



高中物理教学参考读物

稳恒电流

中国物理学会上海分会
中学物理教学研究委员会编

上海教育出版社

高中物理教学参考读物

稳 恒 电 流

中国物理学会上海分会

中学物理教学研究委员会編

上海教育出版社

一九六一年·上海

高中物理教学参考读物
稳 恒 电 流

中国物理学会上海分会
中学物理教学研究委员会编

*

上海教育出版社出版

(上海永福路123号)

上海市书刊出版业营业许可证出090号

上海新华印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：787×1032 1/32 印张：3 7/16 字数：79,000

1957年11月新知书店出版社第1版第3次印刷(130,001—185,000本)

1959年5月新1版 1981年5月第6次印刷

印数：77,531—97,530本

统一书号：7150·528

定 价：(九) 0.32 元

前 言

本書是“高中物理教学参考讀物”的第十本，是参照高三物理新編教材的第二章“穩恒電流”編寫的。內容共分四章。在第一章“電流和電源”里，着重闡明了電流現象的本質和電源的主要作用。在第二章“通過金屬的電流”中，對電動勢和路端電壓，電勢差跟電勢降落等常被混淆的物理概念作了比較詳細的敘述，明確它們的區別跟關係。為了幫助讀者理解較為複雜的網路問題，編者通過幾個比較典型的例題，對基爾霍夫定律作了一般性的介紹。在第三章“電解液中的電流”中，扼要地敘述了液體導電的特徵和規律以及基本電荷的不可分割性。在第四章“氣體中的電流”中，着重指出在氣體里形成電流的條件以及稀薄氣體中放電的重要現象。

在課堂教學中，教師仍應根據課本進行教學，以完成中學階段的教學目的為首要任務，本書內容不過是提供教師作為參考，不能用來代替課本上的教材。

附錄中的復習參考題，可供教師同志在復習或考查時挑選使用。

本書的第一、二章由楊逢挺同志執筆，第三、四章由江浩同志執筆，在編寫過程中多次吸取了束世杰、賈冰茹等同志的寶貴意見，一再作了修改。限于編者的業務水平和教學經驗，一定有很多不妥當的地方，希望讀者批評指正，以便再版時修正和改進。

中國物理學會上海分會
中學物理教學研究委員會

1957年8月

0001

目 录

第一章 电流和电源	1
1. 电流	1
2. 电流的方向	4
3. 电流計	5
4. 电源	6
5. 伏打电池	6
6. 电源的电动势	8
7. 伏打电池的极化	9
8. 电池的局部作用	9
9. 勒克朗謝電池	10
10. 蓄電池	10
第二章 通过金属的电流	13
1. 金属的导电性	13
2. 部分电路的欧姆定律	14
3. 导体的电阻	15
4. 导体的电阻定律和电阻率	15
5. 导体电阻的温度系数	18
6. 电阻的串联	20
7. 电阻的并联	21
8. 电源的内电阻	25
9. 全电路的欧姆定律	26
10. 电源的电动势和路端电压	29
11. 内外电路上的电势降落 Ir 和 IR	31
12. 电源的串联	35

13. 电源的并联.....	36
14. 电源的混合連法.....	37
15. 基尔霍夫定律.....	41
16. 电流的功和功率.....	46
17. 串联和并联电器所消耗的功率.....	47
18. 焦耳—楞次定律.....	49
19. 电路中能量的供給和吸收.....	53
20. 白熾灯.....	55
21. 导綫的选择.....	56
第三章 电解液中的电流	57
1. 电解溶液中溶質分子的离解.....	57
2. 电解溶液里的电流.....	60
3. 电解的实例.....	64
4. 法拉第电解第一定律.....	66
5. 法拉第电解第二定律.....	67
6. 法拉第恒量和电的原子性.....	70
7. 电解在技术上的应用.....	73
第四章 气体中的电流	74
1. 气体导电的基本形式.....	74
2. 气体自激导电的理論.....	76
3. 自激导电的实例.....	78
4. 被激导电体内游离的理論.....	85
5. 热电子发射.....	86
6. 阴极射綫和阳极射綫.....	88
附录一 复习参考題	90

