

高等学校交流讲义

內燃机电气設備

魏 勵 勇 編

只限学校內部使用



7023

中国工业出版社

序 言

专业教材會議以后，中央第一机械工业部教育局考虑到目前許多高等工业学校的內燃机专业設有“內燃机电气設備”課程，需要教材，委托我們將过去使用的讲义整理出版。当时我教研室教学任务繁重，出版時間又极紧迫，不能充分的进行整編工作，只能将这份讲义加以整理，作为內部交流讲义出版。

原讲义系魏勵勇同志根据 Ю. М. Галкин 著，程宏譯“汽車拖拉机的电气設備”一书，按照当时教学大綱的要求，予以适当删减与补充而編写的。曾于 1957 年作为我专业所開設的“內燃机电气設備”課程的讲义之用。1958 年以后，我校已将此課程内容分別并入“电工学”課程的有关章节之中，而未单開設課程讲授。所以此次是在 1957 年所編的讲义的基础上进行整理的。

本課程应当在学完“电工学”及“內燃机原理”以后进行讲授。讲义中叙述了內燃机所用一般电气設備的基本工作原理，它包括：蓄電池、发电机及其調整器、電池点火及磁电机点火系統、起動电动机及起動用附屬設備等内容。在分量上大体与 1959 年教育部頒发的內燃机专业指导性教育計劃所規定的学时数相适应。

由于整理時間紧迫，本讲义在内容上及編排上的缺陷是不少的。有关这方面的国内資料和国内外的新成就均未及編入，具体的設備結構也介紹的少了一些。这都是本讲义不足之处。使用作为教材时，希望根据各校具体情况和要求予以补充或删减。

我們热誠的欢迎对本讲义提出批評和意見。

天津大学內燃机教研室

1961 年 5 月

目 次

序言.....	3
---------	---

第一篇 电源

第一章 蓄電池.....	5
--------------	---

第二章 發電機.....	21
--------------	----

第二篇 点火

第三章 火花塞.....	36
--------------	----

第四章 点火理論.....	41
---------------	----

第五章 電池点火.....	47
---------------	----

第六章 磁电机点火.....	61
----------------	----

第三篇 用电装置

第七章 電力始动.....	72
---------------	----

参考文献.....	85
-----------	----

第一篇 电 源

第一章 蓄 电 池

§ 1 电池的物理基础

单极电位 如果将任何一种金属板作成电极，放入水中，或任一种酸、碱、盐溶液中，则在板与溶液之间都存有电位差。其值很小，约为1~2伏。

所以发生电位差之原因，根据聶恩斯特 (Nernst) 的理论认为：当金属放入溶液以后，金属内部发生一种溶解张力 P ，驱使金属分子脱离金属板而溶入溶液。这样，当每一个分子溶入溶液时，就将本身之电子留于金属板上，而以正离子的形态进入溶液之中。

因之在板与溶液之间，形成两层电荷——溶液中离子所形成的正电荷和金属内电子所形成之负电荷。由于这二层电荷之作用，生成电场，其方向由溶液到金属板。因之又生出一电场力 F 。只有当离子到达一定浓度之时，电场力 $F =$ 溶解张力 P ，金属就不会再溶解，如图1所示。

此时因为金属有一部分以正离子形式溶解于溶液中，所以带有负电位。因此液体对金属而言，有了正电位。

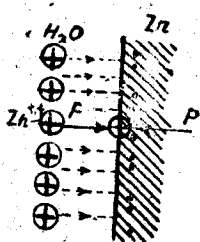


图1 金属放在水中时电位差的形成。离子用圆代表，电子用点代表。

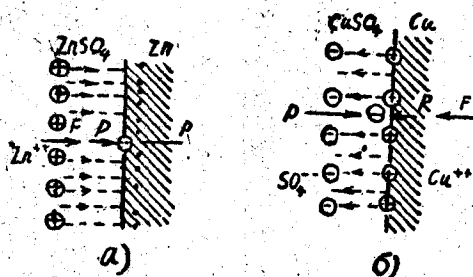


图2 将金属沉在同种金属的盐类溶液中时，电位的形成。离子用圆代表，电子用点代表。

如果金属浸入含有同样金属离子的溶液之中时，由于溶液中金属的离子带有一种渗透压力 p ，使金属离子不易溶解。因之，只有当 $P - p = F$ 时，金属才不会溶解。当然此时电位差要比没有金属离子为小，溶液中金属的离子愈多， p 愈大，电位就愈低，如图2所示。

某些金属（如铜）的溶解张力 P 极小，甚至小于本身离子的渗透压力 p ，因之如将此种金属浸入含有同样离子的溶液中时，将有离子析出在金属上，而金属带有正电位，直至 $p - P = F$ 时为止。

电池和蓄电池 由上所述，当有两个不同之电极浸入电解液之时，都对溶液产生电位差，而两电极之间的电位差即等于两个个别电极电位的代数差。当用导线相连时即会有电流通过。如果电极能与电解液发生化学作用，则由于化学作用所产生之化学能即以电能之，

形式放出，而得到电流，这种装置即称为电池。

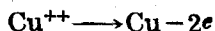
现以最简单之丹尼尔 (Daniel) 电池说明之，如图 3 所示。

将铜及锌分别浸入含有 CuSO_4 及 ZnSO_4 的溶液中，用半渗透性隔板隔开，以防二种溶液混合，但离子可以通过。

在负极 (锌极) 发生以下的作用，则得负电位。

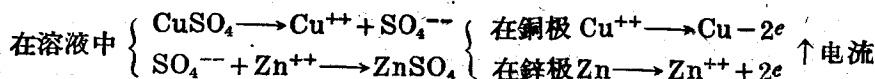


正极 (铜极) 发生以下的作用，得到正电位。



如果两极板之间没有导线连通则当 Cu^{++} 析出到一定程度和 Zn^{++} 溶入溶液到一定程度之时，作用即停止。

但当两电极间连以导线之时，则锌极上之电子即流向铜极，使铜极上之正电中和。因之两极之电场力 F 减弱，这样又有铜离子析出和锌离子溶解。在溶液中即发生下列作用，而发生电流。



