示 af 及 fe 之應力。其應力值紀於下表。接合點(2)之多邊形，為 FABGF, BG 及 GF 各代表 bg 及 gf 之應力。接合點(3)之多邊形為 GBCHG, CH 及 HG 各代表 ch 及 hg 之應力。在接合點(5)，並無荷重，且會合之兩肢，同在一直綫，故第三肢內之風應力必等於零，而其他兩肢之應力必相等。所以 H 點亦即為 I 點，使 HI 等於零。HCD IH 即為接合點(5)之多邊形。

在接合點(4)計有四力，其中惟 ie 為未知。EF, FG, 及 GH 即代表前三力，故 I 及 E 之連接綫，必代表 ie 之應力，如作圖準確，此綫必與 ie 平行。

應 力 表

肢 號	應力，風在左	應力，風在右
af	- 8,850	- 6,300
fe	+ 12,700	- 2,000
bg	- 5,600	- 6,300
fg	- 7,000	0
hg	+ 5,100	+ 3,400
hi	0	- 7,000
ch	- 7,700	- 4,100
ie	+ 6,400	+ 4,400
di	- 7,700	- 7,500

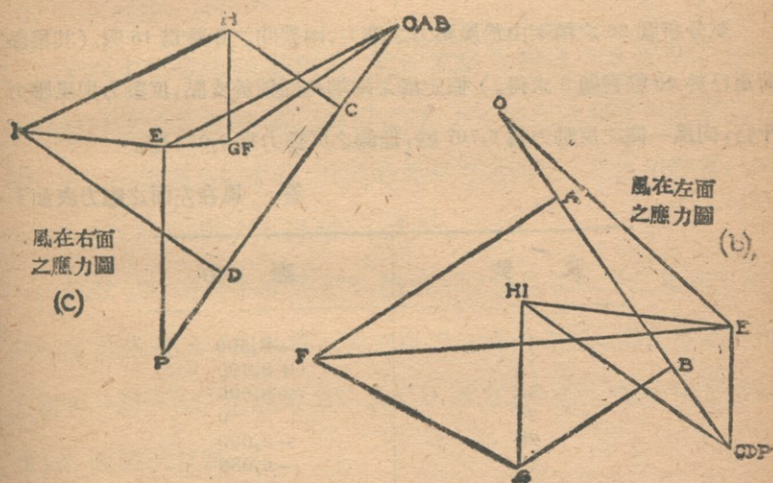
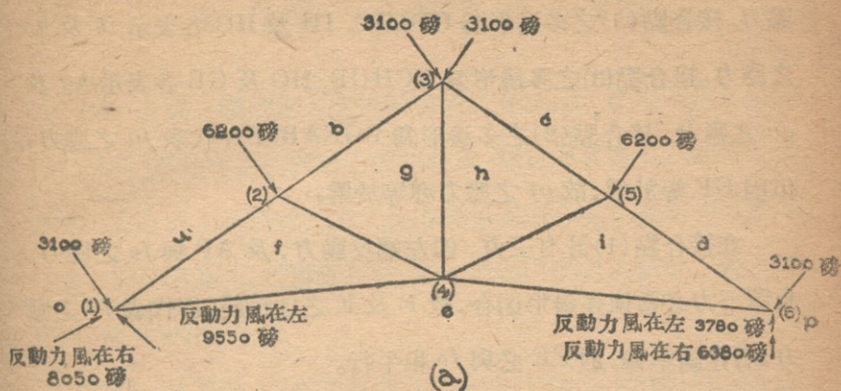


圖 29

再論風力在右面，BC, CD, 及 DP (圖 29-c) 各為接合點(3), (5) 及 (6) 之集點荷重，PE 及 EB 為右左兩端之反動力，故 BC DPEB 為荷重及反動力之多邊形，B 點亦作為 A 點及 O 點，因接合點(2) 及 (1) 均無荷重也。

DPEID 為接合點(6) 之多邊形，EI 及 ID 各表示 ei 及 id 之

應力。接合點(5)之多邊形爲 $CDIHC$, IH 及 HC 各表示 ih 及 hc 之應力。接合點(3)之多邊形爲 $BCHGB$, HG 及 GB 各表示 hg 及 gb 之應力。接合點(2)之多邊形爲 $BGFAB$, FA 代表 fa 之應力, 但因 GF 等於零, 故 gf 之應力亦等於零。

在接合點(1)計有三力, 卽左端反動力, 及 AF 與 fe 之應力。此第三力必當使多邊形閉合, 故 F 及 E 之連接綫, 卽代表 fe 之應力, 若作圖準確, 則 FE 必與 fe 相平行。

習 題

試分析圖 26 之構架由於風壓力之應力, 兩架間之距離爲 15 呎。(其集點荷重已於 20 節習題 3 求得。) 假定構架兩端均固繫於支點, 反動力與風壓力平行, 向風一側之反動力爲 6,707 磅, 他側之反動力爲 3,053 磅。

答。風在左面之應力表如下

肢 號	應 力
12	-8,500
14	+8,600
45	+8,600
24	0
23	-5,000
25	-6,080
35	+2,800
36	-6,080
56	0
57	+4,200
68	-6,200
67	0
78	+4,200

第五章 不同點力之合成

30. 合成之圖解法 先依同點力之合成法，應用三角形定律（第 9 節），將其中之任何兩力設法合成，然後將此兩力之合力，再與第三力合成，再將此三力之合力與第四力合成，直至所有之力并成一個合力為止。但實際作法，並不能如同點力之簡單，視下列實例，即可明瞭。

【例】 試就圖 30-a 之四力，(100, 80, 120, 及 60 磅) 以求其合力。

先取 100 磅及 80 磅兩力。就任意點 A 繪成 AB 及 BC，以代表此兩力之量及方向，依三角形定律，AC 即代表其合力之量及方向，其作用綫與 AC 平行，而經過此兩力之同點，此作用綫當記為 ac ，而 100 及 80 磅力各記為 ab 及 bc 。

再取 120 磅力作為第三力，繪成 CD 以代表此力之量及方向，則 AD 即代表 AC 與此第三力之合力之量及方向，此合力之作用綫當與 AD 平行，而經過 AC 及 CD 兩力之同點。此作用綫當記為 ad ，而第三力為 cd 。

其次即并合 AD 及其餘之一力，於是繪成 DE 以代表此第四力之量及方向，則 AE 即代表 AD 及第四力之合力之量及方向（亦即原有四力之合力）。此合力之作用綫為與 AE 平行，而經過 AD，DE 之同點，此作用綫當記為 ae ，而第四力之作用綫為 de 。

此可見求合力之量及方向，與同點力之方法完全相同，惟必須

另外作圖，以求得其作用綫。

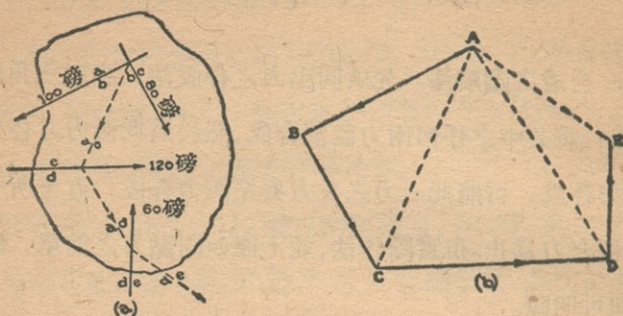


圖 30

31. 諸力互相平行或近乎平行 若諸力係互相平行，或近乎平行，則上述合成方法，必須稍加改變，因最初兩力即不能相交，致無從求得其合力之作用綫。

欲使諸力仍可求得交點，可先將諸力中之任何一力，分解為兩個分力，假想原有之力，即以此分力代表之。然後仍依前節之法，逐步尋求此分力與諸力之合力。其最後合力，即顯然為原有諸力之合力也。

【例】 試求圖 31-a 中四平行力 (50, 30, 40 及 60 磅) 之合力。先擇 30 磅力，加以分解，繪出 AB 以代表此力之量及方向，記其作用綫為 ab 。自 A 及 B 各作直綫相交於一便利點 O；則依上文 13 節，AO 及 OB (方向自 A 至 O，又自 O 至 B) 即為此 30 磅力之兩分力之量及方向。分力之作用綫即與 AO 及 OB 平行，而相交於原有力之作用綫上如 1 點。繪此兩作用綫，記為 ao ，及 ob 。今此 30 磅力，即以此兩分力代表之，然後再與 50, 40, 及 60 磅力合併。

在進行合成時，上述之第二分力。當作爲第一力，而第一分力

作為末一力。再擇 50 磅力作為第二力，繪出 BC 以代表此力之量及方向，記其作用綫為 bc 。則 OC (方向自 O 至 C) 即代表 OB 與 BC 之合力之量及方向，而 oc 綫 (與 OC 平行，經過 OB, BC 兩力之同點) 即其作用綫。

其次擇 40 磅力，繪出 CD 以代表此力之量及方向，記其作用綫為 cd 。則 OD (方向自 O 至 D) 即代表 OC 與 CD 之合力之量及方向，而 od (與 OD 平行，經過 OC 及 CD 兩力之同點) 即其作用綫。

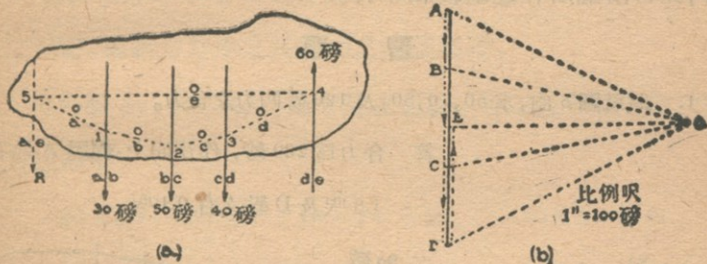


圖 31

再次繪出 DE 以代表 60 磅力之量及方向，記其作用綫為 de 。則 OE (方向自 O 至 E) 即代表 OD 與 DE 之合力之量及方向，而 oe (與 OE 平行，經過 OD 及 DE 之同點) 即其作用綫。

今當合併最後合力(OE)及第一分力(AO)。AE 即代表此合力之量及方向，而 ae (與 AE 平行，經過 OE 及 AO 兩力之同點) 即總合力之作用綫。

32. 合成之定義及規則 圖 31 之 O 點，稱為『極點』，自極點所作之直綫，稱為『射綫』。 oa, ob, oc 等綫，稱為『絃綫』，合稱為『絃綫多邊形』。與力之多邊形始點(A 點)之射綫相平行之絃，稱

爲『始絃』；與力之多邊形終點之射綫相平行之絃，稱爲『終絃』。

其作圖法可伸述如下：

(1) 先就已知之力，作成力之多邊形。自多邊形始點連接終點之直綫，即代表合力之量及方向。

(2) 選擇極點，作射綫及其絃綫多邊形。經過初絃與終絃之交點，並與合力之方向相平行之直綫，即爲合力之作用綫。作絃綫多邊形時，須注意相交於任何一力之作用綫之兩絃，必與力之多邊形內此力兩端所作之射綫相平行。)

習 題

1. 試就圖 5 內，求 50, 70, 80, 及 120 磅四力之合力。

答 合力爲 260 磅，作用向上，經過 A 點右之 1.8 呎及 D 點之右 0.1 呎。

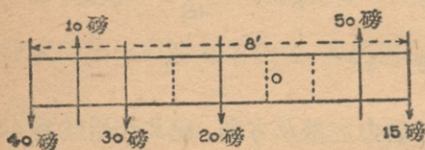


圖 32

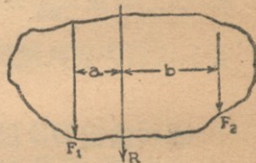


圖 33

2. 試就圖 32 之 40, 10, 30, 及 20 磅諸力，求其合力。

答 80 磅，向下，距左端 $1\frac{1}{8}$ 呎。

33. 代數法之合成 代數法之合成，對於平行力最爲適用，試述如次。

若以一方向之力爲正號，反方向之力爲負號，則合力之量及方向，即以諸力之代數和表示之；合力之量，等于諸力代數和之值，合力之方向，即依代數和之記號，如代數和爲正號，則合力即依正號

諸力之方向，如爲負號，即依負號諸力之方向。

例如，以向上力爲正，向下力爲負，則圖 32 諸力之代數和爲

$$-40 + 10 - 30 - 20 + 50 - 15 = -45。$$

即其合力等於 45 磅，而作用向下也

合力之作用綫，當用力矩之原理(參閱材料力學)求之，即『任何諸力之合力，對於任何原點之力矩，等於諸力之力矩之代數和』。依此原理，即合力對於任何原點之臂距，等於諸力力矩之代數和，以合力除得之商；又合力之作用綫，對於原點之地位，必使合力力矩之記號，與諸力力矩之代數和之記號相同。

例如圖 32，擇 O 點作爲力矩之原點，自左至右各力對於此點之力矩如下

$$-40 \times 5 = -200, \quad +10 \times 4 = +40, \quad -30 \times 3 = -90,$$

$$-20 \times 1 = -20, \quad -50 \times 2 = -100, \quad +15 \times 3 = +45^*$$

故其代數和等於 $-200 + 40 - 90 - 20 - 100 + 45 = -325$ 呎磅。

此代數和之記號爲負，即合力對於 O 點之力矩亦爲負。上文已知合力爲向下，則作用綫必在 O 點之左。合力與 O 點之距離爲

$$\frac{325}{45} = 7.22 \text{ 呎}$$

習 題

1. 作一圖，表示五個平行力，即 200, 150, 100, 225 及 75 磅。諸力均爲同方向，而相距各 2 呎。試求其合力。

* 學者當能記憶，凡一力對於擇定之點有轉動此物體之傾向，若此傾向爲順時針的，則力矩爲正，反時針的則爲負。

答 { 合力 = 750 磅, 與原有力同向, 在 75 磅力
之左 4.47 呎處

2. 仍解前題。惟假定前三力作用於一方向, 後二力作用於反方向,

答 { 合力 = 150 磅, 與前三力同方向, 在 75 磅
力之左 16.3 呎處

同一方向之兩平行力, 固可依上述方法, 加以合成。但有時可用一簡便方法, 即合力等於兩力之和, 而與兩力同向, 合力之作用綫, 在兩力之間, 與兩力之距離, 與其量之大小, 成反比例。例如圖。33, F_1 及 F_2 為兩平行力, R 為合力, a 及 b 為與 F_1 及 F_2 之距離如圖所示, 則

$$R = F_1 + F_2$$

$$a : b = F_2 : F_1。$$

34. 力耦 兩平行力, 相等而方向相反者, 稱爲一『力耦』。力耦之力, 不可合併, 因決無一力可以發生與力耦同樣之影響也。此兩力作用綫間之垂直距, 稱爲臂距。臂距與一力之乘積, 稱爲力耦之矩。

力耦轉動物體之傾向, 如爲順時針的, 則力耦之矩爲正, 反之則爲負。

第六章 不同點力之平衡

35 不同點不平行力之平衡條件 此條件可有各種說法，茲述四種。

- 第一： 1. 諸力沿相交成直角之兩綫之分力之代數和，各等於零。
2. 諸力對於任何原點之力矩之代數和等於零。
- 第二： 1. 諸力沿任何綫之分力之和等於零。
2. 諸力對於兩原點之各一之力矩之和，均等於零。
- 第三： 1. 諸力對於三原點之各一之力矩之和，均等於零。
- 第四： 1. 諸力對於某原點之力矩之代數和等於零。
2. 諸力之力之多邊形為閉合。

若一羣力對於上述各組條件之一組能滿足者，則其合力等於零。故每組均稱為不同點不平行力之平衡條件。

前三組為代數法，而末一組為混合法，因第四組之(1)為代數法而(2)為圖解法也。此外尚有純粹圖解條件，但上述諸條件，實較純粹圖解條件為善。

凡此條件，亦可用以解答同點力在平衡狀態之問題，與同點力之平衡條件相似。下文 37 節可見其例。

36. 不同點平行力之平衡條件 普通最便利者為應用下列各組條件之一。

- 第一： 1. 諸力之代數和等於零。
2. 諸力對於某原點之力矩之代數和等於零。

第二： 1. 諸力對於兩原點之各一之力矩之代數和均等於零。

37. 反動力之決定 構架之重量、荷重、及支力或反動力均互相抵住，而造成平衡狀態。若重量及荷重已定，則其反動力可用 35 節及 36 節之平衡條件決定之。

本節當討論兩種普通狀態，(1) 構架兩端均固繫於支點，及(2) 構架一端固繫於支點，而他端安放於滾子上。

第一項： 構架兩端固繫於支點。 在此種狀態，若荷重均為垂直，則反動力亦為垂直。若荷重並不垂直，則吾人假定其反動力為與荷重之合力相平行。

決定反動力之法，可依代數法，用兩個力矩方程式。此與求梁之反動力方法相同，即用右支點，計算力矩，以求左端反動力；更用左支點，計算力矩，以求右端反動力。然後將反動力相加，以視其是否等於荷重之合力，作為核對而已。

【例一】 試就圖 20 之構架，求其反動力。此架支托於兩端，負擔垂直荷重 1,800 及 600 磅，如圖所示。

兩反動力均為垂直，故此平衡系統均屬平行力。因諸力對於任何點之力矩之代數和等於零，故對於右端計算力矩，用以求左端反動力，又對於左端計算力矩，用以求右端反動力。設 R_1 及 R_2 為左右兩反動力，則對於右端計算力矩，

$$(R_1 \times 24) - (1,800 \times 15) - (600 \times 15) = 0$$

或 $24 R_1 = 27,000 + 9,000 = 36,000$ ； 即 $R_1 = \frac{36,000}{24} = 1,500$ 磅。

又對於左端計算力矩，

$$-R_2 \times 24 + 1800 \times 9 + 600 \times 9 = 0$$

或 $24 R_2 = 16,200 + 5,400 = 21,600$; 即 $R_2 = \frac{21,600}{24} = 900$ 磅。

核對方法，即將反動力相加，以視其是否等於荷重之和，如計算無訛，則理當相等也。(不論構架或梁，凡承受垂直荷重者，其反動力之求法均與此相同。)

【例二】 試求圖 28 之構架，由於風壓力(2,700, 5,400 及 2,700 磅)之反動力。此架兩端均固繫於構架上。

此三個荷重之合力，顯然為一單力，等於 10,800 磅，其作用狀況如圖 34 所示。反動力應均與此合力相平行；設 R_1 及 R_2 各表示左端及右端反動力。

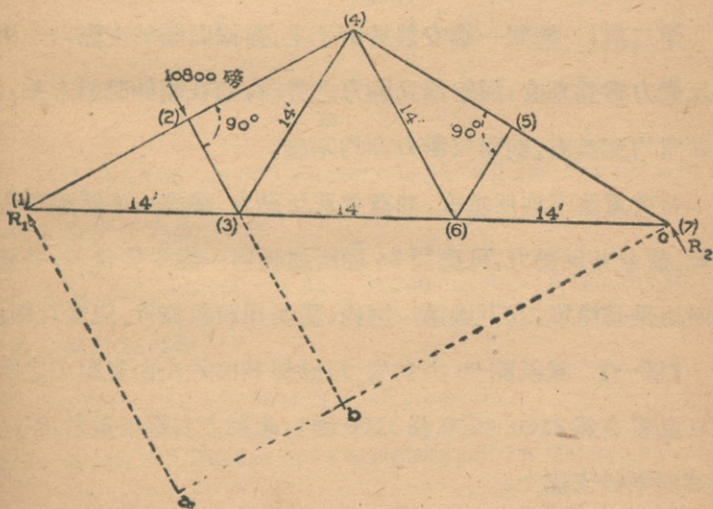


圖 34

自(7)點作 abc 綫，與風壓力方向相垂直，則 R_1 及風壓力之合力對於右支點之臂距為 ac 及 bc ， R_2 及風壓力之合力對於左支點之臂距為 ac 及 ab 。此種臂距可在用比例尺繪成之構架圖上量得之，或可計算之如次。 $\overline{17a}$ 角等於 $\overline{417}$ 角，但 $\overline{417}$ 角已於 20 節例三

求得爲 30 度。

故 $ab = 14 \cos 30^\circ$, $bc = 28 \cos 30^\circ$, $ac = 42 \cos 30^\circ$ 。

因作用於構架諸力對於右支點及左支點之力矩之代數和，均等於零，於是

$$R_1 \times 42 \cos 30^\circ = 10,800 \times 28 \cos 30^\circ,$$

$$R_2 \times 42 \cos 30^\circ = 10,800 \times 14 \cos 30^\circ.$$

由第一式得
$$R_1 = \frac{10,800 \times 28}{42} = 7,200 \text{ 磅},$$

由第二式得
$$R_2 = \frac{10,800 \times 14}{42} = 3,600 \text{ 磅}.$$

以此兩反動力相加，即等於荷重之總數，故證明計算無訛。

第二項：構架一端安放於滾子上，他端固繫於支點。滾子之反動力常爲垂直，而他端反動力之方向，則在開始時爲未知。除非荷重均爲垂直，則兩反動力亦均垂直。

若荷重並不均係垂直，則荷重及反動力，構成一不同點不平行系統。欲求其反動力，可應用 35 節所述任何一組平衡條件。普通以第四組最爲簡單。在下述第一例內，當並用四組條件，以資比較。

【例一】試就圖 29 之構架，以計算其由於左面風壓力之反動力。（風壓力爲 3100, 6200, 及 3100 磅）。此架之右端安放於滾子上，左端固繫於支點上。

(a) 設 R_1 及 R_2 爲左端及右端反動力。 R_2 (在滾子上) 之方向爲垂直，但 R_1 之方向爲未知。假定將 R_1 分解爲水平及垂直兩分力，稱爲 R_1' 及 R_1'' (如圖 35)。 R_1' , R_1'' , R_2 及三個風壓力共計六力，係成平衡，故吾人可應用 35 節之任何一組平衡條件，以求其反動力。先擇第一組條件，則沿水平綫之分力爲，

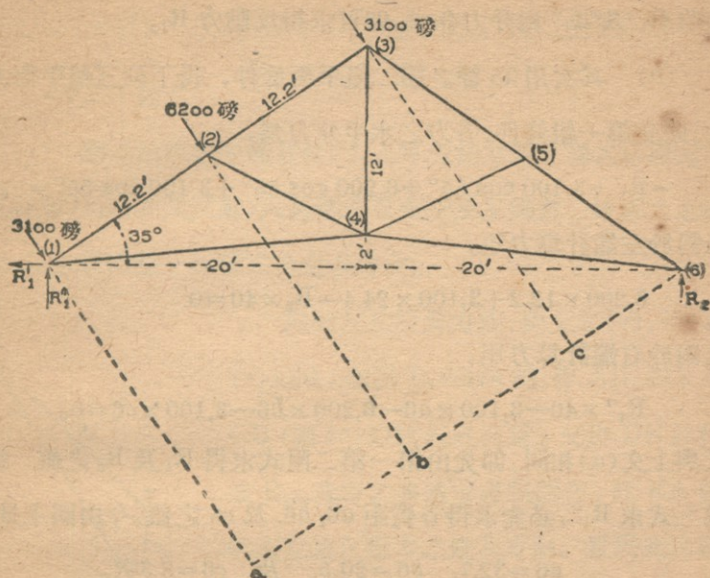


圖 35

$$-R_1' + 3,100 \cos 55^\circ + 6,200 \cos 55^\circ + 3,100 \cos 55^\circ = 0;$$

沿垂直線之分力爲，

$$+R_1'' + R_2 - 3,100 \cos 35^\circ - 6,200 \cos 35^\circ - 3,100 \cos 35^\circ = 0;$$

對於左端計算力矩，

$$+6200 \times 12.2 + 3100 \times 24.4 - R_2 \times 40 = 0.$$

由第一式， $R_1' = 3,100 \cos 55^\circ + 6,200 \cos 55^\circ + 3,100 \cos 55^\circ$

$$= 7,113 \text{ 磅。}$$

由第三式， $R_2 = \frac{6,200 \times 12.2 + 3,100 \times 24.4}{40} = 3,782 \text{ 磅。}$