第一章 电流和电源

1. 电流 在“电場”这一本小册子里我們已經研究了电場跟电荷間的相互作用和由这些作用所引起的最后稳定状态下的电荷分布,以及帶电質点在空間的运动。現在我們要來討論当导体内有电場持續存在时,也就是說,导綫兩端有电压持續存在时,电荷在导体里作有規則的运动,这种运动,就叫做电流。电荷的携帶者可以有不同的性質,例如在电解傳導中,电荷的携帶者是离子(帶电的原子或原子团),并且正負离子在液体中以相反的方向移动着。电流在金屬中通过时,並沒有使金屬的化学性質发生任何变化,因此金屬的导电性跟它的原子的移动无关,只由电子的运动决定。这个概念已被許多实验所証明,在一系列用不同金屬做成的棒里通过电流,經历好几个月的时间,在金屬上并沒有任何化学变化的迹象,这指出当电流通过时,金屬的原子、离子都未曾移动。所有金屬的电子都是一样的,因此一根棒上的电子被鄰近棒上移动过来的另一些电子所代替,是不能观察出来的。

为了說明金屬导电的性質,就有必要假定其中的原子,至少有一部分离解为电子跟正离子(失去一个或几个电子的原子),因而金屬中有大量的自由电子,这些电子在电場的影响下,受到跟电場方向相反的作用力,并且沿着这个力的方向产生了加速度。这些自由电子跟金屬里靜止的質点(不考虑热运动)多次碰撞后,很快地就慢下来或停止住,此后再加速,当电場繼續存在时,这种情况就維持下去。但是它們在电場的相反方向上,可以

获得一平均速度，我們可以假定它們全都以此平均速度穩恒地運動着。這些電子是在離子之間運動，而這些離子則在固定的位置附近振動着，並不參與電荷的移動過程。自由電子也跟其他金屬里的微粒一樣，同時也在做熱運動，這種運動是混亂的，我們目前不必去管它。

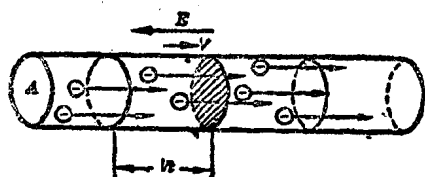


图 1

图 1 表示導線的一段，其中有一向左的電場，因此自由電子就有向右的運動，假定每一個電子都以相同的恒定速度 v 運動着，在時間

t 里向前推進一段距離 vt 。那麼，通過導線上任意橫截面（例如畫着陰影的一個）的電子數，就是長 vt 的一段導線內或體積 vtA 內所含有的自由電子數。其中 A 是導線的橫截面積，如果單位體積里有 n 個自由電子，在時間 t 內通過橫截面的總電子數是 $nvtA$ ，假使用 e 代表每個電子所帶的電量，那麼，在 t 內通過這個橫截面的總電量 Q 就是

$$Q = nev t A \quad (1)$$

由於電流產生的各種效應具有不同的程度，就形成了電流強度的概念。電流強度也簡稱為電流。通常我們對於通過用電器的總電量並不感到興趣，主要感到興趣的是其中通過的電流。通過已知面積的電流 I ，是用相當於單位時間內通過這個面積的電量來量度的，因此

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2)$$

由(1)(2)兩式得：

$$I = nev A \quad (3)$$

在实用单位制中,电量的单位是库仑,电流的单位是每秒 1 库仑,叫做 1 安培,用字母 a 表示。小的电流可以用毫安培 ma (1 毫安培 $=10^{-3}$ 安培)或微安培 μa (1 微安培 $=10^{-6}$ 安培)来表示。在厘米·克·秒制静电单位系中,电流的单位是每秒 1 静库,因为 $1 \text{ 库仑} = 3 \times 10^9 \text{ 静库}$,所以

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}} = \frac{3 \times 10^9 \text{ 静库}}{1 \text{ 秒}} = 3 \times 10^9 \text{ 静电系单位电流。}$$

载流导线里电荷的分布,跟绝缘导体带电时电荷的分布情况,不能混为一谈。我们已知,绝缘导体上过剩电荷的分布只限于导体的表面上,在载流导线上就没有过剩电荷,每一单位体积内,正电荷跟负电荷是相等的(图 1 中正电荷未表出),自由电子在一载流导线里是均匀地分布在导线的各个部分的。在粗细均匀的导线里,通过任何横截面的电流也是均匀分布的。除非是交变电流,特别是高频率的交变电流,才有集中在导线表面的趋势。

导线里的电流强度跟横截面积的比叫做**电流密度**,用 J 来表示,那么

$$J = \frac{I}{A} = nev \quad (4)$$

严格地讲,这是对于横截面积 A 的平均电流密度。在电解的问题中,我们常常要用到这个概念。

【例 1】 通过导线的电流是 1 安培,那么一秒钟里流过导线横截面的电子数有多少?但一个电子所带电量 $e = 4.8 \times 10^{-10}$ 静库。如果这根导线的横截面积是 1 平方毫米,那么电流密度是多少?

