

年

卷

期

13

6

第

第

工程

第十三卷第六號 民國二十九年十二月一日

目錄提要

中國工業化之幾個基本問題

雙缸機車衡重之研究

航空測量實體製圖儀有系統誤差之影響於天空三角鎖

沿翼展環流分佈計算之另一方法

鋼筋混凝土預力樑之研究與設計

長方形截面鋼筋混凝土預力樑

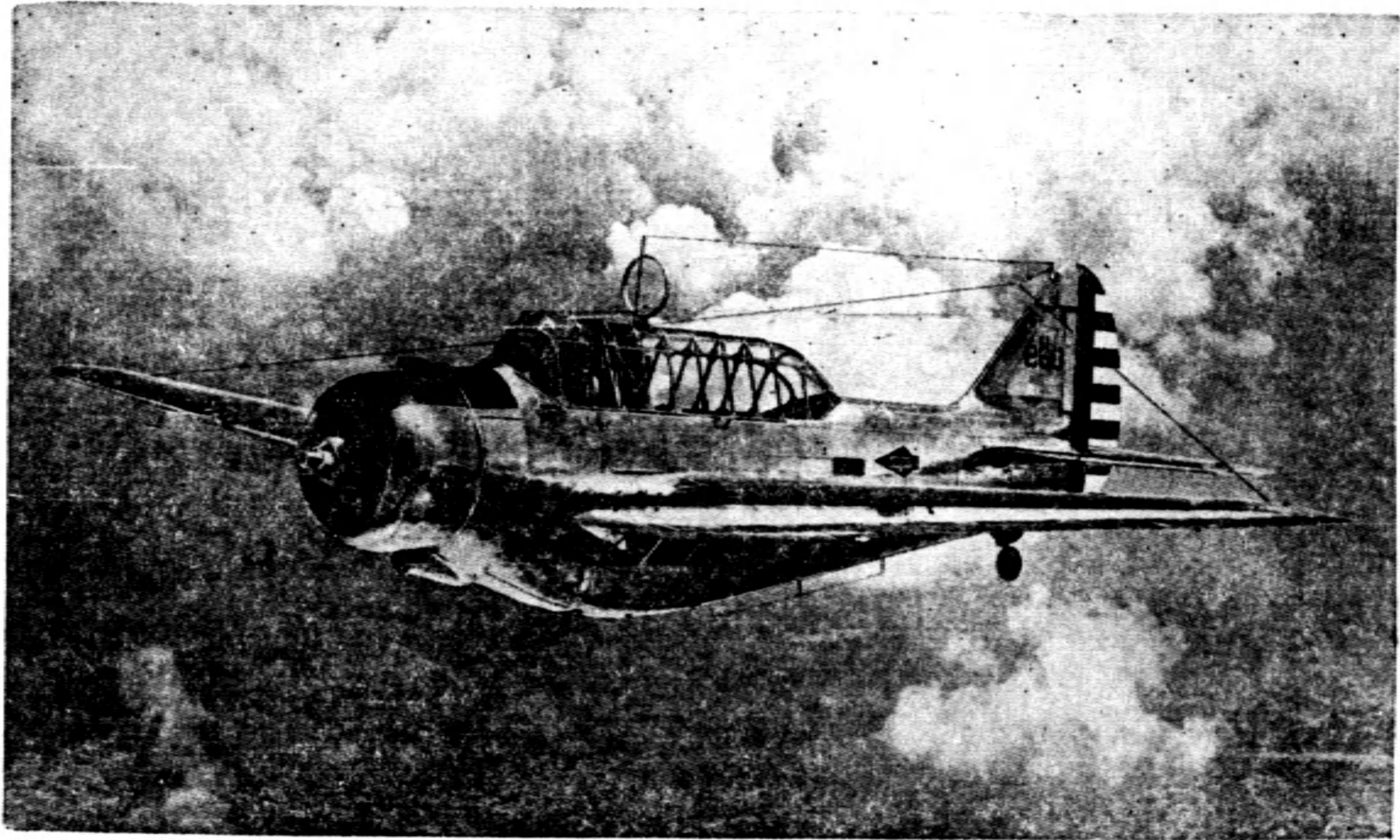
抗戰期內如何製造硝酸

亞爾西愛一瓦勵振機改用電子管之報告

開關設備標準電壓及標準載量之建議

中國工程師學會發行
商務印書館香港分館總經售

RCA 真空管供應全球通訊



安全雖為商業與軍事飛航最重
要之問題尤推無線電儀器為主
幹真空管是其靈魂 RCA 真空
管為最優良者 RCA 廠所出之
真空管為無線電界服務已超過
三萬萬有奇下列各項無線電用
品優點特著

- ▲環球通訊網
 - ▲軍警電機
 - ▲廣播電台
 - ▲電遞字機
 - ▲收音機器
 - ▲電影傳真
 - ▲航海電訊
 - ▲業餘電訊
 - ▲航空電訊
 - ▲有聲電影機
- 亞爾西愛勝利公司遠東分行
香港華人行九樓

RCA MANUFACTURING CO., INC.
FAR EAST BRANCH
China Building
Hong Kong

RCA Radiotrons
RCA Manufacturing Company, Inc. Camden, New Jersey U.S.A.
A Service of the Radio Corporation of America



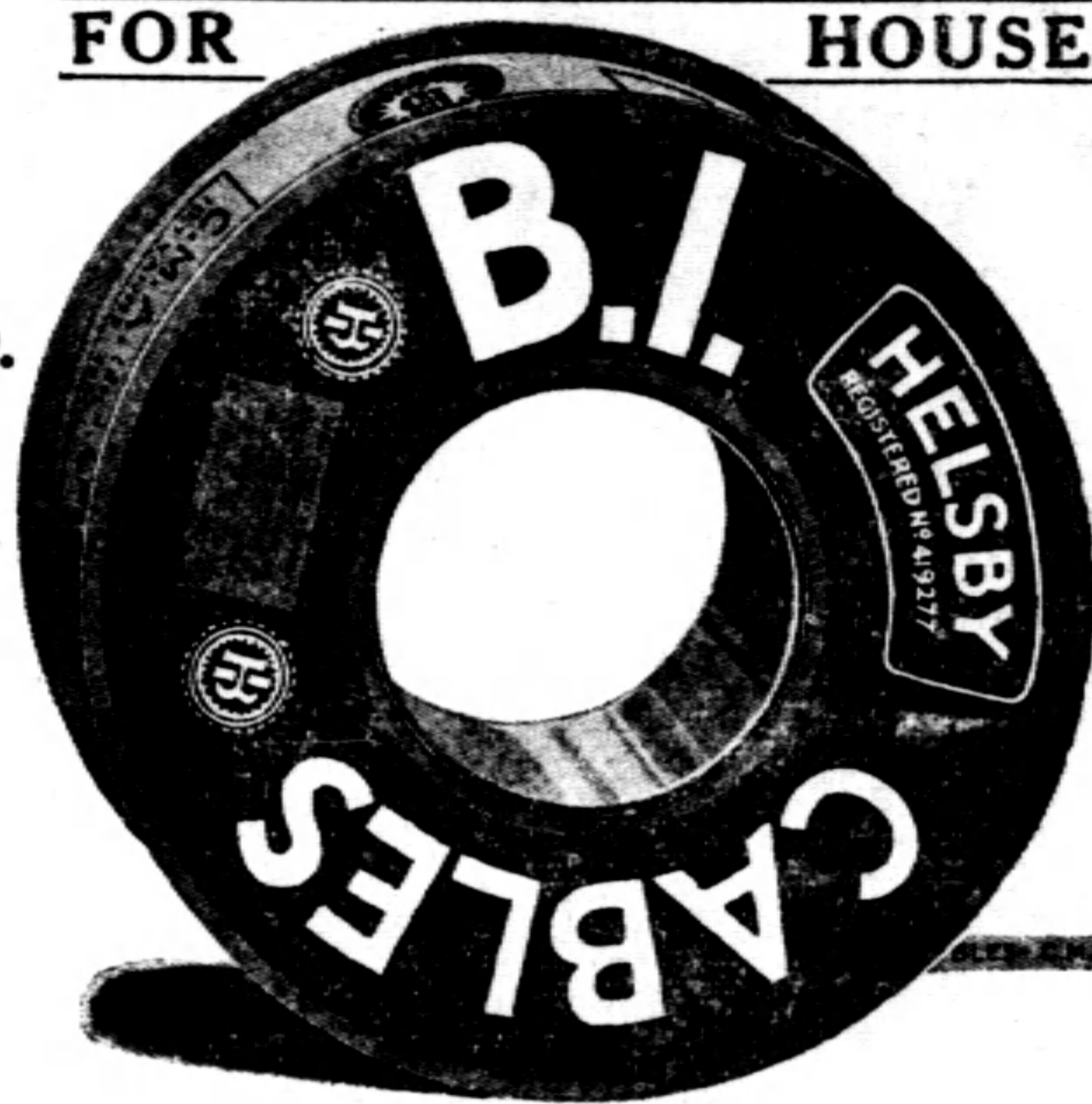
B.I.

FOR POWER DISTRIBUTION

FOR OVERHEAD TRANSMISSION

FOR HOUSE WIRING

**BRITISH
INSULATED
CABLES LTD.**



List of B. I. Products

B. I. 出品一覽

Commutator Bars	換向條
Double & Single Braided & Bare Aerial Cables	風雨綫及光銅綫
Dynamo Wires, Enamelled Cotton Covered, etc.	各類漆包紗包及絲包銅綫
Flexible Wire	軟花綫
Fuse Wire	保險絲
House Service Meters	電度表
Insulating Materials of All Kinds	絕緣材料
Insulators	絕緣器
Lead Covered Wire	鉛包綫
Paper Insulated Power Cables	電力輸電纜
Radio Condensers	無線電用儲電器
Switch & Fuse Boxes	鐵盒開關及保險盒
Telephone Cables	電話輸電纜
Tough Rubber Sheathed Wire	硬膠皮綫
Vulcanised India Rubber Wire	普通膠皮綫
Welding Machines & Equipment	電焊機及電焊用具

SOLE AGENTS

SOUTH CHINA & HONGKONG
ARNHOLD & COMPANY LTD.
HONGKONG & KUNMING

獨家經理 安利洋行

香港皇后大道中九號
電話三二二四七

THE *New* **Firestone**
HIGH SPEED TYRE
FOR TRUCKS and BUSES

招請各處分代理

- ★ GREATER NON-SKID MILEAGE
- ★ GREATER BLOWOUT PROTECTION
- ★ BUILT FOR PEAK LOADS
- ★ RUNS UP TO 28° COOLER
- ★ GUARDS AGAINST PUNCTURES
- ★ GREATER TRACTION

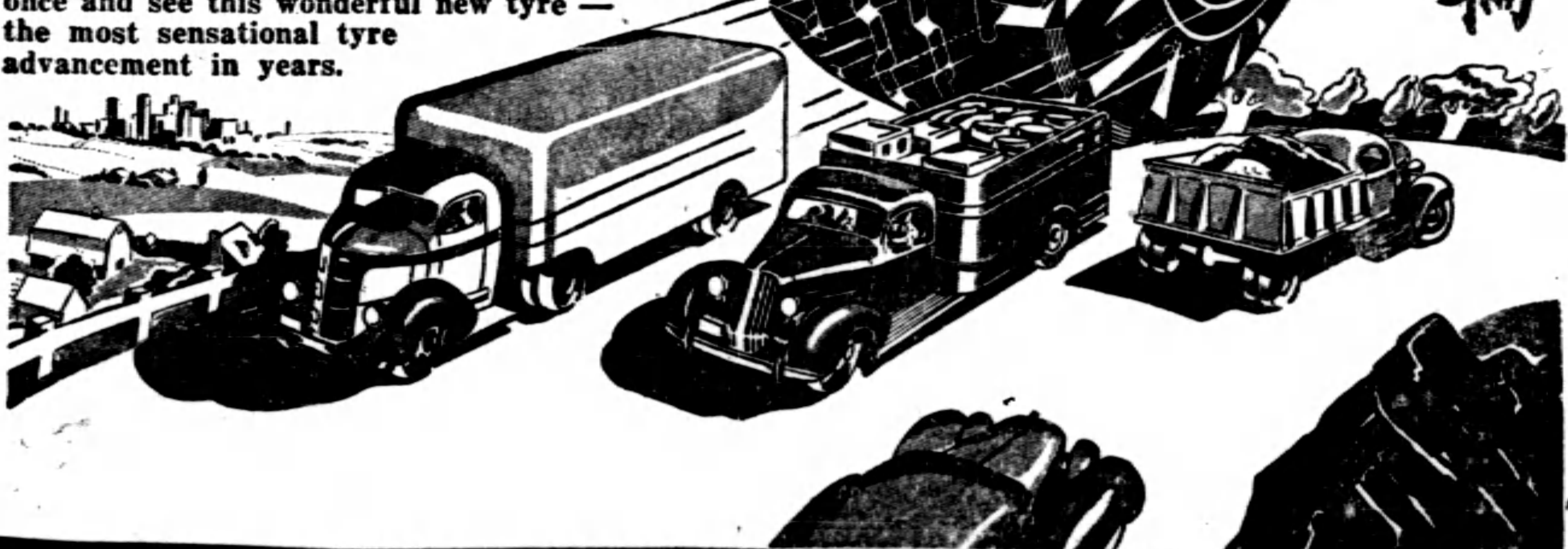
Here's the biggest truck tyre news in years — a new Firestone High Speed Truck and Bus Tyre that far surpasses any truck tyre ever built.

A flatter, tougher, deeper tread gives greater traction and non-skid safety. Improved load distribution reduces tread wear. Reinforced shoulders, increased strength of the cord body and all-around rugged construction give greater load capacity. The stronger Gum-Dipped cord body and tougher, thicker tread give greater strength. Special all-cord sidewall construction and double bead construction with cord "wrap-around" prevent bead and sidewall failure.

Don't wait another day. Come in at once and see this wonderful new tyre — the most sensational tyre advancement in years.

香港
 廣亞行
 總經理

美國
 發施登廠
 (火石牌)
 膠輪



GREAT ASIA CO.,

Room No. 401, 4th floor, Bank of East Asia Building,
 Des Voeux Road Central,
 Hong Kong, Tel. 22790

▲總經理▼
廣亞行
 香港德輔道中東亞銀行五樓四〇一號
 電話式二七九〇

MARCONI

The first and foremost name in radio engineering

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

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

***Manufacturing & Service Facilities
at Hong Kong & Shanghai***

Affiliations in all Parts of the World

馬 可 尼 (中 國) 有 限 公 司

MARCONI (CHINA) LIMITED

(INCORPORATED UNDER THE COMPANIES ORDINANCE OF HONG KONG)

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

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

中國工程師學會香港分會

社會服務部

◇集合各部門技術人才

◇為國貨製造廠家服務

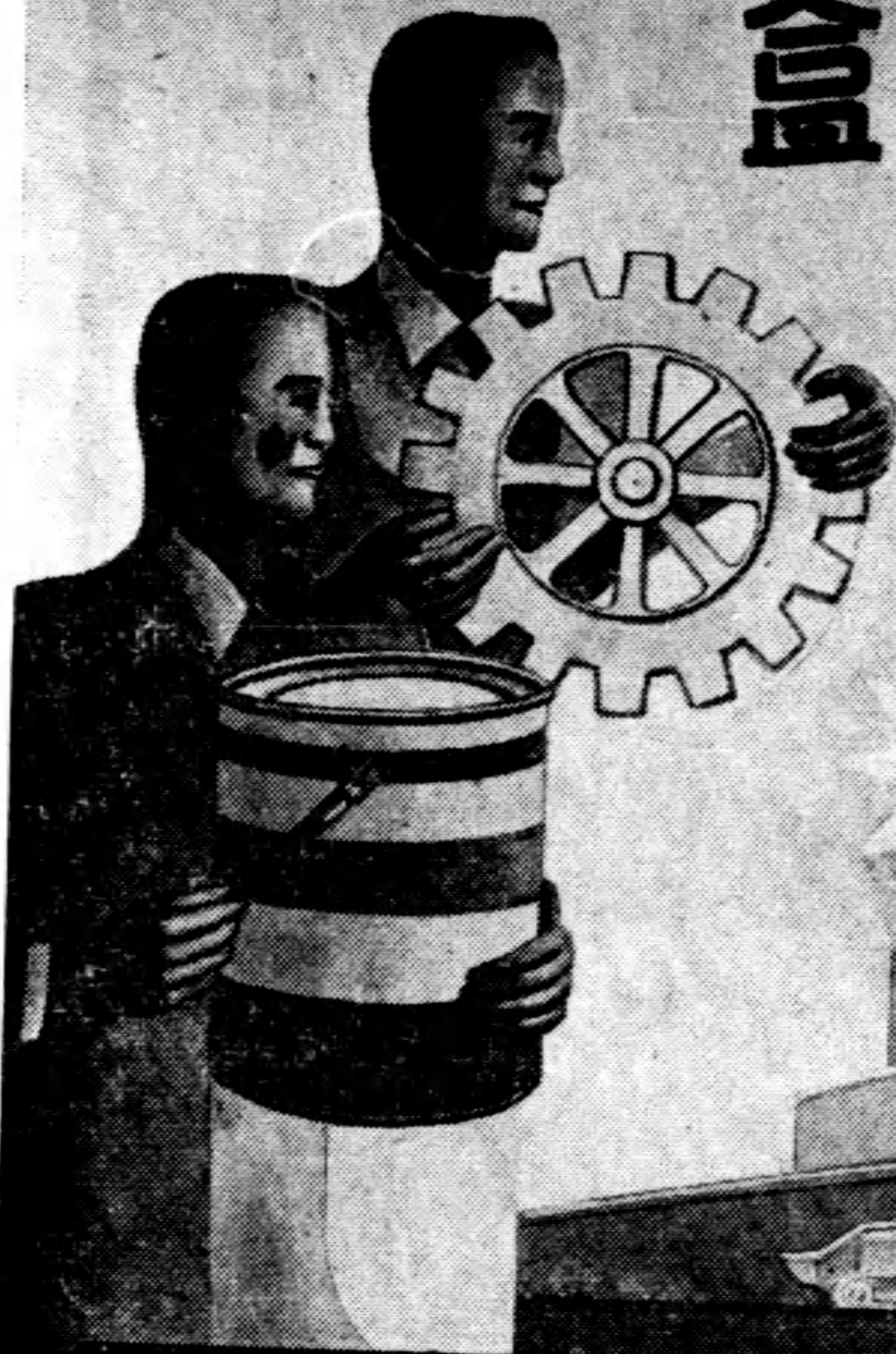
業務項目

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

地址 香港雪廠街十號五十四號房

電話 三二五八一號

活動玩具·花鐵罐盒



康元製罐廠



本公司專工於科學化潤滑油

美孚行於環球上能始終
 軟潤滑油牛耳者。以其
 其品質優美。能適合於
 每項工作所致。
 對於本公司所服務下之
 千萬工業機關。賴科學
 化之潤滑。解決一切難
 題。增進工作效率。經
 濟。實為本公司之責任
 而效率與經濟之程度
 賴滑機油及施用滑機
 油方法而定。
 美孚行機器工程師。曾
 受工業機器潤滑訓練。
 富有經濟。但仍不斷努
 力研究各式不同之機器
 務求創立更美妙之方法
 以適應需要特殊潤滑
 之機器。
 紅商標乃七十四年專
 門研究潤滑油經驗之象
 徵。

美孚行

NOW GREATER SAFETY — FAR LONGER MILEAGE

FOR TRUCKS AND BUSES



IMPROVED 5 WAYS NO EXTRA COST!

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

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

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

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

CALL US

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

GOOD YEAR GIANTS

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

SHANGHAI OFFICE
51 Canton Road

HONGKONG OFFICE
36 French Bank Building

中國工程師學會會刊

工程

總編輯 沈怡

副總編輯 張延祥

第十三卷第六號目錄

(民國二十九年十二月一日出版)

論	著：沈怡	中國工業化之幾個基本問題.....	1
論	文：陳廣沅	雙缸機車衝重之研究.....	5
	王之卓	航空測量實體製圖儀有系統誤差之影響於天空三角鎖.....	51
	呂鳳章	沿翼展環流分佈計算之另一方法.....	63
	王敬立	鋼筋混凝土預力樑之研究與設計.....	71
	王敬立	長方形截面鋼筋混凝土預力樑.....	77
	顧敬心	抗戰期內如何製造硝酸.....	81
	應家豪	亞爾西愛一瓦勵振機改用電子管之報告.....	83
	單宗肅	鈹鎢絲電子放射之檢討.....	89
	卞學曾	銅線表皮缺陷之原因.....	91
	林津	開關設備標準電壓及標準載量之建議.....	93
附	錄：中國工程師學會章程.....		88
	中國工程師學會新職員名單.....		目錄後
	第八屆年會得獎論文揭曉.....		90

中國工程師學會發行

商務印書館香港分館總經售

中國工程師學會新職員名單

會長：凌鴻助（竹銘） 副會長：惲震（蔭棠）
 董事：吳承洛（潤東） 薩福均（少銘） 侯家源（蘇民）
 趙祖康 裘維裕（次豐） 周象賢（企虞）
 杜鎮遠（建助） 鮑國寶 支秉淵
 胡博淵 侯德榜（致本） 顧毓琮（一泉）
 黃伯樵 梅貽琦（月涵） 胡庶華（春藻）
 陳體誠（子博） 任鴻雋（叔永） 許應期
 茅以昇（唐臣） 吳蘊初 陳立夫
 顧毓琇（一樵） 曾養甫 韋以猷（作民）
 徐佩璜（君陶） 王寵佑（佐臣） 顏德慶（季餘）
 基金監：徐名材（伯雋） 孫越崎
 執行部：總幹事 顧毓琮（一泉） 副總幹事 張延祥
 總編輯 沈怡（君怡） 副總編輯 沈嗣芳（馥庵）

中國工程師學會各地分會現任職員名單

<p>重慶分會 會長：徐恩曾（可均） 副會長：徐名材（伯雋） 書記：歐陽崙（峻峯） 會計：楊簡初</p> <p>成都分會 會長：凌鴻助（竹銘） 副會長：盛紹章（允丞） 書記：劉澄厚（幼波） 會計：洪孟孚</p> <p>桂林分會 會長：李運華 副會長：馮家錚（鐵聲） 書記：汪德官 會計：譚頌獻</p> <p>昆明分會 會長：惲震（蔭棠） 副會長：金龍章 書記：莊前鼎 會計：周玉坤（晴嵐）</p> <p>香港分會 會長：黃伯樵 副會長：利銘澤 書記：張延祥 會計：李果能</p> <p>西昌分會 會長：胡博淵 副會長：雷寶華（孝實） 書記：李崇典（光崙） 會計：劉鏡如</p>	<p>瀘州分會 會長：吳欽烈（景鏐） 副會長：黃朝輝 書記：方志遠（仁煦） 會計：顧敬心</p> <p>蘭州分會 會長：宋希尙（達庵） 副會長：鈕澤全（步雲） 書記：張志禮（亦民） 會計：李玉書</p> <p>平越分會 會長：茅以昇（唐臣） 副會長：顧宜孫（晴洲） 書記：黃壽恆（鏡堂） 會計：伍鏡湖（澄波）</p> <p>貴陽分會 會長：薛次莘（惺仲） 副會長：姚世濂（企周） 書記：黃文治 會計：張丹如（銀生）</p> <p>嘉定分會 會長：邵逸周 副會長：傅爾放（冰芝） 書記：楊先乾（君實） 會計：繆恩釗</p>
--	---

商務印書館出版

特價新書 民國29年11月至發售 民國30年1月

一律照定價加五成後八折發售

右列特價業已折實

				(特價·元)	(截止期)
景明刻本紀錄彙編	明沈節甫輯 陳于廷刊	76册		96.00	30年 4月21日
鄭堂讀書記附補逸(國學基本叢書)	清周中孚撰	6册		6.00	3月31日
論道	金岳霖著	1册		3.60	5月11日
普通心理學	Rexroad著 宋桂煌譯	1册		3.60	4月7日
社會科學史綱	Barnes主編 王造時等譯	合訂2册		6.60	3月9日
另訂十個分册零售 同時發售特價					
近代歐洲政治社會史下卷(國立編譯館出版)	Hayes著 曹紹濂譯	1册		9.60	5月4日
瑞典之中道(中山文庫)	Childs著 王清彬譯	1册		1.92	3月31日
國際貿易原理	張毓珊著	1册		2.40	3月2日
未來的海戰	Edwards著 余敬豪等譯	1册		2.16	4月21日
天地會研究	Schlegel著 薛澄清譯	1册		2.88	3月16日
活葉工藝新教材 第二,三集	朱允松 潘公望主編	2册	各	1.92	3月23日
龍州土語(國立中央研究院歷史語言研究所單刊)	李方桂著	1册		6.00	4月14日
現代科學分析(中山文庫)	Bavink著 陳範子譯	2册		6.60	3月16日
數論(國立編譯館出版)	樊燦等編	1册		3.60	5月18日
微積分學(大學叢書)	孫光遠等著	1册		3.60	5月11日
函數論(大學叢書)	胡濬濟譯	2册		4.80	4月7日
動物學精義(大學叢書)	惠利惠著 杜亞泉等譯	6册		12.00	4月30日
植物圖解	Lloyd著 黃紹緒譯	1册		2.16	5月18日
農藝植物考源(漢譯世界名著)	俞德浚等編譯	1册		1.63	5月25日
江河之水文(中山文庫)	Pardé著 吳尙時譯	1册		2.40	3月23日
景明刻本濟生拔粹	元杜思敬輯	10册		16.80	2月26日
飼料與飼養	Henry著 陳宰均譯	3册		12.00	4月14日
都市計劃學(大學叢書)	陳訓烜著	1册		3.00	4月21日
釀造學總論(大學叢書)	陳駒聲著	2册		7.20	5月4日
蛻變(大時代文藝叢書)(劇本)	曹禺著	1册		1.20	3月2日
歷史綜合方法(英文本)	Gapanovich著	1册		4.80	3月2日

團體：

新興圖書館購備有組織的基本圖書；
設備相當充實的圖書館加備重要圖書的副本；
學校為師生雙方購備必要的參考書；
公團機關為會員職員購備參考瀏覽圖書；

均不可不備

萬有文庫簡編

個人：

為自身儲積業餘讀物，以供學養上及事業上之參考；
為子弟供給課外讀物；
為養成家人之讀書習慣代替無益之消遣；
為捐贈社會團體或儲備親友借讀之用；

均不可不備
萬有

編簡庫文有

本書特色一斑

體系完整 就萬有文庫第一二集一千七百種之中，選取最要之書五百種，重為有系統的編制，科目齊備，支配均衡。

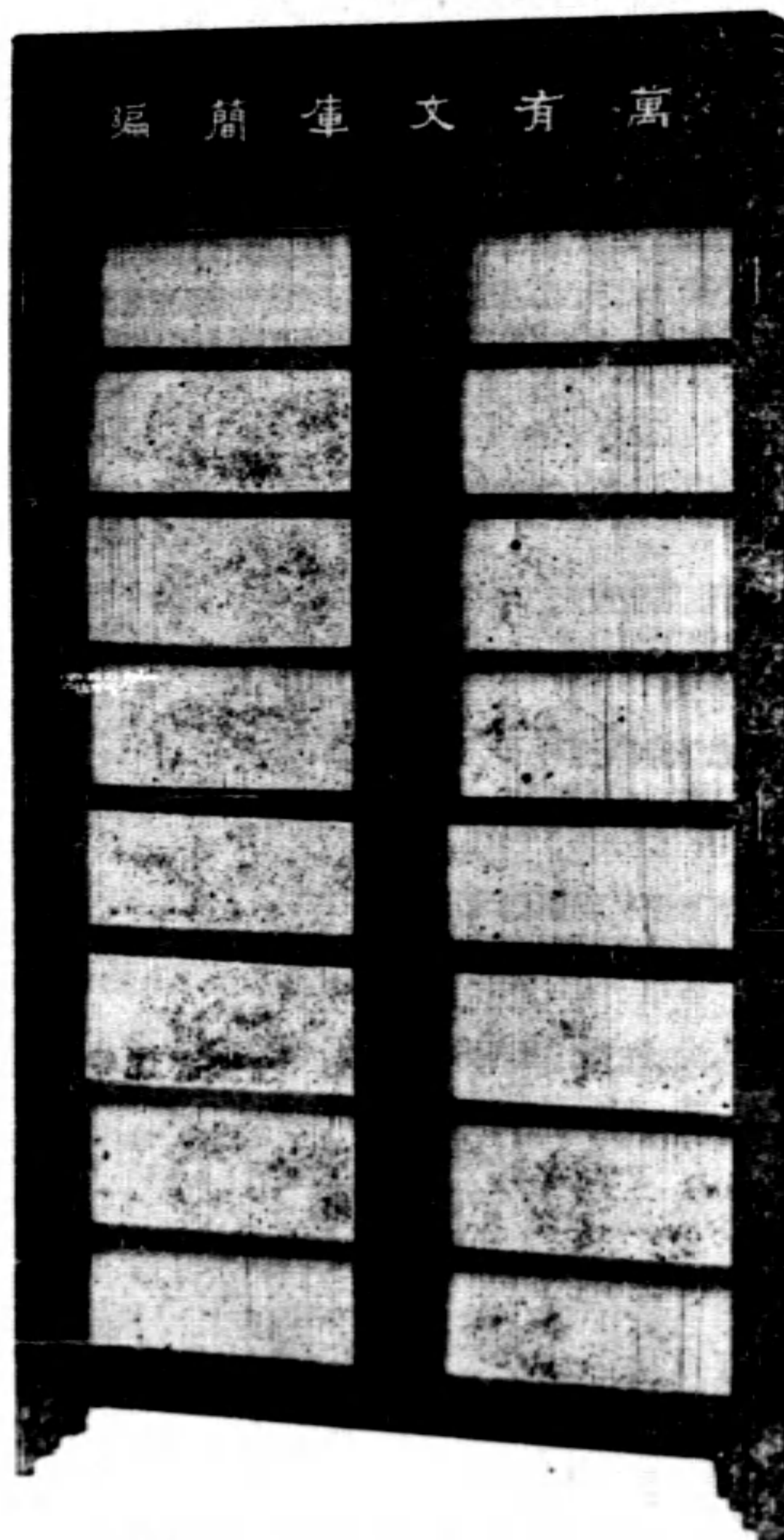
內容實用 所選均為古今中外學術上權威之作，名家代表之作，各科智識門徑之書。深淺有序，雅俗共賞，初中以上程度即可閱讀。

管理便利 全編分訂一千二百冊，版式大小一致，合裝一櫥，寬度不過三四尺，佔地有限，隨處可置。每書脊封上印有分類號碼，另附目錄卡片，便於管理。

售價低廉 本書採用最經濟之印刷方法，使售價儘量減低。倘依照本編包含各書，零置購集，所費什倍於此，亦不能辦。

目錄備索

商務印書館編印



書櫥高70吋，寬40吋，櫥價另計。

中國工業化之幾個基本問題

沈 怡

一年以來，屢與中國工程師學會及中國經濟建設協會諸同志，交換關於中國應如何促進工業化亦即經濟建設一類問題之意見，雖未臻成熟之境，何敢自秘。爰乘中國工程師學會於本月十二日至十六日在成都舉行第九屆年會之際，草爲此文，以就正於當世賢達及年會諸君子。至其內容係綜合各方面之意見，並非一人之言，首揭於此，以示不敢掠美。以下就中國工業化之基本問題，如（一）目標、（二）程序、（三）方式、（四）資本、（五）人才、（六）組織等項，分別言之。

（一）我國經此次抗戰教訓以後，人人均了然於今後之經濟建設，必須以國防爲中心；但此並非謂可置改善民生於不顧，蓋一國之人力財力，若因維持一般國民最低限度的生活水準之需要，分配一部分於供給此項需要之生產事業，不特無虞削弱一國之國防力量，甚且可以使之增強，因國防最後之防線，仍不外乎民力也。換言之，在國民生活未達到最低限度的水準以前，除竭力注重國防外，不應忽視與廣義的國防有關之民生事業。迨國民生活已達到最低限度的水準以後，即須以全力注重國防，因處此弱肉強食之世界，我國非急起直追，建設堅強國防，無以自立。一俟國防需要相當滿足以後，方可將國民最低限度的生活水準漸漸提高。以上爲我國今後工業化亦即經濟建設之目標。

（二）經濟建設應以國防爲中心，已如上述。注重國防建設，必須積極建設重工業。此次抗戰即使一旦結束，日人圖我之心，豈能因是稍戢，故今後之二十年至三十年，實爲我國家民族生死存亡之重要關頭。凡我全

國上下必須把握此一縱即逝之時機，急起直追，將最大部分之人力及財力，集中於重工業之發展上，以期早日奠定工業基礎。重工業乃一切製造工業之母，爲加強國防力量固應如此，爲推進工業化，改善人民生活，根本辦法亦惟有如此。爲達到此目的，亟須完成幾種基本條件，使國防工業及民生工業皆可賴以發展。此項基本條件，厥爲交通及動力之開發，而論其程序，應以交通爲先，動力次之；但所謂交通，自以儘先建築與國防及工業運輸有關之鐵路爲前提。至於戰事結束以後，復員之士兵以及失業之民衆將如何安插；實爲他日最迫切問題之一。安插之途徑不嫌其多，而舉辦大規模具有建設性之公共工程，自可容納其一大部分。如美國新政之大興公共工程，及德國以廣築公路等工事，爲解決人民失業之辦法，大可採取。若論大規模之公共工程，足以安插大部分復員之士兵，又足以應復興國力之急迫需要，同時其事業之性質，非由國家主持不可者，除前述交通以外，當無過於水利。欲求建國之必成，自以促進國家工業化爲前提，惟培養國力，增加生產，必對外換取建設工業必需之資金與工具，則有賴於農村經濟之恢復及農產品之增加。我國人民百分之八十以上均爲農民，抗戰以來，出力最多者爲農民，痛苦最甚者亦爲農民，戰後撫輯流亡，與民休息，興辦水利，最於人民切身有益。再者水利建設，除水力發電外，無論祛除水患，或灌溉排水，或整治航道等，大部分均爲土方工程，所需外匯殆等於零。故在表面觀之，耗費甚鉅，但其金錢，皆在國內流通，且其流通之結果，足使國民經濟愈見敏

活，國家財富愈見增加。

(三)我國經濟政策理論的基礎，爲三民主義中之民生主義，而民生主義之主要內容，即在有計劃的及有步驟的發展國家資本與節制私人資本，以預防「私人之壟斷，漸變成資本之專制」。過去我國工業之發展，除若干輕工業稍具規模外，幾無新工業之可言。今後惟有將一切經濟力量集中於國家，由國家依照遠大之目標，整個之計劃及堅定之政策，加速建設，限期完成，蓋如此重大艱鉅之任務，除國家自身外，決非任何人所能擔責。故關係國家命脈之鎖鑰事業，如重要鑛業，重工業，基本化學工業，動力工業，重要交通及運輸業與重要金融；國防直接需要之主要製造事業，如兵工業，飛機製造業等；及其他宜由政府統籌或統制之重要事業，如對外主要進出口貿易，概應國營，其餘民營。鑒於我國目前民間資本及民營企業之微弱可憐，更宜寓節制與統制於輔導與維護之中，使人民感於政府獎助之便利，不覺限制之痛苦，而國家仍收計劃與統制之實效。

(四)戰後百端待舉，在在均需鉅量資本，除積極擴充並培養國家資本外，對於民間資本，亦應爲有計劃的運用。華僑資本爲私人資本中最可重視之一種，於經濟方法以外，尤應用政治方法，多多獎勵其向祖國投資。我國生產能力，極端薄弱，倘資本之積儲，均須依賴國內，恐非時間所能容許，故利用外資，當爲今後經濟建設籌集資本之主要途徑。往日我國限制外資，無非懲於以往政治性質借款之失，亦以外人治外法權存在，不易就範，其尤甚者，則喧賓奪主，以此爲經濟侵略之具。此後假定國家主權完整，政治確有辦法，則取開放政策，固亦未嘗不可。現在世界各國經濟莫不漸趨統制化，事業利益相當限制，我國如取比較寬緩政策，在不損國家主權之前提下，容納外國私人資本來華生息，似爲最有利之辦法。

(五)訓練大量之中級技術幹部，既以應經濟建設之需要，又可導青年於實際報國之路，此一問題，在今日實屬十分重要。中級技術幹部之培養，自惟有於國內各大學專科學校及職業學校中求之。我國以往各大學及專科學校之分布，除因地域及歷史關係外，甚少其他之合理根據。抗戰以來，紛遷內地，雖均維持開學，但大都隨遇而安，未暇爲久遠之計。將來戰事結束，正宜乘此時機，通盤籌劃，分配設立於各項建設事業已臻發展，或行將發展之區域，並規定學校科目，即以所在地之經濟建設事業爲其主要對象，務使教育與建設需要取得密切聯繫。管理與技術，爲辦理企業之兩大要素，若祇重技術而忽視管理，則技術縱極優良，企業仍難免失敗。普通觀念，以爲技術非專家不可，而管理則盡人皆能，不知合理之管理，亦有其專門之知識，而事業之成功與失敗，管理與技術同爲決定之重要因素，故於技術人才之外，同時須爲管理人才之培養。建設初期，則不妨利用外國技術人才。

(六)抗戰以前，我國所有若干經濟建設，均不免枝枝節節，未能盡配合適應相互爲用之能事，其最大原因，端在中央缺少一與技術有關之綜合機構。按目前中央政府內與經濟建設有關之機構，約言之，共有軍政、經濟、交通、農林、財政、教育、及內政等七部。直轄此七部之行政院，其性質僅爲行政上之考核與督察。此外雖有行政院會議，但此爲決定大政方針所在，與技術並無關係，因此各部彼此之間，每缺少技術上之聯繫。欲求今後之經濟建設作合理的有計劃的發展，中央政府內必須設立主持全國經濟建設之最高設計機構，其任務爲將國家政策及中央意旨演繹爲計劃大綱，以供中央及地方各執行機關編擬實施計劃時之根據，而各執行機關根據計劃大綱編擬之實施計劃，又須送交最高設計機構綜合審查，以期融會貫通。民營部分規模較大需要統籌之事業亦

然。最高設計機構對於政府機關或人民送請審核之計劃，如發現與國家政策相抵觸，或與其他計劃相衝突時，得不予批准或加以必要之修正。審核計劃之最高設計機構，並應同時注意調查考察所有核准計劃實施之成績，故其地位應超然於執行機關而獨立。今

者政府已有中央設計局之設立，必須具備上述之性質與權力，然後經濟建設方可順利推行，而國家工業化方有圓滿實現之望也。

(轉載大公報星期論文，二十九年十二月十五日。)

工 程

第十三卷第五號目錄

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

中國工程師學會出版

商務印書館香港分館總經售

零售每冊港幣四角 郵費國內

每冊港幣六分 國外一角五分

預定全年六冊港幣二元四角

郵費國內港幣三角六分 國外九角

工 程

第十三卷第四號目錄

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

中國工程師學會出版

商務印書館香港分館總經售

零售每冊港幣四角 郵費國內

每冊港幣六分 國外一角五分

預定全年六冊港幣二元四角

郵費國內港幣三角六分 國外九角

工程

第十二卷 第五期 要目

- 吳承洛：工程師動員與本刊之使命
蕭之謙：賈魁士：中國烟煤之煉焦試驗
羅 冕：四川土法煉焦改良之研究
朱玉崙：四川冶金焦炭供給問題之檢討
周志宏：抗戰期間救濟鐵荒之商榷
周志宏：毛鐵之檢驗
胡博淵：抗戰時期小規模製煉生鐵問題
余名鈺：四川煉鐵問題之檢討
林繼庸：廠鑛內遷之經過

定價每冊國幣六角 郵費每冊六分

重慶上南區馬路194號之4
中國工程師學會發行

工程

第十三卷 第一期 要目

- 謝家蘭：川產銑鐵之檢討
孫越崎：四川之煤礦業
朱玉崙：四川煤焦供給問題
曾世英：我國測繪事業的檢討
黨 剛：視察銅梁土法煉鐵事業報告
工程文摘：
黃汲清：西南煤田之分佈
劉基磐：湖南煤礦之分佈及其儲量
霍世誠：甘青之煤
黨 剛：嘉陵江下游之煤礦
李春昱：嘉陵江沱江下游煤間煤田
李 陶：萬縣巫山間長江北岸之煤

定價每冊國幣六角 郵費每冊六分

重慶上南區路馬194號之4
中國工程師學會發行

工程

第十二卷 第六期 要目

- 陳 誠：工程與軍事
陳立夫：工程師與抗戰建國
胡博淵：開發我國後方各省金礦之建議
李鳴鈺：西南各省之採金事業
葉秀峯：西康之金
李丙壑：金礦開採及其選冶之研究
高行健：金典雜釋
工程文摘：
常慶隆，李建青：四川鹽源縣金礦概況
袁見齊：西康歸來話砂金
顧執中，陸 詒：黃金世界的青海
顧執中，陸 詒：青海之八寶山
霍世誠：甘青之金
白士倜：陝西安康區之砂金
張人鑑：河南浙川縣之金礦

定價每冊國幣六角 郵費每冊六分

重慶上南區馬路194號之4
中國工程師學會發行

工程

第十三卷 第二，三期合刊本 要目

- 胡叔潛，蔡家鯉：抗戰期中發展四川小電
廠芻議
朱志蘇：「整個構造」鐵橋之設計及其用途
陳本端：改革我國公路路面建築法之建議
沈宜甲：德國最新式無舵淺水急流狹道船
原理及圖說

工程文摘

- 中央水工試驗所：三河活動壩
•林文英：中國公路地質概述
袁漢元：施熱築路法
何文聲：瀘水路堤
呂鳳章：螺旋漿之選擇

定價每冊國幣六角 郵費每冊六分

重慶上南區馬路194號之4
中國工程師學會發行

雙缸機車衡重之研究

(Counter Balance of Two Cylinder Locomotives)

第八屆年會論文首獎

陳 廣 沅

一 緒言

機車立軌道上，以軌道中心線為 Y 軸，以軌道平面上軌道中心線之垂直線為 X 軸，以經過機車重心及 XY 兩軸交點，而垂直於 $X-Y$ 平面之直線為 Z 軸，則當機車行動時，有以下各種不必要之搖撼或震動：——

1. 機車重心依一定週期有或正或負之動作：

(1) 依 Y 軸或進或止之動作，是為伸縮動作(Recoiling)。

(2) 依 Z 軸或上或下之動作，是為浮沉動作(Galloping)。

2. 機車依一定週期對三軸有轉向之動作：

(3) 對 X 軸或上或下之轉動，是為點頭動作(Pitching)。

(4) 上部對 Y 軸或左或右之轉動，是為滾轉動作(Rolling)；

全體對 Y 軸或左或右之震動是為拐跛動作(Rocking)。

(5) 對 Z 軸或左或右之轉動，是為搖頭動作(Nosing, or hunting)。

其中(2)浮沉動作及(4)滾轉動作全係彈簧顫動所發生，而(1)伸縮動作(3)點頭動作(4)拐跛動作(5)搖頭動作發生之原因在兩汽缸機車，不外：——

1. 兩邊曲拐銷相差 90° ，

2. 汽缸中作用於汽餅上之有效汽壓瞬息不同，

3. 往復部分惰力之作用，

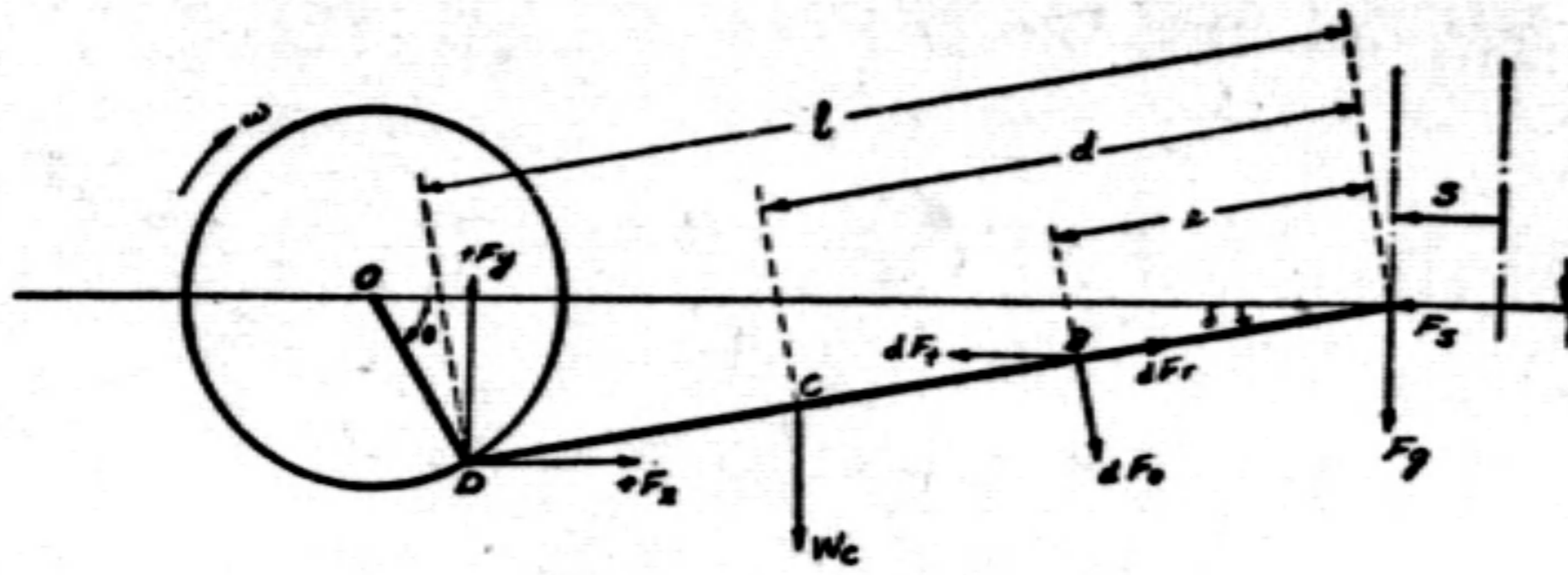
4. 搖桿惰力之作用，

5. 多餘衡重離心力之作用。

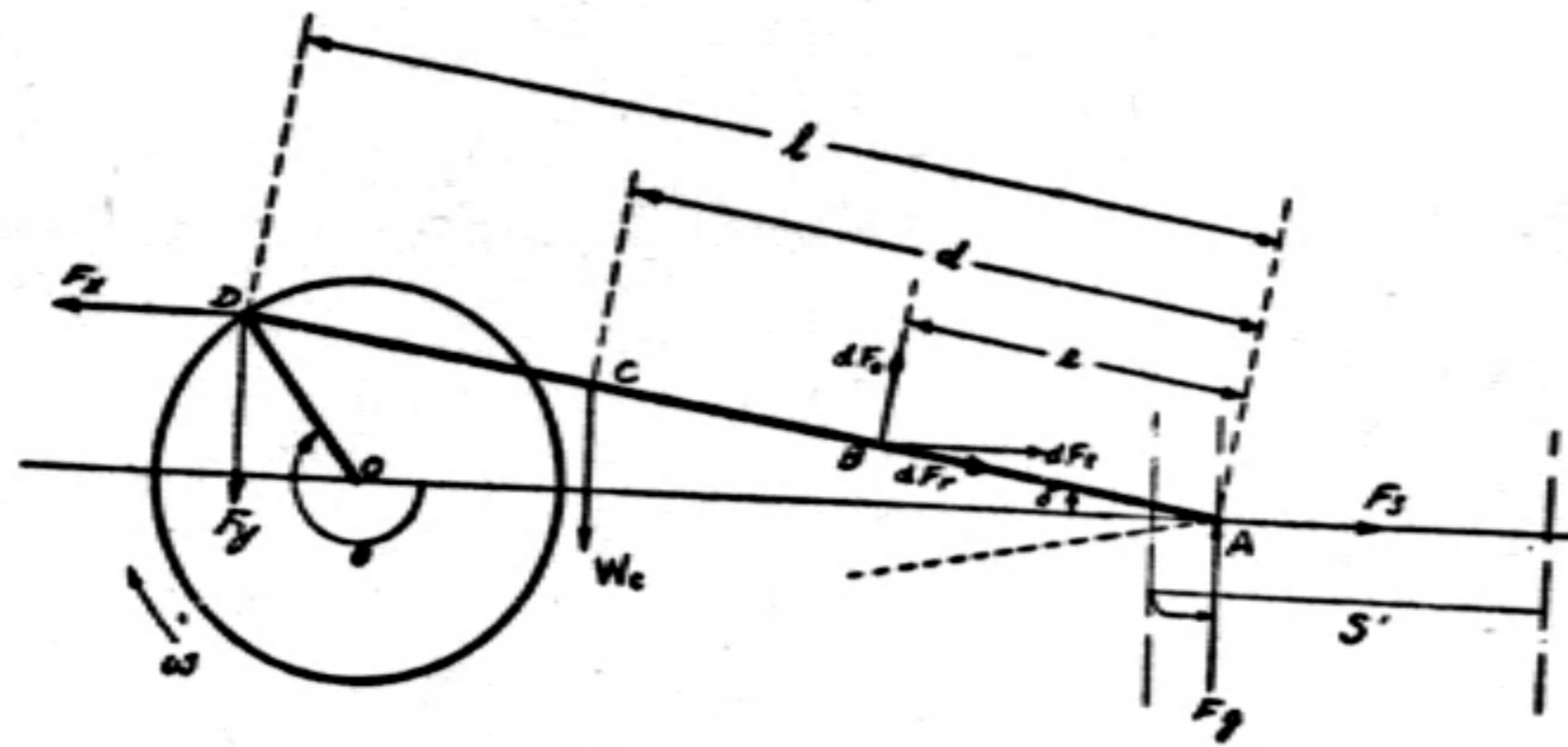
此種不必要之動作，不但消耗機車引力，即對於行車安全亦有影響。故機車製造者及應用者無不思設法減少此種不必要之動作。減少之法即詳細分析此種動作發生之原因而消滅之。關於彈簧顫動部分容另篇討論。茲僅將惰力汽力部分詳加研討。

衡重者，用以平衡惰力一部分作用者也；但事實上衡重又因離心力使機車生不必要之動作。究竟衡重以若干為合適，衡重如何位置為合宜，多餘衡重或未經平衡之惰力生若何影響，汽力與衡重生若何關係，此諸問題皆待研究。然欲研究此等問題，必先知惰力與汽力在機車行動時曲拐旋轉一週間如何變化。故下章先研究惰力與汽力之變化。

本文倉卒成篇，手頭參考書甚少，屬筆時雖屢承程孝剛先生指正，誤點仍必甚多，尚請讀者指教。



第一圖



第二圖

二 機車行動時

搖桿大頭在曲拐銷上之垂直力及水平力：

1. 機車行動時搖桿大頭在曲拐銷上垂直力及水平力之來源有二：——

(一) 機車引擎往復部份，如十字頭汽餅桿汽餅及閥動機關之一部份及搖桿本身往復行動時之惰力；

(二) 蒸汽壓力施於汽餅之作用。

茲先研究機車引擎往復部份及搖桿本身往復行動時惰力之變化。

如第一圖設：

$ABCD$ = 搖桿

OD = 曲拐

A = 十字頭中心

O = 大輪中心

D = 曲拐銷中心

C = 搖桿重心

d = AC

B = 搖桿上任一點

e = AB

W_c = 搖桿重量

W_e = 引擎往復部份重量(圖上未註明)

F_e = 引擎往復部份之水平力

F_s = 滑板對於十字頭之反作用

F_o = 使搖桿擺動之正切力

F_r = 使搖桿擺動之向心力

F_t = 使搖桿往復動之水平力

F_x = 曲拐銷作用於搖桿上之水平力(搖桿惰水平)

F_y = 曲拐銷作用於搖桿上之垂直力(搖桿惰垂直)

s = 十字頭行經之直線距離

θ = 曲拐行經之角距離

δ = 搖桿行經之角距離

k = 以 A 為中心搖桿之環動半徑(Radius of gyration)

I_A = 以 A 為中心搖桿之惰性轉距(Moment of inertia)

2. 因力為質量與加速之積($F=Ma$)，故必先求直線加速率及角加速率之值。

(1) 設 ω = 曲拐角速率

α = 曲拐角加速率

則

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

$$\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

(2) 設 v = 十字頭直線速率

a = 十字頭直線加速率

則

$$v = \frac{ds}{dt}$$

$$a = \frac{d^2s}{dt^2}$$

茲先求 s 之值，由第一圖得

$$l+r=s+l\cos\delta+r\cos\theta$$

$$s=l+r-l\cos\delta-r\cos\theta$$

$$l\sin\delta=r\sin\theta$$

$$\sin\delta=\frac{r}{l}\sin\theta$$

$$\cos\delta=\sqrt{1-\frac{r^2\sin^2\theta}{l^2}}=\frac{\sqrt{l^2-r^2\sin^2\theta}}{l}$$

$$l\cos\delta=\sqrt{l^2-r^2\sin^2\theta}$$

$$s=l+r-\sqrt{l^2-r^2\sin^2\theta}-r\cos\theta$$

設曲拐以恆角速率進行，則 $\theta = \omega t$

$$\therefore s = l + r - \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \omega t} - r \cos \omega t$$

次求 v 及 a 之值，

$$v = \frac{ds}{dt} = r\omega \left[\sin \omega t + \frac{r \sin 2\omega t}{2(l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

$$a = \frac{dv}{dt} = r\omega^2 \left[\cos \omega t + \frac{rl^2 \cos 2\omega t + r^3 \sin^4 \omega t}{(l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$= r\omega^2 \left[\cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

(3) 設 ϕ = 搖桿角速率

ψ = 搖桿角加速率

則

$$\phi = \frac{d\delta}{dt}$$

$$\psi = \frac{d^2\delta}{dt^2}$$

由圖得

$$r \sin \theta = l \sin \delta$$

$$\frac{d}{dt} r \sin \theta = \frac{d}{dt} l \sin \delta$$

$$r \cos \theta \frac{d\theta}{dt} = l \cos \delta \frac{d\delta}{dt}$$

$$\therefore \phi = \frac{d\delta}{dt} = \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \delta} \cdot \omega$$

$$\psi = \frac{d\phi}{dt} = \frac{r\omega}{l} \cdot \frac{-\sin \theta \cdot \cos \delta \cdot \omega + \sin \delta \cos \theta \cdot \phi}{\cos^2 \delta}$$

$$= \frac{r\omega^2}{l} \cdot \frac{-\sin \theta \cos \delta + \sin \delta \cdot \cos \theta \cdot \frac{r \cdot \cos \theta}{l \cdot \cos \delta}}{\cos^2 \delta}$$

$$= \frac{r\omega^2}{l} \left[-\frac{\sin \theta}{\cos \delta} + \frac{r}{l} \frac{\cos^2 \theta}{\cos^3 \delta} \cdot \sin \delta \right]$$

