

# 電 工 原 理

第 一 部

(電路·磁路·電磁關係)

張 鍾 俊 編

(修訂本)

龍門聯合書局出版

# 目 錄

## 第一章 緒 論

	頁數
1-1 能.....	1
1-2 能源.....	2
1-3 能的使用.....	3
1-4 原子論.....	4
1-5 導體及絕緣體.....	5
1-6 電流.....	6
1-7 電位差.....	8
1-8 電勢.....	11
1-9 電阻.....	14
1-10 非直線性電阻.....	16
1-11 單位制.....	17
第一章 總習題.....	19

## 第二章 克希荷夫定則

2-1 第一定則.....	21
2-2 第二定則.....	22
2-3 計算電路問題步驟.....	25
2-4 電路計算例題.....	26
2-5 網孔電流法.....	31
2-6 節點電位法.....	34
2-7 安培計及伏特計.....	36
2-8 歐姆計.....	39
2-9 電位計.....	42
2-10 惠斯登電橋.....	43
第二章 總習題.....	45

## 第三章 電功率及電能

3-1 功率方程	49
3-2 能的方程	50
3-3 電阻器中變換的功率	51
3-4 電勢中變換的功率	52
3-5 電功率及電能的測定	56
3-6 傳輸效率;電位調整率	57
3-7 輸電制	59
第三章 總習題	61

## 第四章 直流網絡

4-1 重疊定理	64
4-2 等值電路	65
4-3 串聯及並聯電阻	66
4-4 $\Delta$ 及 Y 型網絡	68
4-5 無源網絡	72
4-6 互易定理	74
4-7 戴維南定理	75
4-8 最大功率輸出定理	79
4-9 惠斯登電橋網絡分析	80
第四章 總習題	85

## 第五章 電阻計算

5-1 電阻係數及電導係數	87
5-2 電阻溫度係數	89
5-3 電阻溫度曲線	91
5-4 金屬導線	94
5-5 線規	96
5-6 絕緣體電阻	93
5-7 不規則形狀導體的電阻	101
第五章 總習題	103

## 第六章 磁 路

6-1 電磁關係	106
6-2 磁通	107
6-3 磁路	108
6-4 磁阻	109
6-5 B-H曲線	112
6-6 串聯磁路	114
6-7 探試法；圖解法	116
6-8 混聯磁路	120
6-9 漏磁	122
第六章 總習題	126

## 第七章 電磁感應

7-1 感應電勢	130
7-2 磁通測定	134
7-3 自感	136
7-4 磁能	138
7-5 互感	141
7-6 串聯電感	144
7-7 渦流	145
7-8 Blv 定期	150
7-9 旋轉發電機	154
第七章 總習題	157

## 第八章 鐵 磁

8-1 鐵磁性學說	159
8-2 磁滯	161
8-3 磁導係數	166
8-4 磁滯損失	173
8-5 鐵心損失	175
8-6 永久磁鐵	177
8-7 磁拉力	181
第八章 總習題	183

## 第九章 電磁力

9-1 Bli 定則	186
9-2 作用於線圈的轉矩	188
9-3 直流電計	189
9-4 衝擊電流計	198
9-5 電動機	195
9-6 直流瓦特小時計	198
9-7 作用於二平行導線的力	199
第九章 總習題	201

## 第十章 介質電路

10-1 電場強度	204
10-2 電容	208
10-3 串聯及並聯電容	211
10-4 單心電纜的電容	215
10-5 電場與磁場的對偶關係	217
10-6 位移電流	222
第十章 總習題	223

## 第十一章 暫態

11-1 RL 串聯電路	226
11-2 時間常數	234
11-3 RC 串聯電路	237
11-4 RLC串聯電路	244
11-5 電路與力學的對偶關係	252
11-6 衝擊電流計線圈擺動分析	254
11-7 磁鏈守恆定理	257
第十一章 總習題	258

