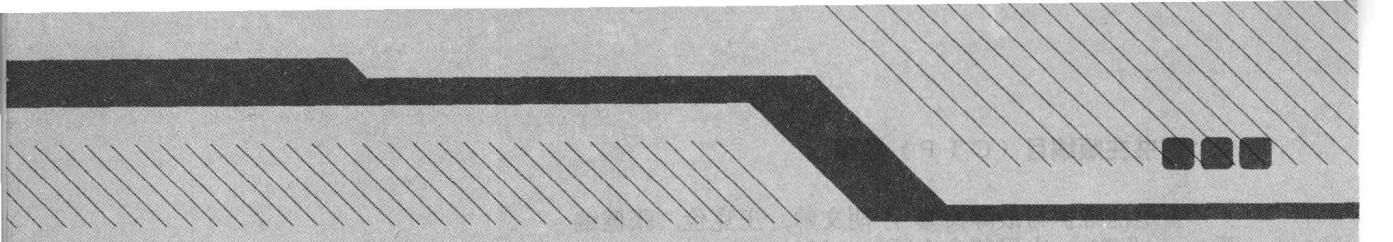


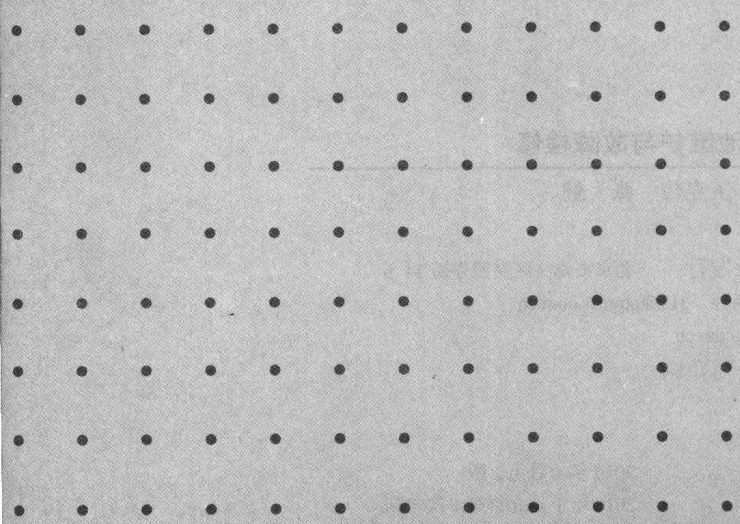
蓄电池 维护与故障检修

胡文帅 王克俭 张健 编著



蓄电池 维护与故障检修

胡文帅 王克俭 张健 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

蓄电池维护与故障检修 / 胡文帅, 王克俭, 张健编
著. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.1
ISBN 978-7-115-21777-6

I. ①蓄… II. ①胡… ②王… ③张… III. ①蓄电池
—维修 IV. ①TM912.07

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第209212号

内 容 提 要

本书对铅酸蓄电池、碱性蓄电池和锂离子蓄电池等工业上常用蓄电池的结构原理、性能与应用、基本制造工艺进行了介绍, 重点讲解了各种蓄电池的维护保养方法, 分析了各种蓄电池常见故障的产生原因, 并给出了修复措施。

本书通俗易懂, 内容丰富实用, 可供电源用户在维护使用时参考, 也可供电化学专业技术人员解决实际问题时参考。

蓄电池维护与故障检修

-
- ◆ 编 著 胡文帅 王克俭 张 健
责任编辑 毕 颖
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.25
字数: 295千字
印数: 1—4000册
- 2010年1月第1版
2010年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-21777-6

定价: 28.00元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

Preface

前言

改革开放以来,中国经济获得了飞速发展,备受世界瞩目。伴随着经济的高速增长,经济与能源的矛盾越来越突出,中国能源消费量也大幅度增长,能源短缺成为经济进一步发展的瓶颈问题。与此同时,作为能源消费大国的中国,能源消费导致的环境污染问题也越来越突出。在此情况下,以蓄电池生产和修复为代表的新能源行业以前所未有的速度蓬勃发展。

