

實用電話電報學原理

交通部電信總局編譯委員會譯

正中書局印行

實用電話電報學原理

交通部電信總局編譯委員會譯

正中書局印行



版權所有

翻印必究

中華民國四十六年三月臺初版
中華民國六十二年六月臺三版

實用電話電報學原理

全一冊 基本定價 四元二角
(外埠酌加運費滙費)

譯者 交通部電信總局編譯委員會

發行人 李 潔

發行印刷 正中書局

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

暫遷臺北市南昌路一段十二號

海外總經銷 集成圖書公司

(香港九龍旺角洗衣街一五三號地下)

海風書店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

內政部登記證 內版臺業字第〇六七八號(3972)西
(500)

原 序

此書自初版迄今，已有三十餘年之久，其中曾重訂多次，此次重訂之前一版，係在一九三八年付梓。編著本書之目的，為供美國電話電報公司長線部訓練班作電學原理基本教本之用。若干年來，此種目的迄無變更。

基本原理雖不因時代而時有變更，但電信技術發展非常迅速，故本書每次再版時必增改若干附圖及關於應用方面之說明，此次亦復如此。此外，由於近年來無線電技術之突飛猛晉，關於電子學及電磁輻射方面有增多材料之必要，故本版內容，在原理及應用兩方面，均增加許多以前各版所未有之材料。

本書包括之範圍頗廣，為避免全書篇幅太長，故對每一項目只能作簡略之介紹，但仍儘可能對原理及其應用範圍予以充分說明。

有一點應請讀者特別注意者，本書內容不求詳盡研討一切有關通信之設備，其目的所在，為闡明電學原理。故凡有關電信器材及線路等說明，不過藉以解釋各種原理之應用，其取材完全視便利而選擇，並不注意於實際系統之介紹。

為配合學員程度起見，本書不用高深數學，即淺易數學，亦儘可能少用。本書讀者，應具有高中程度之數學知識，包括代數，幾何，對數，三角等。本書在有關交流電路傳輸各章內，為說明上便利，採用簡單矢量記法。此項數學上概念，對讀者或許比較陌生，然而編者認為矢量法在對若干觀念之解說上，特具優點，是值得讀者略費時間加以研習者。

此外，讀者應用普通物理學和力學之智識。本書第一章即先將有關物理基本概念作一溫習。

本書所附各線路圖，表格，統計資料等，乃為輔助解釋各項原理而用者，並非正式規範。雖然各線路及數字等大體正確，然亦不免有不克完全符合實際情形之處，因為各種機械，線路及性能等，時有更變，所以惟有正式說明書，方能代表機件之確實情形，此點應請讀者特別注意。

交通部電信總局編譯委員會委員題名

以姓氏筆劃爲序

- | | | |
|----------|----------|----------------|
| 1.方 賢 齊 | 2.王 庭 樑 | 3.李 萬 |
| 4.沈 壽 梁 | 5.林 有 丁 | 6.徐 應 勛 |
| 7.高 廷 樞 | 8.康 寶 焯 | 9.張 心 治 |
| 10.張 有 德 | 11.梁 賡 平 | 12.陳 勤 |
| 13.陳 永 祥 | 14.陳 勵 研 | 15.彭 欲 義 |
| 16.楊 澄 莠 | 17.楊 樹 仁 | 18.廉 光 鏞 |
| 19.蔣 書 梁 | 20.龍 世 揚 | 21.繆 超 鳳(主任委員) |
| 22.魏 凌 雲 | | |

實用電話電報學原理

各章編譯人名單

第一章至第八章	沈壽梁；楊樹仁。
第九章至第十四章	蔣書梁；林有丁。
第十五章至第二十三章	方賢齊；魏凌雲；康寶煌；龍世揚。
第二十四章至第二十九章	繆超鳳；梁賡平。
第三十章至第三十二章	陳永祥；陳勵研。
第三十三章至第三十五章	張心治；高廷樞。
全書校閱者	楊樹仁；梁賡平；魏凌雲。

序

我國科學及工程書報之刊行尙未臻發達，而有關電信技術者，更寥若晨星。自電學東漸，數十年來，國人自行編述或選譯外文之電報電話書籍，屈指可數。而其內容，則非失之簡陋，即過於陳舊。欲求一新穎充實，足供教學或自修參考之用者，不可或得。其結果遂致大專學校之課本，不能不採用西文原著，而一般中級職業學校及英文程度較差之學子，幾有無書可讀之嘆，其影響於工程學術之進步者，至深且鉅，固不獨電信一業而已。

