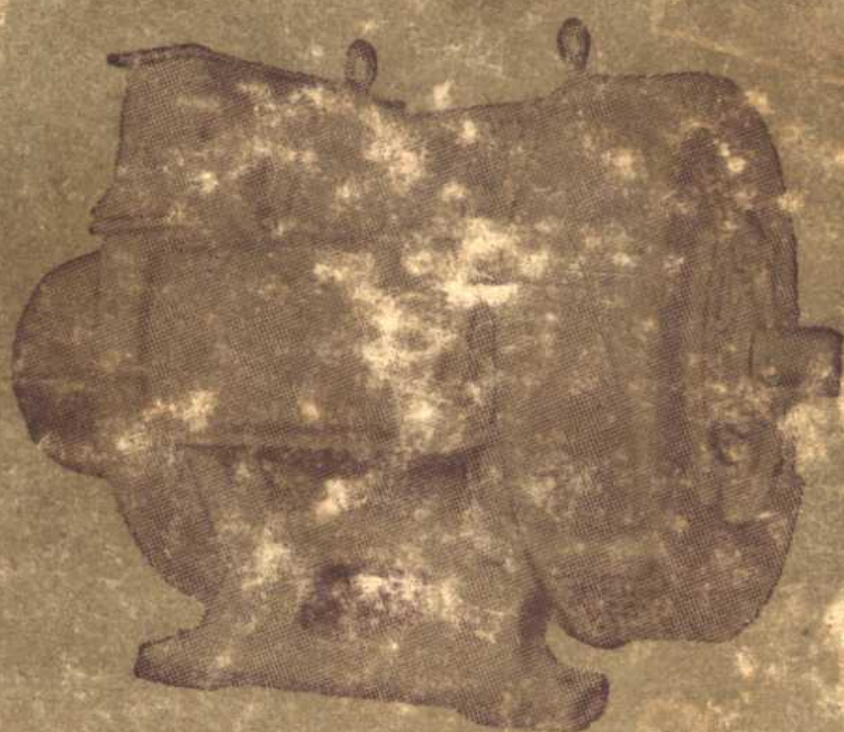


实用电工手册

朱建業 朱建德 編著



科学技術出版社

实用电工手册

朱建業 朱建德編著

科学技術出版社

內 容 提 要

本手册是在原有版本的基礎上，根据几年來許多讀者所提出的批評意見和建議重新改編而成。

本手册內容現分：电工学的基本理論；常用电工材料；各种主要电气器械；發電、輸配电和安全、節約用电；有关电工的參考資料等五編廿六章。全書文字有二十万字，約占全書五分之二；參考資料占五分之三。

本手册取材仍以淺近、扼要、实用为原則，沒有高深理論，所以适合于电工專業或非專業的中、初級技術人員作为學習參考材料。

实 用 电 工 手 册

編著者 朱建業 朱建德

圖表繪制者 王 漢 楨

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海建國西路 336 弄 1 号)

上海市書刊出版業營業許可証出○七九号

興華橡皮印刷廠印刷 新華書店上海發行所总經售

*

統一書号：15119·380

开本 787×1092 耗 1/60·印張 11 1/2·字數 500,000

一九五六年十月第一版

一九五六年十月第一次印刷·印數 1—32,000

定价：(10) 二元五角

新編本 前 言

本手冊是在原有版本的基礎上，根據幾年來許多讀者所提出的批評意見和建議重新改編而成。

本手冊的原版本是在1951年初版的，由於內容包羅較廣、選材淺顯實用，並承各有關單位的協助，因此，出版後受到廣大讀者的熱烈歡迎。但是出版後，我們的工作並不因此而鬆懈，除了逐版的更正個別排版上的錯誤和修訂部分內容外，還是覺得有不够完善的地方，主觀上總是存在着想進一步搞好這本手冊的願望。爲了使內容更完善、更正確並更好地適應廣大讀者的需要起見，我們曾在第四版廣泛地徵求了讀者的批評和意見，以作爲修訂時的參考。當這個徵求意見的啓事刊出後，我們收到了許多來自全國各地的讀者來信，其中包括了初級、中級的技工弟兄；亦有電工專家和教授；亦有個別的技術團體和企業單位……他們都很熱忱地而具體地提示了各種不同的寶貴意見和建議。從這一點看，就說明了廣大讀者對本手冊如何的熱切關懷和需要了。因而亦就大大地加強了我們從速進行修訂工作的決心。