【解】 因为电流强度是 1 安培,所以 1 秒里通过的电量 $Q = 1 \text{ 库仑} = 3 \times 10^9 \text{ 静库}$,假使 1 秒里通过导线横截面的电子数是 n ,那么

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{3 \times 10^9}{4.8 \times 10^{-10}} = 6.25 \times 10^{18} \text{ 个电子/秒。}$$

因为电流密度 $J = \frac{I}{A}$, $A = 1[\text{毫米}]^2 = 0.01[\text{厘米}]^2$

$$\therefore J = \frac{1[\text{安培}]}{0.01[\text{厘米}]^2} = 100 \text{ 安培/}[\text{厘米}]^2$$

【例2】在公式(3) $I = nevA$ 里,如果我们知道 I, n, e 跟 A , 就可以算出电子运动的平均速度 v 。我们有理由相信,单位体积里的自由电子数,在银和铜等的良导体中,不会比单位体积里的原子数差得太多,假使在铜里自由电子数等于原子数, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑,通过铜导线的电流 $I = 10$ 安培,导线的横截面积 $A = 1[\text{毫米}]^2 = 0.01[\text{厘米}]^2$,那么电子运动的速度是多少?

【解】 一克原子量的铜是 63.6 克重,里面含有 6.02×10^{23} 个原子, $1[\text{厘米}]^3$ 的铜是 8.7 克重,所以 $1[\text{厘米}]^3$ 的铜含有 8.24×10^{22} 个原子, $1[\text{厘米}]^3$ 的铜含有 8.28×10^{22} 个自由电子(按照题设条件),

今因

$$I = nevA$$

$$\therefore v = \frac{I}{neA} = \frac{10}{8.24 \times 10^{22} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 0.01} = 0.076 \text{ 厘米/秒。}$$

这个速度是非常小的,它只是电子热运动的平均速度的极小分数。自由电子在导线里作定向运动的平均速度,必须跟电流传播的速度、电场传播的速度严格加以区别,不可互相混淆。电流传播的速度也就是电场传播的速度,其极限值可以达到 3×10^{10} 厘米/秒,跟光速相等。譬如说,如果我们掀压电铃的电钮,电场在整个电路中实际上是立时就被建立起来的,所以电路中的全部自由电子几乎是同时开始向着同一方向运动的,不过速度极小罢了。

2. 电流的方向 在上节里已经指出,只有带着负电荷的电子才能在金属中移动,因此把自由电子运动的方向规定为电流

的方向，似乎是合乎邏輯的，可是我們立刻就會遇到困難，因為在電解質里或在氣態導電的情況中，兩種異號的自由電荷都是沿着相反方向運動的。無論把哪一個方向規定為電流的方向，我們總會遇到電荷沿着跟它相反方向的運動。實際上在電子的概念還沒有形成，電子的特性還沒有肯定以前，科學家早已同意把電流的方向規定為正電荷運動的方向，因此在金屬導體里電子的運動方向跟規定的電流方向是相反的。例如图 1 中，雖然電子的運動是由左向右，但電流的方向還是當做由右向左的，並且假定正電荷是在作向左的運動。

從現在起，我們就採用這個習慣上的規定。當我們用金屬導線把電源的兩極連接時，在導線里實際上電場力將驅使電子朝着電勢高的方向移動，也就是驅使電子從電池的“負極”移向電池的“正極”，就是我們假定正電荷由“正極”移向“負極”的。

在電源外部（外電路里）和電源內部（內電路里），電荷的運動有顯著的區別，這是我們必須注意的。在外電路中，電流的方向是從正極到負極，就是電荷沿電場作用的方向運動：正電荷沿電場的方向，負電荷沿電場相反的方向。在內電路里，電流的方向是從負極到正極的，就是電荷沿電場作用相反的方向運動。