由于化学平衡之故溶入溶液之离子 (Zn^{++}) 量必等析出的离子 (Cu^{++}) 量。结果在电极表面的平均离子数保持一定。但是 ZnSO_4 的浓度将增加，而 CuSO_4 之浓度将减少。也即是 Zn 溶解而 Cu 析出。这种电池将一直供应电流至锌极全部溶解，或 CuSO_4 溶液耗尽为止。

图 3 中同时表示有丹尼尔电池之电位分布图。对溶液而言，铜极有正电位 u_1 ，锌极有负电位 $-u_2$ ，则电池之电动势即为：

$$E = u_1 - (-u_2) = u_1 + u_2$$

通常所用电池的电化学过程比较复杂，而且往往是两个电极之电位符号相同，不过数值不同。其电动势为：

$$E = u_1 - u_2 \quad (u_1 > u_2)。$$

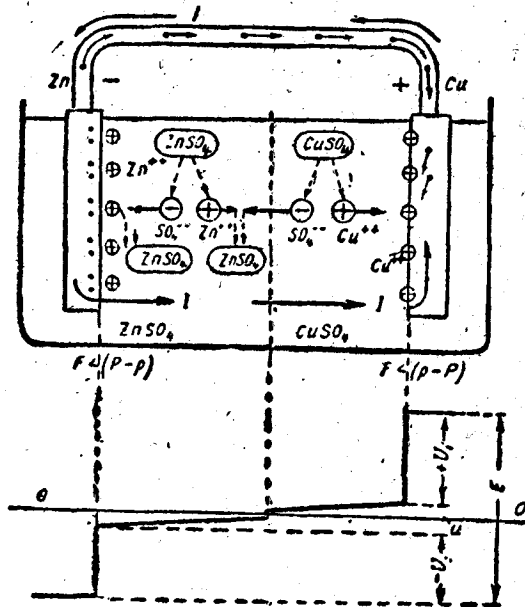


图 3 丹尼尔电池放电时的工作情形简图。离子和电子的运动方向是用实线箭头表示，化学反应作用是用虚线箭头表示。

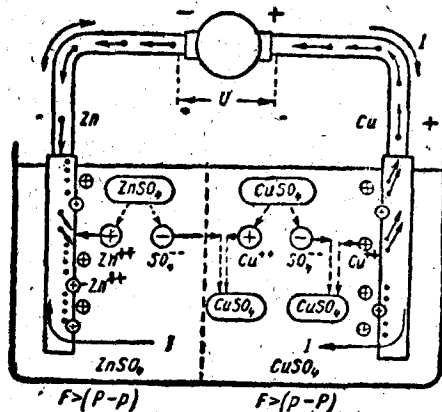


图 4 丹尼尔电池的不可逆性 (充电时的工作情形简图)。

电池中反应的结果，溶液中形成新的物质 (ZnSO_4) 沉淀出来，而同时消耗了原有物质 (Zn 和 CuSO_4)。这样，如果使它恢复工作时必须不断的补充消耗了的物质 (Zn 及 CuSO_4)。如果在化学反应过程是可逆的情况下，用电流反方向通过电池，则可使工作以后的（放电后的）电池恢复，这个过程称为充电。

凡是可逆的电池即称为蓄电池。丹尼尔电池是可逆的，可以作为蓄电池用。

图 4 表示丹尼尔电池充电时的工作情况，可自行分析不再叙述。但须注意此时发电机电压 ν 要较高于电池之电动势 E 。

$$\nu > E$$

在工业上应用之蓄电池主要要求为：

- (1) 高的电动势。
- (2) 尺寸和重量较小。
- (3) 效率高，自行放电少。
- (4) 价廉，使用寿命长。

最普通的有两种：酸性蓄电池（铅蓄电池）和碱性蓄电池。在内燃机应用的电池中又以前者较为普遍。

铅蓄电池正极板用二氧化铅 PbO_2 ，负极板用海绵状铅 Pb ，电解液用硫酸 H_2SO_4 。其电动势 E 约为 2 伏。重量为每蓄能 1 瓩小时，需 40 公斤。

碱蓄电池正极用氢氧化镍 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ，负极用铁 Fe （爱迪生电池）或镉 Cd （容克勒尔电池），电解液用苛性钾 KOH 。其电动势约为 1.25 伏，重量为每蓄能 1 瓩小时需 40 公斤。

§2 铅蓄电池中的化学过程

铅电池是在 1860 年由法国科学院院士勃兰特 (Gaston Planté) 发明，最初是应用沉于硫酸溶液中的两块平铅板组成，并加以多次充电和放电将正极板转变为二氧化铅 PbO_2 ，负极板形成海绵状的铅 Pb （这些我们称之为活性物质）。由于电池的容量随活性物质的量而变，为了提高电池容量，必须增加极板与电解液之间的接触面积，因之改用肋骨形铅板。这类极板称为表面型极板。但用这种极板之蓄电池体积重量都较大，通常只用于固定式电池中。

在移动用的蓄电池中希望容量尽可能大而体积重量都要小，因之应用栅架型极板，也称为涂敷极板。用铅作成栅架，栅架中敷有活性物质。活性物质在正极版用密陀僧（一氧化铅 PbO ）和红丹（四氧化三铅 Pb_3O_4 ）。负极板用密陀僧，并加有膨胀剂，均用硫酸调和，敷于栅架内。晾干后并通电使之形成二氧化铅及海绵状的铅。膨胀剂一般为中性物质，如炭粉，黑铅，烟煤等。加膨胀剂的目的是防止负极上海棉状的铅收缩和硬化，这样可以使电池容量加大。

铅蓄电池的化学反应过程迄今尚未有肯定的解释。目前一般公认的是双硫化理论。

双硫化理论 活性物质在完全充电的蓄电池中，正极板是二氧化铅 PbO_2 ，负极板是纯海绵状铅 Pb 。当放电时，活性材料都转变为硫酸铅 PbSO_4 。放电和充电时所发生的化学反应如下：