蓄电池按照电解液成分可分为三代产品,即以铅酸蓄电池为代表的第一代蓄电池,以镍镉蓄电池、镍氢蓄电池等碱性蓄电池为代表的第二代蓄电池和以锂离子蓄电池(有机电解液)为代表的第三代蓄电池。这三类代表产品是目前用途最广、技术最为成熟、与工业生产和国民生活最为息息相关的电源产品。小至手机、无绳电话、电动玩具、小家电、矿灯照明、仪器仪表,中到电动自行车、电动工具、电动摩托车、笔记本电脑、通信电台、雷达等,大到武器装备、电动汽车、火车、水中运载体、飞机飞行器、航空航天设备以及电厂、矿山等都离不开蓄电池。可以说,离开了蓄电池的世界将不会有“神州行”和“全球通”的便捷通信,不会有电子世界的琳琅满目、光怪陆离,也不会有“两弹一星”、“载人航天”和“嫦娥奔月”的壮举,因此从某种意义上说,蓄电池产品影响着一个国家现代化的发展进程。

随着电源产品在生产和生活上的广泛应用,蓄电池的使用周期备受人们的关注,然而蓄电池的寿命长短与正确规范的使用保养方法密切相关,也与科学合理的维护检修方法密切相关。维护检修方法得当不仅能延长蓄电池的寿命,节省用户使用成本,还可以节约有限的国家资源,为创建节约型社会做出贡献。

目前的图书市场上,介绍蓄电池维护与检修的书籍很少,很多电源用户苦于没有系统科学的方法指导而不能进行蓄电池的维护与检修,本书就是在这种背景下应运而生的。本书分别对铅酸蓄电池、碱性蓄电池和锂离子蓄电池的发展历程、原理结构、基本制造工艺进行了介绍,重点介绍了使用维护方面的相关知识,总结了常见故障的判定和修复方法。

本书编写组成员均为多年进行蓄电池产品生产、设计的专业技术人员,在电池设计和电池维护上有着多年的实际工作经验和独到的见解,为本书的编写投入了巨大的精力。本书共分4章,胡文帅等编写了第1章和第4章并负责全书统稿,王克俭等编写了第2章,张健等编写了第3章。本书的完稿和出版是作者对多年工作经验和专业技术知识的一次提炼。

李亚寅、葛智元、王毅、赵巍、肖彩英、薛雷、刘学省为本书的编写做了大量工作，本书在编写过程中，还得到了汪继强教授和邱瑞珍教授等业界专家的关心和指导，作者对此表示感谢。

由于时间紧张和作者能力所限，本书难免存在疏漏，敬请读者多提宝贵意见。

作者

2009 年于天津

Contents



目 录

1

第1章 化学电源概述 1

- 1.1 化学电源的发展历程 1
- 1.2 化学电源的分类方法 3
- 1.3 化学电源的基础知识 4
 - 1.3.1 电池原理 4
 - 1.3.2 电池的表达式 5
 - 1.3.3 主要性能参数 6
 - 1.3.4 电池组 8

2

第2章 铅酸蓄电池的技术与维护 9

- 2.1 铅酸蓄电池的原理与分类 9
 - 2.1.1 铅酸蓄电池的工作原理 9
 - 2.1.2 阀控式密封铅酸蓄电池 15
 - 2.1.3 胶体铅酸蓄电池 17
 - 2.1.4 管式铅酸蓄电池 18
- 2.2 铅酸蓄电池的充放电 18
 - 2.2.1 铅酸蓄电池的制作流程 18
 - 2.2.2 铅酸蓄电池的典型生产工艺 19
 - 2.2.3 铅酸蓄电池的充放电特性 33
 - 2.2.4 铅酸蓄电池的充放电技术要求 41
- 2.3 铅酸蓄电池的性能与应用 45
 - 2.3.1 铅酸蓄电池的性能指标 45
 - 2.3.2 铅酸蓄电池的应用 50
- 2.4 铅酸蓄电池的维护保养与修复 52
 - 2.4.1 影响铅酸蓄电池使用寿命的因素 52
 - 2.4.2 铅酸蓄电池的使用要点 57
 - 2.4.3 铅酸蓄电池常见故障的检修 63
 - 2.4.4 故障检修实例 66

3

第3章 碱性蓄電池的技術與維護

76

3.1 碱性蓄電池的原理與分類	76
3.1.1 碱性蓄電池的原理	76
3.1.2 鎘鎳蓄電池	76
3.1.3 金屬氫化物蓄電池	77
3.2 碱性蓄電池的製作	79
3.2.1 碱性蓄電池的結構	79
3.2.2 碱性蓄電池的製作流程	80
3.2.3 碱性蓄電池的典型製作工藝	80
3.3 碱性蓄電池的性能與應用	88
3.3.1 碱性蓄電池的充放電特性	88
3.3.2 碱性蓄電池的性能指標及技術要求	92
3.3.3 碱性蓄電池的測試儀器和设备	96
3.3.4 碱性蓄電池的應用	97
3.4 碱性蓄電池的維護保養與修復	98
3.4.1 影響碱性蓄電池使用壽命的因素	98
3.4.2 碱性蓄電池的使用常識	99
3.4.3 碱性蓄電池的維護保養	102
3.4.4 碱性蓄電池常見故障的檢修	104
3.4.5 故障檢修實例	117

