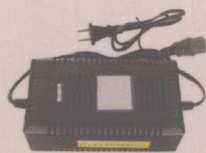




电动车铅酸蓄电池 维护与维修



Diandongche Qiansuan Xudianchi
Weihu Yu Weixiu

张惠玲 张天星 编著



电子科技大学出版社

电动车铅酸蓄电池 维护与维修

张惠玲 张天星 编著

电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电动车铅酸蓄电池维护与维修 / 张惠玲, 张天星编著.
成都: 电子科技大学出版社, 2008. 5
ISBN 978-7-81114-805-3

I. 电… II. ①张…②张… III. 电动自行车—铅蓄电池—
维修 IV. U484.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 051464 号

内 容 简 介

本书针对电动车维修中重难点的铅酸蓄电池实际维修与维护中的操作知识, 进行由浅入深的介绍。其内容重在实践操作, 详细地介绍了电动车所用铅酸蓄电池的维护与维修基础知识、常见失效形式、自制维修工具、添加水的测试与制作、维修实践中对与之配套的充电器和控制改造及维修实例等翔实技能技术。这些都是非常宝贵的实践经验与维修技能, 是目前相关阀控式铅酸蓄电池维修与维护技术和实际操作技能方面最好的书籍之一。

本书语言通俗易懂, 通过翔实的铅酸蓄电池维修实践技能与维修技术介绍, 读者都能较为系统地掌握电动车铅酸蓄电池维修技能。本书不仅适宜有电子基础的人员学习, 还特别适合大、中专及职业技能院校选作维修类教学教材或参考资料, 以及电动车行业相关厂家作为培训教材, 铅酸蓄电池设计与应用的参考资料。

电动车铅酸蓄电池维护与维修

张惠玲 张天星 编著

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)
策划编辑: 张 鹏
责任编辑: 张 鹏
主 页: www.uestcp.com.cn
电子邮件: uestcp@uestcp.com.cn
发 行: 新华书店经销
印 刷: 四川省地质矿产局测绘队印刷厂
成品尺寸: 185mm×260mm 印张 11 字数 270 千字
版 次: 2008 年 5 月第一版
印 次: 2008 年 5 月第一次印刷
书 号: ISBN 978-7-81114-805-3
定 价: 24.00 元

■ 版权所有·侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: (028) 83202463; 本社邮购电话: 028-83208003
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

随着世界性石油危机的爆发，我国政府对节能、环保日益重视，并出台了一系列相关政策，促使电动车行业飞速发展，特别是适合人民群众的电动自行车越来越多。中国已经从自行车王国逐步转为电动助力车王国。但是，很多车用电池由于设计、使用或充电不当等原因，还没有达到应有寿命就提前下岗了。

本书作者从第一次接触铅酸蓄电池至今，已经有 50 多年的时间了，对电池的认识、使用和维修，积累了比较丰富和实用的经验。本书将主要围绕目前电动自行车大量使用的阀控铅酸蓄电池，介绍一些经验和体会，以帮助读者延长其使用寿命。

本书的选题立意，是在 2006 年由《电子报》编辑出版的《电动自行车电器原理与维修》一书的基础上，针对近年电动车维修的最大难题和最易损坏的铅酸蓄电池，作了翔实的介绍。对电动车整车维修的基础与实践技术，在《电动自行车电器原理与维修》一书中已有较深入的介绍，因而本书对整车维修未过多涉及，有兴趣的读者请参阅《电动自行车电器原理与维修》一书。

本书共分为六章和两个附录，其中：第一章为铅酸蓄电池的一些基本知识，是维护、维修电池的理论基础。第二章介绍铅酸蓄电池常见的几种失效模式、表象特征、形成原因和判断方法。第三章重点介绍诊断、维护和维修铅酸蓄电池的必要工具和设备，作者着重介绍了这类工具的自制及其使用方法，其中有些可以作为电子小产品。第四章是去离子水和蒸馏水的测试以及制作方法。铅酸蓄电池维护、维修离不开蒸馏水或去离子水，纯水的质量关系着电池的寿命。个人如何检测和制作合格的电池用水长期困扰着很多读者。作者根据多年实践经验，给大家介绍了一些简单可靠的定量测试方法和制作方法。

经营电动车和维修电池需要懂电池，那就需要对充电器以及充电器与电池的配合。速度控制器（简称或俗称控制器）以及控制器与电池的使用关系等作进一步了解，还要了解电动车其他相关配置。因此本书第五章在扼要介绍延长电池使用寿命的十大要点后，重点介绍了充电器和速度控制器的检测方法、调整改动的具体方法步骤。例如：铅酸蓄电池是由许多电池格组成的，在串联充电时，容量小的格电池被先充满，然后被过充，过充会造成该格失水；放电时容量小的格先放完，然后被过放，过放会造成软化，维修后使容量进一步减少，恶性循环很快使该格报废，累及与该格一体的电池整体报废，使整个电池组不能正常工作。短接废格是最经济和对整车影响最小的维修方法。本章用了大量篇幅讲解短接单格后对充电器和速度控制器的改动。附录二为该部分内容配套的图纸和图片，是目前市场上各类速度控制器、充电器的典型代表。单数图号的图为电路原理图，双数图号的图为实物图片或元件分布图，图中对需要调整的零件作了标记，以便于读者实践时对照参考。