## 附 錄

I. 電工單位換算表	V. 複習提綱
II. 主要參考書籍(第一部)	VI. 習題答案
III. 符號量名對照表(本書用)	VII. 索引
IV. 公式證明	

# 第一章

## 緒論

### 1-1. 能.

“能”是物理學中最基本的概念之一。欲下定義，頗不容易，因能本身是我們所熟悉的物理概念，並無其他更熟悉的概念，可作為定義的基礎。所以我們由認識能的各種形態來着手了解它的本質。

最普通的能為機械能、熱能、化學能、電能及輻射能。若作嚴密的考察，則可發覺在各種能之間的界限，有時並不十分明確。但對一般工程問題，上列分類法頗為便利。

通常我們在研究力學中的“功”時，方開始提到能量這概念。一力  $F$  沿其作用方向移動距離  $D$ ，所做的功等於  $FD$ 。“力”及“運動”可使“能”變換形態：如力  $F$  將一重物舉高  $D$ ，則該物體獲得位能，而舉物的機械體系中，必有能的損失；又如力  $F$  克服摩擦力而推動一物，則  $F$  所作的功即變成熱能。

我們都熟悉運動物體，例如籃球，所具有的能。在某種條件下，能亦可離球而去。若籃球落到球架上，球架即獲得籃球所具有能的一部份；若以手接球，則覺有能自球傳遞到手。

能可由一物體傳遞至另一物體；但它亦並非定與物體發生關係不可，因它亦可由輻射方式而傳播。對我們而言，最重要的輻射能，當為日光。我們應用的能量，幾全部由太陽輻射而來。

工程中所有關於能的問題，都可以應用**能量不減定律**<sup>①</sup>。此定律可陳述如下：

---

① 最近十餘年來，原子物理學家已可將質量變換為能，而且變換所得的能量，與由理論推算出來的結果相符合；所以物質的質量亦可認為能的一種形態。

### 能量無法創造，亦無法毀滅。

此定律有極多的實驗結果予以支持，而且應用的範圍極廣。例如鍋爐，汽渦輪，發電機，電動機，電話機，以及無線電收發機，其作用均包含變換能形態的過程。

能的變換普通可分為二種：將二木塊互相摩擦，機械能可變成熱能，但加熱於木塊，則不能使木塊移動；此種變換過程是單向的，稱為能的不可逆變換。反之，若將一氣體突然壓縮，由其溫度的升高得知機械能已變換為熱能；但若使壓縮空氣突然膨脹，空氣可抵抗外力而做功，溫度則將下降，顯示一部份熱能已變換為機械能；此種變換，稱為能的可逆變換。

能量的單位為焦耳(joule 簡稱焦)或瓦特·秒(watt-second 簡稱瓦·秒)。在電力電路中，有時亦用仟瓦·小時(kilowatt-hour)作為能量的單位①。

$$1 \text{ 焦耳} = 0.738 \text{ 呎-磅} = 9.48 \times 10^{-4} \text{ 英熱單位(Btu).}$$

$$1 \text{ 仟瓦·小時} = 2.655 \times 10^6 \text{ 呎-磅} = 3413 \text{ 英熱單位.}$$

每單位時間內所做的功或做功的時間率稱為功率。功率的單位為瓦特(watt 簡稱瓦，符號  $w$ )。

$$1 \text{ 瓦特} = 1 \text{ 焦耳/秒} = 0.738 \text{ 呎-磅/秒} = 0.001341 \text{ 馬力.}$$

$$1 \text{ 仟瓦} = 1.341 \text{ 馬力.}$$

### 1-2. 能源。

主要的能源可分為二類。第一類能源所含的能為化學能。例如煤油，煤氣，及木炭等，所含的化學能，通常經氧化或燃燒釋出為熱能。第二類能源如瀑布，風，潮汐等，所含的能為機械能。