4

第4章 鋰離子蓄電池的技術與維護

126

4.1 鋰離子蓄電池的原理與分類	126
4.1.1 鋰離子蓄電池的原理	126
4.1.2 鋰離子蓄電池的分類	128
4.1.3 鋰離子蓄電池的材料	128
4.1.4 聚合物鋰離子蓄電池	136
4.1.5 磷酸鐵鋰離子蓄電池	138
4.1.6 鋰離子蓄電池組	139
4.2 鋰離子蓄電池的製作	140
4.2.1 鋰離子蓄電池的結構	140
4.2.2 鋰離子蓄電池的製作流程	142
4.2.3 鋰離子蓄電池的典型生產工藝	144
4.3 鋰離子蓄電池的性能與應用	146
4.3.1 鋰離子蓄電池的充放電特性	146
4.3.2 鋰離子蓄電池的安全保護	148
4.3.3 鋰離子蓄電池的性能及技術要求	150
4.3.4 鋰離子蓄電池的測試儀器设备	152

4.3.5	锂离子蓄电池的应用	153
4.4	锂离子蓄电池的维护保养与修复	156
4.4.1	影响锂离子蓄电池使用寿命的因素	156
4.4.2	锂离子蓄电池的使用要点	160
4.4.3	锂离子蓄电池的维护保养	161
4.4.4	锂离子蓄电池常见故障的检修	164
附录 1	锂离子蓄电池的命名	183
附录 2	蓄电池的专业术语	186

1

第1章 化学电源概述

1.1 化学电源的发展历程

“化学电源”这个词对于众多消费者而言，也许是个陌生而专业的术语，但是只要提到它的另一个名字“电池”，许多消费者又觉得亲近，并能如数家珍般地举出许多，诸如手机电池、笔记本电脑电池、电动玩具电池、充电电池、石英钟电池、手表电池、电动自行车电池、汽车电池等。随着科学技术水平的不断进步，电池已悄悄地走进千家万户，并不断地改变着人们的生活。

蓄电池的使用使众多行业的发展步入了快车道。万吨的巨轮入水，人造卫星上天，便携式电子产品普及，大型发电厂安全供电等，都离不开电池的功劳。

电池的诞生，基于人们对于获取持续而稳定的电流的需要。起初，电池的发明，是来源于一次偶然的青蛙解剖实验所产生的灵感。

1780年的一天，意大利解剖学家伽伐尼（Luigi Galvani）在做青蛙解剖实验时，两手分别拿着不同的金属器械，无意中同时碰在青蛙的大腿上，青蛙腿部的肌肉立刻抽搐了一下，仿佛受到电流的刺激，而如果只用一种金属器械去触动青蛙，就无此种反应。伽伐尼认为，出现这种现象是因为动物躯体内部产生的一种电，他称之为“生物电”。

伽伐尼的发现引起了其他物理学家的极大兴趣，他们竞相重复伽伐尼的实验，企图找到一种产生电流的方法。而意大利物理学家伏特（Alessandro Volta）在多次实验后则认为：伽伐尼的“生物电”之说并不正确，青蛙的肌肉之所以能产生电流，大概是肌肉中某种液体在起作用。

为了论证自己的观点，伏特把两种不同的金属片浸在各种溶液中进行实验。结果发现，这两种金属片中，只要有一种与溶液发生了化学反应，金属片之间就能够产生电流。

1799年，伏特把一块锌板和一块银板浸在盐水里，发现连接两块金属的导线中有电流通过。于是，他就在许多锌片与银片之间垫上浸透盐水的绒布或纸片，并平叠起来。用手触摸金属片两端时，会感到强烈的电流刺激。伏特用这种方法成功制成了世界上第一个电池“伏特电堆”。这个“伏特电堆”实际上就是串联的电池组。

实际上，只要有两种金属浸泡在某种溶液中，就有可能产生电池作用。曾经接受过金属补牙手术的朋友们都会发现，用舌头舔补牙的金属，会感到“麻电”的感觉，就是因为补牙用的多种金属产生了电池作用。

