

目 錄

序 言

第一章 電的基本智識..... 1

1. (1) 什麼叫做「電」呢？ (1. 2) 「磨擦生電」是什麼現象？ (1. 3) 導體、絕緣體和半導體 (1. 4) 產生電流的方法——化學作用 (1. 5) 產生電流的方法——電磁感應 (1. 6) 電的單位是什麼？ (1. 7) 歐姆定律 (1. 8) 電流的方向 (1. 9) 變壓器的作用 習題一

第二章 無線電訊收發的過程..... 47

(2. 1) 無線電的主要用途——通訊 (2. 2) 練習電報的工具和方法 (2. 3) 無線電波是什麼？ (2. 4) 由波長與週率說到短波可以及遠的原因 (2. 5) 無線電訊從「發」到「收」的基本過程 (2. 6) 電容器的作用與構造 (2. 7) 電感器——線圈的作用與構造 (2. 8) 交流電在「電阻」「感抗」「容抗」及「阻抗」中的情形 (2. 9) 電容器與電感器怎樣會配合起來控制週率的？ (2. 10) 諧振電路 (2. 11) 耦合電路與濾波電路 習題二

第三章 真空管的應用..... 109

(3. 1) 什麼是真空管？ (3. 2) 兩極管的整流作用 (3. 3) 三極管的構造與作用 (3. 4) 真空管的放大作用 (3. 5) 四極管、五極管及集射管 (3. 6) 真空管放大器的種類 (3. 7) 真空管的檢波作用 (3. 8) 真空管的振盪作用 (3. 9) 六、七、八極管複合管 習題三

第四章 收音機的設計與構造..... 191

(4. 1) 設計收音機的主要條件 (4. 2) 收音機的種類與程式 (4. 3) 單管收音機分析之一——再生作用及控制方法 (4. 4) 單管收音機分析之二——調整電路 (4. 5) 調整線圈的分套及實際計算法 (4. 6) 調整圈的實例、波段展闊及 Q 問題 (4. 7) 二管收音機的分析 (4. 8) 三管收音機的分析 (4. 9) 高放收音機的分析 (4. 10) 高放管與高放電路 (4. 11) 音量控制 (4. 12) 超再生式接收機 習題四

第五章 超外差式接收機..... 267

(5. 1) 什麼是外差式？ (5. 2) 搬運電路與中週選擇 (5. 3) 換運器與混運器 (5. 4) 振盪器及振盪與訊號調整回路 (5. 5) 中週放大器 (5. 6) 影像週率與中週差週作用 (5. 7) 第二檢波、波段變換、差週振盪器 (5. 8) 什麼叫調控制 (5. 9) 調整指示器及音次調整法 (5. 10) 超外差式接收 習題五

第六章 振盪器與發射機	331
(6·1)什麼是發射機與振盪器? (6·2)各種實用振盪器 (6·3)其他方面的各種振盪器	
第七章 振盪器與發射機(續)	363
(6·4)自動式發射機之分析——實例一 (6·5)晶體控制發射機——實例二 (6·6)發射機上的射週放大器——實例三、四 (6·7)射週放大器之電路及板、柵回路 (6·8)發射機的級間耦合與輸出耦合方法 (6·9)射放級之自生及寄生振盪之防止 (6·10)發射機中之接鍵法、控法、換段法 (6·11)發射機之調整法、穩週法——附本章總結 習題六	
第八章 輕便發射機與發話機	425
(107)調幅的方法 (108)屏極調幅法 (109)柵極調幅法 (110)轉隔與屏障調幅法 (111)抑制柵調幅法 (111B)陰極調幅法 (111C)調週(FM)概論 (112)調幅管輸出與被調管輸入之配合 (113)調幅器與放大器 (114)乙放變壓器之設計 (115)放大器上的倒回授作用 (116)輕便的無線電機 習題七	
第九章 天線設計	477
(117)天線種類 (118)天線的輻射角度 (119)赫氏天線長度的計算 (120)饋電的方式 (121)天線的調整 (122)不調整饋電式 (123)雙線總阻配合式 (124)單線總阻配合式 (125)定向天線 (126)饋電線和發射機之交連法 (127)接地式天線 (128)收音及收報天線 (129)天線的裝置 習題八	
第十章 電源供給	507
(130)無線電源之檢討 (131)乾電池電源之使用法 (132)手搖發電機 (133)汽油充電機之構造與使用 (134)蓄電池使用時應注意各點 (135)電動發電機 (136)交流市電 (137)濾波器的設計 (138)電源變壓器的設計 (139)交流代乙電電源設計 習題九	
第十一章 無線電的測量儀器	542
(140)測量電的基本工具 (141)直流電流及電壓表 (142)熱偶電表的構造 (143)繁用電表實用	
附錄一 真空管的特性表	561
附錄二 銅線表	591
附錄三 週率與波長對照及週率分段表	600

