

电力系统用阀控式密封铅酸蓄电池 的选择和应用

卓乐友 汪海霞 李京 编
陈志蓉 郭亚莉



12.1

4



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电力系统用阀控式密封铅酸蓄电池 的选择和应用

卓乐友 汪海霞 李 京 编
陈志蓉 郭亚莉



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书全面介绍了电力系统用阀控式密封铅酸蓄电池的设计选择与应用,全书共六章。第一、二章为阀控电池的简单原理、结构、发电厂和变电所选择阀控电池的原则和计算方法;第三章为阀控电池的主要特性曲线和数据的意义及应用这些曲线的方法;第四章介绍国内外主要阀控电池的技术数据和曲线;第五、六章简介阀控电池的安装、检验、运行和维护的方法及注意事项,同时书后还有7个附录,分别介绍了阀控电池的直流系统中的充放电装置、直流自动空气断路器、蓄电池监测装置的选择与应用的数据,这些都是保证阀控电池安全、可靠的重要设备。

本书可供电力设计、制造和运行人员阅读,对其他部门有关人员选择阀控电池及大专院校的师生也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统用阀控式密封铅酸蓄电池的选择和应用/汪海霞等编著. —北京:中国电力出版社, 2001
ISBN 7-5083-0658-9

Ⅰ. 电… Ⅱ. 汪… Ⅲ. 阀控式蓄电池; 铅蓄电池—研究

Ⅳ. TM912

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 034247 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>)

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2001 年 10 月第一版 2001 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米 $\times$ 1092 毫米 32 开本 5.75 印张 125 千字 1 插页

印数 0001—3000 册 定价 10.00 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)



直流系统是保证电力系统中发电厂、变电所和大型工厂企业变配电所安全可靠运行的重要系统，蓄电池作为直流系统的电源是系统的关键设备。

铅酸蓄电池具有可靠性高、容量大、承受冲击负荷能力强及原材料取用方便等优点，故在发电厂和变电所中广泛采用。以往固定型铅酸蓄电池分为开口式、防酸式和防酸隔爆式等，它们存在体积大，电解液为流体，如溅出会伤人和损物，使用过程产生氢、氧气体，伴随着酸雾，对环境带来污染，维护运行操作复杂等缺点。近十多年来，阀控式密封铅酸蓄电池（下称阀控电池）基本上克服了一般铅酸蓄电池的缺点，逐步取代了其他型式的铅酸蓄电池。归纳起来，阀控电池有以下特点：

- (1) 无需添加水和调酸的比重等维护工作，具有免维护功能；
- (2) 大电流放电性能优良，特别是冲击放电性能极佳；
- (3) 自放电电流小， 25°C 下每天自放率2%以下，约为其他铅酸蓄电池的 $1/4 \sim 1/5$ ；
- (4) 不漏液，无酸雾，不腐蚀设备及不伤害人，对环境无污染；
- (5) 电池寿命长， 25°C 浮充电状态使用，电池寿命可达

6A45407

10~15年；

(6) 结构紧凑，密封性好，可与设备同室安装，可立式或卧式安装，占地面积小，抗振性能好；

(7) 不存在镉镍电池的“记忆效应”（指在循环工作时，容量损失较大）的缺点。

国内近十多年来已有近百家电池厂生产阀控电池。一部分电池厂分别由德国、美国、日本、西班牙等引进了生产技术和部分制造设备；另一部分电池厂采用国产设备和新的技术，生产的阀控电池容量为100~3000Ah。目前国内的中小容量发电厂和220kV及以下变电所已广泛采用阀控电池，近几年500kV变电所和300MW及以上容量发电厂也逐步增多。从运行情况看，阀控电池性能稳定、可靠，维护工作量小，受到设计和运行人员的欢迎。但阀控电池对温度的反应较灵敏，不允许严重的过充电和欠充电，对充放电要求较为严格，要求有性能较好的充电装置。目前，国内外广泛采用高频开关式充电装置，它的输出直流波纹系数小（0.05%~0.1%），稳压和稳流系数也很小（0.2%~0.5%），且能按规定的程序自动地对阀控电池进行充放电，基本上满足了阀控电池的要求。当前，阀控电池价格较高，但随着它的广泛使用，制造厂将能提高经济效益，降低成本，今后可望被更广泛地使用。