3. 電流計 電流各種效應表現的程度決定於電流的強度，於是我們可以利用任何一種效應，無論是熱效應，磁效應或是化學效應來量度電流，這種用來量度電流強度的儀器叫做電流計。通常應用特別方便的是根據電流的磁效應設計的電流計，它的標度直接用安培數來表出的叫做安培計，簡稱安計。當我們用安培計來量度通過某一用電器中的電流時，必須注意這樣幾點：（1）安培計必須和用電器串聯；（2）為了保護儀器，不應讓超過標度的電流通過它；（3）電流要從安培計上的正接線柱（+）流入，從負接線柱（-）流出；（4）絕對避免它跟電源捷路接觸，也不能

跟用电器并联。关于安培計的構造和原理，我們在下一本小冊子里再作詳細的介紹。

4. 电源 事实上我們在工业生产上和日常生活中所应用的电流都是具有一定强度的持續电流，为了获得导綫中的持續电流就得保持导綫里的电场，也就必須保持导綫兩端的电势差（电压），能够完成这种任务的裝置叫做电源。在初中里学过的各种电池和发电机都是电源。在各种电源里，形成电压的方法是不同的。电池是利用电池中的化学反应来形成和維持导体間的电电压的。发电机是利用导綫在磁场里的机械运动来形成和产生持續电流所需要的电压的。

很明显，电荷在外电路中的运动是电场力在作功，需要消耗能量，要在导綫中形成持續电流，电源就得不断地供給电流通过导綫时所消耗的能量。因此，我們也可以說：电源是把其他形式的能轉变为电能的裝置。电池是把化学能轉变成电能的裝置，发电机是把机械能轉变为电能的裝置。將來还要学到把光能、热能和原子能轉变成电能的裝置，如光电池、热偶电池和原子能发电站等。

5. 伏打电池 历史上第一个比較强的电源是意大利物理学家伏打在 1799 年发明的，叫做伏打电池。这种电池是由一块鋅板跟一块銅板浸在稀硫酸溶液中組成的，其中銅板的电势比較高是正极，鋅板的电势比較低是负极。

为什么伏打电池能够产生和維持兩极間的电电压呢？現在我們就来研究这个問題。原来稀硫酸溶液里含有許多氢离子(H^+)和硫酸根的离子(SO_4^{--})，当鋅板浸入硫酸溶液中时，鋅板上的鋅原子就要进入溶液中去，自己变成正离子(Zn^{++})，同时把电子留在鋅板上。

每一个鋅原子在溶解时給鋅板留下了两个电子，这样，鋅板

就帶了負電。溶液里又有多餘的正電，在鋅板跟溶液間就產生了電場，形成了電勢差，這個電場阻碍着鋅的繼續溶解，等到鋅板和溶液間的電壓達到一定程度時，進入溶液中的鋅離子的個數將等于由溶液中回到鋅板上鋅離子的個數，因此就建立了一個動態平衡。我們知道，在導體間形成電勢差是需要做功的，在鋅板和硫酸的化學反應中，鋅板溶解時所釋放出來的化學能就是轉變成電壓所需要的電能。一般講，凡是浸入溶液中的金屬，當它發生化學反應時，最後都會達成一定的動態平衡，這時金屬跟溶液間電壓的大小，只跟金屬和溶液的性質有關，而和浸入溶液中的金屬面積的大小、溶液的多少無關。一根細鋅絲跟一滴稀硫酸間形成的電勢差和一大塊鋅板跟一缸稀硫酸間所形成的電勢差是完全相同的，因為它們之間的平衡是建立在每一接觸的小面積上的。如果兩個電極和它們浸入的溶液都是一樣的，那麼電極的電勢也是一樣的，因此把它們用導線連起來也不會有電流發生。在我們討論的電池里，銅板在硫酸里很不容易溶解，為了簡化起見，我們可以完全略去銅離子的進入溶液，而當做銅的電極並不帶電荷。但是被鋅離子推斥過來的氫離子就附着在銅板上使銅板帶正電，這樣在銅板跟鋅板之間就產生了電勢差。

伏打電池在電路沒有接通時，兩極之間的電壓大約是1伏特。

如果用導線把銅板和鋅板連起來，電路接通後，鋅板上的電子要經過導線移向銅板，在那里跟氫離子中和，生成不帶電的氫氣。這樣，鋅板上的負電跟銅板上的正電都減少了，鋅板和溶液間的平衡被破壞了，於是，鋅將繼續溶解，新的鋅原子變成離子進入溶液，因而兩極總保持着一定的電壓。這種情況將繼續維持下去，直到鋅板完全溶盡或者電池內的硫酸溶液全部反應完畢為止。在伏打電池的通电過程中，由於鋅離子陸續進入硫酸中，