以此 R_2 之值，代入第二式，

$$R_1'' = 3,100 \cos 35^\circ + 6,200 \cos 35^\circ + 3,100 \cos 35^\circ - 3782$$

$$= 10,156 - 3,782 = 6,374 \text{ 磅。}$$

如將 R_1' 及 R_1'' 兩分力合成，即可求得反動力 R_1 。

(b) 其次用 35 節之第二組平衡條件，得下列三個平衡方程式。此在第一組條件，各力之水平分力為，

$$-R_1' + 3,100 \cos 55^\circ + 6,200 \cos 55^\circ + 3,100 \cos 55^\circ = 0。$$

又對於左端計算力矩，

$$6,200 \times 12.2 + 3,100 \times 24.4 - R_2 \times 40 = 0。$$

又對於右端計算力矩，

$$R_1'' \times 40 - 3,100 \times \overline{a6} - 6,200 \times \overline{b6} - 3,100 \times \overline{c6} = 0。$$

又與上文(a)相同，即先由第一第二兩式求得 R_1 及 R_2 之值。欲從第三式求 R_1'' ，必先求得各臂距 $\overline{a6}$ ， $\overline{b6}$ ，及 $\overline{c6}$ 之值。今由圖上量得，

$$\overline{a6} = 32.7, \quad \overline{b6} = 20.5, \quad \text{及} \quad \overline{c6} = 8.3 \text{ 呎。}$$

代入第三式以求 R_1'' ，得

$$R_1'' = \frac{3,100 \times 32.7 + 6,200 \times 20.5 + 3,100 \times 8.3}{40} = 6,355 \text{ 磅。}$$

(c) 再次用 35 節之平衡條件第三組，得下列三個平衡方程式。與上文(b)相同，對右端及左端計算力矩，即

$$R_1'' \times 40 - 3,100 \times 32.7 - 6,200 \times 20.5 - 3,100 \times 8.3 = 0$$

$$\text{及} \quad -R_2 \times 40 + 6,200 \times 12.2 + 3,100 \times 24.4 = 0$$

又取構架之頂點，作為力矩之原點，以得第三方程式，即

$$R_1' \times 14 + R_1'' \times 20 - 3,100 \times 24.4 - 6,200 \times 12.2 - R_2 \times 20 = 0$$

與上文(b)相同，先就第一第二兩式求得 R_1'' 及 R_2 之值，代入第三方程式，得

$$R_1' \times 14 + 6,373 \times 20 - 3,100 \times 24.4 - 6,200 \times 12.2 - 3,782 \times 20 = 0,$$

$$\text{或 } R_1' = \frac{-6,373 \times 20 + 3,100 \cdot 24 + 6,200 \times 12.2 + 3,782 \times 20}{14}$$

$$= 7,104 \text{ 磅。}^*$$

(d) 應用第四組平衡條件，吾人可先從力矩方程式以決定滾子之反動力。已知此反動力，再將所有荷重及反動力，作成力之多邊形，以求得他端一反動力之量及方向。

對於左端計算力矩，與上文(a)，(b)及(c)相同，即得 $R_2 = 378$ 磅。作 AB, BC, 及 CD (圖 36) 以代表風荷重，又作 DE 以代表 R_2 。此力之多邊形必須閉合，故 EA 即代表左端反動力之量及方向。量得此反動力為 9,550 磅。

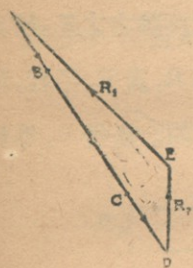


圖 36

【例二】 試就前例之構架，以計算其

由於右面風壓力之反動力。

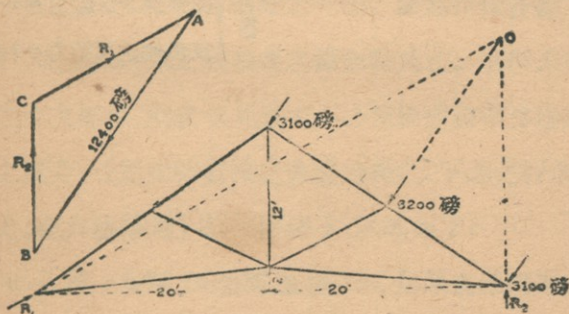


圖 37

本例當然可應用前例同樣之法以解答之，今更用其他一種極

*從各組條件所求得之答案，微有不同，此蓋由於在圖上量取力之臂距不能準確之故。

簡便方法。圖 37 表示構架及其荷重。三個風力荷重之合力，顯然等於 12,400 磅，而作用於 6,200 磅荷重之同一直綫上。假定此三個荷重即以此合力代表之，則作用於構架者僅有三力，即 12,400 磅及兩個反動力，且此三力係在平衡狀態。凡三力成平衡者，必為同點力或為平行力。今合力(12,400 磅)與 R_2 已相交於 O ，則 R_1 之作用綫亦必通過 O 點。故左端反動力之作用綫為經過左支點及 O 點之綫，如圖所示。反動力之作用綫既已決定，茲當求反動力之量。繪出 AB 以代表荷重之合力，自 A 及 B 各作直綫，與 R_1 及 R_2 平行，相交於 C ，則 BC 及 CA 即代表 R_2 及 R_1 之量及方向。量得 R_2 等於 6,380 磅， $R_1=8,050$ 磅。

習 題

1. 試就圖 26 之構架，以求其由於風壓力之反動力。架間距離為 15 呎，架之兩端均固繫於支點上。

答 { 受風側之反動力 = 6,682½ 磅
反風側之反動力 = 3,037½ 磅

第七章 構架分析(續),『取截面法』

38. 張力肢及壓力肢之力 『材料力學』中已講過,凡受之力,肢內任何相鄰兩部份均有互相作用之力,使此兩部份不致分離。圖 38 表示在張力肢,及在壓力肢,其內力作用之狀態。 F' 為右部作用於左部之力,而 F'' 為左部作用於右部之力。此兩力 F' 及 F'' 係相等;在張力肢均為拉力,在壓力肢均為推力。

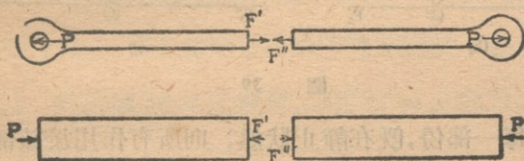


圖 38

39. 取截面法 若依第四章所述之法(即『接合點法』)以求構架內一肢之應力,必須自構架之一端,開始作接合點之多邊形,逐漸進行,直至與所求之肢相連之接合點為止。若所求之肢,在一長構架之中央部份,則欲求其應力,必須繪成數個多邊形。但有時一肢內之應力,可用比較直接之方法求得之,不必先行求得其他肢內之應力。此方法稱為『取截面法』,試述如下:

圖 39-a 與上文圖 16 相同。直綫 LL, 用以表示構架之一截面,係切斷 24, 34 及 36 三肢。圖 39-b 及 39-c 表示此構架在此截面左右之兩部份。若一截面將構架完全切開,使其分離為兩部份,則此兩部份之任何一部份,均稱為『構架之一部份』。

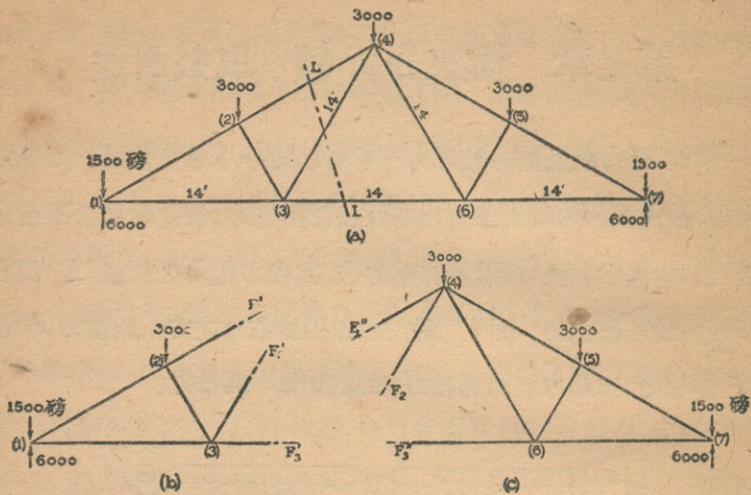


圖 39

構架之每一部份，既在靜止狀態，則所有作用於該部份之力，必成平衡。作用於構架一部份之力，為其荷重及反動力，以及他部份所作用之力。故作用於圖 39-b 之一部份，而使其靜止之力，為荷重 1,500 及 3,000 磅，反動力 6,000 磅及切斷各肢右面部份所作用於左面部份之力。此各肢之力稱為 F_1' 、 F_2' 及 F_3' ，其向均為未知，但知其作用綫均沿各肢之軸綫。作用於圖 39-c 之一部份，而使其靜止之力，為兩個 3,000 磅荷重，及 1,500 磅荷重，及右端反動力 6,000 磅，以及切斷各肢左面部份所作用於右面部份之力。此各肢之力，稱為 F_1'' 、 F_2'' 及 F_3'' ，其向均為未知，但知其作用綫均沿各肢之軸綫。 F_1' 、 F_2' 及 F_3' 諸力與 F_1'' 、 F_2'' 及 F_3'' 係相等而相反，符號不同者為便利而已。

所有作用於構架每一部份之力，其中未知力不超過三個以上時，則此三未知力，可依 35 節所述平衡條件之一組計算之。* 惟開

列平衡方程式時,必須假定一個或一個以上未知力之向。通常將此種未知力均假定為拉力,即與所作用構架之一部份相離開,如此若求得之值為正,則此力實為拉力,即所在之肢為受張力,若求得之值為負,則此力當為推力,即所在之肢為受壓力。

依上述方法,欲求構架內任何一肢之應力,先取一截面,經過構架,切斷所求之肢,然後對於作用於構架任一部份所有之力,應用各項可能之平衡條件,以決定所求之力。惟所當注意者,即取截面之時,切斷之肢數,愈少愈佳,且一截面決不可切斷三個肢以上之具未知應力者,三個未知應力亦決不可相交於一點。

【例一】 試就圖 39-a 之構架,決定肢 $\overline{24}$ 之應力之量及種類。架之荷重,如圖所示。

先求得兩端之反動力(各為 6,000 磅)然後取一截面,經過全架,並切斷 $\overline{24}$, 如 LL 截面是也。茲討論截面左側構架之一部份,作用於此部份之力,為兩個荷重,左端反動力,及 $\overline{24}$, $\overline{34}$, 及 $\overline{36}$ 各肢斷頭上之力(即 F_1' , F_2' 及 F_3')。求 F_1' 最簡單之法,為以(3)為原點,開列力矩方程式,因用此原點,則 F_2' 及 F_3' 之力矩均為零,不見於方程式內矣。由放大比例尺之構架圖內,量得 F_1' 之臂距為 7 呎, 3,000 磅荷重之臂距為 3.5 呎,故

$$(F_1' \times 7) + (6,000 \times 14) - (1,500 \times 14) - (3,000 \times 3.5) = 0$$

$$\text{或 } F_1' = \frac{-(6,000 \times 14) + (1,500 \times 14) + (3,000 \times 3.5)}{7} = -7,500 \text{ 磅}$$

此負號即表示 F_1' 為推力,並非拉力,故肢 $\overline{24}$ 係承受 7,500 磅壓力。

*若三力之作用綫,交於一點,則此說不足信也。

肢 $\overline{24}$ 之應力，可由截面右側構架之一部份求得之。圖 39-c 即表示此一部份及其作用之力。欲求 F_1'' ，可用 F_2'' 及 F_3'' 之交點作為原點以計算力矩。從圖上量得 F_1'' 之臂距為 7 呎，

在接合點(4)之荷重之臂距為 7 呎，

在接合點(5)之荷重之臂距為 17.5 呎，

在接合點(7)之荷重之臂距為 28 呎，

又反動力之臂距亦為 28 呎。

故假定 F_1' 為一拉力，則

$$-(F_1'' \times 7) + (3,000 \times 7) + (3,000 \times 17.5) + (1,500 \times 28) - (6,000 \times 28) = 0,$$

$$\text{或 } F_1'' = \frac{(3,000 \times 7) + (3,000 \times 17.5) + (1,500 \times 28) - (6,000 \times 28)}{7}$$

$$= -7,500 \text{ 磅。}$$

此負號即表示 F_1'' 為推力，故肢 $\overline{24}$ 為承受壓力 7,500 磅，與前得結果相符合。

【例二】 試就圖 25 之構架，以求肢 \overline{gh} 內之應力。所有荷重，

如圖所示。

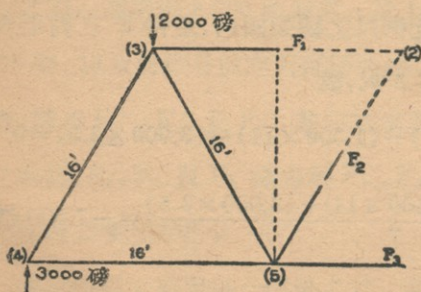


圖 40

取一截面，切斷 bg , gh 及 he ，討論其左側一部份，如圖 40。在此部份作用之力為 2,000 磅荷重，左端反動力，及右側部份作用於左側部份之 F_1 , F_2 ，及 F_3 三力。

欲求 F_2 , 最簡便之方法, 為應用前述之條件, 即垂直分力之代數和等於零是也。假定 F_2 為拉力, 與垂直綫所成之角為 30° , 則

$$F_2 \cos 30^\circ - 2,000 + 3,000 = 0,$$

$$\text{或 } F_2 = \frac{2,000 - 3,000}{\cos 30^\circ} = \frac{-1,000}{0.866} = -1,154 \text{ 磅。}$$

此負號即表示 F_2 為推力, 故此肢係承受壓力 1,154 磅。

【例三】 試就圖 25 之構架, 以求肢 bg 內之應力。所有荷重, 如圖所示。

取一截面, 切斷 bg 與上例相同, 討論截面左側之一部份, 如圖 40。欲求 F_1 , 最簡便之方法, 為用接合點 (5) 為原點, 以計算所有力之力矩。從圖上量得 F_1 之臂距為 13.86 呎, 故假定 F_1 為拉力, 則

$$F_1 \times 13.86 - 2,000 \times 8 + 3,000 \times 16 = 0$$

$$\text{或 } F_1 = \frac{2,000 \times 8 - 3,000 \times 16}{13.86} = \frac{-3,200}{13.86} = -2,310 \text{ 磅。}$$

此負號即表示 F_1 為推力, 故此肢係受壓力 2,310 磅。

本例所取截面, 亦可切斷 $bg, fg,$ 及 fe 三肢, 圖 41 即其左側部份。所求之力, 可從作用於此部份之力

(3,000, 2,000, $F_1, F_2,$ 及 F_3) 計算之。

如欲求 F_1 , 可以 F_2, F_3 之交點作為原點以計算力矩, 即

$$F_1 \times 13.86 - 2,000 \times 8 + 3,000 \times 16 = 0$$

此與前方程式相同, 故結果必相同也。

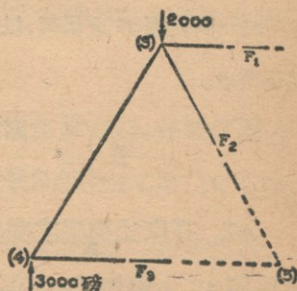


圖 41

【例四】 試就圖 26 之構架, 以求肢內之應力。所有荷重, 如圖所示。

取一截面，切斷 $\overline{12}$ 及 $\overline{14}$ 兩肢，而討論截面左側之一部份，如

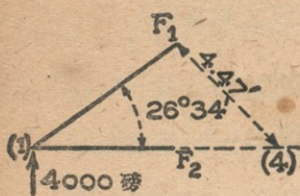


圖 42

圖 42。欲求 F_1 ，可以接合點 (4) 為原點，於是開列力矩方程式，得

$$F_1 \times 4.47 + 4,000 \times 10 = 0, *$$

$$\text{或 } F_1 = \frac{-4,000 \times 10}{4.47} = -8,948 \text{ 磅。}$$

此負號即表示其應力為抗壓。

F_1 亦可用代數法求得之，即作用於該部份諸力之垂直分力之代數和必等於零，即

$$F_1 \sin 26^\circ 34' + 4,000 = 0; \text{ 或 } F_1 = \frac{-4000}{\sin 26^\circ 34'} = -8,948 \text{ 磅。}$$

此與第一結果相符合。

習 題

1. 試就圖 26 之構架，依取截面法以求 $\overline{23}$ ， $\overline{25}$ 及 $\overline{45}$ 各肢內之應力。所有荷重如圖所示。

$$\text{答 } \begin{cases} \overline{23} \text{ 內之應力} = -7,600 \text{ 磅} \\ \overline{25} \text{ 內之應力} = -3,350 \text{ 磅} \\ \overline{45} \text{ 內之應力} = +8,000 \text{ 磅} \end{cases}$$

2. 試就圖 27 之構架，以求 $\overline{12}$ ， $\overline{15}$ ， $\overline{34}$ 及 $\overline{56}$ 各肢內之應力。所有荷重，如圖所示。

$$\text{答 } \begin{cases} \overline{12} \text{ 之應力} = -11,170 \text{ 磅}, & \overline{15} \text{ 之應力} = +10,000 \text{ 磅}, \\ \overline{34} \text{ 之應力} = -8,940 \text{ 磅}, & \overline{56} \text{ 之應力} = +6,000 \text{ 磅} \end{cases}$$

40. 芬克式構架之完全分析 茲為全部闡明上述原理起見，試將圖 43 之構架，加以完全分析。所用荷重，包括永久性荷重，雪荷重及風荷重。此構架之式樣極為普通，尋常稱為芬克式或法國

* (4) 對於 F_1 之臂距為 4.47 呎

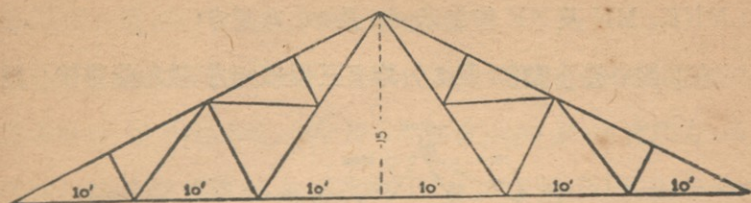


圖 43

式構架。構架間之距離假定為 15 呎；屋頂重量包括桁條為每方呎 12 磅。

從構架一端至頂點之長度為，

$$\sqrt{15^2 + 30^2} = \sqrt{1,125} = 33.54 \text{ 呎。}$$

故一構架所担負之全部屋頂，等於 $(33.54 \times 15)2 = 1006.2$ 方呎。

此部份屋頂之重量，等於 $1006.2 \times 12 = 12,074$ 磅。

又依 19 節之公式，屋架(鋼質)之大約重量，為

$$15 \times 10 \left(\frac{60}{25} + 1 \right) = 3,060 \text{ 磅。}$$

每一構架之全部永久性荷重等於 $12,074 + 3,060 = 15,134$ 磅。

架端荷重，等於全部之 $\frac{1}{16}$ ，即 950 磅，其餘各接合點之集點荷重，等於全部之 $\frac{1}{8}$ ，即 1,900 磅。

死荷重之應力 欲求死荷重之應力，當作應力圖。每端反動力顯然等於全部荷重之半數，即 7,600 磅。故 ABCDEFGHIJKA(圖 44-b) 為荷重及反動力之多邊形。然後先作接合點(1)之多邊形，即 KABLK 是也。BL 及 LK 即表示 *bl* 及 *lk* 之應力(視本節下文應力紀錄表)。其次作接合點(2)之多邊形，即 LBCML 是也。CM 及 ML 即表示 *cm* 及 *ml* 之應力。再次作接合點(2)之多邊形，即

KLMNK。MN 及 NK 即表示 mn 及 nk 之應力。

在其餘各接合點(4及5),均有三個未知力,故不能作接合點

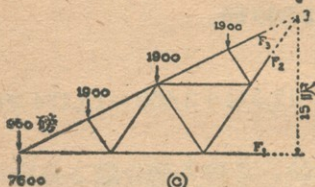
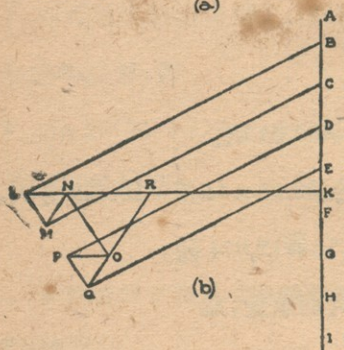
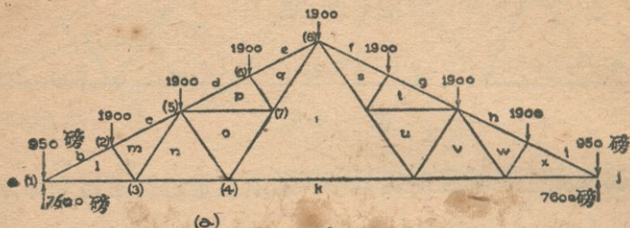


圖 44

之多邊形。構架右側亦可作成與(1),(2),(3)對稱各接合點之多邊形。但其他各肢之一之應力,若不能先設法決定,則亦不能更進一步矣。設用其他方法,先求得 rk 之應力,則接合點(4)之多邊形即可作成,然後推進至接合點(5)等等,並無困難矣。

欲求 rk 之應力,可取一截

面,切斷 rk, qr 及 eq 。討論截面左側之部份如圖 44-c。各荷重對於接合點(8)之臂距為 7.5, 15, 22.5 及 30 呎;假定 F_1 為拉力,則

$$-F_1 \times 15 - 1,900 \times 7.5 - 1,900 \times 15 - 1,900 \times 22.5 - 950 \times 30 + 7,600 \times 30 = 0; \text{ 或}$$

$$F_1 = \frac{-1,900 \times 7.5 - 1,900 \times 15 - 1,900 \times 22.5 - 950 \times 30 + 7,600 \times 30}{15} = 7,600 \text{ 磅}$$

F_1 既為正號, 即 rk 之應力係抗張應力。

於是在應力圖上, 繪出 KR 以代表 kr 應力之值。作接合點(4)之多邊形, 即 $KNORK$, NO 及 OR 即表示 no 及 or 之應力。其次作接合點(6)之多邊形, 即 $ONMCDPO$, DP 及 PO 即表示 dp 及 po 之應力。再次可作接合點(6)或(7)之多邊形。接合點(6)之多邊形為 $PDEQP$, EQ 及 QP 即表示 eq 及 qp 之應力。至是, 在接合點(7)祇有一個未知力, 即 qr 。在此接合點, 其餘三力所造成之多邊形為 $ROPQ$, 其未知力必使此多邊形閉合, 故 QR 必表示此未知力, 且必與 qr 平行。

因此構架上之荷重為對稱式, 故右側各肢之應力, 與左側相當各肢之應力均相同, 毋須再作構架右半之應力圖矣。

雪荷重之應力 一構架所擔負之屋面之水平投影為 $60 \times 15 = 900$ 方呎, 故假定雪荷重在每水平方呎上為 20 磅, 則一構架負擔之雪荷重為 $900 \times 20 = 18,000$ 磅。惟上述全部死荷重為 15,134 磅, 故雪荷重約等於死荷重之 1.2 倍; 其作用於構架亦與死荷重相同。即構架任何一肢內之雪荷重應力, 等於其死荷重應力之 1.2 倍。故在下列應力紀錄表內之第三行, 即將第二行之數乘以 1.2, 即作為雪荷重之應力。