第一章 電的基本智識

無線電科學是由電的科學進展而來的，亦可以說「電是無線電的母親」；所以在討論無線電之前，必先把電的基本智識加以說明；而後無論在實際應用上，或者在理論的瞭解上；都有很大的幫助。

〔1.1〕 什麼叫做『電』呢？

電的發現早在二千五百年前，她替人類服務亦已經有了二百多年歷史；然而我們能够比較完全的認識她，卻還是不久的事。在以前大家把「電」當作一種特殊的物質；這物質由陽極通到陰極，正像水管中的水由這端流到那端一樣；直到電子論成立以及原子物理學發達以後，才知道這樣的理解，不但不妥當並且不很透澈。「電」不是一種人目直接可見的物質，而是一切物質的根本；「電」在電線中流通並不是完全像水在水管中一樣，祇是把電線中原有的電荷推之使動；電的激動遞進比什麼都快，例如電波的激動在一秒鐘內能達十八萬六千哩，繞着地球赤道可走七圈半！電的所以被利用來作為通訊工具，這和她快的本能是分不開的。

(甲)物體的三態：我們曉得世界上的東西雖然多得不可勝數；但它的形態總不外乎固體液體氣體三種，這三種形態也會受到壓力溫度等的影響而發生變態。譬如說「液體」的水，加熱後會變成「氣體」的蒸氣，一放到極冷的地方，又會變成「固體」的冰了。這種形態的變化，亦就是構成這物質的許多「小粒子」的分佈及排列狀況的變化。它的各種形態對於通過電的情況是很有關係的。

(乙) 分子與原子 一切自然界的物體，都由許多微小粒子所組成；此種最微小的粒子通常稱做分子(Molecules)；所謂分子是物質最小部份，但仍不失這物質的原來性質。例如說水的分子祇是水被分得無可再分的一小粒，但仍不失去水的性質。假如這一小粒再加分析，那就會失去水的性質；不再是水了，而是二個氫原子(H_2)和一個氧原子(O)。所以以水之類的化合物而論，原子(Atom)又比分子小。但亦有許多物質由一種原子組成——所謂純元素(Element)物質，例如金、銀、銅及氫氣……等。據說：世界上共有約一百種元素；混合與化合，東配西搭，合成千百萬種物質，而形成了各式各樣的東西。

(丙) 電子與質子：然而原子雖以「原」為名，依然不是物質最後的根原，亦依然不是世界上最小的質點。因為原子還是由下列幾種基本質點所構成的——

(1) 電子(Electron)：最小的帶陰性（即負電荷）質點，是電的最小單位。

(2) 質子(Proton)：帶陽性（即正電荷）的質點，其質量為電子的1834倍。

(3) 中子(Neutron)：帶中性（即無正負電，有的書上說是由電子和質子合併成的）的質點，質量與質子相仿，同樣重於電子。其他尚有正電子(Positron)與電子相似但帶正電，及介子(Mesotron)，其質量介乎電子與質子之間，帶有與電子一樣的陰性電荷。

每一個原子的構造可以想像為一個小型的太陽系；在中心有一個帶正電荷及多質量(Massive)的原子核——相當太陽；在核的周圍環繞着一個或多個的帶負電荷的電子——相當太陽四週的行星。

原子核可以想像為直徑很小的球體；例如氫原子就是一個電子繞着核心（一個質子）而運行（如圖一A）。因為氫原子重量最輕，所

含電子與質子數目亦最小。比它重一些的如氦原子，核中就有中子質子各二個，週圍有二個電子繞行着（如B圖）。這樣，按着原子週期表的程序推說下去，一直到很重的鈾原子，週圍的電子多到92個，核中的質子亦是92個，中子146個（簡單的原子核內，中質兩子數常相等，複雜者中子較多）此92個電子分佈在K·L·M·N……等七層上繞核心運行，其情形比太陽系的行星要複雜得多。比較鈾更重的新元素的原子，像鏷（ $_{94}\text{Pu}^{239}$ ）銖（ $_{95}\text{Am}^{241}$ ）和鋤（ $_{96}\text{Cm}^{242}$ ）等，它們的組織都很複雜。將來還有許多新的元素，可以陸續製造或被發現出來！