第六章是维修实例，从商业电池维修角度，分别按简、繁、易、难等检修思路介绍了“三板斧、四绝招、一短路”的维修方法，每类都列举了一个或几个典型例子，并且用小结概括要点。

本书为了保证系统性，对于知识类内容的介绍，本着难点分散的原则，采用了理论联系实际和滚雪球的方法；对于实用性和资料性的内容则是由简单到复杂，采用相对集中与合理分散相结合的方法进行介绍。附录一就铅酸蓄电池常常涉及的名词术语，参考电化学教科书并结合本文内容进行了说明，为读者进一步深造提供了一些预备知识。

本书中引用的一些理论知识和图表，主要来自朱松然教授主编的《铅酸蓄电池技术》第2版和《蓄电池手册》，部分电池生产实践和维修实践部分的相关内容来自电动车电池专家张平安老先生及众多网友的交流内容。在本书成稿之际，向朱教授和张老以及众多业内网友致谢。

另外，本书的出版得到了杭州得康蓄电池修复仪有限公司及公司总经理郑翱先生的鼎力支持，本书的电池研究及维修内容，很多采用了得康的电池相关设备，在此一并表示感谢！

编者

目 录

第一章 维护与维修铅酸蓄电池必备的知识	1
一、铅酸蓄电池的工作原理及特性.....	1
二、三段式充电器及其和电池的配套.....	13
三、电池的实验与鉴别.....	15
第二章 电动车用铅酸蓄电池的常见失效形式	19
一、失水.....	19
二、硫酸盐化.....	20
三、极板软化.....	23
四、板栅腐蚀.....	24
五、短路.....	25
六、断路.....	26
七、热失控.....	26
第三章 铅酸蓄电池维护维修工具	31
一、镉电极.....	31
二、镀铅工具.....	33
三、内阻表.....	35
四、容量表.....	37
五、大功率可调（电压、电流）电源.....	42
六、恒流充电器.....	44
七、XY机.....	49
八、消除硫化的设备.....	54
九、更换极群的设备.....	57
十、定时器.....	57
第四章 铅酸蓄电池用水的测试和制作	59
一、测试方法.....	59
二、铅酸蓄电池用水的制作.....	62
三、阴、阳交换离子的预处理和复活.....	64
四、几点经验.....	65
第五章 电池维修的几个相关问题	67

一、速度控制器两个参数的检查.....	67
二、充电器 4 个参数的检查.....	70
三、延长电动车电池使用寿命的有效措施.....	71
四、速度控制器电池欠压保护动作值的调整.....	72
五、普通三段式充电器高、低恒压值的调整.....	85
六、普通开关电源式充电器改造为电压可调的直流电源.....	102
第六章 维修实例.....	104
一、铅酸蓄电池维护维修一般操作流程.....	104
二、三板斧维修案例.....	108
三、几种非电动车动力电池的维修实例.....	114
四、胶体电池维修实例.....	117
五、对单格落后不更换极群的维修案例.....	118
六、使用定时器控制“恒流强充”的维修案例.....	122
七、安全问题.....	132
八、环保问题.....	133
附录一 名词术语.....	134
附录二 常见电动车控制器与充电器图集.....	143
一、控制器类.....	143
附图 1-1 自制 TL494 有刷控制器.....	143
附图 1-2 自制 TL494 有刷控制器示意图.....	144
附图 1-3 ZK3601B 天津松正 TL494 有刷控制器.....	144
附图 1-4 ZK3601B 天津松正 TL494 有刷控制器实物图.....	145
附图 1-5 渠达 LM339 DKY040622 有刷控制器.....	145
附图 1-6 渠达 LM339 DKY040622 有刷控制器实物图.....	145
附图 1-7 天津松正 BIFC211 带单片机有刷控制器.....	146
附图 1-8 天津松正 BIFC211 带单片机有刷控制器实物图.....	146
附图 1-9 上海尔杰公司 WML48-350G 爱鹤牌无刷控制器.....	147
附图 1-10 上海尔杰公司 WML48-350G 爱鹤牌无刷控制器实物图.....	147
附图 1-11 宝岛电动摩托车配套的 48V LB11820S 无刷控制器.....	148
附图 1-12 宝岛电动摩托车配套的 48V LB11820S 无刷控制器实物图.....	148
附图 1-13 松正公司 WZKD4815KDB-GY 单片机+MC33035 无刷控制器.....	149
附图 1-14 松正公司 WZKD4815KDB-GY 无刷控制器实物图.....	150
附图 1-15 明和 48V350W 自动换相 D-2 型采用 ATMEGA48V 单片机 无刷控制器.....	151
附图 1-16 明和 48V350W 实物图.....	152