自然界中有若干種能，不能歸入上述任何一類。雷電即其一，其中的能量極難設法加以利用。日光亦不能歸入任何一類。目前直接應用日光的範圍極狹，但間接的功效則極為重要：植物賴日光促進生長，煤炭

① 附錄中載有各種能量單位的換算表。

燃燒時所產生的熱能亦即植物過去在生長時期由日光的輻射能中所得來；日光的另一效應為使水蒸發，水昇騰為雲，雨水流瀉，匯成江河或瀑布，我們可由水力發電而利用此種能的一部份。

由上所述，可知我們全部的能量均賴太陽供給。過去積儲的能漸將用罄，將來勢非直接自太陽取用其能量不可。欲將太陽的輻射能變換為可供工業利用的形態，雖曾作種種試驗，然一般而論，尙未有滿意的結果。

### 1-3. 能的使用。

能的使用，方法甚多，使用場合不同，需要亦各異；故須於種種方法中擇其最合適者。以房屋取暖裝置為例，我們所需要的是熱能。但究應燒煤，燒油或燒木炭？用熱水汀還是用煤爐子？在作決定前，應考慮到設備的價格，以及所用燃料是否價廉易得等因素。

通常我們所需要的並不是能的本身，我們不過利用能作實現某種慾望的工具。房屋中取暖，其目的在室內的保暖，應用煤爐或其他設備傳佈熱能，僅為達到目的所用方法之一。

幾乎一切形態的能量，均可由一處輸送至他處，輸送時應選用何種形態則由價格、便利及用途而定。若距離甚遠，則通常用駁船或火車以輸送能源，例如煤或油；若距離在數百哩以內，能量可由電能方式來輸送。

採用何種形態的能，有時視使用的場合而定。例如在家庭烹飪中，煤氣可與電競爭；但用在照明時，則可謂沒有其他種能可與電能相抗衡。

電能的管理及控制，甚為簡便，故其應用範圍，除電力傳輸與分配外，尚有電報、電話、傳真電報及無線電等電訊事業。電能亦易於用來控制他物，量度他物。例如熱電偶(thermocouple)可量溫度，加上適當設備，即可控制熔爐，使其保持一預定的溫度。控制設備在製造工業中極為重要。伺服機件(servomechanism)即為利用電動機電子管等的精密控制設備，其應用的範圍近來日益推廣。



**習題 1-1.** 某電力廠發電 300 仟瓦，在 12 小時內燒原油 10 桶。若 1 磅原油含有 17,500 英熱單位，一桶原油有 340 磅，問 12 小時內共損失能若干？損失的能佔燃油所得的能百分之幾？轉變成電能的佔百分之幾？

**習題 1-2.** 某水力發電廠用水輪發電機 15 具，每具發電 82,500 仟瓦。壩所圍蓄水池的蓄水量為 9,500,000 英畝-呎。蓄水池平均水面在水輪機上 492.5 呎。水輪機的效率為 90%，發電機的效率為 95%。設蓄水池原已儲滿，在發電時無水流入，問 15 具發電機供應滿載，可歷時多久？（每英畝-呎等於 43,560 立方呎。）

**習題 1-3.** 問需原油幾桶，方能產生習題 1-2 中蓄水池內水所產生的能？應用習題 1-1 及 1-2 中的數據。

**習題 1-4.** 下表列出某電力機車在各種不同速度時的牽引力(tractive effort)：

速度(哩/小時)	牽引力(磅)
40	70,000
50	50,000
60	37,000
70	27,000
80	21,000

試作一圖，表出馬力及牽引力為速度的函數。

**習題 1-5.** 齒輪電動機(gear motor)為電動機及減速齒輪(reducing gear)所組成。

(a) 某齒輪電動機，在轉速為每分鐘 22 轉時，輸出功率為 75 馬力。問輸出轉矩為若干？

(b) 若(a)中電動機的轉速為每分鐘 1750 轉，齒輪裝置的效率為 90%，問在電動機軸上的轉矩為若干？齒輪電動機輸出的功率有若干瓦？電動機輸出的功率有若干瓦？損失的功率有若干瓦？此損失功率的下落如何？