在工程设计和应用中，由于蓄电池的容量选择或管理不善，造成直流系统故障，导致电力系统事故扩大、设备损坏、人身伤亡等恶性事故时有发生，追溯其原因之一，是由于有些电池厂的产品质量低劣，无严格的管理和试验手段，蓄电池的特性曲线不准确，性能不稳定，所以希望国家尽快制定产品质量标准及试验管理条例，要求制造厂提供准确的

特性曲线，设计单位选用质量合格、有运行业绩的电池。

电力规划设计总院以电规发〔1995〕145号文，关于寄发《小型电力工程直流系统设计规范》（简称《小直规》）编制大纲审查会议纪要的通知中，所列《各类蓄电池特性曲线修编》专题任务，《小直规》编制组对有关蓄电池制造厂的阀控电池的特性进行了认真的测试，并进行汇总分析，提出供《小直规》审查会讨论审查的标准曲线。1999年11月，电规总院在长沙召开了阀控电池的特性曲线审查会；1999年12月，电规总院在北京召开的《小直规》审查会，又对特性曲线进行审查修编，并将蓄电池计算所需要的特性曲线归纳到该规范中。本书将该标准曲线给大家作简单介绍，可作为工程初步设计时蓄电池选择及直流系统设计的依据。由于各个制造厂蓄电池的特性略有差异，故在施工图阶段，应对初步设计中选择好的蓄电池容量作进一步的校验。

本书除简单介绍阀控电池的原理、结构、技术参数和标准特性曲线外，还收集了国内通过各级领导机关鉴定、评审合格的制造厂的技术电池特性，以及国外阀控电池在国内有运行业绩的产品情况及技术参数作了介绍，供大家参考。

本书由电力规划设计总院卓乐友、汪海霞、陈志蓉、李京和郭亚莉编写，卓乐友任主编，刘百震对全书进行校核。

《小直规》编写组和蓄电池特性曲线编制组的陈巩、刘百震、白忠敏、於崇干、张智忠等同志为标准曲线的编制做了大量工作，许多制造厂提供了电池的特性曲线及相关资料，给予我们大力的支持与帮助，在此，向他们表示衷心谢意。

由于电池技术不断发展，产品也在改进，书中的技术参

数也将有所改动。加之时间比较仓促，书中不足之处，敬请设计使用单位及制造厂及时反映，以便修改补充。

编者

2001.3

目 录

前言

第一章 阀控电池的原理和结构简介	1
第一节 阀控电池的化学反应原理	3
第二节 阀控电池的分类	4
第三节 阀控电池的结构	6
第四节 阀控电池的主要技术指标	20
第二章 阀控式铅酸蓄电池的选择原则	24
第一节 阀控电池使用范围	25
第二节 阀控电池直流系统的基本接线	26
第三节 直流系统的电压	38
第四节 蓄电池组数和个数	45
第五节 蓄电池容量选择	49
第六节 阀控电池的内阻及短路电流	74
第三章 阀控电池的特性曲线及数据	80
第一节 充放电方式概述	80
第二节 充电特性	84
第三节 放电特性	87
第四节 冲击放电特性	90

第五节	容量系数和容量换算系数	93
第六节	温度与容量及寿命的关系	97
第四章	国内外阀控电池主要技术性能	99
第五章	阀控电池的安装	123
第六章	阀控电池的检验、运行和维护	130
第一节	阀控电池的检验	130
第二节	阀控电池的运行和维护	131
第三节	阀控电池的故障及处理	133
第四节	管理工作	134
附录 A	阀控电池的主要名词术语	136
附录 B	高频开关整流装置简介	138
附录 C	主要放电装置的技术简介	148
附录 D	直流自动空气断路器的技术数据	156
附录 E	蓄电池监测装置简介	164
附录 F	遵守的主要规程规范和参考资料	171
附录 G	国内主要阀控式密封铅酸蓄电池生产厂 通信名录	172

第一章

阀控电池的原理和结构简介

阀控电池是装有密封气阀的密封铅酸电池。阀控电池容量分为大型、中型和小型三种，单体电池容量 200Ah 及以上为大型，20 ~ 200Ah 为中型，20Ah 以下为小型。

阀控电池正常充放电运行状态下处于密封状态，电解液不泄漏，也不排放任何气体，不需要定期加水或加酸，正常时极少维护，因此，阀控电池的结构具有以下特点：

(1) 板栅采用无锑（或低锑）多元合金制成正极板，保证有最好的抗腐蚀、抗蠕变能力。负极板采用铅钙合金，以提高析氢过电位。

(2) 采用吸液能力强的超细玻璃纤维材料作隔膜，具有良好的干、湿态弹性，使较大浓度的电解液全部被其贮存而电池内无游离酸（贫液），或者使用电解液与硅熔胶组合为触变胶体。