附图 1-17	89C2051 单片机无刷控制器	153
附图 1-18	常州风驰车业有限公司 AW350W 无刷控制器	154
附图 1-19	南京溧水电子研究所 PS15T100G 无刷控制器	155
附图 1-20	采用 NEC78F9234 单片机的无刷控制器	156
附图 1-21	最常见 3 块无刷控制器专用芯片	157
二、充电器类		158
附图 2-1	SP2000-48B 西普尔充电器	158
附图 2-2	SP2000-48B 西普尔充电器实物图	158
附图 2-3	天能 TN-1C 型 2820 智能充电器	159
附图 2-4	天能 TN-1C 型 2820 智能充电器实物图	159
附图 2-5	AC1936 充电器 LAN POWER	160
附图 2-6	AC1936 LAN POWER 充电器焊接面元件分布图	160
附图 2-7	SMA-36C3A 小羚羊充电器	161
附图 2-8	SMA-36C3A 充电器示意图	161
附图 2-9	日泉 SRQ-1.8A 电动车智能充电器	162
附图 2-10	日泉 SRQ36-1.8A 电动车智能充电器实物图	162
附图 2-11	欧派 OPAI 车 HZ-48 智能充电器	163
附图 2-12	欧派 OPAI 车 HZ-48 智能充电器元件分布图	163
附图 2-13	路邦车 BMCH-36 带温度补偿两阶段式充电器	164
附图 2-14	路邦车用两阶段式 BMCH-36 充电器元件分布图	164
附图 2-15	山东 GD36 半桥式充电器	165
附图 2-16	HP-1202AC 铅酸电池充电器	165

第一章 维护与维修铅酸蓄电池 必备的知识

一、铅酸蓄电池的工作原理及特性

1. 铅酸蓄电池的构造

铅酸蓄电池是由浸渍在电解液中的正极板（二氧化铅 PbO_2 ）和负极板（海绵状纯铅 Pb ）组成的，电解液是硫酸（ H_2SO_4 ）的水溶液。当蓄电池和负载接通放电时，正极板上的 PbO_2 和负极板上的 Pb 都变成 PbSO_4 ，电解液中的 H_2SO_4 减少，相对密度下降。

充电时按相反的方向变化：正极板上的 PbSO_4 还原成过氧化铅 PbO_2 ；负极板上的 PbSO_4 还原成绒状 Pb ；电解液中的硫酸增加，相对密度变大。如略去中间复杂的化学反应过程，可用下式表示：



(1) 正极板

正极板的结构是板栅中填满铅膏，板栅是铅的合金，铅膏经生产时化成和使用后主要成分是 α 二氧化铅 PbO_2 和 β 二氧化铅 PbO_2 。

(2) 负极板

负极板的结构也是板栅中填满铅膏，铅膏经生产时化成和使用后主要成分是海绵状（绒状）纯铅 Pb 。

正常充、放电时，正负极板上参加电化学反应的物质统称活性物质，正极主要指 PbO_2 和 PbSO_4 ，负极主要指纯铅 Pb 和 PbSO_4 。

(3) 隔板

隔板是电池的重要组成，不属于活性物质。隔板本身是多孔的绝缘材料，电解液能顺利穿过它。传统的隔板主要作用是防止正负极板短路，自从超细玻璃纤维隔板（AGM）出现后，极大地改善了铅酸蓄电池的性能，被广泛用于密封阀控电池。超细玻璃纤维隔板具

有防止正负极板短路、吸附储存电解液、提供氧气通路等功能。

(4) 板栅

板栅在电池中的作用是：支持活性物质，充当活性物质的载体，传导和汇集电流，使电流均匀分布在活性物质上。负极的板栅与负极活性物质接触的亲和性相对正极板栅与正极活性物质间亲和性要好得多。

为了增加电池的容量，一般由多块极板组成极群，即多块正极板和多块负极板分别用连接条（也叫做汇流排）焊接到一起。上述电池构造都是指一个格（Cell），标称 2V。电动车常用的电池标称电压为 12V，是由 6 个独立格在内部串联而成，对外只有两个极耳（也叫极桩或极柱）。电动自行车用铅酸蓄电池极柱都是铜材的，内部分别和第一个独立格的正极汇流排相连以及最后一个独立格的负极汇流排相连，出口处套有“O”型密封圈，防止酸沿极耳溢出。封口处红色的环氧树脂胶带表示正极，蓝色或黑色的环氧树脂胶带表示负极。同理，标称 6V 的电池是由 3 个独立格串联而成的。相邻格的正负极群由连接桥（过桥）相连，电动车电池的过桥一般不用穿孔方式，而是像彩虹一样越过电池底槽上口跨接两端。

2. 铅酸蓄电池的容量

(1) 额定容量和实际容量

铅酸蓄电池的容量单位有安时（A·h）和瓦时（W·h）两种，本文使用最大众化的安时（A·h）。铅酸蓄电池的容量有理论容量、实际容量和额定容量之分。理论容量是根据活性物质按一定的方法计算的最高值；实际容量是按一定条件放电能输出的电量，小于理论容量；额定容量也叫保证容量，是按国家颁布的标准，在一定放电条件下应该放出的最低限度的容量值。

容量一般用大写字母 C 及其下脚标（放电率）表示，电池外壳上一般标注的安时（A·h）数就是额定容量。下脚标 20 指 20h 率，国际上常用；下脚标 10 指 10h 率，国标对普通电池常用；下脚标 2 指 2h 率，电动自行车电池常用。