風荷重之應力 屋面與水平所成之角之正切, 等於 $\frac{15}{30}$ 或 $\frac{1}{2}$, 故其角為 $26^\circ 34'$; 依 19 節之規則, 屋面上之風壓力等於每方呎 29 磅, 此上述屋架所擔負之屋面面積為 1,006.2 方呎, 但祇有一半承受風壓力, 故一屋架所承受之風壓力為

$$503.1 \times 29 = 14,589.9, \text{ 或 } 14,600 \text{ 磅。}$$

風吹在左面時，其集點荷重表示於圖 45-a，而風壓力之合力作用於接合點(5)。欲求兩端之反動力，當假定所有各個風壓力，即以其合力代表之。又假定構架之兩端均為固定，即反動力與風壓力平行。設 R_1 及 R_2 表示左端及右端反動力，則 R_1 及風壓力之合力對於右端之臂距(可於圖上用比例尺量得之)各為 $16.77 + 36.89$ 及 36.89 呎； R_2 及風壓力之合力對於左端之臂距各為 $16.77 + 36.89$ 及 16.77 呎。

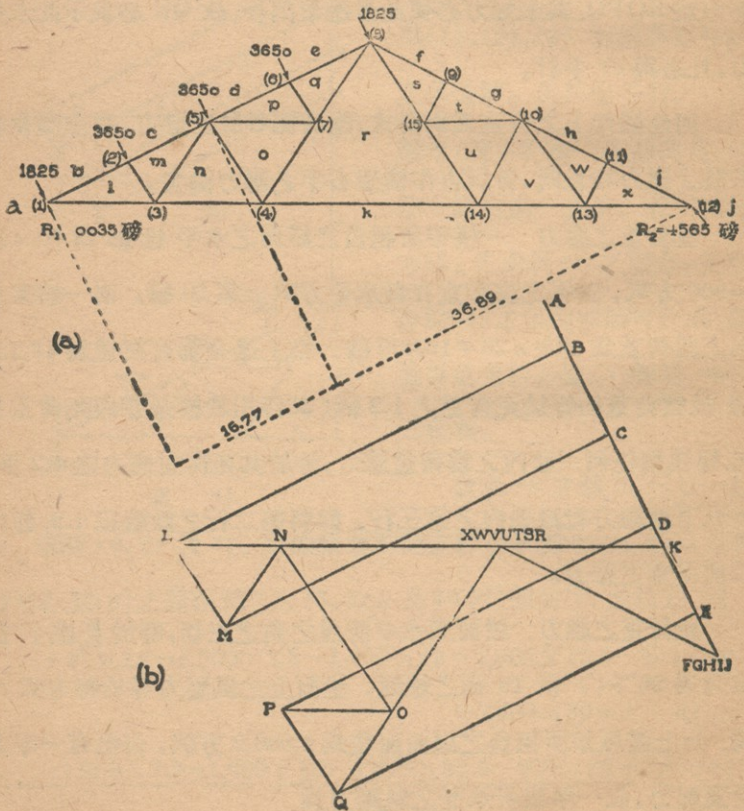


圖 45

對於右端計算力矩,則 $-14,600 \times 36.89 + R_1(16.77 + 36.89) = 0$,

$$\text{或} \quad R_1 = \frac{14600 \times 36.89}{16.77 + 36.89} = 10,035 \text{ 磅。}$$

又對於左端計算力矩,則

$$14,600 \times 16.77 - R_2(16.77 + 36.89) = 0,$$

$$\text{或} \quad R_2 = \frac{14,600 \times 16.77}{16.77 + 36.89} = 4,565 \text{ 磅。}$$

今欲求各肢之應力,當作一應力圖。在圖 45-b, AB, BC, CD, DE, 及 EF 表示自接合點(1)起依次各接合點之風荷重。F 點亦可作為 G, H, I, 及 J 點, 以表示(9), (10), (11), (12)各接合點均無荷重。JK 表示右端反動力, KA 表示左端反動力。

先作接合點(1)或(12)之多邊形, 接合點(1)之多邊形為 KA BLK; BL 及 LK 即表示 bl 及 lk 之應力。其次作接合點(2)之多邊形, 即 LBCML; CM 及 ML 即表示 cm 及 ml 之應力。

再次作接合點(3)之多邊形, 即 KLMNK; MN 及 NK 即表示 mn 及 nk 之應力。現在左面其他各接合點, 已不能再作多邊形, 可改從右端着手。接合點(12)之多邊形為 JKXIJ; KX, 及 XI 即表示 kx 及 xi 之應力。

在接合點(11)僅有三力; 此三力既得平衡, 且其中兩力作用於同一直線上, 則此兩力必相等而相反, 其第三力必等於零, 故 W 點即 X 點, 以表示 XW 等於零, 即 xw 之應力為零。又 WH 即等於 XI。已知 wx 之應力為零, 則接合點(13)祇有三力; 其中兩力作用於同一直線上, 必相等而相反, 其第三力亦等於零。故 V 點即 W 點, 以表示 WV 等於零, 即 wv 之應力為零。又圖上表示 VK 即等

應力紀錄表

肢	應 力					
	死 重	雪 重	風在左	風在右	合 力	合 力
<i>bl</i>	-14,700	-17,600	-16,400	+15,000	-48,700	-32,300
<i>cm</i>	-13,700	-16,400	-15,900	+15,000	-46,000	-30,100
<i>dp</i>	-12,600	-15,100	-15,400	+15,000	-43,100	-28,000
<i>eq</i>	-11,600	-13,900	-14,900	+15,000	-40,400	-26,500
<i>lm</i>	- 1,650	- 2,000	- 3,700	0	- 7,350	- 5,350
<i>mn</i>	+ 1,650	+ 2,000	+ 3,700	0	+ 7,350	+ 5,350
<i>no</i>	- 3,300	- 4,000	- 7,400	0	-14,700	-10,700
<i>op</i>	+ 1,850	+ 2,200	+ 4,100	0	+ 8,150	+ 5,950
<i>pq</i>	- 1,650	- 2,000	- 3,700	0	- 7,350	- 5,350
<i>rq</i>	+ 5,000	+ 6,000	+11,000	0	+22,000	+16,000
<i>ro</i>	+ 3,400	+ 4,100	+ 7,400	0	+14,900	+10,800
<i>kl</i>	+13,300	+16,000	+18,300	+ 6,100	+47,600	+31,600
<i>kn</i>	+11,300	+13,600	+14,200	+ 6,100	+39,100	+25,500
<i>kr</i>	+ 8,000	+ 9,600	+ 6,100	+ 6,100	+23,700	+17,600
<i>kv</i>	+11,300	+13,600	+ 6,100	+14,200	+39,100	+25,500
<i>kx</i>	+13,300	+16,000	+ 6,100	+18,300	+47,600	+31,600
<i>ru</i>	+ 3,400	+ 4,100	0	+ 7,400	+14,900	+10,800
<i>rs</i>	+ 5,000	+ 6,000	0	+11,000	+22,000	+16,000
<i>st</i>	- 1,650	- 2,000	0	- 3,700	- 7,350	- 5,350
<i>tu</i>	+ 1,850	+ 2,200	0	+ 4,100	+ 8,150	+ 5,950
<i>uv</i>	- 3,300	- 4,000	0	- 7,400	-14,700	-10,700
<i>vw</i>	+ 1,650	+ 2,000	0	- 3,700	+ 7,350	+ 5,350
<i>wx</i>	- 1,650	- 2,000	0	- 3,700	- 7,350	- 5,350
<i>fs</i>	-11,600	-13,900	+15,000	-14,900	-40,400	-26,500
<i>tg</i>	-12,600	-15,100	+15,000	-15,400	-43,100	-28,000
<i>hw</i>	-13,700	-16,400	+15,000	-15,900	-46,000	-30,100
<i>ix</i>	-14,700	-17,600	+15,000	-16,400	-48,700	-32,300

於 XK。此同一理論，可依次適用於接合點(9)，(15)，(10)及(14)，以表示 *st*，*tu*，*vu*，*ur*，及 *sr* 之應力均等於零。因此 X 點即可作為 U，T，S，及 R 點。而 *sf* 及 *tg* 之應力，與 *wh* 及 *xi* 之應力均相等，*kr* 之應力與 *kv* 或 *kx* 之應力相等。茲所討論者，僅由於風壓力之應力，故以風力而論，則右側中間各肢均屬無用也。

現在可繼續作左側各接合點之多邊形。在接合點(4)，*kn* 及 *kr* 兩肢之力為已知，故僅餘兩未知力。此接合點之多邊形為 KN

ORK, NO 及 OR 即表示 *no* 及 *or* 之應力。接合點(5)之多邊形爲 ONMCDPO, DP 及 PO 即表示 *dp* 及 *po* 之應力。再次可作接合點(6)或(7)之多邊形,接合點(6)之多邊形爲 PDEQP, EQ 及 QP 即表示 *eq*, 及 *qp* 之應力。在接合點(7)祇有一個未知力,此未知力必使已知力之多邊形閉合。此多邊形即 ROPQ, QR 即表示此未知力。(若作圖準確,則 QR 必與 *qr* 平行。)

若風吹在右面時,則兩端反動力及相對稱兩肢內之應力均互相掉換。例如風在左面時, *kl* 及 *kx* 之應力,各爲 18,300 及 6,100 磅;若風在右面,則應力各爲 6,100 及 18,300 磅矣。故風壓力在右面之應力圖毋須再作。本節應力紀錄表之第五行數值,即自第四行得來也。

41. 死重雪重及風壓諸應力之合併 構架內任何一枝,由於各別荷重(死重,雪重及風壓)之應力,若已求得,則吾人即可求得任何合併荷重之合併應力,即各別應力之代數和是也。例如在某一

肢內,假定。 死荷重應力 = +10,000 磅

雪荷重應力 = +15,000 磅

風壓應力(風在右) = -12,000 磅

風壓應力(風在左) = + 4,000 磅

其中死荷重爲永久性者(由於死荷重之應力亦然),若但有雪重而無風壓力,則肢內之合併應力爲

$$+10,000 + 15,000 = +25,000 \text{ 磅(張力);}$$

若僅有風壓力在右面,則合併應力等於

$$+10000 - 12000 = -2,000 \text{ 磅(壓力);}$$

若僅有風壓力在左面，則合并應力為

$$+10,000 + 4,000 = +14,000 \text{ 磅(張力)};$$

若既有雪荷重又有風壓力在左面，則合并應力為

$$+10,000 + 15,000 + 4,000 = 29,000 \text{ 磅(張力)}。$$

故若將上例應力，作各種可能之合并，則可知此肢所承受之最大張力為 29,000 磅，而最大壓力為 2,000 磅。

在屋架內，風之壓力常足以發生『應力反轉』現象(即使張力變成壓力，或壓力變成張力)；在橋架內，車輛移動時之荷重，亦足使架內之數肢發生同樣現象。故在應力紀錄表內，凡應力記號之反轉者，必須注意，每肢內最大張力及最大壓力之值，亦必須求得。

上節應力紀錄表內第六行之數值，即為構架每肢內之最大合并應力。但有時假定最大雪荷重及風荷重並不同時遇到，故同表第七行內，即依此假定所得之合并應力也。

習 題

1. 試就圖 24 之構架，對於死重，雪重及風壓力作一完全應力紀錄表。27 節例一已求得其死荷重應力之值，29 節例二已求得其風荷重應力之值。假定雪荷重等於死荷重之 1.2 倍。

紀錄表作成之後，當計算每肢內之最大可能應力，假定風荷重及雪荷重並不同時遇到。

答 最大并合應力如下。

肢	<i>af</i>	<i>fe</i>	<i>bg</i>	<i>fg</i>	<i>gh</i>	<i>hi</i>	<i>hc</i>	<i>ie</i>	<i>id</i>
合力	-14,950	+17,800	-10,400	-8,875	+7,820	-8,875	-11,800	+11,500	-13,850

42. 屋架之頂面有改變斜坡者 圖 46 即表示此種屋架。架之重量可依 19 節之公式求之。若架間之距離為 12 呎,則屋架之重量等於

$$W = 12 \times 32 \left(\frac{32}{25} + 1 \right) = 875 \text{ 磅。}$$

屋頂重量,等於屋面面積,與單位面積之重量之乘積。今屋面面積,即等於 $\overline{12}$, $\overline{23}$, $\overline{34}$ 及 $\overline{45}$ 各肢長度之和,乘以 12,即等於 $12 \times 36\frac{1}{2} = 438$ 方呎;若屋頂每方呎重 10 磅,則一屋架所負擔之屋頂重量等於 $438 \times 10 = 4,380$ 。於是一屋架之全部死荷重,等於

$$875 + 4,380 = 5,255 \text{ 磅。}$$

故接合點(2),(3)及(4)之集點荷重,各為:

$$\frac{1}{3} \times 5,255 = 1,314 \text{ (約為 1,300) 磅;}$$

接合點(1)及(5)之荷重,各為

$$\frac{1}{3} \times 5,255 = 657 \text{ (約為 650) 磅。}$$

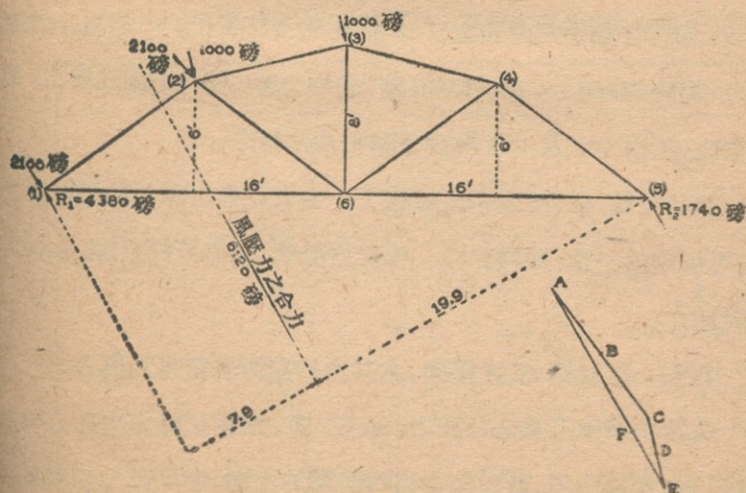


圖 46

各接合點之雪荷重，當就屋面各不同斜坡分別計算之。若雪重每方呎(水平面)為 20 磅，則 $\overline{12}$ 所担任之雪荷重，等於 $\overline{12}$ 所代表之屋面之水平投影乘以 20。此水平投影等於 $8 \times 12 (=96)$ 方呎，故雪荷重等於 $96 \times 20 = 1,920$ 磅。此荷重由(1)及(2)兩接合點平分。

同樣 $\overline{23}$ 所負擔之雪荷重，等於 $\overline{23}$ 所代表之屋面之水平投影乘以 20。此水平投影為 $8 \times 12 (=96)$ 方呎，與前相同。故雪荷重亦等於 1,920 磅。此荷重由(2)及(3)兩接合點平分。

$\overline{34}$ 及 $\overline{35}$ 之雪荷重，顯然各等於 1,920 磅。故在接點(1)及(5)之集點荷重，各等於 960 磅；在接合點(2)，(3)及(4)，各等於 1,920 磅。

風荷重必須就屋面各個斜坡分別計算之。 $\overline{12}$ 及 $\overline{23}$ 與水平所成之夾角，量得各為 37° 及 15° ，依上文 19 節，則各斜坡上每方呎之風壓力各為 35 及 20 磅。 $\overline{12}$ 肢長 10 呎，故在 37° 斜坡上之風壓力，等於 $10 \times 12 \times 35 = 4,200$ 磅。此風力與 $\overline{12}$ 肢相垂直，故由(1)及(2)兩接合點平均分担之。 $\overline{23}$ 肢長 $8\frac{1}{2}$ 呎，故在 15° 斜坡上之風壓力，等於 $8\frac{1}{2} \times 12 \times 20 = 1,980$ 磅，或約 2,000 磅。此風力與 $\overline{23}$ 肢相垂直，故由(2)及(3)兩接合點平均分担之。

然後在圖 46 所表示之屋架上，由於死重雪重及風壓之應力圖，可依前述之法，同樣作成。惟風力分析，略有不同之點，當於下例說明之。

【例】 試就圖 46 之屋架，求其由於左面風荷重之應力。

先求由於風荷重之反動力。依 37 節，求得風壓力之合力等於 6,120 磅，如圖所示。若屋架兩端均固繫於支點，則反動力為與風壓力之合力平行，且可用力矩方程式求得之。設 R_1 及 R_2 表示左右兩

反動力,則 R_1 及風壓力之合力,對於右端之臂距,等於 27.8 及 19.9 呎,故

$$R_1 \times 27.8 = 6,120 \times 19.9 = 121,788;$$

又

$$R_1 = \frac{121,788}{27.8} = 4,380 \text{ 磅。}$$

R_2 及風壓力之合力對於左端之臂距,等於 27.8 及 7.9 呎,故

$$R_2 \times 27.8 = 6120 \times 7.9 = 48,348,$$

$$R_2 = \frac{48,348}{27.8} = 1,740 \text{ 磅。}$$

於是第二步可作荷重及反動力之多邊形。AB, BC, CD 及 DE 各直綫,代表在接合點(1),(2)及(3)之風荷重;EF 表示右端反動力。(若作圖準確,反動力計算無誤,則 FA 即代表左端反動力。)

其次就構架圖內,記入字母,(須與所繪多邊形內之字母相符合),然後着手作應力圖。此種作法,上文已均有說明,不再贅述。

習 題

試分析圖 46 之屋架。此架之死重,雪重及風荷重,上文均已求得。茲須計算每肢內由於合併荷重之最大合併應力,假定雪重及風壓力並不同時遇到。

肢	死 重	雪 重	風在左	風在右	合 力
12	-3250	-4800	-3450	-2500	-8050
23	-2700	-4000	-2850	-3100	-6700
16	+2600	+3850	+3750	+1150	+6450
26	0	0	-2000	+1250	{ -2000 +1250
36	0	0	+450	+450	+450
46	0	0	+1250	-2000	{ +1250 -2000
56	+2600	+3850	+1150	+3750	+6450
43	-2700	-4000	-3100	-2850	-6700
54	-3250	-4800	-2500	-3450	-8050

答

水 力 學

第一章 概 述

1. 定義 水力學係屬於力學之一部，專研究關於水之壓力及水之運動之各項定律。靜水力學，專指水在靜止狀態時之研究，而動水力學，則專指水在運動狀態時之研究。

2. 量之單位 在水力學中，常用之長度單位為呎。容積單位為立方呎，或美國加侖。在水力學公式中，常用之時間單位為秒，但在給水問題中，則多用分，時及日為時間之單位。重量之單位為磅，而能之單位為呎磅。

1 美國加侖 = 231 立方吋 = 0.1337 立方呎

1 立方呎 = 7.481 美國加侖

1.2 美國加侖 = 1 英國加侖

8. 水之重量 在不同溫度下，蒸溜水之重量有如表一。

表一 蒸溜水之重量

溫度 以華氏計	重量 每立方呎磅數	溫度 以華氏計	重量 每立方呎磅數
32°	62.42	140°	61.39
39.3	62.424	160	61.01
60	62.37	180	60.59
80	62.22	200	60.14
100	62.00	212	59.84
120	61.72		

普通之水，其重量恆大於蒸溜水，因常含有若干雜質在內。每立方呎之潔水，尋常可作為 62.5 磅。海水每立方呎約重 64 磅。

由上表可知當溫度為華氏 $39^{\circ}.3$ 時，亦可約述為當華氏 40° 時，水之重量為最大。

4. 大氣壓力 在力學中，已述及大氣壓力到處皆是，且作用於任何物體，而在任何方向，其壓力無不相同。即其本身亦受相等之力而被壓縮。在海平面，平均大氣壓力，足與 30 吋高之水銀柱相平衡，亦即等於每平方吋上有 14.7 磅之壓力。相當之水柱高度，須達 34 呎，因水之重量遠遜於水銀也。距海平面較高之處，空氣壓力減少，因此水銀及水柱之高度亦為之降低。在吸取抽機管內，須藉空氣壓力迫水上升，故設計此項裝置時，大氣壓力之多寡，不可不知。下表所示，為在海平面以上各不同高度處之大氣壓力，首先以每平方吋磅數計之，其次乃用水銀柱高度吋數及水柱高度呎數計之。

表二 在不同高度處之大氣壓力

海平面上高度 以呎計	大氣壓力 以每平方吋磅計	水銀柱高度 以吋計	水柱高度 以呎計
0	14.7	30.00	34.0
500	14.5	29.47	33.3
1,000	14.2	28.94	32.8
2,000	13.7	27.92	31.6
4,000	12.7	25.98	29.4
6,000	11.8	24.18	27.4
8,000	11.0	22.50	25.5
10,000	10.3	20.93	23.7

第二章 水在靜止時之壓力

5. 壓力之傳遞 設如圖 1, AB 爲一嚴密之容水器, 其上加一適合之活塞 C, 而載以重量 P, 則水之全體均受相當於 P 重之

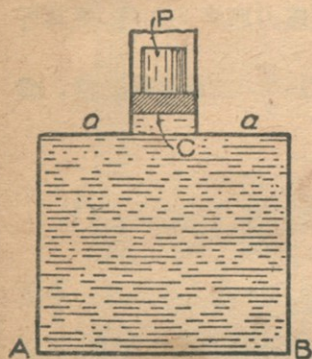


圖 1

同樣壓力。水與氣體不同, 幾爲不可壓縮性, 故不能壓縮爲較小之體積。而重量 P 所發生之壓力, 可藉水傳達於任何方向, 因此每平方吋上, 水對於器壁之壓力, 與 P 重對於水之壓力完全相等 (略去器內水重所生之壓力不計)。

例如, 活塞之面積 = 10 平方吋, 重量 $P = 1,000$ 磅, 每平方吋壓力 = 100 磅,

於是在液體任何部分及器壁之壓力, 均與此相同。對於器壁之壓力, 恆與其面垂直, 故在 a 點, 壓力向上, 在底部壓力向下, 而在兩側, 壓力係水平。

今將前項原理, 再舉一實例。設如圖 2, B 及 C 爲兩容器而以

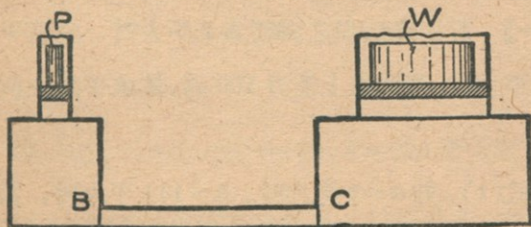


圖 2

管通連之, 並設 P 爲載重之活塞, 發生一重大之壓力於小容器 B。

按之前述原理，此項壓力可傳達於大容器 C，於是器壁及加入此容器口之活塞 W 上，每平方吋均受同一之水壓力。若令 P 為小面積，W 為大面積，則一小荷重 P，可與一大荷重 W 相平衡。

若活塞 P 之面積為 a ，活塞 W 之面積為 A ，則由重量 P 所生之壓力為 $\frac{P}{a}$ 。在 W 活塞上，每平方吋之壓力應與此相等，故其可承受之重量，當為面積 A 與每平方吋壓力 $\frac{P}{a}$ 二者相乘之積，或可書如下式

$$W = A \frac{P}{a} \quad (1)$$

上述原理即用之於水壓機，如圖 3。在此機之右側為一小活塞之抽機，供給水於左側之大活塞 p，其上為一可移動之平台。抽機之活塞相當於圖 2 之活塞 P，而平台下之活塞則相當於活塞 W。苟抽機之面積甚小，而平台下活塞之面積甚大，則僅用手抽機，即可發生極大之壓力。此所生之壓力，可由上舉之公式(1)求之。更有一點，須加注意者，即不論在此機械之內部，抽機管腔以及受壓平台之上，其每平方吋之壓力，俱各相等。