1836年,英國的丹尼爾(Danide)對“伏特電堆”進行了改良,又陸續有效果更好的“本生電池”和“格羅夫電池”問世。然而在當時,無論哪種電池都需在兩個金屬板之間灌裝液體,搬運很不方便,特別是蓄電池所用液體是硫酸,挪動時很危險。

1860年,法國的雷克蘭士(George Leclanche)發明了碳鋅電池,這種電池更容易製造,且最初潮濕水性的電解液逐漸用黏滯狀類似糝糊的物質取代,於是裝在容器內的“干”性電池出現了。

1887年,英國人赫勒森(Wilhelm Helleisen)發明了最早的干電池。相對於液體電池而言,干電池的電解液為糊狀,不會溢漏,便於攜帶,因此獲得了廣泛應用。

如今,干電池已經發展成為一個龐大的家族,種類達100多種,常見的有普通鋅錳干電池、鹼性鋅錳干電池、鎂錳干電池等。最早發明的碳鋅電池依然是現代干電池中產量最大的電池。在干電池技術的不斷發展過程中,人們發現,干電池儘管使用方便,價格低廉,但用完即廢,無法重新利用。由於電池以金屬為原料,容易造成原材料浪費,而廢棄電池會造成環境污染。於是,能夠經過多次充電放電循環,反復使用的蓄電池成為新的研究方向。

蓄電池的發明可以追溯到1860年,法國人普朗泰(Gaston Plante)發明出用鉛做電極的電池。這種電池的獨特之處是當電池使用一段時間電壓下降時,可以給它通以反向電流,使電池電壓回升。因為這種電池能充電,並可反復使用,所以稱它為“蓄電池”。

1890年,愛迪生(Edison)發明了可充電的鐵鎳電池,1910年可充電的鐵鎳電池投入商業化生產。愛迪生發明的電池使用的電解液為KOH溶液,因此,鐵鎳電池被認為是最早的鹼性電池。

進入20世紀後,電池理論和技術一度處於停滯時期。但在第二次世界大戰之後,電池技術又進入快速發展時期。為了適應重負荷用途的需要,1951年實現了鎳鎘電池的密封化。1958年哈里斯(Harris)提出了採用有機電解液作為鋰一次電池的電解質的想法,20世紀70年代初期這種電池便實現了軍用和民用。隨後基於環保考慮,研究重點轉向蓄電池。鎳鎘電池在20世紀初實現商品化以後,在20世紀80年代得到迅速發展。

隨著人們環保意識的日益增強,鉛、鎘等有毒金屬的使用日益受到限制,因此需要尋找新的可代替傳統鉛酸電池和鎳鎘電池的可充電電池。鋰離子電池自然成為有力的競爭品種之一。

1990年前後鋰離子電池發明了。1992年鋰離子電池實現商品化。1994年聚合物鋰離子電池(採用凝膠聚合物電解質為隔膜和電解質)發明,1999年開始商品化。

如今,充電電池的種類越來越豐富,形式也越來越多樣,從最早的鉛蓄電池、鉛晶蓄電池,到鐵鎳蓄電池以及銀鋅蓄電池,發展到鉛酸蓄電池、鎳鎘電池、金屬氫化物鎳電池以及鋰離子電池等。與此同時,蓄電池的應用領域越來越廣,容量越來越大,性能越來越穩定,充電越來越便捷。

在現代社會,電池的使用範圍已經越來越大,小到電子手表、CD唱機、移動電話、MP3、MP4、照相機、攝影機、各種遙控器、剃須刀、手槍鑽、兒童玩具等,大到醫院、賓館、超市、電話交換機等場合的應急電源,電動工具、拖船、拖車、铲車、輪椅車、高爾夫球運動車、電動自行車、電動汽車、風力發電站用電池,導彈、潛艇和魚雷等軍用設施都離不開電池。電池已經成為人類社會必不可少的便捷能源。

1.2 化学电源的分类方法

化学电源（本书以后简称为电池）就是将化学能转化为电能的一种装置。确切地说，它是将物质的化学反应所释放出来的能量转化为电能的装置。电池主要分为原电池和蓄电池两种。

原电池，又称一次电池，电池正负极活性物质氧化和还原反应的可逆性很差，用完后一般不能用充电方法使正负极活性物质恢复到原来状态。原电池只能放电使用一次，放电完毕后即报废。原电池有干电池（锌锰电池）、热电池、锌银一次电池和锂一次电池等，热电池和锌银一次电池可以制作成可激活电池使用。可激活电池是将电解液和干态电池分开，使用时将电解液注入电池中即可放电使用，但是这种电池仍然只能利用一次。目前用途最广、最常见的原电池为干电池。