例如，常见的 2h 率 10A·h 的 12V 电池，指电池充足电，用 5A 恒流连续放电，端电压低到 10.5V 时的放电时间不得小于 2h 为合格。这里放电电流常用 0.1C（即 10h 率）、0.05C（20h 率）、0.5C（2h 率）等表示，就是将安时数除以小时率，单位是安培 A。标称 12V 电池的放电截止电压为 10.5V。容量必须标注放电率的原因是同一块电池不同的放电率得出的容量是不同的。

(2) 影响电池实际容量的因素

一般来讲，影响电池实际容量的因素很多，归根结底是能参加电化学反应活性物质的多少以及相应条件。例如，标称 12V 电池中一个格出现极板部分脱落，并且仅是一个极（假设是阳极），那么这块电池的实际容量取决于这个故障格的容量。否则，即使极板完整，电

解液不足，实际容量也会减小。当然，极板的孔隙被堵塞，内部的活性物质接触不到电解液也会使实际容量减小。温度每降低 1℃，容量大约降低 0.8%；温度低到 5℃时，电池容量明显降低。

(3) 铅酸蓄电池单格的电动势和端电压

为了简化叙述和计算，本节及后面几节内容如铅酸蓄电池的放充电特性都是以单格 (Cell) 为基础叙述的。多格电池乘以格数即可，标称 12V 电池×6，标称 6V 电池×3，依此类推。

电池电动势是指蓄电池在不充电也不放电状态下正、负极板之间的电位差，如果测量用的电压表内阻足够大，开路电压——电动势 E_0 。它的大小与电解液的相对密度和温度有关，当相对密度在 1.050~1.300 范围内时，可由下述经验公式计算其近似值：

$$E_0 = 0.85 + d$$

式中： E_0 为电池电动势，单位伏特 (V)； d 为极板孔隙内 25℃时的电解液相对密度；0.85 为铅酸电池常数。

这个公式我们在后面经常用到，简称经验公式。这个电压具有负温度系数，每升高 1℃，电压下降 4mV 左右。

(4) 铅酸蓄电池的放电特性

如图 1-1 所示是单格电池按 0.05C (20h 率) 连续放电时端电压形成的一条曲线，端电压 \approx 电动势 E_0 - 电池极化电压 (可近似认为是电池内阻压降)。电池内阻很小，一般是毫欧姆级。该曲线共分四段，分析如下：

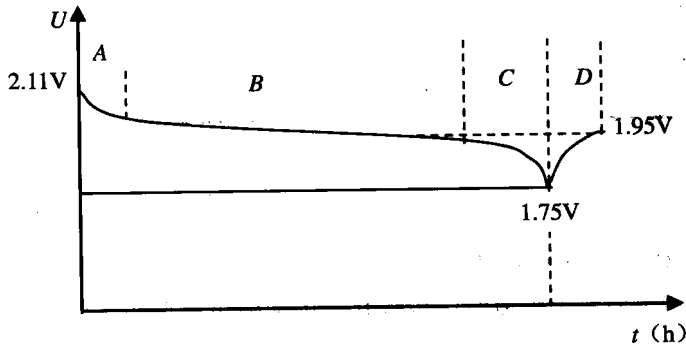


图 1-1 0.05C 电流放电特性

A 段 (2.11~2.0V) 为开始放电段 我们知道放电是消耗硫酸的，这阶段首先消耗的是极板孔隙内的硫酸，这部分硫酸非常有限，所以极板孔隙内硫酸密度迅速下降，由前述经验公式可知，端电压随之迅速下降。

B 段 (2.0~1.85V) 为相对稳定段 随着极板孔内外硫酸浓度差的加大，孔外硫酸向孔内扩散随之加快，当孔内硫酸的消耗速度和孔外补充速度接近平衡时，孔隙内硫酸密度稳定，对外端电压趋于稳定。当然，极板孔隙内硫酸密度总的趋势还是下降的，只不过是

降速缓慢，对应曲线比较平直。这个阶段是放电最佳阶段，这段曲线称为放电平台。

C 段 (1.85~1.75V) 为放电末段 曲线迅速下降，由以下几个原因造成：1) 放电接近尾声了，极板孔隙外的硫酸密度大大降低，难以维持与孔内足够的密度差，离子向孔内扩散速度减慢。2) 放电生成物硫酸铅 $PbSO_4$ 附着在极板表面的增加，势必堵塞孔隙，障碍孔外硫酸向内扩散。3) 硫酸铅本身导电性能很差，蓄电池内阻迅速增加，内阻电压降随之增加，加剧端电压下降。曲线的拐弯处称为拐点。

一般将 1.75V 作为铅酸蓄电池的截止电压，继续放电叫过放电，过放电会缩短电池寿命。不同格数电池的截止电压 = 1.75V × 格数，标称 12V 的电池 6 个格，截止电压为 10.5V；36V 车用电池为 18 个格，截止电压为 31.5V；48V 车用电池为 24 个格，截止电压为 42V。