由前節得

$$\sin \delta = \frac{r}{l} \cdot \sin \theta$$

$$\cos \delta = \frac{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}{l}$$

$$\therefore \psi = \frac{r\omega^2}{l} \left[-\frac{\sin \theta \cdot l}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} + \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos^2 \theta \cdot \frac{r}{l} \sin \theta \cdot l^3}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$\psi = r\omega^2 \sin \theta \left[\frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

3. 茲研究各種力之值，

$$F_s = \frac{W_s}{g} \cdot \frac{d^2 s}{dt^2}$$

設 B 點之質量為 dm

$$\text{則 } F_t = \int adm = a \int dm = \frac{W_c}{g} \cdot a = \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d^2 s}{dt^2}$$

$$F_r = \int \phi^2 edm = \phi^2 \int edm = \phi \cdot d \cdot \frac{W_c}{g} = \frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \left(\frac{d\delta}{dt} \right)^2$$

$$F_o = \int \psi \cdot edm = \psi \int edm = \psi \cdot d \cdot \frac{W_c}{g} = \frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2}$$

F_x, F_y, F_z 為三未知數，用力學上平衡定律之三方程式求得之。

即——

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

4. 求 F_x 之值。

用

$$\Sigma F_x = 0$$

由第一圖得

$$+F_x - F_t + F_o \sin \delta + F_r \cos \delta - F_s = 0$$

$$F_x = F_t + F_s - F_o \sin \delta - F_r \cos \delta$$

$$F_t = \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{W_c}{g} r\omega^2 \left[\cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$F_s = \frac{W_s}{g} \cdot \frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{W_s}{g} r\omega^2 \left[\cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$F_o \sin \delta = \frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} \cdot \frac{r}{l} \cdot \sin \theta$$

$$= \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \sin^2 \theta \left[\frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

$$F_r \cos \delta = \frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \left(\frac{d\delta}{dt} \right)^2 \cdot \cos \delta$$

$$\begin{aligned}
 F_r \cos \delta &= \frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \cos \delta \cdot \frac{r^2}{l^2} \cdot \frac{\cos \theta^2}{\cos \delta^2} \cdot \omega^2 \\
 &= \frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \frac{r^2}{l^2} \cdot \omega^2 \cdot \cos^2 \theta \cdot \frac{l}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \\
 &= \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \frac{\cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_z &= + \frac{W_c}{g} \cdot r \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \\
 &+ \frac{W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \\
 &- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \sin^2 \theta \cdot \frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \\
 &+ \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \sin^2 \theta \cdot \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \\
 &- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \cos^2 \theta \cdot \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \sin 2\theta &= 2 \sin \theta \cos \theta \\
 \cos 2\theta &= \cos^2 \theta - \sin^2 \theta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_z &= + \frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \\
 &- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \cdot \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \\
 &- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \frac{\cos 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore F_z &= + \frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \\
 &- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \left[\frac{\cos 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta \cdot r^2}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \dots \dots \dots (1)
 \end{aligned}$$

由第二圖則得

$$\begin{aligned}
 -F_z + F_t + F_o \sin \delta + F_r \cos \delta + F_s &= 0 \\
 F_z &= F_t + F_s + F_o \sin \delta + F_r \cos \delta
 \end{aligned}$$

但在本圖上 δ 之值不與第一圖同，其 $\frac{d^2 \delta}{dt^2}$ 之值亦異。

$$\begin{aligned}
 s' &= 4r - s \\
 &= 4r - (l + r - l \cos \delta - r \cos \theta) \\
 &= 3r - l + l \cos \delta + r \cos \theta \\
 &= 3r - l + (l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}} + r \cos \theta
 \end{aligned}$$

$$\therefore s' = 3r - l + (l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{\frac{1}{2}} + r \cos \omega t$$

$$\frac{d^2 s'}{dt^2} = \frac{1}{2} (l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{-\frac{1}{2}} (-2r^2 \sin \omega t \cdot \cos \omega t \cdot \omega) - r \sin \omega t \cdot \omega$$

$$v' = -r\omega \left[\sin \omega t + \frac{r \sin 2\omega t}{2(l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

$$\frac{d^2 s'}{dt^2} = -r\omega^2 \left[\cos \omega t + \frac{r \cos 2\omega t \cdot 4 \cdot (l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{\frac{1}{2}} - (l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{-\frac{1}{2}} (-2r^2 \sin \omega t \cos \omega t \cdot r \sin 2\omega t)}{4(l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)} \right]$$

$$= -r\omega^2 \left[\cos \omega t + \left[\frac{r \cdot \cos 2\omega t}{(l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{\frac{1}{2}}} - \frac{-r^2 \sin 2\omega t \cdot \frac{1}{4} \cdot r \sin 2\omega t}{(l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{\frac{3}{2}}} \right] \right]$$

$$= -r\omega^2 \left[\cos \omega t + \frac{r \cdot \cos 2\omega t \cdot l^2 - r^3 \cos 2\omega t \sin^2 \omega t + \frac{r^3}{4} \sin^2 2\omega t}{(l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$= -r\omega^2 \left[\cos \omega t + \frac{rl^2 \cos 2\omega t - r^3 (\cos 2\omega t \sin^2 \omega t - \frac{4 \sin^2 \omega t \cos^2 \omega t}{4})}{(l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$= -r\omega^2 \left[\cos \omega t + \frac{rl^2 \cos 2\omega t + \sin^4 \omega t \cdot r^3}{(l^2 - r^2 \sin^2 \omega t)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$a' = -r\omega^2 \left[\cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

第(1)式應為

$$\begin{aligned}
 F_x &= -\frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \left[\cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \\
 &\quad - \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \left[\cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \\
 &\quad + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \sin^2 \theta \cdot \frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \\
 &\quad - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \sin^2 \theta \cdot \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \\
 &\quad + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \cos^2 \theta \cdot \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -\frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{r l^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \\
 &\quad + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^4 \omega^2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{\sin^2 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \\
 &\quad + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \cdot \frac{\cos 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \\
 \therefore F_x &= -\frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{r l^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \\
 &\quad + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \left[\frac{\cos 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta \cdot r^2}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

即第一圖之 $F_x =$ 第二圖之 $-F_x$ ，兩圖上之 F_x 方向相反與所繪之箭頭相合。
 設 $\theta = 90^\circ$

由第(1)式，得

$$\begin{aligned}
 F_x &= +\frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[0 + \frac{-r l^2 + r^3}{(l^2 - r^2)^{\frac{3}{2}}} \right] \\
 &\quad - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \left[\frac{-1}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} + 0 \right] \\
 &= +\frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[-\frac{r}{\sqrt{l^2 - r^2}} \right] - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot \omega^2 \frac{r^2}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} \\
 &= -\frac{W_c + W_s}{g} \cdot \omega^2 \frac{r^2}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot \omega^2 \frac{r^2}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} \\
 &= -\frac{r^2 \omega^2}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{W_c + W_s}{g} - \frac{W_c \cdot d}{g \cdot l} \right)
 \end{aligned}$$

由第(2)式得

$$\begin{aligned}
 F_x &= -\frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[-\frac{r}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} \right] + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \left[\frac{-1}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} \right] r^2 \omega^2 \\
 &= +\frac{W_c + W_s}{g} \cdot \frac{r^2 \omega^2}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot \frac{r^2 \omega^2}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} \\
 &= +\frac{r^2 \omega^2}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{W_c + W_s}{g} - \frac{W_c \cdot d}{g \cdot l} \right)
 \end{aligned}$$

二值在圖上相等。

5. 求 F_y 之值。

由 $\Sigma M_A = 0$ ，由第一圖得轉距 (Moment) 之方向與時針同者為正：

$$+ F_y \cdot l \cos \delta - F_x \cdot l \sin \delta + \int dF_t \cdot e \sin \delta - \int dF_o e - W_c \cdot l \cdot \cos \delta = 0$$

搖桿之重力 W_c 爲一常數，不隨運動之角度而變，且搖桿向下時， W_c 增加 F_y 之值，向上時減少 F_y 之值，衡重上亦無法調整，故研究時可在方程式上略去。

$$F_y = \frac{1}{l \cos \delta} \left[F_x l \sin \delta - \int dF_t e \sin \delta + \int dF_o e \right] \dots \dots \dots (3)$$

$$l \cos \delta = (l^2 - r^2 \sin^2 \delta)^{\frac{1}{2}}$$

$$l \sin \delta = r \sin \theta$$

$$\sin \delta = \frac{r}{l} \sin \theta$$

$$F_x = + \frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{r l^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \left[\frac{\cos 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$\int dF_t \cdot e = \int a \cdot e \cdot dm = a \cdot \frac{W_c}{g} \cdot d = \frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \frac{d^2 s}{dt^2}$$

$$\int dF_o \cdot e = \int \psi \cdot e \cdot dm \cdot e = \psi \int e^2 \cdot dm = \psi \cdot \frac{W_c}{g} \cdot k^2 = \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \frac{d^2 \delta}{dt^2}$$

$$F_y = \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \left[+ \frac{W_c + W_s}{g} \cdot r^2 \omega^2 \sin \theta \left\{ \cos \theta + \frac{r l^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\} \right.$$

$$- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^3 \omega^2 \sin \theta \left\{ \frac{\cos 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta \cdot r^2}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

$$- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \sin \theta \omega^2 \left\{ \cos \theta + \frac{r l^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

$$\left. + \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \cdot r \omega^2 \sin \theta \left\{ \frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right\} \right]$$

$$F_y = \frac{r \omega^2 \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \left[+ \left(\frac{W_c + W_s}{g} - \frac{W_c \cdot d}{g \cdot l} \right) r \left\{ \cos \theta + \frac{r l^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\} \right.$$

$$- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \left\{ \frac{\cos 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta \cdot r^2}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

$$\left. + \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \left\{ \frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right\} \right] \dots \dots \dots (4)$$

設 $\theta = 90^\circ$.

$$\begin{aligned}
F_y &= \frac{r\omega^2}{(l^2-r^2)^{\frac{1}{2}}} \left[\left(\frac{W_c+W_s}{g} - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \right) r \left\{ 0 + \frac{-rl^2+r^3}{(l^2-r^2)^{\frac{3}{2}}} \right\} \right. \\
&\quad \left. - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \left\{ \frac{-1}{(l^2-r^2)^{\frac{1}{2}}} + 0 \right\} + \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \left\{ \frac{-1}{(l^2-r^2)^{\frac{1}{2}}} \right\} \right] \\
&= r\omega^2 \left[\left(\frac{W_c+W_s}{g} - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \right) r \cdot \frac{-r}{l^2-r^2} + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot \frac{r^2}{l^2-r^2} - \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \frac{1}{l^2-r^2} \right] \\
&= r\omega^2 \left[-\frac{W_c+W_s}{g} \cdot \frac{r^2}{l^2-r^2} + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot \frac{2r^2}{l^2-r^2} - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{k^2}{l^2-r^2} \right] \\
&= -r\omega^2 \left[\frac{W_s}{g} \cdot \frac{r^2}{l^2-r^2} + \frac{W_c}{g} \left(\frac{r^2+k^2-2r^2 \cdot \frac{d}{e}}{l^2-r^2} \right) \right]
\end{aligned}$$

設 $\theta=270^\circ$ ，

$$\begin{aligned}
F_y &= \frac{-r\omega^2}{(l^2-r^2)^{\frac{1}{2}}} \left[\left(\frac{W_c+W_s}{g} - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \right) r \left\{ 0 + \frac{-rl^2+r^3}{(l^2-r^2)^{\frac{3}{2}}} \right\} \right. \\
&\quad \left. - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \left\{ \frac{-1}{(l^2-r^2)^{\frac{1}{2}}} + 0 \right\} + \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \left\{ \frac{-1}{(l^2-r^2)^{\frac{1}{2}}} \right\} \right] \\
&= +r\omega^2 \left[\frac{W_s}{g} \cdot \frac{r^2}{l^2-r^2} + \frac{W_c}{g} \left(\frac{r^2+k^2-2r^2 \cdot \frac{d}{e}}{l^2-r^2} \right) \right]
\end{aligned}$$

與 $\theta=90^\circ$ 時，值相同而方向相反。

如由第二圖則得 $\Sigma M_A=0$

$$-F_y l \cos \delta - F_x l \sin \delta + \int d F_o e + \int F_i e \cdot \sin \delta = 0$$

$$F_y = \frac{1}{l \cos \delta} \left[-F_x l \sin \delta + \int d F_i e \sin \delta + \int d F_o e \right]$$

$F_x \cdot l \cdot \sin \delta$ 及 $F_i \cdot e \cdot \sin \delta$ 兩項中均有 $\frac{d^2 s}{dt^2}$ ，如在 4 節中所論者，然此時之 $\frac{d^2 s}{dt^2}$ 與在第一圖之 $\frac{d^2 s}{dt^2}$ 值相同而符號相反，故以上式與 (3) 式較完全相同。即 F_y 之值仍可以 (4) 式表之也。

6. 求 F_o 之值。

由

$$\Sigma F_o = 0$$

$$F_y - F_o - W_c + F_r \sin \delta - F_o \cos \delta = 0, \quad W_c \text{ 可不計；}$$

$$F_o = F_y + F_r \sin \delta - F_o \cos \delta$$

F_r 如 (4) 式

$$F_r \sin \delta = \frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \left(\frac{d\delta}{dt} \right)^2 \cdot \sin \delta$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \frac{r^2 \omega^2}{l^2} \cdot \frac{\cos^2 \theta}{\cos^2 \delta} \cdot \sin \delta \\
&= \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot \frac{r^2 \omega^2 \cos^2 \theta}{l^2 - r^2 \sin^2 \theta} \cdot r \sin \theta \\
F_o \cos \delta &= \frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} \cdot \frac{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta}}{l} \\
&= \frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \frac{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta}}{l} \cdot r \omega^2 \sin^2 \theta \left[\frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right] \\
&= \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r \omega^2 \sin \theta \left[\frac{r^2 \cos^2 \theta}{l^2 - r^2 \sin^2 \theta} - 1 \right] \\
F_r \sin \delta - F_o \cos \delta &= \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r \omega^2 \sin \theta \\
F_g &= F_y + (F_r \sin \delta - F_o \cos \delta) \\
\therefore F_g &= F_y + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r \omega^2 \sin \theta
\end{aligned}$$

如由 $\Sigma M_D = 0$ ，則

$$\begin{aligned}
F_g \cdot l \cdot \cos \delta - F_r l \sin \delta + \int d F_o (l - e) - \int d F_i (l - e) \sin \delta &= 0 \\
F_g &= \frac{1}{l \cos \delta} \left[F_r l \sin \delta - F_o l + \int d F_o e + F_i l \sin \delta - \int d F_i e \sin \delta \right]
\end{aligned}$$

與 F_y 之值相較，〔第(3)式〕

$$\begin{aligned}
F_y &= \frac{1}{l \cos \delta} \left[F_r l \sin \delta - \int d F_i e \sin \delta + \int d F_o e \right] \\
&= \frac{1}{l \cos \delta} \left[(F_r + F_s - F_o \sin \delta - F_r \cos \delta) \cdot l \cdot \sin \delta + \int d F_o e - \int d F_i e \sin \delta \right] \\
&= \frac{1}{l \cos \delta} \left[F_i l \cdot \sin \delta + F_r l \sin \delta - F_o l \sin^2 \delta - F_r l \sin \delta \cos \delta + \int d F_o e - \int d F_i e \sin \delta \right]
\end{aligned}$$

$$F_y - F_g = \frac{1}{l \cos \delta} \left[-F_o l \sin^2 \delta - F_r l \sin \delta \cos \delta + F_o l \right]$$

$$F_y - F_g = \frac{1}{l \cos \delta} \left[+F_o \cdot l (1 - \sin^2 \delta) - F_r \cdot l \sin \delta \cos \delta \right]$$

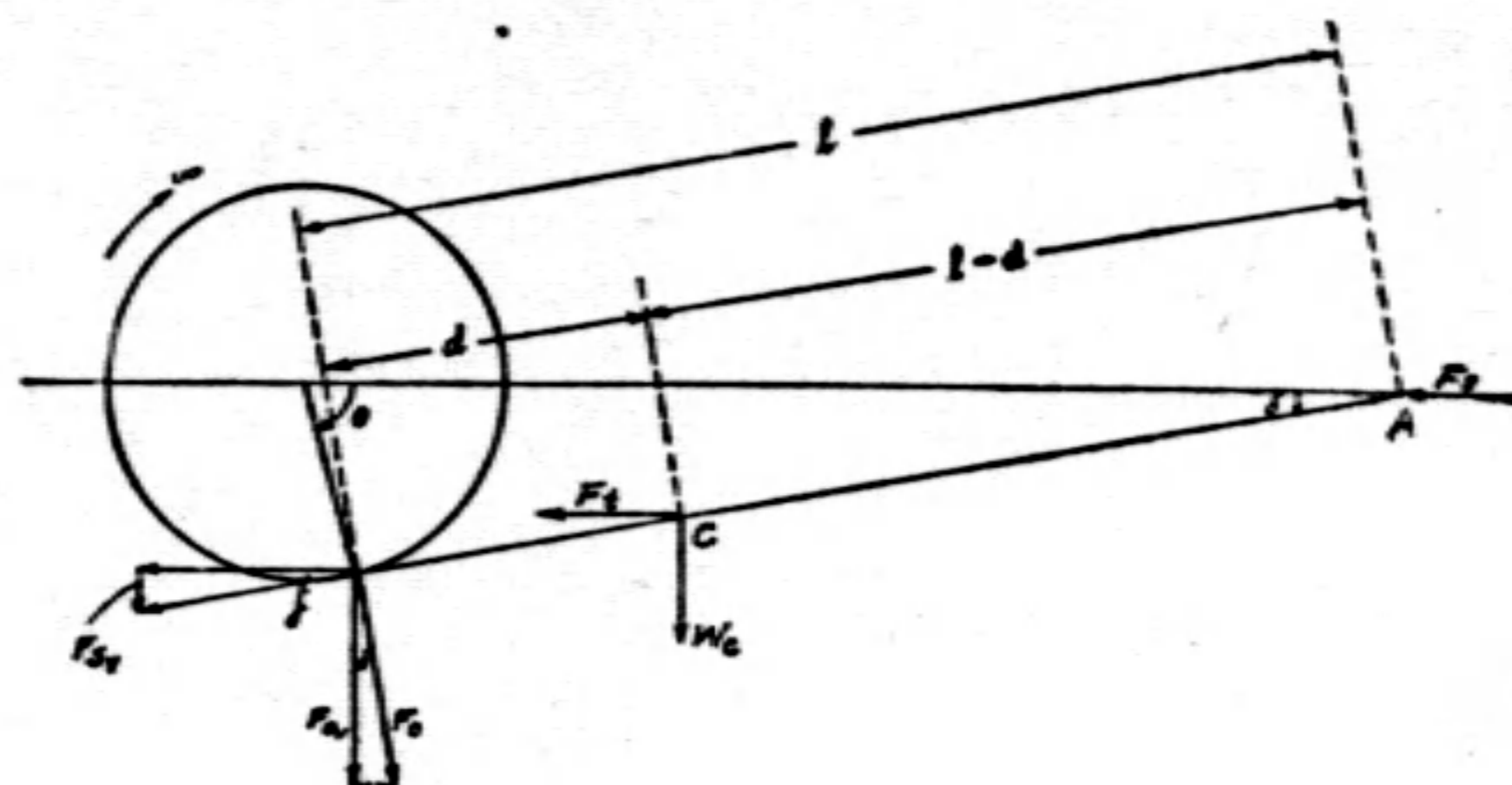
$$= \frac{1}{l \cos \delta} \left[F_o \cdot l \cos^2 \delta - F_r l \sin \delta \cos \delta \right]$$

$$= +F_o \cos \delta - F_r \sin \delta$$

$$F_g = F_y + (F_r \sin \delta - F_o \cos \delta)$$

與由 $\Sigma F_v = 0$ 所得者相同。

7. 因搖桿大頭在曲拐銷上之垂直力，在計算衡重時關係重大，茲再用別法求此力之公式。如第三圖，圖上各字所表示者與第一二圖相同，惟 d 不為搖桿重心至十字頭銷心之距離。而為搖桿重心至曲拐銷心之距離，即 $d = CD$ 。



第三圖

搖桿運動時垂直作用之來源有四：——

1. 往復運動部份 W_s 之惰力 F_s ，
2. 搖桿往復運動之惰力 F_i ，
3. 搖桿上下擺動之惰力 F_o ，
4. 搖桿本身重量之下垂力 W_c ，

但搖桿重量之力始終向下，並不與搖桿運動之角度生關係，計算衡重時無法減小其作用，故可不計。茲將首三項分別計之如下。

(1) 往復運動部份 W_s 之惰力：——

$$F_s = -\frac{W_s}{g} \cdot \frac{d^2 s}{dt^2}$$

即

$$F_s = \frac{W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left\{ \cos \theta + \frac{r l^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

F_s 與滑板上之反作用相合得沿搖桿中心線之力 $= \frac{F_s}{\cos \theta}$

$$F_{sv} = \frac{F_s}{\cos \delta} \sin \delta = F_s \operatorname{tg} \delta$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sin \delta}{\cos \delta} = \frac{\frac{r}{l} \sin \theta}{\frac{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta}}{l}} = \frac{r \sin \theta}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta}}$$

$\therefore F_{sv} = F_s$ 之垂直作用

$$= \frac{W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left\{ \cos \theta + \frac{r l^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\} \frac{r \sin \theta}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta}}$$

設 $\theta = 90^\circ$ ，

$$\begin{aligned}
 F_{sv} &= \frac{W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left\{ 0 + \frac{-rl^2 + r^3}{(l^2 - r^2)^{\frac{3}{2}}} \right\} \frac{r}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} \\
 &= \frac{W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left\{ -\frac{r(l^2 - r^2)}{(l^2 - r^2)^{\frac{3}{2}}} \right\} \frac{r}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} \\
 &= -\frac{W_s}{g} \cdot r^3 \omega^2 \cdot \frac{1}{l^2 - r^2} \\
 &= -\frac{W_s}{g} \cdot v^2 \cdot \frac{r}{l^2 - r^2}
 \end{aligned}$$

設 $\theta = 270^\circ$.

$$\begin{aligned}
 F_{sv} &= \frac{W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left\{ 0 + \frac{-rl^2 + r^3}{(l^2 - r^2)^{\frac{3}{2}}} \right\} \frac{-r}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} \\
 &= \frac{W_s}{g} \cdot r^3 \omega^2 \cdot \frac{1}{l^2 - r^2}
 \end{aligned}$$

$\theta = 0^\circ$ 或 180° 時，

$$F_{sv} = 0$$

(2) 搖桿往復運動時之惰力：

$$F_i = \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d^2 s}{dt^2}$$

$$\therefore F_i = \frac{W_c}{g} \cdot r \omega^2 \left\{ \cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

此力作用於搖桿重心 C 點，如以 D 轉距中心求此力在 A 點之作用 F'_i ，則得：——

$$F_i \cdot d = F'_i \cdot l$$

$$\therefore F'_i = \frac{d}{l} \cdot F_i$$

再依上節理論得，

$$F_{iv} = \frac{d}{l} \cdot F_i \operatorname{tg} \delta$$

$$\therefore F_{iv} = \frac{d}{l} \cdot \frac{W_c}{g} \cdot r \omega^2 \left\{ \cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\} \frac{r \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}$$

設 $\theta = 90^\circ$.

$$F_{iv} = -\frac{W_c}{g} \cdot \frac{r^3 \omega^2}{l^2 - r^2} \cdot \frac{d}{l}$$

$\theta = 270^\circ$

$$F_{iv} = +\frac{W_c}{g} \cdot \frac{r^3 \omega^2}{l^2 - r^2} \cdot \frac{d}{l}$$

(3) 搖桿上下擺動之惰力：——

$$I_A = \frac{W_c}{g} \cdot k^2$$

$$\text{搖桿擺動轉距} = I_A \psi = \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \cdot \psi$$

●曲拐中心使搖桿生上下擺動之力， F_o 爲：——

$$F_o = \frac{I\psi}{l} \text{ (與搖桿中心線成正交)}$$

此力之垂直作用

$$F_{ov} = \frac{I\psi}{l} \cos \delta$$

$$\therefore F_{ov} = \frac{I\psi}{l} \cos \delta = \frac{W_c}{lg} \cdot k^2 \cos \delta \cdot \psi$$

$$= \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \cos \delta \cdot \frac{r\omega^2}{l^2} \left\{ \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos^2 \theta}{\cos^2 \delta} \cdot \tan \delta - \frac{\sin \theta}{\cos \delta} \right\}$$

$$= \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \cdot k^2 \cdot \frac{1}{l^2} \left\{ \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos^2 \theta}{\cos^2 \delta} \cdot \sin \delta - \sin \theta \right\}$$

設 $\theta = 90^\circ$,

$$F_{ov} = - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{r\omega^2 k^2}{l^2}$$

設 $\theta = 270^\circ$

$$F_{ov} = + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{r\omega^2 k^2}{l^2}$$

(4) 以上三力垂直作用之和爲：

$$\begin{aligned} F_y &= \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \left\{ \cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\} \frac{r \sin \theta}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta}} \\ &+ \frac{d}{l} \cdot \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \left\{ \cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\} \frac{r \cdot \sin \theta}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta}} \\ &+ \frac{W_c}{g} \cdot r \cdot \omega \cdot k^2 \cdot \frac{1}{l^2} \left\{ \frac{r}{l} \cdot \frac{\cos^2 \theta}{\cos^2 \delta} \cdot \sin \delta - \sin \theta \right\} \end{aligned}$$

設 $\theta = 90^\circ$,

$$\begin{aligned} F_y &= - \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \cdot \frac{r}{l^2 - r^2} \cdot \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \frac{r^2}{l^2 - r^2} \cdot \frac{d}{l} - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{r\omega^2 \cdot k^2}{l^2} \\ &= - \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \left(\frac{k^2}{l} + \frac{d}{l^2} \cdot \frac{r^2}{l^2 - r^2} \right) - \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \cdot \frac{r}{l^2 - r^2} \end{aligned}$$

設 $\theta = 270^\circ$

$$F_y = + \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \left(\frac{k^2}{l^2} + \frac{d}{l} \cdot \frac{r^2}{l^2 - r^2} \right) + \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \frac{r}{l^2 - r^2}$$

8. 由上結果與第 5 節所得結果顯不相同。至 $\theta = 90^\circ$ 或 270° 時，上節所得 $\frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2$ 之係數與 5 節所得者同為 $\frac{r^2}{l^2 - r^2}$ ，但 $\frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2$ 之係數。

上節所得為 $\frac{k^2}{l^2} + \frac{d}{l} \cdot \frac{r^2}{l^2 - r^2}$

5 節所得為 $\frac{k^2 + r^2 - 2\frac{d}{e} \cdot r^2}{l^2 - r^2}$

兩數決不相同，但計算衝重時所關甚巨，且 Mark's Mech-Engr's Handbook, p. 1467, 1930 所載為前一數而不載後一數，不得不求其關係之所在。

茲設， d = 搖桿重心至十字頭銷中心之距離， AC ，如第一圖，

則 7 節所得， F_{rv} 之值不變

F_{tv} 之值改變

F_{ov} 之值可以不變，但亦可用另法求得別式。

先求 F_{rv} 之值：——

設 F_t 在 A 點之作用為 F_t' 由 $\Sigma M_D = 0$ ，得

$$F_t(l-d) = F_t' \cdot l$$

$$F_t' = \frac{l-d}{l} \cdot F_t$$

用求 F_{rv} 之方法求 F_{tv} 得

$$F_{tv} = \frac{l-d}{l} F_t \tan \delta$$

$$= \frac{l-d}{l} \cdot \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d^2 s}{dt^2} \cdot \tan \delta$$

$$F_{tv} = \frac{l-d}{l} \cdot \frac{W_c}{g} \cdot \frac{r \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \cdot r\omega^2 \left\{ \cos \theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

設 $\theta = 90^\circ$

$$F_{tv} = \frac{l-d}{l} \cdot \frac{W_c}{g} \cdot \frac{r^2 \omega^2}{(l^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}} \left\{ \frac{-rl^2 + r^3}{(l^2 - r^2)^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

$$= \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \cdot \frac{l-d}{l} \cdot \frac{(-r^2)}{l^2 - r^2}$$

$$= -\frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \left[\frac{r^2 - \frac{d}{l} r^2}{l^2 - r^2} \right]$$

次求 F_{ov} 之值。

搖桿擺動時之轉距為 $I_A \psi$ ，此為搖桿上任何點對於 A 點之轉距。今欲求 F_{ov} 之值，祇須將 $l \cos \delta$ 除 $I_A \psi$ 即得。

$$\begin{aligned} F_{ov} &= \frac{I_A \psi}{l \cos \delta} \\ &= \frac{1}{l \cos \delta} \cdot \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \cdot r \omega^2 \left\{ r \cdot \frac{\cos^2 \theta}{\cos^2 \delta} \operatorname{tg} \delta - \frac{\sin \theta}{\cos \delta} \right\} \\ &= \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \cdot r \omega^2 \sin \theta \left\{ \frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right\} \\ &= \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \cdot r \omega^2 \cdot \sin \theta \left\{ \frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^2} - \frac{1}{l^2 - r^2 \sin^2 \theta} \right\} \end{aligned}$$

設 $\theta = 90^\circ$ ，

$$F_{ov} = -\frac{W_c}{g} \cdot r \omega^2 \cdot \frac{k^2}{l^2 - r^2}$$

但如以第四圖研究，則知 F_{or} 之值較 $F_o \cos \delta$ 之值大， bc 一段 bc 之值為 $F_o \sin \delta \tan \delta$ ，應將此數於 F_{ov} 之值內減去之。

$$-bc = -F_o \sin \delta \cdot \tan \delta$$

$$\begin{aligned} &= -\frac{W_c}{g} \cdot d \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} \cdot \sin \delta \cdot \tan \delta \\ &= -\frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \sin^2 \delta \left[\frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right] \cdot \frac{r \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \\ &= -\frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^3 \omega^2 \sin^3 \theta \left[\frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^2} - \frac{1}{l^2 - r^2 \sin^2 \theta} \right] \end{aligned}$$

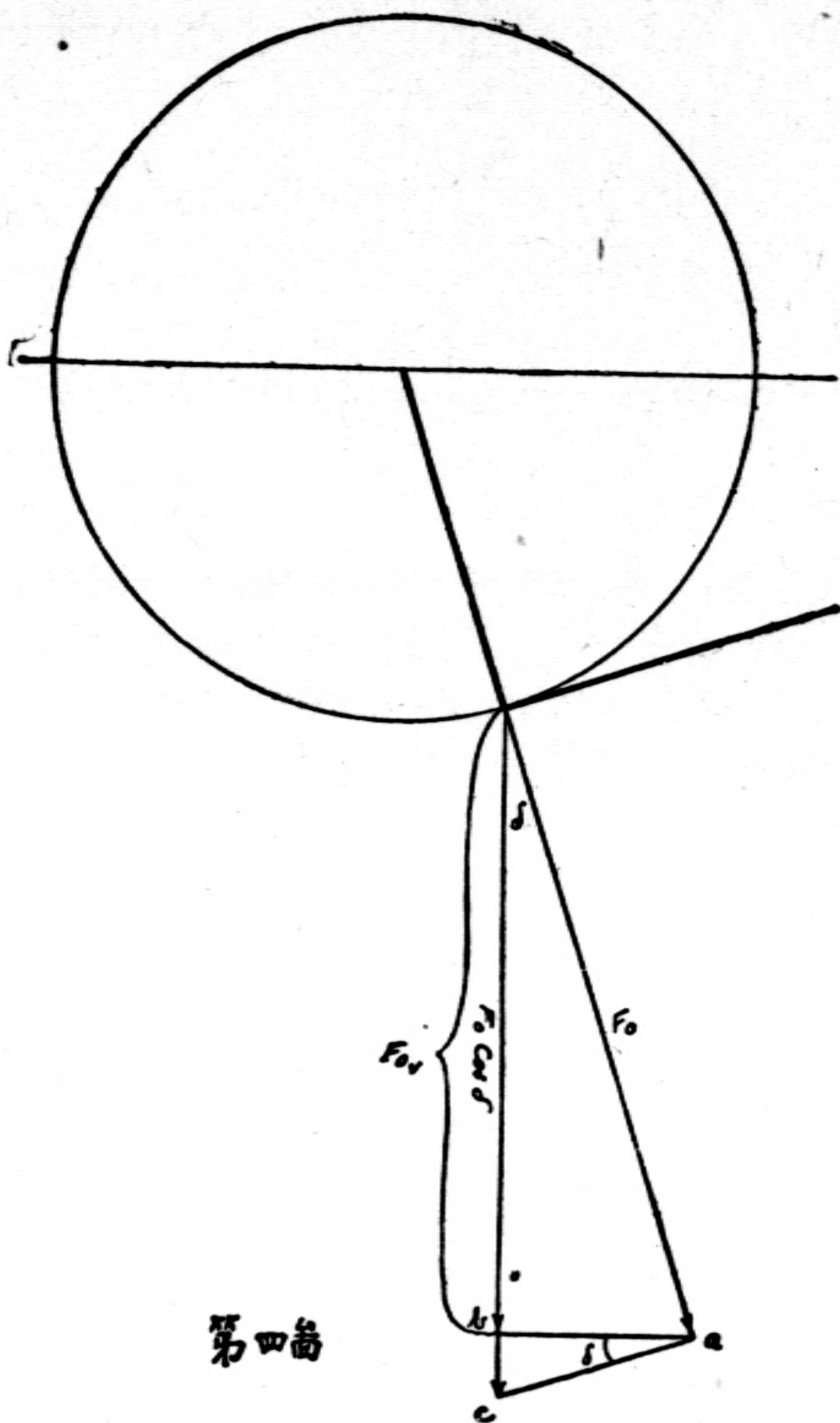
設 $\theta = 90^\circ$ ，

$$\begin{aligned} -bc &= -\frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^3 \omega^2 \left[-\frac{1}{l^2 - r^2} \right] \\ &= -\frac{W_c}{g} \cdot r \omega^2 \left[\frac{-\frac{d}{l} \cdot r^2}{l^2 - r^2} \right] \end{aligned}$$

故將二值相加得， F_y

$$\begin{aligned} F_{rv} + F_{iv} + F_{ov} = F_y &= +\frac{W_c}{g} \cdot r \omega^2 \left\{ \cos \theta + \frac{r l^2 \cdot \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\} \cdot \frac{r \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \\ &\quad + \frac{l-d}{l} \cdot \frac{W_c}{g} \cdot r \omega^2 \left\{ \cos \theta + \frac{r l^2 \cdot \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\} \cdot \frac{r \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \cdot r\omega^2 \cdot \left\{ \frac{r^2 \cos^2 \theta \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^2} - \frac{\sin \theta}{l^2 - r^2 \sin^2 \theta} \right\} \\
 & - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r\omega^2 \cdot \left\{ \frac{r^2 \cos^2 \theta \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^2} - \frac{\sin \theta}{l^2 - r^2 \sin^2 \theta} \right\} r^2 \sin^3 \theta
 \end{aligned}$$



第四圖

設 $\theta = 90^\circ$.

則

$$\begin{aligned}
 F_{ro} + F_{io} + F_{oo} &= -\frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \cdot \frac{r^2}{l^2 - r^2} \\
 & - \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \left[\frac{r^2 - \frac{d}{l} \cdot r^2}{l^2 - r^2} \right] \\
 & - \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \cdot \frac{k^2}{l^2 - r^2}
 \end{aligned}$$

$$-\frac{W_c}{g} r \omega^2 \left[\frac{-\frac{d}{l} \cdot r^2}{l^2 - r^2} \right]$$

$$\therefore F_y = \frac{W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[\frac{r^2}{l^2 - r^2} \right] - \frac{W_c}{g} \cdot r \omega^2 \left[\frac{r^2 - \frac{d}{l} \cdot r^2 + k^2 - \frac{d}{l} \cdot r^2}{l^2 - r^2} \right]$$

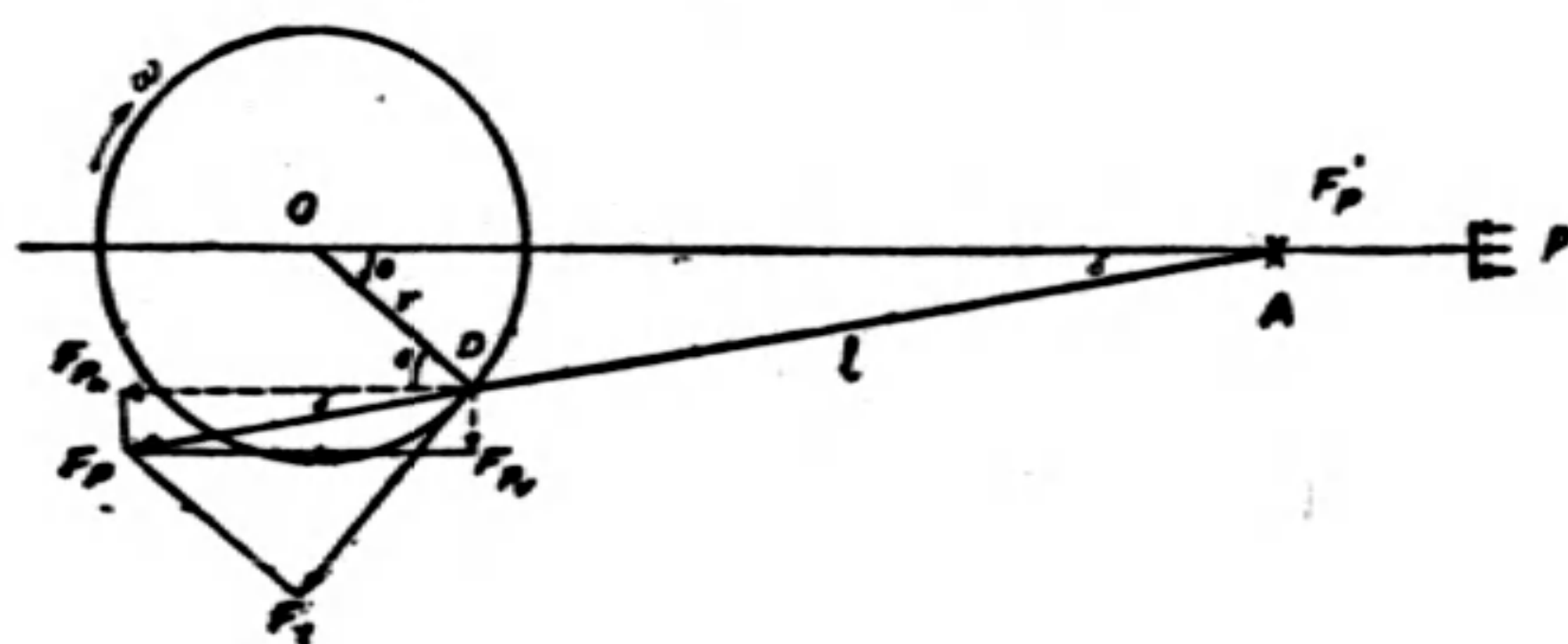
$$= -\frac{W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[\frac{r^2}{l^2 - r^2} \right] - \frac{W_c}{g} \cdot r \omega^2 \left[\frac{k^2 + r^2 - 2\frac{d}{l} r^2}{l^2 - r^2} \right]$$

由上所得 $\frac{W_c}{g} r \omega^2$ 之係數為 $\frac{k^2 + r^2 - 2\frac{d}{l} r^2}{l^2 - r^2}$ 與 5 節所得完全相同，可知二數相差完全視 d 之值而異。

9. 以上研究者為搖桿上所受各力之現象； F_x ， F_y 為諸外力和之反作用。換言之， $-F_x$ ， $-F_y$ 即為搖桿上所受各力之和，此力使生運動。惰力者搖桿本身反抗運動之力，此力應為搖桿上所受各力之和之反抗力，不許搖桿運動；故此力之數值應與各力之和相等而方向相反。今各力之和既為 $-F_x$ ， $-F_y$ 則搖桿惰力應為 F_x ， F_y 。此力作用於曲拐銷上，故本章(1)(4)二式即為往復部份及搖桿惰力之值。

三 蒸汽壓力施於曲拐銷上之垂直力及水平力

1. 蒸汽壓力施於汽餅上經過汽餅桿十字頭搖桿而達於曲拐銷上，其與曲拐成正交而使動輪旋轉之力為切力(Tangential force)。切力為機車行動之主動力，現在無關，不具述。茲所需研究者為曲拐銷上所受蒸汽壓力之垂直力與水平力。



第五圖

設

- p = 汽缸內蒸汽壓力以每方吋幾磅計之。
- d = 汽缸內直徑以吋計之。
- F'_p = 汽餅所受蒸汽全壓力。
- F_p = 曲拐銷上所受蒸汽壓力。
- F_t = 曲拐銷上所受切力。
- F_{p_h} = 曲拐銷上所受蒸汽壓力之水平力。

F_{pv} = 曲拐銷上所受蒸汽壓力之垂直力。

$$F_p = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p$$

$F_p = F_p' / \cos \delta$ ，因受滑板之反作用而得。

$$\therefore F_{ph} = F_p \cos \delta = F_p' = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p \dots\dots\dots (1)$$

可見曲拐銷上所受蒸汽壓力之水平力即係汽餅所受蒸汽全壓力，視蒸汽壓力 p 之大小而異。

$$F_{pv} = F_p \sin \delta$$

$$= F_p' \cdot \frac{\sin \delta}{\cos \delta}$$

$$l \sin \delta = r \cdot \sin \theta$$

$$\sin \delta = \frac{r}{l} \cdot \sin \theta$$

$$\cos \delta = \frac{1}{l} \cdot (l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore F_{pv} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p \cdot \frac{r \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (2)$$

曲拐銷上所受蒸汽壓力之垂直力視曲拐旋轉之角度及蒸汽壓力 p 之值而異。

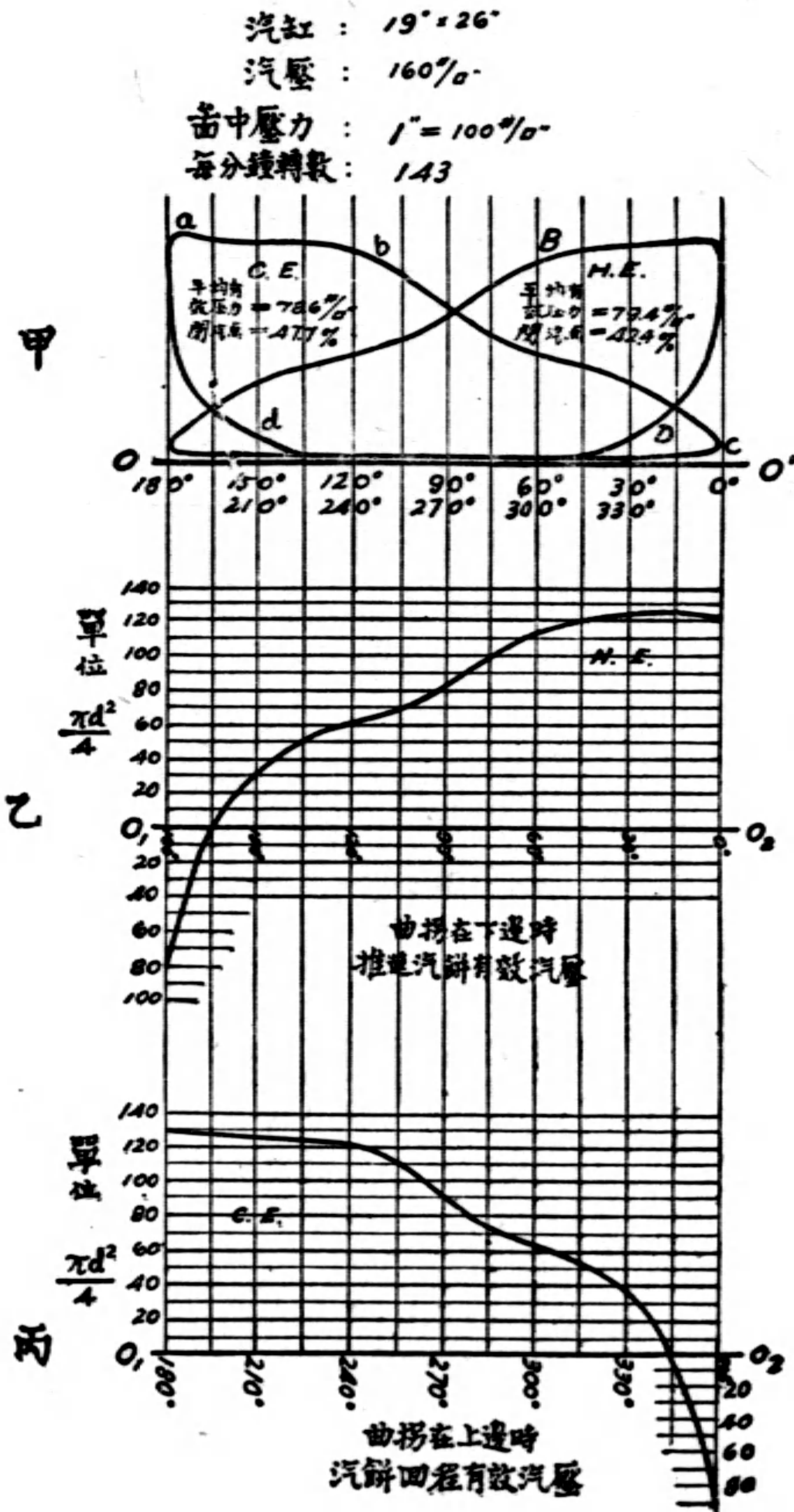
2. 蒸汽壓力固視鍋爐之汽壓而定。但在曲拐旋轉一週時，汽餅所受蒸汽壓力亦息息不同。曲拐旋轉自 0° 至 180° 汽餅前面所受汽壓初則甚高，繼漸減低，至將近 180° 時，且因汽餅後面壓汽作用而變為負壓力。曲拐旋轉自 180° 至 360° 時，汽餅後面汽壓變化亦同。可於第六圖見之。 $ABCD$ 為一機車右汽缸，汽餅前面 (H. E.) 汽壓指示圖 (Indicator card)。 $abcd$ 為該汽缸，汽餅後面 (C. E.) 汽壓指示圖。 OO' 為空氣壓力線。汽餅一面某時間之有效壓力為前後兩面汽壓之差。如汽缸前面汽壓為 A ，後面之汽壓為 C ，則其有效壓力，係將 A 點距 OO' 之高減 C 點距 OO' 之高。如此一一量出，得汽餅前面及後面有效汽壓圖 (乙) (丙)。圖中 $O_1 O_2$ 線為零壓線 (即汽壓為零)。如將此 p 之值代入 (1) (2) 二式則得水平力與垂直力之瞬值。

(1) 水平力。由 (1) 式，

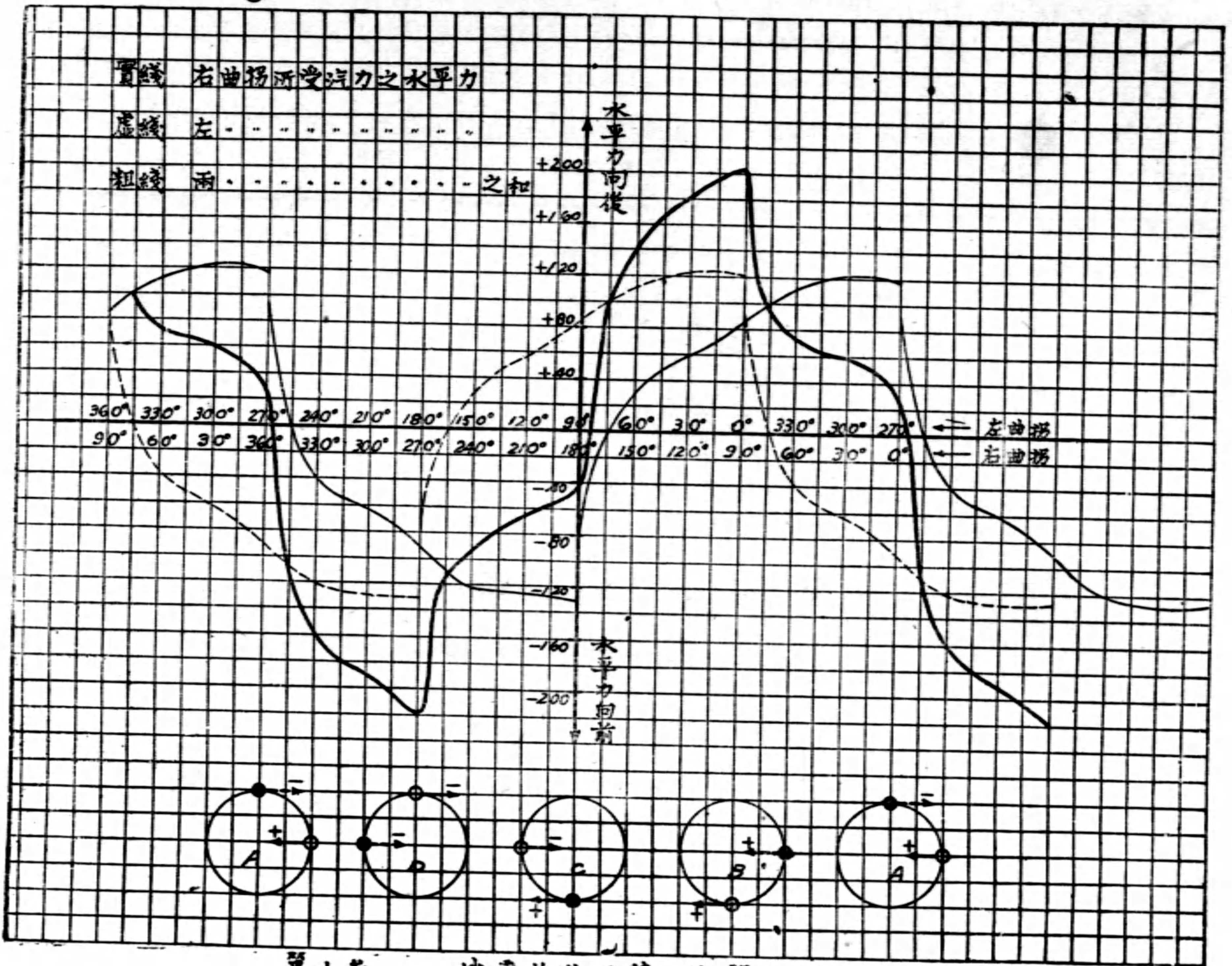
$$F_{ph} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p$$

以 $\frac{\pi d^2}{4}$ 求第六圖乙丙兩曲線之值，即曲拐旋轉一周水平力瞬值之變化。因 $\frac{\pi d^2}{4}$ 為一常數，故水平力瞬值之變化與 p 之變化相同，即乙丙兩曲線為曲拐旋轉一周水平力瞬值之變化。此為機車右邊情形，其變化甚大。且機車左汽缸與右汽缸之行動相差 90° ，水平力互相消長，變化益甚。設左汽缸汽壓指示圖與右汽缸相同，可將乙丙兩圖改繪為第七圖。縱軸表水平力，(+) 表向後，(-) 表向前，其單位為 $\frac{\pi d^2}{4}$ 。橫軸表示曲拐旋轉度數，軸下數目表示

右曲拐，軸上數目表示左曲拐。左曲拐在右曲拐後 90°。實線表右曲拐所受之水平力，虛線表左曲拐所受之水平力，將兩線相加得一粗線，表兩邊曲拐水平力之和。和數最大值在右曲拐為 90° 及 270° 左右：90° 時右曲拐水平力向後，左曲拐亦向後如圖 (B)；270° 時右曲拐水平力向前，左曲拐亦向前如圖 (D)；兩邊水平力合作。和數最小值在右曲拐為 0° 及 180° 左右：0° 時右曲拐水平力向後，左曲拐向前如圖 (A)；180° 時右曲拐水平力向前左曲拐向後如圖 (C)；兩邊水平力互消。在兩水平力合作時，機車引力最大。在兩水平力互消時，對機車重心線適成一力偶(Couple)，使機車對於重心線旋轉，此力偶在右曲拐 0° 及 180° 時最



第六圖 機車前進時右汽缸汽壓指示圖



第七圖 機車前進時蒸汽衝擊力之水平分力

大而方向相反；故機車在曲拐旋轉一周時，始則向右一轉，繼復向左一轉，是為機車搖頭作用(Nosing)，須設法鎮定，使機車行動穩當。

(2)垂直力。由(2)式

$$F_{pv} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p \cdot \frac{r \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}$$

此式中之第一因子 $\frac{\pi d^2}{4} \cdot p$ 即 F_{ph} 之值，即係第六圖乙丙兩曲線之值。茲求第二因子之值。

$$\frac{r \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} = \frac{r}{l} \cdot \sin \theta \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \sin^2 \theta}} = \frac{r}{l} \sin \theta$$