【例題一】 設抽機活塞之面積為 2 平方吋，受壓平台下活塞之面積為 1 平方呎，若抽機上受力 100 磅，試求平台上所受之壓力為若干？

應用公式(1)，知 $a = 2$ 平方吋， $A = 144$ 平方吋，及 $P = 100$ 磅，於是

$$W = 144 \times \frac{100}{2} = 7,200 \text{ 磅。}$$

【例題二】 若欲得一 10 噸之壓力，已知平台下活塞之面積為 200 平方吋，抽機活塞上可能之壓力為 150 磅，求抽機活塞之面積

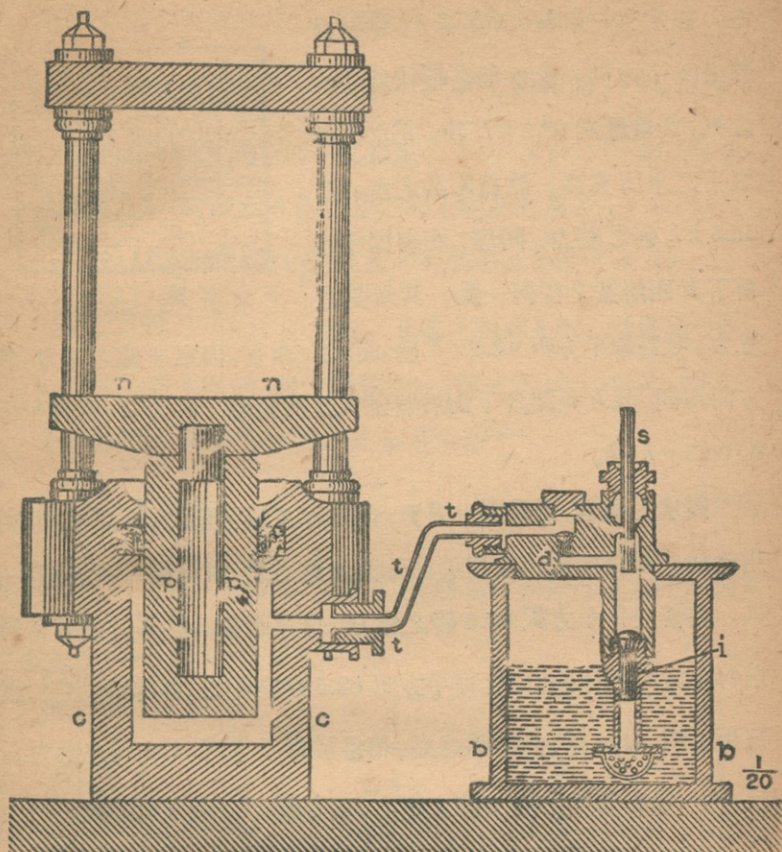


圖 1

應為若干？

今 $W = 10 \times 2,000 = 20,000$ 磅, $A = 200$ 平方吋, 及 $P = 150$ 磅。

應用公式(1), 並設 $x =$ 所求之面積, 於是得 $20,000 = \frac{200 \times 150}{x}$ 。

解此式得 $x = \frac{200 \times 150}{20,000} = 1.5$ 平方吋。

6. 水重所生之壓力 設如圖 4, 代表一容水之器。在此器

中，假定有一水柱，其高為 h ，橫截面積為 1 平方呎。此水柱之體積為 h 立方呎，其重量為 $62.5 \times h$ 磅，完全係由以下之水所支持，故在此處之水，受 $62.5 \times h$ 磅之壓力。同理，在容器中水面下 h 距離處之任何一點，其所受之壓力，均為每平方呎 $62.5 \times h$ 磅。更進一步言，因水所施之壓力，各方向均同，故在此深度下對於器壁及任何物體之壓力，均為每平方呎 $62.5 \times h$ 磅。

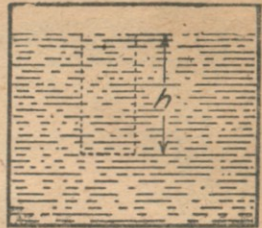


圖 4

因水之重量，可作為一常數，故以深度表示壓力，極為便利。苟用此法，則深度稱曰作用於已知面之壓力頭，或簡稱曰頭。每頭一呎，相當於每平方呎 62.5 磅之壓力，但用磅數計壓力，則尋常均以每平方吋若干磅計之。每平方呎 62.5 磅之壓力，即等於 $\frac{62.5}{144}$ ，或每平方吋 .434 磅。故 1 呎之頭，相當於每平方吋 .434 磅之壓力。反言之，欲得每平方吋 1 磅之壓力，須有頭 $\frac{1}{.434}$ 或 2.304 呎。

規則 化水頭之呎數為壓力之每平方吋磅數，應乘以 0.434。反之，由壓力之磅數化為水頭之尺數，應乘以 2.304。

【例題一】 如圖 5 之容器，有一 a 點在水面下 10 呎，試求其每平方吋之壓力為若干？假定此容器為圓形，底部直徑 = 6 呎，上部直徑 = 2 呎。

今頭為 10 呎，故照上述規則，每平方吋壓力 = $10 \times .434 = 4.34$ 磅。此壓力作用於各方向，與容器之形式無關。

【例題二】 試求在此容水器底部之總壓力為若干？

底部之面積 = $\frac{3.14 \times 6^2}{4} = 28.26$ 平方呎。水頭為 14 呎，故每平方呎之壓力 = $14 \times 62.5 = 875$ 磅。總壓力 = $875 \times 28.26 = 24,728$ 磅。

【例題三】 試求在 AB 部分之向上總壓力為若干？

AB 部分之面積，為 6 呎徑及 2 呎徑兩圓面積之差。即

$\frac{(6^2 - 2^2) \times 3.14}{4} = 25.12$ 平方呎。此處之頭為 8 呎，故壓力 = $8 \times 62.5 =$ 每平方呎 500 磅。向上總壓力 = $500 \times 25.12 = 12,560$ 磅。

【例題四】 在此容器內水之全重為若干？

容器下部之體積 = $\frac{6 \times 6^2 \times 3.14}{4} = 169.56$ 立方呎，上部之體積 = $\frac{8 \times 2^2 \times 3.14}{4} = 25.12$ 立方呎。總體積 = 194.68 立方呎，故水之重量 = $194.68 \times 62.5 = 12,167$ 磅。

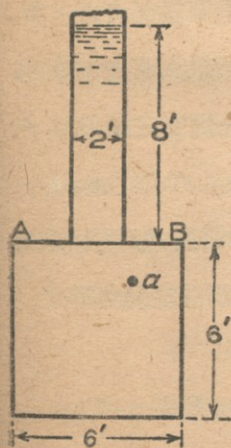


圖 5

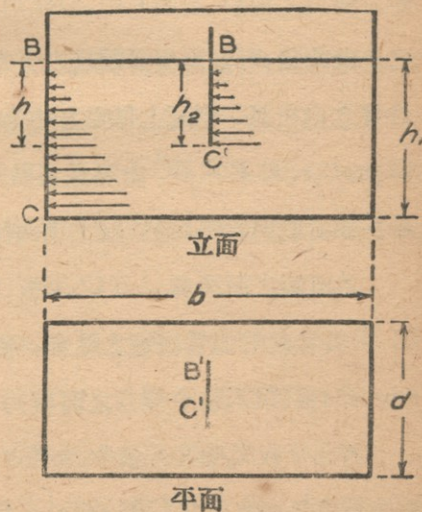


圖 6

注意，在底部之壓力，與在 AB 部分之向上壓力之差 = 12,168 磅，即等於水之全體重量，亦即容器對於底座之純壓力，此處容器本身之重量並未計及。

7. 作用於平面上之水壓力 在上節中，已述及對於沉在水下任何物體上之壓力為 $0.434h$ ，此處 h 即頭之呎數，而此壓力並係垂直於物之面。今如圖 6，係一長方形之容水器，其深為 h_1 ，於是在底部之壓力為每平方呎 $h_1 \times .434$ 磅。若底部之面積為 $A (= bd)$ ，則底部所受之總壓力為 $A \times h_1 \times .434$ 磅。因在此情形下，底面上各點所受之壓力均相同。

今試考求在 BC 側面上之壓力為何？在此情形下，每平方呎上之壓力，並不一律，在水面 B 處，壓力為零，而在底部 C 處，壓力變為最大值，即每平方呎 $h_1 \times .434$ 磅，與在底面上之壓力相等。此壓力變更之情形，在圖 6 中，以作用於 BC 邊上箭頭綫之長短代表之。由此圖，可知此項箭頭綫之平均長度，等於在底部者之半數，換言之，在 BC 側面上每平方呎平均壓力，等於最大值之半數，或 $\frac{1}{2}h_1 \times .434$ ，即與在 BC 中點處之壓力相同。在全面上之總壓力，於是為總面積與此平均壓力之相乘積，或等於 $\frac{1}{2}h_1 \times .434 \times h_1 d$ 。

若所論之面積為一 B'C' 平板，沉入水中達深度 h_2 ，其結果相同，所異者其兩側受相等之壓力。按前理，每側所受之壓力等於 $\frac{1}{2}h_2 \times .434 \times$ (沉入水中部分之面積)。

若此平板完全沉入水中，如圖 7 之 BC，則在 B 處每平方呎之壓力為 $h_1 \times .434$ ，在 C 處為 $h_2 \times .434$ ，而壓力變更之情形則由梯形之箭頭綫表示之，非復三角形矣。在此平板上之平均壓力，應為

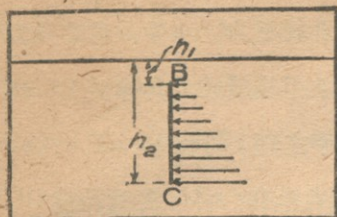


圖 7

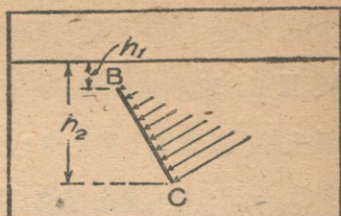


圖 8

$\frac{h_1+h_2}{2} \times .434$ 仍與 BC 中點處之壓力相同。總壓力應為此平均壓力與平板面積之相乘積。

根據上述情形，可知平均壓力恆與平板中點處之壓力相同。更進一步，則不論平板為何種形式，其上之平均壓力，當與在其重心處之壓力相等。於是得

規則 在一沉入水中垂直平面上之總壓力，等於其重心所在處每單位面積上之壓力，乘以其總面積。 (3)

假設如圖 8，平板 BC 係傾斜而沉入水中，則由上述原理，在任何深度處，其壓力當與平板垂直時相同。故在 B 處之壓力為 $h_1 \times .434$ ，在 C 處為 $h_2 \times .434$ 。平均壓力仍為 $\frac{h_1+h_2}{2} \times .434$ ，即係在中點處之壓力，而總壓力等於此平均壓力乘以平板之面積。於是得更為普通之規則如下

規則 在一沉入水中任何平面上之總壓力，等於其重心所在處，每單位面積上之壓力，乘以其總面積。此壓力恆正交於所作用之平面。 (4)

8. 已知方向之壓力 以上所論，僅及水之總壓力與物體之面成正交者。設如圖 9，命 P 代表在 BC 面上之總壓力，此面之長

爲 l ，寬爲 d (面積等於 ld)。今欲求此總壓力之水平及垂直分力 P_h 及 P_v 。因 P 垂直於 BC 面，而 P 與水平綫所成之角等於 BC 與垂直綫所成之角，稱之爲 θ 。於是由力學之理，可得 $P_h = P \cos \theta$ ，及 $P_v = P \sin \theta$ 。再由前述，更可得 $P = h \times .434 \times ld$ ，式中 h 爲 BC 面重心之深度，於是 $P_h = P \cos \theta = .434 h \times \cos \theta \times ld$ ，及 $P_v = P \sin \theta = .434 h \times \sin \theta \times ld$ 。由圖，可知平板 BC 之垂直投影之面積 $= m \times d = l \cos \theta \times d$ ，及水平投影之面積 $= n \times d = l \sin \theta \times d$ 。故 $P_h = 0.434 h \times md$ 及 $P_v = 0.434 h \times nd$ 。即 $P_h = 0.434 h \times$ (平板之垂直投影) $P_v = 0.434 h \times$ (平板之水平投影)。於是得，

規則 在一平板上總壓力之水平分力，等於在重心處每單位面積上之壓力乘以平板面積之垂直投影；其垂直分力，等於在重心處之壓力乘以面積之水平投影。 (5)

【例題一】 如圖 9，試求平板 BC 面上壓力之水平及垂直分力，此平板 BC 面與垂直綫斜交成 10° 角，板長 l 爲 30 吋，板寬 d

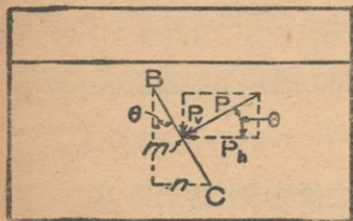


圖 9

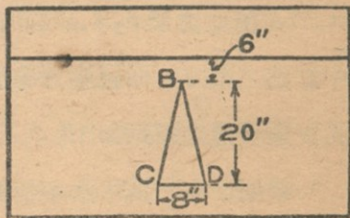


圖 10

爲 10 吋，其中心點在水面下 2 呎。

今在中心點所受之壓力，即相當於 2 呎之水頭，或等於 $2 \times .434 =$ 每平方吋 .868 磅。平板之垂直投影等於 $30 \times \cos 10^\circ$ ，水平

投影等於 $30 \times \sin 10^\circ$ 。 $\cos 10^\circ = .985$, $\sin 10^\circ = .174$, 於是根據規則(5), 所求之水平分力 $= .868 \times 30 \times .985 \times 10 = 256$ 磅, 及垂直分力 $= .868 \times 30 \times .174 \times 10 = 45$ 磅

【例題二】 有一劈形如圖 10, 試求其在三面上壓力之水平及垂直分力, 劈之長, 在與書面直交方向內者為 12 吋。

在 BC 面上。 BC 面上之中心點, 在水面下 16 吋, 在此深度之每平方吋壓力 $= \frac{16}{12} \times .434 = .579$ 磅。 BC 面之垂直投影 $= 20 \times 12 = 240$ 平方吋, 其水平投影 $= 4 \times 12 = 48$ 平方吋, 於是所求之分力為: 水平分力 $= 240 \times .579 = 13.89$ 磅, 垂直分力 $= 48 \times .579 = 27.8$ 磅。

在 BD 面上。 BD 面上之壓力與 BC 面上者相同, 水平分力向左而垂直分力則向下。 向下之總壓力 $= 2 \times 27.8 = 55.6$ 磅。

在 CD 面上。 在此深度之每平方吋壓力 $= .434 \times \frac{26}{12} = .940$ 磅。 向上總壓力 $= 8 \times 12 \times .940 = 90.2$ 磅。

9. 在曲面上之壓力 若壓力所施之面, 為一曲面, 如圖 11 之 BC, 則在各點上之壓力仍皆與此曲面成正交。 惟因壓力之方向

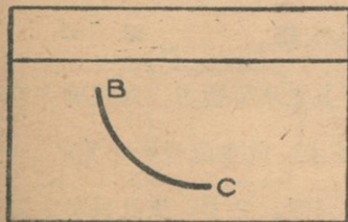


圖 11

常在變更, 故欲逕求總壓力, 甚為困難。 但根據上節所得之結果, 亦可解決此問題至相當準確之程度。 假設每平方吋上之壓力, 均分析為垂直及水平分力, 每一分力

均等於在每平方吋中點上之正交壓力, 與此平方吋之水平及垂直投影相乘。 將各分力相加, 於是得總水平壓力, 等於平均水平壓力

乘以總面積之垂直投影；又總垂直壓力，等於平均垂直壓力乘以總面積之水平投影。所謂平均水平壓力，蓋即等於在垂直投影重心處之壓力，而平均垂直壓力則不易求得。但可約估一點 使在水面下之面積，其深度之平均值，約與該點之深度極近，於是求該點上之壓力。若此面沉入水面下較深，或在封閉器內較大之壓力下，則其差數無關重要。

10. 管壁及空心柱體所受之破裂壓力 如圖 12，設 $BECD$ 為一管之橫截面形，其直徑為 d ，長為 l ，管內容水，水頭之高為 h 。如圖所示，此管係與另一容器相連，其水面高於管心為 h 。此水之自由面，可代表一水庫中之水面，高於管心為 h ，或此管係在封閉狀態下，而受一壓力頭 h ，此壓力頭係藉壓力抽機或其他抽機而得。在管心之每平方吋壓力為 $h \times .434$ 磅。對於管壁 $BEDC$ 之壓力，在任何點皆與壁面成正交，假設管之直徑與高 h 相比甚小，則在任何點之壓力實際上均相等而為每平方吋 $h \times .434$ 磅。

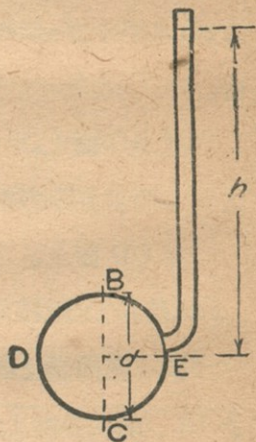


圖 12

若欲求作用於管壁之半 BDC 上之水平總力，則根據上節所述，此壓力即作用於其垂直投影 BC 上。此垂直投影之重心，即在管心，而該處之每平方吋壓力為 $h \times .434$ 。今 BC 垂直投影之面積為 $d \times l$ ，故作用於管壁 BDC 上之水平總壓力為 $h \times .434 \times dl$ 。作用於其他一半管壁 BEC 上之壓力，與此相同，惟方向則相反。

管壁 BDC 及 BEC 上所受之壓力，即為使管在 B 及 C 兩點

破裂之力。此力由管壁內之應力抵抗之，其量為管壁 BDC 或 BEC 上所受水平壓力之半數，或等於 $\frac{1}{2}h \times .434 \times dl$ 。若假定管之長僅為 1 吋，則 $l=1$ ，於是可得求管壁破裂應力之重要公式如下：

$$S = \frac{1}{2}h \times .434 \times d。 \quad (6)$$

上式 S = 每吋管長之應力

h = 水頭之呎數

d = 管之直徑之吋數。

若壓力頭以每平方吋磅數表示，而不用呎數，則得下式：

$$S = \frac{pd}{2} \quad (7)$$

上式 p = 在管心處之壓力以每平方吋磅數計。

若 t = 管壁之厚，以吋數計，及 S = 金屬每平方吋之應力，以磅計，於是得下式：

$$S = \frac{pd}{2t} \quad (8)$$

如管之直徑甚大，而水頭較低，則在 C 處之壓力，略大於 B 處者。

11. 封管及空心圓柱體內之縱向應力 如圖 13，代表一

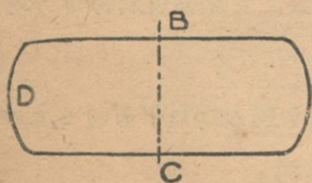


圖 13

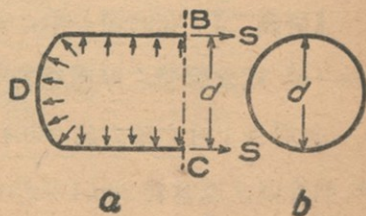


圖 14

短管或空心圓柱體之側面形，其兩端係被關閉，如一蒸汽鍋爐，容水於內而受每平方吋 p 磅之壓力。今以橫截面 BC 左邊而論，（視

圖 14-a) 在 BC 處圓柱體之橫截面為一圓形，其直徑為 d ，作用於此橫截面者為應力 S ，係因圓柱體底端受水平之水壓力作用所致。此總水平壓力，可用前節之法求之，等於平均壓力 p 乘以底端垂直投影之面積。由圖 14-b，知等於圓之面積，或 $\frac{1}{4}\pi d^2$ 。於是此總水平力為 $p \times \frac{1}{4}\pi d^2$ 即 總應力 $= p \times \frac{1}{4}\pi d^2$

此應力平均分配於圓柱體之四周，或在周長 πd 之上。每周長 1 吋，應力為 S' ，可以下式求之：

$$S' = \frac{p \times \frac{1}{4}\pi d^2}{\pi d} = \frac{pd}{4} \quad (9)$$

此應力與公式 (7) 所求得者相差一半。

設 t 為圓柱體之厚，於是此每平方吋之水平應力為 S' ，以下式求之：

$$S' = \frac{pd}{4t} \quad (10)$$

【例題一】 有一直徑 30 吋之水管，受 40 呎之水壓，試求每管長 1 吋之應力為若干？

由公式 (6)，求得每管長 1 吋之應力為 $\frac{1}{2} \times 40 \times .434 \times 30 = 260.4$ 磅。

【例題二】 在例題一中，若金屬管質之安全強度為每平方吋 2,000 磅，試求管壁之厚應為若干？

每管長 1 吋之應力為 260.4 磅，若安全應力為每平方吋 2,000 磅，則管壁之厚當為 $260.4 \div 2,000 = 0.13$ 吋。

習 題

1. 有一水管直徑 4 呎，受壓頭 400 呎，管壁厚 $\frac{1}{2}$ 吋，試求此管每平方吋之破裂應力為若干。

答 8,330 磅。

2. 一鍋爐壁厚 1 吋，直徑 6 呎，承受每平方吋 150 磅之壓力，試求鍋爐壁每平方吋所受之應力為若干。(用公式 8) 答 5,400 磅。

3. 在習題 2 中，試求鍋爐每平方吋之水平應力為若干。答 2,700 磅。

12. 矩形面積上之壓力中心 在前第 7 第 8 兩節所論，僅確定總壓力之數量。如圖 6，若平板之上邊與水面齊平，則其壓力之變更，可以力之三角形表示之，又若平板完全沉入水下，如圖 7，則以力之梯形表示之。在此兩種情形下，壓力之中心，或壓力合力所作用之點，當在此壓力圖重心之處。若壓力圖為三角形，則重心在頂點至底邊距離之三分之二處，於是得

規則 一矩形平板，有一邊與水面齊平，或升在水面以上者，則其壓力中心，在水面至平板底邊距離 (11) 離之三分之二處。

若平板完全沉入水面以下，而壓力圖為梯形 BC，如圖 15，則

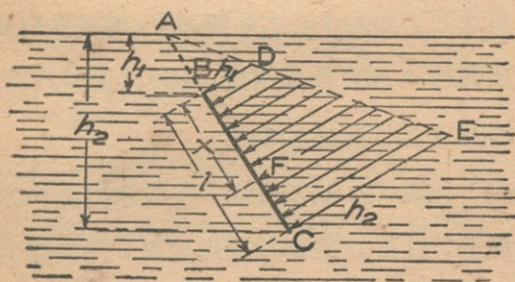


圖 15

在 B 點之壓力頭為 h_1 ，在 C 點者為 h_2 ，可以 BD 及 CE 表示之，而成 BDEC 梯形壓力圖。

按材料力學第 48 節所述之法，設梯形之長為 l ，其重心距 B

點為 x ，可以下式求之：

$$x = \frac{2}{3} l \frac{\frac{h_1}{2} + h_2}{h_1 + h_2} \quad (12)$$

另一表示之方式，可以下法求之。設 A 為延長 BC 平面與水面相交之點，若延長 DE 綫，亦必通過 A 點，蓋因假定 AC 為平板，而壓力當以 AEC 三角形表示之也。於是按比例，可得 $\frac{h_1}{h_2} = \frac{AB}{AC}$ ，或 $h_1 = h_2 \frac{AB}{AC}$ ，以此 h_1 之值代入公式(12)，而變化之，遂得下式：

$$x = \frac{2}{3} l \frac{\frac{AB}{2} + AC}{AB + AC} \quad (13)$$

13. 任何形式平面上之壓力中心 任何不規則形式平面上之壓力中心，可由下述規則求之，其演繹之法從略。設圖 15 之 BC 代表一任何形式之平面，於是得

規則 自水面至壓力中心之距離 AF ，等於此已知面積對於 A 軸之轉動慣量，除此面積與其重心至 A 之距離之相乘積。

【例題一】 如圖 16，試求提起 BC 洩水門之 S 力為若干？此門係斜置於壩面，而在 B 點則用鉸鏈裝置。門之寬為 3 呎， B 至 C 之長為 4 呎，其傾斜度乃使垂直投影 $BD = 3.5$ 呎，水平投影 $CD = 1.93$ 呎。 B 點在水面下 10 呎。