以上所說的層（Shell）是指電子與核心的平均距離；某層亦就是說某能量級（Energystate），其中K層最靠近核心，因之對負性的電子而論，她代表的位能亦最低。每層電子的數目被保里排斥原則（Pauliexclusion Principle）所限制：K層電子最多二個，L八個，M十八個。例如汞原子中共有八十個電子，她在各層的分佈是這樣的：

$$K=2 \quad L=8 \quad M=18 \quad N=32 \quad O=18 \quad P=2$$

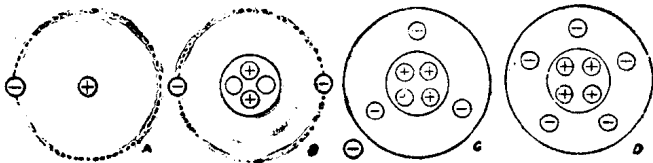


圖1：A氫原子內有一個電子 $\ominus$ 繞原子核而運行（核內祇有一個質子 $\oplus$ ）
 B氦原子核中有二質子 $\oplus$ 及二中子 $\circ$ 週圍有二電子 $\ominus$ 繞行。
 C的原子失去了一個電子，所以帶陽性，即稱正游子。
 D的原子多餘一個電子，所以帶陰性，即稱負游子。

（丁）正游子與負游子：中國有句「其小無內」的古語來形容小的程度；若這個「小」是用直覺方法來決定的，那末應用到電子論上還是太勉強。如前說之氫原子，直徑不過一吋的十萬萬分之四，而其電子猶不足氫原子的十萬萬分之一；一根頭髮粗的圓圈中可放五十萬

個原子。假如電子放大到30呎直徑，那麼電子與質子間的距離是300哩，小到幾乎難於想像的程度。也許我們要這樣問了，電子既小得如此而又帶陰性，質子比她重而帶陽性；根據異性相吸的作用，為什麼電子不被質子吸收呢？不會的，我們還得注意電子非僅小而且動的；以每秒75哩的速度在轉動；其離心的趨勢似乎可以抵消向心（吸收）趨勢，於是像天體運行中的地球之與太陽一樣，始終保持在一定層次上運行着。

所以在一般的情形之下；物質中的原子都能保持陰陽電荷平衡，即上述兩種趨向的均勢，那末這原子就呈中和性。如果這原子受了外力（如燃燒，光照，爆炸及化學作用等）的打擊；雖然不足以拆散原子核的組織，將使四週電子運轉的速度增加，結果發生離心的趨勢大於向心的趨勢，因而失去一二個電子，則此時原子內因質子數目多於電子，就顯現陽性。此種帶正電荷的原子或原子集團，即稱為正游子。（Positive Ion）。必然要吸收一二個電子，以恢復它的均勢。反過來說；假如一個原子內由外力的影響多了一二個電子，當然也即帶了陰性。此種陰性電荷的原子或原子集團，即稱為負游子（Negative Ion）。也會去吸引「帶陽性的原子」，直到多餘的電子排斥為止，才又還復了中和性，即不呈帶電作用。

[1.2] 「磨擦生電」是什麼現象？

（甲）磨擦生電：a. 若用一根玻璃棒與一塊絲綢（都要事前烘乾），棒頭在絲上用力磨擦之後，棒頭會脫離中和狀態而帶上正電荷。b. 若用硬橡皮（或火漆等）棒與皮毛（或毛織物等），仍照上法磨擦一陣之後，棒頭亦會脫離中和而帶上負電荷。這是什麼理由？以前者而說：玻棒分子經磨擦後，就有部份電子跑到絲綢上去；即在玻棒頭上

出現了正游子。以後者而說：皮毛上的電子經磨擦後，而走入了橡皮棒，即在棒頭上出現了負游子。

現在如用一小段乾燥而輕微的物體——例如紙煙、火柴梗、軟木塞及通草……等。如圖二A用絲線懸掛起來。再將上述「正電荷體的玻棒」與之輕巧地接觸一下；這樣A的一部份電子會被玻棒吸引過去；換句話說：A亦成了正性電荷體。此時若將「負電荷體的橡棒」與之接近，A會靠攏過來。改將正電荷棒與之接近，又會像B圖呈避開去的情形。

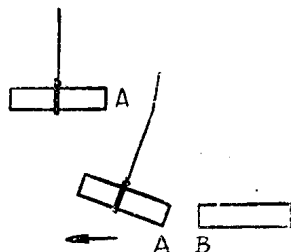


圖2：電荷體「吸」「斥」定律的實驗

(乙)電場：從這個簡單的實驗中，可以得到電荷體間有「同性相斥，異性相吸」的基本定律。從這個簡單的現象中，亦說明了兩電荷體間有一種看不見的力量存在；這種存在於電荷週圍的力量；我們稱之為靜電場(Electrostatic Field)。如果一電荷體是球體；那末在它週圍的電場，可以想像為一個呈毛栗子或刺蝟形的東西。其毛，其刺代表電場中的力線(Line of Force)；亦可以說在電荷點的週圍有無數輻射狀的力線所構成的電場。