氢离子也就不斷被排斥移向銅板。因此，当电流通过时，電池溶液內的正离子是从負极向正极移动的，也就是正电荷是沿着电場作用相反的方向运动的。总之，伏打電池所以能产生并保持兩极間的电势差，就是化学能轉变为电能的过程。

在其他类型的電池中，发生的过程也相仿。一般地講，只要用兩種不同的固态导体做成电极，把它們浸入一种叫电解質的化合物（酸，硷，鹽类化合物）的溶液中，当然至少要有一种固态导体能跟溶液起化学反应，就成了電池。

6. 电源的电动势 上面我們講过，电源的作用是产生和保持电路上的电势差，为了完成这个任务，在电源的兩极上就要分別聚集异种电荷，因此，电源的作用就是把正負电荷分別送到正极和負极上去，从而使电源內部形成电場。在上节里我們已經看到，在电源里面，电荷运动的方向是和电場在电荷上面作用力的方向相反的。要使电荷分別聚集到正极和負极，就需要另一种力作用到电荷上，这种力叫做电源力，电源不同，电源力也就不同。当电荷运动时，电源力做了功，增加了电荷的势能，被移动的电荷越多，电源力做的功也就越多。电源力所做的功对这些被移动的电荷的比，叫做电源的电动势，也就是电源力所做的功跟聚集在极上的电量的比，叫做电源的电动势。

电压的單位，例如靜伏或伏特，也可以采用为电动势的單位。假使在电极上聚集 1 靜庫电源力所做的功是 1 尔格时，那么电源的电动势就叫做 1 靜伏，也就是 300 伏特。伏打電池的电动势是 1 伏特，这就表示在这种電池里移动 1 庫仑的电量时电源力所做的功是 1 焦耳。我們說发电机的电动势是 230 伏特，我們就可以肯定在移动 1 庫仑的电荷时发电机所做的功是 230 焦耳。

从电源的电动势的涵义可以知道，电源力所做的功等于移

动的电量和电动势的相乘积，但是电荷从电场中的一点移到另一点时，增加的势能等于它的电量跟这两点间电压的乘积。在外电路断开时，电源力和电场力的大小是相等的。既然电源力移动电荷所做的功等于这些电荷增加的势能，那么，电源的电动势就一定等于电源两极间的电压。电源两极间的电压叫做路端电压，因此，在外电路断开时，电源的电动势等于它的路端电压。

当电路接通后，在外电路里就形成了电流。假使在电路中移动的是负电荷，那么，负电荷就将在外电路中由负极移到正极，在那里跟正电荷中和。这样，电源两极上的电荷就减少了，电源内部的电场也就减弱了，此时电源力胜过了电场力，电源力既然大于电场力，那么，电源力移动电荷所做的功就要大于电荷在电源内部所获得的势能。因此，在外电路接通后，电源的路端电压必定小于它的电动势。

7. 伏打电池的极化 如果我们在伏打电池上连接一个小灯泡，我们看到它发出的光会越来越暗，这说明通过灯泡的电流在很快地减弱。这种现象是怎样引起的呢？这是由于在使用伏打电池时，铜极处有氢气放出的缘故。这种现象引起了两种后果：第一，氢气泡的存在要减少电极的工作面积和增加电流通过的阻碍作用；第二，氢具有形成 H^+ 离子进入溶液的趋势，因此产生了一个新的电动势，它的方向跟电池的方向相反。这些现象叫做电池的极化。电池的极化要减小它的电动势，并增加它的内电阻，因而减少外电路中的电流。消除极化的方法是利用去极剂。常用的去极剂有二氧化锰和重铬酸钾等，它们会把正极上生成的氢气氧化成水；也可以用机械方法去掉电极上的氢气泡，如果我们把伏打电池中的铜极抖动几下，使气泡离开它而上升，我们又看到小灯泡亮了一些。