今先求作用於門上之總壓力 P 。由第 7 節，知此為在中點處每平方呎之壓力，乘以面積所得之值。中點在水面下之深為 10 +

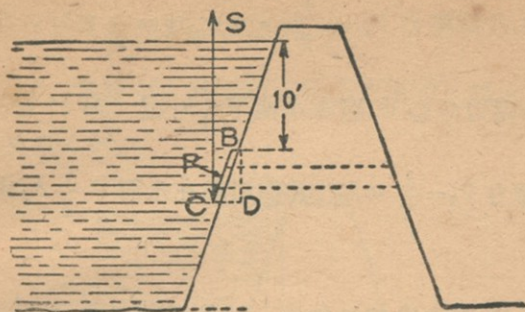


圖 16

$\frac{1}{2} BD = 10 + \frac{3.5}{2} = 11.75$ 呎。每平方呎之壓力 $= 11.75 \times 62.5 = 734$ 磅。總壓力 $= 734 \times 3 \times 4 = 8,808$ 磅。

其次乃求壓力中心，壓力中心至 B 點之距離，可由公式 (12) 求之。今 $h_1 = 10$ 及 $h_2 = 13.5$ ，故得

$$x = \frac{2}{3} \times 4 \times \frac{\frac{10}{2} + 13.5}{10 + 13.5} = 2.1 \text{ 呎。}$$

今以 B 點為中心，而計算其力矩，於是得

$$S \times 1.93 = P \times 2.1$$

$$\text{或 } S = 8,808 \times \frac{2.1}{1.93} = 9,590 \text{ 磅。}$$

【例題二】如圖 17，求門 AB 上之水壓力。假定此門長為 1 呎，兩邊水頭不同。又求在 A 及 B 兩點之反動力 R_1 及 R_2 。

由第 7 節，知在門左側之總壓力 P_1 ，等於在半深 $\frac{h_1}{2}$ 處之壓力乘以其沉沒之面積。今取平方呎為單位，命 w 為每立方呎水之重量，於是在深度 $\frac{h_1}{2}$ 處之壓力為每平方呎 $\frac{h_1}{2} \times w$ 磅。又因受壓

面積為 $h_1 \times 1$, 故總壓力 $P_1 = \frac{h_1}{2} \times w \times h_1 = \frac{1}{2} w h_1^2$ 。此 P_1 壓力之作用點, 即壓力中心 S , 應在水面下 $\frac{2}{3} h_1$ 處 (第 12 節)。

同樣, 壓力 $P_2 = \frac{1}{2} w h_2^2$, 其作用點在水面下 $\frac{2}{3} h_2$ 處, 惟在門之他側。

今 P_1 及 P_2 兩力俱為已知值, 於是反動力 R_1 可照力學原理,

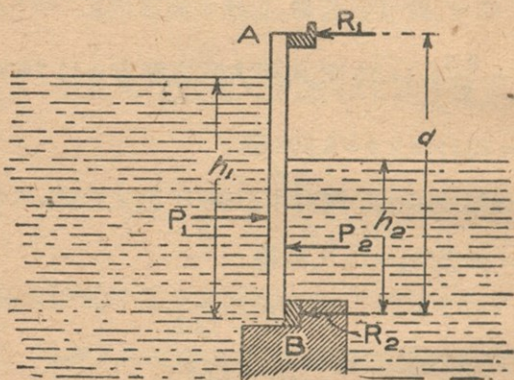


圖 17

以 B 點為力矩中心求之, 而得下列方程式:

$$R_1 \times d - P_1 \frac{h_1}{3} + P_2 \frac{h_2}{3} = 0$$

或

$$R_1 = \frac{1}{3} \frac{P_1 h_1 - P_2 h_2}{d}$$

再以求得之 P_1 及 P_2 之值, 代入此式, 則得

$$R_1 = \frac{1}{3} w \times \frac{1}{2} \frac{h_1^3 - h_2^3}{d}$$

或簡之如下式:

$$R_1 = \frac{1}{6} w \frac{h_1^3 - h_2^3}{d} \quad (15)$$

上式中之長度均以呎計, 結果所得乃係指門長 1 呎而言, 若門之長

不同，則 R_1 之值當與門長成正比例。

【例題三】如圖 18，求壩面 AB 上之壓力。設 h 為壩內之水深，假設壩長為 1 呎。

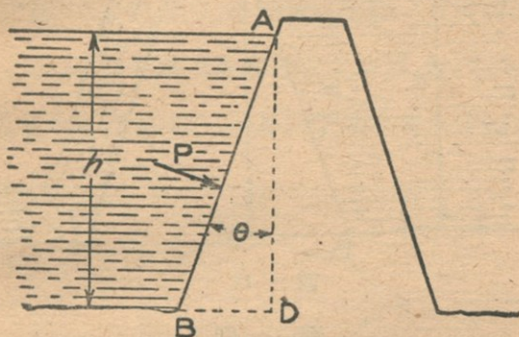


圖 18

今由第 7 節，總壓力 P 等於在半深處之壓力乘以 AB 之面積，或

$$P = \frac{h}{2} \times w \times (AB \text{ 之長}) \times 1。$$

由第 12 節，知壓力之中心，係在 A 至 B 距離之三分之二處。

總壓力之水平分力，可由第 8 節之理，知等於在半深處每平方呎之壓力，乘以 AB 面之垂直投影，或如下式：

$$P_h = \frac{h}{2} \times w \times h \times 1 = \frac{1}{2} wh^2 \quad (16)$$

又按同理，垂直分力

$$P_v = \frac{h}{2} \times w \times (BD \text{ 之長})$$

但 $BD = h \tan \theta$ ，故得下式：

$$P_v = \frac{1}{2} wh^2 \tan \theta \quad (17)$$

如圖 19，若壩頂在水面以下，則如本節例題一所採之法則，必

須應用。

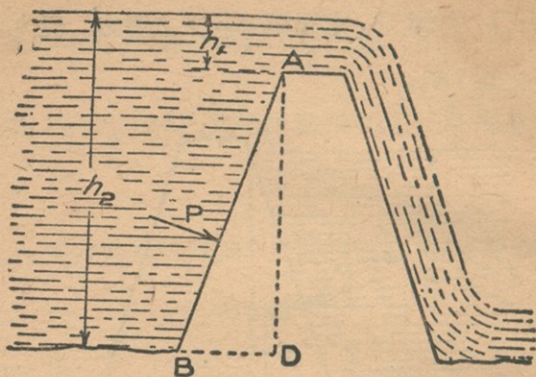


圖 19

習 題

1. 試求一壩面之水平壓力，此壩長 1 呎，壩內水深 80 呎，並求其壓力中心所在之點。

答 200,000 磅，及在距壩底 26 呎 8 吋處。

2. 試求習題一壓力之垂直分力，設壩面之傾度為 1:12 (即每高 1 呎，向橫傾斜 1 吋，壩面之水平投影 = $\frac{1}{12} \times 80 = 6 \frac{2}{3}$ 呎)

答 16,670 磅

3. 如圖 19，若 $h_1 = 10$ 呎， $h_2 = 40$ 呎， $AD = 30$ 呎，及 $BD = 10$ 呎，試求壓力 P 之水平及垂直分力。壓力面積之重心計深 30 呎，用規則 (5) 求之。

答水平分力 = 46,875 磅

垂直分力 = 15,625 磅

4. 如習題三，試求壓力中心與 A 點之距離， AB 之長 = 31.62 呎，用公式 (12) 求之。

答 18.97 呎

14. 浮力對於沉入水中物體之影響 設如圖 20, AB 為完全沉入水中之物體, 此物體受一上舉之力, 蓋因物體底部所受水之向上壓力, 較大於頂部所受水之向下壓力。此二者之差, 即上壓力勝於下壓力之數, 名之曰浮力, 恰等於與物體 AB 同容積之水重。此為極顯著之事實, 蓋若將 AB 部分代之以水, 則既不上升亦不下沉, 而由四週之水壓力支持之。於是得下述之著名定律:

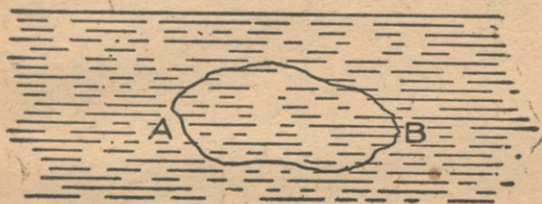


圖 20

定律 物體在水中之重量, 較輕於在空氣中之重量, 其差數等於與該物體同容積之水重。

15. **比重** 一物體之比重, 等於該物體之重量與其同容積水重之比。求比重之法, 可將一物體在水中及在空氣中衡之。二者重量之差, 即為同容積之水重。設 W 為在空氣中之重量, W' 為在水中之重量, 於是 $W - W' =$ 同容積之水重, 而得下式:

$$\text{比重} = \frac{W}{W - W'} \quad (18)$$

習 題

1. 某物體在空氣中衡之, 重 100 磅, 在水中衡之, 重 40 磅, 試求其比重。

答 1.67

2. 某物體之容積爲 0.6 立方呎，其重量爲 75 磅，若水之重量爲每立方呎 62.5 磅，試求此物體之比重。

答 20

3. 若一物體之容積爲 3 立方呎，比重爲 75，問須用力若干始可使其沉入水中？此處浮力大於物體之重量。

答 46.9 磅

第三章 經過孔之水流

16. 水流經過孔之速度 如圖 21，設 AB 爲一容水之器，水深爲 h ，C 及 D 爲兩開口管，與容器相連。在管內之水面，當與容器中水面相平，即在 AB 底面以上之高度爲 h ，且在管中任何深度處之壓力，與在器內同樣深度之壓力相等。若在 E 處另開一口，於是水可自此口向上直噴，並由實驗證明，其所達高度，約與管中

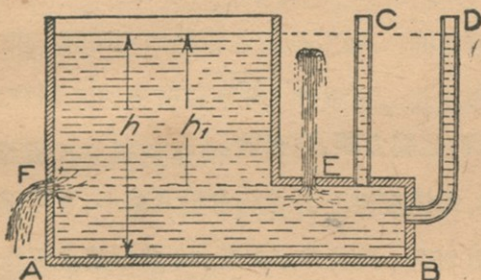


圖 21

水面相平。略有差別者，因受空氣之阻力及孔口之細微摩擦力所致。若並此差別不計，則在 E 處水之速度，可根據其能達 h_1 高度之原理而定之。在力學中曾證明，若略去空氣之阻力不計，則一物體能勝過重力而達高 h_1 之速度，即等於同一物體自相同距離落下，而所得之速度。此速度可由下式求之

$$v = \sqrt{2gh}$$

式中 v = 速度以每秒呎數計

g = 重力加速度 = 每秒每秒 32.2 呎

及 h = 落下之高度，或此物體能升達之高度，設當上升時之初

速爲 v 。

應用此式於由 E 孔注射之水，則得射流之理論速度爲

$$v = \sqrt{2gh_1}$$

若此孔係在器之旁側，如在 F 處，與 E 在同一水平線上，則使水流射出之力與在 E 處者相同，蓋因壓力相等也。於是得一普通定理如下：

由孔流出之水，其射流之理論速度，不論在任何方面，可以下式表之：

$$v = \sqrt{2gh} \quad (19)$$

式中 h 爲在孔口之壓力頭，以呎計。

按之實驗，此速度較之公式所求得者略小，實際速度約爲理論速度之 97% 至 99%，此比率 .97 至 .99 名曰速度係數。

17. 用孔量水之法 若欲用孔量計流出之水，爲求準確起見，不得不將孔造成特殊形狀，使水流僅觸及其內邊。所謂特殊形狀，係將孔開於一薄板上，向內削成刀口形，如圖 22，庶水流出時，不致觸及其旁側。欲得準確之結果，須用金屬板如黃銅之類，鑿孔而附着於水櫃之內壁，如圖 22。但尋常僅在櫃壁鑿成內削之孔，亦頗精密矣。

欲求可恃之結果，此孔之位置，須使其距最近之櫃邊或櫃底，超過三倍於孔之寬度。櫃及槽俱須有鉅大之橫截面積，庶水流接近孔口時之速度不致過大，而發生行近速度之影響。若水櫃之橫截面積，大於孔之面積逾二十倍，則此項影響無關重要。



圖 22

18. 經過小孔之流量 當水自孔中流出時，如圖 22 所示，在邊緣水流之方向，乃使水離孔口後略為收束。此收束之面積，在最小處，僅為孔口全面積之百分之 60 至 70，其確數視孔之大小及壓力如何而定。今經過孔口或管或槽之流量等於此水流之橫截面積乘以該點之速度。若橫截面積以平方呎計，速度以每秒若干呎計，則流量當以每秒若干立方呎表示之。求孔口之流量，即以水流之橫截面積乘速度得之。今由第 16 節，已求得實際速度為理論速度 v 之百分之 97 至 99，此係在水流收束最甚之點，亦即速度最大之點。故流量為此實際速度與實際面積之相乘積。於是取速度係數為 .98，收束係數為 .65，則流量為

$$Q = .98 v \times .65 A$$

式中 Q = 流量以每秒立方呎計，

v = 理論速度以每秒呎計，係自公式(19)求得，

及 A = 孔之面積以平方呎計。

若以 $\sqrt{2gh}$ 代 v 之值，則得

$$\begin{aligned} Q &= .98 \times .65 A \sqrt{2gh} \\ &= .637 A \sqrt{2gh} \end{aligned}$$

此處之係數 .637，名之曰流量係數，此係數因情形不同而略有變更，用一更為普通之公式如下

$$Q = cA \sqrt{2gh} \quad (20)$$

上式 c = 流量係數，其值約自 .66 至 .60。此係數乃由速度係數與收束係數相乘而得。

表五 一呎寬矩形孔之係數

水頭 h 以呎計	孔之深度以呎計						
	.125	.25	.50	.75	1.0	1.5	2.0
.4	.634	.633	.622				
.6	.633	.633	.619	.614			
.8	.633	.633	.618	.612	.608		
1.	.632	.632	.618	.612	.606	.626	
1.5	.630	.631	.618	.611	.605	.626	.628
2.	.629	.630	.617	.611	.605	.624	.630
2.5	.628	.628	.616	.611	.605	.616	.627
3.	.627	.627	.615	.610	.605	.614	.619
4.	.624	.624	.614	.609	.605	.612	.616
6.	.615	.615	.609	.604	.602	.606	.610
8.	.609	.607	.603	.602	.601	.602	.604
10.	.606	.603	.601	.601	.601	.601	.602
20.				.601	.601	.601	.602

19. 實驗所得之流量係數 為求公式(20)中之 c 值起見,曾作多次實驗於各不同種類之孔口,於是由此公式及一係數表,即可以孔為量水之用。上列表三至表五,即為在垂直面內之圓孔,方孔及矩形孔之係數,矩形孔以寬 1 呎為標準。

【例題一】 一圓形孔,直徑 3 吋,壓力頭 10 呎,試求其流量為若干。

由表三,孔之直徑為 .25 呎,水頭為 10 呎時,流量係數為 .597。孔之面積 = $\frac{1}{4} \times 3.14 \times .25^2 = .049$ 平方呎。於是公式(20)流量為 $597 \times .049 \times \sqrt{2 \times 32.2 \times 10} =$ 每秒 .743 立方呎。

【例題二】 試求在例題一中之水流速度為若干,速度係數可取為 .97。

由公式(19),速度 = $.97 \sqrt{2 \times 32.2 \times 10} =$ 每秒 24.6 呎

習 題

1. 一方形孔每邊長 4 吋, 壓力頭為 16 呎, 試求其流量為若干?

答 每秒 2.14 立方呎

2. 試求一圓形孔之直徑為若干, 此圓形孔作用於水頭 25 呎之下, 須流出水量每秒 1 立方呎? (假設 $c = 0.6$, 先作試算以求解答。)

答 2.76 吋

3. 一水管每秒供給 1.5 立方呎之水於一水櫃, 此水櫃之旁開有 6 吋之方孔。問櫃中水面可達孔口上若干呎, 乃使供給之水量與流出之水量恰相等?

答 1.53 呎

第四章 堰上之水流

20. 普通解釋 在水櫃或水庫之旁側，開一缺口，使水得流出並從事計量，此缺口常名之曰堰。缺口普通為矩形，其寬較水櫃

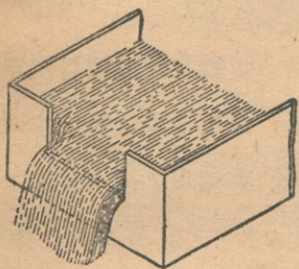


圖 23-a

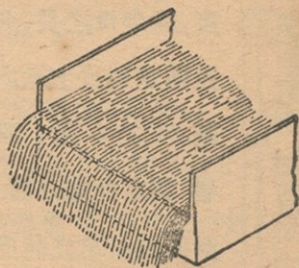


圖 23-b

為小，如圖 23-a，亦有與水櫃之寬相等者，如圖 23-b。如此構造之堰，常用以計量小河之水流，僅須在河內築一小壩，導水經過開有缺口之木板或木質牆壁即可。若欲求其精確，則堰頂須削成銳口，（所謂堰頂，蓋即堰之下邊，水流經過其上而流出也）。庶水流僅

觸及其內角，其情形與第 18 節所論之標準孔相同。堰之後背須光滑而垂直，並須自堰頂向下充分之距離內，均屬如此。

若堰之構造如圖 23-a，則當水流出時，在橫向內當受收束，若其構造如圖 23-b，則水流可與櫃側平行並無橫向或所

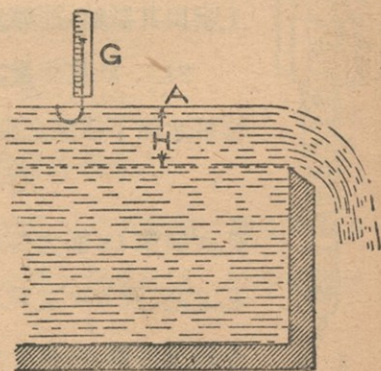


圖 24

謂『堰口收束』。在兩種情形下，均可採用適當之係數，而求得可恃之結果。但如圖 23-a 之形式，則自缺口至堰側之距離，至少三倍於堰頂之水深，俾可得完全之收束。

欲求經過堰口之流量，僅須計量堰頂上水流之深度。知此深

度，並堰口之長，則流量即可計算而得。量此深度，或普通稱為堰頂上水之高度時，恆須在距離堰口稍遠處如圖 24 之 A 點，測其水平，方可不致受弧形水面之影響。測定此處水面之高度後，與堰頂之高度相減，其差數即為所求之高度 H 。測定水平之點，距堰背之遠近，當視堰之大小而異，小堰約 2 至 3 呎，大堰約 8 至 10 呎。

一普通而可將 A 點水平準確測定之法，係用一鈎沉入水中，如圖 24 之 G，名曰鈎尺。此鈎尺可任意沿一垂直之尺而上下移動，如圖 25 所示，即其詳細之構造。用此尺時，將尺移動，使鈎尖適與水面相平，然後在尺上讀出其數值，而確定水面之高度。

21. 計算流量之公式 假設堰為一矩形之孔，而位於水面下甚深之處，則其流量，可用下式求之：

$$Q = c \times b \times d \sqrt{2gh} \quad (21)$$

此式與第 18 節之公式(20)相似，式中 b = 孔之寬， d = 孔之高，及 h = 孔在水面下之平均深度或平均壓力頭。今以堰而論，深度 d 相當於高度 H ，而平均壓力頭 h 則較之 H 稍小，在水面處僅為零，在堰頂乃相符合。在公

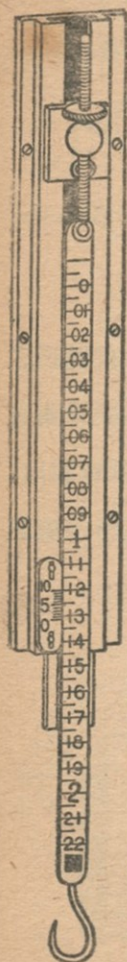


圖 25

式(21)中，所用者為 h 值之平方根，則當此值由零變至已知之 H

值時，其平方根之平均值，當為最大值 H 之平方根之三分之二。於

是在公式(21)中之 \sqrt{h} 可以 $\frac{2}{3}\sqrt{H}$ 代之，遂得流量公式為

$$Q = cb \times \frac{2}{3} H \sqrt{2gH}$$

或

$$Q = c \times \frac{2}{3} b \sqrt{2g} \times H^{\frac{3}{2}} \quad (22)$$

上式 c 為流量係數，在計算孔之流量時約為 .60 至 .65。

若水槽並不甚大，則行近速度對於流量之影響，殊未可忽視。蓋此行近速度足以增加少許流量也。苟欲顧及，則當在行近槽內測定水面高度處，先求出水流之近似速度，然後再計算相當於此速度之水頭 h ，即用公式

$$h = \frac{v^2}{2g}。$$

於是在有堰口收束時，計算堰上流量之公式如下：

$$Q = c \times \frac{2}{3} b \sqrt{2g} (H + 1.4h)^{\frac{3}{2}} \quad (23)$$

在無堰口收束時，計算堰上流量之公式如下：

$$Q = c \times \frac{2}{3} b \sqrt{2g} (H + 1\frac{1}{3}h)^{\frac{3}{2}} \quad (24)$$

此處之係數 c ，無論如何，須視堰之性質而選定之。

當計算行近速度時，須先求得流量 Q 之近似值，即先略去 h 不計。如此求得之流量，除以水櫃或水槽之橫截面積，即得頗精密之行近速度。

22. 流量係數 表六及表七，示上式所用之係數 c ，即適用於矩形之銳頂堰者。

表六 有堰口收束所用之係數

有效水頭h,以呎計	堰長b,以呎計						
	0.66	1	2	3	5	10	19
0.1	0.632	0.639	0.646	0.652	0.653	0.655	0.656
0.15	.619	.625	.634	.638	.640	.641	.642
0.2	.611	.618	.626	.630	.631	.633	.634
0.25	.605	.612	.621	.624	.626	.628	.629
0.3	.601	.608	.619	.619	.621	.624	.625
0.4	.595	.601	.609	.613	.615	.618	.620
0.5	.590	.596	.605	.608	.611	.615	.617
0.6	.587	.593	.601	.605	.608	.613	.615
0.7	-----	.590	.598	.603	.606	.612	.614
0.8	-----	-----	.595	.600	.604	.611	.613
0.9	-----	-----	.592	.598	.603	.609	.612
1.0	-----	-----	.590	.595	.601	.608	.611
1.2	-----	-----	.585	.591	.597	.605	.610
1.4	-----	-----	.580	.587	.594	.602	.609
1.6	-----	-----	-----	.582	.591	.600	.607

表七 無堰口收束所用之係數

有效水頭h,以呎計	堰長b,以呎計						
	19	10	7	5	4	3	2
0.1	0.657	0.658	0.658	0.659			
0.15	.643	.644	.645	.645	0.647	0.649	0.652
0.2	.635	.637	.637	.638	.641	.642	.645
0.25	.630	.632	.633	.634	.636	.638	.641
0.3	.626	.628	.629	.631	.633	.636	.639
0.4	.621	.623	.625	.628	.630	.633	.636
0.5	.619	.621	.624	.627	.630	.633	.637
0.6	.618	.620	.623	.627	.630	.634	.638
0.7	.618	.620	.624	.628	.631	.635	.640
0.8	.618	.621	.625	.629	.633	.637	.643
0.9	.619	.622	.627	.631	.635	.639	.645
1.0	.619	.624	.628	.633	.637	.641	.648
1.2	.620	.626	.632	.636	.641	.646	
1.4	.622	.629	.634	.640	.644		
1.6	.623	.631	.637	.642	.647		