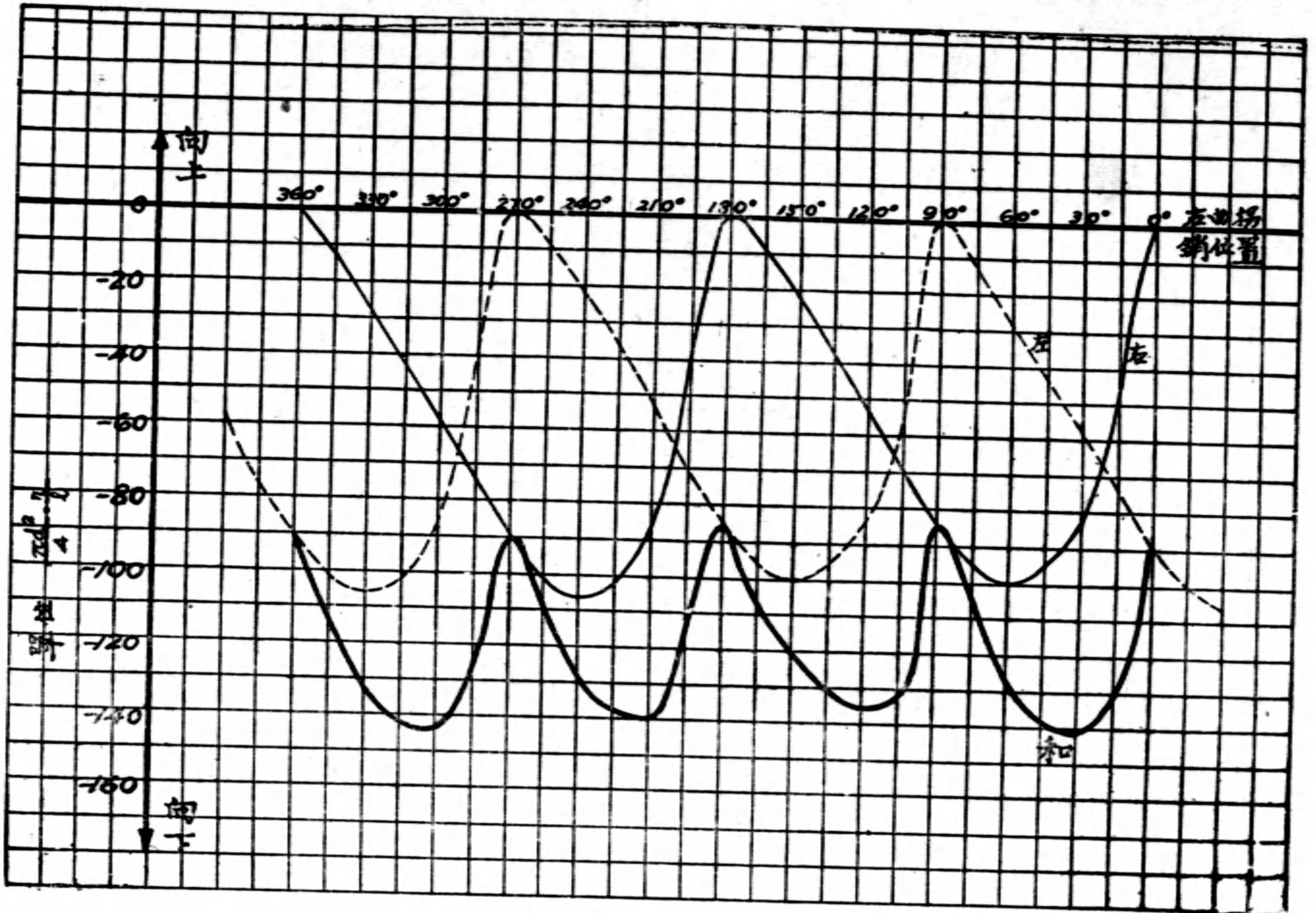
(因 $\frac{r^2}{l^2} \sin^2 \theta$ 甚小)

$$\begin{aligned} \therefore F_{pv} &= \frac{\pi d^2}{4} \cdot p \cdot \frac{r}{l} \cdot \sin \theta \\ &= \left(\frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{r}{l} \right) \cdot p \cdot \sin \theta \end{aligned}$$

θ	$\sin \theta$	$\frac{\pi d^2}{4} \cdot p$ [由第六圖得來] (向前爲+ 向後爲-)	$\left(\frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{r}{l} \right) \cdot p \cdot \sin \theta$ (向上爲+ 向下爲-)
0°	0	-120	0
30°	0.707	-120	-85
60°	0.866	-115	-100
90°	1.000	-85	-85
120°	0.866	-60	-52
150°	0.707	-30	-21
180°	0	+80	0
210°	-0.707	+125	-88
240°	-0.866	+122	-106
270°	-1.000	+90	-90
300°	-0.866	+62	-58
330°	-2.707	+40	-28
360°	0	-80	0

以 θ 爲橫軸， $\frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{r}{l}$ 爲縱軸，將上表所得繪成第八圖。實線表示右曲拐，虛線表示左曲拐之垂直力。粗線表示兩邊曲拐垂直力之和。可知機車前進時，曲拐所受汽力之垂直力，在曲拐任何位置，均向下，即此力增加輪軸壓軌力。但如機車後退，則此垂直力，時時向上，減輕輪軸壓軌力。此垂直力之最大值由圖得 $144 \times \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{r}{l}$ 。此機車之汽缸直徑爲 19"，設 $\frac{r}{l}$ 之值爲 $\frac{1}{5}$ ，則此垂直力之值爲 7,940 磅，約不足 4 噸。但此機車鍋爐壓力爲 160 磅/平方吋，如汽壓增至 220 磅。即增加 $(220-160) \div 160 = 37.5\%$ 。設有效汽壓亦增 37.5%，即 144 增加 37.5% 而爲 198。又設汽缸直徑爲 25 吋，則垂直力當爲 $198 \times \frac{\pi(25)^2}{4} \times \frac{1}{5} = 19,400$ 磅約爲 8.8 公噸。如輪軸載重原爲每軸 16 噸，將增爲 24.8 公噸。

但汽壓之值在機車初動時爲最大，有效汽壓瞬值之最大值可達鍋爐汽壓之 85% 及速率增加有效汽壓漸減，可到鍋爐汽壓 25% 以下；故汽壓施於曲拐銷之水平力及垂直力隨曲拐旋轉速率而減小。



第八圖 機車前進時蒸汽衝擊力之垂直分力

四 雙缸機車之衡重

1. 雙缸機車行動時，其必須平衡之力有三：

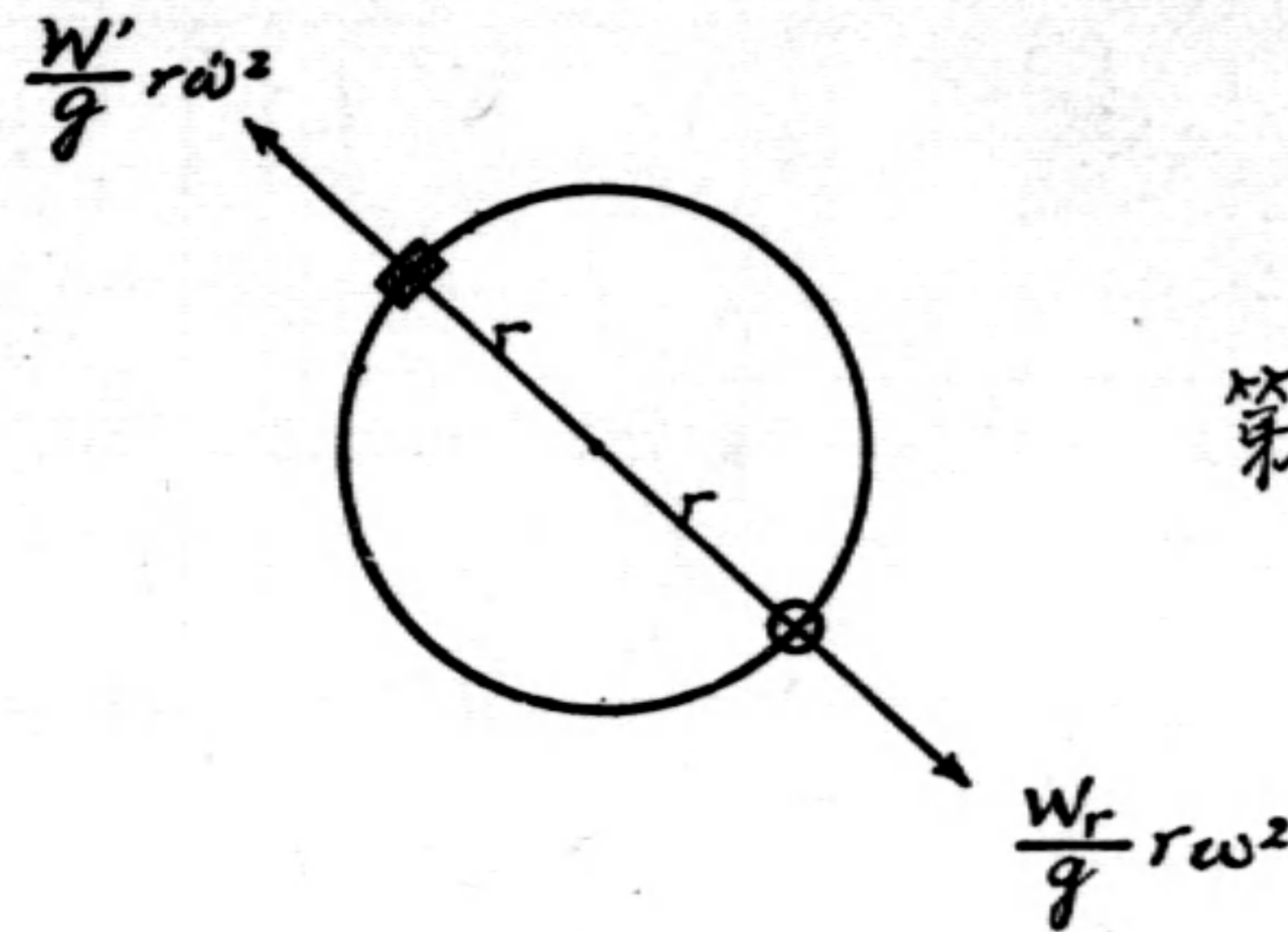
- (1) 旋轉部分之離心力。
- (2) 往復部分之惰力。
- (3) 搖桿運動之惰力。

平衡方法係在機車動輪上加一重量，使此重量在動輪旋轉時生相當離心力，以平衡上項三力之和；此所加之重量為衡重(Counter weight or balancing weight)。

機車動輪上有曲拐銷及曲拐銷座，是為旋轉部分，設其重量為 W_r 。離心加速率為 $\frac{V^2}{r}$ 或 $r\omega^2$ ，故旋轉部分離心力 F_c 為

$$F_c = \frac{W_r}{g} \cdot r\omega^2$$

如須平衡此力，可於動輪曲拐銷心所在之直徑上，在曲拐銷心之對面，距離輪心 r 點，加一等於 W_r 之重量 W' ，如第九圖，則動輪旋轉時，兩離心力互相平衡。



第九圖

如衡重與輪心之距離不為 r 而為 r' ，則衡重 W' 應為 $\frac{r}{r'} W_r$ ，而不等於 W_r 。但事實上旋轉部分之重心與衡重重心并不同在一平面上，如第十圖。如是動輪旋轉時則兩離心力成力偶，使機車行動不穩。救濟之法在對面動輪上加一小衡重 w' 使此力偶消滅。 $\Sigma M_o = 0$ ，得

$$W_r \cdot a = w' b$$

$$\therefore w' = \frac{a}{b} W_r$$

此 w' 須置於對面動輪，與此面曲拐同一位置，且須距離彼面輪心 r ，如此距離不為 r 而為 r' ，則

$$w' = \frac{a}{b} \cdot \frac{r}{r'} \cdot W_r \dots\dots\dots (1)$$

可於第十一圖見之。如將兩重相併，使其重心與經過曲拐之直徑成 λ 角，則此角之值應為

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{w'}{W_r} \dots\dots\dots (2)$$

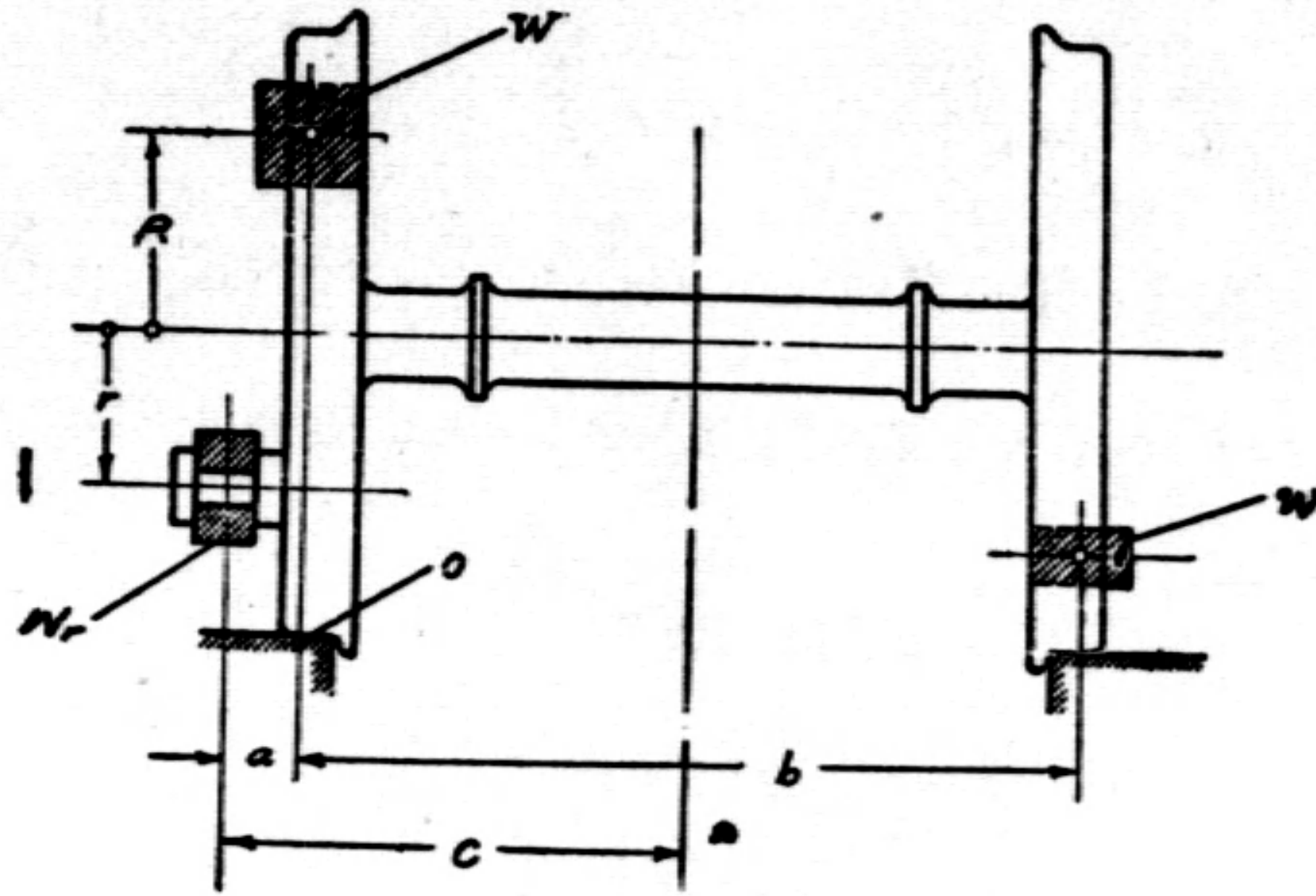
又其衡重之值 W_B 應為，

$$W_B = \sqrt{W_r'^2 + w'^2} \dots\dots\dots (3)$$

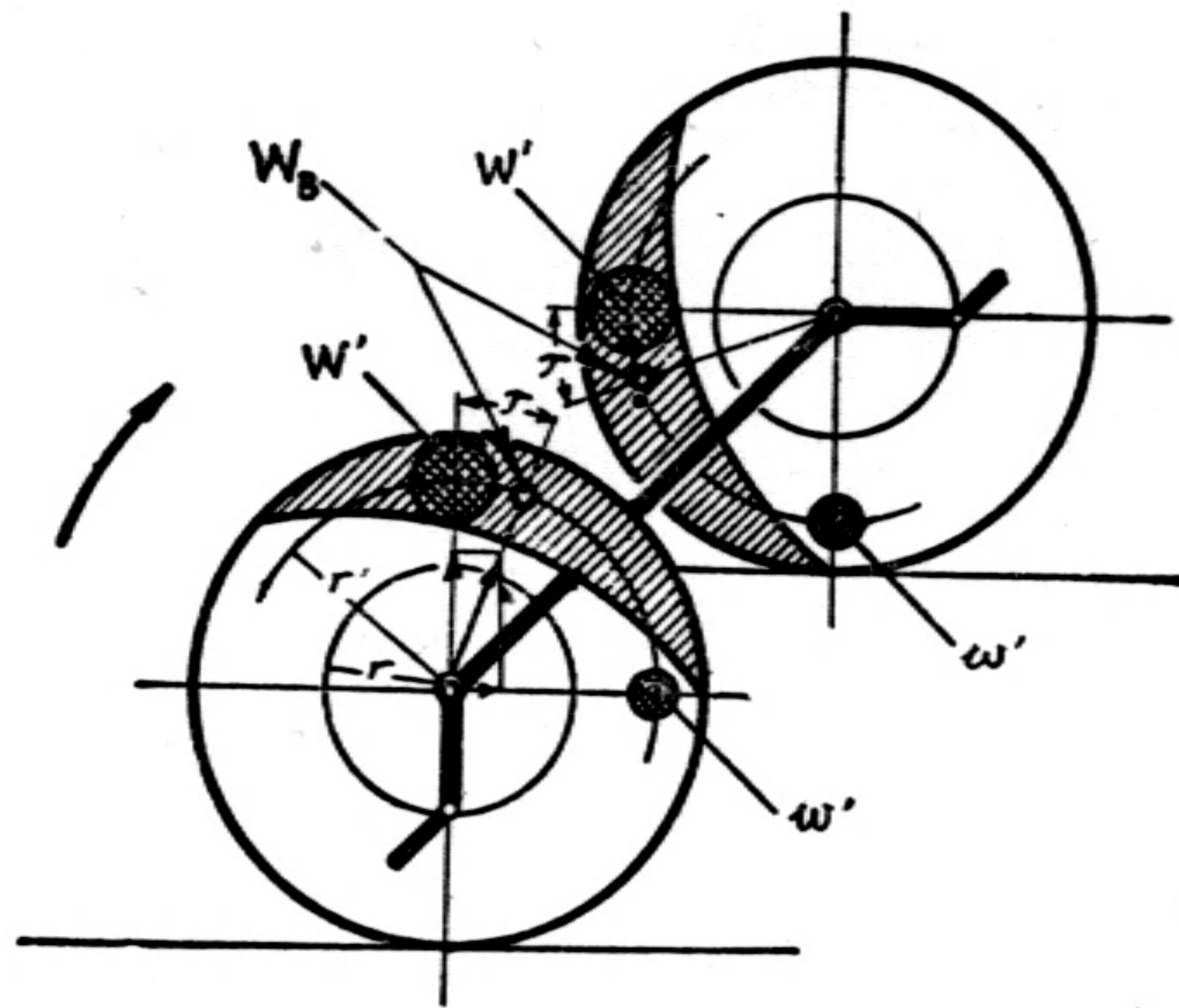
此種辦法謂之複衡 (Cross-balancing)。其不在對面動輪加重者謂之簡衡 (Straight-balancing)

2. 機車往復部分與搖桿運動之惰力已於第二章中詳細研究，并於 II—9 節中說明公式 II—(1)， F_x 之值即為往復部分及搖桿惰力之水平力，公式 II—(4)， F_y 之值即為往復部分及搖桿惰力之垂直力。是為曲拐銷上所受往復部分及搖桿惰力之水平力與垂直力。茲將兩式復寫於下，以便研究：——

$$F_x = + \frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{r l^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \left[\frac{\cos 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta r^2}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right] \dots\dots\dots (4)$$



第十圖



第十一圖

$$F_v = \frac{r\omega^2 \sin \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \left[+ \left(\frac{W_c + W_s}{g} - \frac{W_c \cdot d}{g \cdot l} \right) r \left\{ \cos \theta + \frac{r l^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\} \right. \\ \left. - \frac{W_c \cdot d}{g \cdot l} \cdot r^2 \left\{ \frac{\cos 2\theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta r^2}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \right\} \right. \\ \left. + \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \left\{ \frac{r^2 \cos^2 \theta}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right\} \right] \dots \dots \dots (5)$$

但此項公式太繁不易應用，可設法化簡并求其近似值(Approximate value)，以觀其變化：
在研究搖桿動作時，得 δ 與 θ 之關係為，

$$l \sin \delta = r \sin \theta$$

即
$$\sin \delta = \frac{r}{l} \cdot \sin \theta$$

$$\cos \delta = \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \sin^2 \theta}$$

但 l 與 r 之比至少為 5，即 $\frac{r}{l}$ 之值最大為 $\frac{1}{5}$ ， $(\frac{r}{l})^2$ 最大為 $\frac{1}{25}$ ，且 $\sin \theta$ 小於 1， $\frac{r^2}{l^2} \sin^2 \theta$ 最大值為 $\frac{1}{25}$ ，即 0.04，甚小可以取消；即 $\cos \delta = 1$ ，實際上 $\cos \delta$ 變化在 1 與 0.98 之間，差數甚微。但由上式得

$$l \cos \delta = \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta}$$

$$l^2 \cos^2 \delta = l^2 - r^2 \sin^2 \theta$$

$$l^3 \cos^3 \delta = (l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}$$

$$\cos \delta = 1$$

$$\therefore \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta} = l$$

$$l^2 - r^2 \sin^2 \theta = l^2$$

$$(l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}} = l^3$$

以此種關係代入本章公式(4)及(5)中，即得簡式如下：——

$$F_z = + \frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{r l^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{l^3} \right]$$

$$- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \left[\frac{\cos 2\theta}{l} + \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta r^2}{l^3} \right]$$

$$= + \frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left[\cos \theta + \frac{r}{l} \cos 2\theta + \frac{r^3}{l^3} \sin^4 \theta \right]$$

$$- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \omega^2 \cdot \frac{1}{l} \left[\cos 2\theta + \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta}{l^2} \right]$$

上式中， $\frac{r^3}{l^3} \sin^4 \theta$ 及 $\frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta r^2}{l^2}$ ，為值甚小，可以不計；

$$\therefore F_z = + \frac{W_c + W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left(\cos \theta + \frac{r}{l} \cos 2\theta \right)$$

$$- \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r \omega^2 \cdot \frac{r}{l} \cdot \cos 2\theta$$

即

$$F_z = + \frac{W_s}{g} \cdot r \omega^2 \left(\cos \theta + \frac{r}{l} \cos 2\theta \right)$$

$$+ \frac{W_c}{g} \cdot r \omega^2 \left(\cos \theta + \frac{r}{l} \cos 2\theta \right)$$

$$-\frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r\omega^2 \cdot \frac{r}{l} \cos 2\theta \dots\dots\dots(6)$$

上式第一項為往復部分惰力之水平力，第二三項為搖桿運動惰力之水平力。

$$F_y = \frac{r\omega^2 \sin\theta}{l} \left[\left(\frac{W_c + W_s}{g} - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \right) r \left\{ \cos\theta + \frac{rl^2 \cos 2\theta + r^3 \sin^4 \theta}{l^3} \right\} \right. \\ \left. - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r^2 \left\{ \frac{\cos 2\theta}{l} + \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta r^2}{l^3} \right\} \right. \\ \left. + \frac{W_c}{g} \cdot k^2 \cdot \left\{ \frac{r^2 \cos^2 \theta}{l^3} - \frac{1}{l} \right\} \right] \\ = r\omega^2 \sin\theta \left[\left(\frac{W_c + W_s}{g} - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \right) \frac{r}{l} \left\{ \cos\theta + \frac{r}{l} \cos 2\theta + \frac{r^3}{l^4} \sin^4 \theta \right\} \right. \\ \left. - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot \frac{r^2}{l} \left\{ \cos 2\theta + \frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta}{l^2} \right\} \right. \\ \left. + \frac{W_c}{g} \cdot \frac{k^2}{l^2} \left\{ \frac{r^2}{l^2} \cos^2 \theta - 1 \right\} \right]$$

上式中， $\frac{r^3}{l^3} \sin^4 \theta$ ， $\frac{\frac{1}{4} \sin^2 2\theta r^2}{l^2}$ ， $\frac{r^2}{l^2} \cos 2\theta$ ， $\frac{r^2}{l^2} \cos^2 \theta$

四項俱為值甚小，可以不計；

$$\therefore F_y = r\omega^2 \sin\theta \left[\left(\frac{W_c + W_s}{g} - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \right) \frac{r}{l} \left(\cos\theta + \frac{r}{l} \cos 2\theta \right) - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{k^2}{l^2} \right]$$

即

$$F_y = r\omega^2 \sin\theta \left[\frac{W_s}{g} \cdot \frac{r}{l} \cdot \left(\cos\theta + \frac{r}{l} \cdot \cos 2\theta \right) \right. \\ \left. + \frac{W_c}{g} \left(1 - \frac{d}{l} \right) \cdot \frac{r}{l} \cdot \left(\cos\theta + \frac{r}{l} \cos 2\theta \right) - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{k^2}{l^2} \right] \dots\dots\dots(7)$$

上式第一項為往復部分惰力之垂直力，第二三兩項為搖桿惰力之垂直力。

3. 往復部分之衡重。

往復部分之惰力由本章(6)(7)兩式得

$$F_{zs} = \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \left(\cos\theta + \frac{r}{l} \cos 2\theta \right) \dots\dots\dots(8)$$

$$F_{ys} = \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \cdot \frac{r}{l} \left(\cos\theta + \frac{r}{l} \cos 2\theta \right) \sin\theta \dots\dots\dots(9)$$

設 $\theta = 90^\circ$ ，
則得

$$F_{zs} = \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \left[0 + \frac{r}{l}(-1) \right]$$

$$= -\frac{W_s}{g} r\omega^2 \frac{r}{l}, \text{ 即此時之惰力向曲拐銷。}$$

$$F_{ys} = \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \cdot \frac{r}{l} \left[0 + \frac{r}{l}(-1) \right]$$

$$= -\frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \cdot \frac{r^2}{l^2}, \text{ 即此時之惰力向下。}$$

l 與 r 之比可以為 5, 6, 7, 8, 以 5 為最小, 即 $\frac{r}{l} = \frac{1}{5}$ 為最大。如以 $\frac{1}{5}$ 代入得(10)(11)兩式, 此時之惰力最大, 茲列下表計算曲拐旋轉一周時, 視惰力之變化。

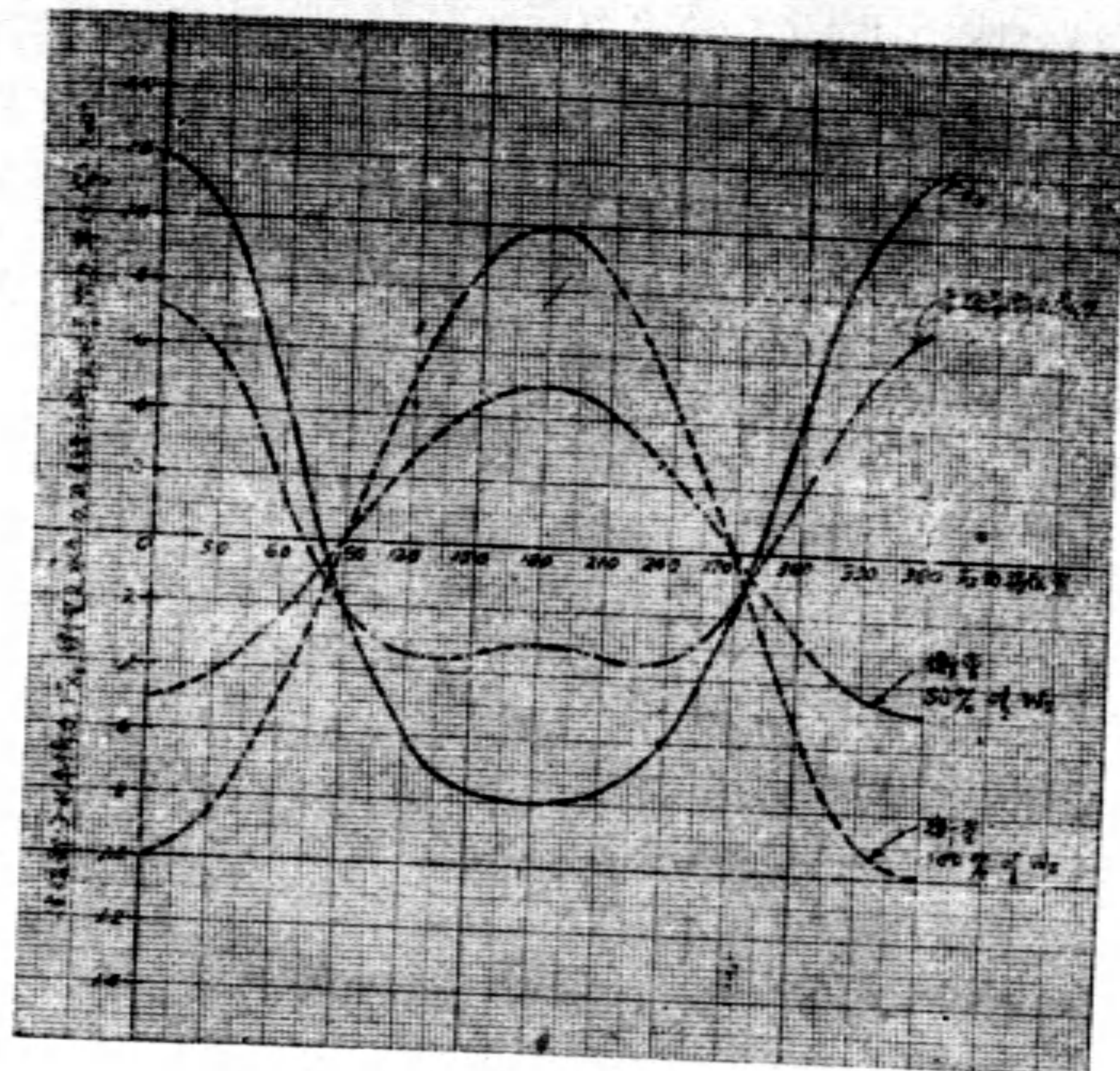
$$F_{zs} = \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \left(\cos \theta + \frac{1}{5} \cos 2\theta \right) \dots\dots\dots(10)$$

$$F_{ys} = \frac{W_s}{g} r\omega^2 \cdot \frac{\sin \theta}{5} \left(\cos \theta + \frac{1}{5} \cos 2\theta \right) \dots\dots\dots(11)$$

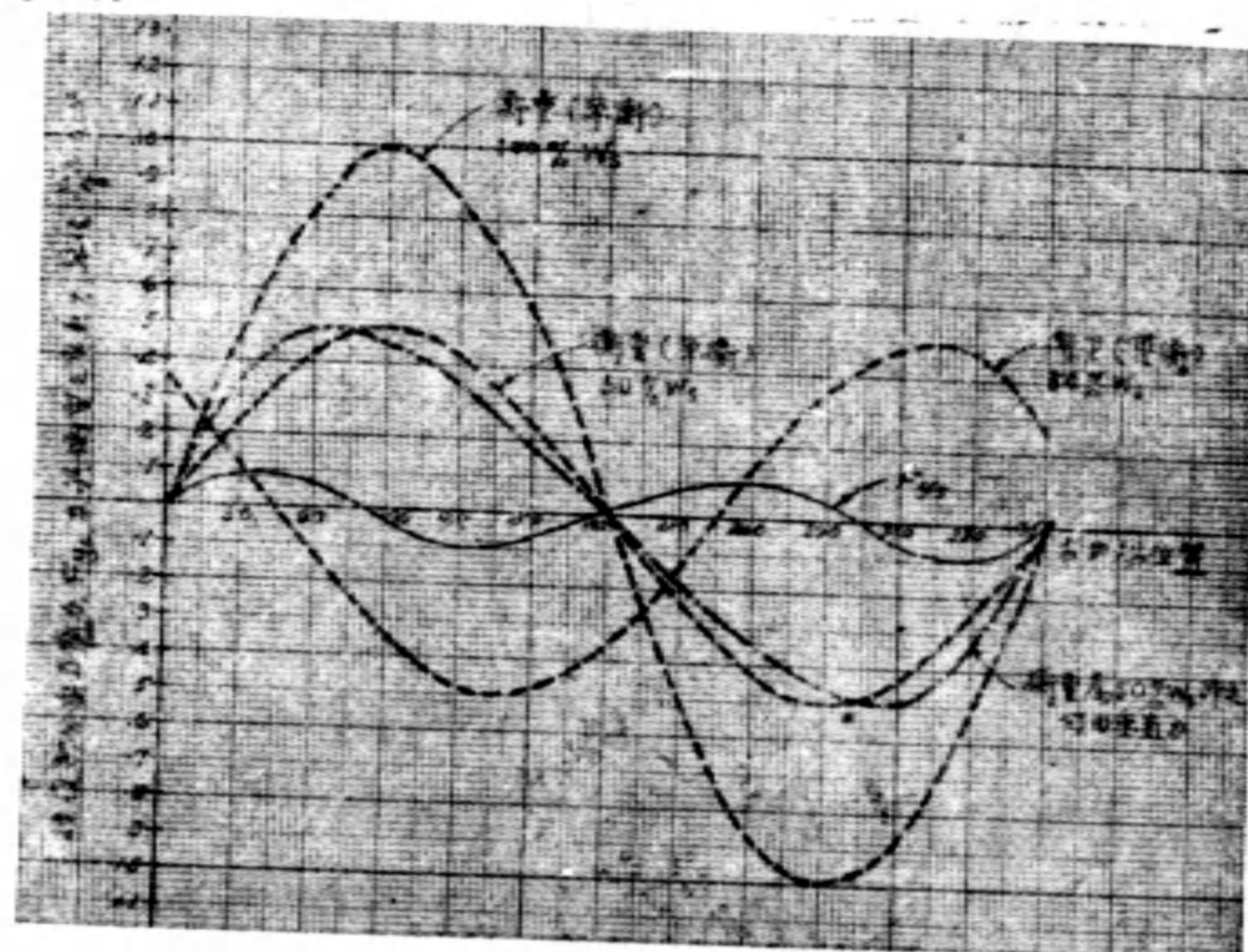
θ	$\sin \theta$	$\cos \theta$	$\cos 2\theta$	$\frac{\sin \theta}{5}$	$\frac{\cos 2\theta}{5}$	$\cos \theta + \frac{\cos 2\theta}{5}$	$\frac{\sin \theta}{5} \left(\cos \theta + \frac{\cos 2\theta}{5} \right)$	F_{zs} 單位 $\frac{W_s}{g} r\omega^2$	F_{ys} 單位 $\frac{W_s}{g} r\omega^2$
0°	0	1	1	0	-2	1.2	0	1.2	0
30°	0.5	0.866	0.5	-1	0.1	+0.966	0.097	0.966	0.097
60°	0.866	0.5	-0.5	0.173	-0.1	+0.4	0.069	0.4	0.069
90°	1.000	0	-1	0.2	-0.2	-0.2	-0.04	-0.2	-0.04
120°	0.866	-0.5	-0.5	0.173	-0.1	-0.6	-0.1	-0.6	-0.1
150°	0.5	-0.866	+0.5	0.1	+0.1	-0.766	-0.07	-0.766	-0.07
180°	0	-1.0	+1	0	+0.2	-0.8	0	-0.8	0
210°	-0.5	-0.866	+0.5	-0.1	+0.1	-0.766	+0.07	-0.766	+0.07
240°	-0.866	-0.5	-0.5	-0.173	-0.1	-0.6	+0.1	-0.6	+0.1
270°	-1.0	0	-1	-0.2	-0.2	-0.2	+0.04	-0.2	+0.04
300°	-0.866	+0.5	-0.5	-0.173	-0.1	+0.4	-0.069	+0.4	-0.069
330°	-0.5	+0.866	+0.5	-0.1	+0.1	+0.966	-0.097	-0.966	-0.097
360°	0	1.000	+1.000	0	+0.2	+1.2	0	+1.2	0

以曲拐角度 θ 為橫軸, 度為單位, 以水平惰力為縱軸, $\frac{W_s}{g} r\omega^2$ 為單位, 得第十二圖。

以曲拐角度 θ 為橫軸, 度為單位, 以垂直惰力為縱軸, $\frac{W_s}{g} r\omega^2$ 為單位, 得第十三圖。



第十二圖



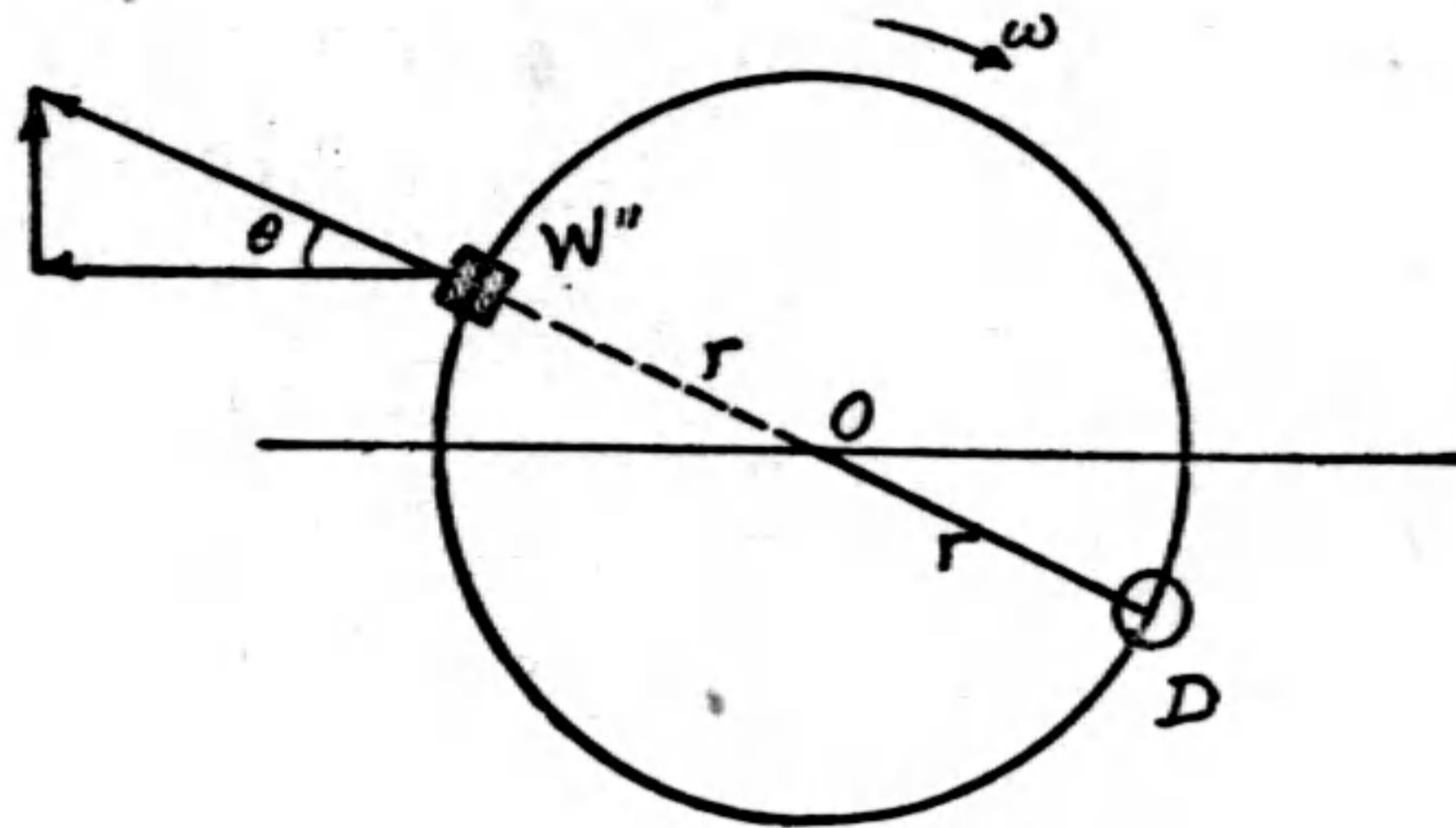
第十三圖

此種惰力因兩邊曲拐相距 90° ，遂致相生相尅，使機車生種種不必需之動作。如兩邊水平惰力一方向前，彼方向後，曲拐旋轉半周後，彼方又向前，此方又向後，使機車對於垂直中心線時而左轉，時而右轉，生搖頭作用 (Nosing)。如兩邊水平惰力同時向前且在軸心上部，曲拐旋轉半周後，又同時向後且在軸心下部，使機車前部時而向下，時而向上，生點頭作用 (Pitching)。又兩邊水平惰力同時向前，使機車速率加增，同時向後又使機車速率頓減，不啻使機車一伸一縮，成伸縮作用 (Recoiling)。又如兩邊垂直惰力，一邊向下，彼邊向上，曲拐旋轉半周後，彼邊向下而此邊向上，使機車對於軌道中心線，時而左傾，時而右傾，生拐跛作用 (Rocking)。兩邊垂直惰力如一瞬間同時向上，再一瞬間又同時向下，亦使機車生點頭作用。此種不必需之副作用必須設法消滅或減少。換言之，即須設法平衡或減少惰力作用。

平衡往復部分惰力之方法有二：一曰單衡 (Balance for one side)，即將機車各邊之惰

力各自平衡之謂。一曰雙衡 (Balance for both sides)，即將兩邊惰力作用同時平衡之謂。

單衡法——在曲拐銷所在直徑之對面加一重量，使此重在動輪旋轉時生一離心力，以抗衡曲拐銷上所受之惰力作用。如第十四圖 D 為曲拐銷， W'' 為衡重。曲拐銷旋轉速率為 ω 時，則 W'' 生離心力 $\frac{W''}{g} \cdot r\omega^2$ ，此力之水平力為 $\frac{W''}{g} \cdot r\omega^2(-\cos \theta)$ ，其垂直力為 $\frac{W''}{g} r\omega^2(\sin \theta)$ 。如所用之衡重 W'' 距離中心 O ，不為 r 而為 r' ，應以 $\frac{r}{r'}$ 乘之。



第十四圖

設所用之衡重 W'' 等於往復部分之重量 W_s ，且使其距中心 O 之距離為 r ，則

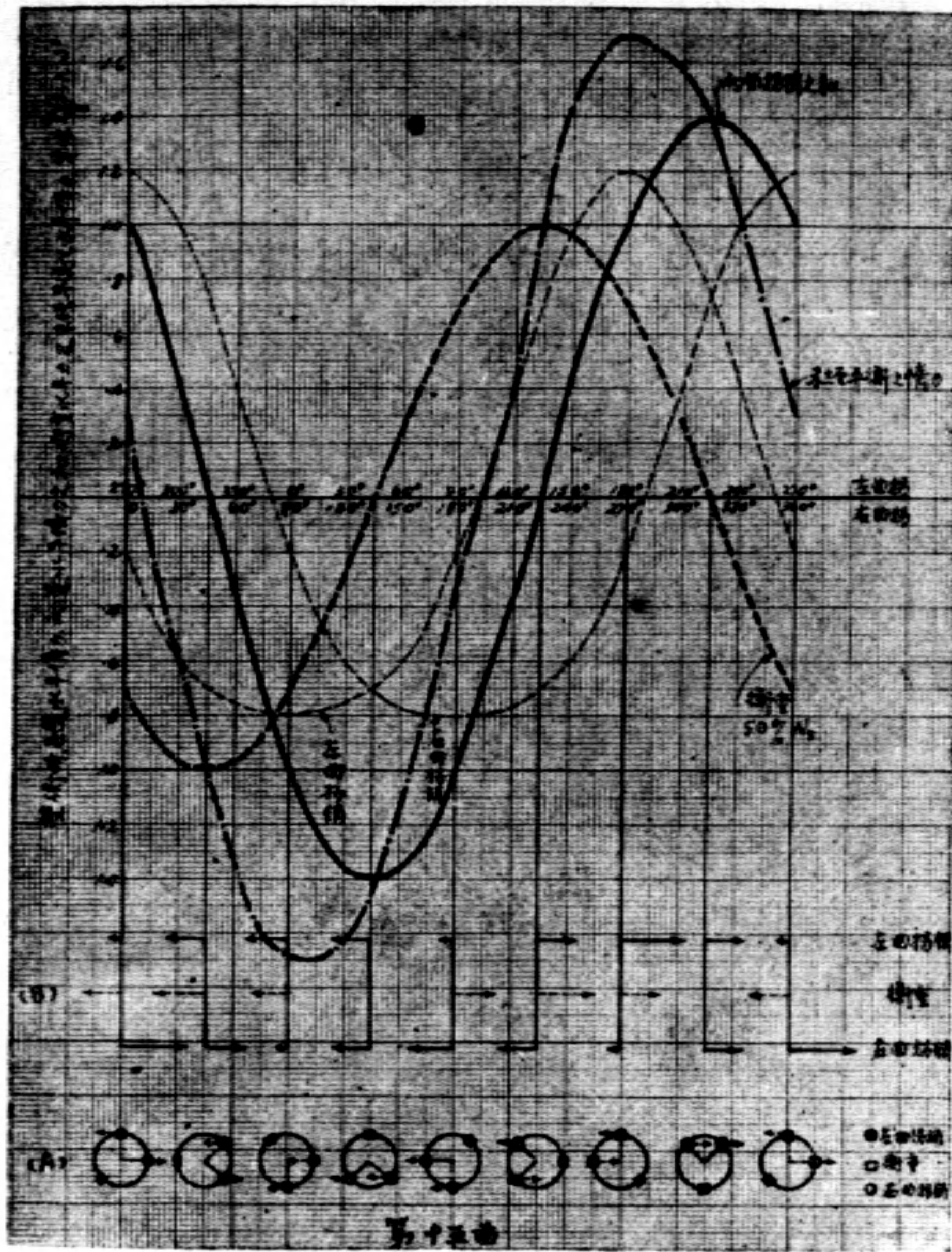
$$\text{衡重之水平力} = \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2(-\cos \theta)$$

$$\text{衡重之垂直力} = \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2(\sin \theta)。$$

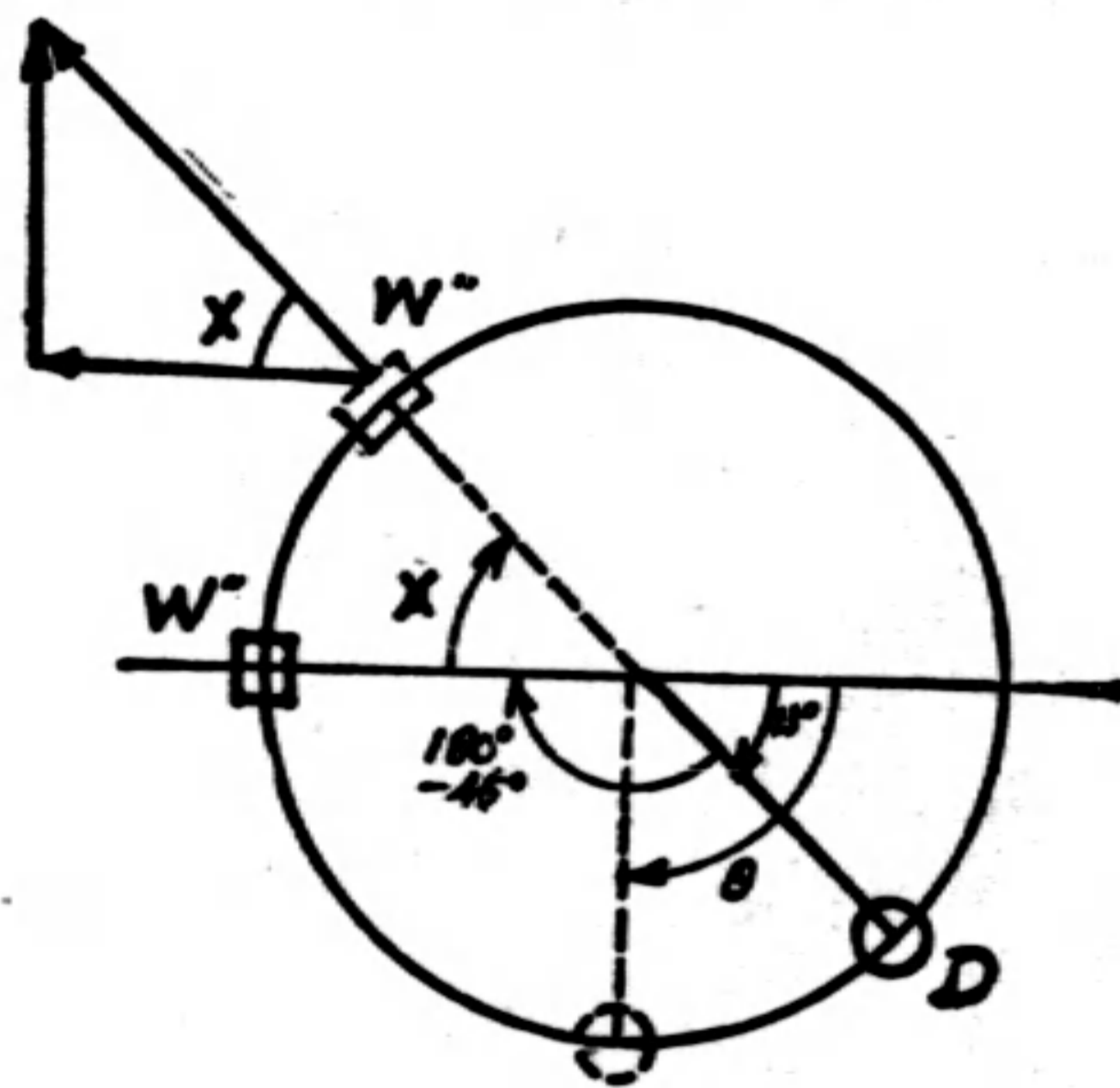
以水平力繪於第十二圖上，垂直力繪於第十三圖上，與原有之惰力比較。在第十二圖上，衡重之水平力適與惰力之水平力平衡。如按此辦法，則可無搖頭作用。但同一衡重亦生垂直力，在第十三圖上，衡重之垂直力十倍於原有惰力作用。不但機車之拐跛作用及搖頭作用將大增，且衡重向下時增加輪軸壓軌重為橋梁及軌道所不許，衡重向上時或將超過輪軸壓軌重使輪底離開軌道，有出軌之虞。所幸 W'' 平均分配於一邊之諸動輪上，其水平力仍合抗水平惰力，而垂直力由各輪分擔，為害較輕。又主動輪上旋轉部分甚重，所需衡重甚大，而地位有限，祇能分擔 W'' 之小部分，而大部分分配於其他動輪上，結果其他動輪衡重 W'' 垂直力之害反較主動輪為大。

尋常用 W'' 等於 W_s 之半，即所謂 50% 衡重。以此衡重，再用上法求其水平力與垂直力而繪於第十二三圖上，與原有惰力比較。雖垂直力已有原惰力五倍之大，而水平力尚有 50% 未經平衡。此方太過則彼方不足，祇好取其適中而已。

雙衡法——由前法已知惰力之垂直力甚小而水平力最大處達垂直力之 12 倍，故祇須研究水平力。如將兩邊曲拐之水平惰力同繪於第十五圖上，右曲拐在前左曲拐落後 90° ，而求此兩力之和。(A) 圖示兩曲拐銷在各種位置時相互關係。雙衡法即在兩曲拐銷差角平分線之對角置衡重，使此衡重 W'' 等於一邊之往復部分重量。即 W'' 等於 50% W_s 。此衡重之位置與右曲拐銷之關係如第十六圖。



第十五圖



第十六圖

W'' 與 D 之角距 $= 180^\circ - 45^\circ$

D 行至 θ ，則

W'' 行至 $180^\circ - 45^\circ + \theta$

即

$$x = 180^\circ - 45^\circ + \theta = 180^\circ - (45^\circ - \theta)$$

$$\text{衡重水平力} = \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \cos\{180^\circ - (45^\circ - \theta)\}$$

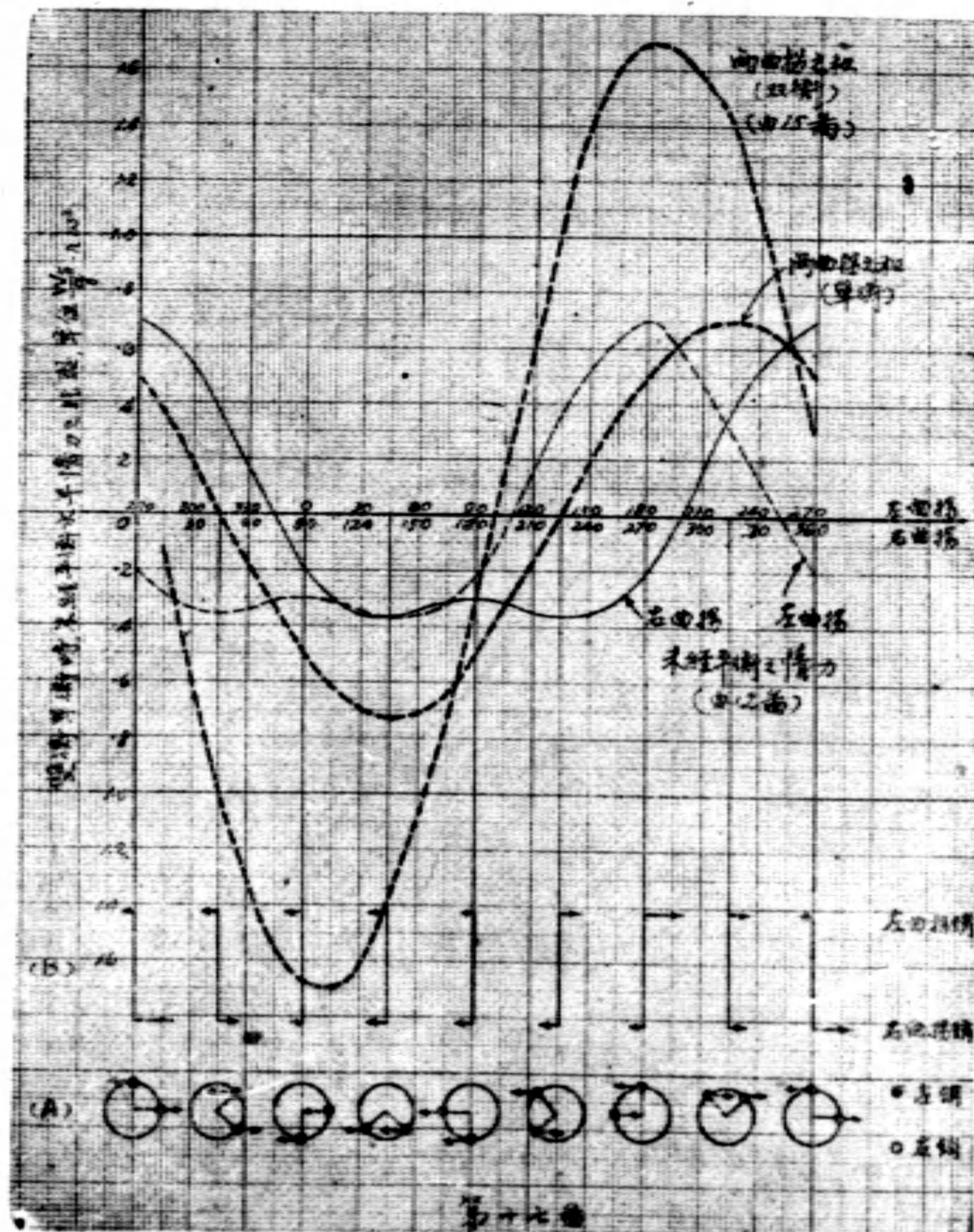
$$= \frac{W_s}{g} \cdot r\omega^2 \left\{ -\cos(45^\circ - \theta) \right\}$$

$$\text{平衡垂直力} = \frac{W_s}{g} r\omega^2 \cdot \sin(45^\circ - \theta)$$

以此平衡之水平力繪於第十五圖，垂直力繪於第十三圖。可知垂直力之變化與單衡時相等。不過其位置變動而已，無關緊要。惟第十五圖所示未能恰意。如將平衡水平力曲線與原惰力之和之曲線相消，得一未經平衡惰力曲線，其數值反較原惰力之和大。