8. 电池的局部作用 伏打电池内所用的锌板，如果不纯洁

而含有鉄或碳等雜質，一經浸入酸內，就形成了許多小電池，鉄或碳就變成了正極，鋅是負極。有電流自鉄或碳到鋅，經過酸液回到原處，產生了局部電流，此時鋅板不斷耗蝕，變成了硫酸鋅。消除電池局部作用的方法是先把鋅板洗淨，再浸于水銀中成汞鋅合質，使汞鋅合質包圍鋅板表面，硫酸就不能跟雜質直接接觸，此等雜質將隨鋅的消耗而下沉，電池的局部作用就無從發生了。

9. 勒克朗謝電池

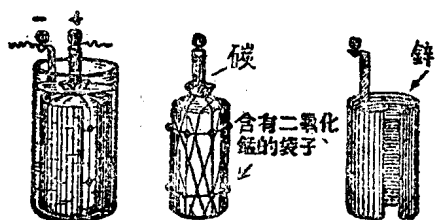


圖 2

中浸入了一塊鋅板（負極）一根碳棒（正極）和連接在一起的二氧化錳組成的。在電池使用時，鋅板跟氯化銨溶液發生化學反應變成氯化鋅 $ZnCl_2$ ，在正極上產生的

錳被二氧化錳氧化成水。這種電池的電動勢約 1.4 伏特。被廣泛應用着的干電池是根據勒克朗謝電池的原理製成的，實際上就是勒克朗謝電池的變相。在干電池中，用鋅板製成圓筒，作為電池的貯器，碳棒放在筒的中心，鋅筒的內壁糊塞着氯化銨、氯化鋅做成的糊狀物。在碳棒跟糊狀物的中間，裝着用氯化銨溶液噴濕過的二氧化錳和碳粉混合物，筒頂用瀝青封固，以防蒸發，只有碳棒和焊在鋅筒上的導片露在外面。這種電池使用久後也要發生極化現象，所以干電池只宜於斷續的工作，象手電筒、電鈴、電話等，一般都把幾節干電池連起來使用。

10. 蓄電池 上面所講的伏打電池和勒克朗謝電池，都是依靠鋅板和溶液的不斷消耗來供應電流的，電池用過一定時期後，就不能再用，必須另換新的電池，因此，這種電池也稱為原電

池或一次電池。蓄電池能把外面輸入的電能轉變為化學能，貯藏在電池里，在使用時再把化學能轉變為電能。前一個步驟叫做充電，後一個步驟叫做放電。如果處理和使用得當，蓄電池可以長期供應電流。由於它具有把電能跟化學能反復轉換的本領，也稱為二次電池或二次電池。最常用的蓄電池是鉛蓄電池(圖3)，它的

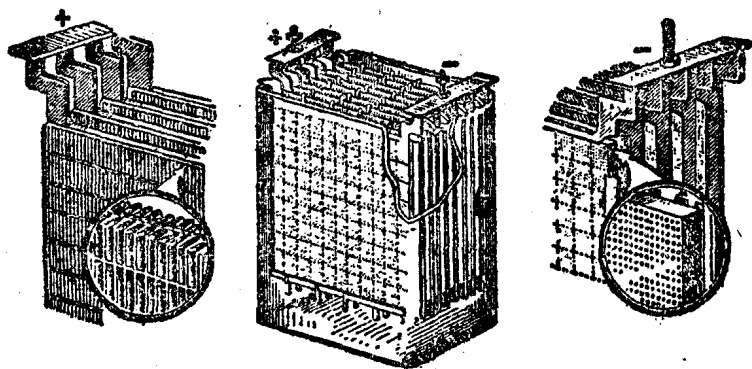
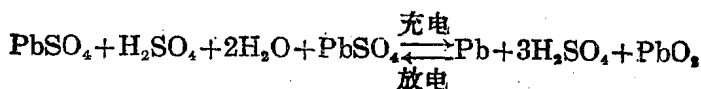


圖 3

負極是由海綿狀的純鉛板做成的，正極也是鉛板(實用上，常把鉛板製成格子狀來作蓄電池的極板)，上面塗滿了二氧化鉛。在放電過程中，兩塊極板之間都逐漸為硫酸鉛所蓋滿。在蓄電池充電時，兩極板又重新恢復了原來的成分。鉛蓄電池中的化學反應極為複雜，大体上可用下式作綜合的表示：



從方程式里可以看出，當電池充電後，溶液內硫酸的成分增加，放電時溶液內硫酸的成分逐漸減少。所以電池是否需要充電，能否繼續使用，主要由溶液的濃度來決定。充滿電能的鉛蓄