本手冊在修訂前，曾根據許多讀者的來信做了一次統計工作，並且還向部分有關技工弟兄作了幾次聯系與訪問，再從這兩批材料中得出初步總結；這些總結歸納起來，最主要的有下面幾點：原版本的內容不够系統性；對主要的電機與電器介紹不够；內容及參考資料缺少文字說明，以致對初學或初級同志難予領會應用；部分資料的參考面較狹；原有電機、電器的實物構造圖片對疏於聯系實際工作的初級同志有很大幫助，但缺少結構方面的圖片和圖解；個別讀者還希望對個別問題另作專題介紹；另外是關於印刷、製版等等的意見。這些意見我們亦都分別作了細緻的分類工作。由於這許多問題都需要加以很好的解決，因此修訂工作，就不可能僅僅停留在以原版本作爲個別的刪節和補充

的方式所能了事，而必須以重砌爐灶的徹底方式予以新編，始能完成這項艱巨的任務。於是我們就決定依原有版本的基礎，根據讀者所指示的許多寶貴意見重新擬定了內容大綱和章節來着手進行。但是時間是太快了，我們原定第八版即以新編本貢獻給關懷我們的讀者，然而，幾年來由於國家建設的飛速進步和客觀形勢的不斷發展，不得不使我們的改編工作一再的延遲下來，以期儘可能地不使內容遠遠的落在客觀形勢的後面。這種一再延遲的情況，亦足以表示我們對讀者認真負責的應有態度。

本手冊的內容編制，現分為五編廿六章：以電工學的基本理論為第一編；常用電工材料的性能、用途為第二編；各種主要電氣器械的構造原理、運用性能和維護修理法為第三編；從發電、輸配電到安全、節約用電為第四編；最後第五編是有關電工方面和一般實用的參考資料。全書現有近二十萬文字作了淺近、扼要而有系統的說明，並將有關的參考數據和插圖均集中在每一章節內，這樣就可便於查閱；這些參考資料的絕大部分，亦都是重新選擇的，而且還包括了部分蘇聯先進資料；另外在正文中還補充了若干公式的計算例題，俾能易于領會運用，這些例題亦僅以三角、代數為限，雖然這對數學水平有限的同志是存在一些困難，但是部分問題仍可從參考資料中獲得解決。

本手冊經過二年多業餘時間的緊張工作，現在總算與讀者見面了，幾年來承勞全國各地讀者關懷和支援，我們深表感謝！但是，由於我們能力膚淺、見識有限，兼因缺乏寫作經驗，所以對這次改編工作，毫無疑義還是做得很不够的，而錯誤疏漏一定極多，因此，我們再次懇切的要求技工弟兄們和先進專家們，希望仍本以往關懷我們的熱忱繼續的給予批評、指正，以使我们獲得進一步的改進。

編者謹識 一九五六年二月

新編本 編 例

(1) 本手冊內容，主要以電機工程中的電力部分為主，不包括電信部分。

(2) 本手冊所用專門名詞，絕大部分是參照中國科學院編譯局所編訂的有關名詞編寫，但部分名詞還附以通稱的術語以資對照。

(3) 本手冊所用各種符號，爲了適應原有基礎，所以不採用俄文。

(4) 本手冊採用的單位以公制爲標準，爲了適應目前情況，所以亦附以英制以便換算。公制單位中的長度公里、公尺、公分和公厘，本手冊一律採用千米、米、厘米和毫米；重量公噸、公斤和公分，本手冊一律採用千鈺、鈺(或仟克)和克以資識別。