蓄电池，也称二次电池，它是本书研究的重点，它的正负极活性物质反应的可逆性强，即能够在放电完成后，通过外部充电，使得活性物质恢复到放电前的状态，并且能够反复充放电使用。这样蓄电池就能够把有限的电能储存起来，在合适的地方使用。

蓄电池的种类很多，按照反应体系划分，主要有铅酸蓄电池、镉镍蓄电池、锌银二次蓄电池、氢镍蓄电池、锂金属蓄电池、锂离子蓄电池等，也有人将燃料电池划为蓄电池范畴。

按照电池的用途及行业分类，蓄电池分为笔记本电脑电池、手机电池、电动车用电池、船舶用电池、星用电池、弹用电池等。

按照电池特性，蓄电池分为高比功率型电池、高比容量型电池、低温型电池等。

按照电池外形，蓄电池可以分为圆柱形电池（圆形）、方形电池、扣式电池和异形电池。

按照电池封口方式，蓄电池可分为开口电池和密封电池。

按照电解液多少，蓄电池可分为贫液式和富液式两种。

下面按照工作机理不同，将电池分类进行图解，如图 1-1 所示。

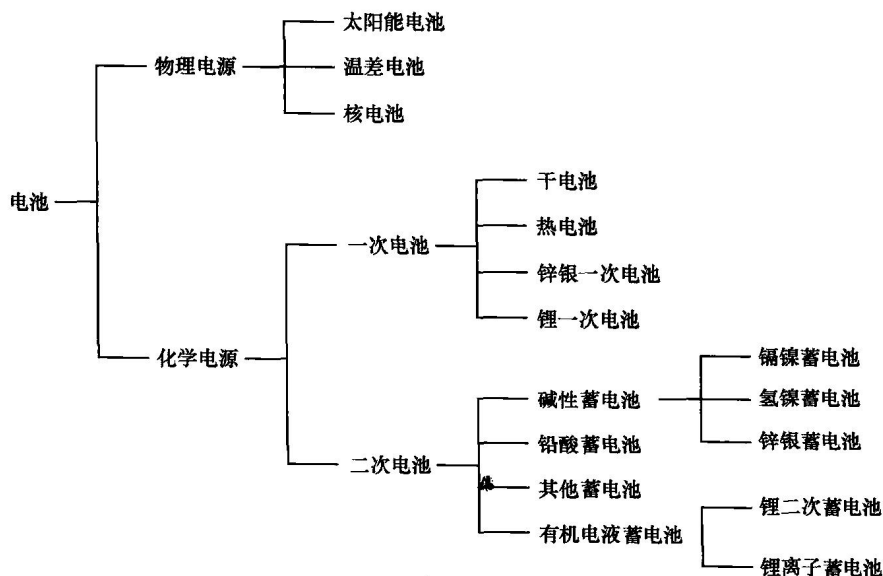


图 1-1 电池分类示意图

1.3 化学电源的基础知识

1.3.1 电池原理

从上一节我们知道, 电池是一种将物质的化学反应所释放出来的能量直接转化为电能的装置。顾名思义, 电池是装电的池子, 犹如水池, 电池的电压及容量类似于水池的水位高低和蓄水量。电池电压的高低说明电池可能对外释放电能的多少, 电池容量则说明电池所储存电量的多少。电池通常由四部分组成, 即正负电极、电解液、隔膜及外壳。

电极是电池的核心部分, 一般由活性物质和导电骨架组成, 活性物质是能够通过化学变化释放出电能的物质, 导电骨架主要起传导电子和支撑活性物质的作用。电池内的电极又分为正(电)极和负(电)极。用电池标识标出“+”的一端为正极, 标出“-”的一端为负极。

电池放电时在负极上进行氧化反应, 向外提供电子; 在正极上进行还原反应, 从外电路接受电子。电流经外电路而从正极流向负极, 电解质是离子导体, 离子在电池内部的正负极之间定向移动而导电, 阳离子流向正极, 阴离子流向负极。

电池放电的负极为阳极, 放电的正极为阴极, 在阳极的两类导体界面上发生氧化反应, 在阴极的两类导体界面上发生还原反应。整个电池形成了一个由外电路的电子体系和电解液的离子体系构成的完整放电体系, 从而产生电能供电。