## 1-4. 原子論.

工程師在變換及運用能量時，應熟知關於物質組織的理論。五十年來的研究，使科學家相信物質為極小的質點所構成，此種質點叫做原子。每一原子由一個原子核(nucleus)及若干電子所組成。電子是比原子更小的質點，帶負電，繞核作不甚規則的旋轉。原子核由不帶電荷的質點——中子(neutron)，及帶正電的質點——質子(proton)所組成。

在原子核中，各質點團聚甚為緊密；與質點大小相較，則原子核和電子間的距離極大。例如氫原子的核內有一質子，核外有一電子。氫原

子半徑約為其質子或電子半徑的50,000倍。電子，質子，及中子的半徑約略相同。

原子的質量，幾全部在其核內。例如氫原子，電子的質量僅佔該原子質量的0.054%。中子的質量約與質子相等。

質子及電子所帶的電荷量相同，惟性質相反。質子所帶的電荷稱為“正”電荷；電子所帶的電荷稱為“負”電荷。二同性電荷互相排斥，二異性電荷互相吸引。

當原子核構造改變時，則情形頗為複雜。此時可能產生X射線及數種新質點。其中一種新質點的質量與電子同，但帶正電荷，稱為正電子(positron 或 positive electron)。如作嚴格的區別，電子最好稱為負電子(negatron 或 negative electron)。不過正電子生命極短，一遇電子即告滅亡。故工程師所稱的電子，當指負電子。

一般電工問題並不須考慮電子或原子個別的行爲。但在作改良絕緣、導電、磁性等材料，製造具有特別性能的器材，發展電子管，應用電化學及熱電過程的種種研究中，我們除須明白普通的因果關係外，尚須了解物體內部的行爲。原子論可以使我們解答許多問題中的‘如何’及‘何故’部分。研究原子構造的目的，非僅在了解物質現象，以滿足為學問而學問的求知慾望，並與經濟建設、人類幸福有重大的關係。

### 1-5. 導體及絕緣體。

電工所應用的各種材料，導電能力大有差別。例如金屬等材料，在每一原子中，至少有一個電子與原子的聯系極鬆。故祇須受到極小的外界影響，此種電子即可在該物體內自一原子移動至他原子。此種導電現象，叫做電子傳導(electronic conduction)。上述聯系極鬆的電子，稱為自由電子(free electron)。具有很多自由電子的材料，叫做導電體，簡稱導體(conductor)。

導電的另一方式為電解傳導(electrolytic conduction)。電解傳導的電流係由帶電的原子或原子羣(稱為離子)而非電子所組成。故在電解傳導時，有物質的位移運動。某種物質的導電現象，可兼有電子傳導及

電解傳導二種方式，例如在傳導狀態中的氣體。

絕緣體的自由電子或離子均甚少，故不易導電。

介乎導體及絕緣體之間，有許多材料稱為半導體 (semi-conductor) 此種材料，極饒興趣，在電工中應用日益增多，例如用於乾質整流器 (dry rectifier) 的氧化銅；用於避雷器 (lightning arrester) 的碳化矽。

### 1-6. 電流。

水在管中流動時，可以每秒鐘流過某一截面的立方米數計算水流的大小。同樣，電子在導體中移動時，可用每秒鐘經過某截面的庫侖 (coulomb 簡稱庫) 數計算電流的大小。庫侖指示電量，相當於立方米的表明水量。一庫侖約有  $6.24 \times 10^{18}$  個電子。該數係根據每電子所帶電荷的公認值  $4.804 \times 10^{-10}$  靜電單位，或  $1.602 \times 10^{-19}$  庫侖所求得。所以定庫侖為電荷的單位者，因在一般電工計算中，此單位的大小較為方便。