(3) 负极容量相对于正极容量过剩，使其具有吸附氧气并将其化合成水的功能，以抑制氢氧气体发生速率。

(4) 装设自动关闭的单向节流阀（阀控帽），当电池在异常情况析出盈余气体，或长期运行中残存的气体时，经过节流阀泄放，随后减压关闭。单体电池的结构示意图 1-1。

阀控电池可为单体式(2V), 200Ah 及以下容量的电池

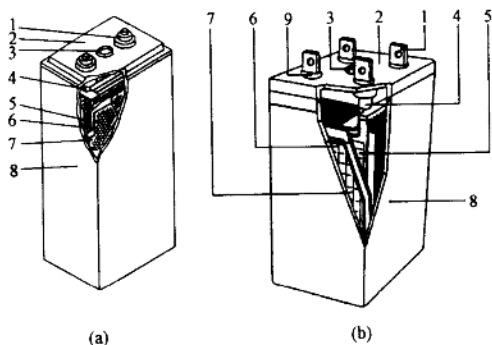


图 1-1 单体电池结构示意图

(a) 小容量一组接线端子电池; (b) 大容量二组接线端子电池

1—接线端子; 2—盖; 3—安全阀; 4—极柱; 5—正极板;

6—隔板; 7—负极板; 8—外壳; 9—端子胶

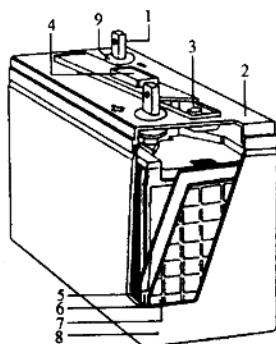


图 1-2 组合式阀控电池 (12V)

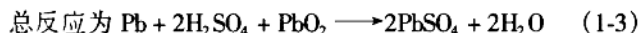
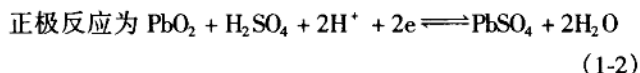
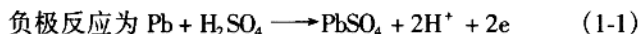
结构示意图

1—接线柱; 2—盖; 3—安全阀; 4—防爆陶瓷过滤器; 5—正极板; 6—隔板; 7—负极板; 8—外壳; 9—端子胶

可以组合成 6V (3 个 2V 单体电池组成) 和 12V (6 个 2V 单体电池组成)。为便于调整电池组的电压, 国内外有的电池制造厂可在 6V 组合电池抽出 1 个成为 4V 电池, 12V 组合电池中抽出 1 个成为 10V 电池, 订货时需特别说明, 其外形尺寸与同容量的 6V 和 12V 电池相同, 组合式阀控电池结构示意图 1-2。

第一节 阀控电池的化学反应原理

铅酸密封电池分排气式和非排气式两种。阀控电池是一种用气阀调节的非排气式电池。阀控电池和其他型铅酸电池的化学反应原理一样，放电过程是负极进行氧化，正极进行还原的过程；充电过程是负极进行还原，正极进行氧化的过程。铅酸电池的负极和正极平衡电极反应式分别如下。

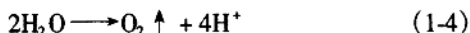


放电过程式 (1-1) 表明：Pb 以极大速率溶解，在向外电路供出电子的同时，Pb 还夺取界面电解液中的 H_2SO_4 ，使之生成 PbSO_4 。式 (1-2) 表明 PbO_2 以极大速率吸收外电路的电子，并以低价的 Pb^{2+} 形式在电极表面形成 PbSO_4 。

充电过程，从式 (1-1) 表明：电极表面的 Pb^{2+} 以极大速率夺取外来电子，使 PbSO_4 恢复成活性物质。从式 (1-2) 表明：在外电源作用下 Pb^{2+} 释放电子，并与电解液生成 PbO_2 。

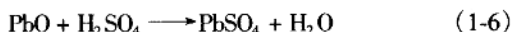
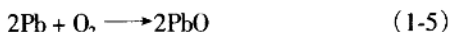
铅酸电池放电过程消耗了活性物质 Pb 和 PbO_2 及 H_2SO_4 ，而两极上生成产物为难溶物质 PbSO_4 及导电性差的 H_2O ，所以将化学能转换成电能。