在化学电池中, 化学能直接转变为电能是靠电池内部自发进行氧化、还原等化学反应的结果, 这种反应分别在两个电极上进行, 如图 1-2 所示。负极活性物质由电位较负并在电解质中稳定的还原剂组成, 如锌、镉、铅等活泼金属及氢或碳氢化合物等。正极活性物质由电位较正并在电解质中稳定的氧化剂组成, 如二氧化锰、二氧化铅、氧化镍等金属氧化物, 氧或空气, 卤素及其盐类, 含氧酸及其盐类等。电解质则是具有良好离子导电性的材料, 如酸、碱、盐的水溶液, 有机或无机非水溶液、熔融盐或固体电解质等。当外电路断开时, 两极之间虽然有电位差(开路电压), 但没有电流, 存储在电池中的化学能并不转换为电能。当外电路闭合时, 在两电极电位差的作用下即有电流流过外电路。

同时在电池内部, 由于电解质中不存在自由电子, 电荷的传递必然伴随两极活性物质与电解质界面的氧化或还原反应, 以及反应物和反应产物的物质迁移。电荷在电解质中的传递也要由离子的迁移来完成。因此, 电池内部正常的电荷传递和物质传递过程是保证正常输出电能的必要条件。充电时, 电池内部的传电和传质过程的方向与放电相反。电极反应必须是

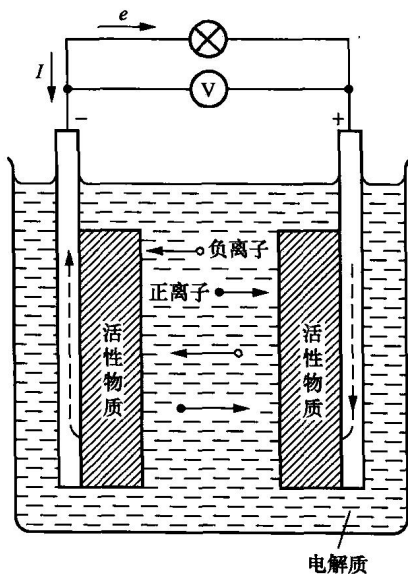


图 1-2 电池电化学反应原理图

可逆的,才能保证反方向传质与传电过程的正常进行。因此,电极反应可逆是构成蓄电池的必要条件。

1.3.2 电池的表达方法

1. 电池式

电池式是电池构成的一种书写形式。在书写电池式时,应遵守以下原则。

(1) 将电池的构成物质从左至右依次写出,负极(阳极)写在左边,正极(阴极)写在右边,电解质写在中间。同时,应注明物质的状态。

(2) 用单根竖线(|)表示物质两相之间的接触界面,单根竖虚线(|)表示可混液体之间的接触界面,双竖线(||)表示液体界面电位已消除的盐桥连接界面,逗号(,)表示混合溶液中的不同物质。

(3) 气体不能直接作为电极,必须吸附在不活泼金属(如 Pt、Au)上,书写时不活泼金属可省略,但非标准气体要注明。

为方便读者理解,下面举例予以说明。

例 1-1 Zn-Cu 电池的电池式。

Zn-Cu 电池的构成为: Zn 片插入 ZnSO₄ 溶液做负极, Cu 片插入 CuSO₄ 溶液做正极,两电极间用多孔性隔板隔离或用盐桥连接。

(-) Zn | ZnSO₄ (b1) | CuSO₄ (b2) | Cu (+)

或

(-) Zn | ZnSO₄ (b1) || CuSO₄ (b2) | Cu (+)

例 1-2 铅酸电池的电池式。

铅酸电池系列的负极活性物质为 Pb, 正极活性物质为 PbO₂, 电解质为 H₂SO₄。

(-) Pb | H₂SO₄ | PbO₂ (+)

例 1-3 镉镍电池的电池式。

镉镍电池系列的负极活性物质为 Cd, 正极活性物质为 NiOOH, 电解质为 KOH 或 NaOH。

(-) Cd | KOH | NiOOH (+)

或

(-) Cd | NaOH | NiOOH (+)

2. 电池反应

电池中电极上发生的反应称为电极反应或电化学反应,把电池发生的总反应称为电池反应或电流反应。只要电池中的正负极活性物质不断进行反应,电池将不断有电流输出,直到反应物反应完毕而终止反应。

已知电池式可以书写出电池反应,下面举例说明。

例 1-4 Zn-Cu 电池的电池反应。

电池式为 (-) Zn | ZnSO₄ (b1) | CuSO₄ (b2) | Cu (+)