(5) 本手冊引舉例題的目的，僅期望能重點說明某種情況和部分公式的運用方法，其中個別的舉例容有不盡適當之處，希望讀者不要誤解。

(6) 本手冊原有版本的有關電工法令、規章和部分製造標準，以及中英名詞對照等資料，因屬有關部門出版，所以予以刪略。

(7) 本手冊所選部分參考資料，僅供一般參考，如與國家頒定新標準有出入時，應依新規定爲標準。

目 錄

第一編 電工理論基礎

第一章 電工基本原理	1
1-1 電的概念	1
電的發現(1) 電子學說(1) 電子的類別(1) 電荷和帶電體(2) 靜電和電流(2) 電能(3)	
1-2 電壓、電流和電阻	3
電壓(3) 電流(4) 電阻(4) 電導(5) 電阻的計算(6) 電阻的聯接(7)	
1-3 電路	8
電路的概念(8) 歐姆定律(8) 電路中的電壓降落(8) 電源電勢與端電壓(9) 克希荷夫定律(9) 電路的聯接(10)	
1-4 磁、電磁和電磁感應	11
磁與磁通(11) 磁場與磁阻(12) 磁鐵(13) 電磁(14) 電動作用與左手定則(16) 電磁感應和右手定則(17) 楞次定律(18) 互感應和自感應(18)	
1-5 電感和電容	19
電感(19) 電容(20) 電容的聯接(20)	
1-6 交變電流	21
交變電流的概念(21) 頻率與磁極的關係(21) 交流的有效值(23) 電角、相角差或相位差(24) 交流電路中的電壓和電流(25) 三相交變電流(32) 三相交流的聯接和電壓、電流的關係(34) 三相交流的特性(36)	
1-7 電流的效應	36
電流的熱效應(36) 楞次焦耳定律(37) 電流的磁效應(37) 電流的機械效應(38) 電流的化學效應(38) 法拉第電解定律(39)	
1-8 電流的功、功率和功率因數	40
功、功率和能(40) 電功率和電能(41) 交流電功率和功率因數(42) 功率的損失(46) 功率因數的改進(47) 三相電功率和三相功率損失(47)	

第二章 電工名詞、定律、單位與符號	50
2-1 電工基本名詞的定義簡釋	50
2-2 電工基本定律的定義釋要	56
2-3 電工的量度單位	57
2-4 電工常用名詞和單位的符號	61
第三章 電工基本計算公式和參考數據	65
3-1 基本電學公式	65
3-2 基本電磁公式	66
3-3 基本電路公式	67
3-4 電流的功、功率、功率因數和電機效率公式	68
3-5 電流的效應公式	70
第二編 電工材料	
第四章 絕緣材料	80
4-1 絕緣材料的概念	80
4-2 絕緣材料的分類	80
4-3 無機絕緣材料	80
4-4 有機絕緣材料	82
4-5 混合絕緣材料	84
第五章 導電材料	90
5-1 導電材料的概念	90
5-2 金屬導電材料	90
5-3 碳石墨導電材料	90
5-4 保護性導電材料	91
5-5 耐磨性導電材料	92
5-6 鉚接用導電材料	93
5-7 恆強度導電材料	93
第六章 電阻材料	101
6-1 電阻材料的概念	101
6-2 電熱用電阻材料	101
6-3 調節電流用電阻材料	102

6-4 儀器用電阻材料·····	103
第七章 各種電線 ·····	113
7-1 電線的概念·····	113
7-2 電線的種類·····	113
7-3 電線的線規·····	118
7-4 電線的計算·····	118
7-5 電線的製造、試驗和選擇·····	121
第八章 磁性材料 ·····	163
8-1 磁性材料的概念·····	163
8-2 一般磁性材料·····	163
8-3 電機用磁性材料·····	164
8-4 電器用磁性材料·····	164
8-5 磁性材料的磁滯和渦流損失的計算·····	165
第九章 其他材料 ·····	170
9-1 其他材料的分類·····	170
9-2 有關電工的附屬材料·····	170
9-3 金屬材料·····	173
9-4 一般材料·····	173

第三編 電氣器械

第十章 電氣器械的概念 ·····	195
10-1 電能的利用與電氣化·····	195
10-2 電氣器械與電氣技術發展的奠基者·····	195
10-3 電氣器械的分類·····	199
第十一章 變壓器 ·····	204
11-1 變壓器的概念·····	204
11-2 變壓器的工作原理·····	204
11-3 變壓器的構造·····	207
11-4 單相、三相變壓器·····	207
11-5 自耦變壓器·····	209
11-6 儀用互感器·····	211

