

电源实用技术系列书

阀控式密封铅酸蓄电池

实用技术

周志敏 周纪海 纪爱华 编著

充电技术

监测技术

检查与测试

选用、应用与维护

故障分析及解决措施



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以阀控式密封铅酸蓄电池（简称 VRLA 蓄电池）的实用技术为主线，结合国内外 VRLA 蓄电池技术的发展与应用，系统的讲述了 VRLA 蓄电池的分类、结构、新技术应用及其发展的技术动向，本书重点介绍了 VRLA 蓄电池的应用和维护，对 VRLA 蓄电池的工作原理、技术特性、充电技术、检查与测试技术、监测技术、选用、故障分析及解决措施、应用及维护、电动车蓄电池的应用与发展作了重点叙述。

本书内容通俗易懂、图文并茂，且与实际应用结合紧密，可供电力、电信、航天、信息、电视传输等行业从事 VRLA 蓄电池应用与维护的工程技术人员参考，还可供相关专业高等院校师生阅读参考。

图书在版编目（CIP）数据

阀控式密封铅酸蓄电池实用技术/周志敏，周纪海，纪爱华编著．—北京：中国电力出版社，2004

（电源实用技术系列书）

ISBN 7 - 5083 - 2404 - 8

I . 阀... II . ①周... ②周... ③纪... III . 密封式蓄电池：铅蓄电池 IV . TM912.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 055167 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 10 月第一版 2004 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 314 千字

印数 0001—4000 册 定价 20.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

前言

随着信息化社会进程的加快,电力、信息系统的安全稳定运行变得日益重要。同时,人们的工作生活中各种电气、电子设备的应用也越来越广泛,许多工业生产、控制、信息等重要数据都要由电子信息系统来处理 and 存储。而各种用电设备都离不开可靠的电源,如果在工作中间突然停电,人们的生产和生活都将受到不可估量的损失。为了避免出现这些情况,必须设计一种电源系统,它能不间断地为确保人们生产和生活提供以安全和操作为目的的备用或应急电源。为此,相应的备用或应急电源设备上采用了蓄电池作为电源,这样,即使电力网停电,也可利用由蓄电池构成的备用或应急电源,从容地采用相关的应急手段,避免重大事故的发生。因此,从生产安全、信息安全和供电安全的角度来说,蓄电池在安全和操作电源系统中处于极其重要的地位。

由于阀控式密封铅酸蓄电池(简称 VRLA 蓄电池)具有价格低廉、电压稳定、无污染等优点,近年来,广泛应用于通信、电力、安全和交通领域。进入 20 世纪 90 年代以来,其发展更是日新月异。许多新的领域如航天、军事、电信、工控、信息产业、办公自动化、金融、电视传输、安全等,都对由 VRLA 蓄电池构成的安全、操作电源系统提出了更新、更高的要求。

本书从 VRLA 蓄电池的发展、结构、新技术应用,VRLA 蓄电池的充电技术,VRLA 蓄电池的检查与测试,VRLA 蓄电池监测技术,VRLA 蓄电池的选用,VRLA 蓄电池的故障分析及解决措施,VRLA 蓄电池的应用及维护几方面,多角度的讲述 VRLA 蓄电池技术的应用、发展和创新。本书对于国内 VRLA 蓄电池的应用技术和维护技术的发展和具有一定的指导意义,对于 VRLA 蓄电池的实际工程应用和维护更具有其实际的经济效益和社会效益。

本书在编写过程中,无论从资料的收集和技术信息交流上都得到了国内外的专业学者和同行的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中的错误和不妥之处在所难免,在此敬请广大读者批评指正。

编 者

2004.6

目 录

前言

第 1 章 概 论	1
1.1 蓄电池的分类及技术指标	1
1.2 VRLA 蓄电池应用现状及研发动态	8
第 2 章 VRLA 蓄 电 池	12
2.1 VRLA 蓄电池工作原理与特性	12
2.2 VRLA 蓄电池的特点和使用寿命	19
2.3 VRLA 蓄电池组的均匀性及一致性	27
2.4 VRLA 蓄电池内阻分析	32
2.5 VRLA 蓄电池的发展及热点问题	44
第 3 章 VRLA 蓄 电 池 充 电 技 术	48
3.1 VRLA 蓄电池的充放电控制技术	48
3.2 VRLA 蓄电池温度补偿技术	55
3.3 VRLA 蓄电池充电技术	57
3.4 VRLA 蓄电池充电器	63
第 4 章 VRLA 蓄 电 池 的 检 查 与 测 试	79
4.1 VRLA 蓄电池的测试	79
4.2 VRLA 蓄电池阻抗的检测	83
4.3 虚拟 VRLA 蓄电池测试系统的总体设计方案	89
4.4 VRLA 蓄电池常用测试产品	93
第 5 章 VRLA 蓄 电 池 监 测 技 术	95
5.1 VRLA 蓄电池的监测	95
5.2 VRLA 蓄电池管理系统	97
5.3 VRLA 蓄电池监控系统设计	114
5.4 中、大型 UPS VRLA 蓄电池的监测管理	121
第 6 章 VRLA 蓄 电 池 的 选 用	126
6.1 系统可靠性	126
6.2 VRLA 蓄电池的选择	130

6.3 VRLA 蓄电池的选用案例	134
第 7 章 VRLA 蓄电池的故障分析及解决措施	140
7.1 VRLA 蓄电池的故障机理	140
7.2 VRLA 蓄电池的故障预测	162
第 8 章 VRLA 蓄电池的应用及维护	170
8.1 VRLA 蓄电池的应用	170
8.2 VRLA 蓄电池的维护	175
8.3 VRLA 蓄电池维护全面解决方案	178
8.4 UPS 系统中 VRLA 蓄电池维护解决方案	182
8.5 GZDW 型智能电力直流电源系统的维护	184
8.6 VRLA 蓄电池室通风设备自动定时控制和恒温控制的设计	187
第 9 章 电动车蓄电池的应用与发展	190
9.1 电动车 VRLA 蓄电池	190
9.2 DS2438 电动车能量管理系统	193
9.3 电动车用蓄电池发展趋势	194
参考文献	200