从以上可知, Zn-ZnSO₄ 电极上发生氧化反应, Cu-CuSO₄ 电极上发生还原反应, 电池反应是两电极反应之和, 其反应式如下。

電池放電時的反應。

負極（發生氧化反應）： $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$

正極（發生還原反應）： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$

電池（氧化還原反應）： $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$

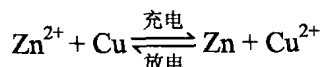
電池充電時的反應。

負極（發生還原反應）： $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Zn}$

正極（發生氧化反應）： $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$

電池（氧化還原反應）： $\text{Cu} + \text{Zn}^{2+} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{Zn}$

電池總反應方程式為：



其他例子讀者可以自行練習，不過需要注意的是電池反應中正負極得失電子總數必須相等，在書寫反應方程式時需要將正負極電子予以配平。

1.3.3 主要性能參數

電池的主要性能參數包括額定容量、標稱電壓、充放電速率、內阻、壽命和自放電率。

1. 額定容量

額定容量指在設計規定的條件（如溫度、放電率、終止電壓等）下，電池應能放出的最低容量，單位為安時（ $\text{A} \cdot \text{h}$ ），以符號 C 表示。容量受放電率的影響較大，所以常在字母 C 的右下角以阿拉伯數字標明放電率，如 $C_{20}=50$ ，表明在 20 時率下的容量為 $50\text{A} \cdot \text{h}$ 。電池的理論容量可根據電池反應式中電極活性物質的用量和按法拉第定律計算的活性物質的電化學當量精確求出。由於電池中可能發生的副反應以及設計時的特殊需要，電池的實際容量往往低於理論容量。

電池容量分為常溫放電容量、高溫放電容量、低溫放電容量和倍率放電容量等多種，單位一般為 $\text{A} \cdot \text{h}$ 或 $\text{mA} \cdot \text{h}$ ，有時也用占額定容量的百分比進行表征。

2. 標稱電壓

標稱電壓指電池在常溫下的典型工作電壓 U ，單位為伏特，記為 V 。它是選用不同種類電池時的參考。電池的實際工作電壓隨不同使用條件而異。電池的開路電壓等於正負電極的平衡電極電勢之差。它只與電極活性物質的種類有關，而與活性物質的數量無關。

蓄電池充放電時，都存在電壓平台，電壓平台的高低可側面反映電池提供電壓的能力大小。

3. 內阻

電池內具有很大的電極-電解質界面面積，故可將電池等效為一大電容與小電阻、電感的串聯回路。但實際情況複雜得多，尤其是電池的內阻隨時間和電池荷電態而變化，所測得的阻抗只对具體的測量狀態有效。通常電池內阻的單位採用毫歐，記為 $\text{m}\Omega$ 。

4. 充放电速率

充放电速率有小时率和倍率两种表示法。小时率是以充放电时间表示的充放电速率，数值上等于电池的额定容量 ($A \cdot h$) 除以规定的充放电电流 (A) 所得的小时数。倍率是充放电速率的另一种表示法，其数值为小时率的倒数。原电池的放电速率以经某一固定电阻放电到终止电压的时间来表示。放电速率对电池性能的影响较大。

提示 通常采用 C 表征倍率电流，但后来 IEC 61960—2003 标准指出因为 C 表示的数值，单位为 A ，所以，应用 I_t 表示，但 C 沿袭已久，短时间很难改变。

5. 寿命

储存寿命指电池允许存放的最长时间，以年为单位。包括储存期和使用期在内的总期限称为电池的有效期。电池储存的寿命有干储存寿命和湿储存寿命之分。使用寿命指电池满足使用要求的时间。循环寿命是蓄电池在满足规定条件下所能达到的最大充放电循环次数。在规定循环寿命时必须同时规定充放电循环试验的制度，包括充放电速率、放电深度和环境温度范围等。

6. 自放电率

自放电率指电池在存放过程中电容量自行损失的速率，用单位储存时间内自放电损失的容量占储存前容量的百分数表示，通常以月自放电率进行表征。

常用蓄电池的主要性能对此如表 1-1 所示。

表 1-1 常用蓄电池的主要性能对比

性能项目	铅酸电池	镉镍电池	镍氢电池	锂离子电池	聚合物锂离子电池
标称电压 (V)	2.0	1.2	1.2	3.6	3.6
质量比能量 (Wh/kg)	30~50	50~80	65~120	120~190	130~200
每月自放电率	5%	20%	30%	<10%	<10%
循环寿命 (次)	200~300	1 500	300~500	500~1 000	500~1 000
记忆效应	无	有	有	无	无
工作温度 (°C)	-20~+60	-40~+60	-20~+60	-40~+60	-40~+60
维护周期 (月)	4	1.5	2.5	3~6	3~6
对环境影响	Pb 污染	Cr、Ni 污染	Ni 污染	友好	友好