是的：負性電荷體亦可以說電子呈充溢狀態。正性電荷體的電子則呈不足狀態。兩者之間有電場的力線的存在；此力線有沒有方向呢？當然有的；依照舊的說法，力線自正電荷指向負電荷；這還是二百年前富蘭克林(Franklin)的舊理論。依照近代的電子理論說來；應修改為自負電荷指向正電荷的。

(丙)庫倫定律：兩電荷體間的斥力與吸力能不能計算呢？能够計算的；根據電學家庫倫(Coulomb)氏的試驗結果。「兩電荷體間的吸力或斥力；正比於兩體所荷電量之乘積；反比於兩體距離之平方」。

這就是庫倫定律(註一)。

以上所說「磨擦生電」的方法，在實驗室之外已很少應用。不過由於這些簡單的試驗中，可以理解不同電荷的情況，與電場的作用。這對於我們以後在真空管的說明中，將有相當的幫助。

[1.3] 導體、絕緣體和半導體

(甲)基本電池：圖三就是一個基本電池 (Cell)。水瓶中盛稀硫酸 (H_2SO_4)，叫做電溶液 (Electrolyte)。兩個金屬物質叫做電極 (Electrodes)。因為電溶液的硫酸；被水沖淡後，分解為 $2H^+$ (正游子) 及 SO_4^- (負游子)，帶正電的氫游子趨向銅片 (Cu) 電極，取得缺少的電子成氫原子。帶負電的硫酸根游子趨向鋅片 (Zn) 電極放掉多餘的電子，變為硫酸鋅 $ZnSO_4$ 。於是兩電極的帶電狀況起了不平衡現象，即鋅極發生多餘電子，成為陰極。銅片必然缺少電子，成為陽極。若把陰陽兩極 (+)(-) 用電線接起來，接到一個電表 (Meter)，電表的指針就會移動，表示有電子流通過，即有電流(註二) (Current) 產生了。

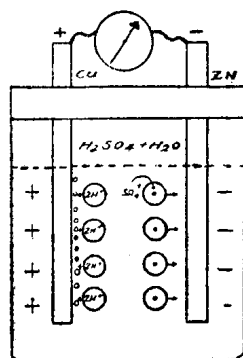


圖3：一個基本電池，水瓶中盛稀硫酸，加一片銅或炭和一片鋅。

(乙)導體：上述用來通過電流的電線；我們又叫它導體 (Conductor)。例如銀、銅、鋁、鋅、鉛……等，屬於固體導體。硫酸、鹽酸、水銀、海水……等，屬於液體導體。氫、氦、氫……等，屬於氣

註一：庫倫定律之公式： $F = \frac{q_1 q_2}{d^2}$ 式中 F 代表力，單位達因 (Dyne)。 q_1 q_2 是荷電量，單位為靜電單位 (簡稱esu)。 d 代表距離，以公分 (cm) 為單位。

註二：電子流與電流是一樣的東西，不過習慣上由電源外路陰極流向陽極的叫電子流，由陽極到陰極則常稱之謂電流。

體導體。

銅是最常用的固導體；所謂固導體是這物體中間原有的部份電子活動非常自由。而它的質子對於這些電子的控制能力比較薄弱；因此一經外來的電子壓迫；這許多電子便被推動，順次推去，由陰極推到了陽極。這情形可以譬喻一條街中塞滿了難民；突然西口發現敵人追來；大家拚命往裏推擠；於是東口馬上有人擠出。但擠出來的不是發現敵人的人，而是接近東口的人。發現敵人的人僅走了沒有幾步。

再說得明白些：固導體原子內離核較遠的外層電子；不但受到本核的電場影響，亦同時受到鄰核的電場影響。如鄰核電場大時，則將不受本核束縛，而自由運動起來；這就是所謂自由電子。不過在未通電時，這些自由電子是上下左右亂動的。待通上電時，即成有秩序的運動或遷徙；即化「亂動」為「行動」了。所以說：電在電線中流動的情形，與水在水管中流通的情形；是有所不同的。