或以爲吾國文字，不適於科學之用，其實不然。夫一國文化之發揚，必須有其獨立之文字，我國文字導源六書，孳乳蕃衍，運用無窮，並非不適於科學工程之著述。遠稽周官考工，典雅樸茂，可謂中國古代科學紀載之鼻祖，洎乎戰國，爲我國歷史上學術最昌盛之時代，諸子百家流傳至今者如墨經等篇，雖僅一鱗半爪，而考其立名定義，極合科學邏輯，近如明宋應星所著天工開物一書，對於器物製造，圖文並列，剖析入微，已開實用技術專著之先河，皆足爲中文適用於現代理工學術之明徵。惜乎近數百年來吾國文人沉溺於詞章考據之學，致令科學落後，殊非中國文字本身之過。晚近國人之研究工程與科學者，習用外國文字，流風所屆，對於本國文字之表達能力，反日趨式微，甚致造成輕視祖國文化之錯誤觀念，實有徹底加以糾正之必要。

復次，今日中文科學工程書刊之貧乏，殆與工業落後之現象互爲因果。由於產業之不發達，技術人員在全國人民中所佔百分數甚小，致工程及科學書刊之需要有限，出版商因此類書籍之銷售不廣，無利可圖，乃相率裹足，不願投資刊行。反之，因社會上無適當可讀之中文科學工程書籍，不免阻礙一般有志國民之進修，使無法獲得最新實用之智識，而工程事業遂益陷於停滯不進之狀態。故爲今之圖，政府亟宜以全力提倡科學工程書刊之出版，逐漸養成國民閱讀中文之習慣，一旦此類書刊在國內成爲廣大民衆需要之對象，則無論出版事業，生產事業，必將蓬勃興起，從而步入工業化之康莊大道，其關係之重大有如是者。

然居今日而言工程科學書籍之出版，尤莫亟於譯譯，良以吾國科學基礎，尙未

確立，工程事業，方在萌芽，輕言著述，談何容易，爲求急起直追，迎頭趕上計，不如先取先進各國之名著，從事譯，以應需要。我國唐代翻譯佛經之盛舉，可爲前例。最初應由政府各事業機構，運用其現有之人力財力，率先倡導，迨風氣既開，需要日多，則出版商必能繼起推廣，且其時譯名詞，漸形完備，習用既久，讀者譯者，均將不感困難。則在工程事業茁長壯大之條件下，自易產生完全適合國情之工程專著，以與世界工程出版界並駕齊驅，事在人爲，決非奢望。

本局自民國四十二年舉辦升等考試以還，同人進修，蔚爲風氣，而中級員佐，苦乏中文電信技術書籍，可資參考，久思選譯適當西書，以助研習。塵務鞅掌，所願未遂，近見美國電話電報公司所出「實用電話電報學原理」一書，取材新實，敘述詳明，頗適於此項需要，乃囑本局編譯會諸同人於公餘分任譯事，全書約三十萬言，經四閱月而竣事。溯自西歷一八三八年莫爾斯氏發明電報，繼以一八七五年倍耳氏發明電話，一八九七年馬可尼氏發明無線電，先後奠定電信事業之基礎，百十餘年來，電信技術，日新月異，加以國際競爭，進步至速，從事斯業者，非日常進修，吸收新智，將無以迎合潮流，甚或被譏落伍。原書爲美國目前規模最大之電信事業機構，訓練其所屬技術員工之用，迭經修正改版，此爲其最新版本，內容切合實用，非一般教科書之空尙理論者可比。我國電信器材向多仰給於美日等國，而日本自二次大戰以後，亦多取法美國，本局技術同人，苟能熟諳本書所述各種原理，則舉一反三，觸類旁通，可供深入研究之指南，不徒爲升等考試之梯階已也。書成問序於余，輒書其平日所懷對於譯工程書籍之感想，及此書譯印之緣由，以告同人，倘編譯會諸君及本書讀者，能更進一步有所著述發明，以光大我電信事業，則尤余之所厚望焉。