23. 夫朗西斯公式 計算並無堰口收束之大堰上流量時，以夫朗西斯氏所創之公式，最為通用。此公式係經廣泛之實驗而定，堰之長有達 10 呎者。

$$Q = 3.33 b H^{3/2} \quad (25)$$

此式所用之長度單位必須為呎，苟與公式(22)比較，則相當於用係數 c 為 .623。此式所得結果在一般情形，皆頗準確。若用於有堰口收束者，則堰長 b 應加以修正，凡一側有收束， b 長應減少 .1 H ，兩側俱有收束，應減少 .2 H 。故兩側俱有收束之堰，計算流量之公式應為 $Q = 3.33(b - .2H)H^{3/2}$ 。此公式尚可因有行近速度而加以修正，但苟涉及此點，則另有其他公式，可資應用。

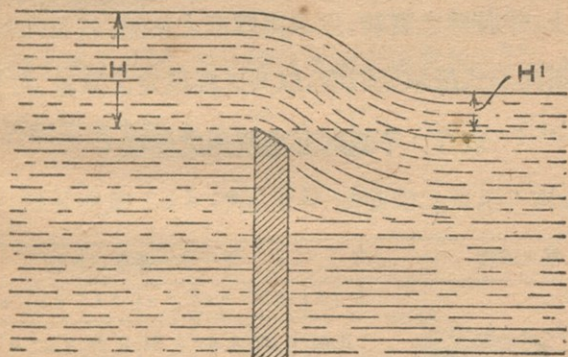


圖 26

24. 潛堰 若在堰下游之水面，較高於堰頂，如圖 26，則其計算流量之公式當如下：

$$Q = 3.33 b (nH)^{3/2} \quad (26)$$

式中 H 為堰上游之水面在堰頂上之高度， n 為一係數，視堰下游水面高度 H' 與 H 之比而定之， n 之值列如下表。

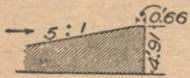
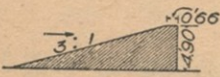


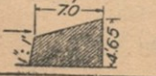
表八 潛堰所用之 n 值

$\frac{H'}{H}$	n	$\frac{H'}{H}$	n	$\frac{H'}{H}$	n	$\frac{H'}{H}$	n
.00	1.000	.20	0.985	.45	0.912	.70	0.787
.02	1.006	.25	0.973	.50	0.892	.75	0.750
.05	1.007	.30	0.959	.55	0.871	.80	0.703
.10	1.005	.35	0.944	.60	0.846	.90	0.574
.15	0.996	.40	0.929	.65	0.819	1.00	0.000

25. 不規則形之堰 測量壩頂或堰上水流之高度，以計算河川流量，為實際上所常遇之事。另一方面，設計棄水堰，以估計流出之水量，亦甚重要。二者皆須應用堰上水流公式。惟在此種堰上經過之水流，其原理甚為繁複，惟一準確而可取之方法，當於所欲採用之形式上，作特殊之實驗，以求出應取之常數。若並此而不可能，祇有採用與此形式最相近似者，以其已經確定之常數，權作替代。

表九 不規則形堰所用之係數 C

$$Q = C b E^{\frac{3}{2}}$$

堰之式樣	堰上水之高度以呎計							
	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
1 	3.51	3.37	3.33	3.31	3.29	3.23	3.16	3.14
2	.....	3.76	3.68	3.68	3.70	3.75	3.83	
3	.....	3.68	3.71	3.81	3.90	4.00	4.06	
4 	3.81	3.61	3.68	3.65	3.72	3.80	3.93	
5 	3.81	3.61	3.57	3.63	3.62	3.67	3.71	3.80

表九示已經由實驗而確定之數組係數，此係數用於五種不同式樣之壩。此項係數當用以代替公式(25)中之 3.33。

試比較第 1 號壩與第 3 號壩，知在壩背用一平緩之坡度，則流量為之大減。

【例題一】 設有一 4 呎寬之銳頂堰，堰頂上水流高 $H=6$ 吋，兩側均有堰口收束，試求其流量為若干？

由表六，此係數可取 .610，於是由公式(22)， $Q = .61 \times \frac{2}{3} \times 4 \times \sqrt{64.4} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{2}} =$ 每秒 4.6 立方呎。

【例題二】 苟如例題一，其行近槽之寬為 6 呎，深為 $2\frac{1}{2}$ 呎，問行近速度之影響若何？

假設流量與上相同，則在槽內水流之速度為 $\frac{4.6}{6 \times 2\frac{1}{2}} =$ 每秒 .11 呎。相當於此速度之頭 $h = \frac{v^2}{2g} = \frac{.11^2}{64.4} = .002$ 呎。引用此 h 值於公式(23)，乃知所加 $1.4 h$ 之值甚小，在實際上可以不計。

第五章 經過管中之水流

26. 各不同速度下之管中流量 經過管中水流之量，等於管中水流之平均速度，乘以管之橫截面積。速度尋常以每秒呎數計，流量以每秒立方呎或每分加侖計。管之直徑普通均以吋計。因所用之單位，如此複雜，故恆須在手頭另備一表。此表以已知速度每秒 1 呎為標準，而管之直徑則各各不同，於是計算管之流量，以每秒立方呎計，或每分加侖計。表如下：

表十 速度為每秒一呎時之管中流量

(以每秒立方呎及每分加侖計)

(若速度不同，僅須以另一速度之每秒呎數，乘表中之值)

管之直徑 以吋計	流 量	
	每秒立方呎	每分加侖
1	.0055	2.4
2	.0218	9.8
3	.0491	22.0
4	.0873	39.1
6	.1964	88.1
8	.3491	157
10	.5454	245
12	.7854	352
14	1.069	480
16	1.396	627
20	2.182	978
24	3.142	1410
30	4.909	2200
36	7.069	3155
42	9.621	4317
48	12.568	5639

習 題

1. 設有一直徑 6 吋之管，管中水之速度為每秒 4.5 呎，問管中之流量為每分若干加侖？ 答 每分 396 加侖

2. 設有一直徑 8 吋之管，每日須放水 1,000,000 加侖，問管中速度應為若干？ 答 每秒 4.4 呎

3. 若管中水之速度為每秒 5 呎，每分欲放水 1,000 加侖，問管之直徑須為若干？

答 用 8 吋管，每分放水 785 加侖，用 10 吋管，每分 1,225 加侖，故如無介於此二者間之尺寸，則須用 10 吋管。

27. 關於經過管中水流之普通原理 如圖 27，設 ABCD 為一任何水管，自水庫向外引水，而在 D 處有一阻止閘。又假設 Bb 及 Cc 為在 B 及 C 處插入之開口垂直細管。按第 6 節所述之壓力定律，可知當 D 閘關閉時，管中水流並無運動，則在 Bb 及 Cc 垂直細管內之水面可升至與水庫中水面相平。在 A 處之壓力可以

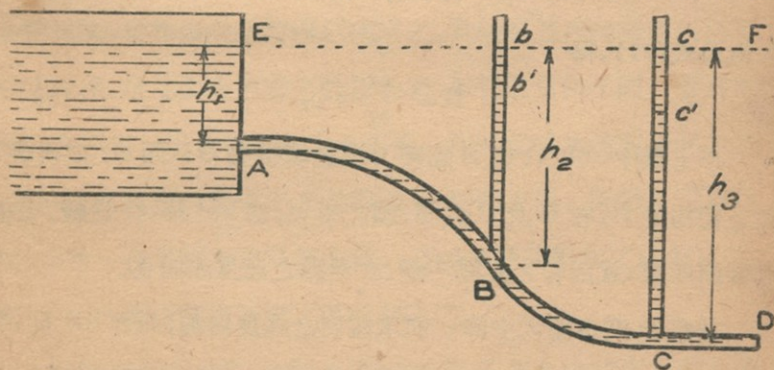


圖 27

頭 h_1 代表之，而在 B 及 C 處可以 h_2 及 h_3 代表之。 h_2 及 h_3 可較大或較小於 h_1 ，視引出管係向下傾斜抑向上傾斜。

今設將 D 閘開放少許，使水緩緩流出，則立刻可發見 B 及 C 兩處之壓力減少，亦即垂直細管內之水面降低至 b' 及 c' 。此壓力之減低，有兩種原因。其一，壓力頭之一部分，已轉變為管內水流之速度；其二，另一部分已消耗於水流自 A 至 B 至 C 之摩擦。轉變為速度部分之壓力頭，即相等於使壁孔有射流速度 v 所需之頭，可由公式 $v = \sqrt{2gh}$ 求之，或變化之為下式：

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad (27)$$

式中 v 為管中水流之實際速度。

壓力頭之損失於摩擦者，恆遠甚於轉變為速度之頭，因此在解決管中水流問題時，居極重要之地位，且為極困難之部分。

設 H 代表自水庫至任何點 B 處壓力頭之總損失， h_v 代表轉變為 B 處速度所需之頭，而 h_f 代表自 A 至 B 因摩擦所受之損失，於是得普通公式如下：

$$H = h_v + h_f \quad (28)$$

並由公式(27)，得

$$H = \frac{v^2}{2g} + h_f \quad (29)$$

在上圖中， bb' 代表 B 點壓力頭之總損失 H ，而 cc' 則代表 c 點之總損失 H 。在 B 及 C 之間，頭之損失，即 bb' 及 cc' 之較，完全因摩擦所致，蓋因管之直徑不變，在兩點之速度相同也。

若將 D 閘再開大少許，則水流出之速度增加，而在 bB 及 cC 垂直細管內之水面，更將降低，亦即壓力頭之總損失 H 較前更大。此更大之壓力損失，主要部分係因速度增高，摩擦損失 h_f 加大，一小部分亦因能之轉變為速度頭者增多之故。

在任何情形下，轉變為速度 v 所需之頭，即等於 $\frac{v^2}{2g}$ ，甚易計算而得，或逕於下表求之。

表十一 速度頭 $h = \frac{v^2}{2g}$ 與 v 值之對照表

v 每秒呎數	h 呎數	v 每秒呎數	h 呎數	v 每秒呎數	h 呎數	v 每秒呎數	h 呎數
2.0	0.06	4.0	0.25	6.0	0.56	8.0	0.99
2.2	0.08	4.2	0.28	6.2	0.60	8.2	1.04
2.4	0.09	4.4	0.30	6.4	0.64	8.4	1.10
2.6	0.10	4.6	0.33	6.6	0.68	8.6	1.15
2.8	0.12	4.8	0.36	6.8	0.72	8.8	1.20
3.0	0.14	5.0	0.39	7.0	0.76	9.0	1.26
3.2	0.16	5.2	0.42	7.2	0.80	9.2	1.31
3.4	0.18	5.4	0.45	7.4	0.85	9.4	1.37
3.6	0.20	5.6	0.49	7.6	0.90	9.6	1.43
3.8	0.22	5.8	0.52	7.8	0.94	9.8	1.49

在實際上之普通問題，恆由已知速度 v ，求管內兩點間之摩擦損失 h_f ，或反之，由已知頭之損失 h_f ，求可有之速度。

28. 管中摩擦損失之公式 為欲明瞭水流經過管中所發生之摩擦損失，曾作多次之實驗以確定之。其結果乃因種種關係而有顯著之差異。最主要者因管之性質各別，如管之材料不同，管內壁糙滑程度不等，以及管徑有大小等等。因此估計水流經過管中之量，遠不逮經過孔口及堰上者為準確。在理論方面，殊無可資取法之處，其唯一合於實用之計算方法，乃根據摩擦變化之近似定律先得一公式，再用實驗所定之係數糾正之。

由實驗所得之結果，知管中摩擦損失，約與水流速度之平方及管長成正比，而與管之截面積除以其圓周所得之值成反比。設

$$h_f = \text{任何兩點間之摩擦損失}$$

l = 任何兩點間之管長

v = 管內水流速度

r = 管之截面積與圓周之比, 名之曰水理平均半徑

於是按之上述定律, 得

$$h_f = \frac{v^2 l}{r} \times k$$

式中 k 爲一係數。

此式尋常寫成另一形式, 即將 v 化於等號之左, 得

$$v = \sqrt{r \frac{h_f}{l}} \times \frac{1}{\sqrt{k}}$$

表十二 經過光滑管壁(鑄鐵)水流之流量摩擦頭及速度

流量 以每分加侖計	$\frac{3}{4}$ 吋 管		1 吋 管		$1\frac{1}{2}$ 吋 管	
	100 呎內 水頭之損失 以呎計	速度 每秒呎數	100 呎內 水頭之損失 以呎計	速度 每秒呎數	100 呎內 水頭之損失 以呎計	速度 每秒呎數
1	0.5	0.72	0.02	0.41		
2	2.0	1.4	0.6	0.82		
3	4.0	2.2	1.1	1.2		
4	7.2	2.9	1.8	1.6		
5	11.0	3.6	2.6	2.0		
6	15.0	4.3	3.6	2.4		
7	20.4	5.1	4.8	2.9		
8	25.5	5.8	6.2	3.3		
9	32.0	6.5	7.7	3.7		
10	39.0	7.2	9.4	4.1	1.1	1.8
12			18.0	4.9	1.6	2.2
14			17.1	5.7	2.2	2.5
16			21.8	6.5	2.8	2.9
18			27.1	7.3	3.5	3.3
20			33.0	8.2	4.3	3.6
30					9.5	5.4
40					16.0	7.2
50					24.0	9.1
60					34.0	10.9
70					45.0	12.7

若以 C 代 $\frac{1}{\sqrt{k}}$ ，則得下式：

$$v = C \sqrt{r \frac{h_f}{l}} \quad (30)$$

此式即著名之舍齊氏公式。式中 r ， h_f 及 l 值俱應以呎計，所得之 v 值，以每秒呎計。

上式可適用於任何種類之管，惟須採用一適當之 C 值，此值係由實驗於相似之管確定之。普通鑄鐵之管，直徑為 1 吋或 2 吋者， C 值約與 100 相近；直徑為 4 吋或 5 吋者， C 值約增至 140 或 150。鑄鐵管所用之係數 C ，雖可由各種公式及曲線圖求得，但大都皆不甚可恃。哈密爾登斯密斯氏所製之曲線圖，或為近今最可恃

表十二 一續

流量 以每分加侖計	2 吋 管		2½ 吋 管		3 吋 管	
	100 呎內 水頭之損失 以呎計	速度 每秒呎數	100 呎內 水頭之損失 以呎計	速度 每秒呎數	100 呎內 水頭之損失 以呎計	速度 每秒呎數
10	.4	1.5	0.1	0.65	0.05	0.45
20	1.2	2.0	0.4	1.3	0.2	0.90
30	2.4	3.1	0.8	1.9	0.4	1.4
40	4.0	4.1	1.4	2.6	0.7	1.8
50	6.1	5.1	2.1	3.3	1.0	2.3
60	8.6	6.1	2.9	3.9	1.4	2.7
70	11.5	7.1	3.9	4.6	1.8	3.2
80	14.8	8.2	5.0	5.2	2.3	3.6
90	18.4	9.2	6.3	5.9	2.8	4.1
100	22.2	10.2	7.7	6.5	3.4	4.5
120			10.8	7.8	4.8	5.4
140			14.3	9.1	6.3	6.3
160			18.3	10.4	8.0	7.2
180			22.7	11.8	9.9	8.1
200			27.5	13.1	12.0	9.0
250					18.0	11.3
300					25.0	13.6

之一種。此曲綫圖就形式而言，亦不甚便利，今改成意義較廣之下表。表中所列，為管長 100 呎，管徑 $\frac{1}{4}$ 吋至 3 吋之管中水流速度 v ，及其相當之摩擦損失。又另一組較大之管，則取管長為 1,000 呎，其餘相同。本表應用時頗為便利，蓋當計算時，所求之速度及頭之損失可一望而知也。

表十二 二續

流量 以每分加侖計	4 吋 管		6 吋 管		8 吋 管	
	1000呎內 水頭之損 失以呎計	速度 每秒呎數	1000呎內 水頭之損 失以呎計	速度 每秒呎數	1000呎內 水頭之損 失以呎計	速度 每秒呎數
50	2.3	1.3				
75	5.2	1.9				
100	8.7	2.5	1.2	1.1		
125	13.1	3.2	1.8	1.4		
150	18.3	3.8	2.5	1.7		
175	24.3	4.5	3.3	2.0		
200	31.0	5.1	4.2	2.3	1.1	1.3
250	46.5	6.4	6.3	2.8	1.6	1.6
300	65.0	7.7	8.9	3.4	2.2	1.9
350	84.4	8.9	11.9	4.0	2.9	2.2
400	109.2	10.1	15.1	4.5	3.7	2.6
450	138.8	11.4	18.7	5.1	4.6	3.9
500	171.6	12.7	22.7	5.7	5.6	3.2
600			31.8	6.8	7.9	3.8
700			42.4	7.9	10.5	4.5
800			54.0	9.1	13.4	5.1
900					16.6	5.8
1000					20.2	6.4
1100					24.1	7.0

【例題一】 在一 6 吋徑管內，每分流過水 800 加侖，試求因摩擦而損失之頭為若干？

由表十二，可知一 6 吋徑管，每分之流量為 800 加侖時，其每千呎損失之摩擦頭為 54.0 呎。

【例題二】 苟每分輸送 700 加侖之水至距離 8,000 呎之處，而

表十二 三續

流量 以每分加侖計	10 吋 管		12 吋 管		16 吋 管	
	1000呎內 水頭之損 失以呎計	速度 每秒呎數	1000呎內 水頭之損 失以呎計	速度 每秒呎數	1000呎內 水頭之損 失以呎計	速度 每秒呎數
200	.35	.82	.14	.57		
300	.73	1.2	.30	.85		
400	1.24	1.6	.51	1.1		
500	1.87	2.0	.78	1.4	.18	.80
600	2.6	2.4	1.10	1.7	.26	.96
700	3.5	2.9	1.45	2.0	.34	1.1
800	4.4	3.3	1.82	2.3	.43	1.3
900	5.5	3.7	2.3	2.6	.54	1.4
1000	6.7	4.1	2.8	2.8	.66	1.6
1100	8.0	4.5	3.3	3.1	.78	1.8
1200	9.4	4.9	3.9	3.4	.92	1.9
1300	10.9	5.3	4.5	3.7	1.06	2.1
1400	12.6	5.7	5.1	4.0	1.22	2.2
1500			5.8	4.2	1.38	2.4
1600			6.5	4.5	1.55	2.6
1700			7.3	4.8	1.74	2.7
1800			8.1	5.1	1.93	2.9
1900			9.0	5.4	2.1	3.0
2000			9.9	5.7	2.3	3.2
2200			11.7	6.2	2.8	3.5
2400					3.3	3.8
2600					3.8	4.2
2800					4.4	4.5
3000			17.82	7.09	5.0	4.8
3500			25.57	8.51	6.6	5.6

限其頭之總損失為 40 呎，問須用如何大小之管？

今每 1,000 呎損失之頭為 $40 \div 8 = 5$ 呎，由前表可知流量為每分 700 加侖時，在 8 吋管內，每 1,000 呎頭之總損失為 10.5 呎，在 10 吋管內為 3.5 呎。於是欲不超過所定總損失之限度，當用 10 吋管。

【例題三】某鎮由一位於高處之水庫供給水量，經過之距離為 15,000 呎，問此水庫須高於鎮上若干？又需用如何大小之管，庶

表十二 四續

流量 以每分加侖計	20 吋 管		24 吋 管		30 吋 管	
	1000呎內 水頭之損 失以呎計	速度 每秒呎數	1000呎內 水頭之損 失以呎計	速度 每秒呎數	1000呎內 水頭之損 失以呎計	速度 每秒呎數
1000	.23	1.0	.08	.71		
1200	.32	1.2	.12	.85		
1400	.42	1.4	.16	.99		
1600	.52	1.6	.20	1.1		
1800	.64	1.8	.25	1.3		
2000	.77	2.0	.31	1.4	.10	.90
2200	.92	2.2	.37	1.6	.12	1.00
2400	1.08	2.5	.43	1.7	.14	1.09
2600	1.25	2.7	.50	1.8	.17	1.18
2800	1.43	2.9	.58	2.0	.19	1.27
3000	1.62	3.1	.66	2.1	.22	1.36
3200	1.82	3.3	.74	2.3	.24	1.45
3400	2.04	3.5	.83	2.4	.27	1.55
3600	2.27	3.7	.92	2.5	.30	1.64
3800	2.51	3.9	1.02	2.7	.33	1.73
4000	2.76	4.1	1.12	2.8	.36	1.82
4500	3.43	4.6	1.39	3.2	.46	2.05
5000	4.16	5.1	1.68	3.5	.56	2.27
5500	4.96	5.6	2.00	3.9	.67	2.50
6000	5.80	6.1	2.35	4.3	.78	2.73
6500					.90	2.96
7000					1.03	3.18
7500					1.17	3.41
8000					1.32	3.64
9000					1.64	4.09
10000					2.00	4.55

在鎮上分佈管內之壓力，不致低於每方吋 60 磅，即等於 $60 \times 2.3 = 138$ 呎之頭。所需之水量為每分 1,800 加侖。

本問題可有數種不同之解答，因可假定大小不同之管，而將水庫設於應置之高度，以求得所需之壓力。試察表十二，知每分輸送 1,800 加侖之水，用 12 吋管，每 1,000 呎消耗於摩擦之頭為 8.1 呎，用 16 吋管，每 1,000 呎僅消耗 1.93 呎，而用 20 吋管僅 .64 呎。

10吋管雖未列此項數值，但每 1,000 呎約在 20 呎以上，則在 15,000 呎內之總損失將為 300 呎，實際上恐不能達如此高度。

苟用 12 吋管，則因摩擦之總損失為 $8.1 \times 15 = 121.5$ 呎。水流速度應為每秒 5.1 呎，而由表十一，知所需之速度頭 h_v 為 .4 呎。於是總頭 $= 121.5 + .4 = 121.9$ 呎，水庫在鎮上之高度 $= 138 + 121.9 = 259.9$ 呎。

若用 16 吋管，摩擦損失 $= 1.93 \times 15 = 28.9$ 呎，速度頭 $= 0.1$ 呎，及總頭 $= 29$ 呎，水庫之高度 $= 29.0 + 138 = 167$ 呎。

若用 20 吋管，摩擦損失 $= .64 \times 15 = 9.6$ 呎，速度頭將更小於 0.1 呎，可以略去不計。水庫所需之高度 $= 147.6$ 呎。

用更大之管，則水庫之高度更可減少，但無論如何水庫至少須有 138 呎以上之高度。

根據上述之結果，可知用 12 吋管，水庫須高 259.9 呎，用 16 吋管，須高 167 呎，用 20 吋管，須高 147.6 呎。究以何種尺寸為宜，當視管及水庫兩者合併之造價，如何最為低廉而定之。

29. 水理坡度綫 再以圖 27 為參考，可知在 B 及 C 間壓力之降低，與自 B 至 C 之管長成正比例。若有一極長之管，插入多數垂直細管如 bB 及 cC，則在此等垂直細管內之水面，勢必沿管向前逐漸降落。若管之直徑不變，種類相同，則降落之多寡，亦必一律，每 1,000 呎降落之數量，即自表十二得之。今若自 E 點聯一直綫經過 b, c 等點，則此綫在管上之高度，即可代表管內之壓力，此綫名曰在已知情形下之水理坡度綫。在各種問題內，能繪製此坡度綫恆較便利。此坡度綫之位置，視水流速度而不同，若水靜止不