D 段 (1.75~1.95V) 为停止放电后反弹段 当放电达到截止电压 1.75V 时，切断外电路停止放电，由于极板孔隙外的硫酸密度毕竟比孔内高，会慢慢向孔隙内部扩散，使得极板孔隙内硫酸密度上升，这时端电压就会反弹回升。回升值与电池有关，与停止放电后时间有关。

(5) 铅酸蓄电池的充电特性

如图 1-2 所示是单格电池按 0.1C 恒流连续充电时端电压形成的一条曲线，端电压 = 电动势 E_0 + 电池极化电压。也按几段进行分析：

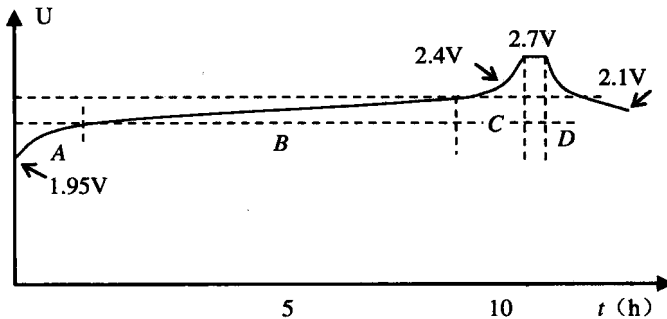


图 1-2 0.1C 电流充电特性

A 段 (1.95~2.3V) 为开始充电阶段 由于充电过程是硫酸铅转化为二氧化铅和铅，并有硫酸生成，开始接通充电电流时，极板孔隙内硫酸迅速增多，电解液密度增大，电动势迅速上升。

B 段 (2.3~2.4V) 为相对稳定阶段 极板孔隙内硫酸密度大于孔隙外部，就会向孔外扩散，当生成硫酸的速率和扩散速率相等时，由于扩散、活性物质表面及微孔内的硫酸浓度不再急剧上升，端电压的上升就较为缓慢，孔内电解液浓度将随着整个容器内的电解液密度直线上升，这一过程时间较长。这一阶段，充电电能主要转化为化学能，即阳极的硫酸铅变为二氧化铅，阴极的硫酸铅变为绒状铅，硫酸密度增加。

C 段 (2.4~2.7V) 为迅速上升阶段 这一阶段，电池极板上的可参加反应的活性物质 90% 都被还原为二氧化铅和绒状铅了，由于阳极开始析出氧气、阴极开始析出氢气，极板和电解液接触面积减小内阻增大，极化电压增加，为了保持恒流，端电压剧增。如继续

用此电流充电，电能的大部分将用于电解水，会大量产生气泡，严重时甚至呈现“沸腾现象”。后果是引起失水，以及气体冲刷导致活性物质脱落。

这个阶段的后期，因两极上大量析出气体，进行水的电解过程，端电压又达到一个新的稳定值，其数值取决于氢和氧的过电位，正常情况下该恒定值约为 2.6V。

D 段 (2.7~2.1V) 为停止充电迅速跌落阶段 切断充电电源后，电池开路电压因极化电压的消失而迅速降低（极化电压中的欧姆极化立即消失，浓差极化的消失因离子扩散到均匀需一定时间，而电化学极化的消失是在毫秒级）。

在适当富液的情况下蓄电池充电终了的特征是：

- 1) 蓄电池内产生大量气泡，呈“沸腾”状。
- 2) 端电压和电解液相对密度均上升至最大值，且两三小时内不再增加。

重点强调：一般阳极析氧电压为 2.35V，阴极析氢电压为 2.42V。如果阴极混有铁、镉等物质时，析氢电压就会降低，析氢电压降低意味着容易失水。

关于电动车电池的放、充电曲线的特点：如图 1-1 和图 1-2 所示分别是铅酸电池的单格放、充电的典型曲线，充足电后电解液密度为 1.26；一般电动车电池充足电后电解液密度为 1.35，高出前者 0.09，根据经验公式，它的电动势单格相应高于 0.09V，6 个格合起来为 0.54V。放、充电曲线和图 1-1 和图 1-2 所示的相比：曲线主体部分是平行的，电动车电池的曲线高于图 1-1 和图 1-2 所示，但在 2.7V 处是一样的。

实际应用中，用得多的不是单格而是整块电池，例如 12V 电池由 6 个格串联起来，时间和电流是相同的，如果各格均衡，电压就是单格的 6 倍。记住几个关键点：(a) 放电曲线起点电压指充饱电后 1 小时后开始放电的值；(b) 常见电动车电池为两小时率，放电电流等于电池的容量的 1/2，即 10A·h 电动车电池为 5A，12A·h 电池为 6A，17A·h 电池为 8.5A，20A·h 电池还没有身份，一般为 10A；如果大电池用小的电流放电，得到的安时数大于标称容量；(c) 拐点电压为了方便统一用 10.5V 作为截止电压；事实上，放电电流大，截止电压应该低；(d) 充电用恒流并且控制在 0.1~0.05C，才能得到类似图 1-2 所示的曲线，10~12A·h 电池为 0.5~1A，17~20A·h 电池为 1~2A，其余类推；(e) 中间那段斜线可以近似看成直线。