第1章

概 论

自法国普兰特 1859 年发明铅酸蓄电池以来,至今已有一百多年的历史。它与其他所有的化学电源一样,是一个电能与化学能互相转换的装置。由于它具有电动势高、充放电可逆性好、使用温度范围广、电化学原理清楚、生产工艺易于掌握和原材料丰富而价廉等特点,因而获得了广泛的应用。随着科学技术蓬勃发展,自 20 世纪 50 年代起,传统的铅酸蓄电池技术发展很快。1957 年英国首先发明了再化合免维护汽车蓄电池,德国阳光公司发明了触变性凝胶工业用铅酸蓄电池,1983 年美国 GNB 公司发明并生产了 I 型阴极吸收式密封铅酸蓄电池,1985 年日本 YUASA 公司开始生产 MSE 系列大型阴极吸收式密封铅酸蓄电池。特别是阀控式密封铅酸 VRLA (Valve Regulated Lead Acid 简称 VRLA) 蓄电池的问世,解决了酸液和酸雾易于外溢的技术难题,使它能与电子设备放在一起使用,应用领域更加广阔了。

随之英国制订出标准 BS6290 第四部分 (1987): 铅酸固定型单体蓄电池和蓄电池组 (阀控密封规范); IEC 制订出 IEC896-2 (1991) 固定型铅蓄电池一般要求和试验方式,第二部分: 阀控式; 日本制订出了 JISC8707-1992 密封式固定型阴极吸收式铅蓄电池; 原中国邮电部制订出 YD/T799-1996 通信用 VRLA 技术要求和检验方法; 原中国电力工业部制订出 DL/T637-1997 《电力用阀控式密封铅酸蓄电池订货技术条件》。以上标准成为产品质量考核的技术标准。20 世纪 80 年代起,国外生产类似产品的企业开始飞速发展,1988 年我国引进了美国 GNB 公司的技术,并在消化吸收后开始生产 VRLA 蓄电池,通过并联组合最大容量可达 12960Ah。而到了 20 世纪 90 年代,我国生产 VRLA 蓄电池产品的企业也进入迅速发展的阶段。

1.1 蓄电池的分类及技术指标

电池是一种化学电源,是在氧化还原的电化学过程中将化学能转化为电能。而电池又可分为一次电池和二次电池。一次电池是一次性应用的电池; 二次电池是多次反复使用的电池,这里的“二次”实际上是多次的意思,二次电池又称为可充电电池或蓄电池。

化学电源主要由正极、负极和电解质构成。蓄电池工作时,正极和负极发生的反应均为可逆反应,因此使用蓄电池后,可用充电方式使两个电极的活性回复到初态,可使蓄电池具有再次使用的功能。蓄电池的重要特征就是反复充放电,当蓄电池充电时,电能转变为化学能贮存在蓄电池中,同时伴随放热过程。蓄电池放电时,化学能转变为电能,实现向负荷供电,伴随吸热过程。虽然蓄电池反应过程总带有热量传输,但实际蓄电池反应式中,往往省



略热量变化,只关心物质组成的变化。

1.1.1 蓄电池的分类及应用领域

1. 蓄电池的分类

蓄电池的性能参数很多,主要有4个指标:

- (1) 工作电压,蓄电池放电曲线上的平台电压。
- (2) 蓄电池容量,常用安时(Ah)或毫安时(mAh)表示。
- (3) 工作温区,蓄电池正常放电的温度范围。
- (4) 循环寿命,蓄电池正常工作的充放电次数。

蓄电池的性能可由蓄电池特性曲线表示,这些工作曲线为充电曲线、放电曲线、充放电循环曲线、温度曲线和储存曲线。蓄电池的安全性由特定的安全检测进行评估。

对于蓄电池的种类,就目前市场上主流产品而言,有4类蓄电池:铅酸(LA)蓄电池、镍镉(NiCd)蓄电池、氢镍(NiMH)蓄电池和锂离子(Li-Ion)蓄电池。蓄电池能够反复运用,符合经济实用原则,这是其最大的优点,同时还具有电压稳定、供电可靠、移动方便等优点,它广泛地应用于发电厂、变电站、通信系统、电动汽车、航空航天等各个领域。

铅酸蓄电池历史最悠久,应用依然十分广泛,讨论蓄电池不能不首先认识铅酸蓄电池。这种蓄电池于1859年由普兰特(Plante)发明,至今已有141年历史。一百多年来,铅酸蓄电池的工艺、结构、生产、性能和应用都在不断发展,科学技术的发展给古老的铅酸蓄电池带来蓬勃的生机。

铅酸蓄电池放电工作电压较平稳,既可小电流放电,也可很大电流放电,工作温度范围宽,可在 $-40\sim 65^{\circ}\text{C}$ 范围中工作。铅酸蓄电池技术成熟、成本低廉,跟随负荷输出特性好是其最大优点,因此至今仍不失为蓄电池中的重要产品。但这种蓄电池也有明显缺点,例如质量大,质量比能量低,虽然铅酸蓄电池的理论比能量为 240Wh/kg ,实际只有 $10\sim 50\text{Wh/kg}$,这种蓄电池需要维护,充电速度慢。

铅酸蓄电池在近代有了重大改革,性能有了极大飞跃。主要标志是20世纪70年代发展的VRLA蓄电池。美国Gates Energy Products Inc.首创超细玻璃纤维吸液式全密封技术,从而发展了VRLA蓄电池。近十年来,又进一步提高双极性VRLA蓄电池和水平式电极VRLA蓄电池。在双极性VRLA蓄电池中引入强力薄板两侧为正负活性物质的双极性电极,使内阻大

大降低,从而大大提高比能量和充电速度,这种VRLA蓄电池能量高、成本低、寿命长(10年)、容量更大(是普通铅酸蓄电池的两倍)、不漏液、不污染、可回收、免维护。对于新发展的双极性和水平式VRLA蓄电池, $C/3$ (C 为蓄电池容量)放电比能量 $\geq 50\text{Wh/kg}$,显示了优良的性能。