(丙)絕緣體：照這樣說來：「一切物質既是原子組成，原子又是質子和電子構合」似乎沒有一樣東西不是導體了。要在不通電的地方怎麼辦呢？是的，不通電的東西叫絕緣體 (Insulators)。所謂「導體」和「絕緣體」並無絕對界限。祇在普通溫度之下，某種物質的原子內的電子，比較緊緊地團聚在各該核的週圍，電場互相抵消。亦即是不容易失去電子的，便用來作為絕緣體。某種物質的電子比較自由的，便用來作為導體。絕緣體和導體不過導電程度上的不同，或者說絕緣程度上的不同。換句話說，一個很良好的導體，也免不了有極少的絕緣作用，一個良好的絕緣體，也有極少量的導電作用存在其間。其導電能力對於溫度壓力等，都很有影響。如金屬的銅絲等物，在高溫度中，其導電能力減小。炭在高溫度中其導電能力加大。再如某種絕緣體；如果外界電子的壓迫力量，超過了它所能承受的限度；也會發生絕緣破裂 (Insulation breakdown) 現象；從此這個絕緣體會變成破裂

而沒有很好的絕緣作用。

無線電工業上，應用最廣的固絕緣體：例如瓷料、玻璃、膠木、橡皮、雲母、蠟紙……等。液絕緣體如油類及樹脂等。氣絕緣體如乾燥空氣等。

(丁)半導體：導體與絕緣體既無絕對界限；則介於兩者之間的，稱為半導體。半導體的意義有二：一種是電流從這端到那端是導體，但反過來那端到這端又是絕緣體。這類稱為向性電阻，如氧化銅等屬之。另一種不管電流方向，都同樣為不良導體的，稱為電阻體。例如固體的炭、鎢、鎳合金……等。液體的不純水……等。氣體的薄空氣……等〔註三〕。

[1.4] 產生電流的方法——化學作用

「江水滾滾向東流」，這是一句大家熟識的詩句。意思是上游的水位比下游高的原因，於是上下游間產生一種水位差而「滾滾向東流」起來了。同樣地產生電；無非利用原子要保持其中和的特性，陽極要吸取失去的電子，陰極要排斥多餘的電子。這「吸取」和「排斥」的兩電荷體之間；便發生電場的作用，或者說電的勢能的高低。這種高低之差就叫電位差(Difference of potential)，把電位高低兩端用導線接連起來，電場驅策電荷通過導線——即成電流。能够源源產生電流，便需要一種繼續維持電位差的功能；這功能即所謂電動勢(Electromotive force 簡寫 E. M. F. 俗稱電壓)。因此怎樣產生電流的問題；亦即是怎樣產生電壓的問題；其方法可分下列四種——

(一)磨擦或靜電感應——例如物理實驗室中之韋氏起電機等。

(二)化學作用——例如乾電池、雷氏電池、鉛板蓄電池…等。

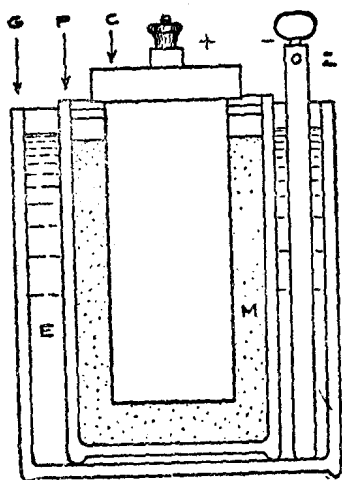
註三：電阻係數在 10^{-5} 歐一公分者，稱電導體。在 10^5 至 10^{16} 歐一公分者，稱絕緣體。在 10^{-2} 至 10^5 歐一公分者，稱半導體。這是比較新的分類法。

(三) 熱電作用 —— 例如高溫計及高週電表中之熱電偶等。

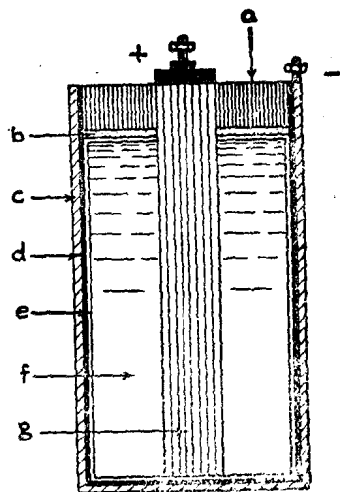
(四) 電磁感應——例如各種發電機等。

(甲) 化學作用：圖三所示的基本電池；就是這一種方法的說明。意思是電溶液對於浸潤其中的不同電極發生不同的化學作用；遂使兩極發生了電位差，即產生電流與電壓。利用此項化學的能 (Chemical-energy) 變成電能的裝置；我們統稱之電池 (Battery)，一個電池包含一個或一個以上的電瓶。電池的種類很多，一次用完就廢棄無用的叫一次電池 (Primary cell)。另一種一次用罄之後，再能够利用外界電能恢復原狀；使用第二次的叫二次電池或蓄電池 (Secondary, storage cell)。前者如乾電池及空氣電池，後者如鉛板蓄電池及鎳板蓄電池等。