蓄 电 池 情 况	正 极 板	电 解 液	负 极 板
完全充电 放电 完全放电 充电	PbO_2 二氧化铅 PbSO_4 硫酸铅	$2\text{H}_2\text{SO}_4$ 硫酸 $2\text{H}_2\text{O}$ 水	Pb 海绵状铅 PbSO_4 硫酸铅

由此可见，当放电时，电解液中的硫酸消失而变成水，因此电解液的比重减小。当充电时，相反，水消失而析出硫酸，电解液的比重增加。这种充电和放电时由于电解液比重的变化，可以在使用时用来测量电池放电的程度。

在蓄电池中所发生的化学过程研究得还不够完全。在各种离子反应理论之间，关于正极板处的反应过程，是有些差别的。

根据费耳斯切的双硫化理论，化学反应是如下述情况发生的（图5）。

在正极板处，有很少量的二氧化铅溶解，与硫酸作用而形成四价铅的硫酸盐 $\text{Pb}(\text{SO}_4)_2$ 。这硫酸盐又分解为离子 Pb^{++++} 和 2SO_4^{--} ，负极板分离出两价铅离子 Pb^{++} 进入溶液。如果外部线路是断开的，则这些过程到此停止。

因为四价铅离子 Pb^{++++} 沉附于极板上，因之有正电位。而二价铅离子 Pb^{++} 进入电解液，而将电子留于极板上，使极板带有负电位。

在工业电池所用电解液的浓度下，极板的电位大约等于——正极板 +2.0V 负极板 -0.1V。这使得电动势约为：

$$E = 2.0 - (-0.1) = 2.1 \text{ V}$$

如果现在将蓄电池的极板连接，则蓄电池的电动势使线路内产生电流，其方向如图5中实线箭头所示。在实际上，集在负极板上的多余电子将沿外部线路流至正极板，在那里与四价离子 Pb^{++++} 结合，将其转变为两价离子 Pb^{++} 而进入电解液。而在电解液中也发生有一定的重新形成的离子运动，正离子——向左，负离子——向右。在两极处，离子 Pb^{++} 将与离子 SO_4^{--} 结合而形成 PbSO_4 。立刻由电解液析出而沉附在相当的极板上。而在电解液中，将只发生硫酸分子 H_2SO_4 的分解和离子 SO_4^{--} 与溶液中已有离子〔由于 $\text{Pb}(\text{SO}_4)_2$ 的分解〕的交换。这种过程理论上是将继续到所有极板的活性材料完全转变为硫酸铅 PbSO_4 为止。此后蓄电池的两极板成为相同的材料 PbSO_4 ，因而蓄电池的电动势降到零。

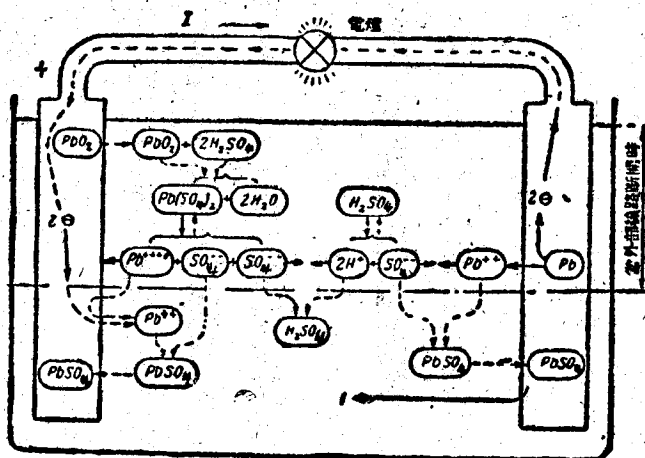


图5 蓄电池放电时的化学过程的简图（根据费耳斯切）。离子运动方向用实线箭头表示，化学反应作用是用虚线箭头表示。

实际上不可能使电池放电到这种程度，因为电解液体达不到活性材料的内层，所以活性

材料的内层实际上没有被利用。此外，过度放电要损害蓄电池，因此在技术上在所谓放电完了的蓄电池中，其极板上的活性材料只有20~30%转变为硫酸铅。

因为在蓄电池放电时，电解液的浓度改变，因而蓄电池的电动势也有些改变。

充电时的化学过程是以相反的次序进行。这时蓄电池的电极上接有电源（图6）其电压 U 高于蓄电池的电动势，于是电流 I 将以相反的方向（与图6比较）通过蓄电池。这时必须使电源的正极接于蓄电池的正极，而电源的负极接于蓄电池的负极。

电源将电子由正电极转送到负电极，提高两个电极电位的绝对值，这时离子的运动方向将改变。离子 Pb^{++} 将沉附于电极。而相反地，离子 Pb^{++++} 将进入电解液。其他离子在电液中的运动也将改变为在相反的地方。因此，由于溶解于电解液中的 $PbSO_4$ 分解所产生的离子 Pb^{++} ，沉附于正电极， Pb^{++} 将在正电极上放出两个电子，转变为四价离子 Pb^{++++} ，再回入溶液。而在负电极处的 Pb^{++} 将与由外部线路而来的两个电子结合，转变为中性的金属铅原子 Pb 。四价离子 Pb^{++++} 又与由于 $PbSO_4$ 和硫酸分解而产生的离子 SO_4^{--} 结合，而形成 $Pb(SO_4)_2$ 分子；这个分子与水发生反应，给出 PbO_2 分子和两个分子的硫酸， PbO_2 分子沉附于正电极，硫酸溶入水。因之，在电液中，又只是发生分解和离子的交换。

由于放电时在正电极板的孔隙中有部分硫酸为水所代替，而在充电时，水消失而析出硫酸。所以必须保证在靠近正电极板处的电解液循环优良，因此隔板在靠近正电极板的一面制有凹沟。

§3 铅蓄电池的特性

铅蓄电池的电动势 理论和实验都证明，在休息状况下铅蓄电池的电动势，差不多不受极板放电程度的影响，而随电解液浓度的变化而不同。

休息的铅蓄电池的电动势可以按下式计算，所得结果在实际上已足够精确：

$$E_0 = 0.84 + \gamma$$

式中 γ ——在15°C时的电解液比重。

就起动蓄电池而言，其电解液比重变化在1.15~1.30之间，休息时的电动势将对应地变化在1.99~2.14V之间。

放电特性和充电特性 要得到放电特性，可以取一个完全充电的电池，使之以一定强度的电流放电；而在放电过程中测量端电压 U ，和电解液比重 γ 。用这种方法所得的曲线（图7）表示出；每个电池开始放电时的电压约为2.1V，然后电压迅速降到2V左右，此