普通铅酸蓄电池由于具有使用寿命短、效率低、维护复杂、所产生的酸雾污染环境等问题,其使用范围很有限,目前已逐渐被VRLA蓄电池所淘汰。VRLA蓄电池整体采用密封结构,不存在普通铅酸蓄电池的气胀、电解液渗漏等现象,使用安全可靠、寿命长,正常运行时无须对电解液进行检测

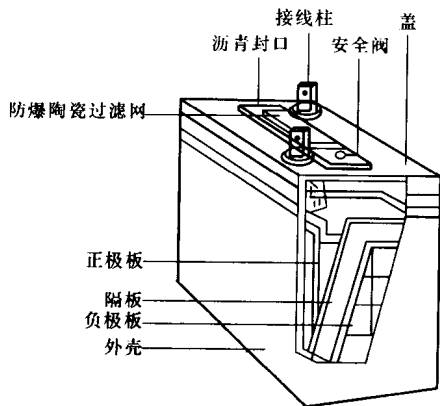


图 1-1 阀控式免维护铅酸
电池的基本结构



和调酸加水,又称为“免维护”蓄电池。它已被广泛地应用到电力、邮电通信、船舶交通、应急照明等许多领域。VRLA 蓄电池的基本结构如图 1-1 所示。它由正负极板、隔板、电解液、安全阀、气塞、外壳等部分组成。正极板上的活性物质是二氧化铅 (PbO_2), 负极板上的活性物质为海绵状纯铅 (Pb)。电解液由蒸馏水和纯硫酸按一定比例配制而成。蓄电池槽中装入一定密度的电解液后, 由于电化学反应, 正、负极板间会产生约为 2.1V (单体 VRLA 蓄电池) 的电动势。

铅酸蓄电池密封的难点就是充电时水的电解。当充电达到一定电压时 (一般在 2.30V/单体以上) 在蓄电池的正极上放出氧气, 负极上放出氢气。一方面释放气体带出酸雾污染环境, 另一方面电解液中水分减少, 必须隔一段时间进行补加水维护。VRLA 蓄电池就是为克服这些缺点而研制的产品, 其产品特点为:

(1) 极板之间不再采用普通隔板, 而是用超细玻璃纤维作为隔膜, 电解液全部吸附在隔膜和极板中, VRLA 蓄电池内部不再有游离的电解液; 由于采用多元优质板栅合金, 提高气体释放的过电位。即普通蓄电池板栅合金在 2.30V/单体 (25℃) 以上时释放气体。采用优质多元合金后, 在 2.35V/单体 (25℃) 以上时释放气体, 从而相对减少了气体释放量。

(2) 让负极有多余的容量, 即比正极多出 10% 的容量。充电后期正极释放的氧气与负极接触, 发生反应, 重新生成水, 即 $\text{O}_2 + 2\text{Pb} \rightarrow 2\text{PbO} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{PbSO}_4$, 使负极由于氧气的作用处于欠充电状态, 因而不产生氢气。这种正极的氧气被负极铅吸收, 再进一步化合成水的过程, 即所谓阴极吸收。

(3) 为了让正极释放的氧气尽快流通到负极, 必须采用和普通铅酸蓄电池所采用的微孔橡胶隔板不同的新型超细玻璃纤维隔板。其孔率由橡胶隔板的 50% 提高到 90% 以上, 从而使氧气易于流通到负极, 再化合成水。另外, 超细玻璃纤维隔板具有将硫酸电解液吸附的功能, 因此即使 VRLA 蓄电池倾倒, 也无电解液溢出。由于采用特殊结构设计, 控制气体的产生。在正常使用时, VRLA 蓄电池内部不产生氢气, 只产生少量氧气, 且产生的氧气可在 VRLA 蓄电池内部自行复合, 由电解液吸收。

(4) 采用密封式阀控滤酸结构, 电解液不会泄漏, 使酸雾不能逸出, 达到安全、保护环境的目的, VRLA 蓄电池可以卧式安装, 使用方便。

(5) 壳体上装有安全排气阀, 当 VRLA 蓄电池内部压力超过阈值时自动开启, 保证安全工作。

在上述阴极吸收过程中, 由于产生的水在密封情况下不能溢出, 因此 VRLA 蓄电池可免除补加水维护, 这也是 VRLA 蓄电池称为“免维护”蓄电池的由来。但是, “免维护”的含义并不是任何维护都不做, 恰恰相反, 为了提高 VRLA 蓄电池的使用寿命, VRLA 蓄电池除了免除补充水, 其他方面的维护和普通铅酸蓄电池是相同的, VRLA 蓄电池的正确使用方法只有在使用维护中才能探索出来。

2. 应用领域和发展前景

从平常的玩具、手电筒到重要的通信机站、电站等领域, 都以 VRLA 蓄电池作为后备电源或动力电源, 特别是在许多重要系统装置和设施中, 都是以 VRLA 蓄电池为后备或应急电源的。随着计算机、信息、运输、电力等事业的发展, VRLA 蓄电池的需求量仍不断增长, 据统计, 当今世界对 VRLA 蓄电池的需求量年增长率接近 8%, 估计到 2005 年, 全球 VRLA 蓄电池销售总额将达到 650 亿美元。其中, VRLA 酸蓄电池销售量占蓄电池世界总销量中一



半以上。这里引用世界上最权威性的美国国际蓄电池协会 (BCI) 提供调查资料说明 VRLA 酸蓄电池的应用领域和发展前景。

美国蓄电池工业, 主要是指铅 VRLA 蓄电池, 它的应用领域可分为以下两部分:

(1) 机动用电源 (motive power): 主要用于卡车、铲车、小汽车及铁路机车等车辆用 VRLA 蓄电池, 2002 年统计资料, 这方面销售额占 45%。

(2) 固定用电源 (stationary power): 主要用于电话通信、不间断电源 (UPS)、安全报警、开关控制、应急灯、电子设备、医疗设备及其他各种浮充使用。这方面销售额占 55%。