第十五圖中之 B 示未經平衡時，兩邊水平惰力之現象。右曲拐銷在 $45^\circ, 225^\circ$ 時，兩平行力相等而反向，各成一力矩，而兩力矩又互反向。使機車先向左繼向右轉；在 $135^\circ, 315^\circ$ 時兩平行力相等而同向，使機車始向後縮繼向前伸；在其他角度時，先使機車左轉之力矩大，漸次減小以至於零，然後使機車右轉之力矩漸大，再減小以至於零。此力矩與兩汽缸中心線距離成正比，故汽缸置於兩底架間(即內汽缸式)較置於兩底架外(即外汽缸式)者，其搖頭作用較小。

再將第十二圖及第十五圖未經平衡之惰力，同繪於第十七圖上。但第十二圖所得為機車右邊之現象。再將左邊未經平衡之惰力繪上，以求其和。可見雙衡餘力大於單衡餘力二倍以上，可知單衡結果反較優也。



第十七圖

第十七圖(B)方示單衡後兩邊曲拐銷惰力之大小及關係，其現象與第十五圖(B)方所示者相同，但如此比較其力值之大小，可知單衡後，水平惰力之作用減小約半數。即伸縮作用與搖頭作用皆減去半數也。

研究結果，機車往復部分惰力之平衡方法，無絕對有效辦法。比較上相當簡單及相當有效者為單衡法。惟所用衡重之量，對水平惰力言，以越大越有效，最大以等於往復部分之全重；但對垂直惰力言，以越小越無流弊，最小以不加衡重為宜。通常所用衡重之量，為往復重量之一部份，使其垂直力不超過一定限度。

4. 搖桿之衡重。

搖桿運動之惰力，由本章(6)(7)兩式得：

$$F_{xc} = \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \left(\cos \theta + \frac{r}{l} \cdot \cos 2\theta \right) - \frac{W_c}{g} \cdot \frac{d}{l} \cdot r\omega^2 \cos 2\theta \frac{r}{l} \dots\dots\dots(12)$$

$$F_{yc} = \frac{W_c}{g} r\omega^2 \cdot \left(1 - \frac{d}{l} \right) \frac{r}{l} \cdot \left(\cos \theta + \frac{r}{l} \cos 2\theta \right) \sin \theta - \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \frac{k^2}{l^2} \sin \theta \dots\dots\dots(13)$$

仍設 $\frac{r}{l} = \frac{1}{5}$

又設 $\frac{d}{l} = \frac{5}{8}$

$$\frac{k^2}{l^2} = \frac{1}{2}$$

$\frac{d}{l}$ ， $\frac{k^2}{l^2}$ 之比數為一般設計之平均數，如須精密計算，可用單擺法 (Simple pendulum) 求 k 之值，并釐定重心後得 d 之值。以上三個數值代入上二式中得(14)(15)兩式，并列下表計算，曲拐旋轉一周時，視搖桿惰力之變化。

$$F_{xc} = \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \left(\cos \theta + \frac{1}{5} \cos 2\theta \right) - \frac{W_c}{g} r\omega^2 \cdot \frac{1}{8} \cos 2\theta \dots\dots\dots(14)$$

$$F_{yc} = \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 \left(\cos \theta + \frac{1}{5} \cos 2\theta \right) \cdot \frac{3 \sin \theta}{40} - \frac{W_c}{g} r\omega^2 \cdot \frac{1}{2} \sin \theta \dots\dots\dots(15)$$

θ	$\cos \theta$	$\cos 2\theta$	$\frac{\cos 2\theta}{5}$	$\cos \theta + \frac{\cos 2\theta}{5}$ (A)	$\frac{1}{8} \sin 2\theta$ (B)	$\sin \theta$	$\frac{3}{40} \sin \theta$	$\frac{3}{40} \sin \theta \left(\cos \theta + \frac{\cos 2\theta}{5} \right)$ (C)	$\frac{1}{2} \sin \theta$ (D)
0°	1	1	0.2	1.2	+0.125	0	0	0	0
30°	0.866	0.5	0.1	0.966	+0.052	0.5	0.037	+0.033	0.25
60°	0.5	-0.5	-0.1	0.4	-0.06	0.866	0.035	+0.026	0.433
90°	0	-1	-0.2	-0.2	-0.125	1.0	0.075	-0.015	0.5
120°	-0.5	-0.5	-0.1	-0.6	-0.06	0.866	0.065	-0.039	0.433
150°	-0.866	+0.5	+0.1	-0.766	+0.062	0.5	0.037	-0.028	0.25
180°	-1.0	+1	+0.2	-0.8	+0.125	0	0	-0	0
210°	-0.866	+0.5	+0.1	-0.766	+0.062	-0.5	-0.037	+0.028	-0.25

240°	-0.5	-0.5	-0.1	-0.6	-0.062	-0.866	-0.065	+0.039	-0.433
270°	0	-1	-0.2	-0.2	-0.125	-1.0	-0.075	+0.015	-0.5
300°	+0.5	-0.5	-0.1	+0.4	-0.062	-0.866	-0.065	-0.026	-0.433
330°	+0.866	0.5	0.1	+0.966	+0.062	-0.5	-0.037	-0.036	-0.25
360°	+1	+1	+0.2	+0.12	+0.125	0	0	0	0

(14)(15)兩式可記爲

$$F_{xc} = \frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2 (A - B)$$

$$A = \cos \theta + \frac{1}{5} \cos 2\theta$$

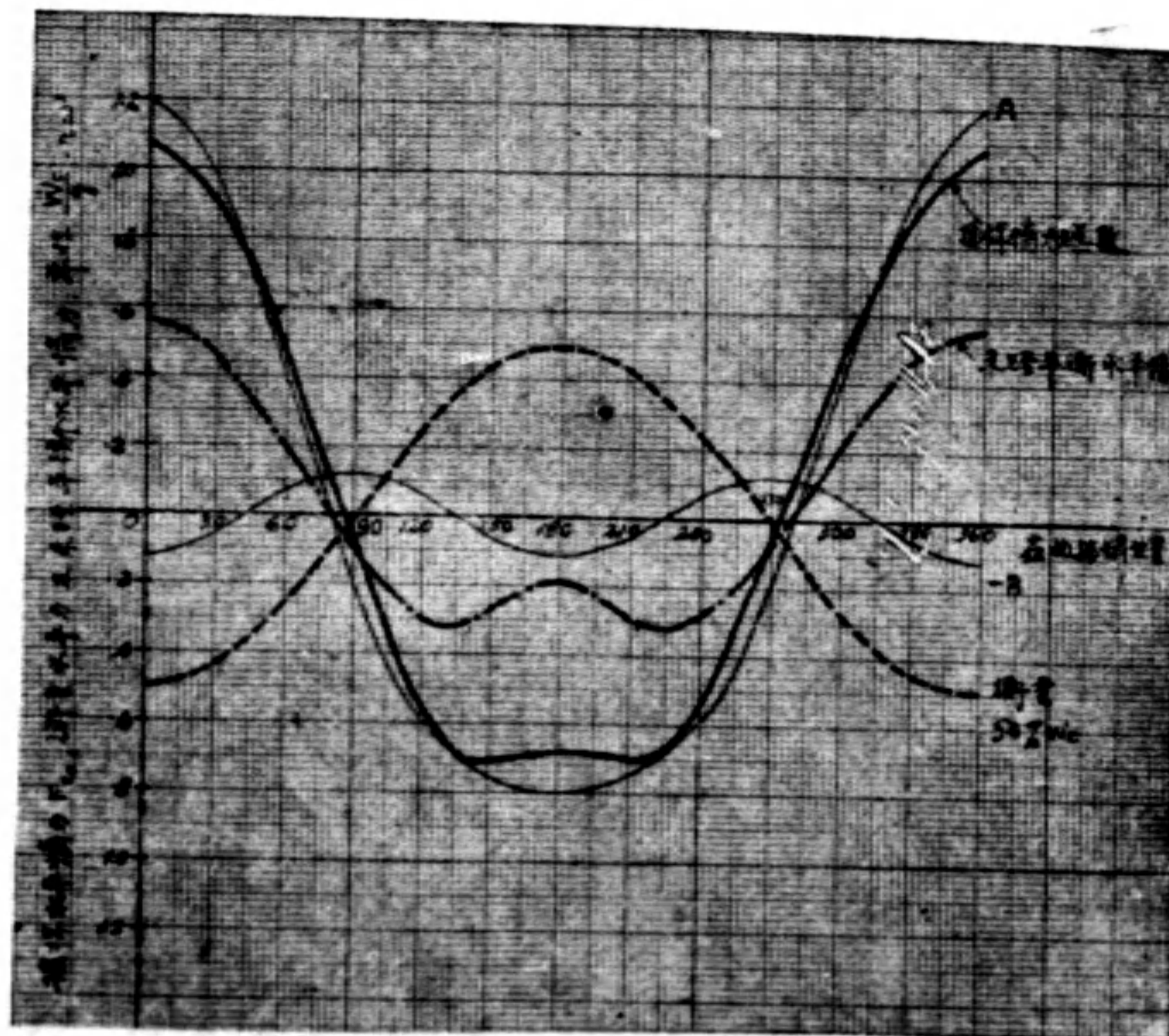
$$B = \frac{1}{8} \cos 2\theta$$

$$F_{yc} = \frac{W_c}{g} r\omega^2 (C - D)$$

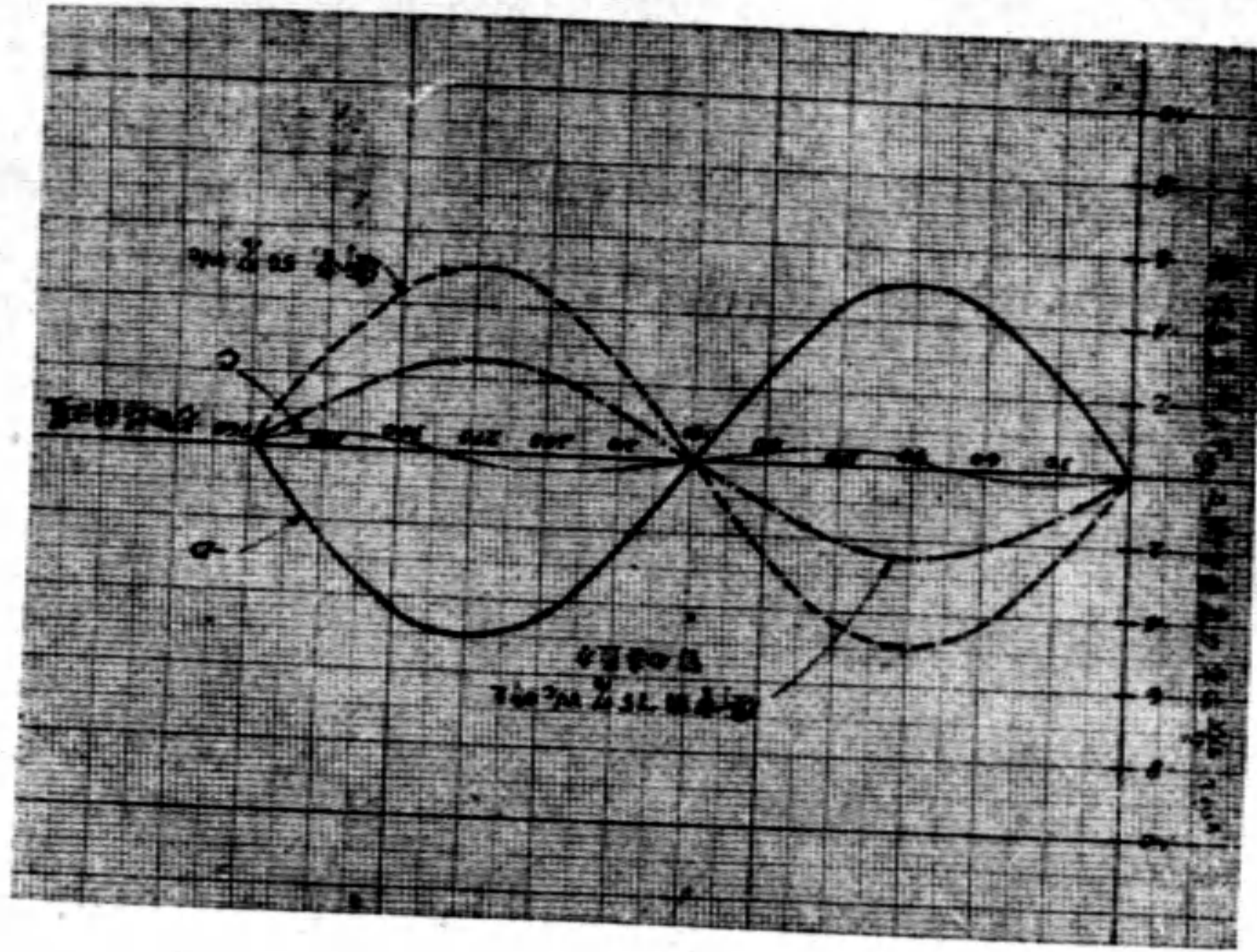
$$C = \left(\cos \theta + \frac{1}{5} \cos 2\theta \right) \frac{3 \sin \theta}{40}$$

$$D = \frac{1}{2} \sin \theta$$

將上式依上表計算結果繪成第十八圖及第十九圖。第十八圖中 A 線爲搖桿往復動之水平惰力，-B 爲搖桿擺動之水平惰力。兩相比較，可知擺動作用祇約爲往復動之 10%。第十九圖中 C 線爲搖桿往復動之垂直惰力，D 爲搖桿擺動之垂直惰力，可知搖桿擺動時垂直作用甚



第十八圖



第十九圖

大，約爲往復動之十倍。可知搖桿水平惰力幾全爲往復動之結果，其垂直惰力幾全爲擺動之結果。

今試以 W''' 爲衡重，置於曲拐銷同一直徑之對面，距輪之中心爲 r ，并使 $W''' = \frac{1}{2} W_0$ ，即用搖桿重量之半爲衡重。并將此衡重之水平力及垂直力分繪於第十八，十九兩圖。垂直力幾將搖桿惰力完全平衡。水平力亦將搖桿惰力半數平衡。

尋常平衡搖桿之辦法係將一部分重量作爲旋轉動與曲拐銷同樣處理，又將另一部分重量作爲往復動與機車其他往復部分同樣處理。其分別重量方法有三：

- (1) 將搖桿重量之半爲旋轉動，另一半爲往復動；
- (2) 將搖桿重量之 $\frac{5}{8}$ 爲旋轉動， $\frac{3}{8}$ 爲往復動；
- (3) 將搖桿兩端分置於兩個臺秤上，使其中心線水平，其大頭之重量作爲旋轉動，小頭之重量爲往復動。

今即以 (1) 法計算與事實相差不遠。搖桿之半重爲旋轉動即衡重爲 $\frac{1}{2} W_0$ ；另一半重爲往復動，其衡重之量依前節說明應爲 $\frac{1}{4} W_0$ ；全衡重爲 $\frac{3}{4} W_0$ 。如將 $\frac{3}{4} W_0$ 之衡重之水平力及垂直力與第十八圖十九圖相較，可知水平力又平衡了水平惰力一部分，但垂直力毫無惰力平衡而成爲自由力，惟與往復部分之衡重自由垂直力相較，尙甚小。且與 W'' 同樣分置於諸動輪上，使諸動輪分擔垂直力之一部爲害甚小。

5. 全體衡重。

以機車之一邊言：

W' = 旋轉部分之衡重

= 曲拐銷，曲拐銷座，聯桿之屬於該銷者之全部重量。在主動輪須加偏心曲拐之全重。

W'' = 往復部分之衡重

$= \frac{1}{2}$ (汽餅及漲圈，汽餅桿，螺帽，扁銷全重加十字頭及滑履，十字頭銷，螺帽全重)

閥動機關之先距入距桿(Lop and lead lever)之 $\frac{1}{4}$ 重量及其聯合桿 (Union link) 及螺帽之全重。

$W''' =$ 搖桿之衡重

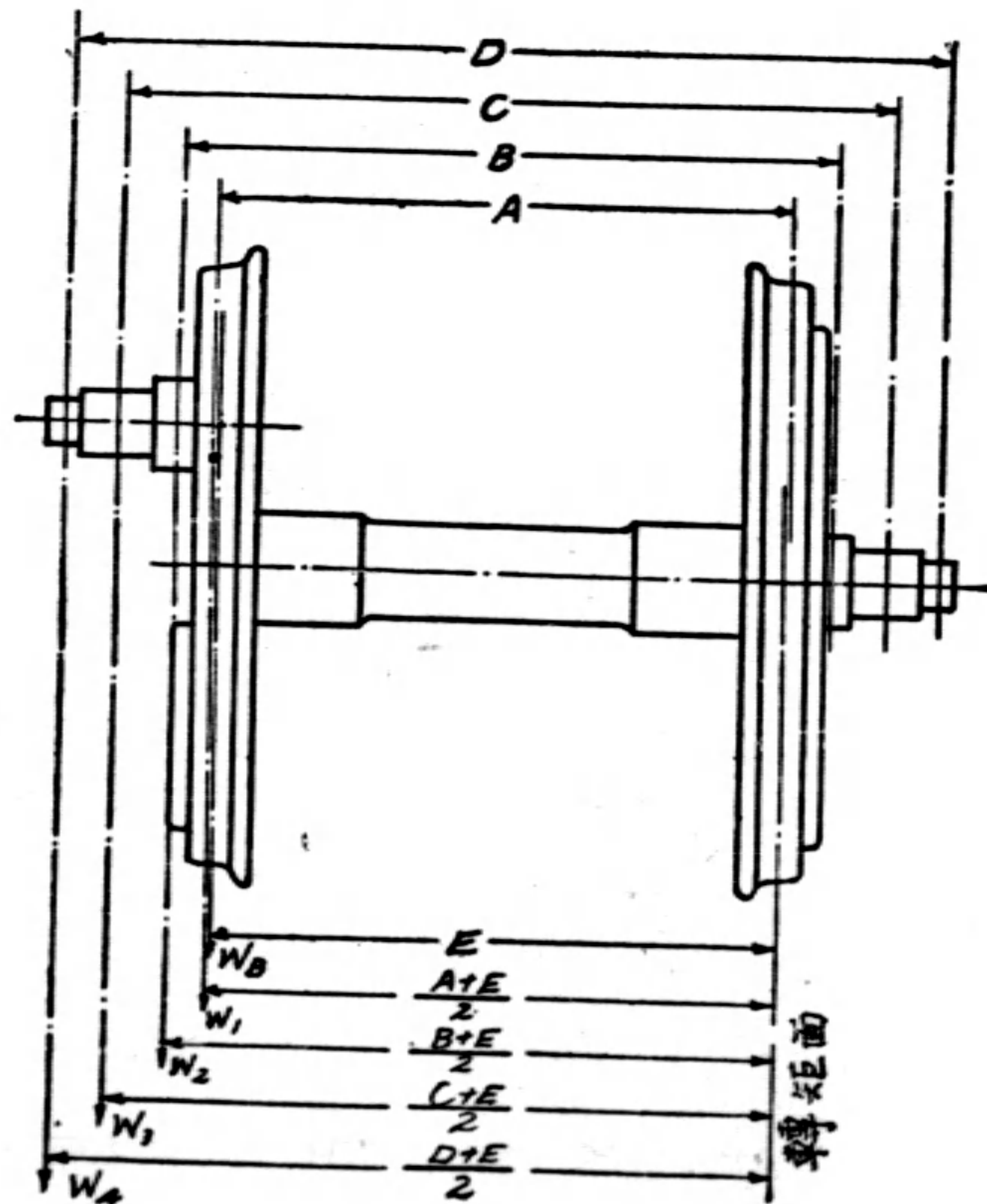
$= \frac{3}{4}$ (搖桿全體及其附屬之銅瓦斜鐵螺栓螺帽之全重)

此種衡重必須置於曲拐銷同一直徑之對面，且其重心距輪中心必為 r ，如不為 r 而為 r' ，則其重量應以 $\frac{r}{r'}$ 校正。 W' 必置於所平衡之輪上。 W''' 之 $\frac{2}{3}$ (即 $\frac{1}{2} W_c$) 必置於主動輪上。 $\frac{1}{3} W'''$ (即 $\frac{1}{4} W_c$) 及 W'' 可平均分置於各動輪上。但主動輪上旋轉部分之衡重太多，輪心地位有限，有時不能安插 W'' 之分量，此時可儘量放入，將其不能安插之部分，平均分置於他輪上。又此種衡重與其所平衡之各部分不同在一直立平面上，可依第十一圖辦法而求其複衡。

茲依 1931 美國鐵路學會 A. A. R. 發表之辦法說明之。

- (1) 主動輪用複衡法，
- (2) 其他動輪用直衡法，

用第二十圖說明主動輪之複衡法：



第二十圖

設

 A = 曲拐銷座中心距， B = 聯桿中心距， C = 主動輪曲拐銷中心距， D = 偏心曲拐銷中心距， E = 衡重中心距， W_1 = 曲拐銷座之重， W_2 = 部分聯桿之重， W_3 = 大頭搖桿之重， W_4 = 偏心曲拐之重， $W_t = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$ ， W_B = 全體衡重 w_B = 對面主動輪所需小衡重， W_x = 往復部分之全重。

以右邊曲拐銷座中心所在之直立平面為轉矩面，則

$$w_B E = W_1 \cdot \frac{A+E}{2} + W_2 \cdot \frac{B+E}{2} + W_3 \cdot \frac{C+E}{2} + W_4 \cdot \frac{D+E}{2}$$

$$w_B = \frac{W_1 A + W_2 B + W_3 C + W_4 D}{2E} + \frac{W_t}{2}$$

W_B 中有 W_t 為旋轉部分之衡重，所餘 $W_B - W_t$ 為往復動之衡重。如往復部分所需之衡重為 $\frac{W_x}{2}$ ，則

$$\frac{\frac{W_x}{2} - (W_B - W_t)}{W_x} \times 100 = \% W_x$$

$$\text{所餘 } 50\% - \frac{\frac{W_x}{2} - (W_B - W_t)}{W_x} \times 100\% \text{ 必須加於其他動輪上。}$$

6. 錘擊作用。

錘擊作用 (Hammer blow, or dynamic augment) 為未經平衡之垂直惰力或多餘衡重之垂直力。細閱第十三圖可知往復部分無未經平衡之垂直惰力，而全部衡重之垂直力全為自由垂直力而生錘擊作用。又閱第十九圖全部衡重為 $75\% W_c$ ，其中 $50\% W_c$ 完全與搖桿惰力平衡，其餘 $25\% W_c$ 衡重之垂直力亦全為自由垂直力而生錘擊作用。計算衡重時以搖桿半重為旋轉動無多餘衡重，又以半重為往復動加入往復部分平衡。往復部分之衡重為 W_x 之半，即搖桿半重之半數亦加入 $\frac{W_x}{2}$ 為衡重。故全部往復部分之衡重應為 $\frac{W_x}{2} + \frac{W_c}{4}$ ，而此衡重之全部所生垂直力全為自由垂直力，曲拐在 90° 時，衡重向上，即將輪軸壓軌重減輕，曲拐在 270° 時，衡重向下，增加壓軌重，且其數值與 ω^2 為正比，即與速度之平方為正比。其數值關係甚大，須詳述之。

設全體衡重之垂直力為 F_{By} ，每個動輪衡重之垂直力為 F'_{By} ，衡重之量為 W_B ，曲拐角度為 θ ，每邊動輪數為 n ，則

$$F_{By} = \frac{W_B}{g} \cdot r\omega^2 \cdot \sin \theta$$

$$F'_{By} = \frac{F_{By}}{n} = \frac{W_B/n}{g} \cdot r\omega^2 \sin \theta$$

$\frac{W_B}{g} \cdot r\omega^2$ 為離心力， $\sin \theta$ 最大為 1，即 F_{By} 之值最大為 $\frac{W_B}{g} \cdot r\omega^2$ ，且 θ 在 90° 及 270° 時為 +1 及 -1，亦即錘擊作用最緊要地點。若每個動輪壓軌重為 W ，每動輪壓軌力為 F_W ，則

$$F_W = W \pm F'_{By} \text{ 之最大值，}$$

即

$$F_W = W \pm \frac{W_B}{ng} \cdot r\omega^2$$

離心力與速率平方成正比。尋常以直徑速率(Diameter speed)為計算基本，所謂直徑速率者，即以表動輪直徑之吋數表機車速率之每小時哩。設動輪直徑為 D 吋，則直徑速率為 D 哩/小時。先將此速率之離心力算好，其他速率時之離心力即以 $\frac{V^2}{D^2}$ 乘之即得。茲求 D 哩/小時之離心力：——

$$D \text{ 哩/小時} = \frac{D \times 5280}{60 \times 60} \text{ 呎/秒}$$

$$\text{輪周} = \frac{\pi D}{12} \text{ 呎}$$

$$n = \text{每秒鐘動輪轉數} = \frac{D \times 5280}{60 \times 60} \div \frac{\pi D}{12} = 5.6$$

$$\omega = 2\pi n = 11.2\pi$$

設汽餅行程 = l 吋

$$r = \frac{l}{2} \text{ 吋} = \frac{l}{24} \text{ 呎}$$

$$\therefore \frac{W_B}{g} \cdot r\omega^2 = \frac{W_B}{32.2} \cdot \frac{l}{24} \cdot (11.2\pi)^2 = 1.6W_B l$$

即機車速率為 D 哩/小時時，

$$F_{By} \text{ 之最大值} = 1.6W_B l$$

$$W_B = \frac{1}{2} W_s + \frac{1}{4} W_o$$

設有一 4-4-2 機車如下：——

汽缸直徑與行程 23.5 × 26 吋

動輪直徑 80 吋

鍋爐汽壓 205 磅/方吋

工作狀態下每對輪壓軌重 68,000 磅/每動軸。

每邊往復部分之重量如下：——

汽餅，汽餅桿及其附件.....	408.5 磅	}	735.5 磅
十字頭，十字頭銷及其附件.....	812.0 磅		
聯合桿等.....	15.0 磅		
搖桿小頭重量.....	279.5 磅		
	1,015.0 磅		

$$W_B = \frac{1}{2} \times 1015 = 507.5 \text{ 磅}$$

∴ F_{By} 之最大值，在 D 哩/小時時， $= 1.6 \times 507.5 \times 26 = 21,100$

F_{By} 之最大值，在 D 哩/小時時 $= 10,550$

$$\text{每個動輪壓軌重} = \frac{1}{2}(68,000) = 34,000$$

即機車速率為 80 哩/小時時，每個動輪之錘擊作用 $= \frac{10,550}{34,000} = 31.0\%$ 動輪壓軌重。

如機車速率不為 80 哩/小時，而為 70，60，50，40 哩/小時，則 F'_{By} 之最大值如下：——

速 率	$\frac{V^2}{D}$	F'_{By}	$\frac{F'_{By}}{34,000} \times 100\%$
80	—	10,550 磅	31.0%
70	$(\frac{70}{80})^2 = 0.765$	8,100 磅	23.7%
60	$(\frac{60}{80})^2 = 0.562$	5,950 磅	17.5%
50	$(\frac{50}{80})^2 = 0.390$	4,125 磅	12.1%
40	$(\frac{40}{80})^2 = 0.250$	2,650 磅	7.8%

尋常錘擊作用之限制，由各國各路自定，有定為 D 速率時不得超過 60% 者，有定為某速率時不得超過若干%者。如規定錘擊作用之限制，則計算衡重時以此為根據而求適當之衡重，但此時衡重 W_B 即不為 $\frac{W_s}{2} + \frac{W_c}{4}$ 矣。如規定衡重 W_B 必為 $\frac{W_s}{2} + \frac{W_c}{4}$ ，又規定錘擊作用之限制，則計算達此限制之速率，限此速度為最高速率，如超過此數，則錘擊作用增大。

茲再以此機車試第十三圖及第十九圖之計算，是否確合上列計算法。

由第十三圖知往復部分衡重之最大自由垂直力為 0.5，其單位為 $\frac{W_s}{g} r \omega^2$ 。

$$W_s = 735.5 \text{ 磅}$$

$$r = \frac{26}{2} \times \frac{1}{12} = 1.08 \text{ 呎}$$

$$\omega^2 = (2\pi n)^2$$

n = 每秒旋轉數

$$\frac{735.5}{32.2} \times 1.08 (2\pi n)^2 = 1 \text{ 單位}$$

$$(2\pi n)^2 = \frac{1}{28}$$

$$n^2 = \frac{1}{24.6 \times 39.6} = \frac{1}{975}$$

$$n = \frac{1}{31.2} = 0.032 \text{ 轉數/秒}$$

即 n 為 0.032 轉/秒 時，垂直力為 0.5 單位

如 n 為 5.6 轉/秒 時，即機車速率為 D 哩/時，

$$\text{垂直力應為 } 0.5 \times \left(\frac{5.6}{0.032}\right)^2 = 0.5 (175.0)^2 = \frac{30,600}{2} = 15,300 \text{ 磅}$$

第十九圖搖桿衡重之自由垂直力，最大值為 0.25，其單位為 $\frac{W_c}{g} \cdot r\omega^2$

$$W_c = 279.5 \text{ 磅} \times 2 = 559.0 \text{ 磅 (設小頭重為半重)}$$

$$r = 1.08 \text{ 呎}$$

$$\omega^2 = (2\pi n)^2, n \text{ 為每秒旋轉數。}$$

$$\frac{2 \times 279.5}{32.2} \times 1.08 (2\pi n)^2 = 1 \text{ 單位}$$

$$(2\pi n)^2 = \frac{1}{18.75}$$

$$n^2 = \frac{1}{8.75 \times 39.6} = \frac{1}{742.5}$$

$$n = \frac{1}{27.2} = 0.0368 \text{ 轉數/秒}$$

即 n 為 0.042 轉/秒 時，垂直力為 0.25 單位。

如 n 為 5.6 轉/秒 時，即機車速率為 D 哩/時，

$$\text{垂直力應為 } 0.25 \left(\frac{5.6}{0.037}\right)^2 = 0.25 \times 23,000 = 5,750 \text{ 磅。}$$

兩值相加為 $(15,300 + 5,750) = 21,050$ 與 F_{By} 之最大值，21,100 # 較，小 0.2%。

故如 r ， W_c 及 W_c 為已知數，則在任何速率下之水平力及垂直力皆可於 12, 13, 18, 19 圖中求得之。換言之，曲拐在任何位置時，往復部分之水平惰力，衡重之水平力，未經平衡之水平惰力皆可於第十二圖中求得其瞬值；往復部分之垂直惰力，衡重之垂直力，多餘衡重之自由垂直力，皆可於第十三圖中求得其瞬值。又曲拐在任何位置時，搖桿之水平惰力，衡重水平力及未經平衡之水平惰力皆可於第十八圖中求得其瞬值；搖桿之垂直惰力，衡重之垂直力，及多餘衡重之自由垂直力皆可於第十九圖中求得其瞬值。且可於第十八，十九圖中分別搖桿往復動及擺動之相互關係，及其瞬值。惟以上所得衡重 W'' 之垂直力係全體垂直力，如衡重 W'' 分置於 n 輪上，須以 n 除之。

7. 衡重與汽力之關係。

在第三章討論汽壓時，知曲拐旋轉一周間，汽壓之變化甚大。茲研究惰力變化與汽壓變化之關係，及衡重自由力與汽壓變化之關係。第七圖第八圖示汽壓之變化，第12, 13, 18,

19 圖示惰力之變化，惟兩種單位不同不能直接比較。茲用上節所用 4-4-0 機車以視其關係，又因第 7, 8 圖所用汽壓指示圖係另一機車而平頭又無 4-4-0 機車之任何指示圖。今假定第三章汽壓指示圖即為 4-4-0 之汽壓指示圖，惟將其汽壓按 $\frac{205}{160}$ 之比校正之。今祇研究曲拐自 0° 至 180° 時間內之變化，可將第六圖之乙按以下改正重繪於第 21 圖上。

$$p' = \frac{205}{160} \cdot p = 1.24p \text{ 磅/平方吋}$$

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (23.5)^2}{4} = 434.0 \text{ 方吋}$$

即乙圖中之縱軸應以 $(1.24 \times 434 =) 540$ 乘之。

θ	乙圖 P 值	540 p = 汽餅水平力磅
0	120	65,000
30°	122	66,000
60°	113	61,000
90°	85	46,000
120°	60	32,400
150°	30	16,200
165°	0	0
180°	-80	-43,200

再由第 12, 18 兩圖求 W_s 及 W_c 之水平惰力及未經平衡之水平惰力。第三章汽力指示圖之速率為 143 r.p.m. (每分轉數)，即為 2.38 r.p.s. (每秒轉數)， $\omega = 2\pi(2.38)$ ， $r = 1.08$ 呎， $W_s = 735.5$ 磅， $W_c = 559$ 磅 (及小頭重量為全桿之半)

$$\frac{W_s}{g} r \omega^2 = \frac{735.5}{32.2} \times 1.08 (4.76\pi)^2$$

$$= 735.5 \times 7.5$$

$$= 5530$$

$$\frac{W_c}{g} r \omega^2 = \frac{559}{32.2} \times 1.08 (4.76\pi)^2$$

$$= 559 \times 7.5 = 4200$$

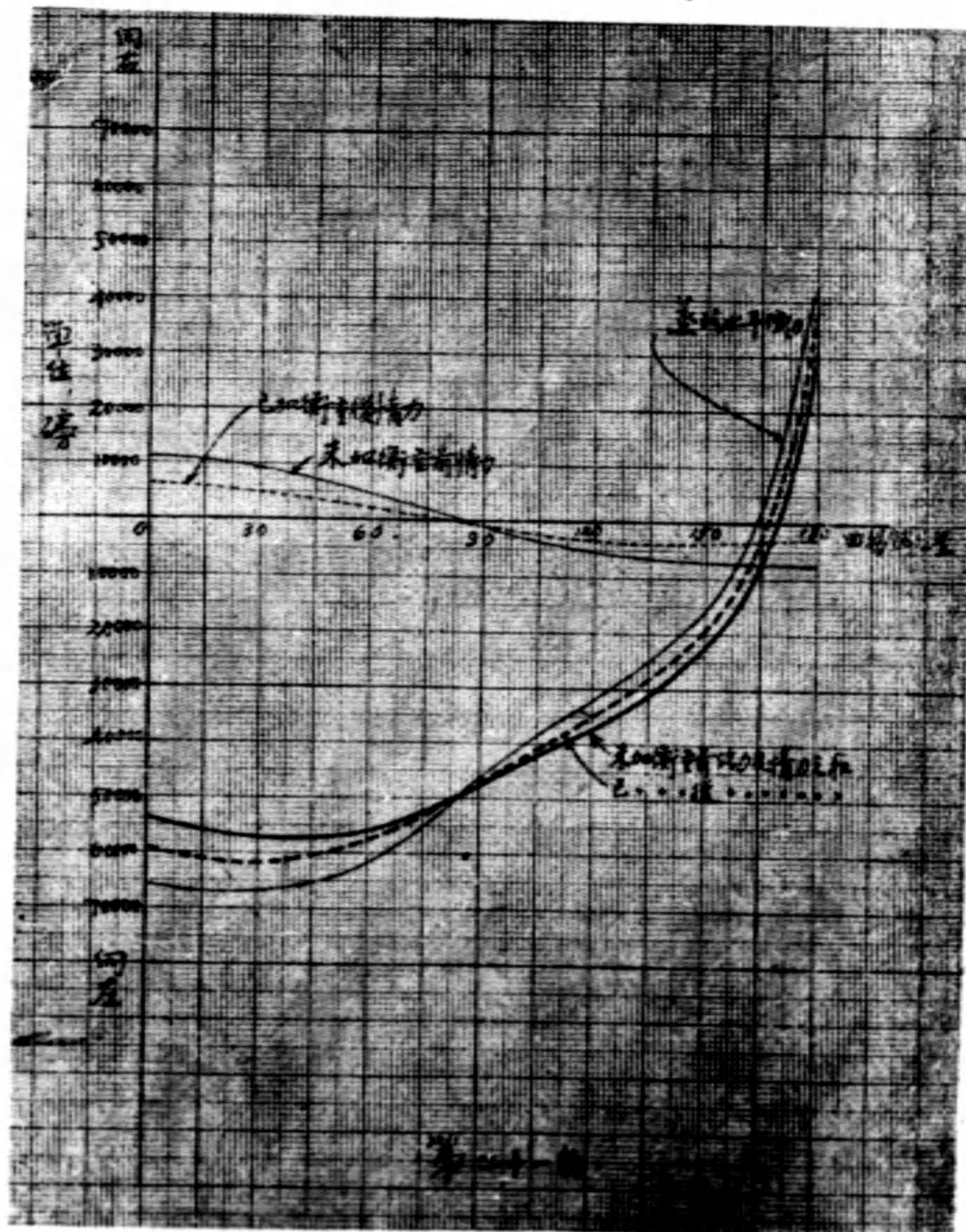
θ	未 平 衡 前 之 惰 力				
	$F_{zs}(12)$	$F_{zc}(18圖)$	$F_{zs}(\text{磅})$	$F_{zc}(\text{磅})$	$F_{zs} + F_{zc}(\text{磅})$
0°	1.2	1.08	6,650	4,540	11,190
30°	0.97	0.90	5,350	3,780	9,130
60°	0.40	0.47	2,210	1,975	4,185
90°	-0.20	-0.08	-1,110	-336	-1,446

120°	-0.60	-0.54	-3,320	-2,270	-5,590
150°	-0.77	-0.7	-4,260	-2,940	-7,200
180°	-0.80	-0.08	-4,430	-2,860	-7,290

θ	已 平 衡 後 所 餘 之 惰 力				
	F_{zs} (12 圖)	F_{zc} (18 圖)	F_{zs} (磅)	F_{zc} (磅)	$F_{zs}+F_{zc}$ (磅)
0°	0.7	0.57	3,870	2,400	6,270
30°	0.53	0.47	2,930	1,970	4,900
60°	0.15	0.20	830	840	1,670
90°	-0.2	-0.10	-1,100	-420	-1,520
120°	-0.35	-0.28	-1,935	-1,170	-3,105
150°	-0.34	-0.27	-1,880	-1,130	-3,010
180°	-0.30	-0.20	-1,660	-840	-2,500

將此所得亦繪於第 21 圖上，可知惰力與汽力相較實渺乎其小，且方向相反，故惰力作用適足以減低汽力之作用。

再用同法視汽力及惰力垂直作用之關係。并研究曲拐旋轉一周時(即 0° 至 360°)時之變化。設 4-4-0 搖桿之長為 r 之 6 倍。



第 二 十 一 圖

$$\frac{\pi d^2}{4} \times \frac{1}{6} \times 1.24p = 90p.$$

由第八圖得 p 之值。

θ	θ	8 圖 p 值(右)	$90p =$ 右汽餅無直力, 磅
	0	0	0
210°	30°	-85	-7,650
240°	60°	-100	-9,000
270°	90°	-85	-7,650
300°	120°	-52	-4,630
330°	150°	-22	-1,980
360°	180°	0	0

未 加 衝 重 前

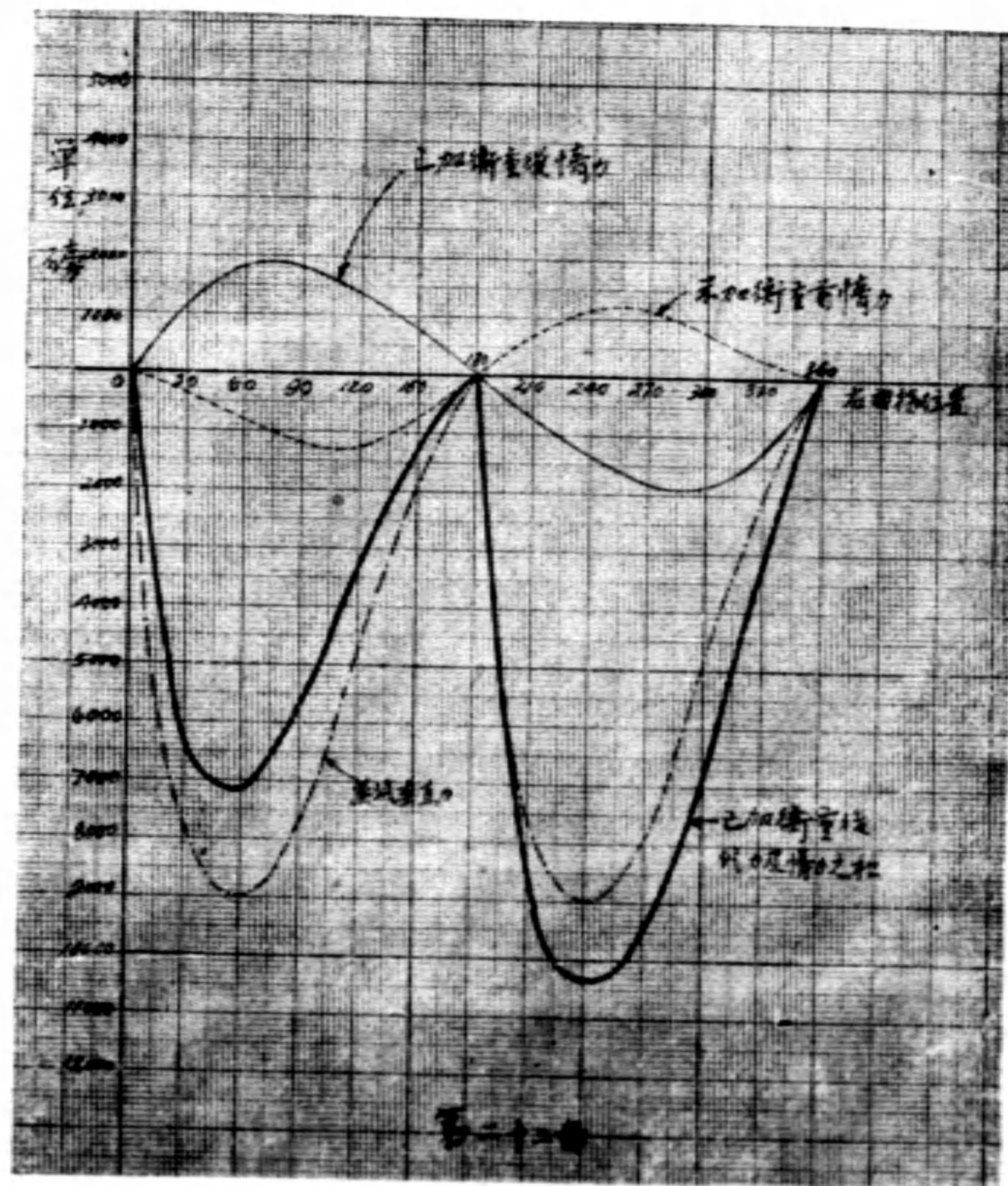
θ	F_{ys} (13 圖)	$F_{ys} \times 5530$	F_{yc} (19 圖)	$F_{yc} \times 4200$	$F_{ys} + F_{yc}$	$\frac{F_{ys} + F_{yc}}{2}$ 因有兩對動輪(磅)
0°	0	0	0	0	0	0
30°	0.09	500	-0.25	-1,050	-550	-275
60°	0.07	388	-0.45	-1,890	-1,502	-751
90°	-0.04	-222	-0.50	-2,100	-2,322	-1,161
120°	-0.10	-553	-0.45	-1,890	-2,443	-1,221
150°	-0.07	-388	-0.25	-1,050	-1,438	-719
180°	0	0	0	0	0	0
210°	0.07	388	+0.25	1,050	+1,438	+719
240°	0.10	553	+0.45	1,890	+2,443	+1,221
270°	0.04	222	+0.50	2,100	+2,322	+1,161
300°	-0.07	-388	+0.45	1,890	+1,502	+751
330°	-0.10	-553	+0.25	1,050	+550	+275
360°	0	0	0	0	0	0

已 加 衝 重 後

θ	F_{ys} (13 圖)	$F_{ys} \times 5530$	F_{yc} (19 圖)	$F_{yc} \times 4200$	$F_{ys} + F_{yc}$	$\frac{F_{ys} + F_{yc}}{2}$ (因有兩對動輪)
0°	0	0	0	0	0	0
30°	0.35	1,930	0.12	505	2,435	1,217

60°	0.50	2,770	0.22	925	3,695	1,847
90°	0.46	2,540	0.25	1,050	3,590	1,795
120°	0.33	1,820	0.22	925	2,745	1,372
150°	0.25	1,380	0.12	505	1,885	942
180°	0	0	0	0	0	0
210°	-0.18	-1,000	-0.12	-505	-1,505	-752
240°	-0.33	-1,820	-0.22	-925	-2,745	-1,372
270°	-0.46	-2,540	-0.25	-1,050	-3,590	-1,795
300°	-0.50	-2,770	-0.22	-925	-3,695	-1,847
330°	-0.35	-1,930	-0.12	-505	-2,435	-1,217
360°	0	0	0	0	0	0

將上表繪入 22 圖，可知惰力最大值不足汽力最大值之四分之一。在未加衡重前，前半轉兩力相生，後半轉兩力相尅。在已加衡重後，則前半轉兩力相尅，後半轉兩力相生；且此時惰力之絕對值反增加約 50%，故衡重對於垂直惰力不但無益，反而有損。如將已加衡重後惰力與汽力相加，則在圖上得粗線，在 240° 時其向下垂直力為 10,400 磅，約為每個動輪壓重之 $\left(\frac{10,400}{34,000} = \right) 30.6\%$ ，與機車速率為 D 哩/小時之錘擊作用為 31% 者相差不遠。但上列計算中之動輪旋轉數為 143 轉/分，即 2.38 轉/秒。如轉數/秒達 5.6，則惰力應為 $\left[\left(\frac{5.6}{2.38}\right)^2 = \right]$



第 二 十 二 圖

5.5 倍，即最大值應為 $(5.5 \times 1,900 =) 10,450$ 磅。但在 80 哩/小時之速率時，汽力無如許之大。此時最大之蒸汽衝擊垂直力祇為 4,700 磅，約為惰力垂直力之 $(\frac{4,700}{10,450} =) 45.0\%$ 。如將各種速率時之汽力垂直力與惰力垂直力同繪於一圖上，則可知在低速率時汽力最大惰力最小，及速率漸增則汽力轉減惰力漸增，迨速率大增惰力大於汽力，至速率為 D 哩/小時或超過時，惰力之錘擊力最大而汽力反不足惰力之半矣。此計算衡重者之必限衡重之錘擊作用也。

在水平力方面(第 21 圖)惰力作用本居於次要地位。學者每於往復部分之水平惰力發生搖頭作用，設種種辦法以平衡或消滅一部分水平惰力。但如從 21 圖及第 7 圖研究可知汽力作用所發生之搖頭作用當為水平惰力所發生者大四五倍。如將各種速率時之汽力水平力與惰力水平力同繪一圖，則可知孰為輕重矣。然汽力作用既已如此之大，且在雙汽缸機車無法避免之時，惰力作用能減少至最小限度，為善雖不大，亦不能因其小而不為也。

8. 結論

雙缸機車之衡重既如上述，可知旋轉部分之衡重毫無問題，惟往復部分之惰力不平衡則不行，衡重大則生錘擊力，於是折中辦法祇平衡其半。即平衡其半，在直徑速率時，其錘擊力已甚大，邇來行車速率加大，超過直徑速率，其錘擊力必甚駭人。最近美國鐵路學會(A. A. R.)試驗動輪離軌速率，Ry. Mech. Eng'r. Mar. 1939，機車跑高速率時動輪離軌速率約如下：——

機車號式	別	動輪直徑(吋)	離軌速率哩/小時	往復部分之重量(磅)	離軌速率超過直徑速率%
S-4	4-6-4	78	98-108	2,109	32%
S-4-A	4-6-4	78	88-100	2,109	20.5%
S-4-A	4-6-4	78	112-128	1,026	54.0%
M-4-A	2-10-4	64	80	2,480	25.0%
O-5	4-8-4	74	93-104	1,378	32.0%
C-5-A	4-8-4	74	111-115	2,453	52.5%

試驗時動輪實在離開軌道，故錘擊力必設法減小。減小之法不外以下二途：——

- (1) 用合金輕質鋼製造往復部分；
- (2) 減少往復部分衡重之重量。

雙缸機車汽力水平力所生之搖頭作用，內汽缸或較外汽缸式小，然較三汽缸機車則不如遠甚。三汽缸機車衡重問題亦不如雙汽缸者嚴重。雙汽缸機車行動時雖已設法平衡其惰力，但仍多不必要之震動與搖撼也。

航空新著

航空氣象學

(版出館譯編立國)

元四價定 冊一 著千虞黃

航空氣象學專以有關航空事業之大氣界情況為研究之對象。本書內容分十七章，除敘述航空應用之氣象學上通常原則外，對於風、天氣、雷陣、雲霧、飛機積冰、亂流、能見度等項，論述尤詳。飛機之構造與飛機不同，其所需氣象知識亦異，特另闢專章論之。全書於闡發理論外，多舉實例說明，以符實用科學之旨。

國際空戰法規

角六價定 冊一 著將我林

本書分爲十章，其要點在敘明戰爭法與空戰法之來源及其演進程序，並說明需要此項法律之理由。此外對於空戰法規演進中之國際政治背景，亦多所討論。

翱翔

(書叢空航)

角七價定 冊一 編合逸何 稷景李

本書分爲應用與理論兩部。在應用部分，述飛行之準備、地點之選擇、氣候之關係、翱翔機之種類、材料、製造等；關於飛行技術，尤能本著者之經驗與心得，作切實之指導。其理論部分，則將空氣動力學、空氣靜力學，加以說明，以闡發「飛行即速度」之原理，及飛行機各部分所受之力與其材料強弱之關係。

實用航空學

鄭漢生著 一冊 定價二元四角

航空學理論與實際

施兆貴著 一冊 紙面 定價二元

實用飛機原理學

柳希權著 二冊 定價二元二角

航空發動機

鄒文耀著 一冊 定價六角

飛機

呂謏著 一冊 定價二元

實用飛行術

姚希求編譯 一冊 定價四角五分

H. Barber: Aerobatics

飛行捷徑

蕭祐承著 一冊 定價五角

青年軍事航空常識

王錫綸編譯 一冊 定價六角

航空常識問答

吳照華譯 一冊 定價五角

P. M. Henshaw: Air Questions and Answers

空軍概略

李嘯雲編 二冊 定價二角

蘇聯航空之全貌

張白衣譯 一冊 定價一元三角

法國之航空

鄭漢生著 二冊 定價六元

戰時國土防空之理論與實際

卓獻書著 一冊 定價四元

空襲與空防

鄒文耀著 一冊 定價二角五分

抗戰與防空

張裕良著 一冊 定價二角五分

防空警察

陸紹基著 一冊 定價五角五分

◆ 版出館書印務商 ◆

航空測量實體製圖儀有系統誤差之

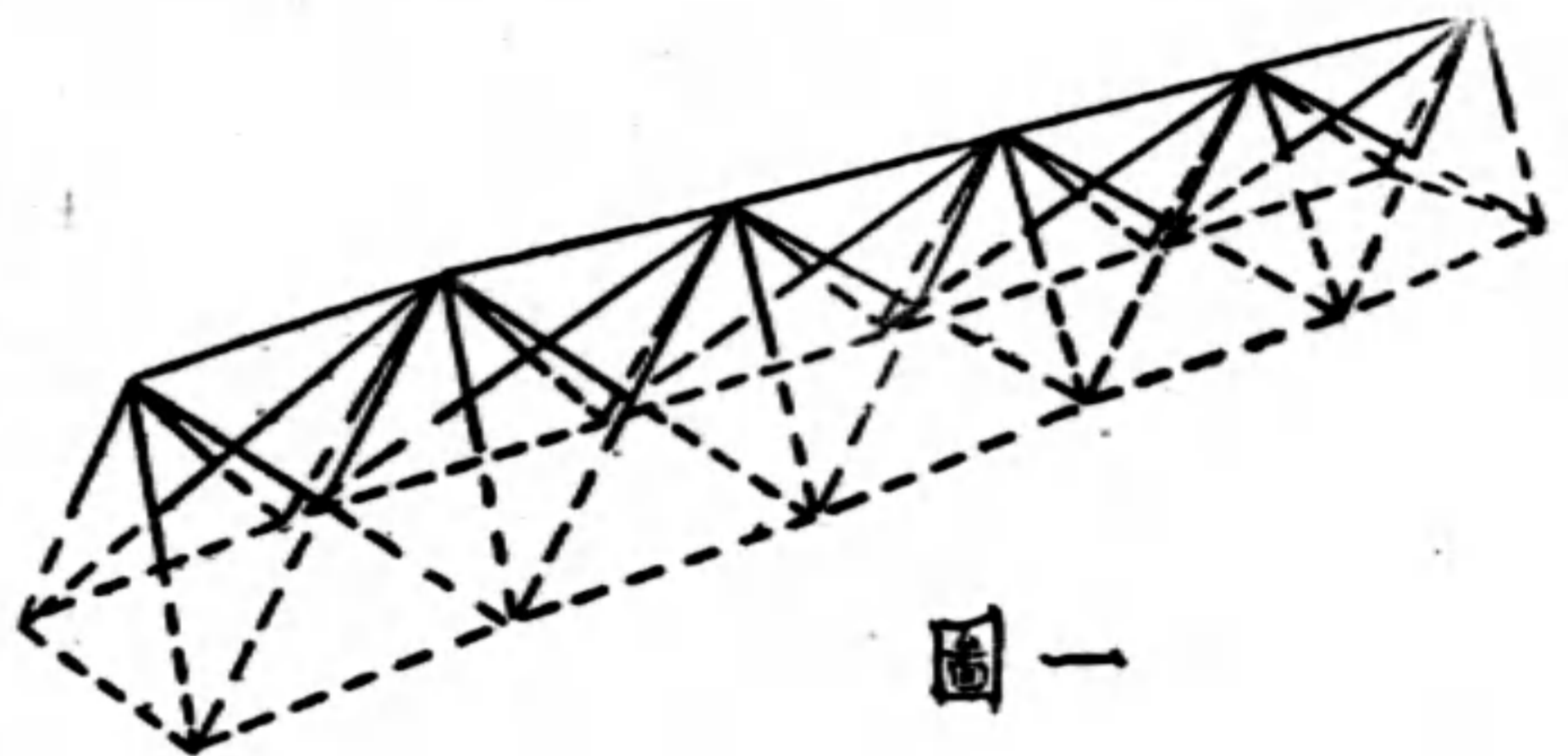
影響於天空三角鎖。

王之卓

第一節 釋題

近數年來，航空攝影測量之學術，一方面由於光學機械以及理化學術之發達，一方面由於各國學者之倡導研究，遂使其進步，日以千里，其應用遍於各種測量工作。但凡一種學術之應用，自必有其應用之限度，航空測量應用於測量事業，其限度為何？研究此問題者，須斟酌該工作對於精準，速率以及經濟三方面之要求，與其他人工測量方法，比較研究，方可判斷。然有一點，往往足以減低航空測量之應用效能者，即地面控制點問題也。由兩相鄰之航空照片，可以單獨相互決定方位 (Reciprocal orientation)，但其所求得之光學地形模型 (Optical model)，必賴地面測量求得最少三控制點之坐標，方可決定其在地面上之絕對方位。此種控制點之測量，費時持久，對於經濟方面，影響尤鉅。如何可使控制點數量之需要減少，同時能保持相當之精準程度，實為增廣航空測量應用範圍之重要問題。晚近航測學者所倡導之所謂天空三角鎖 (Aerotriangulation)，即為解決此問題之一法：兩相鄰之航空照片，既可以單獨相互決定方位，則依相同步驟，以多數照片，彼此相互連繫，成一

整個之光學地形模型，可以綿互至十餘甚或數十公里 (圖一)，然後根據地面上最少三控制點之坐標，即得整個地形模型之絕對方位。此後則測繪山川屋舍，不啻將地形自野



外移至繪圖房中矣。至於此三控制點之坐標，應如何求得，當視所需求之精準程度而決定：如不需求高度之精準，或對地面上之鍾偏，已有充足之記錄時，則控制點之平面坐標，逕可應用天文點求之，高坐標利用氣壓表得之。如按此步驟所得之結果，不能滿足精準之要求時，則必沿天空三角鎖所包括之地域，多測地面控制點，以為光學地形模型扭斜 (Distortion) 糾正之用。實際上前者雖為最經濟最迅速之方法，但其結果，往往過於不準確。蓋此天空三角鎖之連繫，端賴利用儀器，以求各成對光線之交合，其中誤差之傳播甚速，尤以有系統誤差影響結果最甚。自此有系統誤差問題發生之後，除

●此文係由著者原著之 "Der-Einfluß systematischer Maßstabs-und Konvergenzfehler bei Aerotriangulationen mittels Mehrbildkartiergeräten" Dissertation der Technischen Hochschule, Berlin 譯編，其理論與實驗詳細之演算，應參考原著。

消極方面利用控制點以消滅其影響而外，對此問題本身，迄未能得圓滿之解說。茲擬對此誤差之發生於實體製圖儀者，加以探討。

第二節 本題已往之研究

任何測量工作，均不免發生有系統與偶然之誤差。其偶然誤差，因不可避免，故用測量平差法（最小二乘方）以調整之。其有系統誤差，影響雖鉅，但往往能推究其來源而避免之。至於航空測量天空三角鎖所發生之有系統誤差，何由而生？直至最近一九三八年十月，第五屆世界攝影測量會議在羅馬開會時，諸學者不能述其究竟。荷蘭國航測專家施慕恆氏 (Schermerhorn) 任該會議第三組『利用天空三角鎖或由地面測量求航測控制點問題組』主席時，曾聲稱『對此種有系統之誤差，曾用各種儀器，往返相互決定方位步驟試驗，但所得結果，時大時小，殊無規律，有能告以其來源究竟者，則航測前途幸甚矣！』茲更將已往所有關於此問題研究之結果列後，以作決定檢討方法之參考。

對此問題研究之結果，迄今公佈者，極其寥寥。一九三五年德國格魯伯氏 (Gruber) 發表『天空導線及天空水平測量之理論及經驗』^①一文，對此問題有較詳密之討論。該文尤注意於有系統交向誤差 (Error of Convergence) 與同擺誤差 (Error of Avertence) 兩問題之討論。前者使光學地形實體成拋物線形之扭歪，後者使發生有系統之比例尺誤差 (Systematic Scale Error)。當時之實驗，均應用有高差儀 (Statoscope) 及水

平像 (Horizon picture) 記錄之照片，故可使交向誤差之影響免除。至於由比例尺差算得之同擺誤差，則當時以水平像及製圖儀之誤差解釋之。但由製圖儀如何能發生有系統之誤差？同一製圖儀對於各不同之連續照片條，是否發生同量之有系統誤差？各不同之製圖儀對於同一之連續照片條，是否發生不同量之有系統誤差？凡此諸問題，當時均無詳細之討論。其後（一九三六年）格氏又發表『在殖民地利用天空三角鎖及天空水平法航測結果』^②一文，其中只報告有系統誤差之結果及數量，對其來源，亦未加深究。直至一九三八年第五次世界攝影測量會議時，荷蘭施氏始公佈其所研究之結果，載在『荷蘭及荷屬東印度一九三四年至一九三八年之航空攝影測量』^③書中。其對天空三角鎖有系統誤差用蔡司精密實體製圖儀 (Stereoplanigraph) 所得之結論，計有下列數條：

(一)由蔡司廠精密實體製圖儀所發生之偶然誤差，最為微末，其影響於製圖之精準者，卻為有系統誤差。

(二)連續航空照片用光學方法相互連繫，因而算出有系統之同擺誤差。由各不同連續照片條所得之結果，不盡相同。

(三)同一連續照片條，往返兩方向相互連繫，其往與返之結果，亦不盡相符合。

總結其結論，即此天空三角鎖工作，確有有系統誤差發生。但據實際研究結果，其影響時大時小，無有規律，不能詳知其來源究竟。荷蘭國負責收集世界攝影測量會議，關於第三組各國航測之經驗報告時，在天空三

①德國攝影測量雜誌 Bildmessung und Luftbildwesen, 1935 年份第 12 頁至 14 頁, 167 頁至 190 頁
O. v. Gruber: Beitrag zur Theorie und Praxis von Aeropolygonierung und Aeronivellement.