在充电最终阶段，正极性中的 H_2O 将产生氧气，即

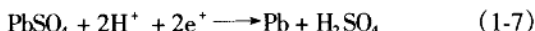


氧气经隔板中的气体通过负极板，并与活性物质海绵状

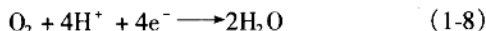
Pb 及 H_2SO_4 反应，使一部分活性物质转变为 PbSO_4 ，同时抑制氢气产生，其反应式为



由于氧化反应而变成放电状态的 PbSO_4 ，经过继续充电又回复到海绵状铅上，即



负极板上总的反应为式 (1-5) + 2 式 (1-6) + 2 式 (1-7)，即



式 (1-8) 正是式 (1-4) 的逆过程，在充电的最终阶段或过充电，正极板上的水产生氧气，在负极板上被还原成水，使水没有损失，所以阀控电池可做成密封结构，不会使水消失。

第二节 阀控电池的分类

通常用的阀控电池有两类：一类为贫液式，即阴极吸收式极板细玻璃纤维隔膜电池，国内的华达、南都、双登等电池厂的电池和国外进口的日本汤浅、美国 GNB 公司的电池，属于这类电池。另一类为胶体电池，国内沈阳东北蓄电池股份有限公司电池厂的电池和国外进口的德国阳光电池，属这类电池。

两种类型的阀控电池的原理和结构都是在原铅酸蓄电池基础上，采取措施促使氧气循环复合及对氢气产生抑制，任何氧气的产生都可认为是水的损失。如果水过量消耗就会使

电池干涸失效，电池内阻增大而导致电池的容量损失。

贫液式阀控电池用超细玻璃纤维隔膜将电解液全部吸附在隔膜中，隔膜约处于 95% 饱和状态，电解液密度约为 1.30kg/l。电池内无游离状态的电解液。隔膜与极板采用紧装配工艺，内阻小受力均匀。在结构上采用卧式布置，如采用立式布置时，则把同一极板两端高度压缩到最低限度，以避免层化或使层化过程变慢。

胶体阀控电池和传统的富液式铅酸电池相似，将单片槽式化成极板和普通隔板组装在电池槽中，然后注入由稀硫酸和 SiO_2 微粒组成的胶体电解液，电解液密度为 1.24kg/l。这种电解液充满隔板、极板及电池槽内所有空隙并固化，并把正、负极板完全包裹起来。所以在使用初期，正极上产生的氧气没有扩散到负极的通道，便无法与负极上活性物质铅还原，只能由排气阀排出空间。使用一段时间后，胶体开始干涸和收缩而产生裂缝，氧气便可透过裂缝扩散到负极表面，氧循环得到维持，排气阀便不常开启，电池变为密封工作。胶体电解液均匀性能好，因而在充放电过程中极板受力均匀不易弯曲。胶体电解液电池的顶端和底部的电解液流动被阻止了，从而避免了层化。

贫液式阀控电池的电解液全部被隔膜和极板小孔吸附，做到电池内部无流动的电解液，隔膜中剩余 2% 左右的空间（即大孔）提供氧气自正极扩散到负极的通道，使电池在使用初始立即建立起氧循环机理，所以无氢氧气体透过排气阀逸至空间。而胶体式电池使用初期与一般富液式电池类似，不存在氧复合机理，有氢氧气体逸出，此时必须考虑通风措施。

贫液式阀控电池用超细玻璃纤维隔膜孔径较大，又使隔

膜受压装配，离子导电路径短，阻力小，使电池内阻变低。而胶体电池当硅溶胶和硫酸混合后，电解液导电性变差，内阻增大，所以贫液式阀控电池的大电流放电特性优于胶体电池。

有些电池厂在贫液式阀控电池的基础上，采用复合 AGM 隔板，该隔板材料中加入少量 PE 憎水纤维，电解液可高出极板顶部。电池加酸后，在 PE 憎水纤维表面形成连续的气膜，作为氧气的扩散通道，为氧气的再化合反应提供了良好的条件，延长电池的使用寿命。

贫液式电池的电解液均匀性和扩散性优于胶体式电池。

贫液式电池的制造要求保持单体极群一致性，灌酸密度可靠性等技术工艺水平较高，因电池使用寿命与环境温度有密切关系，故要求电池室有较好的通风设施。同时贫液式阀控电池要求充电质量较高，密配置功能完善、性能优良的充电装置。