11-7 變壓器的運用	213
11-8 變壓器的維護和修理	216
第十二章 電動機	245
12-1 電動機的概念	245
12-2 直流電動機的構造、原理、性能與種類	246
12-3 交流電動機的構造、原理、性能與種類	249
12-4 電動機的運用控制	257
12-5 電動機的製造	261
12-6 電動機的安裝與維護	264
12-7 電動機的修理與檢驗	266
12-8 電動機的選擇與應用	273
第十三章 發電機	345
13-1 發電機的概念	345
13-2 直流發電機的構造、原理、性能與種類	346
13-3 交流發電機的構造、原理、性能與種類	350
13-4 發電機的運用控制	352
13-5 發電機的應用與檢修	356
第十四章 控制、保安器	375
14-1 控制、保安器的概念	375
14-2 純控制性電器	375
14-3 控制性兼保護性電器	377
14-4 純保護性電器	379
第十五章 電容器和整流器	393
15-1 電容器的概念	393
15-2 電容器的種類和構造	393
15-3 電容器的性能	394
15-4 電容器的應用與選擇	394
15-5 整流器的概念	396
15-6 固體整流器的構造與性能	397
15-7 電解整流器的構造與性能	398

15-8 汞弧整流器的構造與性能	398
15-9 整流器的應用	400
第十六章 電的測量儀器	413
16-1 電測量儀器的概念	413
16-2 常用電測量儀器的構造、原理	413
16-3 各種電測量儀器的量測方法	415
16-4 電測量儀器的安裝、保養與檢驗	423
第十七章 電照明	447
17-1 照明的概念	447
17-2 照明的名詞、單位與符號	448
17-3 照明的定律與基本計算	450
17-4 電照明的種類	451
17-5 白熾燈	452
17-6 弧光燈	454
17-7 氬燈	456
17-8 螢光燈	457
17-9 電照明的附屬設備	459
17-10 電照明的裝置、設計與計算	461
17-11 電照明的保養與修理	466
第十八章 電熱器	514
18-1 熱與電熱的概念	514
18-2 電熱器的種類和應用	515
18-3 電熱的計算	516
第十九章 蓄電器	535
19-1 蓄電器的概念	535
19-2 原電池	535
19-3 蓄電池	537
19-4 蓄電池的充電、保養與修理	538

第四編 發電、輸配電和用電

第廿章 發電站、變電所和配電間	546
------------------------------	------------

20-1 發電站	546
20-2 變電所和配電間	549
20-3 發電、變電和配電安全操作的要求	549
第廿一章 高低壓輸電網	560
21-1 輸電網的概念	560
21-2 輸電網的佈設和安裝	560
21-3 輸電網導線的選擇	562
21-4 架空輸電網安全操作的要求	563
第廿二章 安全用電與節約用電	586
22-1 安全用電和節約用電的意義	586
22-2 怎樣安全用電	586
22-3 怎樣節約用電	588
22-4 怎樣急救觸電	591
第五編 有關電工的參考資料	
第廿三章 我國在電氣化方面的建設計劃	595
23-1 第一個五年計劃中對電氣化的規劃	595
23-2 蘇聯的今天是我們的明天	595
第廿四章 基本數學參考資料	599
第廿五章 基本理化參考資料	640
第廿六章 一般應用參考數據	649

第一章 電工基本原理

1-1 電的概念

電的發現 遠在 2500 年以前，希臘人已從琥珀摩擦呢布、皮毛等發現能吸引紙屑等輕微物體的帶電現象，這種能吸引紙屑的力就叫電力。因此，有一些兩種不同物質，如玻璃、硬橡膠和皮毛、羊毛等經摩擦後就能產生電。

電子學說 近代科學證明：自然界中的一切物質，都由極小的微粒—原子構成。原子又由質子和中子構成的原子核；以及環繞它周圍的各個軌道以高速而不斷旋轉的若干電子組成。好像行星環繞太陽的