流，則爲一水平綫。若管之直徑一律，則恆爲一直綫。

30. 虹吸 苟如圖 28，在某種情形下，管綫升高至水理坡度綫之上，則在該部分管內之壓力，將小於大氣壓力，蓋由坡度綫量得之壓力，按諸上述之理，乃超過普通大氣壓力之值。該部分在坡度綫上之 B C 管，名曰虹吸 在坡度綫上可達之最大高度，即實際上虹吸有效之範圍，遠不及第 4 節所述之水柱氣壓表高度。又因水流速度及水理坡度綫，俱視 D 閘開放之大小而變更，故同一水

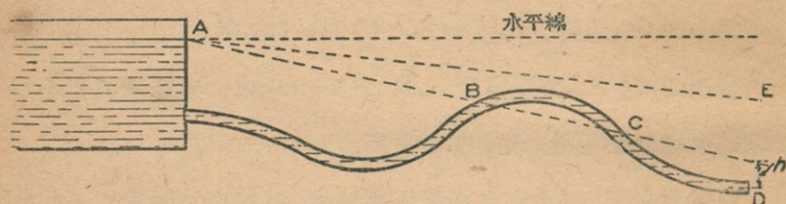


圖 28

管，有時有虹吸作用，有時却無之。例如在圖中，若 D 閘關至甚小，於是水流及摩擦損失俱爲之減少，因此坡度綫升至另一位置如 A E，於是在管內任何處之壓力，俱超過大氣壓力矣。

31. 水經過特種形式之管 用帽釘聯合之管。其摩擦損失視管鈹之厚薄及接縫之形式而不同。此項管之實驗，尙不甚多，故不能得任何普通之公式，因此關於該管之設計，不得不參照實驗資料，以選定相當係數。尋常在公式(30)中，係數 C 並不隨管之直徑及速度而大變，故與鑄鐵管變更之情形大不相同。若係尋常速度，而管又爲新製者，此係數 C 約自 100 至 115。普通採用 100 頗爲適宜。

32. 木條箍成之管 木條箍成之管，雖爲美國西部所廣用，

但關於此類管之實驗却甚少。此管恆極光滑，其內壁不致腐蝕，因此流量可較大。在普通速度下，公式(30)之 C 值可取為 110。

33. 救火軟管 在防火設備中，常須估計在已知壓力下之水流，經過一定長度之軟管後，其射出時之有效程度。亦有先知水流須達之高度及距離，而反求所需之壓力者。通用之救火軟管，其直徑約為 2½ 吋，在其一端，裝以管嘴，直徑為 1 吋，1½ 吋或 1¼ 吋不等。此管嘴之一部分作用，即為控制流出水量及其壓力。若在軟管內並無摩擦損失，則射出水流所達之高度，即相當於取水栓處之壓力頭，但在軟管中摩擦損失甚大，在二三百呎長之軟管內，常致減低有效水頭之一半。軟管內水流之速度愈大，摩擦之損失愈甚，於是若管嘴甚小，則流量亦小，在近嘴處之有效壓力，必較大於用大管嘴而出水量較多者。因此在同一壓力下，等長之軟管內，用小管嘴之水流，較之用大管嘴者，可達更高之處，惟此水流對於熄滅火焰之效力則減少。

表十三所示，乃估計救火射流在不同壓力下，及用三種尺寸之管嘴，其水頭之損失，及有效程度之各項資料。

表中所列之已知壓力，係在管嘴處而不在取水栓處，若欲求後者，須將管嘴處之壓力，加以軟管內損失之頭。若管嘴與取水栓在同一水平綫上，此所得之結果，即為取水栓處之壓力。不然，須將此二者之高度差計入之，以資改正。凡垂直高度及水平距離，皆係自管嘴處算起。在作此項計算時，水頭平常均以每方吋磅數計，若欲化為水頭之呎數，即以壓力之磅數乘以 2.3 而得。

【例題一】 設欲射水達 75 呎之高度，其所用之管嘴為 1½ 吋，

表十三 軟管及救火射流之資料

在管嘴底部之壓力以磅計	1吋光滑管嘴					1½吋光滑管嘴					1¾吋光滑管嘴						
	流量以每分加侖計	失以磅計	每百呎軟管內頭之損	良好救火射流可及之最大水平距離以呎計	良好救火射流可及之降落以呎計	在管嘴水平綫下最甚	流量以每分加侖計	失以磅計	每百呎軟管內頭之損	良好救火射流可及之最大水平距離以呎計	良好救火射流可及之降落以呎計	在管嘴水平綫下最甚	流量以每分加侖計	失以磅計	每百呎軟管內頭之損	良好救火射流可及之最大水平距離以呎計	良好救火射流可及之降落以呎計	在管嘴水平綫下最甚
20	132	5	35	37	77	168	8	36	38	80	209	12	37	40	88		
30	161	7	51	47	109	206	12	52	50	115	256	19	53	54	119		
40	186	10	64	55	133	238	16	65	59	142	296	25	67	63	148		
50	208	12	73	61	152	266	20	75	66	162	331	31	77	70	169		
60	228	15	79	67	167	291	24	83	72	178	363	37	85	76	186		
70	246	17	85	72	179	314	28	88	77	191	392	43	91	81	200		
80	263	20	89	76	189	336	32	92	81	203	419	49	95	85	213		
90	297	22	92	80	197	356	36	96	85	214	444	55	99	90	225		
100	295	25	96	83	205	376	40	99	89	224	468	62	101	93	236		

軟管長為 300 呎，問在取水栓處之壓力應為若干？

由上表，當管嘴為 1½ 吋，而高度須達 75 呎時，每百呎軟管內頭之損失為 20 磅，而在管嘴處之壓力（由表之第一行）知為 50 磅，故在取水栓處之壓力應為 $50 + (20 \times 3) =$ 每方吋 110 磅。流量約為每分 266 加侖。

【例題二】 苟知取水栓處之壓力為每方吋 100 磅，問經過 25 呎軟管及用 1½ 吋管嘴之流量為若干？又此項射流可達之有效高度為若干？

本問題須用試驗法解答。試觀表內 1½ 吋管嘴部分，當流量為每分 296 加侖時，在管嘴處之壓力為 40 磅，每百呎軟管內頭之損失為 25 磅，當流量為每分 331 加侖時，在管嘴處之壓力為 50 磅，

百呎軟管內頭之損失爲 31 磅。今已知壓力頭爲 100 磅，須等於管嘴處之壓力及軟管內損失之壓力之和。若以第一組值試之，管嘴之壓力爲 40 磅，軟管內之總損失爲 $25 \times 2.5 = 62.5$ 磅，二者之和爲 $40 + 62.5 = 102.5$ 磅。此數較之可有之頭略大，顯係假設之流量數太高。其次較小之值爲 256 加侖，管嘴之壓力爲 30 磅，軟管內之總損失爲 19×2.5 或 47.5 磅，於是二者之和爲 $30 + 47.5 = 77.5$ 磅。由此二值，可知適當之值乃介於 296 及 256 之間且僅略小於前一值。今流量相差 40 加侖，

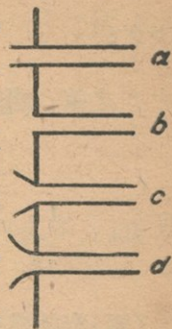


圖 29

總頭相差 $102.5 - 77.5$ 或 25 磅。故知每差 2.5 磅，流量約變更 $\frac{1}{10} \times 40$ 或 4 加侖。於是所求之流量可取爲每分 292 加侖。有效高度，由表檢得當介於 67 及 53 呎之間，僅較 67 爲略小，可用 65 呎。該項估計雖未必十分準確，但所得僅能如此，蓋軟管內之摩擦視其性質而異，爲一極易變動之因子也。

34. 管內水頭之次要損失 在下列之多數公式中， $\frac{v^2}{2g}$ 爲常遇之數量。若 v 爲已知值，則此數量可逕由表十一檢得之。

(甲) 在進口處頭之損失 此項損失以下式表之

$$h = \left(\frac{1}{c^2} - 1 \right) \frac{v^2}{2g} \quad (31)$$

式中， v = 管中水流之速度， c 爲流量係數。如圖 29 所示，各不同式樣之進口，可得各值如次：

進口處式樣	c	$\frac{1}{c^2} - 1$
伸入櫃壁之管，如圖(a)	.72	.93
管端與櫃壁相平，如圖(b)	.82	.49

圓錐形或鐘口形之管，如圖 (c) 或 (d) .93—.98 .15—.04

(乙)管彎曲處頭之損失 管若折轉成 90° ，其頭之損失以下

式表之：
$$h = n \frac{v^2}{2g} \quad (32)$$

式中 n 之值，視管半徑 r ，與管曲率半徑 R 之比而不同，其值如下：

$\frac{r}{R}$	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
n	.13	.14	.16	.21	.29	.44	.66	.98	1.41	1.98

(丙)有閥處頭之損失 根據淮斯巴克氏之實驗，在小開關處頭之損失，以公式 $h = n \frac{v^2}{2g}$ 計之，式中 n 之值如下：

開放口高度與直徑之比	$\frac{7}{8}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
n 之值	.07	.26	.81	2.1	5.5	17	98

應用上式時， v 為管內之水流速度。

若為節縮閥，而與管軸成傾斜角 θ 時，淮斯巴克氏更得下列之 n 值：

θ	5°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	65°	70°
n	.24	.52	.15	3.9	11	33	118	256	750

大開關閥之實驗，係由庫契林及斯密斯兩氏為之。下表所列，為 $Q = cA \sqrt{2gh}$ 式中之 c 值。在此式中 A 為開放口之面積， h 為在閥處損失之頭， Q 為流量。

表十四 大開關閥之係數

開放口高度與直徑之比	.05	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8
開放口面積與總面積之比	.05	.10	.23	.36	.48	.60	.71	.81	.89
24吋閥之係數 c	1.7	1.0	.72	.70	.77	.92	1.2	1.6	
30吋閥之係數 c	1.2	.9	.83	.82	.84	.90	1.05	1.35	2.1

【例題】 設用一抽機，由管抽水注入一水庫，若管內水流速度為每秒 6 呎，問在進口處頭之損失為若干？

應用第 34 節之公式(31)，在此情形下 $\left(\frac{1}{c^2} - 1\right)$ 之值，約為 .93。於是頭之損失為 $.93 \times \frac{v^2}{2g}$ ，更由表十一，知為 $.93 \times .56 = .52$ 呎。

若管端放大為鐘口形，或圓錐形，則頭之損失可極少，約為 .10 $\times .56$ 或 .056 呎。

第六章 敞槽內之水流

35. 普通公式 水流在敞開之槽內經行，如明溝以及混凝土、磚、或瓦筒構成之污水渠，而未達滿流時，則其槽之傾斜度即為使水流具勝過摩擦力所需之降度或頭。在此情形下，槽內任何點皆無壓力，所謂兩點間頭之損失，即為其水位之差。此水位或頭之差，當水流已達穩定狀態時，即等於在此距離內水流受摩擦而損失之頭。

表示在槽內因摩擦而所受之損失，其公式與第 28 節，用於管中水流之普通公式相同，即如下式：

$$v = c \sqrt{rs} \quad (33)$$

式中 v = 水流速度，以每秒呎計

c = 係數

r = 水理平均半徑 = 水流之實際橫截面積，除以在水面下着水部分之周長或稱濕周

s = 槽之坡度或降度與長之比 = $\frac{h}{l}$

敞槽中 c 值之變更，遠甚於管內者，蓋槽之情形，變動亦多。例如槽可為一光滑之瓦筒污水渠， c 值當大於 100，約與鐵管者相同；亦可為一粗糙之天然水道， c 值僅為 30 至 40。在極粗糙之槽內估計水流，常致有極大之差誤，而在污水渠及圬工所築成之排水溝或導渠內，則此項估計亦可十分準確，因其 c 值已經充分決定也。

為便利起見，此 c 值以一公式表示之，名曰庫忒氏公式。在此

公式內，槽之情形，用一特別係數 n 計之，名曰糙度係數，此公式在普通情形下為

$$c = \frac{\frac{1.8}{n} + 45}{1 + \frac{45n}{\sqrt{r}}} \quad (34)$$

式中 r = 水理平均半徑以呎計， n = 糙度係數，自光滑之木板面為 .009 起，至滿佈石塊之天然水道為 .030 止。

下列為在各不同面上，尋常應採取之 n 值：

光滑之木板面	$n = .009$
光潔之膠灰面或極光滑之管	$n = .010$
未刨光之木板或不甚光滑之管	$n = .012$
光滑之方石圻工面或磚砌面	$n = .013$
普通磚面	$n = .015$

表十五 庫忒氏公式內各不同 n 值時之 c 值

r 以呎計	n 之值									
	.009	.010	.011	.012	.013	.015	.017	.020	.025	.030
1	108	94	82	73	65	53	45	35	26	20
.2	129	113	100	89	80	66	56	45	34	26
.3	142	124	111	99	90	75	63	52	38	30
.4	150	132	118	106	96	80	69	56	42	34
.5	157	139	124	111	101	85	73	60	45	36
.6	162	143	128	116	105	89	76	63	48	38
.7	166	147	132	119	109	92	79	65	50	40
.8	170	151	135	122	112	95	82	68	52	42
.9	173	154	138	125	114	97	84	70	54	43
1.0	175	156	140	127	116	99	86	71	55	45
1.2	180	160	145	131	120	103	89	74	58	47
1.4	184	161	148	135	124	106	92	77	60	49
1.6	187	167	151	137	126	108	94	79	62	51
1.8	189	169	153	140	129	110	97	81	64	53
2.0	191	172	155	142	130	112	98	83	65	54
2.5	196	176	160	146	135	116	102	86	69	57
3.0	199	179	163	149	138	119	105	89	71	59
3.5	202	182	166	152	140	122	107	91	73	61
4.0	204	184	168	154	143	124	110	93	75	63
4.5	206	186	170	156	144	126	111	96	77	64
5.0	208	188	172	158	146	127	113	97	78	66

塊石圻工面	$n = .017$
土質槽無其他障礙物	$n = .020-.025$
槽內有碎石塊或水生植物	$n = .030$

選定 n 值之後， c 值即可由表十五求得之。

36. 水理平均半徑 r 按前文之解釋此名稱，係用於水流之實際橫截面積，除以濕周，或在水面下橫截面之周界，所得之商。在管中滿流時，若管之直徑為 d ，則其橫截面積為 $\frac{1}{4}\pi d^2$ ，周界為 πd ，於是 r 之值為 $\frac{1}{4}\pi d^2 \div \pi d = \frac{1}{4}d$ 。苟管僅半滿，按相同之理，得 $r = \frac{1}{8}\pi d^2 \div \frac{1}{2}\pi d = \frac{1}{4}d$ ，與滿流時相同。當管中水流小於一半時，則橫截面積之減少較速於濕周，因此 r 之值亦漸減。於是由公式(33)知速度亦同樣減小。

任何已定式樣之槽，使水流充滿至某一高度，則求 r 之值時，可用較大縮尺繪出槽之橫截面，然後由圖上量出面積及濕周。

【例題】一混凝土槽，寬 4 呎，深 3 呎，其坡度為每 1,000 呎內 1 呎，問水流之速度及流量為若干？

應用公式(33)，先求 r 及 s 之值。 r 之值，等於水流之橫截面積，除以其濕周 $= \frac{3 \times 4}{4 + 3 + 3} = 1.2$ 呎。坡度 $s = \frac{1}{1,000} = .001$ 。 c 值可由表十五求得， n 之值可取為 .013，與磚砌工之值相同。今由表十五，當 $n = .013$ ， $r = 1.2$ 時，得 $c = 120$ 。代此等值於公式(33)，可得 $v = 120 \sqrt{1.2 \times .001} =$ 每秒 4.16 呎。流量為 $4.16 \times 4 \times 3 =$ 每秒 49.92 立方呎。

37. 經過普通污水渠之水流 污水渠普通均用煉泥管以及磚或混凝土築成。若用前者， n 之值可取為 .013，用磚及混凝土約

為.015。但混凝土之做工光潔者， n 之值亦可取為.013。

下表十六，為圓形污水渠滿流時之速度及流量。若污水渠僅半滿，速度仍相同，惟流量則減少一半。

表十六 圓形污水渠($n=.013$)內之速度及流量

速度(V)以每秒呎計；流量(Q)以每秒立方呎計

(若 $n=.011$ 加 20%，若 $n=.015$ 減 16%)

污水渠每 百呎降 之呎數	4 吋		6 吋		8 吋		10 吋		12 吋		15 吋		18 吋	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
10.	5.75	.50	7.99	1.57	10.04	3.50	11.94	6.51	13.73	10.78	16.24	19.93	18.59	32.96
5.	4.06	.35	5.64	1.11	7.09	2.48	8.43	4.60	9.70	7.62	11.48	14.08	13.13	23.22
4.	3.63	.32	5.05	.99	6.34	2.21	7.54	4.11	8.65	6.80	10.26	12.59	11.74	20.73
3.	3.15	.27	4.25	.83	5.49	1.92	6.53	3.56	7.51	5.90	8.89	10.91	10.17	17.97
2.	2.57	.22	3.56	.70	4.48	1.56	5.33	2.91	6.13	4.82	7.25	8.90	8.30	14.67
1.	1.82	.16	2.52	.49	3.17	1.11	3.77	2.06	4.33	3.40	5.13	6.30	5.87	10.38
.8	1.61	.14	2.25	.44	2.83	.99	3.37	1.84	3.87	3.04	4.59	5.63	5.25	9.28
.6	1.38	.12	1.95	.38	2.45	.86	2.92	1.59	3.35	2.64	3.97	4.89	4.55	8.04
.4			1.50	.31	2.00	.69	2.38	1.30	2.74	2.15	3.24	3.97	3.70	6.56
.2					1.40	.49	1.67	.91	1.91	1.51	2.27	2.79	2.60	4.60
.1							1.17	.64	1.35	1.06	1.60	1.96	1.83	3.24
.09											1.51	1.86	1.73	3.06
.08													1.61	2.88
.07													1.52	2.69

表十六 續

污水渠每 百呎降 之呎數	20 吋		22 吋		24 吋		30 吋		33 吋		36 吋	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
10.	20.08	43.8	21.51	56.8	22.91	72.0	26.84	131.7	28.69	170.3	30.46	215.3
5.	14.18	30.9	15.20	40.1	16.19	50.9	18.97	93.1	20.27	120.4	21.54	152.3
4.	12.69	27.7	13.59	35.9	14.47	45.5	16.96	83.3	18.13	107.7	19.26	136.5
3.	10.98	24.0	11.77	31.1	12.53	39.4	14.69	72.1	15.70	93.6	16.68	118.0
2.	8.97	19.6	9.61	25.4	10.23	32.2	11.99	58.9	12.82	76.1	13.02	96.3
1.	6.34	13.8	6.79	17.9	7.24	23.3	8.48	41.6	9.06	53.8	9.63	68.1
.8	5.67	12.4	6.07	16.0	6.47	20.3	7.58	37.2	8.11	48.1	8.61	60.9
.6	4.91	10.7	5.26	13.9	5.60	19.6	6.57	32.2	7.02	41.7	7.46	52.7
.4	4.00	8.7	4.29	11.3	4.56	14.3	5.35	26.3	5.72	34.0	6.08	43.0
.2	2.81	6.1	3.01	7.9	3.21	10.1	3.70	18.5	4.02	23.9	4.28	30.2
.1	1.98	4.3	2.12	5.6	2.26	7.1	2.60	13.0	2.84	16.9	3.02	21.3
.09	1.87	4.1	2.01	5.3	2.14	6.7	2.51	12.3	2.69	16.0	2.86	20.2
.08	1.76	3.8	1.89	5.0	2.02	6.3	2.37	11.6	2.53	15.0	2.69	19.0
.07	1.64	3.6	1.76	4.6	1.88	5.9	2.20	10.8	2.36	14.6	2.51	17.7
.06	1.51	3.3	1.63	4.3	1.73	5.4	2.04	10.0	2.18	12.9	2.32	16.4
.05			1.48	3.9	1.58	5.0	1.86	9.1	1.99	11.8	2.11	14.9
.04			1.32	3.5	1.40	4.4	1.65	8.1	1.77	10.5	1.88	13.3
.03					1.20	3.8	1.40	6.9	1.52	9.6	1.62	11.4
.02					0.96	3.1	1.13	5.6	1.22	7.2	1.30	9.2

表十七 磚砌及混凝土($n=.015$)污水渠內之速度及流量

速度(V)以每秒呎計; 流量(Q)以每秒立方呎計

(若 $n=.013$ 加 19%, 若 $n=.017$ 減 13%)

污每降呎 水百落之 渠呎數	33 吋		36 吋		42 吋		4 呎	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
.5	17.17	102.0	18.27	129.2	20.37	196.1	22.36	281.1
.4	15.36	91.2	16.34	115.5	18.21	175.3	20.00	251.3
.3	13.80	79.0	14.15	100.0	15.77	151.8	13.31	217.6
.2	10.85	64.5	11.55	81.7	12.88	123.9	14.13	177.6
.1	7.68	45.6	8.16	57.7	8.90	87.6	9.99	125.6
.8	6.86	40.7	7.30	51.6	8.14	78.3	8.93	112.3
.6	5.94	35.2	6.32	44.6	7.04	67.8	7.73	97.2
.4	4.84	28.8	5.15	36.4	5.75	54.0	6.31	79.3
.2	3.41	20.3	3.63	25.7	4.05	39.0	4.45	55.9
.1	2.40	14.3	2.52	18.1	2.85	27.5	3.13	39.4
.09	2.27	13.5	2.42	17.1	2.70	26.0	2.97	37.3
.08	2.14	12.7	2.28	16.1	2.55	24.5	2.80	35.2
.07	2.00	11.9	2.13	15.0	2.38	22.9	2.61	32.9
.06	1.85	11.0	1.97	13.9	2.20	21.1	2.42	30.4
.05	1.68	10.0	1.79	12.6	1.95	18.8	2.20	27.6
.04	1.49	8.9	1.59	11.3	1.78	17.1	1.96	24.6
.03	1.28	7.6	1.37	9.7	1.53	14.7	1.68	21.2
.02					1.23	11.9	1.36	17.1
.15							1.16	14.6

表十七 續

污每降呎 水百落之 渠呎數	5 呎		6 呎		8 呎		10 呎	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
.5	26.05	512						
.4	23.30	457	26.34	745				
.3	20.17	396	22.81	645				
.2	16.47	323	18.02	527	22.53	1129	26.03	2045
.1	11.64	228	13.17	372	15.98	891	18.41	1446
.6	10.41	204	11.78	333	14.25	716	16.46	1293
.8	9.01	177	10.19	288	12.33	620	14.25	1119
.4	7.36	144	8.32	235	10.07	506	11.63	914
.2	5.19	102	5.87	166	7.10	357	8.21	645
.1	3.66	72	4.14	117	5.02	252	5.81	456
.09	3.47	68	3.92	111	4.76	239	5.51	433
.08	3.27	64	3.70	105	4.49	226	5.19	408
.07	3.05	60	3.46	98	4.20	211	4.86	382
.06	2.82	55	3.20	90	3.88	195	4.50	353
.05	2.57	50	2.92	82	3.54	178	4.10	322
.04	2.29	45	2.60	74	3.16	159	3.66	288
.03	1.97	39	2.24	63	2.73	137	3.17	249
.02	1.60	31	1.82	51	2.22	112	2.58	203
.015	1.37	27	1.56	44	1.93	97	2.23	175
.012			1.39	39	1.70	86	1.99	156
.010					1.55	78	1.81	143
.0095					1.25	63	1.77	139
.0090							1.72	135

第七章 河道內水流之測量法

38. 普通方法 測量小河道內之水流，其最佳方法係用木板造成一堰，築於臨時土壩之內。此堰可用於深 3 呎或 4 呎，寬 40 呎或 50 呎之河道。惟在通常之河道內，河面之寬若此，必有數倍大之洪流，不能用此法量計。如在河道內築有一壩，苟流量係數，如第 25 節所云，曾經審慎選定，則在壩上水流之觀測，恆可得極佳之結果。