(乙) 雷氏電池：乾電池 (Dry cell) 的前身是雷克來溪 (Leclanche) 電池。這電池內部的構造如圖四甲：G 是大口玻璃瓶。Z 是鋅棒或鋅



甲：雷克來溪電池



乙：乾電池

圖4：雷克來溪電池與乾電池之構造。

筒，即陰極。P是素燒筒（一種未上釉的陶器，質地鬆空，可透過少量水份）。C是圓形或長方形的炭精棒，即陽極。E是礬砂（Ammonium chloride，或稱氯化銨）的電溶液。M是錳粉（Manganese dioxide 或稱二氧化錳）這種礬砂溶液特別會和鋅極發生化學作用，但不易和炭極發生作用。於是兩極間發生電動勢，直到鋅極腐蝕，或溶液乾枯為止。素燒筒中的錳粉作什麼用呢？是防止極化作用（Polarization）。原來鋅與礬砂會發生化學變化，產生氫氣去附着在炭棒的四週；這氣泡阻隔了電液與炭棒之接觸；因之使電池內部通過電流的面積減小（即內阻加大）；錳粉就用來吸收這些不必要的氫氣，亦即反抗了極化作用。

這類電池很容易自製，先用木料做一個高 125 公厘（mm），直徑 65 公厘（小電高 80 公厘，直徑 20 公厘）之模型。中放一徑 25 公厘，長 154 公厘（小電則為 8 公厘徑）之炭精棒。乃打入電料〔註四〕，打結取出，放入素燒筒中。然後將素燒筒放入一直徑約 100 公厘之玻璃瓶或竹管內。筒之四週，置一鋅皮筒（大電用 10 號鋅皮， 230×115 公厘捲成，小電用 125×60 公厘）。然後在玻璃瓶內注入電液，電液成份如〔註五〕。

這種電池在早期電氣工業中，應用極廣。但是電溶液容易潑出，攜帶不便；於是改良而成爲乾電池。乾電池內部並不真正乾的，不過把鋅筒本身代替了玻璃瓶（見圖四乙中 c），電液中加入澱粉（或玉

註四：電料成份錳六成，石墨粉或乙炔灰四成，氯化銨半成，拌入其總重百分之五的電液。

註五：蒸溜水——5000 克（重 gm） 氯化鋅——400 克

氯化天——3 克 氯化銨——1200 克

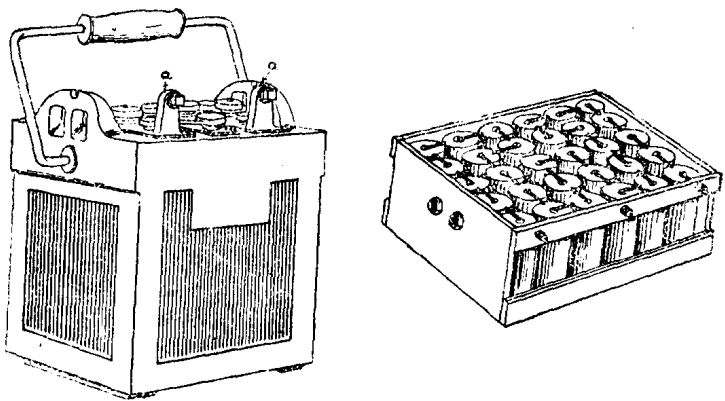
蔗糖——200 克

蜀黍粉)使成糊狀(圖中e)一部份滲吸在軟紙內(圖中d)。其他f還是錳粉之類的電料。g仍是同樣的炭精棒。a是封口的瀝青之類。b是砂子。所以乾電池的製法，當然和它的前身大體相同的了。

(丙)蓄電池：蓄電池和乾電池同樣屬於輕便無線電機中的主要電源。不過乾電池是一次電池；蓄電池是二次電池。顯然的蓄電池的特點是有它的經濟性，不常要換，但缺點攜帶笨重，不很便利。無線電上用得最多的是鉛板蓄電池；圖五便是這種電池的外形；左圖一個電池包含三個大電瓶的稱甲種電池。右圖一個電池包含三十個小電瓶的稱乙種電池。甲電和乙電(A電B電)是無線電上兩種主要電源。

鉛板蓄電池(Lead acid type)構造，並不像基本電池那樣簡單。爲了增加電池的容量起見；其陰極通常由七片合成一組，陽極則由六片合成一組。此兩組極片，相間着裝在玻璃或硬橡皮缸中。中間用經過蠟的煉製的純淨木片或玻璃絨間隔，以防兩極片接觸。整個兩組極片浸在稀硫酸中；頂上有一圓孔，以便添注電溶液或洩氣。這是鉛板蓄電池構造的大概情形。