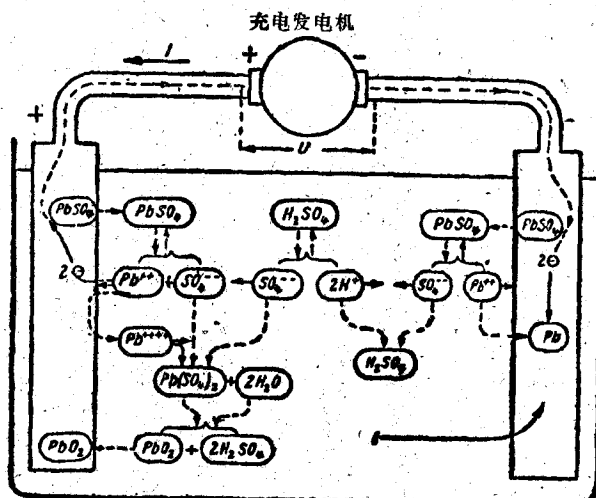


图6 蓄电池充电时的化学过程的简图（根据费耳斯切），离子运动方向用实线箭头表示，化学反应作用是用虚线箭头表示。

后就差不多保持一定，只是随着放电的程度而缓慢降下。在接近放电終了时，即接近蓄电池消耗完了时，电压开始较迅速的降下。如果不停止放电，则电压骤然降下，迅速地降到零。确定放电的物理限度并不存在，可是过度的放电（差不多到零）对蓄电池有害。此外，也没有必要使蓄电池过度放电。因为用电的装置只有在正常电压下才可以正常工作。因此当蓄电池电压变为不稳定而开始迅速降下时，即停止放电。

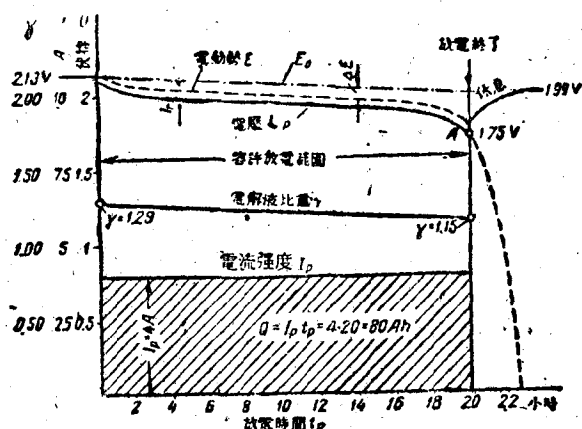


图7 蓄电池的放电特性。

而终止放电电压（蓄电池必须停止放电时的电压，即图7上的点A—1.75V）的点取 v_p 曲线弯曲的地方。于是放电的允许范围限制于点A，因为在A点以后，只能由蓄电池得到很少量的能。

在放电容许范围以内由蓄电池得到的电量称为放电容量或蓄电池的容量。蓄电池的容量是用放电电流强度与放电时间的乘积来度量。就是：

$$Q = I_p t_p$$

因为库伦（安培-秒）这单位太小所以通常用安培-小时表示容量（1安培小时=3600库伦）。

在我们的例子中（图7），蓄电池的容量等于：

$$Q = 4 \times 20 = 80 \text{ 安培-小时 (Ah)}$$

用有阴影线的面积表示。

当放电电流强度一定时，由于放电化学反应使单位时间之内被水所代替的硫酸量是相同的，因此电解液的比重将随着放电的程度而按直线变化规律减小。在例子中，放电开始时的电解液比重取为 $\gamma = 1.29$ ，这是起动蓄电池通常所有的值。

到放电末了，（图7上点A），电解液的比重减到某一最小值——在例子中是到 $\gamma = 1.15$ 。这个数值随蓄电池的构造，型式和电解液的初浓度而不同。就任何一种型式的电池而言，知道电解液比重的变化范围，就可以用比重计测量电解液的比重，来精确的决定蓄电池的放电程度。

于是，决定放电終了的特征是：

（1）电压降到限界值（每单格电池1.75V^①）。

（2）电解液比重降到最小限度（就苏联的起动蓄电池而言，到 $\gamma = 1.15$ ）。

充电特性是用同样的方式求得（图8）。在一定电流强度充电的过程中，加于蓄电池的电压 v_c 按相反的次序变化，但保持高于放电时的电压，数值约为2.2V，接近充电終了时，电压迅速升高到2.65-2.7V（图8上的点B），不再行上升。电解液的比重也按相反的次序

① 相当于20小时放电情况下。

序增大，到充电終了时达到起初的比重 $\gamma = 1.29$ ，不再行增加。

曲线在B点的转折，表示充电作用完全终止。在蓄电池充电的期间，蓄电池的极板上发生有化学反应，将极板的活性材料恢复到原来的状况。同时水消失而产生出硫酸，因此电解液的比重增大。当充电終了时，极板的所有活性物质都恢复到原来的状况，化学反应也停止，因此蓄电池的电压和电解液的比重不再增加。继续通过电流只引起水的分解成为氢气和氧气，形成气泡激烈放出，这种放出气泡的现象称为蓄电池的“沸腾”。

在充电終了（点B）以后，如还以电流通过蓄电池，称为蓄电池的过充电，是有害无益的。在蓄电池中，只在B点以前加入蓄电池的电量（图8上有阴影的部分），才引起活性材料的化学转变，其余是无益的损失。不过在实际上，为了确信充电終了和电压与电解液比重不再增加，在继续以小电流充电二小时以后才隔断电流。