该协会调查组收集了美国 16 家知名 VRLA 酸蓄电池制造厂商的销售资料, 总结和预测了各个应用领域的销售情况 (见表 1-1)。

表 1-1 美国工业 VRLA 蓄电池市场销售情况及预测

类别	应用领域	销售情况 (1997 年, 百万美元)	预测 (2002 年, 亿美元)	类别	应用领域	销售情况 (1997 年, 百万美元)	预测 (2002 年, 亿美元)
固定用 电池	通信	235	464	机电动 电池	工业车辆 ^②	373	467
	UPS	180	336		铁路机车	11	13
	其他浮充使用 ^①	78	130		小型车辆	9	9
	控制开关	27	38		总计	969	15
	应急灯	21	31				
	安全报警	17	25				
	电子学仪器	11	19				
	医疗仪器	8	12				

①指草地、花园、玩具和一些特殊的浮充使用。

②指铲车、卡车、自动导向车辆及机场地勤车辆。

从表 1-1 可看出, 美国 VRLA 酸蓄电池的前景是很好的。特别是通信、UPS 方面, 其销售占固定用电源总额 70%。而且, 这些领域中, 新的设备使用蓄电池和旧设备更换蓄电池大都采用 VRLA 蓄电池。

我国从 1986 年开始研制小型 VRLA 蓄电池, 装入自行设计的 UPS 设备中进行试用定型, 于 1991 年通过新产品鉴定, 并开始制造 POWERSON 牌容量从 1.2 ~ 100Ah 的 MF 全系列的 VRLA 蓄电池, 将其推向市场, 取得了较好的经济效益和社会效益。20 世纪 90 年代初, 为了适应电信事业的发展, 我国从美国、德国引进了先进的 VRLA 蓄电池设备和技术, 在国内建立了现代化的 VRLA 蓄电池厂, 研制出 POWERSON 固定型 GMF 系列 VRLA 蓄电池, 容量从 200 ~ 3000Ah, 广泛应用于通信、电力和 UPS 系统。POWERSON 牌 VRLA 蓄电池已通过信息产业、电力、总参、国家产品监督机构及美国 UL 的检测认可, 制造厂也通过 ISO-9001 质量体系认证。

1.1.2 VRLA 蓄电池技术指标

1. VRLA 蓄电池的容量

VRLA 蓄电池在一定放电条件下所能给出的电量称为 VRLA 蓄电池的容量, 常用 C 表示。然而, VRLA 蓄电池作为电源, 由于其端电压是一个变值, 选用安时 (Ah) 表示 VRLA 蓄电池的电源特性, 更为准确。

VRLA 蓄电池容量定义为



$$Q = \int_0^t i dt \quad (1-1)$$

理论上, t 可以趋于无穷, 但实际上, 当 VRLA 蓄电池放电低于终止电压时仍继续放电, 这可能损坏 VRLA 蓄电池, 故对 t 值有限制。

所谓终止电压指 VRLA 蓄电池低于这一规定的电压时, VRLA 蓄电池就无法正常工作的电压。换言之, VRLA 蓄电池在低于终止电压的情况下继续放电使用, 可能会造成 VRLA 蓄电池永久性损坏。

在 VRLA 蓄电池行业中, 以小时或分钟表示 VRLA 蓄电池可持续放电的时间, 常见的有: C_{24} 、 C_{20} 、 C_{10} 、 C_8 、 C_3 、 C_1 等标称容量值。

VRLA 蓄电池容量可分为理论容量、额定容量、实际容量。理论容量是把活性物质的质量按法拉第定律计算而得到的最高理论值。

实际容量是指 VRLA 蓄电池在一定条件下所能输出的电量。它等于放电电流与放电时间的乘积, 其值小于理论容量。

额定容量也称为标称容量、保证容量, 是按国家或有关部门颁发的标准, 保证 VRLA 蓄电池在一定的放电条件下应该放出的最低限度的容量。固定型 VRLA 蓄电池一般采用 10 小时率所放出的容量为 VRLA 蓄电池的额定容量, 并用来标定 VRLA 蓄电池的型号。

VRLA 蓄电池的额定容量或标称容量用字母 C 表示。例如, 额定容量为 6Ah 的 VRLA 蓄电池, $C = 6\text{Ah}$; 额定容量为 24Ah 的 VRLA 蓄电池, $C = 24\text{Ah}$ 。

为了比较不同系列 VRLA 蓄电池, 常用比容量的概念, 即电位体积或单位质量 VRLA 蓄电池所能给出的电量, 分别称为体积比容量和质量比容量。其单位分别为 Ah/L (安时/升) 或 Ah/kg (安时/千克)。

在衡量 VRLA 蓄电池的指标中, VRLA 蓄电池的额定电压和额定容量是两个最常用的技术指标。例如, 日本汤浅 NP6-12 型 VRLA 蓄电池的额定电压为 12V, 额定容量是 6Ah/20h; 德国阳光 A406/165 型 VRLA 蓄电池的额定电压为 6V, 额定容量是 165Ah/20h。

在恒流放电的情况下, VRLA 蓄电池容量为

$$Q = It \quad (1-2)$$

式中 Q ——VRLA 蓄电池放出的电量, Ah;

I ——放电电流, A;

t ——放电时间, h。

容量的概念实质是 VRLA 蓄电池能量转化的表示方式。例如, 考虑到 VRLA 蓄电池的端电压 E 等于 12V 在实际使用时保持近乎不变的事实及输出能量表达式 $W(t) = IVt = IEt$, 因此, 6Ah 从能量效果的角度, 可理解为 NP6-12 型 VRLA 蓄电池在保持端电压不变的情况下释放能量, 若以 6A 电流放电可释放 1h 或以 1A 的电流放电 6h。

2. VRLA 蓄电池的电压

(1) 开路电压。VRLA 蓄电池在开路状态下的端电压称为开路电压。VRLA 蓄电池的开路电压等于 VRLA 蓄电池在断路时 (即没有电流通过两极时) VRLA 蓄电池的正极电位与负极电位之差。VRLA 蓄电池的开路电压用 V_k 表示, 即

$$V_k = E_z - E_f \quad (1-3)$$

式中 E_z ——VRLA 蓄电池正极电位;