学会手工制作铅酸蓄电池充放电曲线是非常有趣的，通过曲线可以分析出很多问题。例如作 12V 电池的充电曲线：把完全放电的电池串联一个数字电流表，并联一个数字电压表，每 5 分钟记录一个电压值和电流值，把这些数据录入一个表格里；然后根据数据作图，横轴为时间，纵轴分别为电压和电流，所得曲线即为充电曲线。不同电池的充放电曲线略有不同，对每种类型的电池分别作曲线留档，以备使用时对照参考。

电池的荷电量，针对大多数标称 12V 的电动车新电池，电池制造专家张平安老先生给出了经验参考数据：电池开路电压在 13.00V 以上，电池内剩余容量大约 100%；电池开路电压为 12.9V，电池内剩余容量大约 90%；电池开路电压为 12.8V，电池内剩余容量大约 80%，依此类推。当电池电压不到 12.00V 的时候，认为容量已经用完。这仅是剩余容量估计，通过放电仪、容量仪测试所得结果比较准确。

电池的充、放电曲线用途很大，不仅可用于多种电池疑难故障的判断，还可以估计电池荷电情况。笔者使用如图 1-3 所示杭州得康公司生产的 DK-BDF01 蓄电池容量测试仪作过很多电池的放电曲线。该测试仪和普通充电器体积差不多，它是一款采用单片机控制电

子负载的方式,对 4~24A·h/12V 铅酸蓄电池进行容量测试的专用仪器。发光管 LED 数字显示电压(单位伏特)、电流(单位安培)、容量(单位安时)、时间(单位分钟);放电电流为 0~10A 恒流可调,20 挡每挡为 0.5A;放电终止电压为 10.5V;无须外接电源即可工作。

正常放电,上面一行显示电池端电压,单位是伏特,精确到小数点后两位。下面一行显示放电时间,单位是分,每增加一分钟跳一次字。利用其对应关系,可以方便地作出非常好的放电曲线。作图技巧:如果放电电流选 10A,6 分钟作单位(0.1h), $10A \times 0.1h = 1A \cdot h$ 。水平轴 X 轴单位是 $1A \cdot h$,垂直轴 Y 轴仍然是电池端电压,做成另一种放电曲线。依此类推,如果放电电流选 5A,仍然以 6 分钟作单位, $5A \times 0.1 \text{ 小时} = 0.5A \cdot h$ 。水平轴 X 轴单位是 $0.5A \cdot h$,垂直轴 Y 轴仍然是电池端电压;放电电流选 1A,6 分钟作单位, $1A \times 0.1 \text{ 小时} = 0.1A \cdot h$ 。水平轴 X 轴单位是 $0.1A \cdot h$,垂直轴 Y 轴仍然是电池端电压,做成另一种放电曲线即容量和端电压的函数曲线。

这里重点解释按电池 2h 率($10A \cdot h$ 电池 5A 电流)放电的曲线和图 1-1 所示的区别:开始放电 1min 内端电压先下降再回升,接着就一直下降。我们知道电池电压是酸密度的函数,电压的变化实际上表现的是极板孔隙中酸密度的变化。当放电开始时,极板孔隙中的酸由于大量消耗,密度迅速下降,使我们看到电压迅速下降,随着放电的进行,由于极板外的酸和孔隙中的酸浓度梯度较大,那么极板外的酸迅速向极板孔隙中扩散,使孔隙中的酸密度略有提高,使我们看到电压略有提高,接着酸扩散逐渐达到平衡,电压则开始稳步下降。

如果放电电流小,如图 1-1 所示的 20h 率就没有放电开始 1min 内端电压先下降再回升的现象。

学会作各种放电曲线的意义包括:快速确定电池容量;快速确定电池循环寿命。如果按照国际标准,这两项指标的测试需要很长时间。

关于快速确定电池容量,大多数人采用不同高倍率(比电池标称小时率电流大)的电流放电,做成马尾曲线,然后对比数据,归纳总结成公式或定律。

杭州得康公司还有一款 DK-BDC01 型充电器(如图 1-4 所示)也采用了单片机控制方式,可自适应针对 36V 及 48V 电动自行车 5~30A·h 铅酸蓄电池组进行充电的通用充电器。充电参数如电池容量、恒压等级、转换电流等级、恒压段减流等级、恒压段定时等级等可自行设定。也是发光管 LED 全数字显示,可随时显示电池组端电压、充电电流和输入电池的电量。用它和图 1-3 所示的 DK-BDF01 蓄电池容量测试仪配合作出的曲线,分度如果比较细,结合后面的内阻表可以快速粗略确定电池容量。