中華民國四十五年三月一日

錢 其 琛

目 錄

第一章 基本物理概念.....	1
一·一 緒言 一·二 電荷 一·三 電子 一·四 電場 一·五 磁場 一·六 電磁場	
第二章 直流與直流電路.....	5
二·一 直流流動 二·二 電壓或電勢 二·三 電阻 二·四 電流 二·五 伏特 二·六 斷路 二·七 電符號及電路慣用圖 二·八 歐姆定律 二·九 表示歐姆定律之其他方法 二·十 通路之電位差 二·十一 內電阻 二·十二 電功率 二·十三 電導體之性質	
第三章 直流網路之解法.....	13
三·一 串聯電路 三·二 並聯電路 三·三 克希荷夫第一定律 三·四 電導 三·五 直流網路 三·六 克希荷夫第二定律 三·七 一個以上電源之網路	
第四章 磁體與磁路.....	20
四·一 磁性 四·二 永久磁鐵 四·三 磁路 四·四 電磁體 四·五 電流與場強之關係 四·六 磁通密度,磁場強度及導磁係數 四·七 鐵之磁性 四·八 磁化曲線 四·九 磁滯	
第五章 直流電路之測量.....	27
五·一 測量儀器 五·二 簡單電阻之測量 五·三 絕緣測量 五·四 韋氏電橋理論 五·五 簡單環路測試或普通電阻測量 五·六 范氏環路測量 五·七 茂萊氏環路測量	
第六章 直流發電機.....	41
六·一 感應電勢 六·二 旋轉環之感應電勢 六·三 直流發電機原理 六·四 供給交換所電力之直流發電機 六·五 交換所之典型電力設備 六·六 直流電動機	
第七章 其他直流電勢源.....	49
七·一 直流電源之分類 七·二 原電池組 七·三 蓄電池組 七·四 電話交換所之電力設備要件 七·五 整流器	
第八章 電感與電容.....	55
八·一 電流之分類 八·二 直電流值之變更 八·三 電感 八·四 電容 八·五 在直流電路內電感及電容之效應	
第九章 電話原理與基本裝置.....	62
九·一 聲音 九·二 簡易電話電路 九·三 電話收話器 九·四 電話發話器 九·五 電阻器,電感器及電容器 九·六 繼電器及機鍵等	

第十章 電話電路.....	73
十·一 用戶電話機 十·二 電話中央局 十·三 人工交換制 十·四 自動交換制	
十·五 長途撥號交換 十·六 電話信號	
第十一章 電報電路.....	86
十一·一 電報電路構成法 十一·二 基本電報電路 十一·三 單線幫電機 十一·四 差接雙工制	
十一·五 振動電路原理 十一·六 極化差接制及單向極化制 十一·七 金屬實線電報制	
第十二章 電報電路(續).....	97
十二·一 電傳打字機原理 十二·二 電傳打字機制之運用特性 十二·三 再生式幫電機	
十二·四 電傳打字機交換制	
第十三章 電報傳輸原理.....	106
十三·一 電報信號特性 十三·二 中和電報制之波形 十三·三 偏壓失真 十三·四 橋絡電報制之波形	
第十四章 電報傳輸原理(續).....	113
十四·一 特性失真 十四·二 意外失真 十四·三 電傳打字機之信號歪差測試 十四·四 電報傳輸測量器	
第十五章 交流電.....	121
十五·一 交流電勢源 十五·二 正弦波 十五·三 相位關係及矢量記號法 十五·四 有效電勢及電流值	
十五·五 交流電路之電功率 十五·六 歐姆定律及交流電計算方法	
十五·七 電感抗 十五·八 電容抗 十五·九 電感抗與電容抗之組合 十五·十 阻抗	
第十六章 交流電(續).....	131
十六·一 串聯網路 十六·二 並聯及串聯網路 十六·三 交流電阻 十六·四 共振	
十六·五 Q因數	
第十七章 轉續圈與變量器.....	139
十七·一 互感 十七·二 變量器理論 十七·三 變量器應用於電話電路 十七·四 幻通電路	
十七·五 標準轉續圈 十七·六 空心變量器 十七·七 岔路線圈	
第十八章 電話傳輸理論.....	149
十八·一 傳輸系統 十八·二 功率之轉移 十八·三 戴維寧定理(戴氏定理) 十八·四 等效網路	
十八·五 特性阻抗 十八·六 傳播常數	