②載在德國 Lilienthal-Gesellschaft für Luftfahrtforschung 1936 年之年鑑內; O. v. Gruber: Ergebnisse einer Aerotriangulation und eines Aeronivellements für Kolonialgebiete.

③W. Schermerhorn: Die Luftbildmessung in den Niederlanden und Niederl-Ost-Indien von 1934 bis 1938

角鎖測量項目內，曾有一問題，廣詢各國專家之經驗：“用此法工作時，曾發現何種之有系統誤差？”^① 荷蘭國本國之報告內，有下列之陳述：“有系統誤差，無一定大小，即同一條連續之航空照片，兩次工作，亦不能得同樣之結果。”^② 除此而外，其他各國之報告中，均不提及此問題。蓋對此問題，尙少加以研究者也。

第三節 理論上之探討

對此問題之解說，總括之有兩種：一即德國格魯伯氏，認此為儀器之誤差，但不能詳其來源。二即法國布維埃氏 (Poivilliers) 倡言^③：“凡由實體製圖儀所造成之光學地形模型，其模型之扭斜，並不能由底片或鏡頭或製圖儀之誤差解釋。實以由光學投影相交所得之實體模型，不能得唯一解決之故”。意即謂在理論上，用光學方法，解決此交互決定方位問題，本不能得一定之結果。此論似頗新穎，惜其所發表之原文不詳，不能知其理論之根據。在法國對此問題，是否亦經實驗步驟研究，亦無發表，可以推尋。總之對此問題迄今所有公佈之討論，除布維埃氏之簡單結述而外，只有格魯伯與施慕恆兩氏。

依據已往公佈之結果，擬訂現施之研究程序。在實驗之前，先在理論上稍加檢討，並列出公式，以備演算實驗結果之應用。其有系統誤差，暫以第二節各專家所提出之同擺誤差與交向誤差為限。

(甲) 方位元素 (Elements of Orienta-

tion) 與 y- 方向視差 (Vertical Parallax):
由格魯伯氏兩相隣照片相互決定方位之公式，^④ 化簡應用於垂直攝影，得：

$$dy = \frac{xy}{h}d\varphi + \left(h + \frac{y^2}{h}\right)dw - xdn - \frac{y}{h}db_x + db_y \dots \dots \dots (1)$$

x, y —— 光學模型之平面坐標(圖二)

h —— 航高

φ, ω, n 擺角，傾角及轉角；即依 y, x 及 z 軸旋轉之方位角

b_x, b_y, b_z —— 基線在 x, y 與 z 方向之投影長度。其中 x 方向為空中導線之主要方向

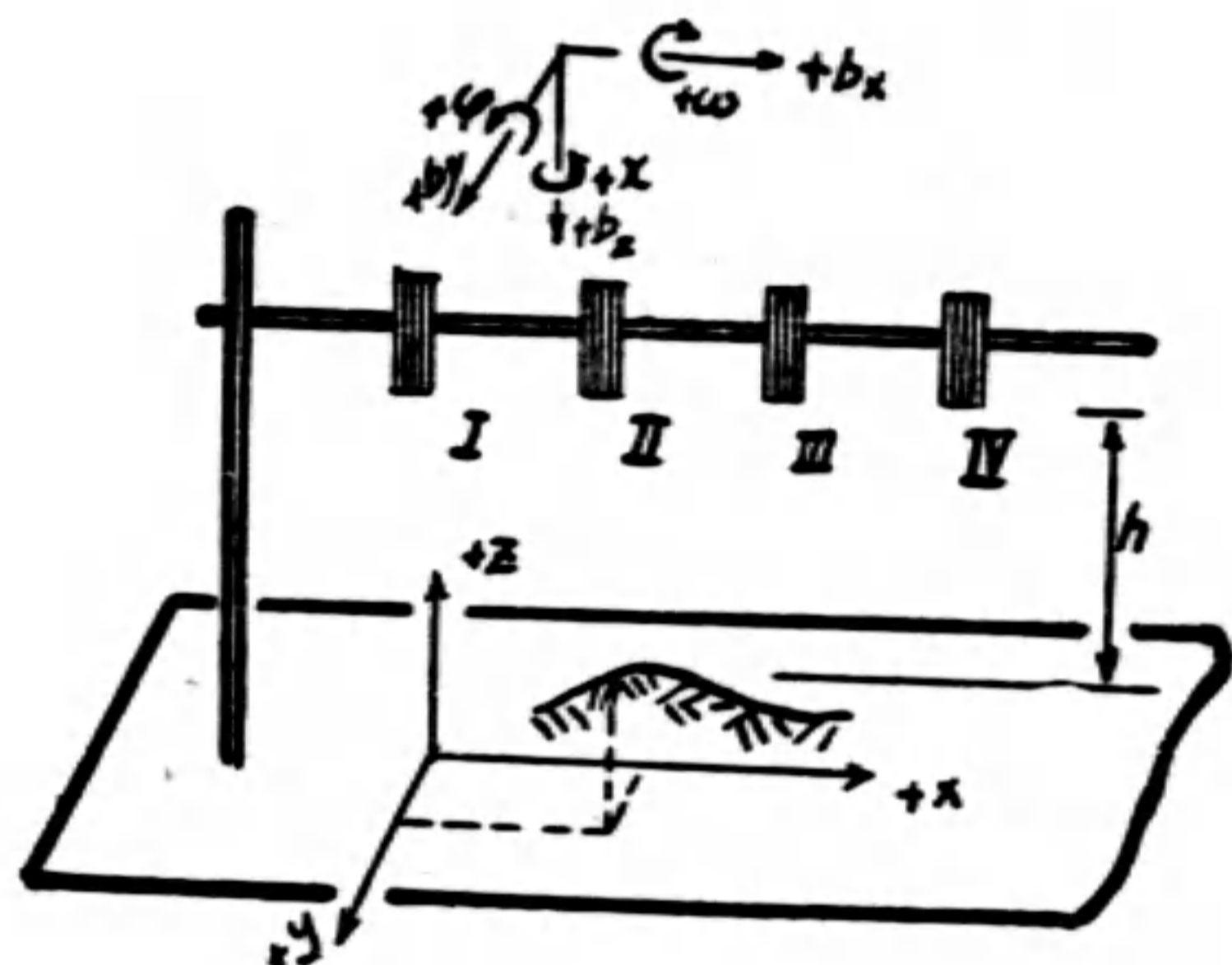


圖 二

用光學方法，決定照片之相互方位，不啻即由 $\varphi, \omega, n, b_x, b_y$ 等方位元素之變動，使兩投影儀所投同點之光線，其 y - 方向之視差等於零。如有五點，皆已符合此條件，則其他各點在理論上亦應符合此條件。即兩相隣照片之相互方位，已決定無疑。

今更跟隨光學機械方法相互決定方位之

① 見 B. Scherphier: Report of the 3D commission.; International Society for Photogrammetry. 5th International Congress 第 23 頁第 31 頁。

② Poivilliers: Propriété perspective de certaines surfaces et son application aux levés photographiques aériens. Internationales Archiv für Photogrammetrie Bd. VIII. 2. P. 244/46

③ v. Gruber, Ferienkurs in Photogrammetrie. Verlag Wittwer, Stuttgart. 第 31 頁公式 156.

例用步驟，按照各種不同之情形，列成下列四表，其所求得 y - 方向視差與諸方位元素之關係，與由理論上解方程式所得者，結果全同。至於應用六點工作，其所得之方位元素，當視其餘留視差(Residual Parallax)之如何分配而定。下列第三表，係將餘留視差，分配於 A, C 。(圖三)兩點；第四表係將餘留視差分配於 B, D 兩點。但雖應用最小二乘方方法計算，其所得之與同擺誤差及交向誤差最有關之 $d\varphi$ 及 db_2 二元素，仍與此用光學機械方法所得者相符合。

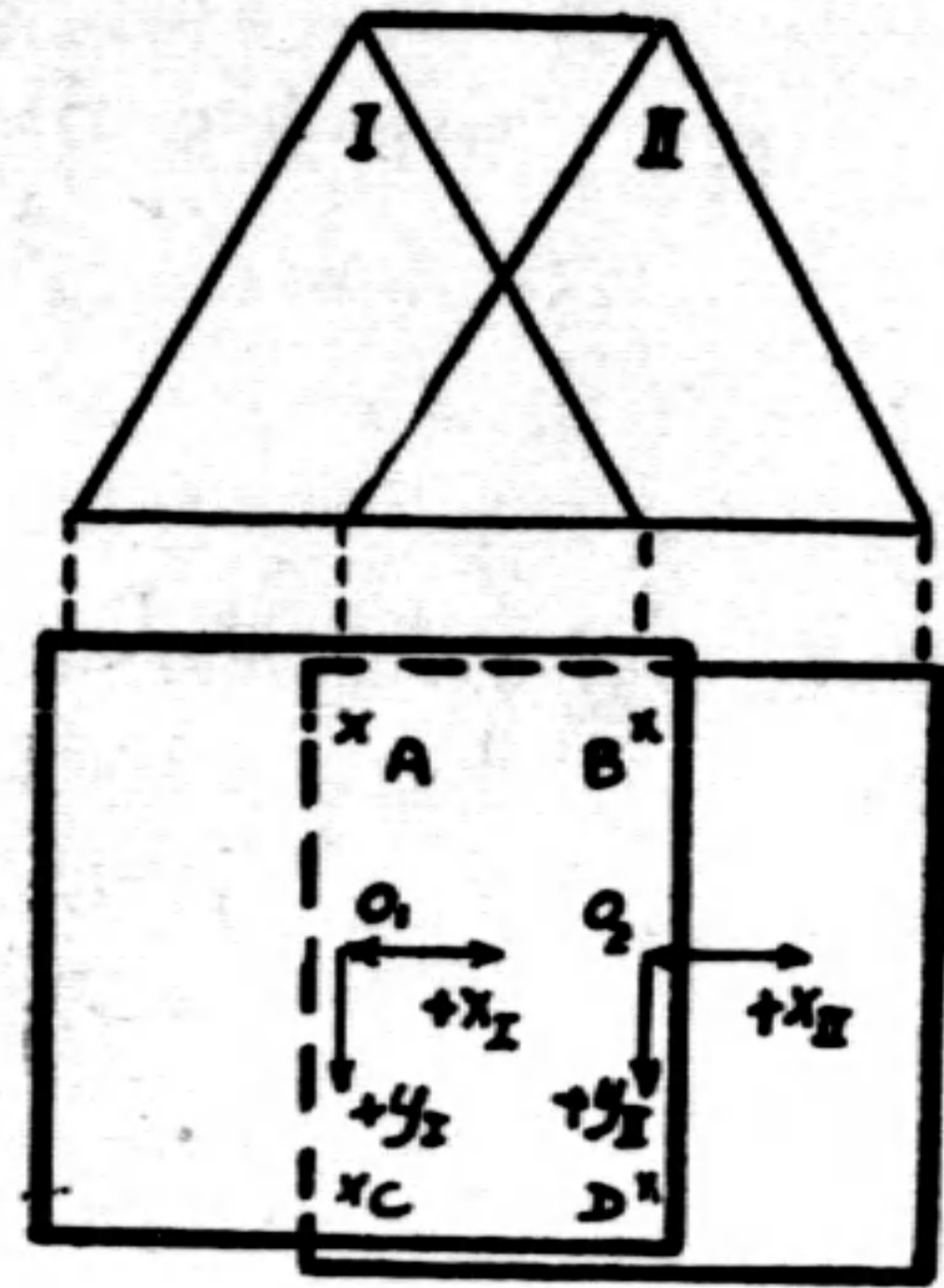


圖 三

光學機械方法相互決定方位

第一表： 相互連繫之 I 作方向：往向（投影儀工不動）。所用之點數：5

步 驟	消除視差 之 所在點	方位元素之更動	餘 留 之 視 差					
			A	B	O_1	O_2	C	D
		工作前之視差，假定為：	$+P_a$	$+P_b$	0	0	$+P_c$	$+P_d$
1	D	$db_2 = +\frac{h}{y}P_d$	$+P_b+P_d$	$+P_b+P_d$	0	0	$+P_c-P_d$	0
2	B 超越改正	$d\omega = +(P_b+P_d)\frac{h}{2y^2}$	(P_a+P_d) $-(P_b+P_d)\frac{h^2+y^2}{2y^2}$	$(P_b+P_d)\frac{y^2-h^2}{2y^2}$	$-(P_b+P_d)\frac{h^2}{2y^2}$	$-(P_b-P_d)\frac{h^2+y^2}{2y^2}$	$-(P_b-P_d)\frac{h^2+y^2}{2y^2}$	
3	O_1, O_2	$db_1 = (P_b+P_d)\frac{h^2}{2y^2}$	(P_a+P_d) $-\frac{P_b+P_d}{2}$	$\frac{(P_b-P_d)}{2}$	0	0	$P_c-P_b-\frac{P_b+P_d}{2}$	$-\frac{P_b+P_d}{2}$
4	B, D,	$db_2 = -\frac{h}{y}\left(\frac{P_b-P_d}{2}\right)$	P_a-P_b	0	0	0	P_c-P_d	0
5	A, C	$d\varphi = \frac{h}{xy}\left(\frac{P_c-P_d-(P_b-P_d)}{2}\right)$	$\frac{1}{2}(P_a-P_b)$ $+\frac{1}{2}(P_c+P_d)$	0	0	0	$\frac{1}{2}(P_c-P_d)$ $+\frac{1}{2}(P_a-P_b)$	0

方位決定之結果：

$$db_2 = +\frac{h}{y}\left(P_b - \frac{P_b+P_d}{2}\right) = +\frac{h}{y}\left(\frac{P_d-P_b}{2}\right); \quad d\varphi = +\frac{h}{xy}(P_c-P_d);$$

$$db_1 = +(P_b+P_d)\frac{h^2}{2y^2}; \quad d\omega = -(P_b+P_d)\frac{h}{2y^2}.$$

第二表： 相互連繫之工作方向：返向(投影儀 II 不動)。所用之點數：5

步 驟	消除視差 之 所在點	方位元素之更動	餘 留 之 視 差				
			B	O ₁	O ₂	C	D
		工作前之視差，假定為	+P _b	0	0	+P _c	+P _d
1	C	db ₁ = + $\frac{h}{y}$ P _c	+P _b +P _c	0	0	0	+P _d -P _c
2	D	dφ = + $\frac{h}{xy}$ (P _d -P _c)	P _b +P _c + $\frac{(Pd-Pc)}{y}$ = P _b +P _d	0	0	0	0
3	B 超越改正 (over-correction)	dω = + $\frac{(Pb+Pd)\left(\frac{h^2+y^2}{y^2}\right)}{h+\frac{y^2}{h}}$ = + (P _b +P _d) $\frac{h}{2y^2}$	(P _b +P _d) $\frac{y^2-h^2}{2y^2}$	$-(Pb+Pd)\frac{h^2}{2y^2}$		$-(Pb+Pd)\left(\frac{h^2+y^2}{2y^2}\right)$	
4	O ₁ , O ₂	db ₂ = - (P _b +P _d) $\frac{h^2}{2y^2}$	$\frac{1}{2}(Pb+Pd)$	0	0	$-\frac{1}{2}(Pb+Pd)$	
5	B, D	db ₃ = $\frac{h}{y}(Pb+Pd)\frac{1}{2}$	0	0	0	0	0

方位決定之結果：

$$dbz = -\frac{h}{y}\left(P_c - \frac{P_b+P_d}{2}\right) = -\frac{h}{y}\left(\frac{2P_c - P_b - P_d}{2}\right);$$

$$d\varphi = \frac{h}{xy}(P_d - P_c); \quad db_y = -(P_b + P_d)\frac{h^2}{2y^2}; \quad d\omega = + (P_b + P_d)\frac{h}{2y^2} \circ$$

第三表： 相互連繫之工作方向：往向(投影儀 I 不動)。所用之點數：6

步 驟	消除視差 之 所在點	方位元素之更動	餘 留 之 視 差				
			B	O ₁	O ₂	C	D
		工作前之視差，假定為：	+P _b	0	0	+P _c	+P _d
1	D	db ₁ = + $\frac{h}{y}$ P _d	+P _b +P _d	0	0	+P _c -P _d	0
2	C	dφ = + $\frac{h}{xy}$ (P _c -P _d)	+P _b +P _d	0	0	0	0
3	B 超越改正 (over-correction)	dω = - $\frac{(P_b+P_d)\left(\frac{h^2+y^2}{2y^2}\right)}{h+\frac{y^2}{h}}$ = - (P _b +P _d) $\frac{h}{2y^2}$	(P _b +P _d) $\left(1-\frac{h^2+y^2}{2y^2}\right)$ = (P _b +P _d) $\frac{y^2-h^2}{2y^2}$	$-(P_b+P_d)\frac{h^2}{2y^2}$		$-(P_b+P_d)\frac{h^2+y^2}{2y^2}$	
4	O ₁ , O ₂	db ₂ = + (P _b +P _d) $\frac{h^2}{2y^2}$	+ $\frac{1}{2}(P_b+P_d)$	0	0	$-\frac{1}{2}(P_b+P_d)$	
5	B, D	db ₃ = - $\frac{h}{y}\left(\frac{P_b+P_d}{2}\right)$	0	0	0	0	0

方位決定之結果：

$$db_s = +\frac{h}{y}\left(P_d - \frac{P_b+P_d}{2}\right) = +\frac{h}{y}\left(\frac{P_d - P_b}{2}\right);$$

$$d\varphi = +\frac{h}{2xy}\left(P_c - P_d - (P_c - P_b)\right); \quad d\omega = -\frac{h}{2y^2}(P_b+P_d); \quad db_y = \frac{h^2}{2y^2}(P_b+P_d)$$

第四表： 相互連繫之工作方向：返向。所用之點數：6

方位決定之結果.. (步驟與第三表相似)	
$db_x = -\frac{h}{y} \left(\frac{P_c - P_a}{2} \right); \quad d\varphi = +\frac{h}{2xy} (P_d - P_c - (P_b - P_a));$	
$d\omega = +\frac{h}{2y^2} (P_a + P_c); \quad db_y = -\frac{h^2}{2y^2} (P_a + P_c)$	
餘留之視差：	$B : \quad \frac{1}{2}(P_b - P_a) + \frac{1}{2}(P_d - P_c)$
	$D : \quad \frac{1}{2}(P_d - P_c) + \frac{1}{2}(P_b - P_a)$

(乙)同擺誤差及交向誤差：

德國格魯伯氏曾用代數解法，利用正弦公式，推演此兩種有系統誤差與所得比例尺差及高度之關係：第 面註②

同擺誤差與比例尺差：

$$dm_n = dm_o + c.s \dots\dots\dots(2)$$

同擺誤差與航高差：

$$dn_n = hdm_o + h.c.s \dots\dots\dots(3)$$

同擺誤差與導線長差：

$$\Delta s = s.dm_o + \frac{1}{2}c.s^2 \dots\dots\dots(4)$$

其中： $c = -\frac{2}{h}d\varphi \dots\dots\dots(5)$

交向誤差與高度：

$$\Delta Z = dZ_o + s.i + h.c.s + \frac{s^2}{2b} \delta \dots\dots(6)$$

$d\varphi$ ——有系統之同擺誤差

δ ——每對投影儀有系統之交向誤差

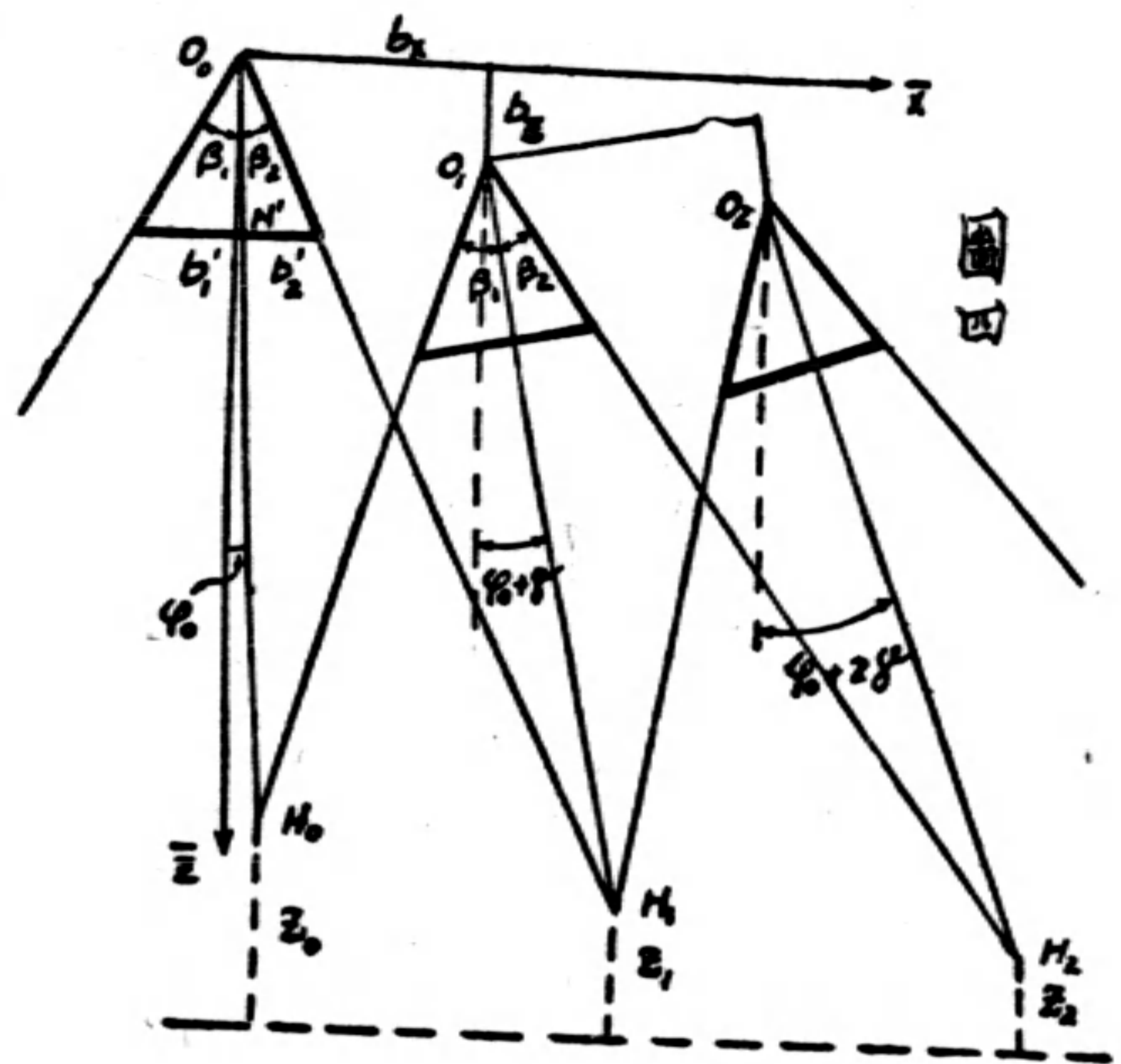
s ——空中導線之長度

i ——比較面 (Plane of Reference) 之傾斜

代表有系統同擺誤差之一常數，其關係見第五公式。

上列之第二，三，四公式，均代表比例尺度之變遷。故彼此相關，而不相獨立，如作實驗時，依其中任一公式求得之結果，應與其他二公式所求得者相符合。此理頗易由幾

何關係推演。茲為以後方格網片 (Test grid) 相互連繫計算之應用起見，將第二，三，四，六公式利用圖四之幾何關係算出，同時並加入由於照片有系統扭縮所發生之影響。結果得：



$$dm = \left\{ -2(b_s + b_z \varphi_o) + b_z \left(\frac{\Delta \beta}{\sin^2 \beta} - \delta \right) \right\} \frac{\tan \beta}{b_z} \dots\dots(7)$$

$$Z_n - Z_o = nb_z + 2b_z n \varphi_o - \frac{n \cdot b_z \Delta \beta}{\sin^2 \beta} + \frac{n(n+1)}{2} b_z \delta \dots\dots\dots(8)$$

φ_o ——第一投影儀之擺角差

β ——投影儀攝角(Angular field)之半
 $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$ ——由於照片扭縮或其他原因所發生有系統之誤差

將第一，二，三，四表內所得結果，代入第

七，八兩公式內，得同擺誤差及交向誤差與 $-y$ 方向視差之關係。下表(第五表)內之(1)，(2)，(3)，(4)種類相似於第一，二，三，四表中之四種工作情形。

第五表

種類	(1)	(2)	(3)	(4)
dm	$+\frac{1}{y}(P_b - P_c)$	$+\frac{1}{y}(P_c - P_b)$	$\frac{1}{2y}(P_a + P_b - P_c - P_d)$	$\frac{1}{2y}(-P_a - P_b + P_c + P_d)$
δ	$+\frac{h}{xy}(P_c - P_d)$	$+\frac{h}{xy}(P_c - P_d)$	$\frac{h}{xy} \frac{(P_c - P_d) + (P_b - P_a)}{2}$	$\frac{h}{xy} \frac{(P_c - P_d) + (P_b - P_a)}{2}$

由於上表之： $dm(1) = -dm(2)$ ， $dm(3) = dm(4)$ ； $\delta(1) = \delta(2)$ ， $\delta(3) = \delta(4)$ ，故知在任何工作步驟之下，理論上所得比例尺誤差(dm)及交向誤差之結果，均應相互符合。如實驗結果，情形(1)與(2)或(3)與(4)(第五表)所得不同，如荷蘭施慕恆氏之所提出者，則必有其他如儀器方面之原因存在，而不能認為用光學方法相互決定方位，在理論方面，不能得劃一之解決，如法國布維埃氏之所稱述者也。

第四節 實驗之觀測

為檢查此不能解釋之有系統誤差，是否發生於製圖儀問題計，利用方格網片，作為理想之地形照片，在製圖儀上用光學機械方法，彼此連繫決定相互方位，更由其量測之結果，推算有系統之同擺及交向誤差。宛如用真正航空地形照片者然。利用方格網片，較之用真正照片計有下舉諸優點：

- (1) 各點測定之精準程度較高
- (2) 理想之控制點，可任意增多
- (3) 凡由底片或膠膜扭縮所發生之影響，可以單獨觀測求得。

(4) 光學實體模型之形狀，有時適近危險圓柱面(Dangerous cylinder)，以致發生種種之混亂。利用方格網工作，則無此困難。

在工作時，與用真正地形航測照片不同者亦有二點：

(1) 在地形照片彼此相互連繫時，為增加精準計，普通概採用六點。今用方格網片，如任意採用六點，則精準程度，不能因此而加增。因此六點，初無相互投影之關係也。且由於底片扭縮之故，理論上不能使六點之成對光線，同時相互交合，如依六點工作，勢必有餘留之視差。因而反失高度之安放精準(Accuracy of Setting)而得較差之猜度精準。

(2) 三相隣方格網片投影之共同部分，其一點之高度彼此相符合後，其餘各點之高度，不一定能相符合。此種實驗，擬施行於蔡司廠多倍投影製圖儀(Multiplex)及蔡司廠精密實體製圖儀(Stereoplanigraph)，因此有系統誤差問題之發生，多半得自由此兩儀觀測之結果也。

(甲) 方格網由多倍投影製圖儀相互連繫之觀測：

如方格網為理想之方格，則彼此相互連繫之後，其結果有與理想相違差者，必由於製圖儀之所致。但方格網附着於底片膠膜。膠膜些許之伸縮，往往足以影響精細觀測之結果。且在多倍投影製圖儀工作，必須先將方格網縮小成 45×45 平方公厘之尺碼。如縮小儀有校正餘差(Error of Adjustment)

時，則此誤差之影響於製圖儀上相互連繫工作，均將成爲有系統之誤差。但此有系統誤差，是否影響於此時所檢討之同擺誤差及交向誤差，須加以理論上之推判。

今試分一縮小儀之糾正誤差爲：

- (1) 安放框之傾斜差
- (2) 負片面之傾斜差
- (3) 中心標之偏心差
- (4) 縮小儀透鏡之畸變差 (Lens distortion) 以及底片壓板厚及灰色濾鏡 (Filter) 之影響
- (5) 光學主距 (principle distance) 之誤差

其中第三第五影響甚小，關係鮮而易見。第四項與製圖儀透鏡畸變差之影響相同，予相互連繫工作以有系統之交向誤差。第一第二兩項之影響相同，故可相併討論。今設有縮小儀，其負片面或正片安放框有沿 y -軸之傾斜角差。則其方格在安放框面之投影，本應成正方形狀者得圖五形狀。依投影學原理，在原圖相交於一點之線，在其投影內，亦必相交。故其關係，至爲簡單：

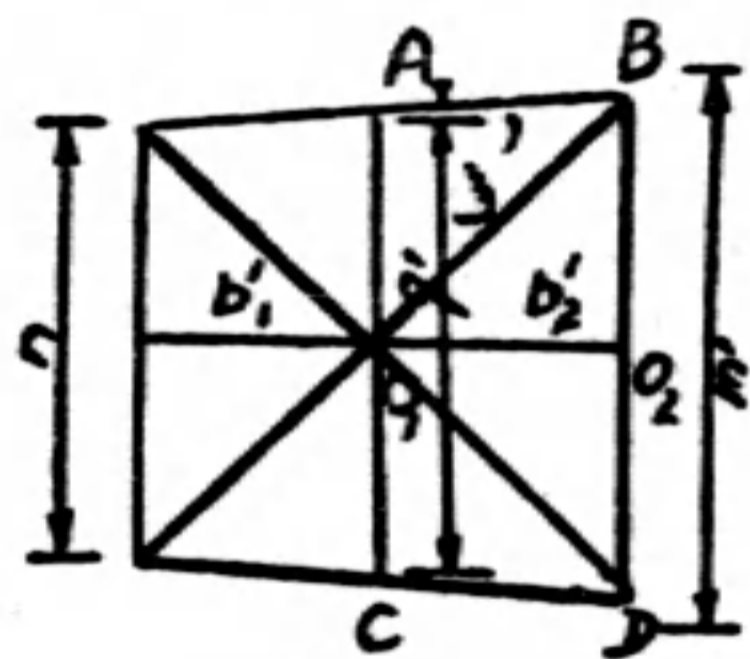


圖 五

$$\frac{m'}{n'} = \frac{b_2'}{b_1'} \text{ 或 } \frac{m'-n'}{n'} = \frac{b_2'-b_1'}{b_1'} \dots\dots(9)$$

今由第五表之結果加入第七公式 $\Delta\beta$ —

項得：

$$dm = \frac{1}{b'} (P_b - P_c) + \frac{b_1' - b_2'}{b'} \dots\dots(10)$$

$$\delta = \frac{f}{b'^2} (P_c - P_d) \dots\dots(11)$$

按圖五可得諸視差 P_b, P^2, P_d 與 m', n', g' 諸長之關係，以此關係代入第(10)及(11)式中，得：

$$dm = \frac{m'-n'}{n'} + \frac{b_1'-b_2'}{b'}$$

$$\delta = \frac{f}{b'^2} \left(\frac{n'-g'}{2} - \frac{g'-m'}{2} \right)$$

參照第(9)公式則 dm 適等於零， δ 之數量，當視 $(n'-g') - (g'-m')$ 之大小而定，今按圖五：

$$m' - g' = 2 \cdot b_2' \cdot \tan \xi$$

$$g' - n' = 2 \cdot b_1' \cdot \tan \xi$$

$$\text{差} = (b_2 - b_1) \tan \xi$$

但 $(b_2' - b_1')$ 與 ξ 均係極小之值，二小值之積，可以略去，即實際對交向角差 δ 亦無影響也。故知第一第二兩項之誤差，不致使天空三角鎖發生有系統之同擺誤差及交向角誤差。總之即縮小儀所有之校正餘差，除第四項構成交向誤差外，其他各差，如不過大，對於現所討論之有系統誤差，均無影響。

當各方格網片置於多倍投影製圖儀內，彼此用光學方法相互連繫時，爲增加觀測之精準計，概按下列之規定施行：

(1) 在用每投影儀之前數分鐘，先將其光亮扭接，直至不再用此投影儀時爲止。

(2) 繪點用針代鉛；繪盤始終平行使用，以免生偏心差誤。



$$* G_{\Delta\beta} = \frac{\Delta\beta}{\sin^2\beta} \cdot \tan\beta = \frac{\Delta\beta}{\sin\beta \cdot \cos\beta};$$

$$\tan \Delta\beta = \tan(\beta_1 - \beta_2) = \frac{\tan\beta_1 - \tan\beta_2}{1 + \tan^2\beta} = \frac{b_1' - b_2'}{f} \cdot \cos^2\beta; \tan\Delta\beta = \Delta\beta + \dots$$

$$\therefore G_{\Delta\beta} = \frac{b_1' - b_2'}{f} \cot \beta = \frac{b_1' - b_2'}{b'}$$

(3) 爲增加方格線之安放精準 (Accuracy of Setting) 計，在繪盤上加繪井符號，以代原有之測點。

(4) 求各點之高度時，概用單目觀測。所以避免由實體觀測，所可能發生之有系統誤差。且在此特殊情形之下，單目觀測之精準，應不減於實體觀測。

如此各片利用五點彼此相互決定方位。得多點之高度及平面地位。然後用最小二乘方法求得其有系統之比例尺誤差及交向誤差。計往返工作共四次，其中二次以方格網片在各投影儀內作 200° 之旋轉。依據第五表之結論，所得之 dm 應與前相反而所得之 δ 則應仍舊。四次結果，彼此相互符合，並無與理論相違反，以致有難解之處。以各次所得之結果，依其彼此平方誤差 (Mean square error) 之關係，求得總平均值爲：

$$dm = (+0.058 \pm 0.003) \%$$

$$\delta = -10.0 \pm 0.4$$

此有系統誤差之來源，不外由於方格網之扭縮與夫製圖儀之校正餘差。如能更進而求得方格網扭縮之影響，究爲若干，則製圖儀之影響於有系統誤差，不難推得矣。此種工作，可由實體量距儀 (Stereocomparator) 直接量測各方格之線距得之。但因在實體量距儀上與在多倍投影製圖儀上，投光以及其他情形迥異。嚴格言之，在前者觀測所得之結果，或不足以表示該結果在後者時之影響。今試以單目觀測及實體觀測在實體量距儀上，觀測前此所用五點之相對視差，代入第(10)及(11)公式中，得：

第六表

	實 體 觀 測	單 目 觀 測
dm	$(+0.025 \pm 0.004) \%$	$(+0.037 \pm 0.004) \%$
δ	-1.1 ± 1.5	-1.9 ± 1.5

研究上列結果，在完全同一情形之下，只因實體與單目觀測之不同，即已發生 0.012%

之差異。其故在各種觀測之方法不同，因而判斷方格線中心之位置亦即有異。前此在多倍投影製圖儀所得結果，各方面情形與在實體測距儀觀測時，劃然不同，則其比例尺差不符之量：

$$0.058 - 0.037 = 0.021 \%$$

$$0.058 - 0.025 = 0.033 \%$$

儘可視爲觀測之差別，而非一定來自製圖儀。蓋據純粹理論推測，多倍投影製圖儀實無處有可以發生有系統比例尺差之可能也。至於有系統交向誤差，來自製圖儀者根據上列之結果，應爲：

$$-10.0 - (-1.5) = -8.5$$

來自製圖儀透鏡之畸變差。但此結果，由於上述之原因，不能認爲可靠，其透鏡之畸變差應用光學儀器，直接量之。

(乙) 方格網由蔡司廠精密實體製圖儀相互連繫之觀測

依前施行於多倍投影製圖儀之相做步驟，更施行於蔡司廠精密實體製圖儀。惟此時可選用方格網 180×180 平方公厘原片，故由於方格網本身所發生之誤差，極其微末。但此儀機械方面構造複雜。且爲清晰投影而設之前附鏡系統 (Ancillary lensystem)，足使其透鏡所投射之光線，發生誤差。因根據此儀諸特徵，在理論與實驗方面研究之。

在實驗方面計相互連繫工作往返重覆九次，歷時共約半月之久；細究第七表所列此實驗之總結果，雜亂無章。如以此儀用航空照片作天空三角鎖觀測，定能發生時大時小之有系統誤差，如在第二節中之所列舉者。據此次工作時之經驗，如在方格網片相互連繫時，嚴依一定之動作進行，則可得較有規律之結果，測定之精準亦較高；反之則結果紛紊，顯然定有機械方面活動之部分存在。此活動之部分，應在前附鏡內，以後當再由實驗方法證明之。今試由理論上推究該儀儀器方面，各種校正餘差，對於有系統比例尺及交向誤差之影響。

第 七 表

觀測次序	日期 (一九三八年)	相互連繫方向	基線長(公厘)	方格片連繫數目	比例尺差誤 dm (%)				交向誤差 δ (新“分”單位)	db (公厘)
					Δs	y	h	平均值		
1*	七月二十六→ 二十八日	往向	170	9	+0.019±0.002	+0.016±0.003	+0.017±0.002	+0.018	-1.8±0.2	0.21
2*	八月二日	往向	140	8	-0.002±0.005	-0.007±0.004	-0.003±0.0015	-0.003	-1.6±0.2	0.17
3*	八月三日	返向	140	8	+0.0015±0.005	+0.005±0.003	+0.005±0.003	+0.0045	-1.6±0.2	0.24
4	八月十日	往向	140	8	+0.007±0.0025	+0.002±0.0015	0±0.002	+0.0025	-0.4±0.2	0.22
5	八月十一日	返向	140	7	+0.033±0.011	+0.006±0.004	+0.004±0.0015	+0.0045	+0.2±0.1	0.17
6	八月十二日	返向	130	8	-0.014±0.002	-0.014±0.003	-0.006±0.002	-0.011	+0.1±0.2	0.24
7	八月十五日	往向	155	6	+0.010±0.003	-0.008±0.0025	-0.009±0.015	-0.006	-0.4±0.2	0.18
8	八月十五日	往向	120	6	+0.005±0.005	0±0.0035	0±0.004	-0.001	-1.0±0.5	0.22
9	八月十六日	往向	130	6	+0.008±0.0075	0±0.0015	+0.0015±0.003	0	0±0.4	0.20

* 在此三次觀測時所用之一點，為方格網線之中心交點，但在製圖儀安放板上原刻有一十字中心標，經時長久，再加以燈光熱度關係，方格網片與安放板之間，可有相互些微之走動。因之所得結果，或不甚可靠，其他諸觀測，均已避免應用此點。

前附鏡系統係由一凸鏡與一凹鏡相組而成。整個附鏡之方向，隨所觀測之點而轉移，其凸鏡則更依一控制機桿系統之指揮，按該點離投影透鏡之距離而上下，以求得明晰之投影於測點面上。

由理論方面演算結果，**欲使有系統之比例尺誤差，小於 0,005% 時，則：

(1) 該前附鏡系統內凸鏡光軸在 x 方向，須交於轉點 0.10 公厘之內，即 $d_1 < 0.10$



公厘 (圖六)

(2) 前附鏡系統內凸鏡之運動方向，須在 x 方向，交於凹鏡節點 (Nodal point) 0.005 公厘之內，即 $d_2 < 0.005$ 公厘

對於交向誤差則兩者均無大影響。

由上述之推算，知此凸鏡之運動，須依極高度之精準 (5μ)。即使機械製造方面可以得此精準，但儀器經長時之應用，由磨擦所致，亦可能發生 5μ 之空隙，以致凸鏡之位置不定，因為而使照片相互連繫之工作，發生紛亂結果。

其他儀器校正餘差之足以發生有系統之比例尺誤差者，尚有二端：一則由於 x 導桿與基線 x 方向導桿之不相平行。如此兩導桿成 0.8° 之角度時，則得有系統之比例尺差 0.005% 二則由於測點與測點鏡轉點之不相符合，因而發生偏心差影響。設此偏心差之量為“ d ”(圖六)時，則經兩次相互連繫步驟之後，航高之變遷，應為：

** 見前引著者原著之書內第 40 至第 43 頁。

$$\Delta h = d \left\{ \sin\left(50^\circ + \frac{\beta}{2}\right) - \sin\left(50^\circ - \frac{\beta}{2}\right) \right\} \\ + d \frac{h}{d} \left\{ \cos\left(50^\circ + \frac{\beta}{2}\right) + \cos\left(50^\circ - \frac{\beta}{2}\right) - 2\cos 50^\circ \right\}$$

今按： $\tan \beta = .039$ ； $h = 360$ 公厘計算，則此偏心差 d 大至 0.18 公厘時， $\frac{\Delta h}{h}$ 始大至 0.010% ，即使一次相互連繫所發生之比例尺差 dm 為 0.005% 也。此上述兩種之校正餘差：兩導桿成 0.8° 之交角，及測點與其轉點有 0.18 公厘之偏心差，均尚可用簡單之校正方法，減低其數量，使其影響小至次要之程度。

按前段之推究，則天空三角鎖由此儀所發生不規則之有系統誤差，應由前附鏡系統內凸鏡地位之空隙解釋之。今更依下述實驗方法，證實此種假設；此實驗即利用普通求基線方向投影之起點差 (db_{z_0}) 時之例用方法

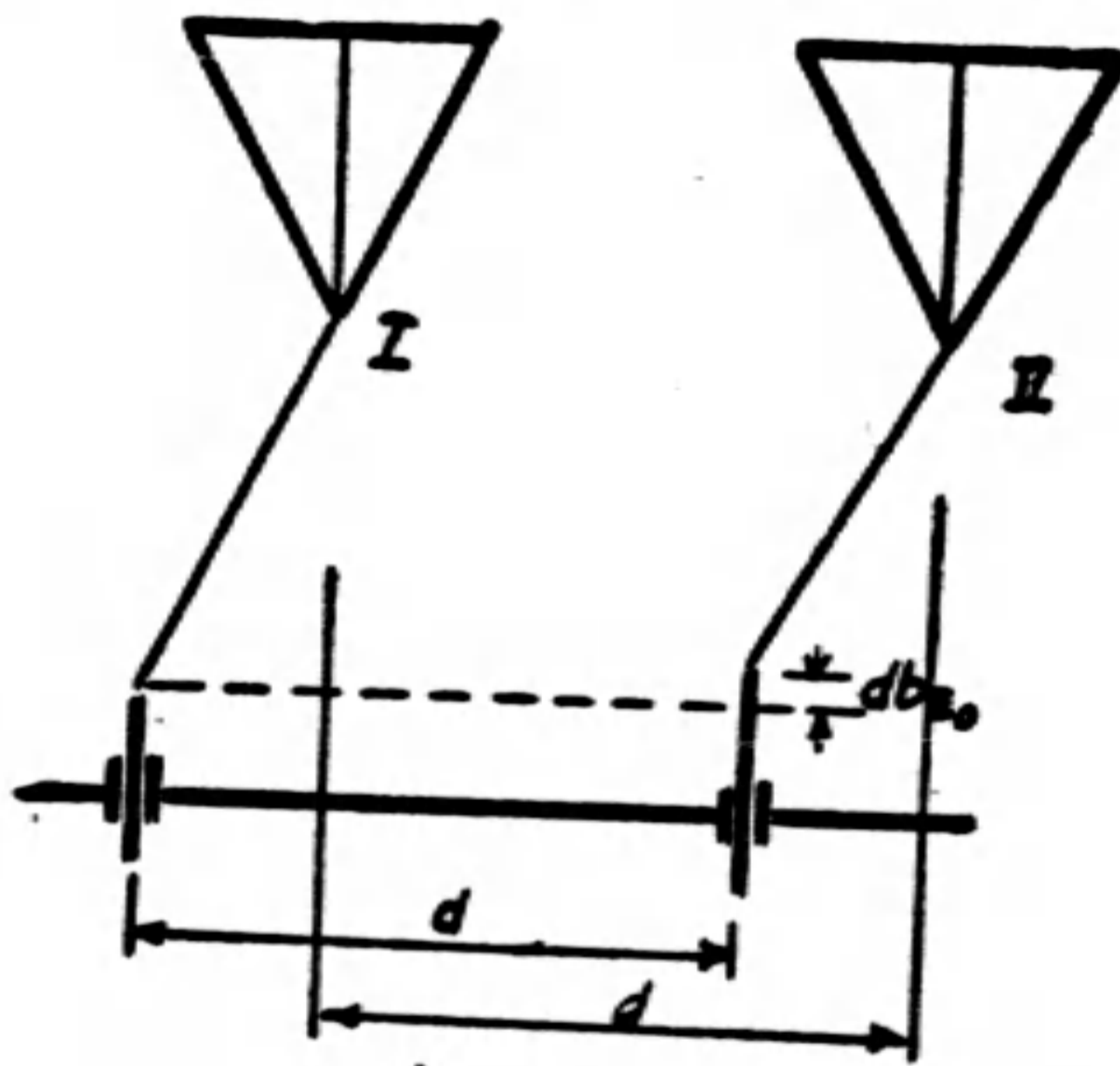


圖 七

：當兩投影儀 I, II (圖七) 在起點方位角 φ, ω 時，以兩測點各對準方格網之相當點。有不能同時符合之處，動其基線之 b_z 部分，使合此條件。然後讀兩 b_z 遊標 (Vernier) 之讀數。設：

- (1) 兩方格網片無扭縮之差，
- (2) 兩投影儀焦距相等，
- (3) 投影儀本身真正垂直，投影儀之安

放框無有傾斜差，

(4) 由前附鏡系統不發生投影之誤差，則兩投影儀兩 b_z 讀數之差，應即為所求之 db_{z_0} 。雖因上述四項原因，難求精準，但如漸漸上下其二投影儀，以更改投影儀與測點之距離，同時依法測求 db_{z_0} 之值，則所得 db_{z_0} 值之大小，由上列諸誤差關係，應與距離成有規則之正比。但如前附鏡系統內有空隙 (Dead space)，以致其中某部之地位不固定時，則所得之諸 db_{z_0} 值，定可發現不規則之現象。反之，設果有此不規則之現象發現，其原因定係來自前附鏡系統無疑。因其他三項之誤差，經此實驗之過程，均未曾有變動也。

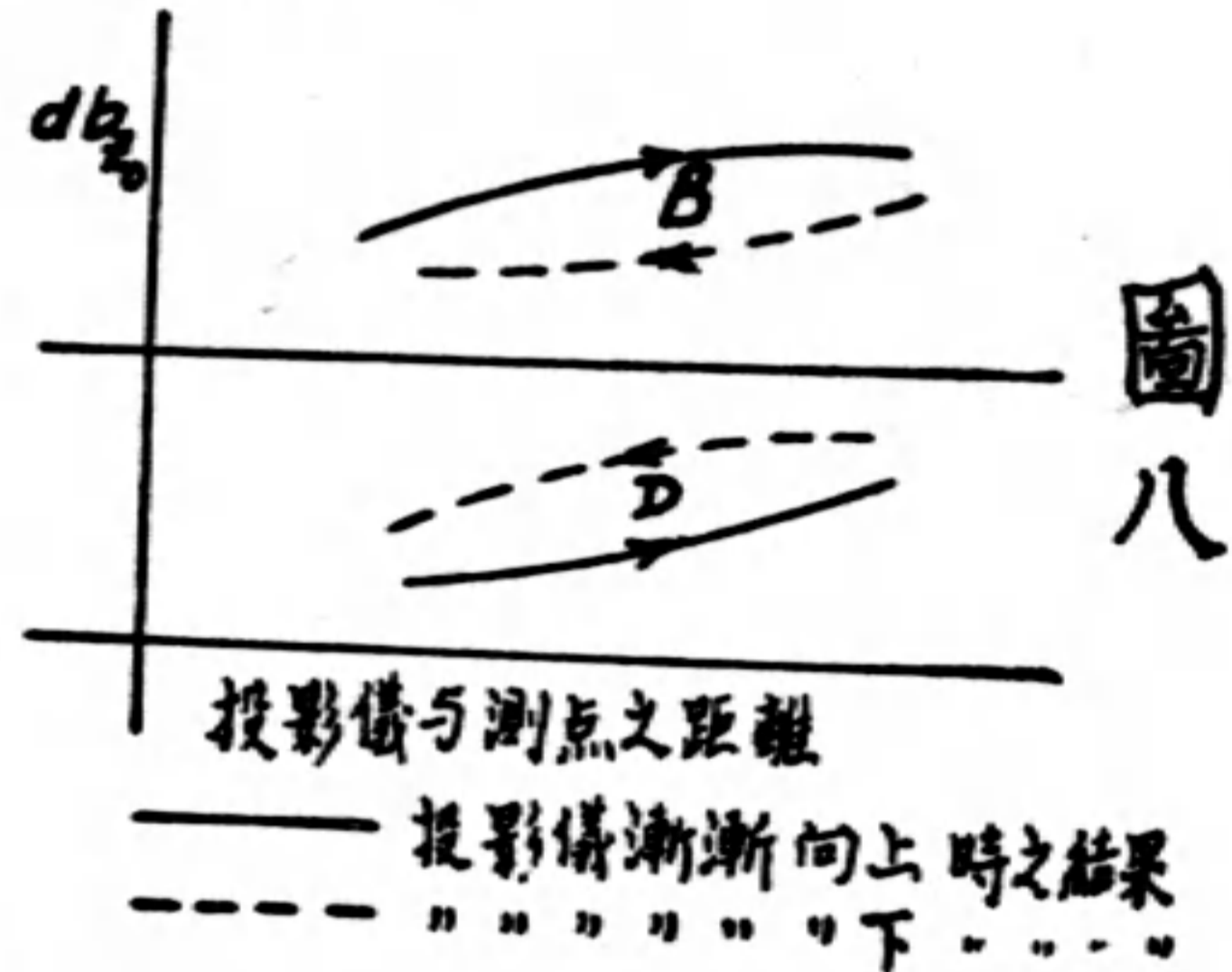


圖 八

今將依此步驟所得 db_{z_0} 之按其投影儀與測點之距離為橫坐標，繪於方格紙。其在 B, D 兩點 (圖九) 數次重覆結果，約略成圖八形狀。即當投影儀由上向下運動時，與由下向上運動時；其所求 db_{z_0} 之結果，本應全同者，顯有區差。此區差發生於前附鏡系統內凸鏡地位之不能固定。又因工作時嚴依一定之步驟，故當投影儀向一方向緩緩運動時，