于是，充电終了的特征可以认为是下列的现象：

- (1) 蓄电池的电压达到最大值而不再增加；
- (2) 电解液的比重达到最大值而不再增加；
- (3) 激烈的放出气泡（蓄电池“沸腾”）。

蓄电池的端电压，在放电时等于：

$$v_p = E - IY$$

在充电时，等于

$$v_o = E + IY。$$

式中 v —— 蓄电池的端电压；
 E —— 蓄电池的电动势；
 I —— 电流强度；
 Y —— 内部电阻。

但是充电电压（平均2.2V）与放电电压（约2V）之间存在的差别不能只用蓄电池内部电阻的压力降（ IY ）来解释。因为内部阻力 Y 的值很小，所引起电压的损失不超过百分之几伏特。因此，充电电压与放电电压之间有大差别，其主要原因在于蓄电池电动势的改变。

图7和8上（虚线）示有蓄电池在充电和放电时的电动势 E 的曲线，与蓄电池端电压相差 IY 值。

蓄电池电动势的改变，主要是因为电解液渗入极板内部的作用比较缓慢，而引起活性材料孔隙中电解液浓度的增加或减稀，从而影响了电池的电动势。

电解液能渗透多孔性的极板，当蓄电池长期静止时，电解液在各处的浓度都调整均匀，在极板的孔隙内和极板的四周（容器内）都有同样的浓度。因此，“静止的电动势” E_o 将按下式与电解液的比重相应：

$$E_o = 0.84 + \gamma$$

图7和8上示有静止电动势 E_o 是用有点划线表示，就完全充电的蓄电池而言，当电解液比重 $\gamma = 1.29$ 时静止电动势等于2.13V（图7）。

在使蓄电池开始放电的瞬间，因为在蓄电池内部阻力的作用，而端电压立时降低 IY 值。在放电时，由于硫酸消失和水的产生，以致极板孔隙中的电解液浓度减小，因此蓄电

池的电动势 E (图 7 上的虚线), 及蓄电池的电压 v_p , 继续圆滑地下降。在极板孔隙内的电解液与容器内电解液之间所形成浓度差, 而使新电解液渗入极板孔隙。当新电解液的渗入极板之量能补偿因放电化学反应而减少的硫酸量时, 极板孔隙内的电解液浓度就不再减小, 蓄电池的电动势 E 将保持稳定。再继续放电时, 蓄电池的电动势 E 将因容器内电解液共同的浓度减小而稍有降下, 这时曲线 E 和 v_p 与直线 E 将和 γ 平行的变化。这样, 在全部放电过程中, 极板孔隙中的电解液浓度将保持比容器中的电解液浓度稍小, 因而使蓄电池的电动势 E 比静止时的电动势 E_0 小 ΔE 值。

电解液最容易达到活性材料的表面层, 所以表面层最先发生化学转变, 然后化学反应才扩展到极板较深的内层。因此随着放电时期的加长, 电解液所须穿进极板活性材料层的深度也要增加。同时, 放电时的极板活性材料的转变是由外层开始, 而转变成的硫酸铅 $PbSO_4$ 比原来的化合物 (PbO_2 和 Pb) 所占体积较大, 硫酸铅析出在孔隙的内面, 因而缩小孔隙的断面积。这两种情况都使电解液渗入极板减慢。到放电终了时极板孔隙内电解液的浓度重新开始降下, 而蓄电池的电动势也随之降下。最后, 由于电解液的渗入极板非常困难, 以致极板孔隙内硫酸的减少已经不能得到补偿, 虽然这时有一大部分极板中心的活性材料还没有利用, 但蓄电池的电动势已开始迅速降下, 蓄电池的电压也随之迅速降下, 两者都趋于零。所得电压曲线的转弯 (图 7 上的 A) 表示放电的终了。

如果将放电后的蓄电池的外路隔断, 则蓄电池的电压立时升到电动势的值, 就是增加 I_r 值 (图 7)。然后由于渗透作用, 使极板孔隙中电解液与容器中电解液的浓度相同, 因而蓄电池的电动势将圆滑地上升, 到容器内电解液浓度相应的静止电动势的值 E_0 为止。例子中就是升到 $1.99V$ 。这种在放电后的蓄电池中的电动势恢复现象称为蓄电池的“休息”。

当蓄电池充电时, 发生与上相似的变化。只是现在因为放出硫酸使极板孔隙中的电解液浓度保持大于容器中的电解液浓度, 这使得电动势相应的增加 ΔE 值。当孔隙内析出的硫酸量与渗透作用传走的硫酸量平衡的时候, 蓄电池的电动势差不多保持一定, 只是随着容器内电解液浓度的共同加大而稍有增加。当蓄电池差不多完全充电的时候, 由于水的分解而析出于极板上的氢气和氧气引起的电动势迅速增高, 因而电压也迅速增高。这个现象可用来做为接近充电终了的象征。

在充电终了以后令其休息时, 蓄电池的电压降低。经过一段时间之后, 因为极板内部电解液的浓度与容器内电解液的浓度逐渐趋于平衡。而达到相当于此时电解液浓度的静止电动势 E_0 。

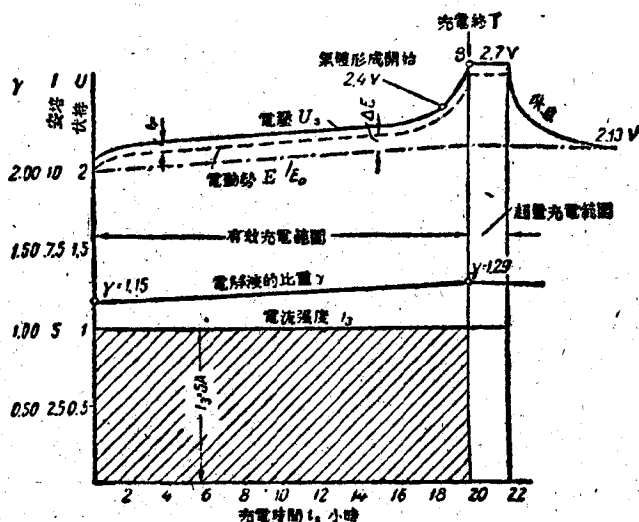
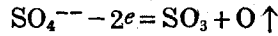
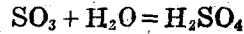