國際公認電流的符號為  $I$ 。  $I$  為法文電流 “intensité” 一字的字首。電流的單位<sup>①</sup>為安培 (ampere 簡稱安，符號  $a$ )

$$1 \text{ 安培} = 1 \text{ 庫侖/秒。} \quad (1.6.1)$$

電流的正方向習慣上假定與電子移動的方向相反。若質子可以自由移動，則習慣上電流的方向即與質子的移動方向相同。某種物質內，確有質子的移動；但在金屬內，電流純由移動的電子所構成。在電路圖 (circuit diagram) 內，通常在線上加一箭頭，或在線側作一箭以表明導線內電流的方向，如圖 1-1 所示。

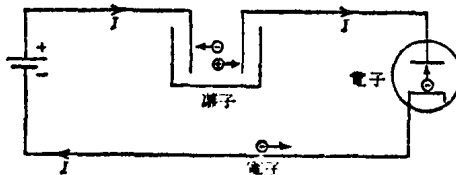


圖 1-1. 箭頭標出電流  $I$  的方向。在導線及右首的真空氣內，電流由與  $I$  反方向移動的電子所構成。在中央電解溶液內，電流由正的及負的離子所構成，正離子的方向與  $I$  同，負離子的方向與  $I$  相反。

① 國際度量衡標準委員會所訂安培的定義將在第九章 9.7 節內討論。

例題 在圖 1-2 中，導體的截面積  $A = 2.1 \times 10^{-8}$  米<sup>2</sup>，自由電子的密度 =  $10^{29}$ /米<sup>3</sup>，導體中的電流 = 15 安。求電子移動的速度為若干？

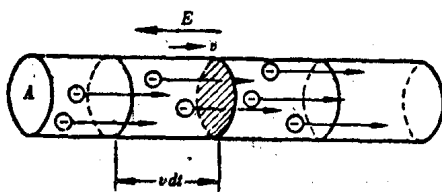


圖 1-2. 在導體中移動的電子

解 在  $dt$  秒期間，經過截面  $A$  的電子數 =  $10^{29} A v dt$ 。

經過截面  $A$  的電流 =  $10^{29} \times 1.602 \times 10^{-19} A v = 1.602 \times 10^{10} A v = 15$  安。

$$\therefore v = \frac{15}{1.602 \times 10^{10} \times 2.1 \times 10^{-8}} = 0.00015 \text{ 米/秒。}$$

電流隨時間而變化的圖形，稱為電流的波形圖。電流可依波形分成下列數類：

1. 直流 (direct current) 為量值可變而方向不變的單向電流。
2. 脈動電流 (pulsating current) 為直流的一種，其數值按一定規則變動。
3. 恆定直流 (continuous current) 為量值幾無變動的直流。通常若不另加說明，我們所稱的直流，即指恆定電流。
4. 交流 (alternating current) 為按一定規則變換方向的電流。除非另加說明，交流均指一種有週期性的電流，其方向與量值的變換，按時依次重複；且通過導線中任意截面流向某一方向的淨電流，必等於變換方向後流向反方向的淨電流。當導線中載有交流電時，電子在任意固定截面處，祇能往復移動，並不繼續前進。

我國電力電路所用交流電的頻率 (frequency) 為 50 週/秒，即電流的方向每秒變換 100 次。電訊電路所用的頻率不一；在雷達中已應用到  $10^9$  週/秒左右。此種高頻率電流，稱為微波 (microwave)。交流電應用的頻率，經近年的研究，仍有日漸提高的趨向。