第十九章 電話傳輸理論(續).....	158
十九·一 加感 十九·二 傳輸系統中之全損失 十九·三 同軸導體 十九·四 傳輸損失及 獲益測量之單位	
第二十章 電話傳輸理論(續).....	162
二十·一 波之傳播 二十·二 傳輸線上之反射 二十·三 電磁輻射 二十·四 無線電傳輸 二十·五 波導	
第二十一章 電路設備之特性.....	167
二十一·一 線路分類 二十一·二 明線線路 二十一·三 長途電纜 二十一·四 長途進局 電纜及中間電纜	
第二十二章 衰減，阻抗配合與等化網路.....	176
二十二·一 墊或衰減器 二十二·二 阻抗配合 二十二·三 衰減等化器 二十二·四 橋接 T 型等化器 二十二·五 延遲或相位等化器	
第二十三章 濾波器.....	185
二十三·一 濾波器必具條件 二十三·二 低通及高通濾波段 二十三·三 M 型導出濾波段 二十三·四 複合濾波器 二十三·五 帶通濾波器 二十三·六 晶體濾波器 二十三·七 斜 格網路 二十三·八 射頻濾波器 二十三·九 波導濾波器	
第二十四章 電子管.....	200
二十四·一 真空管單元 二十四·二 二電極管(兩極管) 二十四·三 三電極管(三極 管)二十四·四 電子管之動態特性 二十四·五 多電極電子管	
第二十五章 電子管(續).....	207
二十五·一 含氣管 二十五·二 光電管 二十五·三 陰極射線管 二十五·四 調速管	
第二十六章 放大器電路.....	212
二十六·一 音頻放大器 二十六·二 電阻—電容耦合放大器 二十六·三 射頻放大器 二十六·四 負回授放大器 二十六·五 陰極隨從電路 二十六·六 電功率放大器 二十六·七 電晶體放大器	
第二十七章 放大器在電話上之實際應用.....	221
二十七·一 電話增音機 二十七·二 載波放大器 二十七·三 寬頻帶及極高頻放大器	
第二十八章 整流器，檢波器，振盪器與其他電子管電路.....	228
二十八·一 電子管整流器 二十八·二 檢波器 二十八·三 鑑別器 二十八·四 振盪器	

二十八·五 整形電路

第二十九章 調變..... 238

二十九·一 載波原理 二十九·二 幅度調變 二十九·三 頻率調變 二十九·四 電搏調變

第三十章 長途電話傳輸系統—聲頻電話電路..... 250

三十·一 電話傳輸系統之程式 三十·二 增音機之間隔 三十·三 增音機之獲益及傳輸水準 三十·四 回流損失及振鳴點 三十·五 平衡網路 三十·六 傳輸調節 三十·七 回聲控制

第三十一章 載波系統..... 262

三十一·一 載波制之程式 三十一·二 載波電報制 三十一·三 C型載波電話制
三十一·四 J型載波電話制 三十一·五 K型載波電話制

第三十二章 載波系統(續)..... 278

三十二·一 L型載波制 三十二·二 載波制之電視傳輸 三十二·三 N型載波制
三十二·四 O型載波制

第三十三章 無線電系統..... 294

三十三·一 無線電系統之程式 三十三·二 無線電發射機 三十三·三 無線電收信機
三十三·四 天線 三十三·五 微波無線電中繼系統

第三十四章 雜音與串話..... 307

三十四·一 電話電路之感應作用 三十四·二 串話發生之原因 三十四·三 消滅串話之原理 三十四·四 消滅串話之實施 三十四·五 雜音 三十四·六 串話及雜音之測量單位

第三十五章 交流電測量..... 319

三十五·一 交流電表 三十五·二 陰極射線示波器 三十五·三 頻率測量 三十五·四 阻抗測量 三十五·五 傳輸測量 三十五·六 極高頻率測量

附錄 中英文名詞對照表..... 329

第一章 基本物理概念

一·一 緒言

電爲一富有適應性之媒介，幾乎可作無窮之運用。在一地點之能量，如燃煤或流水所生之能量，可藉電將其移往若干里外之另一地點，變成熱、光、或機械工作等之任何便利方式，俾可利用。電氣可被用以改變各種物質之物理上或化學上之狀態，亦可用以控制程序，檢驗品質，甚或作數學計算之用。經由電氣基本單位之電子，吾等可探討物理學與生物學之世界，並可藉以研究宇宙間所隱匿之種種祕密。