E_f ——VRLA 蓄电池负极电位。

(2) 工作电压。指 VRLA 蓄电池接通负荷后在放电过程中显示的电压。又称负荷（载）电压或放电电压。

(3) 初始电压。VRLA 蓄电池在放电初始的工作电压称为初始电压。

(4) 放电电压。VRLA 蓄电池放电电压，又称为 VRLA 蓄电池的工作电压或负荷电压。是指 VRLA 蓄电池在放电时 VRLA 蓄电池两端的电压。常用 V 表示

$$V = V_k - I(R_o + R_j) \quad (1-4)$$

式中 I ——VRLA 蓄电池放电电流；

R_o ——VRLA 蓄电池的欧姆电阻；

R_j ——VRLA 蓄电池的极化电阻。

(5) 充电电压。充电电压是指 VRLA 蓄电池在充电时，外电源加在 VRLA 蓄电池两端的电压。

(6) 浮充电压。VRLA 蓄电池的浮充电压为充电器对 VRLA 蓄电池进行浮充电时设定的电压值。VRLA 蓄电池要求充电器应有精确而稳定的浮充电压值，浮充电压值高意味着贮能量大。质量差的 VRLA 蓄电池浮充电压值一般较小，人为地提高浮充电压值对 VRLA 蓄电池有害而无害。

(7) 终止电压。VRLA 蓄电池放电时电压下降到不宜再继续放电时的最低工作电压。放电终止电压是 VRLA 蓄电池放电时电压下降到不能再继续放电的最低工作电压，一般规定固定型 VRLA 蓄电池 10 小时率放电时，单体 VRLA 蓄电池放电的终止电压为 1.8V（相对于单体 2V VRLA 蓄电池）。

3. VRLA 蓄电池充放电曲线

VRLA 蓄电池电压随充电时间变化的曲线称为充电曲线，VRLA 蓄电池电压随放电时间变化的曲线称为放电曲线。

4. 放电时率与放电倍率

(1) 放电时率。VRLA 蓄电池放电时率是以放电时间长短来表示 VRLA 蓄电池放电的速率，即 VRLA 蓄电池在规定的放电时间内，以规定的电流放出的容量。放电时率可用下式确定

$$T_k (\text{小时}) = \frac{C_k}{I_k} \quad (1-5)$$

式中 T_k (T_{10} 、 T_3 、 T_1)——分别表示 10、3、1h 等小时放电率；

C_k (C_{10} 、 C_3 、 C_1)——分别表示 10、3、1h 等放电容量，Ah；

I_k (I_{10} 、 I_3 、 I_1)——分别表示 10、3、1h 等放电电流，A。

(2) 放电倍率。放电倍率 (X) 是放电电流为 VRLA 蓄电池额定容量的一个倍数。即

$$X = \frac{I}{C} \quad (1-6)$$

式中 X ——放电倍率；

I ——放电电流；

C ——VRLA 蓄电池的额定容量。

为了对容量不同的 VRLA 蓄电池进行比较，放电电流不用绝对值 (A) 表示，而用额定



容量 C 与放电制时间的比来表示, 称作放电速率或放电倍率。20h 制的放电速率为 $C/20 = 0.05C$, 单位为 A。因此, 上述 NP6-12 型 VRLA 蓄电池的容量指标 6Ah 是在 20h 制的放电速率, 即 $0.05C$ 放电速率下测定的。对于 NP6-12 型 VRLA 蓄电池, $0.05C$ 等于 0.3A 的电流。

5. 能量和比能量

(1) 能量。VRLA 蓄电池的能量是指在一定放电制度下, 形成所能给出的电能, 通常用 W 表示, 其单位为瓦时。VRLA 蓄电池的能量分为理论能量和实际能量, 理论能量可用理论容量和电动势的乘积表示, 而 VRLA 蓄电池的实际能量为一定放电条件下的实际容量与平均工作电压的乘积。

(2) 比能量。VRLA 蓄电池的比能量是单位体积或单位质量的 VRLA 蓄电池所给出的能量, 分别成为体积比能量和质量比能量, 单位为 Wh/L 和 Wh/kg。

6. 功率和比功率

(1) 功率。VRLA 蓄电池的功率是指 VRLA 蓄电池在一定的放电制度下, 于单位时间内所给出能量的大小, 常用 P 表示, 单位为瓦 W。VRLA 蓄电池的功率分为理论功率和实际功率, 理论功率为一定放电条件下的放电电流和电动势的乘积表示, 而 VRLA 蓄电池的实际功率为一定放电条件下的放电电流和平均工作电压的乘积。

(2) 比功率。VRLA 蓄电池的比功率是指单位体积或单位质量的 VRLA 蓄电池输出的功率, 分别称为体积比功率 W/L 或质量比功率 W/kg。比功率是 VRLA 蓄电池重要的性能技术指标, VRLA 蓄电池的比功率大, 表示它承受大电流放电的能力强。

7. 循环寿命

循环寿命又称为使用周期, 是指 VRLA 蓄电池在一定的放电条件下, VRLA 蓄电池容量降到某一规定值前所经历的充放电次数。

8. 自放电

VRLA 蓄电池的自放电是指 VRLA 蓄电池在开路搁置时的自动放电现象。VRLA 蓄电池发生自放电将直接减少 VRLA 蓄电池可输出的电量, 使 VRLA 蓄电池容量降低。自放电的产生主要是由于电极在电解液中处于热力学的不稳定状态, VRLA 蓄电池的两个电极各自发生氧化还原反应的结果。在两个电极中, 负极的自放电是主要的, 自放电的发生使活性物质被消耗, 转变成不能利用的热能。自放电的大小, 可以用自放电率来表示, 即规定时间内 VRLA 蓄电池容量降低的百分数来表示

$$Y\% = \left[\frac{(C_1 - C_2)}{C_1 T} \right] \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 $Y\%$ ——自放电率;

C_1 ——VRLA 蓄电池搁置前的容量;

C_2 ——VRLA 蓄电池搁置后的容量;

T ——VRLA 蓄电池的搁置时间, 一般用天、周、月或年来表示。

VRLA 蓄电池自放电速率的大小是有动力学的因素决定的, 主要取决于电极材料的本性、表面状态、电解液的组成和浓度、杂质含量等, 也取决于搁置的环境条件, 如温度和湿度等因素。