**習題 1-3.** 一立方厘米銅約有  $8.5 \times 10^{22}$  個自由電子，若  $0.102$  吋直徑的銅線內有  $20$  安的電流通過，問電子在線內移動的速度為若干？

**習題 1-7.** 某氯化鈉溶液有  $3.6 \times 10^{18}$  個鈉離子及同數的氯離子。氯離子帶負電荷，鈉離子帶正電荷；二者所帶的電荷值相等。在某種情形下，鈉離子以  $5 \times 10^{-1}$  厘米/秒的速度在某一方向移動，氯離子在相反方向以  $7 \times 10^{-1}$  厘米/秒的速度移動。此溶液充於一管內，管長  $2$  厘米，直徑  $0.5$  厘米。問電流為若干？

**習題 1-8.** 某真空管有陽極電流  $0.010$  安。若電流均由真空中移動的電子所組成，問每秒抵達陽極的電子有若干？

**習題 1-9.** 在汞弧整流器 (mercury arc rectifier) 的等離子區 (plasma) 內， $99.75\%$  的電流為電子所組成，餘為汞離子所組成。若汞離子的密集度及電子的密集度均為每立方厘米  $10^{12}$  個，電流密度為每平方厘米  $1.5$  安，問電子及汞離子的速度各為若干？

### 1-7. 電位差.

凡電路中有電流時，在此電路內即有能的變換過程。當構成電流的運動質點失去位能時，該質點即獲得動能。若運動質點做功於其他物體上，則質點即失去動能。

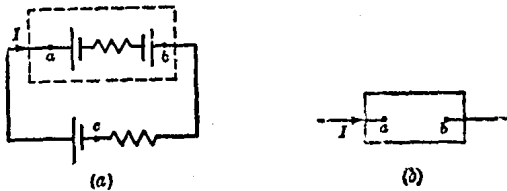


圖 1-3. 方框為一個符號，可以用來代表電路的一部份。如圖(b)的方框即代表圖(a)虛線方框內的一部份電路。

電荷為  $1$  庫的質點自電路中一點移動至他一點，(如自圖 1-3 中的  $a$  至  $b$ ) 該電荷所獲得或損失的位能，稱為該二點間的電位差或電壓。電位差或電壓的單位為伏特 (volt 簡稱伏，符號  $v$ )，其定義可陳述如下：

當  $1$  庫的電荷自電路上一點移動至另一點時，如其所獲得或損失的位能為  $1$  焦，則二點間的電位差為  $1$  伏。以式表之：

$$V_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1.7.1)$$

式中  $V_{ab} = a$  點及  $b$  點間電位差的伏數，

$Q =$  自  $a$  點移動至  $b$  點電荷的庫數，

$W = Q$  移動時所損失或獲得位能的焦數。

若我們已知  $a$  點及  $b$  點間的電位差為  $V_{ab}$ ，則 1 電子自  $a$  點移至  $b$  點所獲得或損失的位能，即為該電子的電荷  $Q_e$  及  $V_{ab}$  的乘積。

$$W = Q_e V_{ab} \quad (1.7.2)$$

茲有電荷為  $dq$  的一個很小質點。當它自  $a$  點移至  $b$  點時，如它獲得或損失的位能為  $dw$ ，則由 (1.7.1) 可求得  $a, b$  兩點間的電位差為

$$V_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1.7.3)$$

若在時間  $dt$  內，有  $n$  個帶電質點自  $a$  點移動至  $b$  點，則移動的總電荷為  $n dq$ ，獲得或損失的總位能為  $n dw$ ，故電位差為

$$V_{ab} = \frac{n dw}{n dq} \quad (1.7.4)$$

將分子及分母均除以  $dt$ ，(1.7.4) 化為

$$V_{ab} = \frac{\frac{n dw}{dt}}{\frac{n dq}{dt}} = \frac{P_{ab}}{I_{ab}} \quad (1.7.5 a)$$

或 
$$P_{ab} = V_{ab} I_{ab} \quad (1.7.5 b)$$

式中  $P_{ab} =$  在  $a, b$  二點間電路所輸出或獲得功率的瓦數。

$V_{ab} = a, b$  二點間電位差的伏數。

$I_{ab} = a, b$  二點間電流的安數。

國際度量衡標準委員會 (International Committee of Weight and Measures) 於 1946 年 10 月間通過“伏特”的定義，就是根據 (1.7.5) 而來。該定義可陳述如下：