電力工程師可運用其電學知識，完成大量電能之變換及傳輸，以便供給多種不同之需要用途；至於是項電能之發出、流動、與遞送，則亦可用電而控制之。電信工程師亦係運用電學同樣之基本原理，能藉種種不同之形態，在長遠之距離，傳送消息，而不使其有失原意，此種消息之來源，可爲出自人口之聲音，亦可爲出自樂器之音樂，又可爲印刷紙頁及圖畫照片等，能在凡屬需要之任何處，以原樣重生，完全清楚認識與瞭解。

本書之主旨既係專供電話從業人員之使用，故吾等所將討論之基本原理，自然偏重在通信方面之運用。就一般而論，吾等所應注意者，大部份將爲弱小數量之電能，並將是項弱電傳送至比較長遠之距離。此將包括對於直流與交流之概念，並在研究交流現象之原理中，將包括廣大之頻率範圍，並將包括經由導線而流通之電能，及經由空間而輻射之電能均在內。

開始研究電學可有種種方法，本書係用

普通老法，先研究直流與直流電路，再研究交流學理，在最後數章特別注重電子學及高頻率之現象。

惟在未開始研究種種電路以及電能傳輸以前，吾等先應在本章簡述有關電氣物理之若干比較基本之概念。

一·二 電荷

按照最早承認有電氣現象之記錄，在數千年以前，已發現如將一塊琥珀用一毛巾磨擦之，則此琥珀即能吸引如碎紙之類之輕體。於是此琥珀得到一種特性，由此特性乃對附近之其他物質發生一種力量，此一特性即稱謂帶有電荷。以後又經發現，當玻璃用絲巾磨擦時，亦有類似之現象發生。但以後經試驗證明，玻璃上之電荷係與琥珀上之電荷有相反之徵象。爲使兩者能有區別，乃將玻璃上者標以“正電荷”，而將琥珀上者標以“負電荷”。至於兩者電荷之大小，則需視磨擦表面之大小，以及磨擦強度之大小而定。

尤有所發現者，即兩個同樣之物體，例如兩塊玻璃或兩塊琥珀，經過上述之磨擦後，則此兩同樣物體間即發生推拒之力量。換言之，即兩個正電荷體彼此相斥，而兩個負電荷體亦彼此相斥。反之，一個正電荷體與一個負電荷體間，則有吸引力量存在。此種吸引與推拒力量雖然相當輕微，但若與由於重心力而引起對於不帶電荷同類體間之吸力相較，則大出數百萬倍。

測試此項電荷之“實用”電氣單位，名爲庫侖，由於庫氏在十八世紀末葉，曾經首次測試電荷體間吸力與斥力之大小，係(1)與各電

荷之乘積成正比例，(2)與各電荷體間距離之平方成反比例。

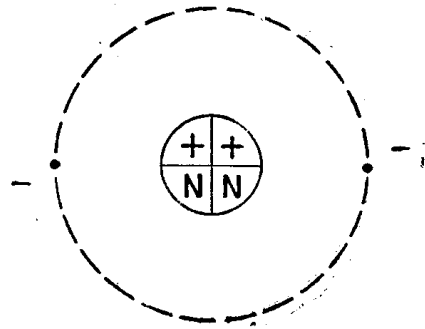
一·三 電子

電子係代表至小之電荷，正如原子係任何物質之至小化學質點然，所有電子均屬相同，各有一定之負電荷，及一定之質量，若使用各種巧妙之方法，得將單獨電子隔離，而將其各項數值作詳細之測定，結果查出電子之電荷乃為 1.6×10^{-9} 庫，其質量為 9×10^{-28} 克，或接近氫原子質量二千分之一。所有負電荷均包含此項單位電荷之整數電子。

所有實體物質之組成，均包括有電子。尚有稱為質子之質點者，其所帶之正電荷，係與電子所帶之負電荷數目相等。此外，尚有不帶電荷之質點，稱之為中子，係與質子約有同等之質量。質子與中子曾經確定，可與電子佔同樣之空間，但較電子之質量約六兩千倍。為便於認清起見，有時可將中子認為係一個質子與一個電子之結合體，而相反電荷互相抵消，故中子在電氣上自為中性。