图 8 蓄电池的充电特性。

充电終了时发生的化学变化过程和此时的电压升高是由于这时所有的硫酸铅(PbSO_4)都分解并转变为 PbO_2 和 Pb (图6)。而在电解液中由于硫酸 H_2SO_4 的分解而得到 2H^+ 和 SO_4^{--} 离子。离子 SO_4^{--} 达到正极板, 在那里放出两个电子而发生下列作用:



氧以气体状态由电解液放出, 而 SO_3 与水发生反应, 重新形成硫酸。



离子 H^+ 移向负极板, 在达到负极板之后, 与一个电子结合而转变为气态的氢。以气泡形式由电解液放出。



因为离子 H^+ 的放电 (就是与电子结合) 是个颇为缓慢的过程, 于是在负极板处积存有多量的正离子 H^+ , 使得在溶液与极板之间产生有附加的 (约 0.33V) 电位差 (所谓超电势)。这个电位差使充电終了之际当电压为 2.4V 时开始有电压升高 (图8) 并有可察觉的气泡发生 (“沸腾”) 即是放出氢气。电压再高时, 气体的形成加强, 只要有电流通过蓄电池总是继续有气体形成。

蓄电池放电特性与电流强度的关系。 放电时的电压和蓄电池的容量随放电电流的大小变化很大。放电电流愈大, 则单位时间发生反应的活性物质质量愈大, 由电解液的渗透作用送进极板孔隙的硫酸量也要求愈大。但渗透速率要随孔隙内电解液浓度与极板四周电解液浓度的差别而定。因此在大的电流放电时, 孔隙内的电解液与极板四周的电解液间的浓度差要大。所以放电电流愈大, 极板孔隙内的电解液浓度将保持得愈小。而在放电过程中蓄电池发生的电动势将也愈小。

在图9中给出了一个起动车电池的放电特性。由曲线可知, 放电电流强度愈大 (或放电时间愈短), 则在全部放电过程中蓄电池发出的电压愈小。电压的减小差不多完全是由于上述蓄电池电动势的减少所致。当然, 强电流放电时, 由内阻引起之电压降 IR 也要加大但只占电压减少的一小部分。

由图9可知, 放电电流增大, 则放电特性弯曲处的电压较低。在弯曲以后的电压不稳定。因此放电电流愈增大则放电終了电压值愈小。

就苏联生产的起动车电池而言, 放电終了电压 (在放电电流之下测量) 示于表1。

当用强度大的电流放电时, 除去电动势降低以外, 蓄电池的容量也减少很多, 如图10所示。事实上, 随着放电程度的增加, 新电解液穿入极板的深度也要增加, 使得渗透作用

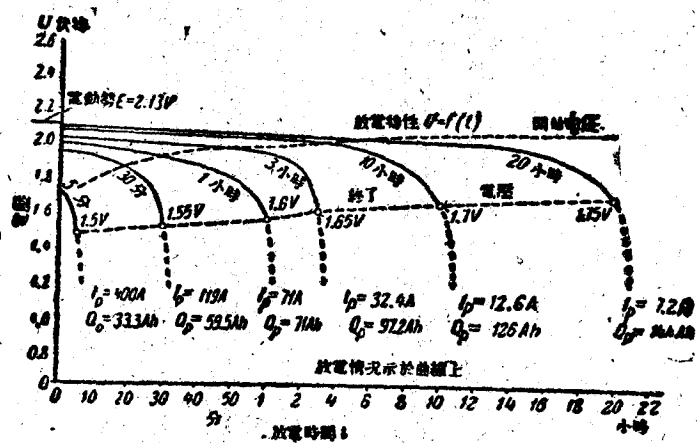


图9 薩拉托夫 (Саратов) 工厂的 CT9-144 型蓄电池在不同的放电情况下的放电特性 (第一小时的时间尺标放大了, 而 10 小时以后的时间尺标缩小了)。因为起动车电池具有多孔性的极板, 所以在放电开始时就迅速达到稳定的电动势值 (在以图中的尺标表示时看不出来)。

也愈困难。最后达到这样的地步，就是在任何电解液浓度的差别下，都不能供给必要的硫酸量，此时即决定放电的終了。而新电解液穿入极板的深度决定发生反应的活性材料量，也就是决定蓄电池的有效容量。在放电特性曲线突然弯下的地方即是达到这种临界状态之点，而放电終了时的电压就取此时的电压。

表1 放电終了电压值

放 电 情 况	20小时	10小时	3小时	1小时	30分	5分
每个电池的終了电压V	1.75	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50①

① 根据ГОСТ 959-41，在5分钟放电时的終了电压平均为1.5V，就是6——伏特电压组而言为4.5V，

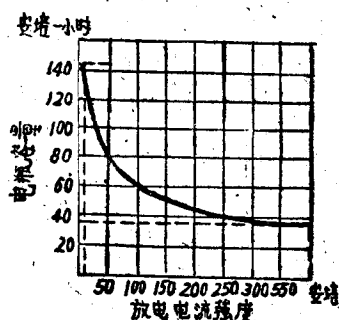


图10 蓄电池容量随放电电流强度而变的关系。

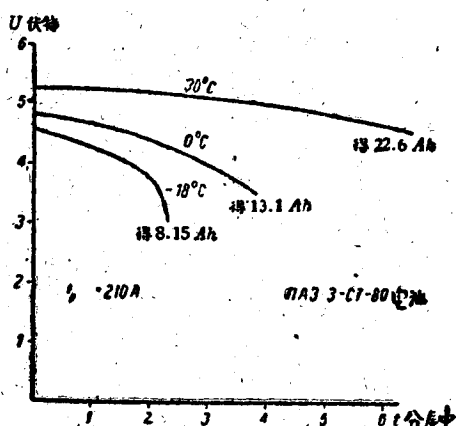


图11 柏多利 (Пдоль) 工厂的 3-CT-80 型容量为 80Ah 的 6 伏特起动机电池在温度不同的时候放电特性；放电电流为 210A，得 22.6Ah。