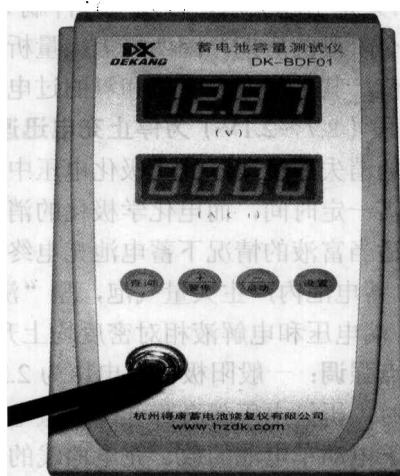


图 1-3 杭州得康 DK-BDF01 蓄电池容量测试仪

关于快速确定电池循环寿命，业界各厂家有自己的方法，例如，流行的一种快速寿命试验方法是：1C 电流充入 70% 电量，2C 电流放电 60%。如果循环试验的放电电量低于标称容量 60% 的时候，结束寿命试验，其试验次数加上加速寿命试验的加速因子 2.23 倍，就是电池的失效寿命。这个寿命试验是快速寿命试验的一种方法，具有一定的参考价值，与用户使用情况还有一定差异，以下给出一个参考公式，通过计算可接近实际情况：

假设 6-DZM-10 的电池按 5A 放电，100% DOD 的循环寿命为 300 次；不同放电电流下的循环寿命可以用以下公式计算：

$$N = \frac{300 \text{次}}{\sqrt{\frac{I}{5A}}}$$

公式中 N 是不同放电电流下的循环次数， I 是放电电流，电流在额定容量的 10%~200% 的范围内适用。

(6) 阀控式铅酸蓄电池及氧循环原理

现在习惯称传统的铅酸蓄电池为开口电池或者富液电池，业内又有水电瓶之称。这类电池因充电造成的失水可以通过加液口进行补充，由于电解液较多，电池使用时不能倒置。近年来随着技术进步出现了新的隔板材料——超细玻璃纤维（英文缩写 AGM），阀控式铅酸蓄电池应运而生，阀控式铅酸蓄电池的英文名称为 Valve Regulated Lead Battery（简称 VRLA 电池），中文名称是密封电池，电解液被吸附在隔板材料超细玻璃纤维（AGM）和极板的孔隙中，电池即使倒置电解液也不会流出，同时解决了充电时阳极产生的氧气的吸收和抑制阴极产生氢气的问题，电池不会失水，使用期不必加水。根据隔板材料和免维的特点，这类电池有 AGM 电池、密封电池、免维护电池等美称。还有一种隔板采用胶体（英文缩写 GEL）的电池也属于贫液电池。这两种电池因为可以在任意位置放置而被电动自行车广泛使用，它们共同的特点都是靠氧循环和抑制析氢来解决失水问题。胶体（GEL）电池以德国阳光电池为代表，低温特性好于普通铅酸蓄电池。我国胶体电池的生产和德国尚有差距，有一些属于半胶体电池。

1) 充电造成的失水问题

充电时的化学反应式：

正极：

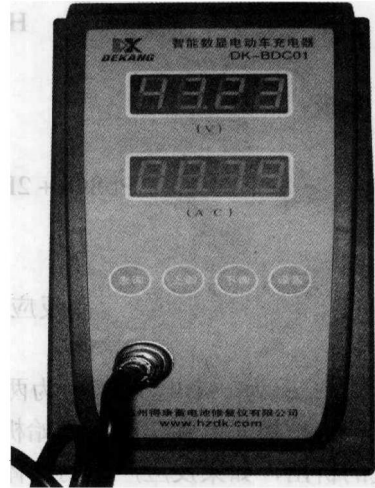
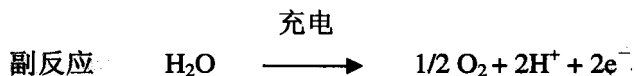
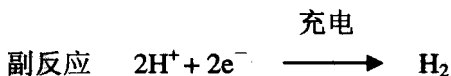
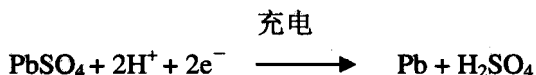


图 1-4 杭州得康 DK-BDC01 充电器



负极:

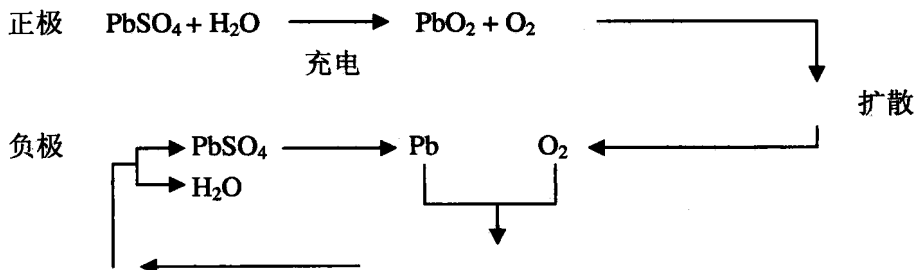


式中 e^- 为一个电子, 2e^- 为两个电子。从上面反应式可看出, 充电过程中存在水分解反应, 当正极充电到 70% 时开始析出氧气, 负极充电到 90% 时开始析出氢气, 由于氢气、氧气的析出, 如果反应产生的气体不能重新复合利用, 电池就会失水干涸; 早期的传统式铅酸蓄电池由于氢气、氧气的析出不能进行气体的再复合, 从电池内部溢出造成失水, 因此必须经常加酸、加水进行维护; 而阀控式铅酸蓄电池能在电池内部对氧气再复合利用, 同时抑制氢气的析出, 做到了基本不失水, 可以密封免维护, 可以说这是对传统铅酸蓄电池的一次重大革命。