旋轉一樣（見圖 1-1）。質子帶正電荷（以+符號表示），電子帶負電荷（以-符號表示）。質子的

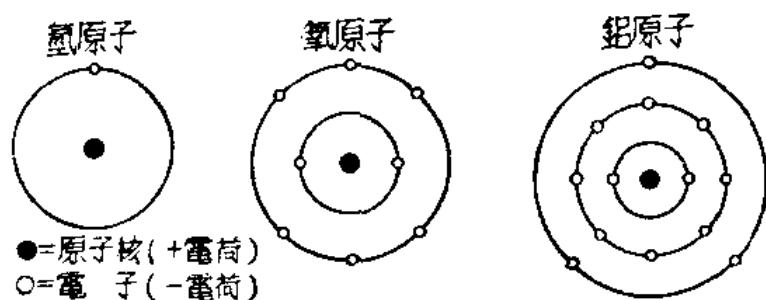


圖 1-1 氫原子、氧原子與鋁原子的構造簡圖

質量比電子重約 2000 倍。不同的化學元素的原子，具有不同的重量（原子量）；不同的元素原子的電子數目，適等於元素週期系中的原子序數。如第 29 種銅元素的原子，即具有 29 單位正電荷的質子和 29 個帶負電荷的電子。任何物質（體）在平常狀態下，其質子的正電荷數值，總和電子帶負電荷的數值相等，所以呈不帶電荷的中和（中性）狀態。上面這種論點，就是電子學說。

電子的類別 電子分自由電子和穩定（束縛）電子。這二種電子是指環繞在原子核最外層的外電子而言。外電子由於摩擦等原因，容易被迫脫離自己的軌道，而向另一個一定方向運動的電子稱為自由電子；不容易被迫脫離自己的軌道，而仍能牢固地

保持在原來的原子核周圍的電子稱為穩定電子。金屬等導體的原子具有自由電子；不善導電的絕緣體的原子具有穩定電子。

電荷和帶電體 如經摩擦或其他原因而失去一部分電子的物體就呈正電荷；相反的獲得電子的物體就呈負電荷。同性電荷的物體相互排斥；異性電荷的物體相互吸引。帶電荷物體的周圍空間稱為電場，

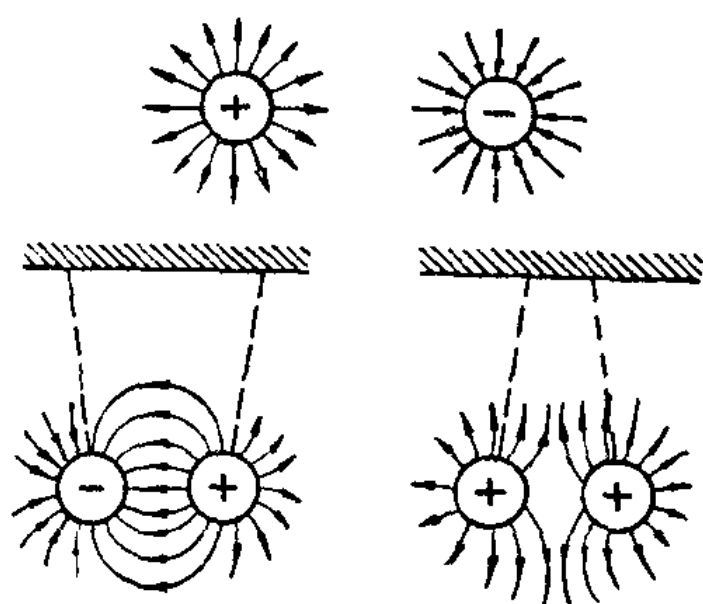


圖 1-2 正負電荷的相互作用

其顯電力作用的跡線稱為電力線(見圖1-2)。兩電荷物體間的斥力和吸力，與二者電量的乘積成正比；與二者距離的平方成反比。其作用力的大小，稱為電場強度。

呈電荷的物體簡稱帶電體，其電荷只分佈在表面。有規則的球狀物體的電荷是均勻地分佈；不規則形狀的物體的電荷大部分集中在尖角或突出的地方。環繞帶電體或導體周圍的媒介物質(如空氣、油等絕緣物)稱為介質。各介質的電容與空氣作為介質時電容的比值，稱為介電常數。真空的介電特性常數為1，空氣為1.0006，油為2.0-2.4。