放电电流愈大，则单位时间内由于电解液渗透作用送入极板的硫酸量应当愈大。因此放电电流增大时，则达到上述临界情况将较早，而新电解液穿入极板的深度较小。所以当放电较强时，蓄电池活性物质被利用的部分将较小，而蓄电池将给出较少的电量。例如在以 5 分钟放电情况的电流放电时，只有活性材料表面厚度约 0.1 毫米的薄层遭受化学转变，图 9 所示是在不同情况下蓄电池所给出电量的数字。由这些数值可知，当 5 分钟放电时蓄电池所给出的电量，只是该蓄电池当 20—小时放电时所给出的电量的 23%。但必须特别指出，图 9 是连续放电时的特性，这时的容量减少只是表面的现象，在放电“休息”的时候蓄电池将给出较多的电量。因为在放电间歇的期间，新电解液得以更穿入极板的内层。

蓄电池的放电特性与温度的关系 当温度降低时，电解液的粘度增加，电解液渗入极板减慢，因此温度的降低使蓄电池的电动势和蓄电池的容量减少，正像放电电流增强时一样。此外，随着温度的降低，电解液的电阻增高，因此克服蓄电池内部电阻的电压损失 IR 也增加。当蓄电池以强电流放电的时候，温度降低对放电特性的影响尤其大。如图 11 所示。

可以近似的认为，每相差摄氏一度的电容量改变为：在缓慢放电时约 1%，在迅速放电时达 2% 或更大。当温度升高时，蓄电池的容量相应地增加，但是过高的温度（高于 45°C）将使木质隔板迅速破坏，温度更高时，极板也将损伤。温度对蓄电池特性的影响特

別在冬季用起动机起动车时表现得最强。

电解液浓度对蓄电池容量的影响 比放电情况和温度的影响小，蓄电池的容量在某一最有利的浓度时达到最大，就不同的放电情况而言其值不同，最有利的电解液浓度近似地等于：在缓慢放电时 $\gamma = 1.20$ ，在迅速放电时 $\gamma = 1.32$ 。

于是，增加蓄电池中电解液的浓度（起动车蓄电池的正常浓度 $\gamma = 1.29$ ）可以稍行提高蓄电池的容量。

极板的构造 在蓄电池迅速放电时，由于电解液渗入极板缓慢而引起蓄电池电动势和容量降低。所以当用较薄的和多孔性较好的极板使渗透容易时，电动势和容量的降低将比较少。就起动车蓄电池而言，在以数百安培的电流放电时，本身电动势和容量的降低应当尽可能少，因此起动车蓄电池用薄的（2~4毫米）极板。又因为活性材料的多孔性对于电解液的渗透作用有很大的影响，因而对蓄电池的电特性影响很大，所以在制造极板时必须设法获得多孔性尽可能高的活性物质。

间歇放电 直到现在所述的所有特性都是属于连续放电下的特性，这种情况在应用时是遇不到的。如果放电是有间歇的，则在间歇的期间蓄电池将“休息”。就是电解液将穿入极板的内层，蓄电池的电动势将有些恢复，结果比连续放电时有更多的极板活性材料被利用，电容量也有某些增加。但这方面的研究工作还不完善。

§4 铅蓄电池的自行放电和硫化

自行放电就是完全正常充电的蓄电池在长期放置的情况下逐渐失去电量。即使在蓄电池完全没有被利用的情况下，也会放电。

就起动车蓄电池而言，正常的自行放电的速率，每天达本身容量的1~2%。也就是一个充满电的蓄电池，在放置50~100天之后，可以完全放电。因此当充有电的蓄电池长期不用时，至少必须每月将其补充充电一次，不然蓄电池将放电而变废。如果蓄电池是放置在寒冷的情况下就要冻冰，如果是在夏天或者是在热的地方，就要硫化。

自行放电的原因 自行放电的原因之一是由于用来制造蓄电池的材料不够纯净，例如制造蓄电池极板栅架的铅含有一些杂质。假设在负极极板中含有杂质颗粒，例如是铜（图12），则就有两种不同的金属与电解液接触，而形成一小电池。这样形成的小电池，本身线路闭合，其中铜将是电池的正极，而铅是负极。因此在这个地方产生寄生电流，循环情形是由铜经金属到铅，再沿液体回到铜，这样会使负极板放电，使得负极板的海绵状铅转变成 $PbSO_4$ 。即是在含有杂质的地方产生有“局部的”小电池，并循环有寄生电流。这些电流不能利用，但是使蓄电池放电。

就负极板而言，比铅的电位高的金属杂质（Pt, Ag, Fe, Cu等等）也就是对于铅持有正电位的金属杂质是有害的。在这种情况下，寄生电流会使负极板放电。就正极板而言，有机化合物等等是有害的杂质。有两种氧化状态的金属，例如铁和锰以及氯，对两个极板都有害。如果蓄电池极板含有杂质愈多，则蓄电池的自行放电愈多。

除去杂质以外，正极板的活性材料本身（ PbO_2 ）与自己的栅架的

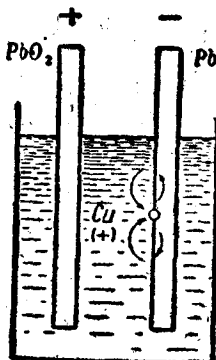


图12 在蓄电池中形成局部组合对的简图。

金屬 (Pb) 也构成小電池引起自行放電。此外, 当蓄電池長久放置時, 比較重的硫酸下沉, 因而極板的下部是在濃度較大的電解液中, 在下部發生的電動勢大于上部的電動勢。于是又產生局部的平衡電流, 在蓄電池內部成回路, 称为“濃淡電池”。最后, 为了使柵架強度增大而在鑄造柵架時加入鉛中的銻 (6 % 左右), 也增加自行放電作用。

自行放電的防止 为了减少自行放電并保存蓄電池, 所有用来制造蓄電池的材料应当尽可能純淨。而在应用中加水、加電解液、配電解液等等時, 必須保持严格的清潔, 以免将外界雜質帶入蓄電池。

例如用来制造蓄電池的鉛中所包雜質应当:

Zn 和 Cu	不超过0.001 %
Fe	不超过0.002 %
Ag	不超过0.0005 %
C, Ni, Sn, Cd, AS, Mn	微量, 就是不超过0.0002 %
Au, Pt	沒有, 就是不超过0.00001 %