目前，国内生产贫液式阀控电池较多，故本书重点介绍该类电池。

第三节 阀控电池的结构

阀控电池由电极、隔板、电解液、电池槽及节流阀等组成。

一、电极

铅酸电池负极活性物质为绒状铅，与稀硫酸溶液构成难溶盐电极；正极活性物质为 PbO_2 ，与稀硫酸溶液构成氧化-还原电极。

正电极采用管式正极性或涂膏式正极性，通常固定式电池采用管式正极板，移动型电池采用涂膏式极板。负极板通常采用涂膏式极板。板栅材料采用铅锑合金。固定式电池锑含量为2%~5%。移动式电池锑含量约为7%~10%。

正极板与负极板的结构如图1-3所示。

极板是在板栅上敷涂由活性物质和添加剂制造的铅膏，经过固化、化成等手续处理而制成。板栅由于支撑疏松的活性物质，又用作导体，故要求板栅的硬度、机械强度和电性能质量较好，它是保证电池寿命的重要因素。

板栅结构有垂直板栅和放射状板栅，要求电流分布均匀。板栅厚度要保

证机械强度和耐腐条件较好，但太厚后其内阻较大，影响大放电性能，一般阀控电池厚度取6mm。由于正极板 PbO_2 的电化当量为4.46g/Ah，负极板上活性物质Pb的电化当量为3.87g/Ah，正、负极活性物质当量比为1:1.08~1:1.2，故一般正极板的厚度略厚于负极板厚度。

阀控电池的板栅材料，尤其是正极板栅材料的要求非常严格，要求其硬度、机械强度、耐腐蚀性能和导电性能好，使用锑、砷等耐腐蚀的合金材料，同时要求合金材料对负极析氢催化作用减至最小程度。目前常用的板栅材料有以下几

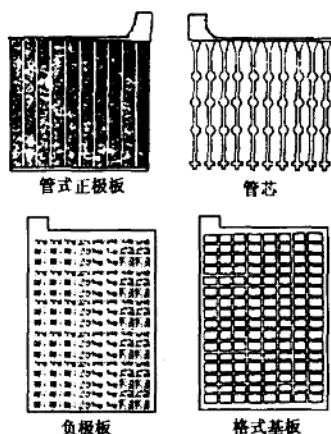


图1-3 阀控电池的极板结构

种:

(1) 铅、钙合金: 铅中加 0.06% ~ 0.10% 的钙。

(2) 铅、钙、锡合金: 在铅、钙合金中加入 0.25% ~ 0.7% 的锡。

(3) 铅、锆合金: 铅与 0.8% ~ 3% 的锆共熔而成。

(4) 铅锑砷铜锡硫(硒)合金: 除铅外, 锑占 0.8% ~ 4%, 砷占 0.15% ~ 2%, 铜、锡和硫(硒)适量。

(5) 铅、锑、镉合金: 除铅外, 加入 1% ~ 2% 锑和 1.5% ~ 2% 的镉。

(6) 镀铅铜板栅: 铜基板栅的铅酸电池由于铜的电导比铅高, 减少了欧姆极化电势, 使电极内电流分布均匀, 提高了活性物质使用率, 适用于放电电流大的电池。

在大容量阀控电池中, 由于铜较铅的密度小, 使板栅变薄, 减轻电池质量, 且在生产过程, 无铅板成型过程的污染。为了使负电极表面不产生铜的沉积, 可用真空喷涂或电沉积在铜板栅上形成厚的铅层。

铅膏是将铅粉与添加剂混匀, 加入硫酸溶液, 再用搅拌机搅拌均匀而成。铅膏的密度对铅膏的质量影响很大, 铅膏密度低时, 极板上活性物质孔率大, 电解液扩散条件变好, 活性物质利用率增高, 但极板松软, 电池运行过程中活性物质容易脱落。反之, 铅膏密度高时, 会使极板强度增加而使活性物质不易脱落, 但是活性物质利用率降低, 影响使用容量。

铅酸电池负极板的活性物质中, 还添加微量其他物质, 一种是阻化剂, 用于抑制氢气发生和防止制造过程及贮存过程的氧化; 另一种是用来提高输出容量和延长循环寿命的膨胀剂。

阻化剂常用松香、甘油、 α -羟基、 β -苯甲酸等。