1.3.4 電池組

单体电池的容量和电压往往不能很好地满足用电器（负载）的实际需要，因此，很多情况电池需要组合成电池组使用。电池组的组合方式因单体电池的排布和连接方式不同而有所不同，主要组合方式有串联、并联、串并结合三种方式。

1. 串联

电池串联方式（见图 1-3）通常用于满足高电压的工作需要。电池串联使用时电池组电压为单体电池电压的倍数， n 只串联便为 n 倍，如通常使用的电动自行车常用的 12V12A·h 铅酸蓄电池的 12V 电压即为铅酸单体蓄电池 2V 的 6 倍，说明 12V 系列铅酸蓄电池是由 6 个单体串联组合而成的。

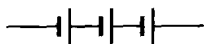


图 1-3 电池串联组合示意图

电池组的额定容量为单体电池的额定容量，若电池组中单体电池的容量不均匀，电池组的额定容量取决于单体电池中容量最低者。

电池组的内阻理论上为单体电池的 n 倍，但通常都稍大于这一数值。

2. 并联

电池并联方式（见图 1-4）通常用于满足大电流的工作需要。电池并联使用时电池组容量为单体电池容量的倍数， n 只并联便为 n 倍，如 2 只并联电池的容量即为单体电池的 2 倍。

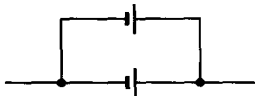


图 1-4 电池并联组合示意图

电池组的标称电压为单体电池的标称电压，若电池组中单体电池的电压不均匀，电池组的额定电压取决于单体电池中电压最低者。

电池组的内阻理论上为单体电池的 $\frac{1}{n}$ ，但通常都大于这一数值。

3. 串并结合

串并结合就是要求满足电池组既提供高电压又要有大电流放电的工作条件。先串后并（见图 1-5）还是先并后串（见图 1-6）取决于电池的实际需求，通常情况下并联的可靠性高于串联。

电池电压、容量的计算方法与上面介绍的相同。

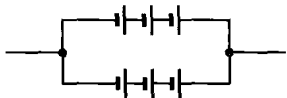


图 1-5 电池先串后并组合示意图

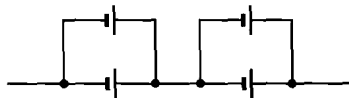


图 1-6 电池先并后串组合示意图

2.1 铅酸蓄电池的原理与分类

2.1.1 铅酸蓄电池的工作原理

铅酸蓄电池的产业化生产已经进行了一个多世纪，作为一种成熟的电源产品，铅酸蓄电池广泛应用于铁路、汽车、通信等多种行业。近年来，铅酸蓄电池在能量存储、紧急供电、纯电动车、混合动力车（包括非上路车辆）等新领域，以及汽车启动、照明等传统领域的应用数量不断增加。从世界范围看，铅酸蓄电池的销售量占到整个电池销售量的 40%~50%。从市场价值方面看，截至 1999 年，在生产商层面铅酸蓄电池的销售额达到 150 亿美元；而在零售市场，其销售额可能增加 2~3 倍。

铅酸蓄电池的品种、外形、电压因使用环境的不同而有较大差异。依据不同的用途和使用环境，铅酸蓄电池有开口式、封闭式、防酸隔爆式和消氢式等多种形式，其体积从几十立方厘米到几十万立方厘米，重量从零点几千克到几百千克，其开路电压有 2V、6V、12V、16V、24V 等多种规格。在表 2-1 中简单罗列了铅酸蓄电池的部分应用。

表 2-1

铅酸蓄电池的部分应用

类 型	结 构	一 般 用 途
SLI (启动、点火照明) 型	平板状涂膏极板	汽车、轮船、飞机用电源和静止电源
牵引型	平板状涂膏极板，管状和排管极板，包括混合结构	工业卡车（材料搬运）、电动车、高尔夫球车、混合动力车、矿车等动力牵引及照明电源
潜艇专用型	管状极板，平板状涂膏极板	潜艇水下航行动力源，照明、电气设备用电源
固定型	普兰特极板*，曼彻斯特极板*，管状和排管极板，圆形锥体极板	备用紧急供电系统、电话交换机、不间断供电系统（UPS）、负荷平衡、信号系统用电源
便携式	平板状涂膏极板（胶体电解液，电解液吸收在隔板中），卷绕电极，管状极板	便携工具、家用电器、照明、紧急照明、广播电视、警报系统等用电源

注：“*”现在很少使用。