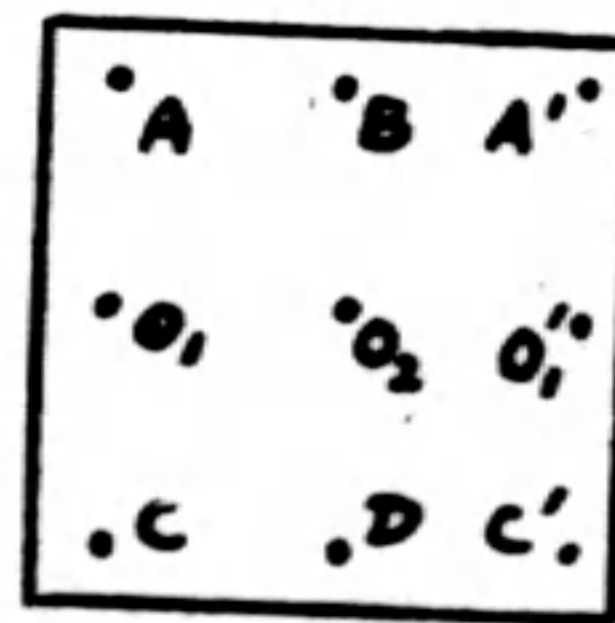


圖 九

此空隙作較有規律之影響，運動反向，則此空隙之影響，立即更改。據由原圖量出之平均結果，在距離為 360 公厘時，兩 db_{z_0} 曲線

之區差，約為 0.09 公厘。依此數為根據，利用公式：

$$d' = d_2 \cdot \frac{f_2}{f_0}$$

f_2 —— 前附鏡系統之焦距

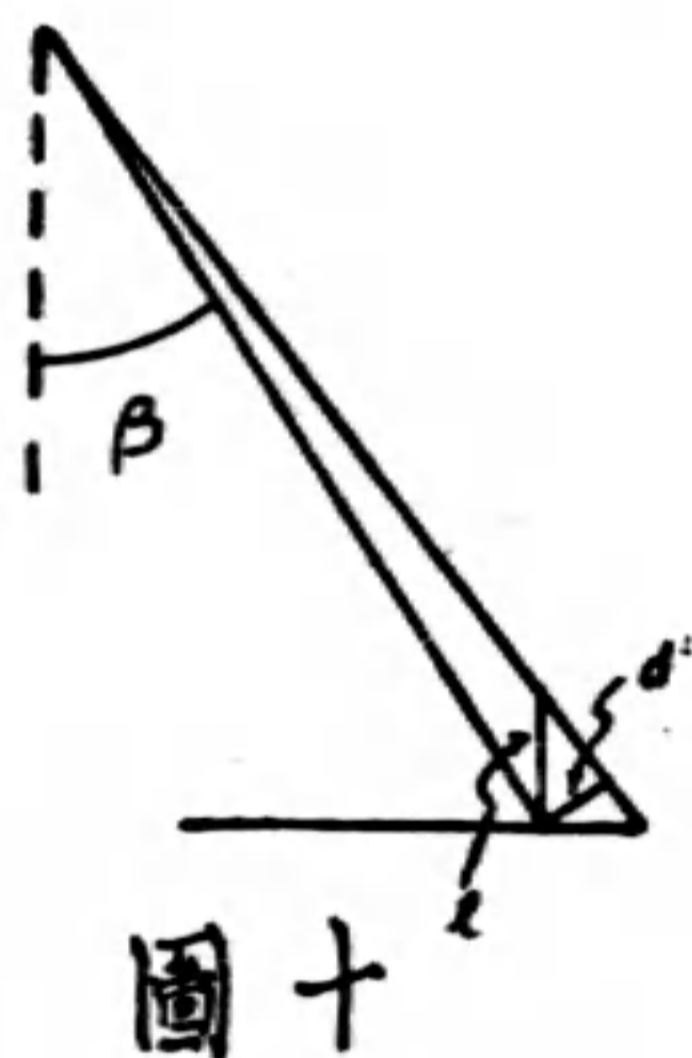
f_0 —— 前附鏡系統內凹凸透鏡之焦距

d_2 —— 凸鏡光軸與凹鏡節點之偏心差

d' —— 投影誤差

得：(圖十)

$$\begin{aligned} d_2 &= \frac{f_0}{f_2} \cdot d' = \frac{f_0}{f_2} \cdot l \cdot \sin \beta \\ &= \frac{40}{\left(\frac{360}{\cos \beta}\right)} \times 0.09 \times 0.36 = 3.4 \mu \end{aligned}$$



此數相當於前附鏡系統內凸鏡地位之空隙，與前頁推算 5μ 之量極相近。總之此儀之前附鏡系統內，定有數 μ 之空隙，此空隙之地位，如穩定時，足以發生天空三角鎖有系統之誤差；如不穩定時，則結果紛亂，以致於不能解釋。

第五節 結論

此文係依據德國格魯伯氏“天空導線及天空水平測量之理論及經驗”一文而作。擬對蔡司廠最重要之二航測製圖儀，探討其儀器本身，對於天空三角鎖測量有系統同擺誤差與交向誤差之影響。在理論方面，用幾何方法將此問題之基礎公式列出，更進而求其有系統誤差與 y -方向視差之關係。在實驗方面，利用方格網片在製圖儀上按光學機

械步驟，彼此相互連繫。其由多倍投影製圖儀觀測所得結果，並無不能解說之處，該儀器本身，無使天空三角鎖測量發生有系統同擺誤差之可能。至於蔡司精密實體製圖儀，則在理論上，有三處可以發生有系統之同擺誤差：

- (1) 由於前附鏡系統
- (2) 由於 x 導桿與基線 x 方向導桿之不相平行
- (3) 由於測點與測點面轉點不相疊合之偏心差

其中尤以第一項影響最鉅，前附鏡系統凸鏡之運動，須有數 μ 以內之精準。該實驗所用之儀，由觀測之結果推結，其前附鏡系統內之凸鏡地位，顯有數 μ 之空隙，足以解說此次實驗以及已往其他研究所得不規則之結果。其後更利用測定 db_2 方法，證實此項之假說。至於在天空三角鎖工作所發生之有系統交向誤差，應以攝影儀及投影儀透鏡之畸變差解釋之。在多倍投影製圖儀，更須檢查其由縮小儀內透鏡，壓板厚，及灰色濾鏡，共同所發生之畸變，是否有無。

最近第五屆世界攝影測量會議時，荷蘭施慕恆氏所發表之觀測結果，雜亂無律，不能引用以得任何之結論，由其天空三角鎖往返觀測所得不同之同擺誤差，足以證明其所用儀（亦係蔡司精密實體製圖儀）之機械方面，亦必有不穩定之處存在。惜其所發表，以及其他方面所公佈之結果，俱缺乏下列兩項之研究與記載：

- (1) 對於其所用儀器之研究，
- (2) 每次所求定各有系統誤差之可靠程度。(即須附註其誤差本身之平方誤差 (Meansquare Error))。

著者以為如任實際天空三角鎖觀測工作者，能將此兩點同時記載，則此有系統誤差之來源，不難知其究竟矣。

• 見前引著者原著之文第 339 頁。

沿翼展環流分佈計算之另一方法

呂 鳳 章

一 引言

於三位翼理論 (Theory of wing with finite span) 中知環流 (Circulation) 沿翼展 (Span) 分佈情形，乃可由一較為複雜之積分方程式中求得之。但於實際情形，此積分方程式之解求，至為不易，故欲得其完全與實在情形相符之結果，幾為不可能者。而今解求之積分方程式之近似方法甚多，其各法之簡易，以及其準確程度亦各不同。其中之最簡單者當為英人 Glauert 氏之方法^①，其法後經 Lotz 氏之推廣^②，又得較佳之結果，故近年來多為人所採用計算。德人 Wieselsberger 氏在東京帝國大學航空研究所時，曾與日人 Tani 發表另一新法^③，雖稱精確，但頗不易計算。前年德人 Multhopp 氏又將其引證已久之方法公佈於世^④，此法已為德國各方多所採用。其他尚有圖解及另種方法多種，不及詳舉。

本文所欲引證之方法，為先以環流 $\Gamma(y)$ 代以下列級數而後求得者：

$$\Gamma(y) = \Gamma_0(y) + k\Gamma_1(y) + k^2\Gamma_2(y) + \dots + k^n\Gamma_n(y) + \dots$$

其中 k 為原來積分方程式中所含有之一參數，設 k 之值選擇適當，則以上所列 $\Gamma(y)$ 之級數，代入原式，再比較 k^n 之各係數，即可得無窮多之方程式，而可求得 $\Gamma_0, \Gamma_1, \dots$ 無窮個未知函數，且 k 若適當，則此級數常可收斂甚快，而此級數之無限項，可代以有限之開首數項。是項方法曾被 Poincaré 氏用以解非直線之微分方程式^⑤，德人 Pöschl 氏亦曾應用於彈性長柱問題^⑥。

本方法較之 Wieselsberger 及 Multhopp 二氏所引證者，當簡易甚多，與 Glauert 氏方法相較，雖稍麻煩，但結果可較準確。此法若以弗氏級數 (Fourier series) 計算，則與 Lotz 氏之方法相差無幾，惟可不必解一繁雜之聯立方程式耳。

二 方法之引證

①見 Glauert, "The Elements of aerofoil and airscrew Theory" p. 137, 1926, Cambridge.

②見 Irmgrad Lotz "Berechnung der Auftriebsverteilung beliebiger geformter Flügel" Z. F. F. M., 1931 S. 189.

③見德教授 Wieselsberger 流體力學講義。

④見 Multhopp, "Die Berechnung der Auftriebsverteilung von Tragflügeln" Luft-Forschung Bd. 15, 1938 Heft 4.

⑤見 H. Poincaré, "Les méthodes de la mécanique céleste" Bd. 1. S. 32 Paris 1892.

⑥見 Th. Pöschl 所關長柱問題文，載於 Ing-Archiv IX Bd. 1 Heft 1938 S. 34.

於一般翼理論書冊中，可知單翼環流沿展分佈積分方程式^①為：

$$\frac{2\Gamma(\eta)}{V_\infty C'_{L\infty}(\eta)t(\eta)} + \frac{1}{4\pi V_\infty} \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} \frac{1}{\eta-y} \frac{d\Gamma}{dy} dy = \alpha(\eta) \dots\dots\dots(1)$$

其中之：

$t(\eta)$ = 翼弦(Wing chord)於各點之長度。

$C'_{L\infty}(\eta)$ = 兩位翼舉力係數與衝角(Angle of attack)曲線之坡度，此當因翼斷面不同而變。

$\alpha(\eta)$ = 幾何衝角(Geometrical angle of attack)。

b = 翼展長度。

V_∞ = 相對風速度(Relative wing velocity)。

今以

$$S'(\eta) = C'_{L\infty}(\eta)t(\eta)$$

並設

$$S(\eta) = \frac{S'(\eta)}{S'(0)}$$

其中

$$S'(0) = C'_{L\infty}(0)t(0) = C'_{L\infty 0} \cdot t_0$$

以上值代入(1)式，則可寫成爲：

$$\frac{2}{V_\infty} \frac{\Gamma(\eta)}{S'(0)} \frac{1}{S(\eta)} + \frac{1}{4\pi V_\infty} \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} \frac{1}{\eta-y} \frac{d\Gamma(y)}{dy} dy = \alpha(\eta) \dots\dots\dots(2)$$

今再以 $\eta = \frac{b}{2}u$ 及 $y = \frac{b}{2}v$ 代入，並令 $\alpha(\eta) = \alpha(0) \cdot \beta(\eta) = \alpha_0 \beta(\eta)$ ，且設

$$G(u) = \frac{2\Gamma(u)}{\alpha_0 V_\infty S'(0)} \dots\dots\dots(3)$$

則

$$G(u) + S(u) \frac{S'(0)}{4\pi b} \int_{-1}^{+1} \frac{\frac{dG}{dv} dv}{u-v} = \beta(u) S(u) \dots\dots\dots(4)$$

今設欲求之 $G(u)$ 爲下列級數

$$G(u) = G_0(u) + kG_1(u) + k^2 G_2(u) + \dots\dots\dots(5)$$

其中之 k 今選爲

$$k = \frac{S'(0)}{4\pi b} = \frac{C'_{L\infty 0} t_0}{4\pi b} \dots\dots\dots(6)$$

按於普通情形 $C'_{L\infty}$ 之值爲理論值之 80-90%，理論中 $C'_{L\infty}$ 之值爲 2π ，故 $C'_{L\infty 0}$ 最大之值皆小於 2π ，再者第一式之引證，其弦展比(Asspect ratio)必不當過小，故 t_0/b 之值絕不過大，通常若爲 1/5 以下，故可知 k 之值實皆小於 1/10。

由微分(5)式，得

$$\frac{dG}{dv} = \frac{dG_0}{dv} + k \frac{dG_1}{dv} + k^2 \frac{dG_2}{dv} + \dots\dots\dots(7)$$

今以(5)及(7)二式代入(4)，則(4)式寫成

^①見Glauert, "The Elements of airfoil and airscrew Theory" p. 137.

$$G_0 + kG_1 + k^2G_2 + \dots + kS(u) \int_{-1}^{+1} \frac{\frac{dG_0}{dv} + k\frac{dG_1}{dv} + k^2\frac{dG_2}{dv} + \dots}{u-v} dv = \beta(u)S(u) \dots (8)$$

比較(8)式 k^n 各項係數，知

$$\left. \begin{aligned} G_0 &= \beta(u)S(u) \\ G_1 &= -S(u) \int_{-1}^{+1} \frac{dG_0}{dv} \frac{dv}{u-v} \\ G_2 &= -S(u) \int_{-1}^{+1} \frac{dG_1}{dv} \frac{dv}{u-v} \\ &\dots\dots\dots \\ G_n &= -S(u) \int_{-1}^{+1} \frac{dG_{n-1}}{dv} \frac{dv}{u-v} \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

依據(9)式，吾人只須 $\beta(u)$ 及 $S(u)$ 已知，則 G_0 之值立即可知， G_0 既知，則代入 G_1 式內，經過積分，則可計得 G_1 ， G_2 又可由 G_1 求之，故依次 G_3, G_4, \dots 直到 G_n 皆可求得。若收斂很快，即或算至 G_3 或 G_4 ，即已可得準確之結果。 G_n 之值既個別漸次求得，則 $\Gamma(y)$ 之值按(3)式亦可計求。按 β 與 S 皆為翼構造情形條件，而為計算時必給之條件，故按此條件，依據(9)式，則可得所欲求之環流矣。

三 以弗氏級數計算方法

於普通情形，若 $\beta(u)$ 及 $S(u)$ 皆為有理函數，則求 G_n 各值時，積分或可不成問題，否則吾人可將此二函數寫成弗氏級數，以便計算，其計算 G_n 之方法如下：

先令 $u = -\cos \varphi$ $v = -\cos \psi$ (10)

則(8)式可改為

$$\left. \begin{aligned} G_0(\varphi) &= S(\varphi)\beta(\varphi) \\ G_1(\varphi) &= -S(\varphi) \int_0^\pi \frac{dG_0}{d\psi} \frac{d\psi}{\cos \psi - \cos \varphi} \\ G_2(\varphi) &= -S(\varphi) \int_0^\pi \frac{dG_1}{d\psi} \frac{d\psi}{\cos \psi - \cos \varphi} \\ &\dots\dots\dots \\ G_n(\varphi) &= -S(\varphi) \int_0^\pi \frac{dG_{n-1}}{d\psi} \frac{d\psi}{\cos \psi - \cos \varphi} \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

今若將 $\beta(\varphi)$ 及 $S(\varphi)$ 寫作下列弗氏級數：

$$S(\varphi) = \sum_0^\infty S_n \cos n\varphi$$

$$\beta(\varphi) = \sum_0^{\infty} \beta_n \sin n\varphi$$

則 $S(\varphi) \cdot \beta(\varphi)$ 可按下列關係改寫為一正弦級數

$$\cos A \cdot \sin B = \frac{1}{2} [\sin(A+B) - \sin(A-B)]$$

$$S(\varphi) \cdot \beta(\varphi) = A_0 + \sum_1^{\infty} A_{0n} \sin n\varphi \dots\dots\dots (12)$$

且
$$-\frac{S(\varphi) \cdot \pi}{\sin \varphi} = \sum_0^{\infty} H_n \cos n\varphi \dots\dots\dots (13)$$

普通情形於翼之兩端，其 t 之值多為零，故 $S(0)$ 及 $S(\pi)$ 之值為零，同時 A_0 之值亦當為零。因 $S(\varphi)$ 及 $\alpha(\varphi)$ 函數對稱於翼之中央 ($\varphi = \frac{\pi}{2}$)，故於(12)式 n 之值皆為奇數而(13)

式 n 之值皆為偶數。

由(12)式，知

$$G_0 = \sum_1^{\infty} A_{0n} \sin n\varphi \dots\dots\dots (14)$$

則
$$\frac{dG_0}{d\varphi} = \sum_1^{\infty} A_{0n} \cdot n \cos n\varphi \dots\dots\dots (15)$$

代入 G_1 式內

$$\begin{aligned} G_1 &= -S(\varphi) \sum_1^{\infty} \int_0^{\pi} \frac{A_{0n} \cos n\psi \cdot n \, d\psi}{\cos \psi - \cos \varphi} \\ &= -S(\varphi) \sum_1^{\infty} A_{0n} \cdot n \cdot \int_0^{\pi} \frac{\cos n\psi}{\cos \psi - \cos \varphi} d\psi \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

但
$$\int_0^{\pi} \frac{\cos n\psi}{\cos \psi - \cos \varphi} d\psi = \frac{\pi \sin n\varphi}{\sin \varphi}$$

故
$$\begin{aligned} G_1 &= -S(\varphi) \sum_1^{\infty} A_{0n} \cdot n \cdot \pi \cdot \frac{\sin n\varphi}{\sin \varphi} \\ &= -\frac{S(\varphi) \cdot \pi}{\sin \varphi} \sum_1^{\infty} A_{0n} \cdot n \cdot \sin n\varphi \end{aligned}$$

設
$$A_{0n} \cdot n = a_{0n} \dots\dots\dots (17)$$

且由(13)式知

$$G_1 = \sum_0^{\infty} H_n \cos n\varphi \sum_1^{\infty} a_{0n} \sin n\varphi$$

則亦可按三角函數關係，寫為一正弦級數如下：

同理

$$\begin{aligned}
 G_1 &= \sum_1^{\infty} A_{1n} \sin n\varphi \\
 G_2 &= \sum_0^{\infty} H_n \cos n\varphi \sum_1^{\infty} a_{1n} \sin n\varphi = \sum_1^{\infty} A_{2n} \sin n\varphi \\
 G_3 &= \sum_0^{\infty} H_n \cos n\varphi \sum_1^{\infty} a_{2n} \sin n\varphi = \sum_1^{\infty} A_{3n} \sin n\varphi \\
 &\dots\dots\dots \\
 G_m &= \sum_0^{\infty} H_n \cos n\varphi \sum_1^{\infty} a_{(m-1)n} \sin n\varphi = \sum_1^{\infty} A_{m..n} \sin n\varphi \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

由此結果，可知 G_1, G_2, \dots 各為一正弦級數，其級數各項係數的關係已如上述，而其由 H_n 及 $a_{(m-1)n}$ 之計算，可由下列諸方程式求得之。

$$\begin{aligned}
 A_{m1} &= \frac{1}{2}(2H_0 - H_2)a_{(m-1)1} + \frac{1}{2}(H_2 - H_4)a_{(m-1)3} + \frac{1}{2}(H_4 - H_6)a_{(m-1)5} \\
 &\quad + \frac{1}{2}(H_6 - H_8)a_{(m-1)7} + \dots\dots\dots \\
 A_{m3} &= \frac{1}{2}(H_2 - H_4)a_{(m-1)1} + \frac{1}{2}(2H_0 - H_6)a_{(m-1)3} + \frac{1}{2}(H_2 - H_8)a_{(m-1)5} \\
 &\quad + \frac{1}{2}(H_4 - H_8)a_{(m-1)7} + \dots\dots\dots \\
 A_{m5} &= \frac{1}{2}(H_4 - H_6)a_{(m-1)1} + \frac{1}{2}(H_2 - H_8)a_{(m-1)3} + \frac{1}{2}(2H_0 - H_{10})a_{(m-1)5} \\
 &\quad + \frac{1}{2}(H_2 - H_{12})a_{(m-1)7} + \dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

按 $-\frac{S(\varphi)\pi}{\sin(\varphi)}$ 若寫成弗氏級數，則 φ 由 0 至 π 時，其各點之值必須為有限者。此數之分子 π 為常數， $S(\varphi)$ 之值不可能為無限大，是故斯值僅當分母為零時，方有為無限大值之可能。按 $\sin \varphi$ 為零，僅當 $\varphi=0$ 及 $\varphi=\pi$ 時，前節已述 $S(\varphi)$ 對稱 $\varphi=\frac{\pi}{2}$ ，故只須知道當 $\varphi=0$ 時， $S(\varphi)/\sin \varphi$ 不為無限大，即可將其值寫成弗氏級數。按 $(S\varphi)$ 之值，當 $\varphi=0$ 時，常因 $t=0$ 而為零，故是否可寫成級數，當先試下條件是否適合：

$$\lim_{\varphi \rightarrow 0} \left| \frac{S(\varphi)}{\sin(\varphi)} \right| \neq \infty \tag{20}$$

若是條件已不適合，則 $-\frac{S(\varphi)}{\sin \varphi} \pi$ 並不能寫成弗氏級數，亦即上述計算皆不可應用於實際。遇有此項情形，可將其逆數寫成弗氏級數，即

$$-\frac{1}{\pi} \frac{\sin(\varphi)}{S(\varphi)} = \sum_0^{\infty} H'_n \cos n\varphi \dots\dots\dots (21)$$

以 H'_n 之值代入(19)式中各 H_n 之值，則 A_{mn} 及 $a_{(m-1)n}$ 之關係，恰與(19)式所示者完全相反，故可將(19)式中 A_{mn} 及 $a_{(m-1)n}$ 之位置調換，解此聯立方程式，而求得 A_{mn} 之值，此當較前述者稍繁。

四 橢圓載荷情形之計算

應用上述方法至橢圓載荷(Elliptical loading)，吾人可得一完全與理論相符之結果，於橢圓載荷：

$$t = t_0 = \sin \varphi$$

$$\alpha(\varphi)\alpha_0 \text{ 或 } \beta(\varphi) = 1$$

$$C'_{L\infty}(\varphi) = C'_{L\infty 0}$$

則

$$S(\varphi) = \sin \varphi$$

故

$$G_0 = S(\varphi) = \sin \varphi$$

$$G_1 = -\sin \varphi \int_0^{\pi} \frac{\cos \psi d\psi}{\cos \psi - \cos \varphi} = -\pi \sin \varphi$$

$$G_2 = +\pi^2 \sin \varphi$$

$$G_3 = -\pi^3 \sin \varphi$$

.....

$$G_n = (-1)^n \pi^n \sin \varphi$$

則

$$G = (1 - \pi k + \pi^2 k - \dots\dots\dots) \sin \varphi$$

$$= \left(\frac{1}{1 + \pi k} \right) \sin \varphi = \frac{4b}{4b + t_0 C'_{L\infty 0}} \sin \varphi$$

$$\Gamma = \frac{2V_{\infty} b C_{L0}}{4b + t_0 C'_{L\infty 0}} \sin \varphi = \Gamma_0 \sin \varphi \dots\dots\dots (22)$$

是結果與理論所求得者，完全相符， Γ_0 之值亦相同。

五 計算例題

欲明白本文所引證方法之實際計算步驟，可舉實例如下：

今設一近似橢圓之翼形，其沿翼展各點弦長以下式表明之：

$$t = t_0(1.05 \sin \varphi + 0.05 \sin 3\varphi)$$

同時

$$\alpha(\varphi) = \alpha_0.$$

$$C_{L\infty}(\varphi) = C_{L\infty 0} = \frac{7}{4} \pi$$

$$t_0/b = 6$$

則知

$$k = \frac{\frac{7\pi}{4}}{4\pi \cdot 6} = 0.0729$$

$$S(\varphi) = 1.05 \sin \varphi + 0.05 \sin 3\varphi$$

$$\frac{S(\varphi)}{\sin \varphi} = 1.1 + 0.1 \cos 2\varphi$$

茲據計算，得 G_n 各值爲：

$$G_0 = 1.05 \sin \varphi + 0.05 \sin 3\varphi$$

$$kG_1 = -0.2545 \sin \varphi - 0.04983 \sin 3\varphi - 0.001718 \sin 5\varphi$$

$$k^2G_2 = +0.0628 \sin \varphi + 0.04062 \sin 3\varphi + 0.003873 \sin 5\varphi + 0.0000982 \sin 7\varphi$$

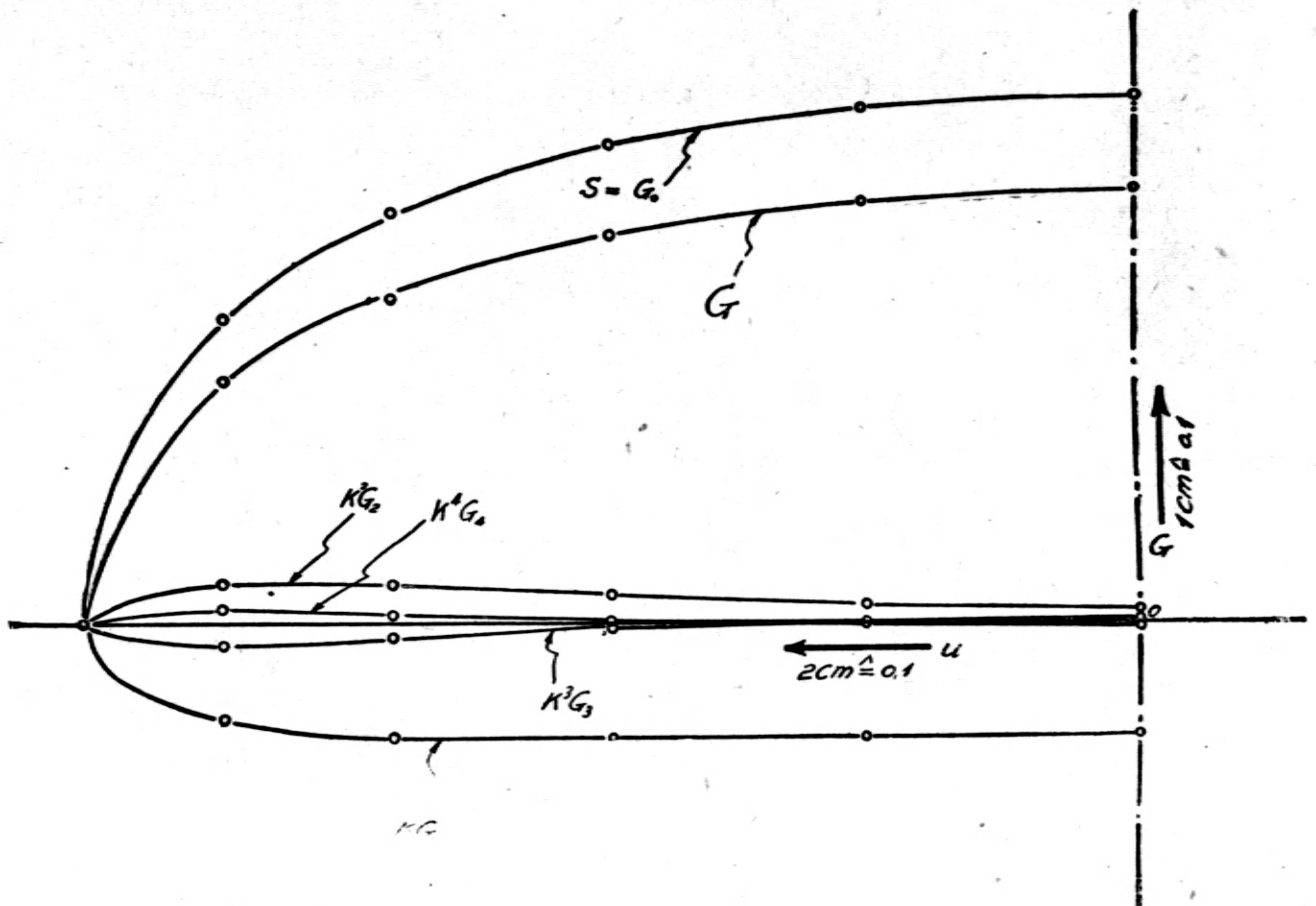
$$k^3G_3 = -0.01648 \sin \varphi - 0.03161 \sin 3\varphi - 0.00627 \sin 5\varphi - 0.0003938 \sin 7\varphi \\ - 0.0000788 \sin 9\varphi$$

$$k^4G_4 = +0.00505 \sin \varphi + 0.02445 \sin 3\varphi + 0.008782 \sin 5\varphi + 0.001016 \sin 7\varphi \\ + 0.000233 \sin 9\varphi$$

茲由上式求得其於各點之值如下：

φ	μ	G_0	kG_1	k^2G_2	k^3G_3	k^4G_4	G
0	-1	0	0	0	0	0	0
30°	-0.866	0.575	-0.178	0.07398	-0.0428	0.0298	0.4579
45°	-0.707	0.778	-0.2155	0.0704	-0.0293	0.01498	0.6185
60°	-0.500	0.909	-0.219	0.0512	-0.00318	0.003212	0.7352
75°	-0.259	0.9797	-0.2111	0.0331	+0.0049	0.01005	0.7966
90°	0	1.000	-0.20639	0.02635	+0.00925	-0.00945	0.8229

G 之值既知，乘一常數，即可求得 Γ ，故 Γ 與 G 之曲線相似。下圖示 G_0 ， kG_1 ， k^2G_2 ， k^3G_3 ， k^4G_4 及 G 於翼展各點之值之曲線， G 之值除在端處收斂稍緩外，其餘各點收斂甚。以上計算結果與他法所求得者甚近似。



建 · 築 · 書

商務印書館出版

營造法式 宋李誠著 8册 100.00元
 房屋建築學(職業教科書) 唐英等編 1册 .50元
 房屋 薛次莘著 1册 .80元
 建築圖學(職業教科書) 火永彰編 1册 .60元
 鋼鐵屋架設計(職業教科書) 周頌文編 1册 1.00元
 實用鋼筋混凝土建築法 Malphettes著 顧在挺譯 1.40元

三和土 馮雄著 1册 .50元
 圻工 馮雄著 2册 .70元
 土工(職業教科書) 楊文淵編 1册 .40元
 美國住宅問題概觀 國際勞工局著 1册 .40元
 暖氣工程 陸警鐘著 1册 .55元
 冷氣工程 黃達善著 1册 .35元
 屋內電燈裝置概要 丁俊編 1册 .25元

鋼筋混凝土預力樑之研究與設計

王 敬 立

〔引言〕 鋼筋混凝土樑之混凝土，祇能受極小部分之拉力，故普通設計中，此些微之拉應力略而不計，而在中立軸以下之混凝土，祇作保護鋼板不受侵蝕與傳遞剪應力之用，與樑之抵抗彎撓量無關。此自利用材料之觀點視之，當為不經濟之舉。為減少此不經濟起見，乃有丁樑之設，以減少其拉截面。至本文所欲討論者，為另一增加抗彎量之方法，即藉預施應力原理，使原來不能受拉力之部分，可以受拉力也。

〔設計原理〕 假定有一長方形截面之預力鋼筋混凝土樑，截面寬為 b ，深為 d 。鋼筋之預力(或稱初拉力)為 f_{is} 。設置此初拉力之法，可使主筋之兩端伸出模殼之外，用機械於兩端以一定之拉力拉引之。然後傾倒混凝土於模內。鋼筋之兩端刻有螺旋紋並帶有螺栓帽。螺栓帽與樑端之間所有鋼筋均穿過一共同之鋼板。板寬為 b ，同樑寬，深為 kd 。俟混凝土凝固能荷力時，卸去模殼，將鋼板推貼樑端，旋緊螺帽，再將拉力機械卸去，如是則鋼筋將鬆弛其初拉力之一部而使混

土受有初壓力。若此鋼筋置於樑之下部，則在樑受荷重時，其下面原應由於彎撓而發生之拉力，適重疊於初壓力之上而互消。故此樑設計時可假定整箇截面有效。試取樑內最大重力率處之截面，使

kd 為中立軸與下面之距離，亦即樑端鋼板之深度

d' 為鋼筋中心與下面之距離

f_c 為受彎撓後上面混凝土最外纖維之單位壓應力

f_{ic} 為混凝土下面最外纖維之單位初壓應力

f_{is} 為鋼筋之單位初拉應力，其總拉力為 T_s

f'_s 為樑受彎撓後所引起之鋼筋單位拉應力

A_s 為鋼筋截面 = pbd

C 為混凝土之總壓應力

f_{ct} 為混凝土之下面最外單位拉應力，以與初壓力相對消者，其總拉應力為 T_c 。

吾人試假定混凝土之初壓單位應力之變

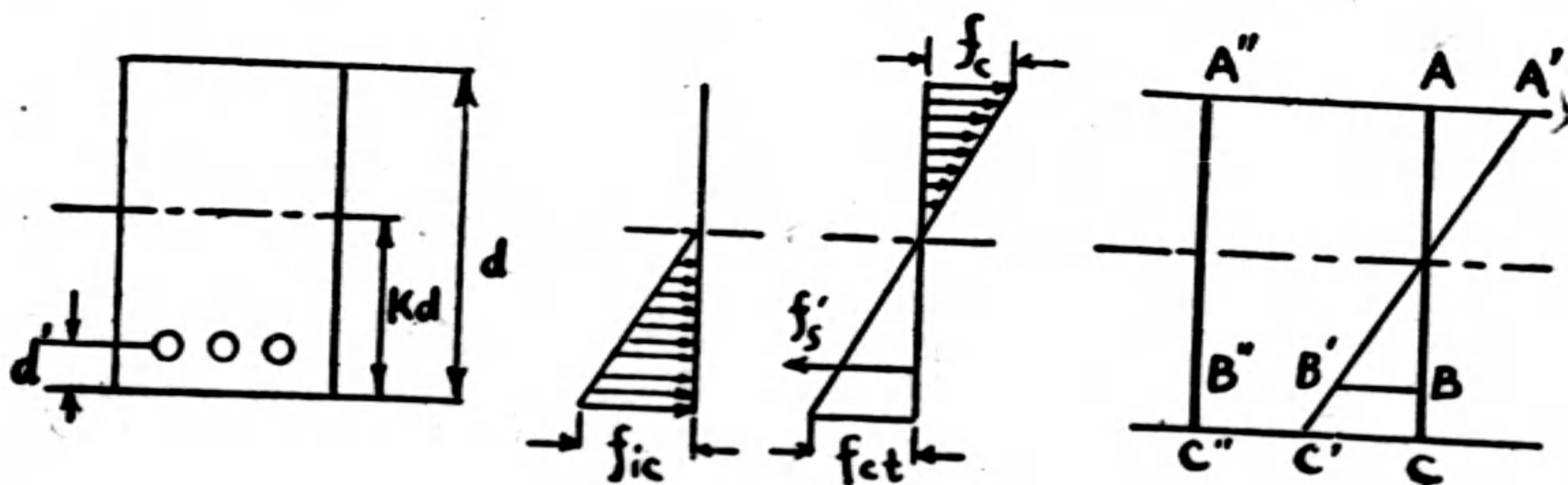


圖 1a

圖 1b

化，係由中立軸 O 值起，往下為一直線。如是吾人可得以下數方程式：——

$$A_s f_{is} = \frac{f_{ic}}{2} kbd = pbd f_{is}$$

$$f_{ic} = \frac{2p f_{is}}{K}, \quad f_{is} = \frac{k f_{ic}}{2p} \dots\dots\dots (1)$$

$$C = \frac{f_c b (d - kd)}{2} = \frac{f_c}{2} (1 - k) bd \dots\dots\dots (2)$$

$$T_c = \frac{f_{ct}}{2} kbd \dots\dots\dots (3)$$

$$T_s = f'_s A_s = pbd f'_s \dots\dots\dots (4)$$

為充分利用初壓應力起見，可使 $f_{ct} = f_{ic}$ ，則(3)式成爲：——

$$T_c = \frac{f_{ic}}{2} kbd \dots\dots\dots (5)$$

所有水平拉力之總和，應等於水平壓力之總和，故：——

$$C = T_c + T_s$$

將(2),(3),(4)各公式之值代入，並將每項之 bd 削去，得：——

$$\frac{f_{ct}}{2} k + p f'_s = \frac{f_c}{2} (1 - k) \dots\dots\dots (6)$$

再自前方視此樑之立面，如圖1 b. 其中 ABC 爲截面之側影，受彎撓後，此截面轉至 $A'B'C'$ 地位。使

E_c 爲混凝土之彈率

E_s 爲鋼筋之彈率

$$\frac{E_s}{E_c} = n$$

$$\text{則 } AA' = \frac{f_c}{E_c}, \quad CC' = \frac{f_{ct}}{E_c},$$

$$BB' = \frac{f'_s}{E_s} \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{BB'}{AA'} = \frac{kd - d'}{d - kd} = \frac{f'_s}{E_s} \cdot \frac{E_c}{f_c} = \frac{f'_s}{n f_c}$$

$$\text{故 } f'_s = \frac{n \left(k - \frac{d'}{d} \right)}{1 - k} f_c \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{CC'}{AA'} = \frac{kd}{d - kd} = \frac{f_{ct}}{E_c} \cdot \frac{E_c}{f_c}$$

$$\text{故 } f_{ct} = \frac{f_c k}{1 - k} \dots\dots\dots (9)$$

將(9)(8)代入(6)，再將每項之 f_c 削去，得

$$\frac{k^2}{2(1 - k)} + \frac{pn \left(k - \frac{d'}{d} \right)}{1 - k} = \frac{1}{2} (1 - k)$$

$$k = \frac{2pn \frac{d'}{d} - 1}{2(pn + 1)},$$

$$\text{或 } pn = \frac{1 - 2k}{\left(k - \frac{d'}{d} \right)^2} \dots\dots\dots (10)$$

至此，吾人試檢討以上之假定“混凝土之初壓單位應力之變化，係由中立軸 O 值起，往下為一直線”。此假定須加以限制始能成立。吾人所熟知之直接與彎撓應力公式如下：

$$f = \frac{P}{A} \left(1 \pm \frac{ec}{r^2} \right)$$

其中 f 爲距中立軸 c 處之單位應力， P 爲直接總應力， e 爲偏心距， r 爲截面對中立軸之旋幅， A 爲截面面積。自上述情形而觀，鋼板之中立軸乃在其深度一半，即 $\frac{kd}{2}$ ，又

$$P = f'_s A_s = pbd f'_s, \quad A = kbd.$$

$$r^2 = \frac{1}{12} (kd)^2,$$

若在樑中立軸亦即鋼板上緣之 f 爲 0，

$$\text{則 } c = \frac{kd}{2}$$

$$f = 0 = \frac{pbd f'_s}{kbd} \left(1 - \frac{e \frac{kd}{2}}{\frac{1}{12} (kd)^2} \right),$$

$$\text{得 } e = \frac{1}{6} kd$$

e 爲鋼筋距 $\frac{1}{2} kd$ 處之距離，故

$$d' = \frac{1}{2} kd - e = \frac{kd}{3} \dots\dots\dots (11)$$

以之代入(10)，得：——

$$k = \frac{3}{2(pn + 3)},$$

$$\text{或 } p = \frac{1}{n} \left(\frac{3}{2k} - 3 \right) \dots\dots\dots (12)$$

此爲檢查應力時應用之公式，惟應注意者，

鋼筋須放於鋼板距下緣 $\frac{1}{3}$ 深度處也。

再以中立軸為動率中心，使 M_c 為混凝土壓力對中立軸之動率， M_{ct} 為混凝土拉力之動率， M_s 為鋼筋拉力之動率， M 為外動率，則

$$M_c = \frac{f_c}{2} b(1-k)d \times \frac{2}{3}(1-k)d$$

$$= \frac{f_c}{3} (1-k)^2 bd^2 \dots\dots\dots (13)$$

$$M_{ct} = \frac{f_{ct}}{2} bkd \times \frac{2}{3} kd$$

$$= \frac{f_{ct}}{3} k^2 bd^2 \dots\dots\dots (14)$$

$$M_s = f'_s (kd - d') A_s$$

$$= pf'_s \left(k - \frac{d'}{d} \right) bd^2 \dots\dots\dots (15)$$

$$\frac{M}{bd^2} = \frac{M_c + M_{ct} + M_s}{bd^2}$$

$$= \frac{f_c}{3} (1-k)^2 + \frac{f_{ct}}{3} k^2 + pf'_s \left(k - \frac{d'}{d} \right)$$

代入(9)(8)公式內 f_{ct} 與 f_s 對 f_c 之值

$$\frac{M}{f_c bd^2} = \frac{(1-k)^3 + k^3 + \left(k - \frac{d'}{d} \right)^2 pn}{1-k}$$

$$= J \dots\dots\dots (16)$$

再代入(11)式內 d' 值與(12)式內之 p 值，得：——

$$J = \frac{M}{f_c bd^2} = \frac{(1-k)^3 + k^3 + \frac{4}{9} k^2 pn}{1-k}$$

$$= \frac{1}{3} \left[\frac{1}{1-k} - 5k + 2 \right] \dots\dots\dots (17)$$

〔變換截面法 Method of Transformed Section〕圖 2 示變換截面。求全部轉換截面對上緣之動率，再以轉換截面面積除之，得

$$d - kd = \frac{(n-1)A_s(d-d') + \frac{bd^2}{2}}{bd + (n-1)A_s} \dots\dots (18)$$

此處不妨使 n 代 $n-1$ ，再將 $A_s = pbd$ 代入，

$$\text{得： } k = \frac{1 + 2np \frac{d'}{d}}{2(1+np)} \dots\dots\dots (11)$$

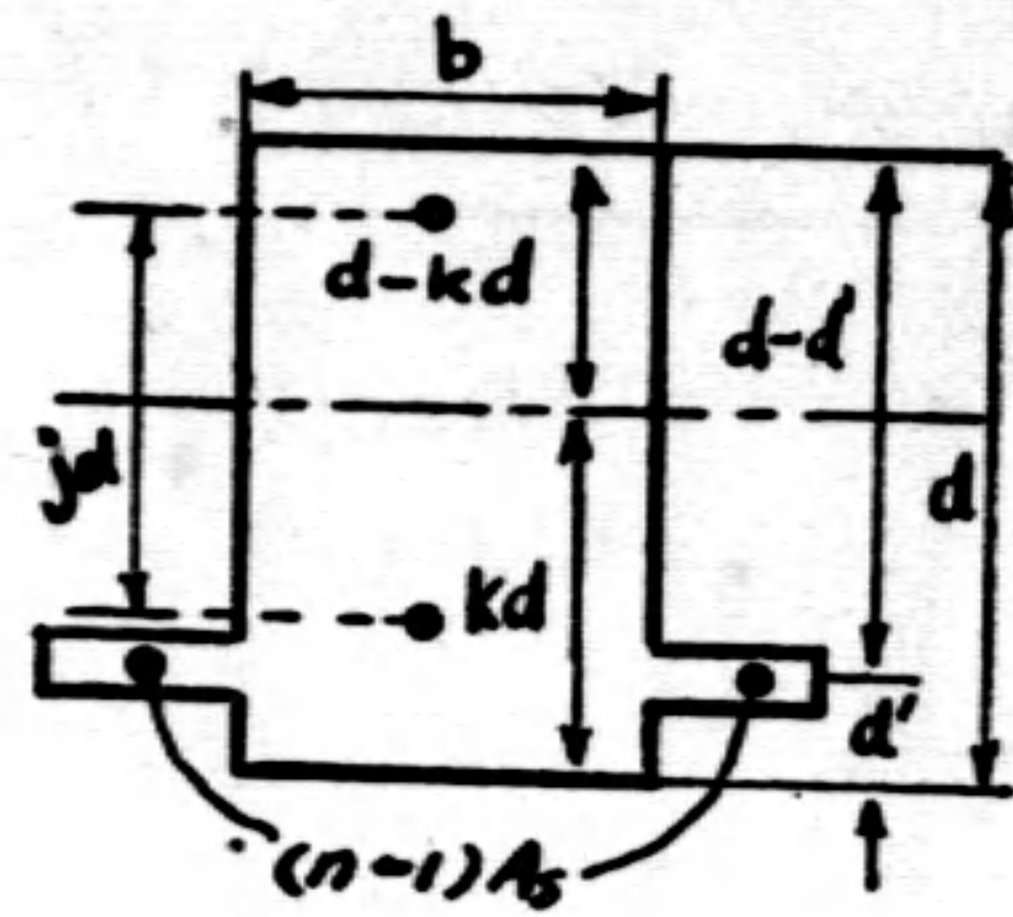


圖 2

使變換截面之拉應力中心與壓應力中心之距離為 jd ，則

壓應力中心距中立軸為

$$\frac{d - kd}{3} = \frac{1}{3} (1-k)d \dots\dots\dots (19)$$

拉應力中心距中立軸為

$$\frac{\frac{b(kd)^2}{2} + npbd(kd - d')}{kbd + npbd}$$

$$= \frac{\frac{k^2}{2} + np \left(k - \frac{d'}{d} \right)}{k + np} \dots\dots\dots (20)$$

代入 $d' = \frac{kd}{3}$ ，得：——

$$\frac{d}{2} \left[k + \frac{npk}{3(k+np)} \right] \dots\dots\dots (21)$$

兩者相加，得：——

$$jd = \frac{d}{3} (1-k) + \frac{d}{2} \left[k + \frac{npk}{3(k+np)} \right]$$

$$j = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \left[k + np - \frac{(np)^2}{k+np} \right] \dots\dots\dots (22)$$

〔黏力〕 在此種樑內，鋼筋與混凝土間之黏力，原不關重要，惟不妨加以研究，以計核其數量。試取兩截面間 dx 長之樑一段。使 V 代表兩截面內之總剪應力。以 a 點為中心，求各力動率之和，（兩方之初壓應力相消，故不必計入），得：——

$$Vdx = (C - C') \frac{2}{3} (d - kd) + (T_c - T'_c)$$

$$\frac{2}{3} kd + (T_s - T'_s) (kd - d') \dots\dots\dots (23)$$

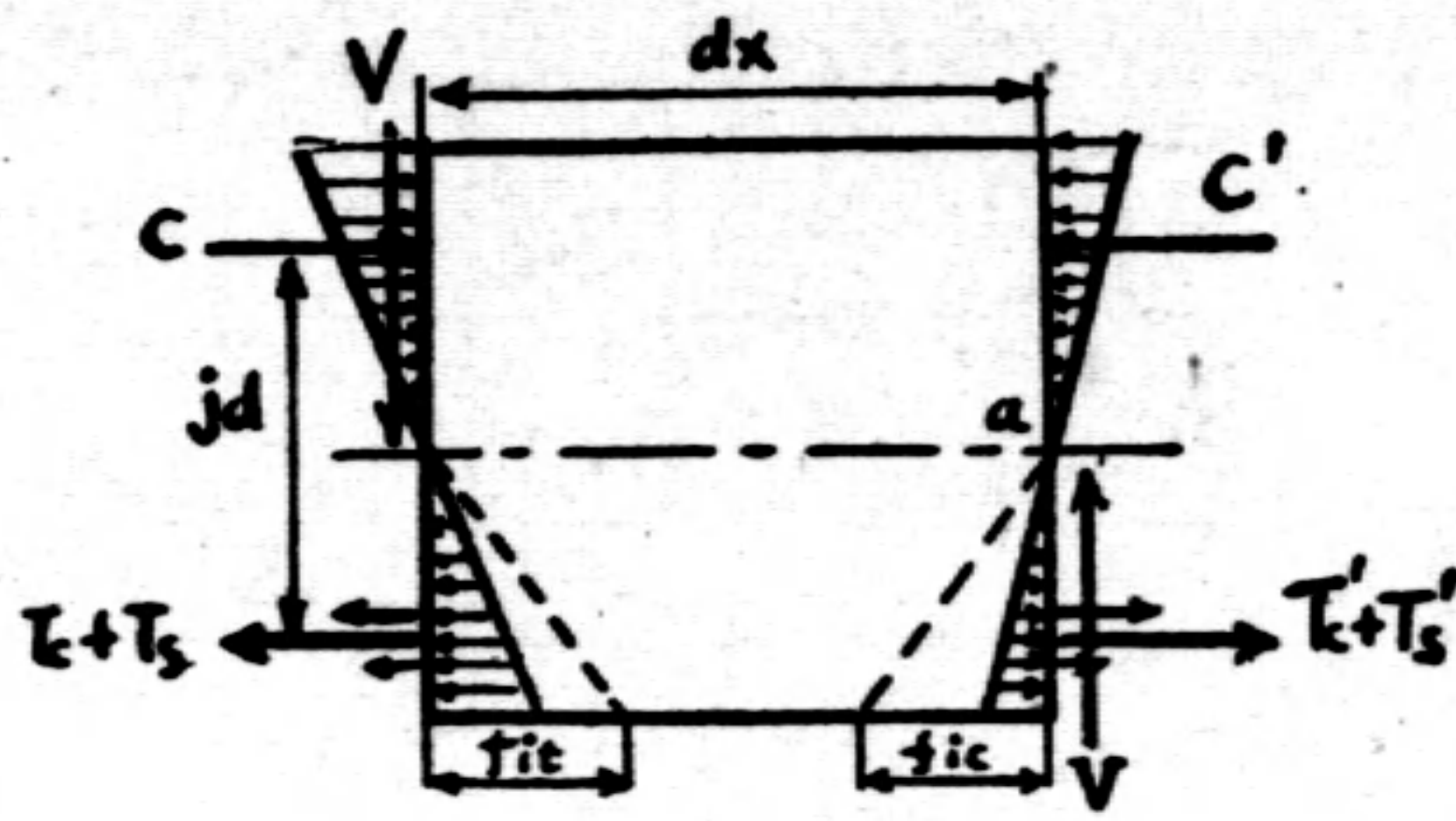


圖 3

因 $C = T_c + T_s, C' = T'_c + T'_s$,

$$故 V dx = \frac{2}{3}(C - C')d + \left(\frac{1}{3}kd - d'\right) (T_s - T'_s) \dots\dots\dots (24)$$

$$現 C = \frac{M}{jd}, C' = \frac{M'}{jd},$$

$$又 \frac{M - M'}{dx} = \frac{dM}{dx} = V,$$

$$故 V dx = \frac{2}{3} \frac{dM}{j} + \left(\frac{1}{3}kd - d'\right) dT_s,$$

$$\frac{dT_s}{dx} = \frac{V \left(1 - \frac{2}{3j}\right)}{\frac{1}{3}kd - d'}$$

然 $\frac{dT_s}{dx}$ 為每單位長鋼筋拉力之變化，應為黏力所抵禦，故：——

$$\Sigma_0 u = \frac{V \left(1 - \frac{2}{3j}\right)}{kd - \frac{1}{3}d'} \dots\dots\dots (25)$$

其中 Σ_0 為所有鋼筋截面周長之和， u 為單位黏力也。若 $d' = \frac{1}{3}kd$ ，則此式不成立，當溯回公式(24)，此時應為：——

$$V dx = \frac{2}{3}(C - C')d,$$

$$故 C - C' = \frac{3}{2} \frac{V dx}{d} \dots\dots\dots (26)$$

以之代入(23)，得：——

$$V dx = V(1 - k) dx + \frac{2}{3}(T_c - T'_c)kd + \frac{2}{3}(T_s - T'_s)kd \dots\dots\dots (27)$$

吾人可使 $T_c = mT_s, T'_c = mT'_s$ ，則 $m = \frac{T_c}{T_s}$ 。利用公式(3)(4)，再將公式(8)(9)代入，得：——

$$m = \frac{\frac{1}{2}f_c kbd}{p d f'_s} = \frac{3}{4} \frac{k}{pn} \dots\dots\dots (28)$$

$$若 d' = \frac{kd}{3}, 則 m = \frac{k^2}{2(1 - k)} \dots\dots\dots (29)$$

以之代入(27)，得：——

$$V dx = \frac{2}{3}(m + 1)(T_s - T'_s)d$$

$$\Sigma_0 u = \frac{T_s - T'_s}{dx} = \frac{3}{2} \frac{V}{d} \frac{1}{(m + 1)}$$

$$= \frac{V}{d} \frac{6pn}{3k + 4pn} \dots\dots\dots (30)$$

若 $d' = \frac{1}{3}kd$ ，則

$$u \Sigma_0 = \frac{V}{d} \left(\frac{3}{3 - k}\right) = \frac{V}{d - d'} \dots\dots\dots (31)$$