任何化學元素之原子，均係由中子、質子、與電子所組成，由於此各質點之數目多少，以及其排列方式之不同，而決定該原子究係代表何種之化學元素，最簡單且最輕微之化學元素如氫，其原子之居中原子核，乃係包括一個單獨之質子及一個單獨之迴轉電子，在其周圍循相當軌道而繞之。較重之元素，其原子核係以定數之質子與定數之中子相組成，並有與質子同數量之電子在其周圍各循相當軌道而圍繞運行，圍繞原子核而旋轉之電子數目，即為該元素之原子序數，至於原子核中之質子與中子之總數，乃即為其原子量，於是在元素週期表內第二個最輕元素之氦，乃為兩個質子、兩個中子、與兩個電子所組

成如第 1—1 圖所示。



第 1—1 圖 氦原子

最重之天然元素為鈾，通常鈾係包括 92 質子、92 電子、與 146 中子。有若干元素，其所具之原子數或與普通式樣者稍有差別，蓋在原子核中，其所含之中子數目，可不一致，因而其原子量亦較通常之元素，稍有大小之差別。凡有是項偏差之元素，均稱之為“同位元素”，惟應注意者，即其電子數與質子數則始終不變，否則即將成為另一元素矣。

各電子係被吸向原子核者，而各電子間則又視物體之質量不同而彼此有不同之排斥力，是項力量則較吾等所熟悉之重心力甚為巨大，因此之故，各原子中之大多數電子，係永遠循相當之軌道圍繞原子核而運行，但距原子核最遠之一個或少數電子則與之關係較疏，於是可用種種方法使其對原子完全脫逸。當此現象發生於一物質中之若干原子時，其所含之電子數量，乃較正常數量為少，於是該物質即稱之為有正電荷。同時，另外一物則必為有負電荷者，或其所含之電子數量乃較正常數量為多，蓋由原物所取出之電子，必然需有其去處也。如是則正如前述，當一根玻璃棒用絲巾將其磨擦時，由於此兩種不同物質之接觸，結果乃有電子由玻璃中之原子表面脫出，而逸至絲巾中之原子表面上，玻璃棒中因電子減少，即成為有正電荷，而絲巾則因

電子加多，乃成爲有負電荷。

在所謂電氣導體之各物質中，如銀、銅、鋁、及其他金屬，其每一原子最外層電子對原子核約束力頗鬆，稍受外來之微小力量時，即能在金屬組織內實際自由活動。在如銅之良好導體中，是項自由電子之總數，異常之多，在一立方公分之銅內，即含有 8×10^{23} 個原子，亦即有同等數量之自由電子。

當一外來之電氣推動力量施於如此之一金屬導體時，是項自由電子乃即在導體內魚貫而移動，此即代表導體內之電氣流動。至於是項流動率，或單位時間內移動之電子數目，亦即在單位時間內某一指定點其所通過之電量，稱爲電流。例如電流實用單位之安培，即代表在一導體中某一指定點所通過一庫侖之電量，或每秒 6.24×10^{18} 之電子數。

在此傳導方法中，需要注意者即任何單獨電子之移動，均係毫不一致者。一個單獨電子每經極輕微之妄動，即可將其本身約束至一個原子，於是乃釋放另一電子前移一步，是項移動亦係雜亂無章而進行者。雖然各單獨電子之移動並無規律，但導體中所含之電子總數則係極端衆多，故沿導體電荷之實際移動，仍能呈現一致進行之狀態。

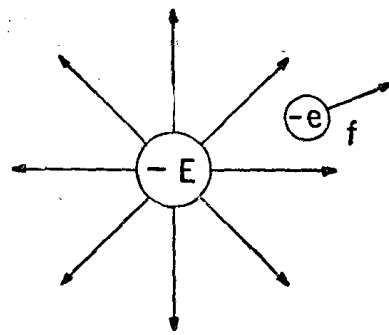
在所謂絕緣體之各物質中，其外層電子係對原子有較強之約束，自由電子較少，因而在該項物質中，不易使電流流通。

一·四 電場

由試驗室中證明，如空間某點有電荷時，在距該點較遠之各點能將其查出。此即表示該電荷能發生力量，影響其周圍空間。爲說明此點，依照常例，係稱之爲圍繞電荷可有一電場，且凡有一電荷均有一電場，是可認爲係電荷本身之主要作用。在任何一點，此電場力量