如導體中的電流為 1 安，在該導體某二點間所損失的功率為 1 瓦，則此二點間的電位差為 1 伏。

通常當  $I_{ab}$  改變時， $V_{ab}$  亦會改變。若將  $I_{ab}$  的值逐漸減小，接近於

零，則  $V_{ab}$  值可接近於零，亦可接近於不為零的一值。例如乾電池，即使並無電流輸出，但在其兩端仍有一確定的電位差。此種電位差的性質，我們將在下節中詳細討論。

若由  $a$  至  $b$  運動的帶正電荷之質子獲得位能，我們說  $b$  的電位高於  $a$ 。反之，若帶正電荷的運動質子損失位能，則我們說  $a$  的電位高於  $b$ 。在方框圖上，用  $+$  符號表示電位較高的點，用  $-$  符號表示電位較低的點（如圖 1-4）。此處的  $+$  號及  $-$  號，稱為電位的極性符號。當電路中電流的方向為已知時，則電位的極性符號與能量轉換的方向的關係即可決定。若由電路  $ab$  段輸出電能，則電流的方向係由  $-$  極  $a$  點流向  $+$  極  $b$  點，例如圖 1-4(a)。圖 1-4(b) 為損失電能的電路。



圖 1-4. (a) 輸出電能的電路  
 $V_{ab}$  (升) 為正  
 $V_{ab}$  (降) 為負

(b) 損失電能的電路  
 $V_{ab}$  (升) 為負  
 $V_{ab}$  (降) 為正

表示電位極性的另一方法為應用雙下角註。自  $a$  到  $b$  的電位上升 (potential rise) 寫為  $V_{ab}$  (升)。設第二下角註所表點的電位高於第一下角註所表點的電位，則  $V_{ab}$  (升) 的數值為正。圖 1-4(a) 為一個輸出電能的電路，故順電流方向的電位上升為正，即  $V_{ab}$  (升) 為正。若將自  $b$  到  $a$  的電位上升寫作  $V_{ba}$  (升)，則  $V_{ba}$  (升) 的數值為負。同理，圖 1-4(b) 為一個損失電能的電路，故順電流方向的電位上升  $V_{ab}$  (升) 為負。

不用電位上升，而用電位降落 (potential drop)，有時較為便利。電路中  $a, b$  二點間的電位降落寫作  $V_{ab}$  (降)。若第二下角註所表點的電位低於第一下角註所表點的電位，則  $V_{ab}$  (降) 的數值為正，或  $V_{ba}$  (降) 的數值為負。例如在圖 1-4(a) 中， $V_{ab}$  (降) 為負，而  $V_{ba}$  (降) 為正；但在圖 1-4(b) 中，則  $V_{ab}$  (降) 為正，而  $V_{ba}$  (降) 為負。此處的正與負，指以數值代替  $V$  時，此數值的符號，而非為  $V$  項前所加的符號。 $V$  項前所應加的符號，係由其他因素決定，我們將在第二章 2.2 節內討論。

解答習題時，通常全用電位上升或全用電位降落。除特別情形外，同題中並不二者兼用，否則易生錯誤。

上升及降落通常既不兼用，則附註(升)或(降)自可刪去。唯須在作題前，說明解答中所用的為上升或降落。有人用  $E$  代表電位上升， $V$  代表電位降落，令所得數值始終為正。本書中因須將  $E$  留作他用，故不採用該項辦法。