圖5：鉛板蓄電池

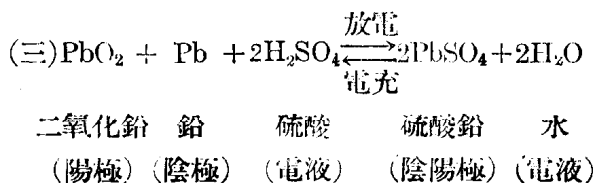
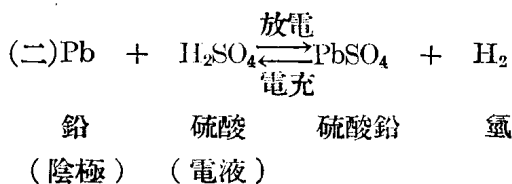
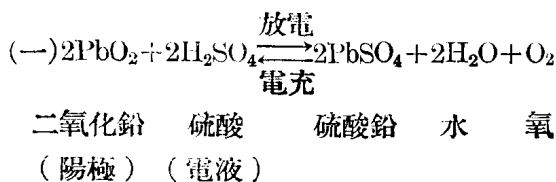


甲 電 池 ；

乙 電 池 。

既稱鉛板蓄電池，當然它的極片是用鉛板做成的了。我們見到一個蓄電池時；能望見呈棕色的陽極板；這是二氧化鉛。另一組呈青灰色的是鉛板，即陰極。這兩樣東西，對於電溶液稀硫酸所發生的化學作用當然不同，如果在兩極間連通導線，便會產生電流。當電流通行時，在蓄電池本身說來，就叫放電 (Discharge)，長時間放電結果而使兩極都變成硫酸鉛；原來的稀硫酸變了水；水和兩個同樣的硫酸鉛極片；自然不發生作用；此時化學能就用完了。

假如我們在這時候把外界的電流正向通過電池上去；這工作叫做充電 (Charge)。充電的結果，利用化學上的還原作用；使電池恢復原狀；就是硫酸鉛的陽極恢復了二氧化鉛；硫酸鉛的陰極恢復了鉛，水亦重變稀硫酸。於是又可以放電，把放電時的電流作種種的利用。用完了又可以充電……這樣用完可以充，充足可以放；遂顯露了它的特長。下面（一）是陽極對於充電放電的化學變化的程式。（二）陰極充電放電時之程式。（三）陰陽兩極合併的化學變化程式——



這樣看來，一個蓄電池要曉得它的電量是否充足；或者放電的狀況如何？不外乎兩種方法，一種是用電表測量它正在放電時的端電壓。一種是測驗它的電溶液稀硫酸的密度。假如稀硫酸很濃，那簡接說明了電是充足的；很淡當然電已放完了。硫酸和水的比重 (Specific gravity) 是不同的。測量比重的儀器叫比重表 (Hydrometer) 它的構造是一個玻璃筒，頂部套一橡皮袋，以便把蓄電池中的電液臨時吸到玻璃筒中來測量。量畢注還電池。這玻璃筒中尚有一下端附着相當重量（通常放一些鉛子）的小玻璃管（叫浮子）；此管上附有標度，利用它在密度不同的稀硫酸中浮起的程度，遂測量出蓄電池電能的狀況。通常稀硫酸的比重是 1.300 度，故量見此度數（約在 1.280—1.300 之間）表示這蓄電池是充足的，如果低於這個度數，表示漸漸放電，至 1.120 度近乎是水的比重，則可知電能已放完，已是需要充電的時候了。

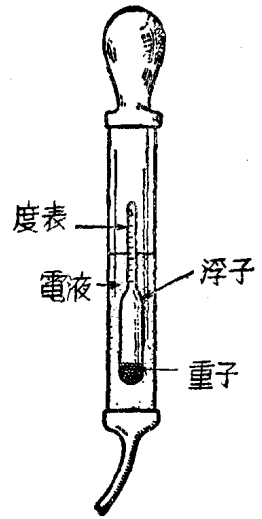


圖 6：比重表

另一種新式的蓄電池；就在電箱本身，開一小窗口。口中浮有色小球數粒；看各球的浮起情況；可知蓄電池的充足與否，非常方便。

(丁)熱電作用：以前說過把兩樣不同的物質浸在電溶液內；會產生電壓。不外乎這兩種物質受化學變化，使原子內部的荷電狀態起了變化。同樣地如果不用化學溶液；而改用燃燒方法來加速它們原子中電子的行動。當然也會發生電流。所以如果把兩種物質（如用銅絲與鎳絲，在工業上常用鉑及鉑鎳合金等高熔金屬。）接觸了放在火上加熱，也會發生電壓。這方法產生的電勢叫熱電勢 (Thermoelectromotive force)，這方法現在大都用於儀器方面。