之強弱，係與電荷強度成正比，而與距電荷點之平方距離成反比。

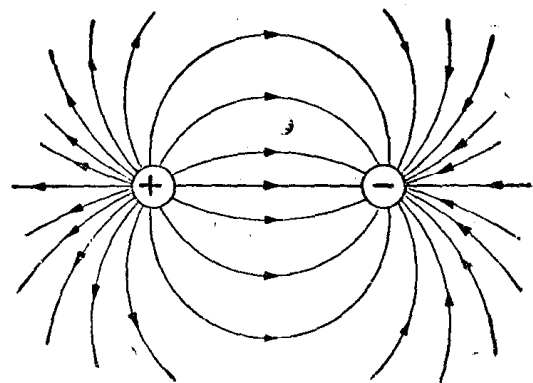
在任何指定點之電場強弱，稱之爲電場強度，係用有大小且有方向之電強矢量衡量之，如第 1-2 圖。今如有一小負電荷 e 令其近一固定之大負電荷 E 時，則發現小負電荷係被固定電荷所拒斥，此斥力可以用矢量 f 之長度代表之，其被斥方向可用箭頭而示出。



第 1-2 圖 電場

一個單獨電子或一個單獨正電荷，其電場強度自屬微弱，可至幾乎無從測驗之程度。但如前述，電荷係易發展至極大之數量者，因而其電場強度自亦能對其附近發生強大之力量也。

任何相當小之試驗用電荷，當被引入一電場時，此電荷如屬自由電荷，則必被發生電場之固定電荷而引進或斥退，此則視受驗電



第 1-3 圖 不同電荷間之電場

荷之相關極性而定。試驗電荷之移動路線當由每一瞬間外施力之方向而決定，此路線常被稱為電力線，或稱感應線。電場之形狀，或電場內之電氣力量，可用不同電荷間之此項力線羣而表示之，如第1—3圖。

經過電場任何小面積之力線數量與方向，即表明在該面積中之電場強度。由一電荷來源所發出之總力線數，即可認為係試驗電荷強度之衡量。電力線可無需認為係有實體之存在，但保持是項力線之概念，則屬甚為便利，故電力線或感應線，一般係用以作測驗之基本單位。於是在電場任何點之強度，可謂為每平方公分之力線數，其每條線均係伸延於相反符號之單位電荷間者。

一·五 磁場

在電學中之古典理論中，磁場之概念，亦係具有長久之歷史者。磁場係代表在磁鐵附近之力量，其情形將於第四章中詳加討論之。磁場亦若電場然，其在任何點之大小，係與有關磁極之強度成正比，而與距磁極之平方距離成反比。此磁場亦同樣用磁力線或磁感線而表明之。至其強度則用每平方公分之磁力線數而測定之，惟與電場所不同之點，即磁力線係非認為有所終止，而係永遠成迴環者。

磁場不僅存在於任何磁鐵及其周圍空間，而如在第四章中將指出，磁場更可在任何有電流導線之周圍而發生。此種現象，故需要引入一種新觀念，蓋由一磁鐵所生之靜磁場，與由一與磁鐵或與任何磁性物質毫無關聯而帶有電流之導線所生之磁場，兩者外似不同，而卻又其有同樣之特性也。

電學之近代學理可以解決是項問題，即認為磁場者乃為移動電場之結果或其附帶現象。於是在一導線中之電流，乃係多數電子之移動，亦即多數微小電荷之移動。此各電荷有其伴同之電場，當各電子移動時，此各電場當然亦必須移動。將此理論推而廣之，一磁性體之磁場則係由於在磁性物質中各電子之迴旋移動而產生。就此觀點而論，則甚至可將磁場認為僅係移動電場之一方面。雖然如此，但磁場與磁力線關係之舊有觀念，在若干電氣現象之實際分析中，仍屬極為有用，不需將其廢棄也。

一·六 電磁場

照上述之磁場觀念而言，不論其為電場或磁場，均係在靜止狀態下而單獨存在，在動態情況下，不論電場或磁場，若均係正在變動或移動時，則全場必須具有電磁性。換言之，即一個電場與一個磁場必須同時存在。此種事實之演變，結果乃使移動電場永遠有一磁場相伴，反之亦然。在處理動電現象中，有若干情形應假定僅有一個單獨之電磁複合場，即標之以電磁場，自屬合理。若認為動電現象係電場與磁場共存者，並認為其各力線係永遠彼此成直角者，是項假定顯有裨益。