一個帶電體靠近另一個不帶電的物體，能使不帶電物體也呈帶電現象，這種現象稱為靜電感應。靠近帶電體的一邊呈異性電荷；另一邊呈同性電荷(見圖1-3)。

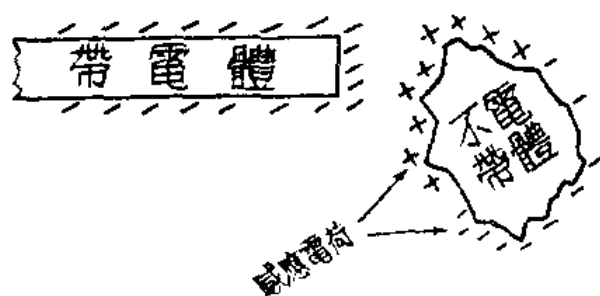


圖 1-3 靜電感應的現象

靜電和電流 不移動的電子稱為靜電，因摩擦而產生的電荷，是屬於靜電；運動的電子稱為電子流，也簡稱電流。電流總是從電子多的一邊流向少的一

邊；電勢高的一邊流向低的一邊。實際上電子流動的方向是從負端至正端，但習慣上電流的方向認為從正端至負端（指直流電而言）。要使電子發生移動或長期的流動，必需使二帶電體或電源二端發生電動勢或保持電位差。

電流分直流與交流二種：不變換方向和強度的電流稱為直流電（以 DC 表示）；方向、強度作週期性變化的電流稱為交變電流，簡稱交流電（以 AC 表示）。直流電又分穩定直流與脈動直流二種：穩定直流就是上面說的一種；脈動直流是方向一定而強度變更的電流（見圖 1-4）。交流電又分單相交流和多相交流，多相交流中常用的為三相交流電（詳 1-6 節）。交流電可用整流器、真空管或變流機變為直流電；直流電也可藉機械先變為脈動直流後，再經感應線圈變為交流電，或用電動發電機變為交流電。

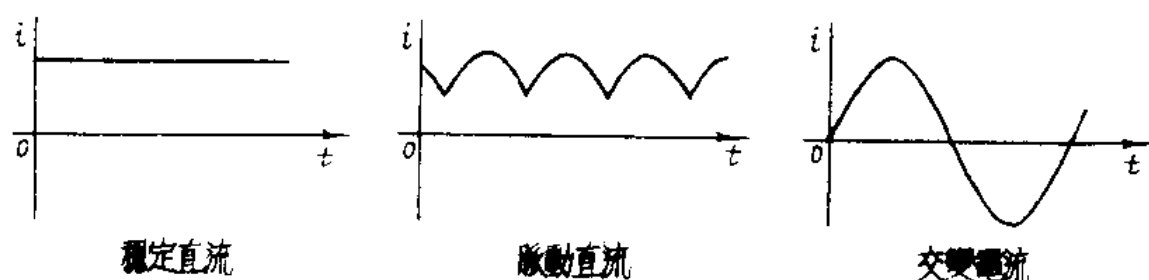


圖 1-4 穩定直流、脈動直流和交變電流

電能 電也是能的一種，電能的獲得可以用化學能、熱能、光能、磁能和機械能或原子能等轉變過來。而電能也可轉變為其他能。近代產生實用電能的器具有乾電池、蓄電池和發電機等。乾電池、蓄電池和直流發電機產生的電流是直流電；交流電由交流發電機產生。

1-2 電壓、電流和電阻

電壓 帶電體的電荷數量稱為電量（以 q 表示），其單位為庫侖（以 C 表示）。使電荷從帶電體向另一帶電體移動，或使電流在電源二端間流動，必需具有電動勢或電位差（又稱電勢差）。

電位差和水位差一樣，二帶電體或電源二端間的電位差等於零時，電荷或電流就停止移動或停止流動，因此，電動勢的勢能越大或電位差越大時，流動的電量亦就越多。電動勢和電位差也統稱為電壓（以 e 或 E 表示），但明確一點的說：電動勢（ e ）是指電源內部電子流動的勢能；電位差或電壓（ E ）是指電路中任意二點而言，二點間的電壓，即等於該二點的電位差。