9. 内阻



VRLA 蓄电池的内阻是指电流通过 VRLA 蓄电池内部受到的阻力,它包括欧姆内阻和极化内阻,极化内阻又包括电化学极化和浓差极化等。由于内阻的存在,VRLA 蓄电池的工作电压总是小于 VRLA 蓄电池的开路电压或电动势。

欧姆内阻是由 VRLA 蓄电池构件——板栅、活性物质、隔膜和电解液产生,虽遵循欧姆定律,但也随 VRLA 蓄电池的荷电状态而改变,而极化内阻则随电流密度增加而增大,但不是线性关系。因此 VRLA 蓄电池的内阻不是常数,它在充放电过程中随时间而不断地改变,即随活性物质的组成状态、电解液浓度和温度的不断地改变而变化着。

好的 VRLA 蓄电池和差的 VRLA 蓄电池在内阻上差别很大。质量好的 VRLA 蓄电池所以能持续大电流放电,就是因为其内阻很小,而质量差的 VRLA 蓄电池则不然,由于其内阻较大,一来在大电流放电时,端电压下降很快,达不到所要求的时间,就已接近终止电压;另一方面由于内阻较大,在充放电过程中功耗加大会使 VRLA 蓄电池发热。

1.2 VRLA 蓄电池应用现状及研发动态

1.2.1 VRLA 蓄电池应用现状

自从 VRLA 蓄电池投入使用以来,由于其“免维护”性能、轻便以及易于安装等优点,得以在交通、电信、电力等行业广泛的推广应用。但无论是国内还是国外,VRLA 蓄电池在使用中都出现了一系列令用户失望和不放心的问题。如板栅腐蚀及增长问题,甚至极柱从 VRLA 蓄电池盖突出造成酸雾泄漏;由于 VRLA 蓄电池失水过多,甚至干涸而引发的一系列性能变坏的问题,如内阻增加、热失控等;VRLA 蓄电池性能不均匀,个别 VRLA 蓄电池提前失效问题以及缺乏性能监控及检测手段等。总之,VRLA 蓄电池长期使用可靠性差,与电信业早先使用的富液式固定铅蓄电池相比循环及浮充寿命都差很多。这些缺点已引起国外电信行业对 VRLA 蓄电池的非议,在国内也引起同样的担心,甚至提出返回到富液式结构的想法。

VRLA 蓄电池失效或 VRLA 蓄电池寿命提前终止(不到 20 年设计寿命或 10 年设计寿命)有多种原因。相对开口蓄电池而言,VRLA 蓄电池的理论要点主要有如下几点:

- (1) 阴极吸收式蓄电池(因负极板比正极板多一块,易于吸收氧气)。
- (2) 阀控式蓄电池(内部压力由特制安全阀控制,易于气体复合)。
- (3) 密封式蓄电池(特殊材料外壳,特别密封,因而水分不会逸出)。
- (4) H^+ 抑制式蓄电池(特制负极板,使得 H 离子不会析出或少析出,不会变成 H_2 逸出)。

现在看来,上述要点均有局限性,导致制造上差异大,产品质量存在问题,使 VRLA 蓄电池的设计寿命及可靠性指标令人难以信服。换个角度思考一下:

- (1) 负极板比正极板大多少,可使吸收氧气最佳?
- (2) 安全阀控制的蓄电池内部压力值为多少,最易于气体复合?
- (3) 如何特别密封,可使水分不会逸出?
- (4) 如何特制负极板,使得 H 离子不会析出或少析出?

对以上问题,生产厂家各有不同的看法和作法。目前,各种 VRLA 蓄电池现场使用的结果表明,质量好的 VRLA 蓄电池运行已超过 6 年以上,但许多 VRLA 蓄电池都在 5 年左右开



始出现容量下降失效,尤其一些国产品牌和设计上有缺陷(如密封工艺问题)的品牌。

事实上,从第一只 VRLA 蓄电池开发出来至今,也就不到 20 年时间,仅有 EPM 厂家资料证明(2000 年),他们在不停地做实际 VRLA 蓄电池循环充放电试验,时间已达 5 年以上。每次需 2~3 天,大约做了 1000 次以上实际充放电试验。

VRLA 蓄电池进入中国市场已有约几十年历史了,而今中国大陆及世界各地遍布 VRLA 蓄电池的生产厂家。然而,在实际应用当中,VRLA 蓄电池不断出现新的问题,特别是 VRLA 蓄电池的使用寿命及安全可靠性始终是用户和厂家关注的焦点。

1.2.2 VRLA 蓄电池研发动态

1. 改进 VRLA 蓄电池的方向及措施

为了解决 VRLA 蓄电池在使用中出现的问题,国内外都进行了广泛的研究改进,现就有关改进 VRLA 蓄电池的方向及措施简单介绍如下:

(1) 改进板栅合金。改进板栅合金,提高抗蠕变及抗腐蚀性能,例如有报导适当提高 Pb-Ca 合金中的 Sn 含量,可以提高抗蠕变性能。

(2) 提高极板组的阀向压力。适当提高极板组的阀向压力,同时采用优质超细玻璃纤维隔板或胶体电解质 SiO_2 颗粒材料等,可以延长 VRLA 蓄电池寿命。

(3) 高可靠性阀的应用。采用可靠性高的放气阀,以保证长期使用中放气阀不致失效。

(4) 气体复合催化剂的应用。在 VRLA 蓄电池气室中采用适当的气体复合催化剂,是近期国外及国内文献报导中值得注意的一种改进措施。据报导采用气体复合催化剂可收到以下效果:

1) 有利于保持负极的正常充电状态,避免负极硫酸化并减小了负极自放电的析氢量。

2) 由于 VRLA 蓄电池浮充电压是定数,所以在保持负极正常充电状态的同时,也降低了正极极化电位,从而降低了正极板栅的腐蚀速度,利于延长寿命。

3) 使 VRLA 蓄电池内的氢气复合为水返回 VRLA 蓄电池内,既降低了放气阀排放量,也减少了水分的散失。

4) 可以降低浮充电流,减小 VRLA 蓄电池内部热量的产生,降低热失控的危险。此外还进行了将上述措施用于已经使用一段时间的旧 VRLA 蓄电池上,试验证明,VRLA 蓄电池加上气体复合催化剂后确实可以改善 VRLA 蓄电池的浮充运行状态。