2) 氧循环原理

阀控式铅酸蓄电池采用负极活性物质过量设计, AGM (超细玻璃纤维) 或 GEL (胶体) 电解液吸附系统, 正极在充电后期产生的氧气通过 AGM 或 GEL 空隙扩散到负极, 与负极海绵状铅发生反应生成一氧化铅, 一氧化铅又迅速和硫酸反应变成硫酸铅和水, 使负极处于去极化状态或充电不足状态, 达不到析氢过电位, 所以负极不会由于充电而析出氢气, 电池失水量很小, 故使用期间不需加酸加水维护。

阀控式铅酸蓄电池氧循环图示如下:



这两者化合也产生大量热量 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{PbO}$ 氧、铅化合反应产生大量热量, 其中氧气和负极绒状铅化合生成一氧化铅时产生大量化学热, 一氧化铅和硫酸化合生成硫酸铅和水时也产生大量化学热, 两个反应都产生大量热。如果散热不好, 会引起热失控。

可以看出, 在阀控式铅酸蓄电池中, 负极起着双重作用, 即在充电末期或过充电时, 一方面极板中的海绵状铅吸收正极产生的 O_2 被氧化成一氧化铅, 由此也称为阴极吸收式电池; 另一方面, 极板中的硫酸铅又要接受外电路传输来的电子进行还原反应, 由硫酸铅反应成海绵状铅。

在电池内部，若要使氧的复合反应能够进行，必须使氧气从正极扩散到负极。氧的移动过程越容易，氧循环就越容易建立。

在阀控式蓄电池内部，氧以两种方式传输：一是溶解在电解液中的方式，即通过在液相中的扩散，到达负极表面；二是以气相的形式扩散到负极表面。传统富液式电池中，氧的传输只能依赖于氧在正极区 H_2SO_4 溶液中溶解，然后依靠在液相中扩散到负极。

如果氧呈气相在电极间直接通过开放的通道移动，那么氧的迁移速率就比单靠液相中扩散大得多。充电末期正极析出氧气，在正极附近有轻微的过压强，而负极化合了氧，产生一轻微的真空，于是正、负间的气压差将推动气相氧经过电极间的气体通道向负极移动。阀控式铅酸蓄电池的设计提供了这种通道，从而使阀控式电池在浮充所要求的电压范围内工作而不损失水。

对于氧循环反应效率，AGM 电池具有良好的密封反应效率，在贫液状态下氧复合效率可达 99% 以上；胶体电池氧再复合效率相对小些，在干裂状态下，可达 70%~90%；富液式电池几乎不建立氧再化合反应，其密封反应效率几乎为零。

阀控电池每格的上部都装有安全阀，实质是个单向排气阀，如果内部气体压强达到规定值，就会通过它排出体外。

电动车用阀控免维护电池，人们要求充电时间越短越好，这样充电器的电压就高了，不可避免地通过析气造成失水。著名的天能电池公司将电池的单向排气阀做成螺栓可拆卸型，并率先通过设立在全国各地的办事处进行补水。方法是卸掉排气阀，通过该孔注入去离子水，大大延长了电池的使用寿命。其他公司的另一类单向阀更简单，使用了橡皮帽，掀开橡皮帽就可以加水，这类加液孔的直径远远小于天能电池的加液孔。

如果安全阀漏气，电池温度变化，空气会通过呼吸进入电池内部，外来氧气同样会和负极的绒状铅化合生成氧化铅→进而和硫酸反应→硫酸铅→容量下降→单格落后。这种单格落后通过充电可以恢复，过充使负极的硫酸铅充分转化为绒状铅。

(7) 关于电池内阻问题

1) 电池内阻的含义

其一是纯欧姆电阻，由这部分电阻引起的电压降遵守欧姆定律，另一含义系指全内阻，它包括欧姆电阻和电化学反应中电极极化相当的电阻，对于极化，不遵守欧姆定律。铅酸蓄电池的内阻不是常数，与温度、电解液相对密度、极板容量、极板荷电状态等多因素有关。一般电池容量大、内阻小，电池荷电多、内阻小，电池随放电时间内阻增加，电解液的电阻率在其相对密度在 1.20 时最小。如表 1-1 所示给出了几种铅酸蓄电池内阻的参考值。

一般电动车电池内阻分布情况是，电解液占 60% 以上，极板和隔板分别占百分之十几。

2) 电池内阻的测量

目前行业中对电池内阻的测量方法主要有以下两种：

① 直流放电内阻测量法

根据欧姆定律 $I=UIR$ ，测试设备让电池在短时间内（一般为 2~3s）强制通过一个很大的恒定直流电流（目前一般使用 5~10C 大约 40~80A 的大电流），测量此时电池两端的电压，并按公式计算出当前的电池内阻。

这种测量方法的精确度较高，如果控制得当，测量精度误差可以控制在 0.1% 以内。