電壓的單位為伏特（以 V 表示），簡稱伏。1000 伏稱為仟伏（ KV ）；0.001 伏稱為毫伏（ mV ）。實用電壓分低壓、高壓二類。低壓最低為 $1.5V$ ，一般的有 $6V$ 、 $12V$ 、 $36V$ 、 $110V$ 和 $220V$ ；高壓的有 $380V$ 、 $550V$ 、 $3300V$ 、 $6600V$ （蘇聯標準為 $3000V$ 、 $6000V$ ）等以至 220 仟伏。目前世界上最高的電壓為蘇聯的古比雪夫水電站與莫斯科間的輸電電壓高至 400 仟伏。

電流 沿着導電體移動的電子羣稱為電流，實用上電流從乾電池、蓄電池和發電機等取得。在一秒間流過導體橫斷面的電量稱為電流強度，亦簡稱電流（以 I 表示）。其單位為安培，簡稱安（以 A 表示）。0.001 安稱為毫安或千分安（ mA ），百萬分之一安稱為微安，又稱為千分毫安（ μA ）。

電流強度與電壓的高低成正比，即當導體的電阻不變時電壓越高，流過導體的電量亦越多。流經導體單位截面積中的電流強度稱為電流密度。電流密度通常以每平方毫米安數或每平方吋安數為單位（如 A/mm^2 ， A/in^2 ）。

電阻 導體受到外電力的影響，使導體原子的外電子有被迫脫離原有軌道而運動的趨勢，但原子核有產生與外電力作用相反以阻止外電子離開或流動的阻力，這種阻力稱為電阻（以 R 表示）。導體的電阻大小，與導體的材料、長度和截面積、溫度有關。一般金屬導體的電阻與長度成正比；與截面積成反比；在溫度 $0-100^{\circ}C$ 範圍內，電阻的相對增量與溫度的變動成正比（少數銅合金除外）；在溫度 $0-100^{\circ}C$ 範圍內，液態導體和碳導體的

電阻相對減量與溫度的變動成正比。

電阻的實用單位為歐姆，簡稱歐(以 Ω 表示)。1000 歐姆稱為仟歐 ($K\Omega$)，百萬歐姆稱為兆歐 ($M\Omega$)，百萬分之一歐姆稱為微歐 ($\mu\Omega$)。

各種導體在長一米 (公尺)，截面積一平方毫米 (平方公厘) 時所具有的電阻值，稱為各該導體的電阻係數 (以 ρ 表示)。幾種導體的電阻係數

見表 1-1。根據導體的長度、截面積和電阻係數，可以計算導體的電阻。

已知一般金屬導體的電阻，均隨

表 1-1 幾種導體的電阻係數 (20°C 歐毫米²/米)

導 體 材 料	電阻係數	導 體 材 料	電阻係數
銀	0.016	銅鎳鋅合金	0.42
銅	0.0175	錳 銅	0.43
鋁	0.03	康 銅	0.5
鎢	0.05	銀	0.6
鐵	0.13	汞	0.94
鉛	0.2	鎳鉻錳合金	1.1

溫度上昇而增加，但少數銅合金如康銅、錳銅等幾乎不受溫度影響；液態導體 (酸鹼溶液) 和碳導體的電阻，却隨溫度上昇而減低。導體的溫度每昇 1°C 所變化 (增加或減少) 的電阻，與原來電阻的比值，稱為電阻溫度係數 (以 α 表示)。幾種導體的電阻溫度係數如表 1-2。

表 1-2 幾種導體的電阻溫度係數 (0-100°C, 1/°C)
(合金係數由成分決定，表列係概值)

導體材料	電阻溫度係數	導體材料	電阻溫度係數	導體材料	電阻溫度係數
鐵	0.0050	鋅	0.0037	銅鎳鋅合金	0.00004
鎢	0.0045	銀	0.0036	鎳 鉻 合 金	0.00003
銅	0.00393	鉑	0.003	錳 銅	0.00001
鋁	0.0039	汞	0.00089	康 銅	近於 0
鉛	0.0039	銅鋅合金	0.0015	碳	-0.0005

電導 導體除了具有電阻的性能外，還具有傳導電流的能力，這種能力稱為電導 (以 G 表示)。電導的實用單位是西門子，簡稱西 (以 Y 表示)。電導與電阻相反，導體的電阻越大則電導越