2. 智能化 VRLA 蓄电池管理系统的应用

为了满足无人值守的要求,建立智能化 VRLA 蓄电池管理系统,其主要功能包括温度、电压监控,智能充、放电管理,VRLA 蓄电池故障检测及处理,以及容量检测和寿命预计等。智能化 VRLA 蓄电池管理系统应具有以下技术特性。

(1) 智能充电器。充电器产品主要是将电网电压变成可用于充电的电源,控制 VRLA 蓄电池的充电和停止充电,给出充电器的工作状态、VRLA 蓄电池的状态等显示。目前,先进的充电器已实现数字化、智能化,充电器的各种操作均由微处理器完成,能够实现 VRLA 蓄电池种类判断、根据用户要求选择充电电流、多种充满判定方式、多种保护措施、VRLA 蓄电池的充电容量显示、多路 VRLA 蓄电池同时或顺序充电、VRLA 蓄电池充满的声光提示等功能,充电方式可以是恒流、恒流恒压并辅以下拉负脉冲的方式,可以增加 VRLA 蓄电池的维护功能,通过对 VRLA 蓄电池的维护来提高 VRLA 蓄电池的寿命。

(2) VRLA 蓄电池充电性能。VRLA 蓄电池充电性能是影响 VRLA 蓄电池寿命的重要因



素之一。只控制充电电压而不控制充电电流,这样在 VRLA 蓄电池充电初期,由于 VRLA 蓄电池端电压与充电电压存在较大的压差,极易因充电电流过大而造成 VRLA 蓄电池损坏。智能化的充电管理能够根据使用条件、使用环境自动调节充电机理,从而为 VRLA 蓄电池创造良好的运行条件,有效延长 VRLA 蓄电池的使用寿命。

配有 VRLA 蓄电池充电电流传感器 (SH2),可以通过调整整流器的输出电压 (即 VRLA 蓄电池的充电电压)从而控制 VRLA 蓄电池的充电电流。能够适应不同类型 VRLA 蓄电池的充电管理,以支持多种 VRLA 蓄电池的使用。根据不同类型的 VRLA 蓄电池,其充电机理会自动进行调整改变。只需在 VRLA 蓄电池安装时,在控制面板输入 VRLA 蓄电池类型即可。

VRLA 蓄电池采取先恒流后恒压的充电方式。充电初期充电电流较大,智能化 VRLA 蓄电池管理系统根据所配置的 VRLA 蓄电池容量,自动将充电电流限制在 $0.1 \sim 0.2C$ (用户可通过控制面板调整),对 VRLA 蓄电池进行恒流充电,确保 VRLA 蓄电池充电时安全快速。当 VRLA 蓄电池容量达到 80% 后,控制智能充电器转为浮充电压对 VRLA 蓄电池进行恒压充电。

(3) 具有浮充电压温度补偿功能。通过在 VRLA 蓄电池组现场安装温度传感器,智能化 VRLA 蓄电池管理系统会实时取得 VRLA 蓄电池的环境温度数据,并根据 VRLA 蓄电池环境温度的变化自动调节浮充电压。VRLA 蓄电池的额定运行温度范围是 $10 \sim 30^{\circ}\text{C}$,在 $15 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 范围内,充电电压不必随温度的变化进行调整,如果运行温度不在此范围内,充电电压应随温度的变化自动予以调整。温度调整系数为 $-5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$,可以在 $-3 \sim -8\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 范围内设定。

(4) VRLA 蓄电池的自动检测功能。其主要作用是:检测 VRLA 蓄电池性能以及 VRLA 蓄电池回路是否正常。基本原理是:通过强迫 VRLA 蓄电池放电,检测 VRLA 蓄电池在一定时间内的放电电流和电压降。然后与智能化 VRLA 蓄电池管理系统内存储的放电曲线进行比较,给出 VRLA 蓄电池目前的品质状态。在检测技术上,各厂家有所不同。

在强迫 VRLA 蓄电池放电方面,有些厂家采取停止整流器工作的方式;有些厂家采取降低整流器输出电压的方式。显然,后者更先进、更可靠,因为这种方式不会由于蓄电池或蓄电池回路存在故障而造成输出断电。

在测试程序方面,大多数智能化 VRLA 蓄电池管理系统是将测试时间间隔设置为 24h;每次测试放电时间为 6s,智能化 VRLA 蓄电池管理系统采取恒功率放电,由于不受负载波动的影响,所得参数较准确。

在系统中设计安装了 VRLA 蓄电池接触器,VRLA 蓄电池接入系统由控制单元自动控制,避免了由于 VRLA 蓄电池的开关闭合时间不当带来的人为故障,确保在 VRLA 蓄电池检测时的可靠性,VRLA 蓄电池测试在以下情况将自动执行:

- 1) 系统启动后的 60s。
- 2) 市电中断时。
- 3) 市电恢复后 24h。
- 4) 测试失败后的 60s。
- 5) 手动命令。

每次放电测试后,控制单元均会对测试数据进行记录和分析,并显示分析结果。VRLA 蓄电池自动检测较传统方法的独特之处在于:

测试频度高,每 24h 进行一次。这样可以使用户及时掌握 VRLA 蓄电池的运行情况,在 VRLA 蓄电池出现性能下降的征兆时,就进行维护处理。避免了传统方法中,VRLA 蓄电池

在测试间隔期间(3~6个月)性能迅速下降甚至完全损坏的可能。由于用传统方法测试时,放电时间长、VRLA 蓄电池放电容量大(20%),故不可能进行如此频繁的测试,否则将影响 VRLA 蓄电池的使用寿命。

测试持续时间短,每次只需 6s,基本不消耗 VRLA 蓄电池容量。这样,即使在 VRLA 蓄电池检测后立刻发生市电停电的情况,VRLA 蓄电池的后备时间也不会受到损失。

(5) 过放电自动保护。VRLA 蓄电池过放电是指当 VRLA 蓄电池放电电压降至最低保护电压时,VRLA 蓄电池已处于被深度放电的状态。造成 VRLA 蓄电池过放电的原因主要有:

- 1) VRLA 蓄电池最低保护电压设置错误。
- 2) 小负载、长时间小电流放电。

在冗余系统中,轻载、长时间小电流放电造成的过放电情形很常见。这是因为,在系统设计时,配备 VRLA 蓄电池容量一般要求按满负载设计。实际应用中,负载往往只能达到额定容量的 30% 左右。根据这一情况,如果设计系统后备时间为 30min,则实际放电时间可达到 4h 左右,极易造成 VRLA 蓄电池的过放电。

通过修正相关设置可以纠正最低保护电压设置错误,但解决不了因小负载、长时间小电流放电造成的过放电。因此,更为先进的保护方式是:系统可以根据负载情况动态调整 VRLA 蓄电池最低保护电压。智能过放电保护单元中内置的微处理器会根据 VRLA 蓄电池的放电电流自动调节关断电压,保护 VRLA 蓄电池免受过放电损坏。因此,更为先进的保护方式是:根据负载情况动态调整 VRLA 蓄电池最低保护电压。

VRLA 蓄电池还具有智能过放电保护单元内置的微处理器会根据 VRLA 蓄电池的放电电流自动调节关断电压,保护电池免受过放电损坏。原理如图 1-2 所示。

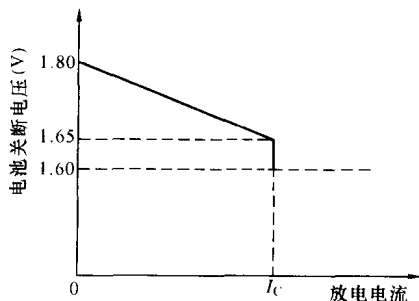


图 1-2 智能过放电及低电压报警

(6) 后备时间显示及低电压报警。当由 VRLA 蓄电池供电时,用户需要及时了解系统后备时间,采取相应措施。当 VRLA 蓄电池电压降低限时,报警通知用户,然后自动关机以防止 VRLA 蓄电池深度放电。

VRLA 蓄电池放电时,控制系统会根据 VRLA 蓄电池的类型、VRLA 蓄电池容量、浮充电压、VRLA 蓄电池最低放电电压等资料,结合当前的负载情况,实时计算 VRLA 蓄电池的后备时间、VRLA 蓄电池电压过低的预警值以及系统关机的最低值。计算每 30s 更新一次,以消除因负载变动引起的误差,确保检测精度。后备时间在液晶控制屏上实时显示。

当 VRLA 蓄电池电压到达 VRLA 蓄电池预警低电压时,声音报警频率会加快;配合电源管理软件,则可以实现网络设备顺序关机的功能。预警时间额定值为 5min,可以在 2~254min 范围内设置。VRLA 蓄电池预警低电压和预警时间是两个独立的参数,当 VRLA 蓄电池可供电时间少于预警时间值或 VRLA 蓄电池电压低于预警电压设置值时,均会报警。

以上这些 VRLA 蓄电池改进措施和智能化 VRLA 蓄电池管理系统的应用,都已引起 VRLA 蓄电池界同仁的关注,深信在不久的将来,我国能有自主知识产权的性能优异的 VRLA 蓄电池问世。



第2章

VRLA 蓄 电 池

工业 VRLA 蓄电池可分为两类：一类为深循环使用的 VRLA 蓄电池，另一类为浮充使用的“备用电源”VRLA 蓄电池。循环使用的 VRLA 蓄电池以深循环次数来表示其使用寿命，以 $0.8C_{10}$ 深度充放电循环使用的 VRLA 蓄电池，其寿命达到 1200 次以上；而浮充使用的 VRLA 蓄电池，年限可达到 10~12 年，有的可达到 15~20 年。VRLA 蓄电池只有 80% 容量时认为其寿命终止。

VRLA 蓄电池分为三类，即大型、中型、小型。单体在 200Ah 及以上为大型，20~200Ah 为中型，20Ah 以下为小型。电力系统在设计上一般均选用大型 VRLA 蓄电池，而 UPS 电源在设计上则选用中型 VRLA 蓄电池。VRLA 蓄电池的极板在制造过程中，对生极板进行充电化成，使正极板上的铅变成二氧化铅，负极板上的铅变成海绵状铅。但由于在制造厂对极板进行化成的时间有限，不可能将所有的物质均转化成活性物质，为此，国家标准规定新 VRLA 蓄电池达到 90% 容量为合格，只有在今后的日常使用中，容量逐渐达到正常值，安装 2 年后要求达到 100%。

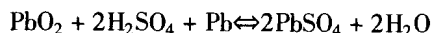
我国、日本、德国工业用 VRLA 蓄电池采用 10 小时率，美国工业用 VRLA 蓄电池标准为 8 小时率。我国电力、邮电标准规定，10 小时率 VRLA 蓄电池，1 小时率时容量为 $0.55C_{10}$ 。日本工业标准规定 2V，10 小时率 VRLA 蓄电池，1 小时率时容量为 $0.65C_{10}$ ；6V、12V，10 小时率 VRLA 蓄电池，1 小时率时容量为 $0.6C_{10}$ 。20 小时率 VRLA 蓄电池，10 小时率时容量为 $0.93C_{20}$ ，1 小时率时容量为 $0.56C_{20}$ 。电力系统一般在设计上均选用 10 小时率 VRLA 蓄电池，而 UPS 电源在设计上则选用 20 小时率 VRLA 蓄电池。

2.1 VRLA 蓄电池工作原理与特性

2.1.1 VRLA 蓄电池的工作原理及优点

1. 铅酸蓄电池的工作原理

19 世纪中期，铅酸蓄电池的问世解决了部分小用电设备的随机用电问题。但历经 100 多年的发展，其工作原理基本上没有什么变化，它的正常充放电的化学方程式为：



以上正常充放电化学方程式为理想化的原理方程式，似乎只要不受到机械损伤，一块铅酸蓄电池可无休止的使用下去，完成充放电过程。

在充电时，正极由硫酸铅（ PbSO_4 ）转化为二氧化铅（ PbO_2 ）后将电能转化为化学能储存在正极板中；负极由硫酸铅（ PbSO_4 ）转化为海绵状铅（海绵状 Pb）后将电能转化为化学