制取電解液只許用蒸餾水。

为了避免染污電解液, 在配電解液的時候, 只可在玻璃的、硬橡皮的或鉛制的容器中配制。攪拌電解液時, 只能用玻璃棒或潔淨的干木棍等等。除鉛以外, 在任何情況下都不能用其他金屬制的容器、杓子或攪棒。为了避免燒傷, 应当永远是把硫酸倒進水, 而不是把水倒進硫酸 (危險)。

蓄電池因蒸發及充電而“沸騰”時, 只有水蒸發掉, 而硫酸仍保存在溶液中。因此在使用中将蓄電池加滿的時候, 只能用蒸餾水。在特殊情況下, 可以应用天然水, 這時必須考虑用雨水或者雪水, 然后才考虑用河水, 否則就会使電解液被各種的雜質染污。在充電時, 這些雜質沉附于極板, 使蓄電池的自行放電增加很多, 这样染污了的蓄電池不能保存電量, 甚至在几天或几小時的過程中, 就将存電迅速放出。即使当電流隔斷時, 也就是当蓄電池休息時, 也不斷地有氣體放出 (“沸騰”) 就是蓄電池被外界雜質染污的征候。

染污了的并且在自行放電的蓄電池, 可以用下述方法修正; 使蓄電池完全放電, 甚至超过正常情形的放電 (以使附在極板上的雜質進入電解液), 然后将電解液傾出, 并用淨水将蓄電池仔細沖洗, 再用新電解液充入蓄電池, 然后充電。

由于蓄電池外部電路接頭 (電極) 之間的絕緣不良, 例如在蓄電池表面有污垢或者存有水或電解液的時候, 也可使自行放電增加很多。因此在所有的蓄電池的保養資料中, 都指出要仔細清潔并擦干蓄電池的表面和蓄電池的接頭, 使蓄電池蓋子和封口料的表面永远清潔, 而且干燥。

硫化 如果蓄電池在放完電或充電不滿的情況下長期放置, 則蓄電池的極板上逐漸附有一層白色的結晶的硫酸鉛 $PbSO_4$ 。這層硫酸鉛導電不良, 而且將孔隙堵塞, 使電解液的滲入極板困難得多。因為析出在極板上的結晶的硫酸鉛几乎不溶解于電解液, 所以在將蓄電池充電時, 這些白色的粗 $PbSO_4$ 結晶并不消失。這種現象称为硫化, 是蓄電池不能繼續工作的主要原因之一。

硫化了的蓄電池內部阻力加大并且容量减少, 因此蓄電池迅速地就放完電, 并且电压較低, 当接于起动机時, 由于蓄電池的端电压降低, 以致起动机轉動力减弱甚至根本轉不

动发动机，当蓄电池硫化厉害的时候，就完全不能工作。

硫化的原因 硫化的主要原因是极板活性物质中硫酸铅 PbSO_4 的再结晶。当正常放电时，极板活性物质中形成有微细的结晶 PbSO_4 ，这些极小的结晶浸在电解液中并且与活性物质的颗粒混在一起，导电性良好，因而蓄电池的内部阻力增加不多。所以在将放电情形正常的蓄电池充电时，所形成的微细结晶状的硫酸铅能完全消失。如果蓄电池在半放电的状态长期放置，则在极板上形成的 PbSO_4 有一部分溶解进入电解液，直到饱和为止。当温度变化时，则有时有新的 PbSO_4 进入溶液（当温度升高时），有时相反地有 PbSO_4 由溶液析出而沉附于极板上（当温度降低时），成为粗大的结晶。因为粗大的结晶比细小的结晶溶解慢，所以这种再结晶过程继续下去，就使蓄电池的极板上复有连续的，导电不良的并且总是在加厚的 PbSO_4 粗结晶层。这结晶层会使极板与电解液绝缘。

极板上的 PbSO_4 愈多（就是蓄电池放电愈多），和 PbSO_4 在电解液中的溶解度愈大，则这个再结晶过程愈迅速。当电解液比重在 $\gamma = 1.10$ 以上，比重增加则 PbSO_4 的溶解度也增加。

于是，硫化是在蓄电池中永远发生的经常不断的过程。不过硫化的速率随蓄电池的接近完全放电而迅速增大。实际上，硫化多发生在蓄电池以放完电的状态（或者即使是以半放电的状态）长期不用的时候，以及在时常过量放电的时候（低于终止电压）。此外，下列的因素可促进硫化。

- (1) 外界温度的变化；
- (2) 电解液浓度增大；
- (3) 电解液被外界杂质染污。

因为硫酸盐的沉附于极板是须要某一定时间的过程，所以对蓄电池而言，长时期以半放电情况的放置是比迅速放电到近于零有害的很多。在后一种情形下如果将蓄电池立时充电，则硫化将完全避免。因此，使用规则要求放电到正常限度的蓄电池必须在 24 小时之内充电。

防止硫化的最好方法是永远保持蓄电池在充电的状态。

实际应用中时常发生只在极板上部硫化的现象，在极板上部硫化的部分和下面正常部分之间有鲜明的界限，这种硫化现象是由于容器中电解液液面过低而将极板的上部露出液面，与空气中的氧气接触而硫化，因此蓄电池的极板应当永远被电解液所淹没。

通常使电解液液面永远高于极板上缘 10~15 毫米，是保养蓄电池的重要规则之一。

硫化了的蓄电池的修正 用低充电电流和浓度小的电解液长期对蓄电池充电，可以消除中等程度的硫化。这时将蓄电池充以纯净蒸馏水或弱的硫酸溶液（ $\gamma = 1.040 \sim 1.060$ ），并以比正常充电电流小一半的电流充电。如果在充电期间电解液温度升 45° ，则必须停止充电，使蓄电池冷却。当充电中电解液的比重升到 $\gamma = 1.150$ ，再换以净水或弱硫酸溶液，这样继续到电解液浓度不再增高为止。

蓄电池在硫化后如长期未加处理，即往往无法再加以修正，而必须更换新的极板。

§5 起动机之要求

一般运输式发动机的起动机多半是利用起动机，它所须要的电能也是由蓄电池供给。