習題 1-10. 在圖 1-5 的電路中，有 500 瓦非電能在  $gh$  部分變換為電能；而在  $ab, cd, fe$  部分，電能則變換為非電能。

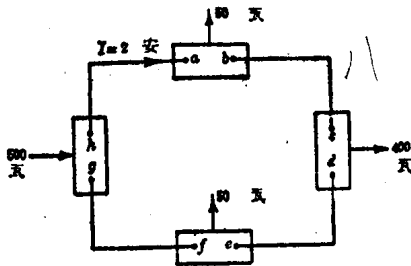


圖 1-5. 習題 1-10 中的電路

- (a) 試在方框所圍的四段電路上，加註極性符號，並計算每段的電位差。
- (b) 試求  $V_{ab}, V_{ad}, V_{fa}, V_{ag}, V_{cf}, V_{hc}, V_{fd}, V_{ce}$  各電位上升的值。
- (c) 試求  $V_{ab}, V_{ad}, V_{fa}, V_{ag}, V_{cf}, V_{hc}, V_{fd}, V_{ce}$  各電位降落的值。

習題 1-11. 有時用電子-伏 (electron-volt) 作為能量的單位。1 電子-伏為 1 電子移經電位差為 1 伏電路時所變換的能量。問 1 電子-伏有幾焦？

習題 1-12. 某電子管陰極至陽極的電位上升為 800 伏。陰極上有一電子，自靜止狀態開始向陽極運動。問該電子撞擊於陽極時的速度為若干？有能若干？(設該電子的質量為  $8.99 \times 10^{-28}$  克。)

習題 1-13. 設習題 1-12 中的電子，在移經 100 伏電位上升的一段距離時，與一阻礙物相撞，因而失去其所有的動能。問失去的能為若干？若電子在撞擊後再向陽極移動，問當它抵達陽極時有能若干？速度為若干？

### 1-8. 電勢：

在電路的某一部分，有時其中電能是由非電能轉變而來。在此種轉變作用中，有某種原動力使電荷分離而產生電流。一切發電機，熱電偶及電池均有此種產生電流的原動力。



設某非電體系(即含有非電能的能源)在一段電路中給與一個很小帶電質點的能量為  $dw$ , 該小質點所帶的電荷為  $dq$ . 茲規定另一量  $E$  如下式所示:

$$E = \frac{dw}{dq} \quad (1.8.1)$$

經處理(1.7.3)相同的步驟, 可得

$$E = \frac{\frac{n dw}{dt}}{\frac{n dq}{dt}} = \frac{P}{I} \quad (1.8.2)$$

$E$  稱為上述一段電路中的電勢(electromotive force, 符號 emf), 為非電體系放出功率  $P$  與電流  $I$  的比值. 若  $P$  的單位為瓦,  $I$  的單位為安, 則  $E$  的單位為伏.

電勢的定義與電位差相似. 若一段電路中祇有一種能的變換作用進行, 並無其他作用使問題繁複, 則各小質點所獲得的淨功率  $P'$ , 即等於非電體系所輸出的功率  $P$ . 故該一段電路兩端的電位差為

$$V = \frac{P'}{I} = \frac{P}{I}, \quad (1.8.3)$$

與該段電路中電勢的值相等. 但電位差與電勢本質上並不相同. 電位差  $V$  是從電路的觀點出發, 以運動帶正電的質子在電路二點間獲得或損失的位能表明; 而電勢  $E$  則從非電體系的觀點出發, 以非電體系輸出的能量表明.

假使從電源的 + 極輸入電流至 - 極, 則此電源稱為逆向運用. 此種逆向運用, 有時因其發生的某種副效應(secondary effect)不能造成可逆的能量變換. 例如汽車中蓄電池(storage battery)在轉動起動電動機(starting motor)時, 作為電源; 但在內燃機開動後, 電動機作為發電機運用, 將蓄電池充電時, 蓄電池的化學體系(即前述的非電體系)實際獲得能量而並不損失能量. 然此時我們仍認為蓄電池有一電勢, 因為化學體系具有發送能量的本領.

乾電池為具有強度副效應的電源. 當該電池輸出電流時, 在一電極