在以下數章研討直流與直流電路時，吾等可僅注意及靜態之磁場，而可忽略其他，但至研究高頻率交流以及各種電子器具之動作時，吾等即將發現動電場與動磁場逐漸增加其重要性，尤以在有關無線電發射，及在高頻與超高頻等其他發射中為然也。

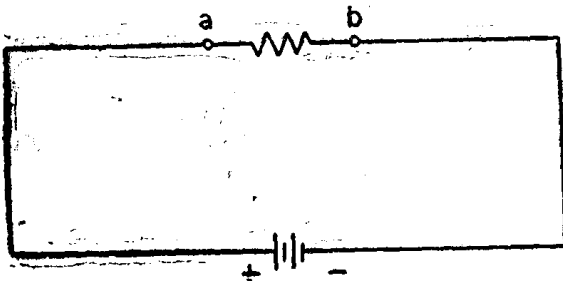
第二章 直流與直流電路

二... 直流流動

在上章關於電子之討論中，曾經指出多數電子經一導線而川流不息移動，是即為一電流。電子流動繼續不斷向一個方向進行者，稱為“直流”。按照多年之習慣，在實際開始研究電學時，應先分析此種直流之作用，其主要原因係以直流作用所包括之現象，乃屬比較容易處理。吾等即擬依照此種舊有之研讀程序，以作本書之開始，惟在後章將詳述按照週期改變電流方向之作用。此後者即稱為交流。

二·二 電壓或電勢

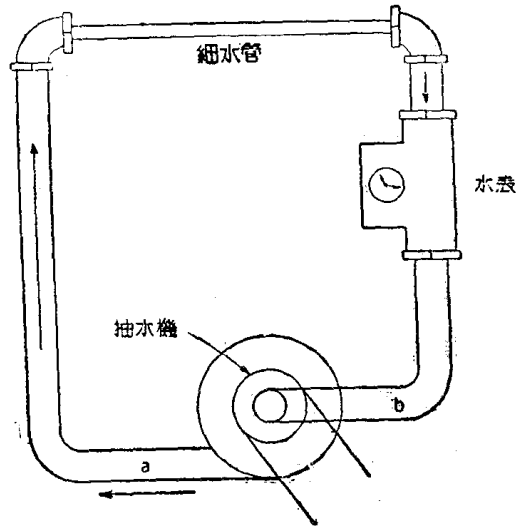
如欲電流通過一導線，在電路中需接一電源，成立所謂電勢。當此種情形達成時，則經過電路之電子流動，在若干方面，頗類似自來水管中水流之流動。第2—1圖係一簡單電路，其中包括電池接連有一個 $a b$ 電阻。



第2—1圖 簡單電路

第2—2圖示一簡單水流系統。在流水之機械設備中，抽水機使 a 與 b 點之間能發生水壓差。此壓差或稱“水壓差”，能使水由出水管 a 流出，經過細水管而至水表，再返回抽水機低壓 b 端。

水管中之流水量，需視水壓差以及細水管之情形而定。在電路中，電池可供給電壓或電勢，使電流由電池之“高電位”流出。電路中之

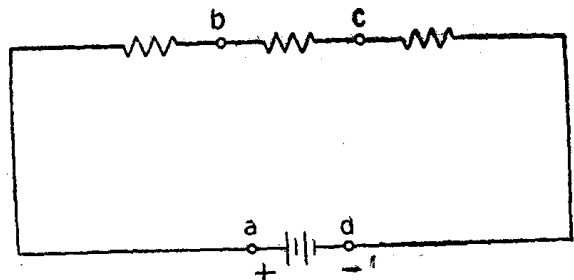


第2—2圖 與簡單電路相仿之水流系統

電流量，即依此電勢以及電阻器之性質而定。

如在水流系統中 a 與 b 點之間，接入一個壓差水表，即可記錄水壓差，能用適當之單位如“水壓差呎數”而代表之。在電路中電勢之單位稱為伏特。

按照定義，電勢源可發生電壓於任何外接之電路上，故通常認為正端之“電位”係較負端者為高。電位差即為電池或其他電源之電動力或電勢。



第2—3圖

在一個如第2—3圖之接通電路中， b 點之電位較 a 點為低， c 點較 b 點為低，餘類推。於是吾等乃稱由 a 至 b 有一“電位降”，用