〔斜拉應力〕 全部樑內無拉纖維應力，故斜拉應力不至甚大，最大值當在中立軸，該處之斜拉應力等於剪應力。

$$f_{cs} = V_{max} \dots\dots\dots (32)$$

求 V_{max} 之法，可假定 $d' = \frac{kd}{3}$ ，仍取

圖 3 內之樑段，自中立軸水平剖開，則上半部壓應力之差，應由水平截面內之水平剪應力抵禦之，得

$$C - C' = V_{max} \cdot b dx$$

將(26)式之 $C - C'$ 值代入，得：——

$$V_{max} = \frac{3}{2} \frac{V}{bd} \dots\dots\dots (33)$$

吾人祇限制最大 V 值，即間接限制斜拉應力也。惟此時准許應力似可較普通規範內者為稍寬。(按普通規範內限制最大 V 在主筋不帶鈎樑內為 $0.01 \times f'_c$ ，主筋帶鈎樑內為 $0.03 \times f'_c$ ，有腹筋者為 $0.06 f'_c$)，應斜拉

應力裂紋通常總由拉面處開始也。目前尚無試驗紀錄足資參考。著者意吾人不妨暫時規定：

在無腹筋樑內最大 $V = 0.04f'_c$

在有腹筋樑內最大 $V = 0.06f'_c$

〔機械引拉力〕 用機械拉引時，各鋼筋內之單位應力須較 f_{is} 為大，此超過之部分，於機械鬆弛後使鋼筋縮短，同時將混凝土壓緊以發生初壓應力。使此超過之部分為 f'_{si}

，在鋼筋周圍之混凝土初壓應力 $\Phi = \frac{2}{3} f_{ci}$

（假定 $d' = \frac{kd}{3}$ ），用(9)式並使 $f_{ci} = f_{st}$

$$\Phi = \frac{2}{3} f_{ci} = \frac{2}{3} \frac{f_c k}{1-k}$$

在鋼筋周圍混凝土全樑長(= l)之總縮短 $\epsilon = \frac{\Phi l}{E_c}$ ，在鋼筋拉應力至 f_{is} 後，尚須拉長 ϵ 始足以壓緊混凝土至需要之程度，故

$$f'_{si} = \frac{E_s \epsilon}{l} = \frac{E_s}{l} \cdot \frac{\Phi l}{E_c} = n \Phi = \frac{2}{3} n \left(\frac{f_c k}{1-k} \right) \dots \dots \dots (34)$$

此應力與 f_{si} 之和 f_{st} 為機械引拉時，鋼筋應有之單位應力。鋼筋之兩端既刻有螺旋紋，當依螺旋紋根部之截面計算是否不超過准許應力也。惟此項應力之時間不久，約等於混凝土凝固之時間，普通為二星期。故准許應不妨較高，以著者之意，祇在彈限(32,000磅/方吋)以下，任何值皆可，暫時擬以 $0.8 \times 32,000 = 25,000$ 磅/方吋為限。

〔設計例題〕 試設計一樑，其最大彎撓動率為 960,000 吋磅，最大剪力 8500 磅， $f_s = 16,000$ ， $f'_c = 2,000$ ， $f_c = 800$ ， $u = 80$ (光筋)或 100(竹節筋)， $V = 80$ (無腹筋)或 120(有腹筋)， $n = 15$ ， $f_{st} = 25,000$

〔解法〕 假定 $p = 0.025$ ，依(12)，得

$$k = \frac{3}{2(pn+3)} = \frac{3}{2(15 \times .025 + 3)} = .445$$

$$\begin{aligned} \text{用(17)} \quad J &= \frac{1}{3} \left(\frac{1}{1-k} - 5k + 2 \right) \\ &= \frac{1}{3} \left[\frac{1}{1-.445} - 5 \times .445 + 2 \right] = .526 \end{aligned}$$

$$\frac{M}{f_c J} = \frac{960,000}{800 \times .526} = 2,280 = bd^2$$

$$b = 10 \text{吋}, \quad d = 15.08 \text{吋}$$

$$\text{用 } 10'' \times 15 \frac{1}{2}''$$

$$kd = 6.75''; \quad d' = \frac{1}{3} kd = 2 \frac{1}{4}''$$

$$\begin{aligned} \text{用(33)} \quad V &= \frac{3V}{2bd} = \frac{3 \times 8000}{2 \times 10 \times 15.5} \\ &= 77.5 \text{磅/方吋} < 80 \text{(不用腹筋)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s = pbd &= .025 \times 10 \times 15.5 \\ &= 3.87 \text{方吋} \end{aligned}$$

$$\text{用 } 5-1'' \quad \Phi = 3.927 \text{方吋}, \quad \Sigma_0 = 15.71''$$

$$\begin{aligned} \text{用(31)} \quad u &= \frac{V}{\Sigma_0(d-d')} = \frac{8000}{15.71(15.5-2.25)} \\ &= 41.5 \text{磅/方吋(用光筋)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{用(9)} \quad f_{ic} = f_{ct} &= \frac{f_c k}{1-k} = \frac{300 \times .445}{1-.445} \\ &= 640 \text{磅/方吋} \end{aligned}$$

$$\text{用(1)} \quad f_{st} = \frac{k f_{ic}}{2p} = \frac{.445 \times 650}{2 \times .025} = 5700 \text{磅/方吋}$$

$$\begin{aligned} \text{用(34)} \quad f'_{si} &= \frac{2}{3} n \frac{f_c k}{1-k} = \frac{2}{3} \times 15 \times 640 \\ &= 6400 \text{磅/方吋} \end{aligned}$$

機械拉應力

$$= 5700 + 6400 = 12100 \text{磅/方吋}$$

最小截面之應力：

$$\frac{12100 \times .785}{.551} = 17100 \text{磅/方吋}$$

$$\text{用(8)} \quad f'_s = \frac{n \frac{2}{3} k}{1-k} f_c = 6400 \text{磅/方吋}$$

故最大應力 = $f'_s + f_{si} = 12800$ 磅/方吋

兩端鋼板之設計：

$$\text{淨寬} = 10'' - 5 \times 1 \frac{1}{8}'' = 4 \frac{3}{8}''$$

$$\begin{aligned}
 \text{動率 } M_p &= \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} f_{ci} \cdot \frac{2}{3} kbd \right] \times \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{3} kd \\
 &= \frac{4}{81} f_{ci} b (kd)^2 \\
 &= \frac{4}{81} \times 640 \times 10 (6.75)^2 = 14400 \text{ 吋磅}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{板厚 } t &= \sqrt{\frac{6M}{fb}} = \sqrt{\frac{6 \times 14400}{16000 \times 4.375}} \\
 &= 1.11'' \text{ 用 } 1\frac{1}{8}''
 \end{aligned}$$

試用普通法設計，以資比較：——

$$bd^2 = \frac{M}{K} = \frac{960,000}{146.7} = 6550$$

$$b = 14''$$

$$d = 22'' \text{ 再加 } 2'' \text{ 防火厚得 } 24''$$

$$A_s = pbd = .0107 \times 14 \times 22 = 3.29 \text{ 方吋}$$

$$\text{兩者相較前者混凝土省 } \frac{14 \times 24 - 10 \times 15.5}{14 \times 24}$$

$$= 49.5\% \text{, 鋼筋多用 } \frac{3.87 - 3.29}{32.9} = 17.6\% \text{,}$$

多用鋼板二塊，腹筋則完全省去。

〔結論〕 預力樑之優點，依上述者有二：(一)為利用截面原來受拉力與防火厚度之部分以抵禦彎撓；(二)為減少斜拉應力。後者可解釋如下：

$$\text{斜拉應力之值 } f' = \frac{f}{2} + \sqrt{\frac{f^2}{4} + V^2} \text{, 此在非}$$

預力樑內，雖因有細微之裂紋而不能估計，然根據各項試驗，則知裂紋開始處，恆在圖 4a 內之 a 點。試取 ab 截面之應力加以研究，則可知此截面內之動率並不甚大，故混凝土之拉應力尙未消失，其剪應力則如圖 4b。如此則參照動率與剪力二圖，衡以 f' 之公式，a 點之斜應力應為最大，若此樑為預力樑，則實際應力應如圖 4c，最大 V 處之 f=0，最大 f 處之 V=0，且 f 永為壓應力。故斜拉應力之公式應為

$$f' = \frac{f}{2} - \sqrt{\frac{f^2}{4} + V^2}$$

較非預力樑縮小甚多，則腹筋可以省去若干

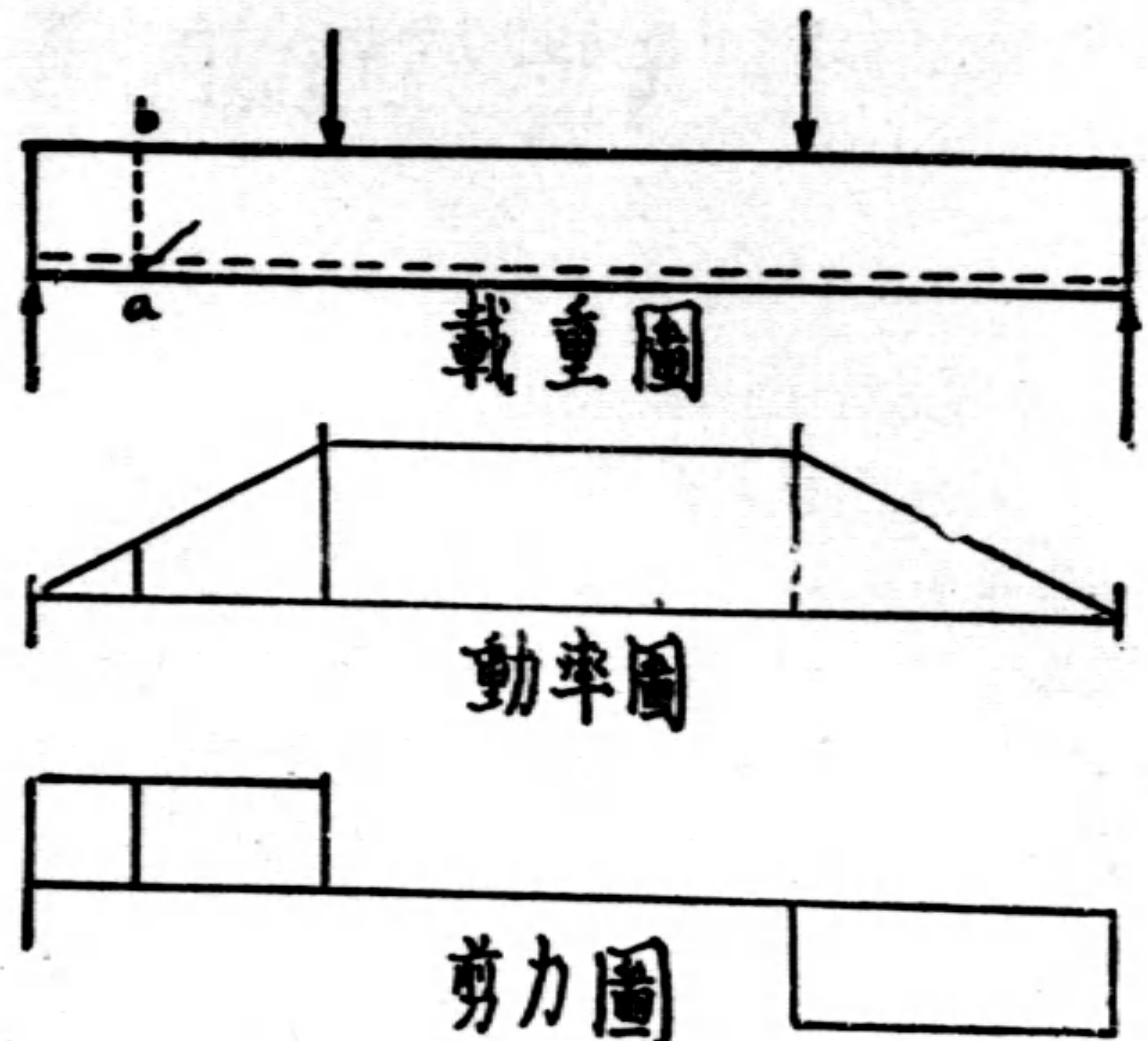


圖 4a



圖 4b

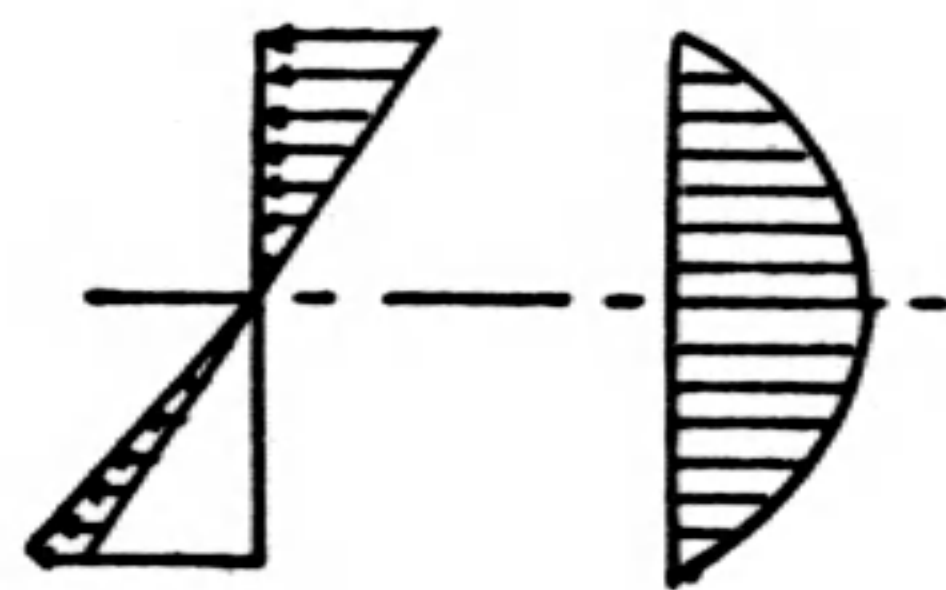


圖 4c

，惟此頗有待於試驗以決定之也。利用此原理以設計丁樑，則其腰肢 (Stem) 截面亦可以縮小，因丁樑設計以剪應力，(用以衡量樑斜拉應力者)，為決定條件也。

預力樑雖有種種優點，然頗需要技術優良之工人與嚴格之監督，增添大量之機械，復不乏構造上之困難，故斷定其可以立時代替非預力樑，為時尚早。然苟假以歲月，能有若干經濟合用之機械發明，前途發展仍屬無限也。

長方形截面鋼筋混凝土連續預力樑

王 敬 立

〔引言〕 著者前作“鋼筋混凝土預力樑之研究與設計”^①一篇，其範圍祇限於長方形截面之單樑，若將此原理用於丁樑及連續樑，則所困難者，不在原理之演算，而在實際複雜情勢之克服，本文即為對長方形截面連續樑之嘗試也。

〔預力方法之研究〕 凡設計荷載靜活重之連續樑，應先算製最大正負動率圖，此法經前人討論詳盡無餘，茲不細述，但擇一普通規範內所規定者加以研究，求設計之一般原則。圖 1 內所示者 (a) 為普通等跨連續樑內跨之最大動率圖；(b) 為最大剪力圖。圖中之 b 為正動率區域，c 為負動率區域，a 則為兩種皆有可能性之區域。著者意在 a 區域內正負最大動率同值處置鋼板一塊，寬同樑寬，深度較樑為大，使上下突出樑面，俾便機械施力。各板間於跨中則於樑之底方連以鋼筋，於跨端則於樑之頂方連以鋼筋，施預力如圖 1 c。然後傾倒混凝土，俟混凝土凝固後，再撤去預力機械，則鋼筋縮回，消

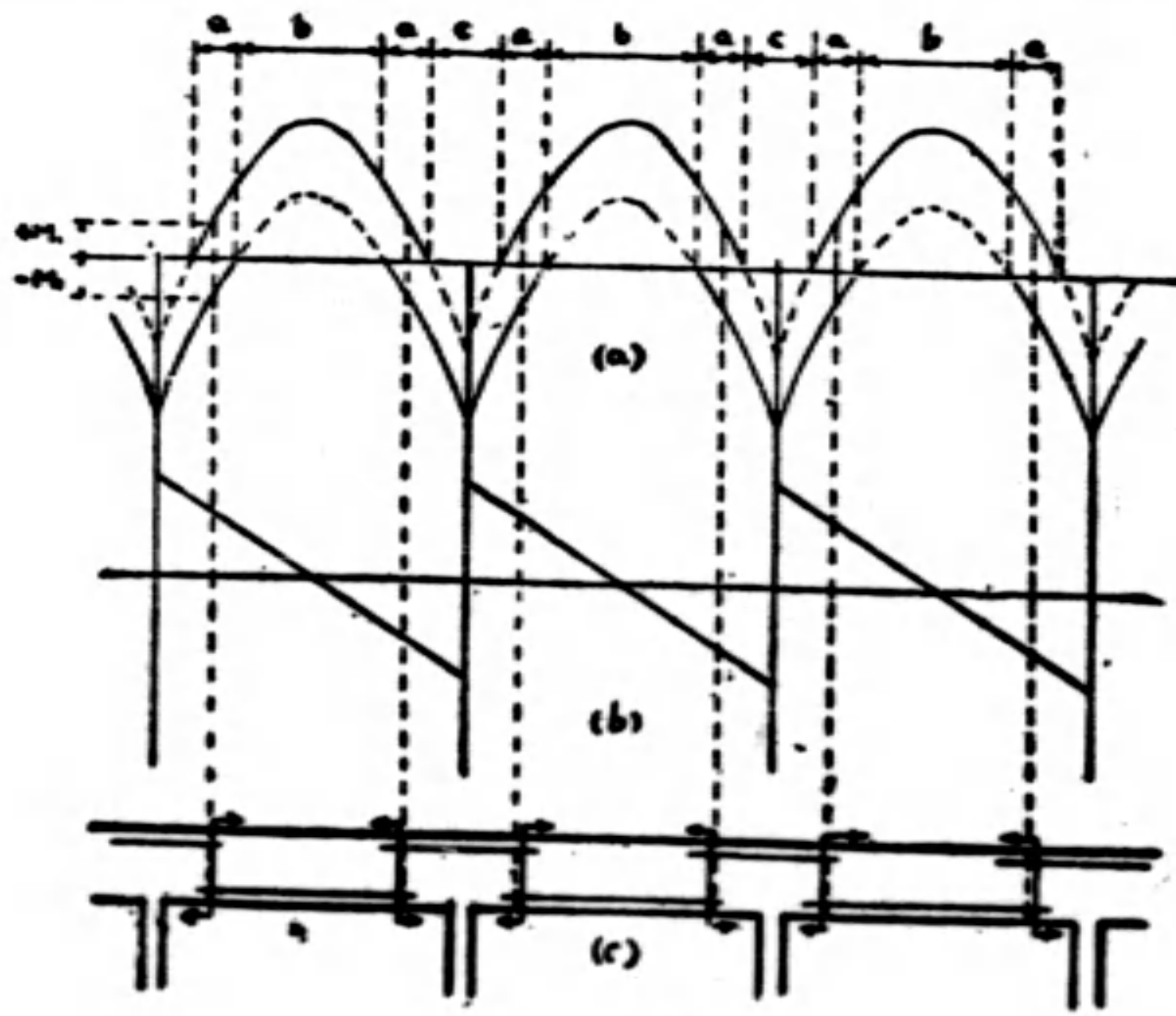


圖 1

失其初拉應力之一部，以使被夾之混凝土受有初壓應力。圖中所示大部之初壓部分，乃大部最大動率處之受拉部分，因以收經濟之效焉。

〔預力板與初應力〕 圖 2 示預力板左右之初應力，為計算方便起見，使上下鋼筋

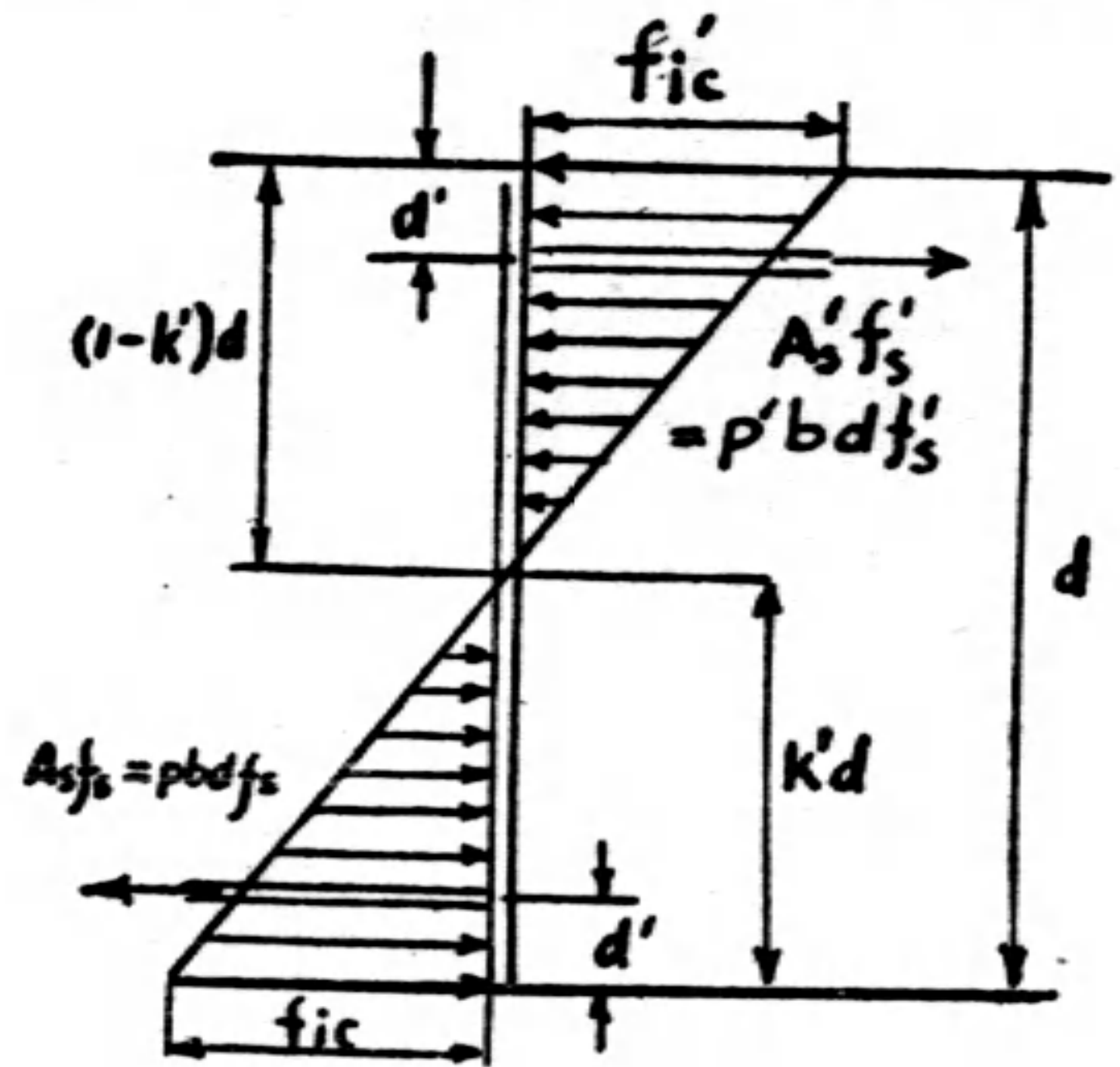


圖 2

與樑面之距離皆等於 d' ，其餘各項均於圖內註明，若祇有上面之筋，則其預力當如圖 3 (a)；若祇有下面之筋，則其預力當如圖 3 (b)。實際為二者之和，如圖 3 (c)，故

$$f'_{ic} = cd + de = \frac{A'_s f'_s}{bd} + \frac{6A'_s f'_s (\frac{1}{2}d - d')}{bd^2} + \frac{A_s f_s}{bd} - \frac{6A_s f_s (\frac{1}{2}d - d')}{bd^2}$$

$$f_{ic} = ab + bg \frac{A_s f_s}{bd} + \frac{6A_s f_s (\frac{1}{2}d - d')}{bd^2} + \frac{A'_s f'_s}{bd} - \frac{6A'_s f'_s (\frac{1}{2}d - d')}{bd^2}$$

將 $p' = \frac{A'_s}{bd}$, $p = \frac{A_s}{bd}$ 代入並簡化之，得

① 見本誌本號第 70—76 頁。

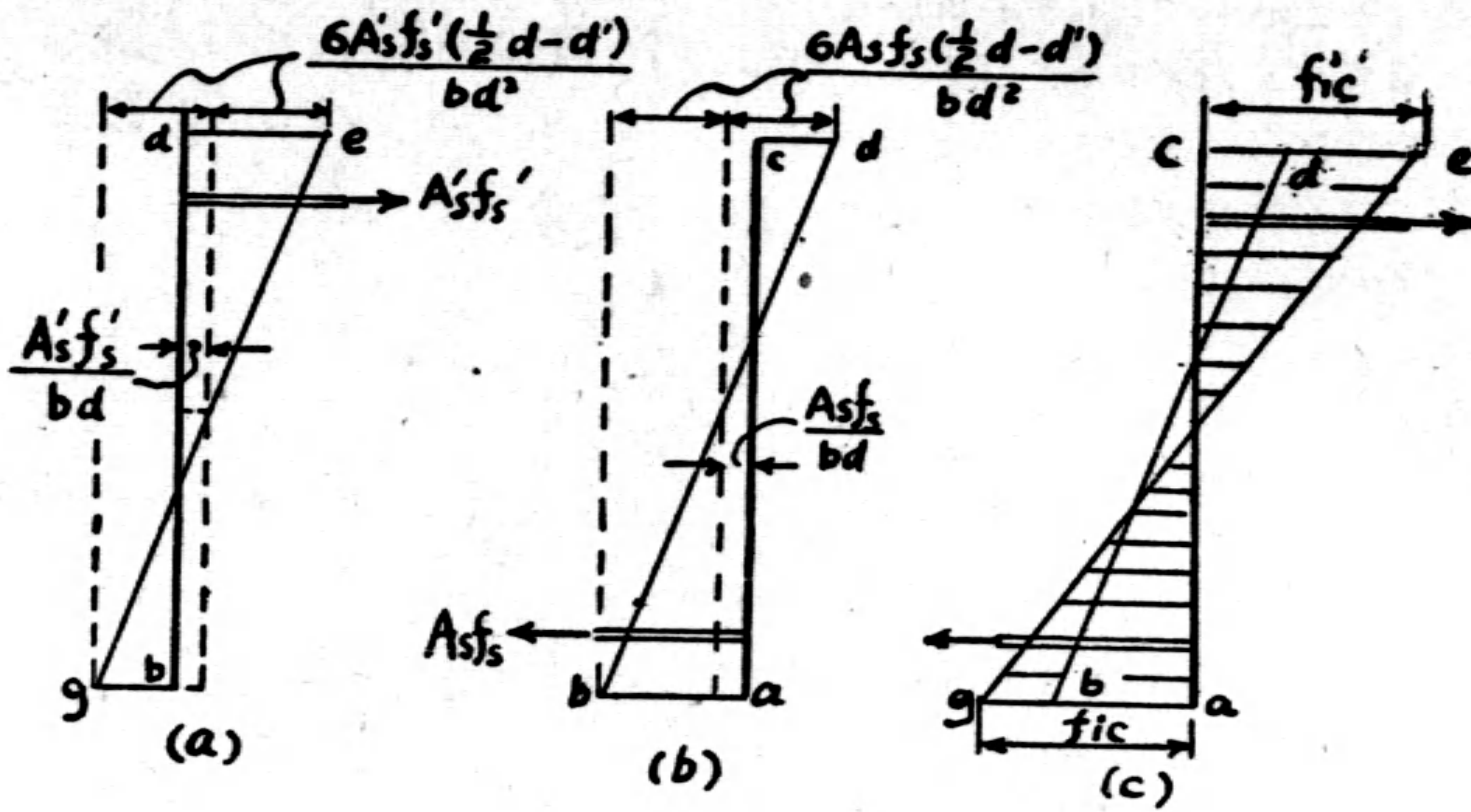


圖 3

$$\begin{aligned}
 pf_s \left[1 - 6 \left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{d} \right) \right] + p'f'_s \left[1 + 6 \left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{d} \right) \right] &= f'_{ic} \\
 pf_s \left[1 + 6 \left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{d} \right) \right] + p'f'_s \left[1 - 6 \left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{d} \right) \right] &= f_{ic}
 \end{aligned}$$

此為二聯立方程式，解算結果如下：

$$\left. \begin{aligned}
 pf_s &= \frac{1}{4} (f'_{ic} + f_{ic}) + \frac{f_{ic} - f'_{ic}}{24 \left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{d} \right)} \\
 p'f'_s &= \frac{1}{4} (f'_{ic} + f_{ic}) - \frac{f_{ic} - f'_{ic}}{24 \left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{d} \right)}
 \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

由此公式內，吾人可選擇任何 f'_{ic} 與 f_{ic} 之值而得相當之 pf_s 與 $p'f'_s$ 之值。至求中立軸之法，則

$$\frac{(1-k')d}{k'a} = \frac{f'_{ic}}{f_{ic}},$$

故
$$f_{ic} = \frac{k'}{1-k'} f'_{ic} \dots \dots \dots (2)$$

再自(1)內視之，若 $f_{ic} = f'_{ic}$ ，則 $pf_s = p'f'_s$ ， $k' = 0.5$

〔臨界截面〕 臨界截面可分二類：一為最大動率截面；一為預力鋼不受壓力方之截面也。前者設計之法，已載於著者“鋼筋混凝土預力樑之研究與設計”一文內，茲解釋

後者。在此截面，可能在某種動率情形之下，所施預力之處為拉面而非壓面，故所謂預力者，在此截面則非但不能增進樑之抗彎能力，且減低之。更有甚者，該臨界截面之受拉部分，不復有預力，故計算法與普通樑同，不計其受拉截面。所幸者在此處之彎撓動率通常較小，故猶不至大損於此種預力樑之經濟價值也。

對於此項臨界截面設計之技巧，在乎規定 f_{ci} 或 f_{ct} 之值，此值若大，則樑中或樑端之抵抗動率大，但在預力鋼旁臨界截面所餘之抵抗動率小。（讀者注意，此處樑之抵抗動率，一部用作預力，所餘者始抵抗外動率也）。最好此項剩餘抵抗動率，恰好等於該處之最大外動率，則樑中或樑端之抵抗動率，達其最高位。剩餘抵抗動率，當以此為標準，過大則樑為不經濟，過小則鋼旁臨界截面不能勝任以負荷外動率。

為達到上述之目的，設計時著者先假設 f_{ic} 值，然後用公式 $f_{ic} = f_{ct} = \frac{f_c k}{1-k}$ ，再假定 k 值（永小於 $\frac{1}{2}$ ），以得 f_c 。根據 f_c 與最大彎撓動率，以求得截面大小。繼計算此截面

● 見“鋼筋混凝土預力樑之研究與設計”內公式(9)

抵抗動率，減除初壓動率，其餘數若大於臨界截面之最大外動率，則假設之 f_{ic} 太小；若不足，則所假設之 f_{ic} 太大；若兩者相差不過遠，（例如抵抗動率與初壓動率之差小於 30%），則變更截面時 k 與 J 值 ① 變動甚微，此時可以維持原來之 b 值，再用比例求出 d^2 ，以得 d 值，代入公式重算。若有相當之經驗，更改一二次，即可得滿意之結果也。

〔預力鈹與黏力〕 預力鈹之位置，如上述者頗近樑端，該處剪力相當巨大，樑之所恃以抵抗剪力破裂者，賴有預力鈹與混凝土間之黏力而已。關於鋼筋與混凝土間之黏力之研究，美 Illinois 大學之 Abram, Wisconsin 大學之 Withey 二氏，皆有試驗結果公佈於世 ②，大意可綜述如下：

(1) 混凝土受壓時較受拉時之黏力為大，前者平均強度達 400—450 磅/方吋，後者達 270 磅/方吋，

(2) 鋼筋與混凝土間無滑動時，竹節鋼筋(表面有突起之筋)與平滑筋無大區別。一旦滑動發生，則竹節筋之黏力漸漸增加，而平滑筋之黏力漸漸低減。至工作黏力之規定，則以美國 1929 年之聯合委員會 (Joint Committee) 之規範為最通用，如下：

平滑筋..... $0.04f'_c$ ；竹節筋..... $0.05f'_c$
 惟應知者，此項規定所適用之情形，為混凝土與鋼筋皆受拉應力，當係以上述之 270 磅/方吋為根據也。

在預力鈹近處鉛直截面內，因受拉部分無預力，其剪應力與普通鋼筋混凝土樑者完全相同，故預力鈹與混凝土間單位黏力之變化，與普通樑鉛直截面內剪應力之變化，亦完全相同。此說可解說如下：在預力鈹附近

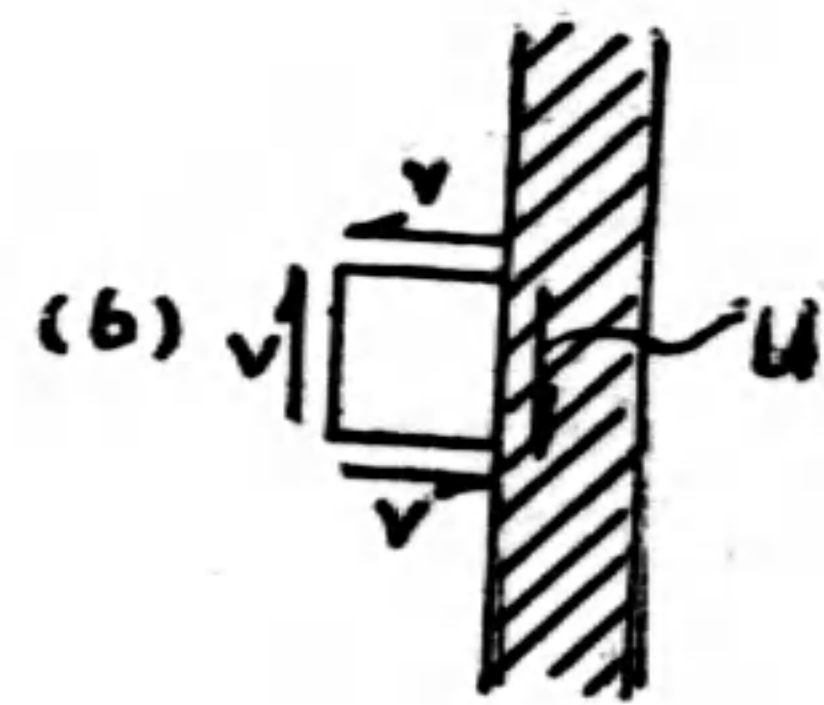
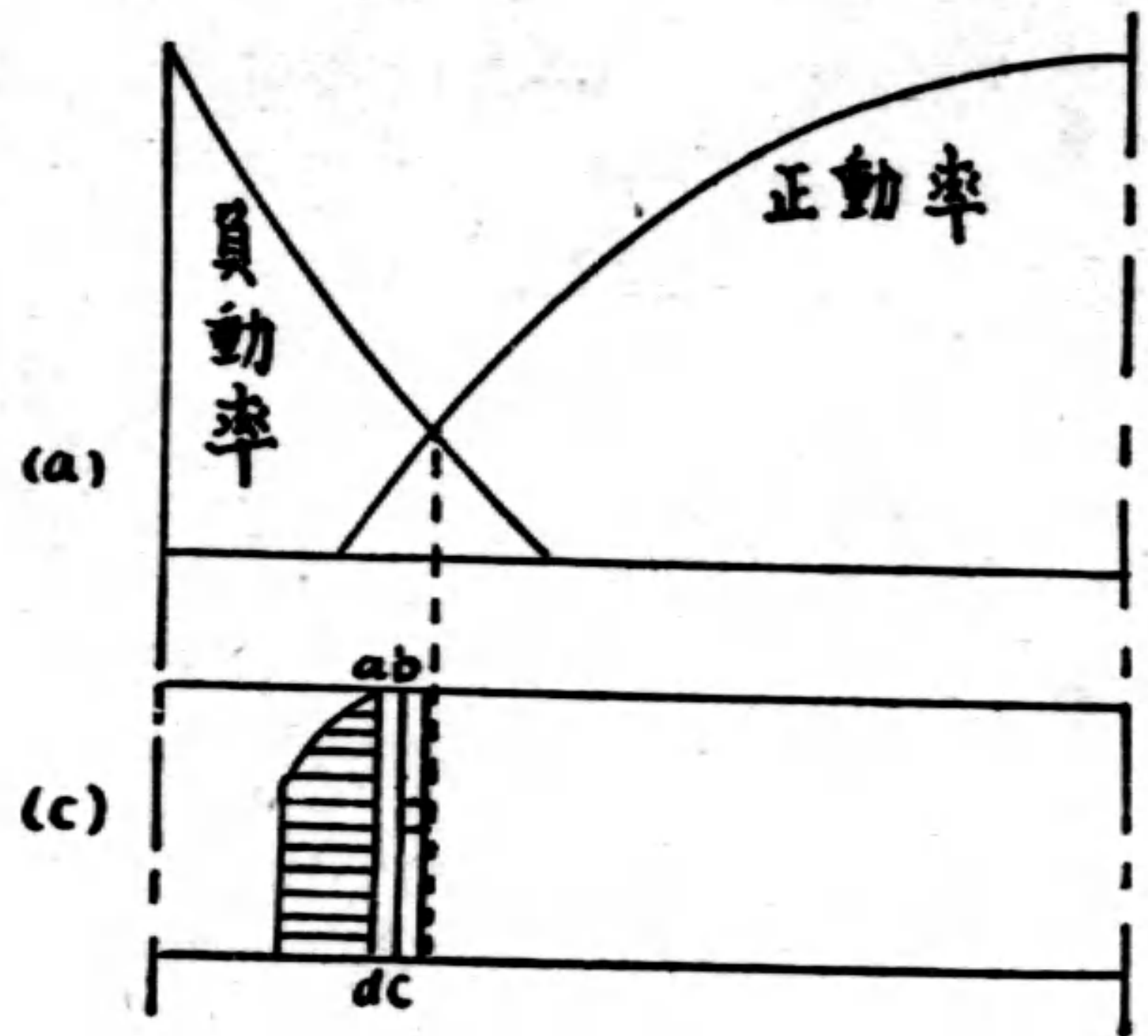


圖 4

之鉛直或水平剪應力之變化，應如圖 4(c)。此與預力無關，因在預力區域內沿水平線之預力均完全相等，故無剪力發生，所有之剪應力仍祇由於載重也。若將圖 4(c)內之薄片 $abcd$ 推貼於預力鈹，則與鈹接觸一面之單位剪應力，即單位黏力，如圖 4(b)。吾人更可知最大單位黏力處之混凝土，乃受拉應力者，故其准許應力，應如以上之規定。至其算法，即用普通最大剪應力公式：—

$$\mu_1 = V_1 = \frac{V}{bjd} \dots\dots\dots (3)$$

即可，此公式內之 j ，可用 $7/8$ ，若 u_1 值大於 $.04f'_c$ ，小於 $.05f'_c$ ，則預力鈹面必須刻有紋路突起。

① 參照“鋼筋混凝土預力樑之研究與設計”內公式(16)與(17)。注意最初可用公式(17)，變換 d 後重算時當用公式(16)。

② Abram 之結果可參考 Bulletin of Experiment Station, University of Illinois. Withey 氏之結果可參照 Turneaure 與 Maurer 氏所著之 Principles of Reinforced Concrete.

〔斜拉應力之再檢討〕 預力樑之經濟成分，當以其能省卻腹筋一項所供獻者為最大。故究竟能省若干，實有檢討之必要^①。吾人最後之根據，當然求諸直接試驗，惟在此步尚未實現以前，不妨採取他項試驗之結果，以作直接試驗之理論前驅。同時著者認為小規模之建築，似可採為設計之根據也。

規範中斜拉應力，與腹筋設計之部分，所根據者，以有腹筋與無腹筋之丁樑試驗為主^②，其結論可綜述如下：

(1) 混凝土之拉力強度，約等於壓力強度之 $\frac{1}{12}$ 至 $\frac{1}{8}$ ，混凝土樑內無論何點之拉應力一達此限度，立即發生裂縫，不問有無腹筋。

(2) 腹筋不能阻止上述之細微裂縫，但足以阻止其擴張，與其他裂縫相連以形成樑之破壞。

(3) 即混凝土中之斜拉應力超過其限度，而發生細微裂紋之後，大部斜拉應力雖由腹筋承受，混凝土仍可分任一部分之斜拉應力。

以上所述者，為混凝土受拉力時之斜拉應力，殊嫌其不合於吾人之用，因預力樑正或負動率區域內之混凝土，完全受壓應力也。著者因思引用混凝土拗轉試驗之結果 (Tests of Torsional Strength of Concrete)^③，此類試驗中之拉力筋為螺旋筋，其無拉力筋者 Turneare 與 Maurer 二氏認為扭轉強度可作為普通樑內剪應力之二倍。按普通無腹筋樑內之剪應力強度約為 250 磅/方吋強，而拗轉試驗內之強度則達 500 磅/方吋。至有螺筋之混凝土樑，其拗轉強度可得而述者如下：

f'_c	鋼筋	所發揮剪應力強度 V'	V'/f'_c
3530 磅/方吋	.5%	116 磅/方吋	1/3.3
1700	縱筋與 4 螺旋筋	645	1/2.6
1700	縱筋與 5 螺旋筋	789	1/2.15

由此，吾人可認為，由於腹筋或螺旋筋之設，混凝土之剪應力可發揮至壓強度 30% 至 46%，普通樑內之剪應力則假定可發揮至 f'_c 之 20% 也。

若以上說為根據，吾人可重訂規範如下：

(1) 在無腹筋之預力樑中，動率方向不變之部分，剪應力不得超過 $0.04 f'_c$ ，

(2) 在有腹筋樑內，剪應力不得超過 $0.06 f'_c \times \frac{30}{70}$ 或 $0.09 f'_c$ 。

第一規定，假定最高之剪應力，等於拉應力之限度，此為樑內無壓應力時之情形。實際則多少有若干壓應力，是此項假定無疑在安全之一方也。至普通樑之規範內，尚有特殊錨繫 (Special Anchorage) 一條之設，屬於備而不用者，此在預力樑內，當然目前尚談不到也。

〔斜拉應力筋〕 在正或負動率區域內，全部混凝土無時不在受壓應力情況之下，則應限制 $v = \frac{V}{bd} \cdot \frac{3}{2}$ ^④ 在兩種動率皆有可能性之區域內，則樑內情況，有時可能與普通樑內相同，故當用通常之公式，以推算最大剪應力，其准許應力與加腹筋之法，亦與普通樑相同。在上述兩種動率皆有可能性之區域內，拉筋之黏力亦當加以推算。惟此處之拉筋為穿過預力鉸之端部，刻有螺紋紋，故當照竹節筋核算。

① 見上篇內之斜拉應力節及結論。

② 多半為 Wisconsin 大學及德人 Bach 氏之試驗。

③ 參照 Turneare 與 Maurer 氏所著之 Principles of Reinforced Concrete.

④ 參照上篇內公式(33)

抗戰期內如何製造硝酸

顧敬心

(同濟大學教授)

硝酸乃製造火藥炸藥之主要原料。第一次歐戰時，德國每天須用硝酸六七百噸為火藥炸藥原料。吾國抗戰以來火藥炸藥之消耗，尚無統計，並大部仰給外國，但將來國際交通完全斷絕，一切均需自給，況最後勝利時，反攻追逐，更需大量火藥炸藥。惟欲製該項軍火，即需大量硝酸，故硝酸製造隨成繼續抗戰及最後勝利之重要問題。歐西各國現均利用煤、水、及空氣三種原料製造硝酸，其法先將煤與水及煤與空氣起作用，製成氫與氮，經高壓力及接觸劑而成氨，再由氨與空氣及水起作用得硝酸。此法已為各國通用，抗戰以前永利公司在南京附近，天利公司在上海，亦曾利用此法小量製造硝酸。但抗戰未及半年，該二工廠，均為日人佔領。故自後火藥炸藥方面所用之硝酸，均由智利硝與硫酸製成。目前西南國際交通線斷，智利硝已無法運入，同時製造硫酸之硫黃亦多來自國外，故硝酸即無法製造。即抗戰萬不可少之火藥炸藥亦將無法製造，實為目前嚴重問題。我國既少硝石硫磺礦藏，又無規模宏大之機器廠，能建造目前通用之氫氮綜合氨廠，故欲求目前硝酸自給，利用國有原料與國內已有或能自造機件，應即採用

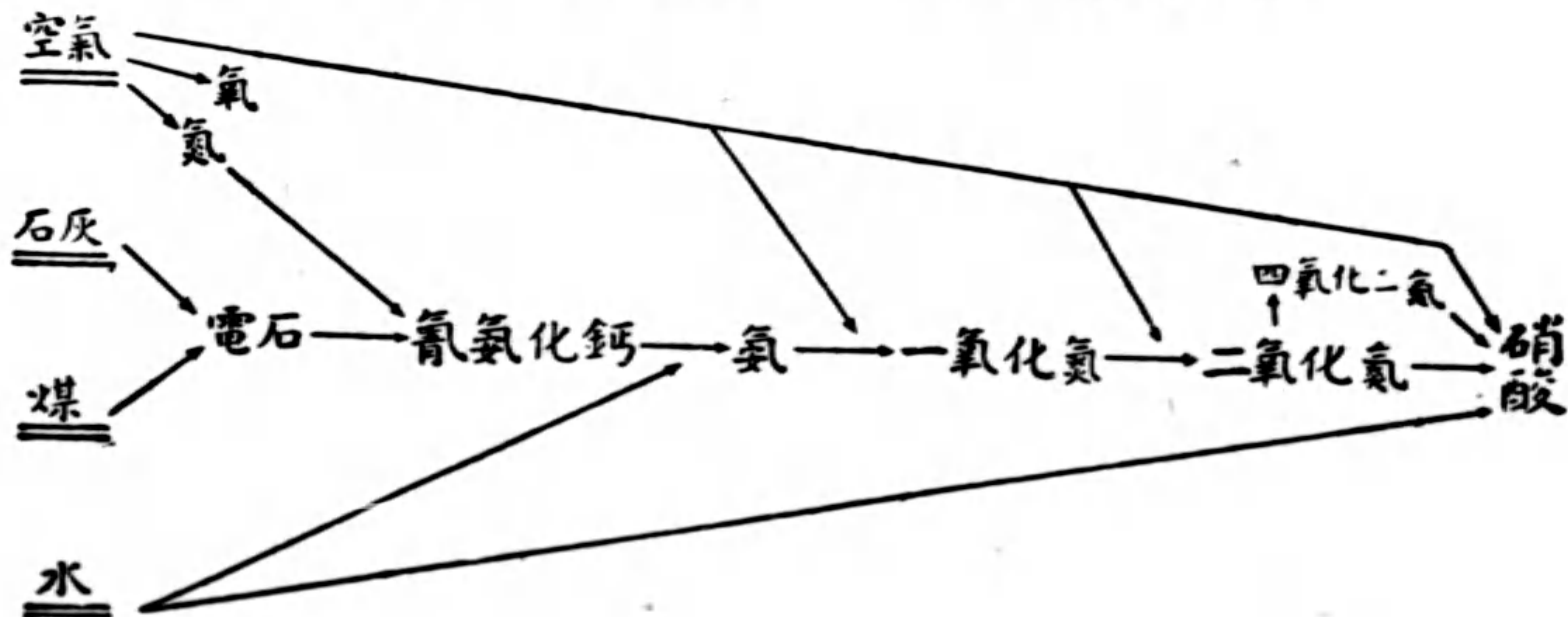
石灰、煤、空氣與水為原料，及大量電力為能力，製造硝酸。

此法依照成本計算，當較氫氮綜合氨法為貴，但無須特種機件，裝配亦較單簡，故於抗戰期內，設法建造該項工廠最為合適。蓋此法先將石灰與無烟煤或焦炭，用強大之電力生熱，使於攝氏溫度二千度以上，製成電石。同時將空氣液化，分離氮氣。待電石冷卻後，磨成粉末，裝入氮化爐而通入氮氣，於一千一百度時，經二十四小時後，即成氰氨化鈣，或稱含氮石灰。將氰氨化鈣與高壓蒸汽起作用即得氨。再將氨與空氣混合後，經六百度之白金接觸劑，得一氧化氮。冷卻後再與空氣起作用，即得二氧化氮。二氧化氮經過水塔，吸入水內，即成硝酸。該項硝酸平常濃度僅為百分之五十左右，但用冷卻法將一部份二氧化氮冷至攝氏負十度以下，變成液體之四氧化二氮後，再同氮與淡硝酸混合，即成百分之九十七以上之硝酸。

製造需用原料：石灰、煤、水及空氣。

製造時所得之中間產物：電石、氮、氧、氰氨化鈣、及氨。

製造步驟：如下圖



今如設廠，每天製造硝酸三噸，即每年約產硝酸一千噸，則依物料計算，每天需石灰 4.5 噸，焦炭 3.4 噸，電極 157 公斤，氮氣 2898 立方公尺，氫氧化鈉 72 公斤。以上原料，石灰我國到處均有土窖產品，焦炭亦可用土法由煤提煉，或用無烟煤代之，電極自製較為困難，但可用煤及煤膏製造桑德柏連續電極，氮可由空氣中得之，氫氧化鈉於內地已有數廠製造。此外接觸劑需用白金約一公斤，可向俄國購買，蓋俄國白金產量豐富，並可利用飛機運入。能力方面每天需用電力一萬八千瓩時，現川、滇能發一千瓩以上之電廠甚多，即可就電力富裕之地設廠。至於機件方面，電石爐及氮化爐可用耐火材料自造，電石爐需用之變壓器，國內已有相當數量，同時中央電工廠、華生電器廠等均能製造。空氣液化及氧氮分離機，因黔、川已數處設有該項工廠製造氧氣，當可設法暫時移用，同時氧氣仍可供給氣銲應用。氫氨化鈣變成氨時所需之增壓鍋，國內雖不甚多，但需用壓力不大，當能自造，或將其他鍋爐改造。又氨與空氣燃燒變成一氧化氮之設備，可採用弗蘭克卡路式構造，甚為單簡，國內中央機器廠及兵工廠，當能配造。二氧化氮吸收塔，可用花崗石砌成。廠房建築均可利用木材磚瓦，無須大量鋼鐵水泥。故建廠材料機件，均可自給自造，或移用國內已有設備，全無困難也。

至於技術人員方面，過去中國工業煉氣公司及杭州電石公司，均曾利用石灰與焦炭製造電石，又永利及天利公司均曾利用氨之

氧化製造硝酸。現該工廠等均已停工，技術人員當可暫時移用。再國內稍有經驗之化學電機機械工程師尚多，故技術人員決無問題。

於第一次歐戰時，德國拜耳氮氣廠曾用上述方法，製造大量硝酸，其產量佔全國硝酸總產量三分之一以上。及至一九一七年呂那氫氮綜合氨廠開工後，始將該廠分成二部，一部製造電石及氫氨化鈣，以供氣銲及肥料之需，一部利用呂那廠之氨與空氣及水製造硝酸。故目前電石，氫氨化鈣及硝酸產量，仍以拜耳氮氣廠為最大。敬心曾在拜耳氮氣廠之中央研究室研究有年，深知該項工業情形，故特介紹此法，希望國人能注意硝酸對於抗戰之重要，目前之急需，速即採用製造，則國家幸甚。

如先建每天能產硝酸三噸之工廠，並將全廠分為：(一)電力工場，(二)電石工場，(三)氮氣工場，(四)氫氨化鈣工場，(五)製氨工場，(六)硝酸工場，等六工場，同時開始設計建造，除電力工場利用已有電力廠，無須設計建造，氮氣工場利用其他公司之氧氣廠機件，抵須搬移裝配外，其他各工場如若加緊工作，不難於半年內全部完工出貨。雖每日祇產硝酸三噸，即可製火藥或炸藥約四五十噸，當不無小補。況製造經驗豐富後，即可依照需求，擴大產量。是以我國抗戰時所需之硝酸，即能利用國內物力人力，自製自給，亦即抗戰時之軍火將源源自給，永無缺乏之慮矣。

中國古代建築專著 存書無多 購置請早

營造法式 華裝大本八冊 定價一百元 商務印書館精印

宋將作少監李誠奉敕編纂。全書三十四卷，分總釋、總例、制度、功限、料例等第、圖樣各門，編次明晰，具有今世科學條理，為我國古代建築專書。此編依據宋刊校寫鈔本，並照抄本注色，摹繪圖樣，套版彩印，有多至十五次者。原係武進陶氏家刻，版權今歸本館。

亞爾西愛 R. C. A. 一瓦勵振機更改線路及

電子管程式之報告

應 家 豪

(昆明國際支台工程師)

(甲)緣由

按自抗戰以來，對於訂購必需外來物品之困難，與日俱增；而物價騰高，外匯飛漲，更使我購賣能力減削，此深堪隱憂者也。筆者因此注意於如何減用外來物品，或改用功效相當而價值較廉之外來物品。結果，遂有亞爾西愛一瓦勵振機改用電子管程式之一舉。一因該勵振機所用電子管，除振蕩級外，均為籬柵極(Screen)電子管。此種電子管價值既貴，壽命又較短，使用頗不經濟。二因上項電子管程式過時，購置不易。三因經此改裝以後，可使該勵振機電子管程式與本台另一發射機所用電子管程式，完全一律；則備用電子管之數量可以減少，而調用週轉，反更便利。此即此次改用之緣由也。

(乙)電子管程式之擇定

茲為便於查看及明瞭該勵振機線路之結構起見，特繪線路比較圖於後。由該圖可查知原來線路所用電子管為：一隻 210，三隻 860，及三隻 861。若單求電力相當，價值較廉而言，則有許多種電子管可以替代。但在未經實地試驗以前，自不敢貿然決定何種電子管以替代之。而實地試驗，須受下列條件