〔1.5〕 產生電流的方法——電磁感應

利用電磁感應作用來產生電流的方法；這是與化學作用同樣重要的方法。什麼叫做「電磁感應」呢？關於電我們已說過許多；現在再要問一問什麼叫做「磁」呢？

(甲) **磁是什麼：**磁石 (Magnet) 俗稱「吸鐵石」；因為它有吸引鐵、鎳、鈷等金屬的特性。相傳在紀元前 585 年，在小亞西亞的 Magnesia 地方發現這種磁鐵礦（主要為氧化鐵 Fe_3O_4 ），故有這個西文名稱。中國是世界上最早利用磁的國家；是我國古代黃帝與蚩尤大戰於涿鹿之野；黃帝利用磁的作用發明指南車；用於霧中作戰；卒獲大勝。

現在所用的磁鐵；大都是一種人造磁鋼，而不是上述的天然磁石。這種磁鋼普通為「—」及「U」……等形狀。如把一磁鋼放在一張紙下，紙上洒上鐵粉；則鐵粉會受磁的吸動；排成一圈圈的線條。這樣

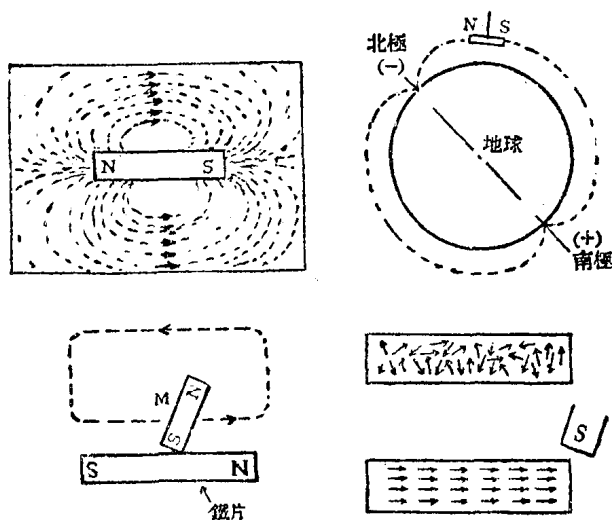


圖 7： 左上：磁場 右上：指南針的作用
 左下：人造磁鐵 右下：磁化前後的分子排列

可以證明在磁體四週，尤其在兩極 (Pole)，具有一種看不見而試得出的磁力線 (Magnetic line of force 見圖七左上，爲便於計算及設想計，以每單位面積若干線表示之)。這磁力線的範疇，我們又稱它磁場 (Magnetic field)。磁場內每單位正交面內的磁力線多少，稱做磁線密度 (Flux density或稱磁通量)。所以在具有磁作用的空間——即磁場中，任何一點所受之力，叫做磁場強度 (Field intensity)，此強度之單位叫高斯 (Gauss)。

既然磁力線分佈在兩磁極之間；當然有力的方向。一般人則認爲磁線由北極(簡寫N，即在懸空時指北方者)發出，而終於南極(簡寫S，磁鐵所以指南北向者，因地球本身亦相當一大磁石，其情形可見圖七右上)。假如我們用一根縫衣針或鐵片，依圖七左下的方法，將磁鐵在鐵片上，順一個方向磨碰。很奇怪的這根針或鐵片，都會變成小磁鐵；吸引其他的針或鐵片，這就叫做感應磁 (Induced magnetism)。但釘子一類的軟鐵或生鐵能够保持磁性的時間極短；差不多當釘子脫離磁鐵；它本身的磁性也就消失了。但針子一類硬鋼及各種合金鋼，當它脫離磁鐵之後，它本身還能保持較長時間之磁性，便成永久磁鐵 (Permanent magnet 簡稱 P.M.)。所以人造磁鐵可以分成永久磁與臨時磁兩種。

(乙) 電生磁：照這樣說來，大家或者認爲人造磁鐵的方法太簡單了。祇要把磁鐵在鋼鐵上一磨即成。但事實上不會永久而強大；普通人造磁鐵，都用電來做的。假如用一瓶乾電，一個指南針，一根導線。如圖八左的方法接起來；試把通有電流的導線放近指南針 (Compass，即小磁棒)；指南針馬上會移動。導線移開或拆去電池；指南針又恢復原狀；而且可以看到移動的方向與電流方向大有關係。

再把一束鐵絲(先在火中燒紅徐徐冷卻)，綑在一起；外面裹一層厚紙，紙外繞包漆或包紗之銅絲數十圈。則當銅絲兩端接到電池上