若築堰之法不能適用，則必須在指定之截面內實測水流速度及面積，於是流量為此二者相乘之積。

39. 流速之變更 因水流受河底及兩岸之阻擾，在一指定截面內之各點，其水流速度並不相同。尋常在河道近中心處之速度

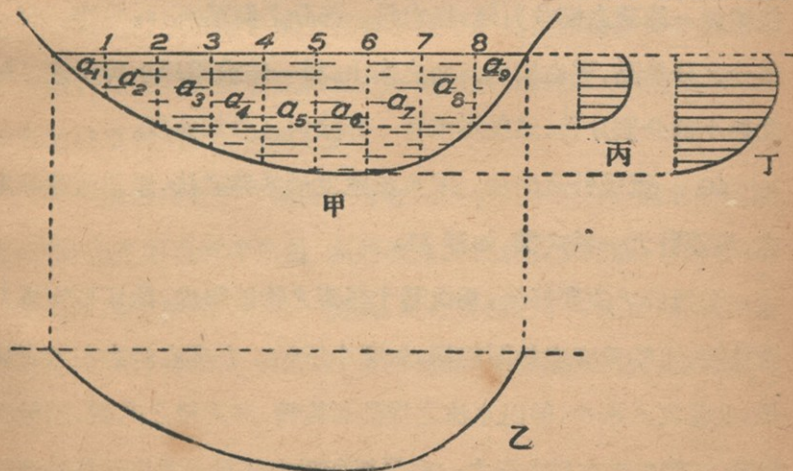


圖 30

恆大於近兩岸者，而深水處之速度亦較大於淺水處者。設如圖 30 甲，代表某河道之橫截面，其沿水面上各點速度之變更，以圖乙表之，最大之速度即在近最深之處，而最小之速度則近兩岸。同樣，若以沿第二垂直綫內之速度而論，則其變更情形約如圖丙，又沿第六垂直綫，約如圖丁。在圖丙及丁內，可知最大之速度距水面下極近。此為普通情形，惟有時因風之影響，略有變更。

由上述種種，可知在一橫截面內，速度之變更極甚，故平均速度之測定殊非簡易之事。

如不欲在全部橫截面內試測平均速度，惟有將該截面分為多數垂直狹條，如圖甲。於是分求每一狹條內之平均速度及流量。測量時須選定一處，其水流愈均勻及槽底愈整齊者愈佳。若用浮標施測速度，如下文所述，則須擇定二個橫截面，相距 100 呎或 100 呎以上，在其間施測速度。不論用何法，河底之深淺，須審慎測定，然後繪成一準確之橫截面圖，以求每一部分之面積 a_1, a_2 等等。每一部分之分界點，可在橫過河面之索上，縛一結或繫以小牌示之。如此將小部分劃分後，然後再求每一部分內之平均速度。

40. 流速計之用法 求水流速度最準確之法，係用流速計量之，流速計之一種式樣，如圖 31。

流速計之主要部分，為由若干杯形之物所組成。此杯形物排列成輪狀，可繞垂直之軸而旋轉，如圖中所示，在垂直釘之左方者即是。此輪沉入水中，即因水流之推動而旋轉，其旋轉之次數，用電流裝置，在船中或在岸上記之。在尾部所附之長翼，用以保持流速計之方向，使常與水流平行。另於釘之下端加一重錘，俾得保持其穩

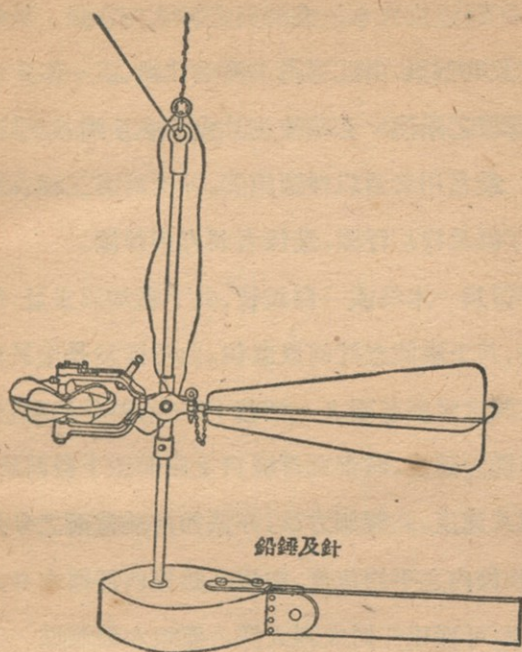


圖 31

定。全部裝置，用粗繩自橋上或船中掛下。流速計輪部每分鐘旋轉之次數，可以記錄，於是在該處之水流速度，僅須乘一係數而得，此係數當於事先用實驗確定之。

在一狹條內之平均速度，可在此狹條之中綫內，就各不同深處，測定速度而取其平均值。或將流速計自水面至河底，再自河底回至水面，緩緩移動，而取一讀數。如此所得之平均速度，乘以狹條之面積，即得狹條內之流量。於是總流量，即為諸狹條內流量相加之和。

由流速計之讀數（即每分之旋轉數）計算實在之水流速度所用之係數，須用實驗方法確定，此方法名曰流速計之檢定。檢定時將

流速計用各不同速度在水池或河渠之靜水內移動，於是知流速計移動之速度及其讀數，由此可得一檢定曲綫，或一檢定之係數表。

41. 浮標之用法 有時流速計或不在手邊，則惟有採用不甚準確之方法。最常用者為以浮標施測。浮標計有三種式樣，即水面浮標，水下浮標及桿形浮標，最佳者為桿形浮標。

桿形浮標為一木桿或一白鐵管，其下端加以重量，使能在水中直立而浮動，其下端能愈近河底愈佳。此浮標於是置於河中指定之點，惟須在測定兩橫截面之上游若干距離，俾其抵達該截面時，已得與水流同樣之速度。觀察此浮標自上截面至下截面所需之時間，由此乃推算其速度。此觀測方法，亦係如河流截面之分為垂直狹條為之。每一狹條內之平均速度，即為在該條內浮標本身之速度。

水面浮標可採用任何便利式樣，僅須在觀測點一望而易見者即可。惟所得僅為水面速度而非所求之平均速度。欲得平均速度，可用一近似公式求之：

$$\text{平均速度} = .9 \times \text{水面速度} \quad (85)$$

由此計算各狹條內流量之法，與前相同。此法所得之結果，不及用桿形浮標者為準確，故除僅為約略估計外，不宜採用。且水面速度受風之影響太甚，故施測時如能擇風靜之日最佳。

有時極簡略之法，如僅測一二點之速度，亦有用之者。若水面速度僅在速度最大處（近河流之中心點）量之，於是全截面內之平均速度，可取為此量得速度之 $\frac{8}{10}$ ，惟此係數之確值，其變更範圍極廣。於是總流量等於總截面積乘此平均速度。

水下浮標係由一較水略重而沉入水下之物體，與一極小之水



面浮標所組成，兩者之間，用一細繩相連。水下浮標可使其在任何指定深度處移動。苟令其在半深之處，則所得者約為垂直狹條內之平均速度。採用此項浮標所得之結果，並不視為可信，能用桿形浮標則更佳。

靜力學及水力學中英文譯名對照表

說 明

本書爲讀者醒目便利起見，凡專門名詞，人名及地名等之原文，一律不在譯文中夾注。所有各該項原文，另列中英文對照表二種檢查之，兩表均以中文爲主，俾讀者可由書中譯名求得其原名。

(甲) 專門名詞對照檢查表 凡譯文中所引用之專門名詞，爲普通字書及辭書所不備，或意義稍有出入者歸入之。其意義明顯之普通名詞從略。

(乙) 人名及地名對照檢查表 凡在譯文中，見字下有細橫線之名稱，均係人名或地名，概從音譯。人名及地名之音譯，大部分依照商務印書館二十四年五月出版之標準漢譯外國地名人名表，以資一律。其他該書所未載之人名及地名，則酌照國音譯之。

兩表中均依照中文譯名之筆畫數排列次序，而以英文原名殿之。故檢查時須先計筆畫數。計筆畫數之法，以普通寫體爲標準，與刻體略有不同。如比字片字，均作爲四畫而非五畫。又專門名詞表中同筆畫之字數甚多，復採用起筆分部法排列次序，即「橫」，「直」，「撇」，「點」是也。此起筆亦以寫體作準，如牛，戶，言等，均以「點」爲起筆，而非以刻體之「撇」及「橫」爲起筆。遇兩筆連寫作一筆時，以起筆在先者爲主，列如尹，發等字之起筆均爲「橫」。但地名人名表中，同筆畫之字數無多，不另分部。

(甲) 專門名詞對照檢查表

二 畫

— 部

力 Force
 力學 Mechanics
 力圖 Force diagram
 力矩 Moment
 力偶 Couple
 力之合成 Composition of force
 力之分解 Resolution of force
 力矩中心 Center of moment
 力偶之矩 Moment of couple
 力之三角形 Triangle of force
 力之多邊形 Force polygon
 力矩之原理 Principle of moments

三 畫

— 部

三角法 Trigonometry
 三角形定律 Triangle law
 大氣壓力 Atmospheric pressure

四 畫

— 部

比重 Specific gravity
 比例尺 Scale
 比例數 Scale number
 反動力 Reaction

反時針向 Counter clockwise

孔 Orifice

支點 Support

不同點力 Non-Concurrent force

| 部

水位 Water level

水柱 Water column

水庫 Reservoir

水力學 Hydraulics

水平線 Horizontal line

水平分力 Horizontal Component

水平投影 Horizontal projection

水面浮標 Surface float

水下浮標 Sub-surface float

水面速度 Surface velocity

水力平均深 Hydraulic mean
depth

水柱氣壓表 Water barometer

水力發電廠 Hydro-electric plant

水力坡度線 Hydraulic grade line

) 部

分力 Component

分度規 Protractor

手抽機 Hand pump

、 部

方向 Direction

方程式 Equation

方石圻工 Ashlar masonry

五 畫

一 部

平衡 Equilibrium
 平衡力 Equilibrant
 平面 Plane
 平行力 Parallel force
 平均速度 Average velocity
 加速度 Acceleration
 加侖 Gallon
 正切 Tangent
 瓦筒 Tile

丿 部

代數法 Algebraic method
 代數和 Algebraic sum

六 畫

一 部

有效水頭 Effective head
 有效壓力 Effective pressure
 死荷重 Dead load
 地位圖 Space diagram
 圬工 Masonry

丨 部

同點 Point of concurrence
 同點系 Concurrent system
 同點力 Concurrent force
 曲面 Curved surface
 曲率半徑 Radius of curvature
 收束係數 Coefficient of contraction

丿 部

行近槽 Channel of approach
 行近速度 Velocity of approach

向 Sense

合力 Resultant

自由面 Free surface

部

污水渠 Sewer

安全強度 Safe strength

七 畫

一 部

抗張應力 Tensile stress

抗壓應力 Compressive stress

材料力學 Strength of materials

投影 Projection

丨 部

吸取抽機 Suction pump

丿 部

作用線 Line of action

八 畫

一 部

取水栓 Hydrant

取截面法 Method of section

阻力 Resistance

阻止閘 Stop valve

弦線 Strings

弦線多邊形 String polygon

直接應力 Direct stress

直角分力 Rectangular components

抽機 Pump

抵抗力 Resistance

拉力 Pull
 坡度 Slope

丨 部

固定荷重 Fixed load
 明溝 Ditch

丿 部

肢 Member
 始弦 First string

九 畫

— 部

屋架 Roof truss
 柱體 Cylinder
 封閉管 Closed pipe

丨 部

虹吸 Siphon
 英加侖 Imperial gallon
 重心 Center of gravity
 重量 Weight
 風應力 Wind stress
 風荷重 Wind load
 係數 Coefficient
 垂直分力 Vertical component

、 部

洪流 Flood Flow
 活塞 Piston
 活塞 Plunger
 活荷重 Live load
 活動荷重 Moving load
 活栓接合 Pin joint
 施力點 Point of application
 施力地方 Place of application

洩水門 Sluice gate
 美加侖 U. S. gallon

十 畫

— 部

原理 Principle
 原點 Origin
 破裂應力 Bursting stress
 破裂壓力 Bursting pressure
 降度 Fall
 桁條 Purlin

丨 部

閉合形 Closed figure
 閉合多邊形 Closed polygon

丿 部

射流 Efflux
 射線 Rays
 缺口 Notch
 矩形 Rectangle
 能 Energy

、 部

流量 Discharge
 流速計 Current meter
 流量係數 Coefficient of discharge
 流速計之檢定 Rating of current meter
 浮標 Float
 浮力影響 Buoyant effect
 海平面 Sea level
 高度 Elevation

十一 畫

— 部

桿 Rod
 桿 Bar
 梯形 Trapezoid
 桿形浮標 Rod float
 接合點 Joint
 接合點法 Method of joints
 張力 Tension
 張力肢 Tension member
 速度 Velocity
 速度頭 Velocity head
 速度係數 Coefficient of velocity
 理論速度 Theoretical velocity
 雪荷重 Snow load
 軟管 Hose
 救火射流 Fire stream
 排水溝 Drain
 救火軟管 Fire hose

| 部

荷重 Load
 荷重線 Load line
 開關閥 Gate valve
 常數 Constant

) 部

重力 Gravity
 動水力學 Hydrodynamics
 絃 Last string
 細管 Tube
 符號 Notation

、 部

混凝土 Concrete

十二畫

堰 Weir
 堰頂 Crest of weir
 堰口收束 End contraction

| 部

帽釘 Rivet
 帽釘接合 Riveted joint
 敞槽 Open channel
 閥 Valve
 量 Magnitude

) 部

幾何 Geometry
 給水 Water supply
 鈎尺 Hook gauge
 集點荷重 Apex load
 順時針向 Clockwise
 棄水堰 Waste weir

十三畫

極點 Pole
 塊石圻工 Rubble masonry

| 部

跨度 Span

) 部

節縮閥 Throttle valve

部

溢水道 Spillway
 煉泥管 Vitriified pipe

十四畫

— 部

構架 Truss
 構架分析 Analysis of trusses

緣 Rafter

截面 Section

| 部

蒸溜水 Distilled water

蒸汽鍋爐 Steam boiler

圖解法 Graphical method

水壓機 Hydraulic press

蓋片 Shingling

) 部

管 Pipe

管嘴 Nozzle

鉸鏈 Hinge

、 部

實際速度 Actual velocity

滾子 Roller

十五畫

— 部

劈 Wedge

磅 Pound

槽 Channel

標準孔 Standard orifice

彈簧秤 Spring balance

) 部

銳頂 Sharp crest

餘弦 Cosine

膠灰 Cement

、 部

摩擦頭 Friction head

摩擦力 Friction

摩擦損失 Friction loss

摩擦抵抗 Frictional resistance

潛堰 Submerged weir

十六畫

— 部

頭 Head

頭之損失 Loss of head

靜力學 Statics

靜水力學 Hydrostatics

橫截面 Cross section

橋架 Bridge truss

機車 Locomotive

磚 Brick

| 部

噸 Ton

、 部

導渠 Conduit

十七畫

— 部

壓力 Pressure

壓力 Compression

壓力頭 Pressure head

壓力肢 Compression member

壓力中心 Center of pressure

壓力抽機 Force pump

臂距 Arm

) 部

縮尺 Scale

縱向應力 Longitudinal stress

、 部

應力 Stress

應力圖 Stress diagram

應力反轉 Reversal of stress

濕周 Wetted perimeter
糙度 Coefficient of roughness

十八畫

一 部

覆板 Sheathing
轉動慣量 Moment of inertia
櫃 Tank

二十畫

丿 部

鐘口形 Bell shape

二十二畫

一 部

壩 Dam

丿 部

鑄鐵 Cast iron

、 部

彎曲 Bend

彎曲應力 Bending stress

二十三畫

丨 部

體積 Volumn

(乙) 人名及地名對照檢查表

四 畫

夫朗西斯 Francis

七 畫

克立司勒 Chrysler

八 畫

舍齊 Chezy

法國 French

芬克 Fink

九 畫

哈密爾登斯密斯 Hamilton smith

十 畫

庫利治 Coolidge

庫忒 Kutter

紐約 New York

庫契林 Kuichling

十一畫

淮斯巴克 Weisbach

十二畫

斯密斯 Smith

單位換算表(I)

英 制

1. 長 度	1 呎 (foot) = 12 吋 (inch) 1 碼 (yard) = 3 呎 (foot) 1 哩 (mile) = 5,280 呎 (foot) 1 海里 (nautical mile) = 6,080.20 呎 (foot)
2. 面 積	1 英畝 (acre) = 43,560 平方呎 (square foot) 1 平方哩 (square mile) = 640 英畝 (acre)
3 體積及容量	1 美加侖 (U. S. gallon) = 4 夸脫 (quart) = 8 品脫 (pint) 1 美加侖 (U. S. gallon) = 231 立方吋 (cubic inch) 1 英加侖 (Imperial gallon) = 1.2003 美加侖 (U.S. gallon)
4. 重 量	1 磅 (pound) = 16 盎司 (ounce) = 7,000 格蘭 (grain) 1 短噸 (short ton) = 2,000 磅 (pound) 1 長噸 (long ton) = 2,240 磅 (pound)

米 制

1. 長 度	1 米 (meter 即公尺) = 100 厘米 (centimeter) = 1,000 毫米 (millimeter) 1 千米 (kilometer 即公里) = 1,000 米 (meter)
2. 面 積	1 亞爾 (are 即公畝) = 100 平方米 (square meter) 1 平方千米 (square kilometer) = 10,000 亞爾 (are)
3. 體積及容量	1 立 (liter 即公升) = 1,000 立方厘米 (cubic centimeter) 1 立方米 (cubic meter) = 1,000 立 (liter)
4. 重 量	1 仟克 (kilogram 即公斤) = 1,000 克 (gram) 1 米制噸 (metric ton 即公噸) = 1,000 仟克 (kilogram)

中國市制

1. 長 度	1 市尺 = $\frac{1}{3}$ 米 (meter) 1 市里 = 1,500 市尺
2. 面 積	1 市畝 = 6,000 平方市尺
3. 容 量	1 市升 = 1 立 (liter) 1 市石 = 10 市斗 = 100 市升
4. 重 量	1 市斤 = $\frac{1}{2}$ 仟克 (kilogram) 1 市担 = 100 市斤

單位換算表(II)

英制與米制之互化

類 別	由英制化米制	由米制化英制
1. 長 度	1 吋 = 2.5400 厘米 1 呎 = 0.3048 米 1 哩 = 1.6094 仟米	1 厘米 = 0.3937 吋 1 米 = 3.2808 呎 1 仟米 = 0.6214 哩
2. 面 積	1 平方吋 = 6.4516 平方厘米 1 平方呎 = 0.0929 平方米 1 英畝 = 40.4690 亞爾 1 平方哩 = 2.5898 平方仟米	1 平方厘米 = 0.1550 平方吋 1 平方米 = 10.7639 平方呎 1 亞爾 = 0.0247 英畝 1 平方仟米 = 0.3861 平方哩
3. 體積及容量	1 立方吋 = 16.3871 立方厘米 1 立方呎 = 0.0283 立方米 1 美加侖 = 3.7854 立 1 英加侖 = 4.5437 立	1 立方厘米 = 0.0610 立方吋 1 立方米 = 35.3145 立方呎 1 立 = 0.2642 美加侖 1 立 = 0.2201 英加侖
4. 重 量	1 格蘭 = 0.0648 克 1 磅 = 0.4536 仟克 1 長噸 = 1.0161 米制噸 1 短噸 = 0.9072 米制噸	1 克 = 15.4322 格蘭 1 仟克 = 2.2046 磅 1 米制噸 = 0.9842 長噸 1 米制噸 = 1.1023 短噸
5. 其 他	1 磅/平方吋 = 0.0703 仟克/平方厘米 1 呎-磅 = 0.1383 千克-米	1 仟克/平方厘米 = 14.2244 磅/平方吋 1 仟克-米 = 7.2331 呎-磅

附各項常數表

$$\pi = 3.141,592,654$$

$$g = 32.2 \text{ 呎/秒/秒} = 9.81 \text{ 米/秒/秒}$$

$$1 \text{ 馬力 (Horse Power)} = 550 \text{ 呎-磅/秒} = 0.7457 \text{ 仟瓦 (Kilowatt)}$$

$$1 \text{ 仟瓦 (Kilowatt)} = 1.3405 \text{ 馬力 (Horse Power)}$$

$$1 \text{ 大氣壓力 (Atmospheric pressure)} = 14.697 \text{ 磅/平方吋}$$

$$= 1.033 \text{ 仟克/平方厘米} = 29.921 \text{ 吋水銀柱} = 760 \text{ 毫米水銀柱}$$

$$1 \text{ 弧度 (Radian)} = 57.29578 \text{ 度 (degree)} = 57^{\circ}17'44.''81$$

$$1 \text{ 度 (degree)} = 0.01745 \text{ 弧度 (Radian)}$$

$$e = 2.718,281,8$$

$$M = \log_{10} e = 0.434,294,5$$

附註：中國市制與米制之換算，可按 1 米 = 3 市尺，1 仟克 = 2 市斤及 1 立 = 1 市升之關係直接求之。若欲將中國市制與英制換算，當先化成米制，再間接求之。

中國科學社工程叢書

實用土木工程學

第一冊

靜力學及水力學

中華民國廿九年一月初版

中華民國三十六年一月六版

版權所有 翻印必究

原著者

Edward R. Maurer, &
Frederick E. Turneaure

譯述者

沈寶璋 顧世楫

主編者

汪胡楨 顧世楫

發行者

楊 孝 述

發行所

中國科學圖書儀器公司
上海中正中路六四九號

分公司

中國科學圖書儀器公司
南京 廣州 重慶 北平 漢口

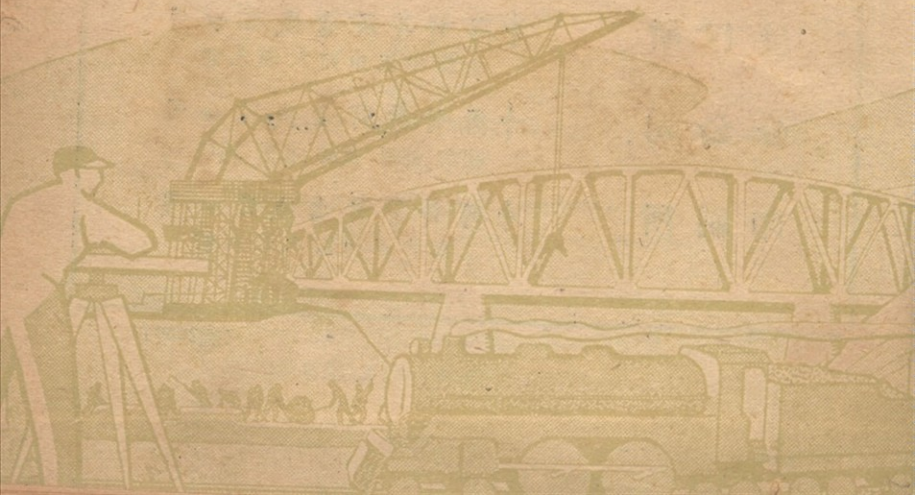
印刷所

中國科學圖書儀器公司
上海中正中路六四九號

期 限 卡

Date Due

國立政治大學圖書館



著者 汪 胡 楨 書碼 641·08
Author 汪 胡 楨 Call No. 131
書名 (實用) 木工程學
Title (實用) 木工程學

登錄號碼
Accession No. 215180

月日	借閱者	月日	借閱者
Date	Borrower's Name	Date	Borrower's Name
	檔		

國立政治大學圖書館

書碼 641·08 登錄號碼 215180
131
1:1