之限制：

(1)須盡量利用原來另件，如電阻，電容器，絲極變壓器等。

(2)因改變線路所必須添裝之另件，以愈少愈妙，且須當地即可辦到者。

(3)擬改用之電子管程式及數量，須當地易於辦到者。

(4)改裝時間，愈暫愈妙，以免影響報務。

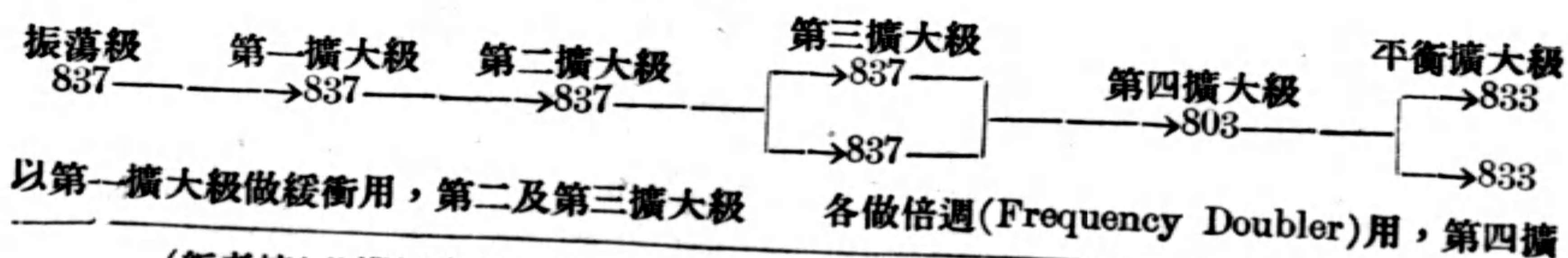
筆者在上述之條件下，擇定電子管之程式(請參閱線路比較圖)為：五隻 837，一隻 803，及二隻 833。

(丙)改裝線路

自電子管之程式擇定後，即可決定線路之更改，及另件之添裝。其間除平衡擴大級改裝之處較多外，其餘各級，祇加裝燈座(Tube Socket)，即可使用；惟各極電壓，均須重行調整。茲特將原來線路及改後線路，二組電子管之標準使用記錄(Typical Operating Data)列表於後，以為改裝線路之依據。

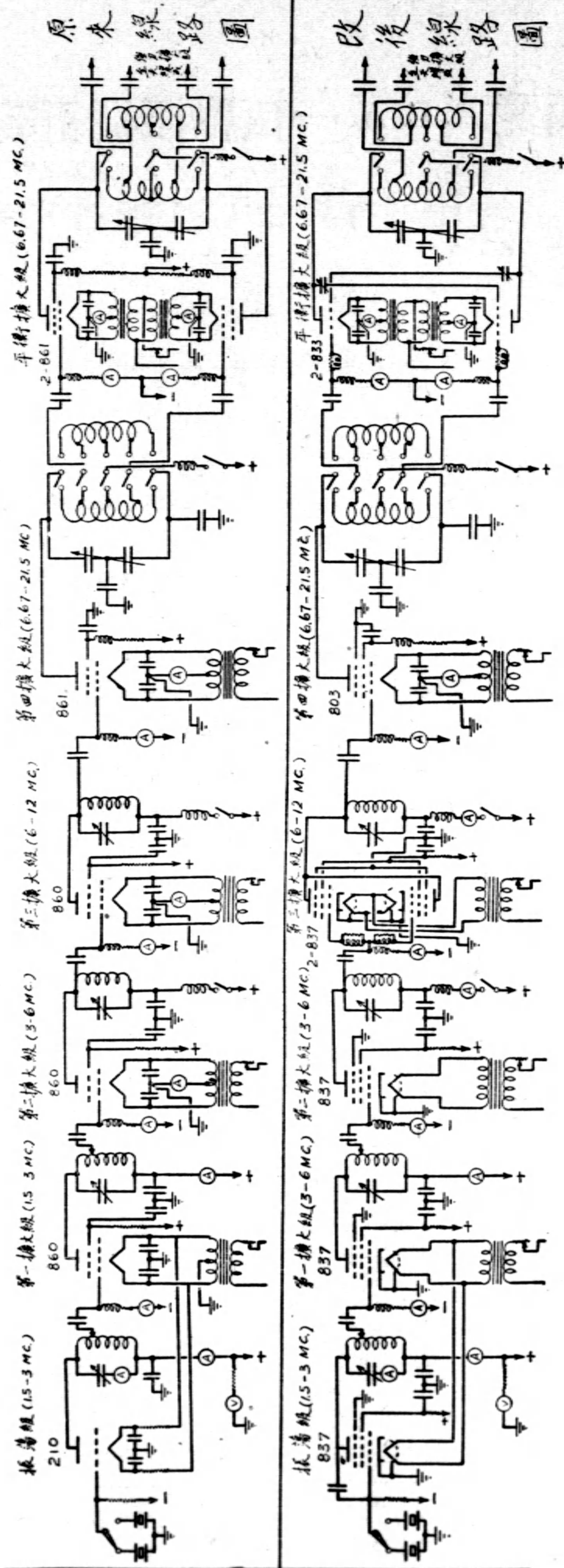
(丁)試驗報告

(1)初試 電子管之分配如下：



(編者按)此機原來所用電子管，都屬陳舊程式，當係十年以前之產品，彼時作者所採用之較為新式之電子管，固尚未問世也。

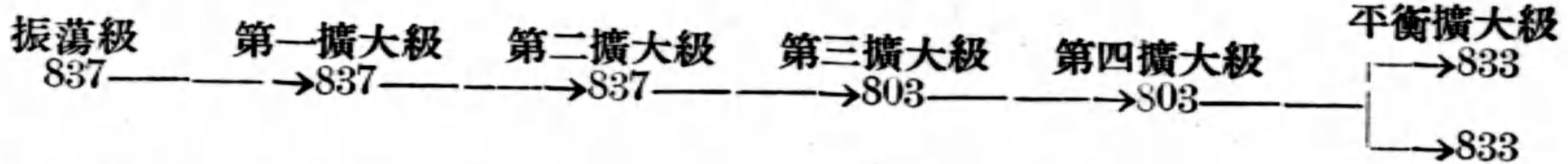
亞爾西愛一瓦勵振機線路比較圖



附註 改後線路之波長範圍，僅係理想，實際尚未完全試驗。

大級做倍週或擴大用。試驗結果：倘第四擴大級做倍週時，因輸入電力太小，以致輸出電力因倍週而減低，不足供給下級。但做擴大時，輸入電力雖仍小，而輸出電力因擴大而增加數倍，供給下級，綽有餘裕。

(2) 二試 電子管之分配如初試。



以第一擴大級做緩衝用，第二、第三、及第四擴大級均做倍週用。試驗結果：將『初試』時所遇之缺點免除，即第四擴大級之輸入電力增大，所以輸出電力雖在倍週時，仍足供給下級之用，於是試驗可說初告成功。惟因第三擴大級用 803 式電子管，深覺有輸出電力未能盡量應用之缺點，故仍擬設法改進之。

(4) 四試 電子管之分配如初試。

以第一擴大級做倍週用，第二擴大級做擴大用，第三及第四擴大級均做倍週用。試驗結果：完滿成功，遂決定照此改裝。

(5) 中和試驗(Neutralizing)

中和電容器之電容量，裝置地位，連接線條等，均與能否得到最佳之中和點，有密切關係。若失之過當，即可令試驗毫無結果；爰將此次試驗經過，簡述於後，以供參考。按此次所用之中和電容器原為 14 uufd，乃三片固定與四片轉動之鋁片所製成。經將電容器之裝置地位移動，接線及接法變更，電容量增減等，共做十餘次之試驗；最初十次毫無結果，至十次以後，方見改進，直至最後，究歸成功。茲將試驗最佳之結果列下：

(1) 中和電容器與儲電線路 (Tank Circuit) 相距約一呎。

(2) 接線用一吋半寬銅皮替代。

(3) 屏極與中和電容器之連接線，同另一屏極與另一中和電容器之連接線，彼此並行，但柵極連接線彼此交叉。即柵極

以第一、第二、第三擴大級均做倍週用，第四擴大級做擴大用。結果：因第二及第三兩擴大級之倍週週率數，超越原來線路之設計，使各該線路內感應量與電容量之比例太低，以致完全失敗。

(3) 三試 電子管之分配如下：

之接線較長，屏極之接線較短。

(4) 中和電容器之固定片，由三片減為一片。

(5) 柵極須與固定片相接，屏極與轉動片相接。反之，若柵極與轉動片相接，屏極與固定片相接，雖仍可中和，但屏流較前增大，輸出電力反較前為小，效率大為減低耳。

(戊) 結論

由標準使用記錄表，及實在使用記錄比較表，可查知改後線路之輸入電力，較原來線路為小，而輸出電力反較原來線路為大。換言之，即改後線路之效率，較原來線路為大。再由電子管價值比較表，可查知原來線路所用電子管之總值為美金九百八十四元五角，而改後線路所用電子管之總值為美金二百三十五元五角，相差在四倍以上。至改後線路較原來線路之惟一缺點，即在平衡擴大級處於每調波長時，加行中和 (Neutralizing) 手續，但此不過一二分鐘之工作，於使用上並無甚妨礙。根據以上所論，原來所用電子管程式之應行改去，已有充分理由；值此電款支絀，訂購艱難之際，更有亟切提倡之必要。再由此改試之成功，可得下列之推論：

(1) 凡購自國外無線電機中，原來規定應用之電子管程式，並非全是盡善盡美，無可改進者。

(2) 凡無線電機中，原來規定應用歐

(1) 電子管標準使用記錄表

		E_p 伏	I_p 千分安培	E_g 伏	I_g 千分安培	E_{sg} 伏	I_{sg} 千分安培	E_{supg} 伏	E_f 伏	I_f 安培
原來線路所用電子管	210	270-325	8-18			—	—	—	7.5	1.25
	860	1500-3000	90-85	-150	15	300		—	10	3.25
	861	2000-3500	300	-250	40	500		—	11	10
改後線路所用電子管	837	400-500	70-60	由-40 至-85	8-4	200	32-15	0	12.6	0.7
	803	1250-2000	160	-90	12	500	45	40	10	5
	833	2500-3000	475-415	-200	65-55	—	—	—	10	10

(2) 實在使用記錄比較表

		屏壓	屏流	柵流	波長	輸出電能	音亮	拂萊姆
		伏脫	千分安培	千分安培	公尺	瓦特	質地	報告
原來線路	振蕩級	300	15	*	22	840	佳	
	第一擴大級	*	45	0				
	第二擴大級	*	77	11.5				
	第三擴大級	*	118	16.5				
	第四擴大級	3200	240	17.0				
	平衡擴大級	3200	(1) 345 (2) 420	(1) 45 (2) 50				
改後線路	振蕩級	150	10	*	19.36	1014	佳	香港 88738 馬尼拉 87786
	第一擴大級	320	*	*				
	第二擴大級	200	25	12				
	第三擴大級	510	55	12				
	第四擴大級	2210	110	30				
	平衡擴大級	2830	(1) 330 (2) 250	(1) 14 (2) 12				

* 未裝電表或所裝電表已損，故無記錄。

(3) 電子管價值比較表

	電子管 程式 R. C. A.	數量	價值 (美元)	總值 (美元)
原來 線路	振蕩級	210	1	2.00
	第一擴大級	860	1	32.50
	第二擴大級	860	1	32.50
	第三擴大級	860	1	32.50
	第四擴大級	861	1	295.00
	平衡擴大級	861	2	590.00
				984.50
改後 線路	振蕩級	837	1	7.50
	第一擴大級	837	1	7.50
	第二擴大級	837	1	7.50
	第三擴大級	837	2	15.00
	第四擴大級	803	1	28.00
	平衡擴大級	833	2	170.00
				235.50

洲各國所製之電子管，如欲改用美國所製之電子管，亦非不可能。按我國購自歐洲之無線電機，為數並不在少，在此歐戰期間，關於原用之歐洲電子管，恐無從訂

購，所以亟應有改用他種電子管之計劃。

(3) 現在國際路線多被封鎖，運輸甚感困難，即原來規定應用美國所製之電子管，亦恐未必能按時接濟，所以於必要時，並須計劃改用國內存貨較多之電子管，以濟急需。

總之，由此次改試之成功，對於改用無線電機電子管之程式，可增進自信心不少；倘能因此引起電信界同人之興趣，於必要時，研究討論無線電機所用電子管程式之改用問題，而將研究或試驗結果，供諸所好，則為作斯報告之本意也。至該機所用整流管，業由亞爾西愛公司由高空 (High Vacuum) 管改為汞氣 (Mercury Vapor) 管；對於改用此種電子管，諒無困難，故未作試驗。最後，筆者有一言須在此提出，即亞爾西愛一瓦勵振機改用電子管程式一節，由盧宗澄先生首先提倡，(但筆者所改之線路及電子管程式，與盧先生所改者，完全不同。) 特此聲明，以免掠美之嫌。

(續 88 頁)

31. 文書幹事掌管本會一切文書事務。

32. 會計幹事掌管本會一切會計事務。

33. 事務幹事掌管本會會計文書以外之一切事務。

34. 總編輯主持本會會刊及叢書編輯事宜。

35. 基金監保管本會基金及其他特種捐款，但不得兼任本會其他職員。

36. 本會各委員會人選，由董事會選定之，任期一年，連選得連任，各委員會委員長得出席執行部會議。

37. 本會職員皆名譽職，但經董事會之議決，執行部得聘有薪給之職員及助理員。

38. 新舊職員之交代，應於年會閉會後一個月內辦理完畢。

第五章 會費

39. 本會會員之會費規定如下：
(名稱) (入會費) (常年會費)

會員	十五元	六元
仲會員	十元	四元
初級會員	五元	二元
團體會員	無	二十元
名譽會員	無	無

凡會員升級時，須補足入會費。

40. 凡團體會員一次繳足永久會費三百元，會員或仲會員，除繳入會費外，一次繳足永久會費一百元，或先繳五十元，餘款於五年內繳足者，以後得免繳常年會費。前項會費應由基金監保存，非經董事會議決，不得動用。

41. 每年常年會費，應於該年六月底前繳齊之。

42. 各項會費由各地分會懇總會

所發正式收條收取，入會費全數及常年會費半數，應於每月月終解繳總會常年會費之其餘半數，留存各該分會應用。凡會員所在地未成立分會者，由總會直接收取會費。

43. 凡會員逾期三個月不繳會費，經兩次函催不復者，停寄其各種應得之印刷品，經三次函催不復，而復經證明所寄地址不誤者，由總會執行部通告，停止其會員資格，非經董事會復審特許，不得恢復。

第六章 附則

44. 本章程如有應行增修之處，經會員十人以上之提議，於年會時以出席三分之二以上人數通過，交由執行部用通訊法交付全體會員公決，以復到會員三分之二以上之決定修正之。但會員在通訊發出後三個月不復者，作默認論。

中國工程師學會章程

(民國二十四年八月十五日南寧年會修正通過)

第一章 總綱

1. 本會定名為中國工程師學會。
2. 本會聯絡工程界同志，協力發展中國工程事業，並研究促進各項工程學術為宗旨。
3. 本會設總會於首都。(在總會會所未建成以前，暫設於上海)。
4. 本會會員有十人以上住同一地點者，得設立分會，其章程由各分會擬訂，由總會董事會校定。

第二章 會員

5. 本會會員分為，(一)會員，(二)仲會員，(三)初級會員，(四)團體會員，(五)名譽會員。
6. 凡具有專門技能之工程師，已有八年之工程經驗，內有三年係負責辦理工程事務者，由會員三人之證明，經董事會審查合格，得為本會會員。
7. 凡具有專門技能之工程師，已有五年之工程經驗，內有一年係負責辦理工程事務者，由會員或仲會員三人之證明，經董事會審查合格，得為本會仲會員。
8. 凡有二年之工程經驗者，由會員或仲會員三人之證明，經董事會審查合格，得為本會初級會員。
9. 凡在工科學校畢業，作為三年工程經驗，三年修業期滿，作為二年經驗。
- 凡在大學工科或同等程度之專科學校教授工科課程，或入工科學院修業者，以工程經驗論。
10. 凡與工程界有關係之機關學校，或其他學術團體，由會員五人介紹，經董事會通過，得為本會團體會員。
11. 凡對於工程事業，或學術，有特殊貢獻而能贊助本會進行者，由

會員五人介紹，經董事會全體通過，得為本會名譽會員。

12. 會員有選舉權及被選舉權。仲會員有選舉權，無被選舉權。初級會員、團體會員、及名譽會員、無選舉權及被選舉權。
13. 凡仲會員或初級會員經驗資格已及升級之時，得由本人具函聲請升級，並由會員及仲會員三人之證明，經董事會審查合格，即許其升級。
14. 凡本會會員有自願出會者，應具函聲明理由，經董事會認可，方得出會。
15. 凡本會會員有行為損及本會名譽者，經會員或仲會員五人以上署名報告，由董事會查明除名。

第三章 會務

16. 本會發行會刊，及定期會務報告，經董事會之決議，得編印發行其他刊物。
17. 本會經董事會之決議，得設立各種委員會，分掌各項特殊會務。
18. 本會每年春季開年會一次，其時間及地點，由上屆年會會員議定，但有必要時，得由執行部更改之。
19. 執行部每年應造具全年收支報告，財產目錄，及會務報告，於年會時提出報告之。

第四章 職員

20. 本會總會設董事會及執行部。
21. 本會設會長一人，副會長一人，董事二十七人，基金監二人，董事每年改選三分之一，基金監每年改選一人，其餘均任期一年。每屆選舉由上屆年會出席會員推定司選委員五人，再由司選委員會提出各職員三倍

人數，用通信法由全體會員選舉，於次屆年會前公布之。前任職員連舉得連任一次。

22. 本會設總幹事，文書幹事，會計幹事，事務幹事，總編輯，各一人，均由董事會於年會閉會後二星期內選舉之，任期一年，連舉得連任。前項職員亦得由董事兼任。
23. 董事會由董事，及會長，副會長，組織之，其開會法定人數定為十五人。董事會開會時，以會長為主席，執行部其他職員均得列席，但無表決權。會長，副會長，不能出席時，得自行委託另一董事為代表，董事不能出席時，每次應書面委託另一董事或會員為代表，但以代表一人為限。

24. 董事會遇必要時，得邀請歷屆前任會長副會長列席會議。
25. 董事會之職權如下：
 - (一)決議本會進行方針，
 - (二)審核執行部之預算決算，
 - (三)審查會員資格，
 - (四)決議執行部所不能解決之重大事務。
 - (五)其他本章程所規定之職務。
26. 執行部由會長，副會長，總幹事，會計幹事，文書幹事，事務幹事，及總編輯組織之。執行部職員除會長副會長外，為辦事便利起見，均須為總會所在地之會員。
27. 董事會開會無定期，但每年至少須四次，由會長召集之。執行部每月開會一次，由總幹事承會長之命召集之。
28. 會長總理本會事務，並得為本會對外代表。
29. 副會長輔助會長辦理會務，會長不能到會時，其職務由副會長代之。
30. 總幹事承會長之命，綜理本會執行部日常事務。

(接 87 頁)

鈾鎢絲(Thoriated Tungsten)電子放射之檢討

單宗肅

(中央電工器材廠工程師)

(一)電子放射公式。

常用之電子放射公式為 Dushman's

Equation:

$$I = AT_2 e^{-b_0/T} \dots\dots\dots (1)$$

A 為公用常數(Universal Constant)

b_0 為專用常數(Specific Constant), 其值隨放射表面而變。從 Saul Dushman & Jessie W. Ewald: Graphs for Calculation of Electron Emission from Tungsten, Thoriated Tungsten, Molybdenum And Tantalum, G. E. Review, March, 1923 檢得:

$$\text{鈾鎢絲之 } b_0 = 34100$$

$$\text{鎢絲之 } b_0 = 52600$$

設 I 用安培/平方公厘 為單位, 則 $A = 60.2$, 而(1)式可變為:

$$\log_e I = 4.1 + 2 \log_e T - \frac{b_0}{T} \dots (2)$$

(二)鈾鎢絲電子放射之優良。

鎢絲之電子放射, 效率不佳, 若在鎢絲內加少量氧化鈾, 用時先將鈾鎢絲在真空中熱至 2800°K ., 則一部份氧化鈾還原為鈾, 再將鈾鎢絲溫度降至 2200°K ., 則鈾即漸漸擴散至鎢絲之表面, 而成一極良好之放射層。鈾鎢絲之工作溫度最適宜在 1900°K . 至 2100°K . 之間, 太高則鈾之蒸發過速, 太低則絲內之鈾向外擴散太慢。故溫度太高或太低, 均能減小電子放射。

茲將鈾鎢絲與鎢絲之電子放射率, 在 2000°K . 時, 作一比較如下:

設 I' , b' 為鈾鎢絲之電子放射率及其專用常數,

I'' , b'' 為鎢絲之電子放射率及其專用常數,

$$\text{則 } \log_e I' - \log_e I'' = \frac{b'' - b'}{T}$$

$$= \frac{52600 - 34100}{2000} = 9.25$$

$$\log_e \frac{I'}{I''} = 9.25$$

$$\frac{I'}{I''} = 10400$$

即在 2000°K . 時, 鈾鎢絲之電子放射率為鎢絲之電子放射率一萬餘倍, 由此可知鈾鎢絲電子放射之優良矣。

(三)鈾鎢絲應用時之實際困難及解決方法。

鈾鎢絲電子放射之優良, 已如前述, 然實際上應用時困難頗多, 蓋鈾鎢絲表面之鈾, 極易受殘餘氣體之陽離子所衝擊而失落, 其電子放射能力隨之減低。欲得極高之真空, 費用既大, 且不易保持, 壽命亦隨之短促。在吾國情形, 因液體空氣之不易得, 欲求高度真空, 更屬困難。於是有所謂炭化鎢絲之方法, 經過此法之後, 則上述困難即可減小而壽命亦長。茲述之於後:

以鈾鎢絲在炭氫化合物(Hydrocarbon)如 Naphthalene, Alcohol, benzol, benzen 或 Methane 等中, 燃至 1600°K ., 則炭氫化合物之分子衝擊於極熱鈾鎢絲之表面, 而分解為氫與炭。炭即與鈾鎢絲表面之鎢化合而成 W_2C 。炭化後之鈾鎢絲, 較炭化前有兩優點:

(甲)電子放射不易受殘餘氣體之影響而

低落。

(乙)在同一溫下，鈦之蒸發率較慢，故其工作溫度可提高，而電子放射效率亦較佳。

鈦鎢絲炭化後，雖有上述諸優點，然炭化程度頗有關係。含炭太多則質脆易斷，含炭太少則又不能得上述之優點，故含炭之多少，乃一極值研究之問題也。Koller 在 Physics of Electron Tube 書上謂：鈦鎢絲炭化後，其傳導率不能小於原數百分之八十。換言之，即含炭量不能超過 0.7% 以上。(參閱 Koller: Physics of Electron Tube, P. 33, Fig. 8)。I. E. E. April, 1937, P. 416 謂：鈦鎢絲炭化後其電阻以增加百分之七為宜。其含炭量約合 0.25%。然作者經數年之試驗，覺鈦鎢絲炭化後，其傳導率以減至原數百分之九十為最妥，含炭量約合 0.35%。在此情形之下，電子放射固佳，而脆度與 R. C. A. 所產電子管內之鈦鎢絲相仿。實際上鈦鎢絲電子管運輸時，仍須特別留意。深望世人，對此問題多加研究，改良鈦鎢絲之電子放射而減除其質脆易斷之弊，或竟放棄炭化法，別尋新方，務得其優而去其弊，則尤善焉。

(四) 結論。

(甲)鈦鎢絲電子放射雖佳，然易受真空度之影響而降落。行炭化法後，其弊即除。

(乙)炭化法可增加鈦鎢絲電子放射效率，而減少真空度之影響，以作者試驗結果，其含炭量以 0.35% 為宜。

(丙)質脆問題頗堪注意，最好能棄炭化法而別求新方，務使其長而無其短。

(五) 參考書

(A) Yuziro Kusunose: Calculations on Vacuum Tubes and the Design of Triodes, 日本電氣試驗所研究報告 No. 237。

(B) Andrews, M. R.: Diffusion of Carbon through Tungsten & Tungsten Carbide, J. Phys. Chem., 29, 462, 1925。

(C) Langmuir, I.: The Electron Emission from Thoriated Tungsten Filaments, Phys. Review, 22, 357, 1923。

(D) Koller: Physics of Electron Tubes.

(E) Saul Dushman & Jessie W. Ewald: Graphs for Calculations of Election Emission from Tungsten, Thoriated Tungsten, Molybdenum and Tantalum, G. E. Rev., March, 1923。

得 獎 論 文 揭 曉

中國工程師學會第八屆昆明年會論文，前經論文審查委員會選取四篇，頒給獎金，以誌嘉勉。各篇論文均在本雜誌揭曉，號數如下：

- | | | |
|-----|-----|--|
| 第一名 | 陳廣沅 | 雙缸機車衝重之研究
(載「工程」第十三卷第六號 5—50 頁) |
| 第二名 | 王龍甫 | 長方薄板撓曲之研究及其應用於鋼板梁設計
(載「工程」第十三卷第五號 5—26 頁) |
| | 章名濤 | 稅格電動機中之互感電抗
(載「工程」第十三卷第四號 45—48 頁) |
| | 葉 楷 | 汞弧整流器
(載「工程」第十三卷第四號 27—35 頁) |

銅線表皮缺陷(Surface defects)之原因

卞 學 曾

(中央電工器材廠副工程師)

銅線製造之步驟，自原料以至成品，大約可分列如下、

1. 採鑛
2. 粗鍊
3. 精鍊
4. 翻製銅錠(casting of wire bar)
5. 預熱銅錠(reheating of wire bar)
6. 銅桿軋壓(rolling of wire rod)
7. 酸洗(pickling)
8. 拉線(wire drawing)

在任一製造步驟中，如不加適當處理，即有使製成後之銅線，有表皮缺陷之可能。茲分別討論如下：

(一)由於銅錠本身之缺陷

銅錠本身之缺陷，可分為成分不合及翻製缺陷(casting defects)二種。前者由於採鑛，粗鍊，精鍊，及/或翻製之未加適當處理，後者則完全由於翻製不良有以致之。成分不合之銅錠，其導電量(electrical conductivity)將銳減，根本不能作為製造銅線之原料，本文中可勿置論。其翻製缺陷足以影響銅線之表皮者，約有下列數端：

(1)富氧銅之深入(deep penetration of oxygen-rich copper) 翻製銅錠時雖有「青木去氧法」(poling process)將銅內所含之氧氣除去，但終有一部份留於銅錠之內，此種氧氣係化合於銅內所含之一氧化銅(cuprous oxide)內，距凝結面(set surface)愈近，其所含之量亦愈多，此種富氧銅部份普通應在凝結面下半吋以內，如深入凝結面太多時，則銅錠將富有一種脆性(embrittlement)，在拉線時足以有表皮疲乏(surface fatigue)之現象，致拉成後之銅線表皮，有

粗糙及裂隙之病。

(2)含氧量(oxygen content)太多。

普通銅錠內含氧量應在0.025%至0.08%之間，含氧量在0.05%以內時，其對於銅錠之冷熱處理(cold and hot treatment)，均無若何若影響，過此限則銅錠將有脆性，致使拉成後之銅線，有表皮缺陷之虞。

(3)氣洞(porosity)太大並太多。

在翻製銅錠當其凝結之時，裏面所發生之氣體向外膨脹，致使凝結後之銅錠，裏面留有許多之氣洞。如此種氣洞太大並太多時，則在拉線時將發生許多之困難，使拉成後之銅線有表皮缺陷。

普通鑑別銅錠之有無翻製缺陷，大都由其凝結面之形態以定之。在翻製銅錠當其凝結之時，銅由液體變固體而收縮，同時裏面所發生之氣體亦向外膨脹。如裏面發生之氣體太少，其膨脹力(natural up-thrust)不足以與外面之收縮力(natural shrinkage)相抵消時，則銅錠凝結後成爲一種凹形凝結面(under-poled set surface)，此種凝結面表示裏面含多量之一氧化銅，亦即其含氧量甚多，但所含之氣洞則甚少，甚至無有。如凝結時裏面所發生之氣體太多，其膨脹力足以抵消外面之收縮力而有餘時，則銅錠凝結後成爲一種凸形凝結面(over-poled set surface)，此種凝結面表示裏面之氣洞甚多且甚大，但其含氧量則甚少。如凝結時裏面所發生氣體之膨脹力足以抵消外面之收縮力而有餘時，則銅錠凝結後成爲一種平形凝結面(tough pitch set surface)，此種凝結面表示裏面之含氧既不太大，氣洞亦不太多，對

於冷熱處理均無影響，為適於製造銅線用之銅錠。①

(二)由於輾壓前之預熱處理

普通在輾壓前，銅錠在預熱爐 (reheating furnace) 內加以預熱處理時，爐內大多富於氧氣，銅錠在高溫度及較長之時間下，與富於氧氣之空氣相接觸，其表皮將被有一層較厚之氧化物 (scale)，此種氧化物之大部雖在輾壓時可以脫去，但終有一部份被壓入銅內，而存留於銅桿表皮之內，足以影響拉成後銅線之表皮。但如能於輾壓時用有效之方法，使銅錠外面之氧化物不致壓入銅內太多，則因此而生之微小表皮缺陷，(實際非普通目力所能見)，在普通用之銅線毫無關係。但如用為特種銅線，如漆皮銅線 (enameled wire) 等之用時，則此種微少之表皮缺陷，亦須用有效方法以除去之。

(三)由於銅桿之缺陷

輾壓之壓槽 (roll pass) 設計時，應使被壓物之四周，均有適當之支持，在每個壓槽內，被壓物須被壓至固定之大小 (definite size)，及預定之形態 (given shape)。如在實際輾壓時，在任何壓槽內，有與上述不符之情形時，則壓成後之銅桿，將有裂隙 (crack)，邊溢 (fins)，重疊 (over lap) 等等之缺陷。此種銅桿經過冷拉 (cold drawing) 工作之後，其拉成之銅線，將有極壞之表皮缺陷。甚至不能拉成完整之銅線。上述銅桿之缺陷，不僅與壓槽設計 (roll pass design) 有關，而與實際輾壓時之溫度控制

(temperature control)，及輓軸校正 (roll setting)，均有極大之關係焉。

(四)由於拉線前不適當之酸洗

普通最常用之硫酸酸洗法，僅能將銅桿上最外面之一層氧化物洗去，其被壓而深入銅內之氧化物及銅桿上之任何表皮缺陷，均不能用此法以除去之。

欲使表皮缺陷及被壓入銅內之氧化物亦一並除去，有二種方法可以應用。

(1) 電解酸洗法 (electrolytic pickling)

將銅桿接於陽極 (anode) 上，而浸入硫化銅液體 (copper sulfate solution) 內以酸洗之，用此方法可將銅之表皮完全洗去一層。

(2) 硝酸酸洗法

將銅桿浸入淡硝酸內而酸洗之，但此法在實行時有發生致嘔及含毒黃烟 (nauseous and poisonous fume) 之可能，不適於採用。

(五)由於不適當之拉線處理

在拉線時不適當之處理，而足以使銅線有表皮缺陷者，約有：

- (1) 不適當之拉縮率 (incorrect drafting)
- (2) 不適當之拉線模形態 (incorrect die shape)
- (3) 粗糙或破碎之拉線模 (rough and broken die)
- (4) 不適當之潤滑液 (inadequate lubrication)

①輾壓銅桿大部用橫模翻製 (horizontally casted) 之銅錠，故本文所述亦僅就此種銅錠加以討論。

中國工程師學會 出版

四川考察團報告

每冊港幣五元

廣西考察團報告

每冊港幣三元五毫

購買上兩書須備具機關或社團正式公函

款匯香港皇后大道中四號三樓本會香港分會

開關設備 標準電壓 及 標準載量 之建議

林 津

(中央電工器材廠副工程師)

提要：我國電器製造事業發展較遲，關於開關設備之正常電壓及正常載量尚未規定標準，此對於大量生產殊有不便，本文根據前建設委員會公佈之『電氣事業電壓週率標準規則』並參考歐美各國之標準，草擬開關設備標準電壓及標準載量，以供我國專家之參考，希望在抗戰勝利復興建國以前，將此標準審定公佈，以爲將來新興電器製造事業及電器事業之準繩。

我國電器製造事業發展較遲，昔日各電廠所需之器材，多取自外國，即有由本國自給者，亦多係仿造外貨之式樣，或適合各電廠之需要，特別設計製造，鮮有自定標準者。以是各電廠及工廠爲器材取給便利起見，所用發電機變壓器及開關設備之電壓及載量，乃多採用供給器材國家之標準，而增備之電器亦均沿用舊制。故戰前全國各電廠之線路電壓種類極多，雖曾經前建設委員會於民國十九年公佈『電氣事業電壓週率標準規則』，規定標準週率爲50週/秒，相數爲單相及三相兩種，及標準電壓若干種（參閱第三表），但因已成立之各電廠，更改舊制所費頗鉅，故尙難統一。其中關於週率及相數，因世界各國已早趨標準化，大部分國家採用50週/秒三相制，（惟美國採用60週/秒三相或四相制）。我國亦定此爲標準，

故已成立之各電廠所採制度尙多與此相合；但關於電壓則極不一致；據前建設委員會統計，^①民國二十三年份，國內主要汽輪發電廠之發電電壓，竟達十三種之多，（參閱第一表）。此不但使各電廠互相供電組成電氣網之計劃，難於實現，而對於初期發展之電器製造事業，欲謀大量生產，亦殊有礙。今者，舊有電廠多在淪陷區內，其遭摧毀者頗多，於抗戰勝利之後，必將謀恢復，且內地之電器事業及工業亦必將有大規模之發展，倘於此時規定電壓標準，由建設事業統制機關切實推行，必不難使全國一致採用。至於電器載量之標準化，雖不若電壓關係之重大，但倘能定有標準，則一可以減少製造廠存貨之種類，而增加其大量生產之效能，二可便於電廠及工廠之選用，三則一切與載量有關之電氣規則，若刀形開關之開啓距離，匯電桿之安全間隔，及油開關開動器等之任務循環（duty cycle）等，均可據此依次規定，故亦爲當行之急務。昔建設委員會所定之標準電壓，因顧及國內已有電廠之制度，故種類頗多，似尙可加以修改；而關於開關設備及其他電具之標準載量，則尙無規定。今根據該會公佈之規則，並參考歐美各國之標準，草擬開關設備之標準電壓，及標準載量，以供專家之參考。

①、見民國二十三年份『中國電氣事業統計』第五號。

(第一表) 國內主要電廠 發電電壓 及 週率 表①

電 壓	週 率	50 週/秒	60 週/秒	25 週/秒
2200		武進		開灤
2300		福州，揚州，南昌，寧波，蘇州。		
3150		鎮江大照電廠		
3300		煙台，成都。		
5000		濟南		
5250			福州	
5500		上海華商		
6600		開北，威墅堰，天生港。	漢口 既濟	
6900		洛陽		
11000		青島		
13200		廣州		
13500		首都		
14000		杭州		

(一) 標準電壓

今日通用之電壓，可分為高低二種：②
凡在 750 伏以下者稱為低壓，其較高者稱為高壓。今分別討論於下：

(甲) 低壓：——前建設委員會於民國十九年公佈之標準低壓，直流為 220 伏及 220/440 伏（三線制）二種，交流為 220 伏（單相），220/380 伏（三相四線）及 220/440 伏（單相三線）三種，與英美各國所定之標

準相類似（參閱第二表）。我國戰前已成立之各電廠所用低壓種類，據前建設委員會民國二十四年之統計③，用直流者計有一百餘家；其中電壓為 220 伏者約佔百分之七十，220/440 伏者約佔百分之二；用交流者計三百餘家；其中用三相 220/380 伏者約佔百分之三十，用單相 220 伏者約佔百分之四十；大部分與前公佈之標準規則相合。故如將此標準嚴格推行，當不難使全國之低壓漸趨標準化。

(第二表) 各國現用標準低電壓（線路終點）

	美國	英國	德國	建委會公佈	建議之我國標準	
					線路終點電壓	開關設備正常電壓
直			110			
112/220			220	220	220	250
115/230		230/460	440	220/440	220/440	550
550			550			
流 660(電車用)			750			
交			125(三相)			110及115(電壓互感器用)
110(單相三相及四相)			125/220(三相)	220(單相)	220	250
110/220(單相三線)			220/380(三相)	220/380(三相)	220/380(三相)	500
220(三相及四相)	230/400		500(三相)	220/440(單相三線)	220/440(單相三線)	
440(三相及四相)						
流 550(三相及四相)						

① 錄自『中國電氣事業統計』第五號『全國電氣事業調查表』。

② 按英國習慣，250 伏及較低者稱為『低壓』(Low-Tension)，不超過 650 伏者稱為中壓 (Medium Tension)，不超過 3,000 伏者，稱為高壓(High Tension)，高於 3,000 伏者，稱為超高壓(Extra-High-Tension)，惟按本國所規定之電壓種類，分為高壓及低壓二種，已足區別。

③ 中國電氣事業統計第五號『全國電氣事業調查表』。

茲根據前建設委員會公佈之標準，以擬定開關設備之標準電壓：查電燈所接電壓，不宜超過其正常值之 5.5%；又普通之交流及直流電動機在正常週率時，如電壓之變動不超過規定值之±10%，仍應生足量馬力，故英美各國之戶內電力線裝置規則，規定連接電燈之線路，其總電壓降落不得超過正常值百分之五；連接電動機之線路，其總電壓降落不得超過百分之十。故低壓開關，保險絲及開動器等之正常電壓，宜較線路終點電壓高約百分之十，使其可以通用於電燈及電動機線路之各段。今擬以 250 伏為雙極開關之標準電壓，適用於 220 伏之線路；500 伏為三極及雙極開關之標準電壓，適用於 220/380 伏及 220/440 之線路。

此外，電壓互感器(Potential Transformer) 低壓線圈之標準電壓，擬定為 110 伏

及 115 伏二種，使當高壓線圈用於各種標準高壓線路時(參閱第三表)，其「變比」(Ratio of Transformation)均得為整數，如此可減少電壓表(與電壓互感器聯用者)之種類，而便於劃度及校準。

(乙)高壓：——今日歐美各國所用之標準高電壓，不下十餘種。前建設委員會所規定者，亦有九種之多(參閱第三表)。考其原因，概由於電廠之發電電壓，隨電氣製造事業之進步，及輸送電量之增加而俱增，當此演進時期，新設電廠固多採用較為經濟之高級電壓；而舊有電廠則因提高電壓所費頗鉅，仍多沿用舊制，乃致多種電壓，同時存在。今我國值此非常時期，電氣事業將有猛進革新之發展，似應選擇數種最經濟之電壓，定為標準，而將其他電壓逐漸取締。

(第三表) 各國現用標準高電壓

美國①		英國		德國		建設委員會公佈 (十九年九月十二日)		建議之我國標準		
線路電壓 (表面值) ②	電具電壓 (開關及其他)	線路終點 電壓	線路起點 電壓	線路終點 電壓	線路起點 電壓	線路終點 電壓	線路起點 電壓	線路終點 電壓	線路起點 電壓	開關設備 正常電壓
2,300	2,500	3,000	3,300	3,000	3,150	2,200	2,300			
4,000	4,500			(5,000)	(5,250)	3,800	4,000			
6,600	7,500	6,000	6,600	6,000	6,300	6,600	6,900	66,00	6,900	7,500
11,000		1,0000	11,000	10,000	10,500					
13,200	15,000					13,200	13,800	13,200	13,200	15,000
22,000	23,000			15,000	15,750					
33,000	34,500	30,000	33,000			30,000	31,500	33,000	34,500	35,000
44,000	46,000	45,000	49,000							
66,000	69,000	60,000	66,000			60,000	63,000	66,000	69,000	70,000
110,000	11,500	100,000	110,000			100,000	105,000			
132,000	138,000	120,000	130,000					132,000	138,000	140,000
154,000	161,000					150,000	157,500			
220,000	230,000					200,000	210,000	220,000	230,000	230,000
330,000	345,000									

① 下有橫線者為規定新設電廠應採用之標準電壓。

② 美國僅規定發電電壓之表面值，而未規定線路終點及起點之電壓。

茲根據前建設委員會公佈之規則，擬改定 6,600, 13,200, 33,000, 66,000 及 132,000 伏五種，為線路終點標準電壓。線路起點之電壓，較終點約高百分之五，計為 6,900, 13,800, 34,500, 69,000 及 138,000 伏。今將選用各電壓之理由申述於下：

(1) 6,600 伏——今各國通用之發電機電壓，及低級之配電線路電壓，計有 2,200, 2,300, 3,000, 4,000, 5,000 及 6,600 數種；其中就線路載量之效率而論，當以 6,600 伏為最高，而線路之裝置費用，及瓷料，開關設備等之價值，以 6,600 伏者與 2,200 伏者相較，亦相差極微（參考第四表）。故就

設備費用而論，亦以 6,600 伏最為經濟。故今日英美各國均定 6,600 或 6,000 伏為標準之一，而我國經前建設委員會極力推行以來，近年新設之電廠，亦均採用 6,600 伏；惟美國規定 4,000 伏為新設電廠之標準，而不採用 6,600 伏，考其原因，乃以舊有電廠用 2,300 伏者甚多，如欲利用原有之線路設備及變壓器，而將配電電壓增高以增加輸電量，惟有採用 4,000 伏，（將三角聯接之發電機及變壓器改為星聯接）；我國並無此種情形，自不必倣效之。故就設備之經濟，外國器材取給之便利，及適合本國之情形諸點而論，均以為應採用 6,600 伏為標準。

(第四表)

線路電壓	屋外① 導線與橋梁 之安全間隔	同一桿塔上① 電力線與電信線 間之最小垂直距離	同一桿塔上① 導線間之橫面間隔 (弧垂 2.4 公尺) 導線截面積 3 方公厘內	屋內② 電線距地 之安全間隔	屋內③ 匯電條 之間隔	屋內④ 油開關異極 間之最小間隔
2,300 伏 (2,500)	1.0 公尺	1.2 公尺	0.90 公尺	2.5 公尺	3 $\frac{1}{2}$ 吋	2 吋
6,600 伏 (7,500)	1.0 公尺	1.2 公尺	0.90 公尺	2.8 公尺	4 吋	3 $\frac{1}{2}$ 吋
13,200 伏 (15,000)	1.5 公尺	1.8 公尺	0.95 公尺	3.7 公尺	7 吋	5 吋
33,000 伏 (35,000)	2.5 公尺	1.8 公尺	1.10 公尺	—	19 $\frac{1}{2}$ 吋	14 吋

(2) 13,200 伏——在 6,600 伏以上，適於中距離輸電或配電之電壓；及轉動電機之最高電壓；今通用者計有 10,000 及 13,200 伏二種。前建設委員會曾採用 13,200 伏標準，今就線路之經濟問題而論，亦覺定此為標準，極為適當：蓋考我國今日電氣製造事業之程度，對於 15,000 伏以下之瓷料已可以製造，對於同電壓之開關設備，亦有相當把握，故採此為標準，乃可以充分利用本國製造事業之技術，使大部份器材，可以取之於國內。再者，以 6,600 伏為最低級之標準高電壓，而以其二倍 (13,200 伏)，五倍 (33,000 伏)，及十倍 (66,000 伏) 等為較高

級之電壓，可以使各級標準高壓，成為一有規則之系統。故擬依照前建設委員會公佈之規則，以 13,200 伏為標準電壓。

(3) 33,000, 66,000 及 132,000 伏——超過 13,200 伏 (或 15,000 伏) 之瓷料及開關設備，在最近期內，大部份恐仍須取自國外，故所定高級標準電壓，當求其與歐美各國相似，以便器材之取給。茲參考英美之標準，並根據上節所述之系統，擬定此三種電壓為標準。高於 132,000 伏之電壓，我國目前似尚無需要，故未規定。

根據上述之標準線路電壓，擬規定開關設備之正常電壓為 7,500, 15,000, 35,000,

① 錄自前建設委員會二十年五月十一日公佈之屋外供電線路裝置規則。

② 錄自德國電機工程標準 V. D. E. 1934。

③ 錄自 Data Book for Switch board of Westinghouse Electric & Mfg. Co. (美國)。

④ 錄自英國電機工程標準 B. E. S. A. Standard。

70,000，及 140,000 伏五種；蓋英美之慣例，在同一配電區內各點之實際電壓，不宜與線路終點之標準電壓相差超過 $\pm 5\%$ ，又普通變壓器之壓降約為 2-4%，故當某一配電支線之負載 (Load) 減至極小時，其上之最高電壓，或將較標準電壓高 9%。是以用於 6,600 伏及 13,200 伏配電線路之開關設備，其正常電壓應約較高 10%。今取一整齊之數目，得 7,500 伏及 15,000 伏。輸電線路開關設備之正當電壓，宜較線路終點標準電壓約高 5%，以便通用於線路之終點及起點，故選用 35,000，70,000 及 140,000 伏為標準。(參閱第三表內美國之標準)。

(二) 標準載量

開關設備之載量，普通以電流之安培數表示之，電動機開動器又常以其配用之電動

機之馬力數表示其載量。此外自動斷路器必須用載流量及斷流容量 (Interrupting capacity) 二者，始能完全表明其載量。今本文僅論及各種開關及開動器之載流量。

載流量標準之選擇，當以下列各點為根據：(1)適合需要之情形，(2)分級不宜過少，以免使用者常須採用過大之開關，(3)分級不宜過多，致增加製造之繁瑣，(4)所分各級，應適合構造之情形，其構造不便，或兩級價格相差甚微者，均宜減去，(5)各級之安培數宜成等比或等差級數，並宜用整齊之數目。茲根據上述之原則，並參考英國標準局公佈之刀形開關載流量標準，及英、美、德各名廠出品之額定載量，擬定刀形開關，油開關，交流電動機開動器，及電流互感器 (Current Transformer) 之載流量，列於第五表。

(第五表) 開關設備之標準載流量

英國標準局規定①		建議之我國標準						
刀形開關	隔離開關	刀形開關		油開關		交流電動機開動器		電流互感器 主方電流 (副方電流=5安)
		低壓	高壓	低壓	高壓	安培	馬力約數 (380 伏三相時)	
15	15					15	10	5
30	30	30				25	15	10
60	60	60		60		40	25	15
100	100	100		100		60	40	20
150	150					100	75	30
200	200	200	200	200	200	150	100	50
300	300	300				200	150	60
400	400	400	400	400	400	300	200	80
	500					500	300	100
	600	600	600	600	600	700	500	150
	800	800	800	800	800			200
	1000	1000	1000	1000	1000			250
	1200							300
	1600	1500	1500	1500	1500			400
	2000	2000	2000	2000	2000			500
	2400							600
	3000	3000	3000	3000	3000			800
	4000	4000	4000	4000	4000			1000
	5000							1500
	6000	6000	6000	6000	6000			2000
								3000
								4000
								5000

① 下有曲線者為可以省去之標準載流量。

刀形開關之構造簡單，所費材料佔成本之大部分，故其分級宜較細，使鄰級之價格不致相差過多；其高壓者因開啓距離較長，100 安培以下之開關，不甚堅固，尤以戶外用者爲甚，故擬以 200 安培爲最小載量。又刀形開關多用以隔離油開關及高壓線，故其載量應能與油開關相配用。

按英國標準局之規定，刀形開關分爲 Knife Switch 及 Isolating Switch 兩種，前者僅及 400 安培，可以截斷電流，後者專用以隔斷線路；我國昔按其字意，譯爲閘刀開關及隔離開關，然實際上歐美各廠所製之閘刀開關，其容量並不止於 400 安培，其與隔離開關之區別，全在於構造上之不同。閘刀開關僅有低壓者，裝有手柄可以直接拉動，而隔離開關則有高壓低壓兩種，不裝手柄，而用鈎棒或槓桿啓閉；500 安培以上之閘刀開關，亦僅能隔斷線路，其功用與隔離開關相同。故以爲舊譯名稱不甚切當，應將此兩種開關統稱爲刀形開關，而按其構造分爲『手柄刀形開關』，『鈎棒刀形開關』，『槓桿刀形開關』，及『羊角刀形開關』(Horn Break Switch) 數種。

油開關之構造較爲複雜，其價值，除載流量外，更視截流容量而異，電壓愈高，則後者之關係愈大。故低於 200 安培之高壓油開關，其價值與 200 安培者相差無幾，可通

用 200 安培者，故其標準載流量亦自 200 安培起。

電動機開動器載流量之分級，與刀形開關及油開關稍有不同，其所以不亦採用 15, 30, 60, 安培之分級者，乃因：(1) 10 匹以上至 40 匹馬力間之電動機，通常分爲 12, 15, 20, 25, 30 及 40 馬力六種，倘用 30 及 60 安培開動器兩種，則每種須通用於三種電動機，分級似過少。(2) 40 安培之開動器，可用空氣開啓 (Air-break) 式者，而 60 安培者則宜用浸油式者，倘定 30 安培爲標準，則 25 匹馬力之電動機，亦必須用浸油式開動器，頗不經濟。(3) 開動器之外殼常備接裝鐵管，按美國規定之鐵管大小 (三相三線)，15 安培以下均用 1/2" 鐵管，25 安培以下者用 3/4" 鐵管，30, 40 及 60 安培者均用 1 1/4" 鐵管，故按此分級，可免開動器上裝管孔，與實際所需之管徑大小不合，致必須用較大之鐵管。今英國及德國所製開動器，亦均依此分級。

電流互感器主方 (Primary Side) 之電流，應與電流表之劃度相同，故按常用電流表之滿載安培數，規定其標準載流量。

以上所述者，均爲基本之開關設備，其標準流量既定，則其他開關設備，若保險絲，電抗器，鐵壳配電設備等，均可據此規定矣。

中國工程人名錄

出版預告

中國工程人名錄，搜羅全國工科專門人才一萬七千餘人，詳載學歷經驗，並附各校歷屆工科畢業生名單，由商務印書館印刷發行，約民國三十年三月出版。

工 程

THE JOURNAL OF THE CHINESE INSTITUTE OF ENGINEERS

FOUNDED MARCH 1925—PUBLISHED BI-MONTHLY

工程雜誌投稿簡章

- (1) 本刊登載之稿，概以中文為限。原稿如係西文，應請譯成中文投寄。
- (2) 投寄之稿，或自撰，或翻譯，其文體，文言白話不拘。
- (3) 投寄之稿，望繕寫清楚，並加新式標點符號，能依本刊行格（每行 19 字，橫寫，標點佔一字地位）繕寫者尤佳。如有附圖，必須用黑墨水繪在白紙上。
- (4) 投寄譯稿，並請附寄原本。如原本不便附寄，請將原文題目，原著者姓名，出版日期及地點，詳細敘明。
- (5) 度量衡請盡量用萬國公制，如遇英美制，請加括弧，而以折合之萬國公制記於其前。
- (6) 專門名詞，請盡量用國立編譯館審定之工程及科學名詞，如遇困難，請以原文名詞，加括弧註於該譯名後。
- (7) 稿末請註明姓名，字，住址，學歷，經歷，現任職務，以便通信。如願以筆名發表者，仍請註明真姓名。
- (8) 投寄之稿，不論揭載與否，原稿概不檢還。惟長篇在五千字以上者，如未揭載，得因預先聲明，寄還原稿。
- (9) 投寄之稿，俟揭載後，酌酬現金，每頁文圖以港幣二元為標準，其尤有價值之稿，從優議酬。
- (10) 投寄之稿經揭載後，其著作權為本刊所有，惟文責概由投稿人自負。在投寄之後，請勿投寄他處，以免重複刊出。
- (11) 投寄之稿，編輯部得酌量增刪之。但投稿人不願他人增刪者，可於投稿時預先聲明。
- (12) 投寄之稿，請掛號寄重慶郵政信箱 263 號，或香港郵政信箱 1643 號，中國工程師學會轉工程編輯部。

中國工程師學會各地地址表

重慶總會	重慶上南區馬路 194 號之四
重慶分會	重慶川鹽銀行一樓
昆明分會	昆明北門街 71 號
香港分會	香港郵箱 1643 號
桂林分會	桂林郵箱 1026 號
梧州分會	廣西梧州市電力廠龍純如先生轉
成都分會	成都慈惠堂 31 號盛允丞先生轉
貴陽分會	貴陽禹門路西南公路局薛次華先生轉
平越分會	貴州平越交通大學唐山工程學院茅唐臣先生轉
遵義分會	貴州遵義浙江大學工學院李振吾先生轉
麗水分會	浙江麗水電政特派員辦事處趙曾珏先生轉
宜賓分會	四川宜賓郵箱 3000 號鮑國寶先生轉
嘉定分會	四川嘉定武漢大學工學院楊君實先生轉
瀘縣分會	四川瀘縣兵工署二十三廠吳景鐸先生轉
城固分會	陝西城固賴景瑚先生轉
西昌分會	西康西昌經濟部西昌辦事處胡博淵先生轉

工程雜誌 第十三卷 第六號

民國二十九年十二月一日出版

內政部登記證 警字第 788 號
香港政府登記證 第 353 號

編輯人 沈 怡
發行人 中國工程師學會 張廷祥
印刷所 商務印書館香港分廠（香港英皇道）
總經理處 商務印書館香港分館（香港皇后大道）
分經售處 商務印書館分支館

重慶 成都 康定 長沙 衡陽 邵陽
貴陽 常德 梧州 桂林 柳州 昆明
開平 肇慶 梅縣 韶關 金華 鄧縣
恩施 萬縣 贛縣 福州 西安 蘭州
南鄭 南陽 廬江 新加坡 澳門 廣州

本 刊 定 價 表

每兩月一冊 全年六冊 雙月一日發行

	冊數	價 目 (港幣)	郵 費 (港幣)	
			國內及本 港 澳 門	國 外
零 售	一冊	四 角	六 分	一角五分
預定全年	六冊	二元四角	三角六分	九 角

廣告價目表 ADVERTISING RATES

地 位 Position	每 期 1 issue 港幣 H.K.\$	每年 (六期) 6 issues 港幣 H.K.\$
底封面外面 Outside Backcover	二百元 200	一千元 1,000
普通地位全面 Ordinary Full Page	一百元 100	五百元 500
普通地位半面 Ordinary Half Page	六十元 60	三百元 300

繪 圖 製 版 費 另 加
Designs and blocks to be charged extra.

China Electric Company

LIMITED

INCORPORATED IN U. S. A.

商 美

中國電氣股份有限公司

專 售

各式電話交換機
 磁石式長途電話機
 軍用皮包電話機
 各種被覆線
 載波電話電報設備
 各種幫電設備
 無線電報電話機
 英國克利特報機
 長短途輸送電纜
 各種內外線材料
 威斯東各種電表
 國家牌收報機
 強力廣播台設備
 奧蘭引擎發電機
 各種收發真空管

▲總公司

上海

麥特赫司脫路
二三〇號

電話：三四三二五

▲分公司

香港

皇室行
二〇七號

電話：二五四三二

昆明

巡津街盤龍路
一六號

天津

法租界二十六路
中和里壹四九號

重慶

電報掛號：

各地均為
「六一一四」

內政部登記證警字第七八八號
香港政府登記證第三五八號

2586
621