

阀控式铅酸蓄电池起火原因及着火痕迹分析

何山

百色市消防救援支队右江区大队

摘要：阀控式铅酸蓄电池广泛运用各个行业，因其结构和工作原理，在充电和放电过程都会产生热量和气体，如果在贮存和使用过程中未能妥善安装和维护，容易导致燃烧和爆炸，导致火灾发生。本文通过对阀控式铅酸蓄电池结构和原理介绍，分析起火原因及着火痕迹，有效预防阀控式铅酸蓄电池火灾发生。

关键词：阀控式铅酸蓄电池；安全阀；火灾原因；着火痕迹

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.14.123

一、引言

大规模工业化二次电池主要包括铅酸电池、镍镉电池、氢镍电池和锂离子电池。镉镍电池含有剧毒元素镉，已逐渐被其他电池取代。目前，市场上使用最广泛的电池是铅酸电池、锂离子电池和氢镍电池。1859年法国人普兰特发明铅酸蓄电池至今，经过一百多年的发展与完善，因电池工业化生产时间长、技术成熟，成本低且回收价值高，被广泛用于电力、通信、金融、交通等领域。阀控式铅酸蓄电池的出现解决了铅酸蓄电池充放电产生的气体压力过大的爆炸风险，因其性能稳定可靠，且安全性高，阀控式铅酸蓄电池被冠以“免维护型电池”的美称。然而，因其“名号”放松了管理和维护，造成电池故障引发火灾。本文将结合阀控式铅酸蓄电池的结构和工作原理，分析引发着火原因及相关的着火痕迹，本文分析的吸附电解质铅酸电池。

二、阀控式铅酸蓄电池结构和工作原理

（一）阀控式铅酸蓄电池结构

阀控式铅酸蓄电池按结构分为：吸附电解质、管式胶体电解质及板式胶体电解质阀控式铅酸蓄电池3种类型。本文只分析吸附电解质型结构，其电解液为硫酸溶液，内部结构主要为正负极板、电极、汇流排、隔板及密封壳等，二氧化铅及绒状铅分别作为正极和负极的活性物质涂抹在板上，隔板采用超细玻璃纤维制作。

（二）工作原理

通过极板的活性物质与电解液发生氧化还原反应实现充放电。正极板主要是二氧化铅，具有较强的氧化性，放电时，与硫酸发生反应生成硫酸铅，并吸收电子。负极为铅物质，具备较强的还原性。

放电时，与硫酸根离子结合成硫酸铅，并释放电子。电解液中存在的硫酸根离子和氢离子在电力场的作用下分别移向电池的正负极，形成电流回路，蓄电池向外持续放电。

充电时，在外界电流的作用下，硫酸铅被离解为铅离子和硫酸根负离子。由于外电源不断从正极吸取电

子，铅离子与水反应，在正极极板上天生二氧化铅。负极板在外界电流的作用下，硫酸铅被离解为铅离子和硫酸根负离子，由于负极不断从外电源获得电子，则铅离子被中和为铅，并以绒状铅附在负极板上。

（三）安全阀工作原理

铅酸蓄电池主要作为备用电源，起状态长期为浮充和过充电，硫酸溶液作为电解液，不断发生化学作用，产生气体。当阴极板无法全部是吸收气体时，电池内部压力继而增加，常见的有电池鼓包、漏液现象。安全阀使用单向阀，当电池内部压力达到开阀压时，阀门开启排泄气体，有效降低电池内部气压。当内部气压降至闭阀值时，阀门自动关闭。

三、阀控式铅酸蓄电池火灾原因分析

对铅酸电池着火分析，容易与锂电池着火的调查方向混淆，铅酸电池和锂电池两者之间来说，锂电池相对容易着火爆炸，一是两者产生的电物质不同。其中铅酸电池是属于硫酸物质无机物，而锂电池属于锂离子有机物易被点燃。二是两者的保护不同，锂电池主要依靠电池保护板，即安装在电池负极端的保护电路，锂电池的保护程序一旦失效，内部就会产生大量热量，发生着火。铅酸电池主要依靠安全阀，安全阀一旦失效，在充放电种产生的热量使内部电阻增加，引发着火。

（一）安全阀失效

（1）设定的开/闭阀值异常。上文已提到安全阀的工作原理，根据《固定型阀控密封式铅酸蓄电池》（GBT 19638.2-2005）规定，在1~49kPa气压范围内安全阀能开启和关闭，安全阀的阀限值电池上均有标示。可以对同类型产品进行现场试验，没有做出自动开启/关闭的动作，即为失效。

（2）安全阀采用塑胶材料，常年使用中容易老化，出现漏液的情况，加速电池枯干。其次，在检修安全时，对其挤压、碰撞或未使用专业工具安装拆解安全阀，都会造成失效。

安全阀失效后，当电池长期处于开阀状态，空气进入而使电池自动放电，内部失水，电池枯干，内阻变大，引发热失控。当电池长期处于闭阀状态，电池内部氧化还原产生的化学热量和气体无法排出，压力增大，热量积累，出现鼓包和电容变小，引起热失控甚至爆炸。

（二）极板腐蚀、老化

吸附电解质铅酸电池极板通常采用涂膏式极板，即导体板栅涂填上二氧化铅及绒状铅活性物质，极板老化主要是指涂抹在极板上的活性物脱落，引起极板破损。铅酸电池长期处于充放电状态，电池极板容易出现老

化，极板上的活性物质脱落，使充电和放电反应中活性物质转换不对等，会产生过充电情况，继而引发“析气”，造成氧化还原反应效率降低、充电时间变长，同时加速了活性物质脱落，引起内压逐渐变大，到达峰值时会使电池爆裂。

（三）极板击穿

铅酸电池在两极板间均需插入隔板，以防止正、负极板相互接触而发生短路。而极板上脱落的活性物质在底部聚集，二氧化铅和铅易形成导电层，随着导电层不断扩大，电池内部电流持续攀升，大电流会击穿隔板，导致正负极直接相连引起短路，电池内部会产生大量热量，造成电池着火。此外，本文分析的吸附电解质铅酸电池，所使用隔板采用超细玻璃纤维制成，隔板老化同样会导致正负极板虚接或者直接连接，造成短路，引发着火。

（四）接口接触不良

铅酸蓄电池正负极连接条为耐酸腐蚀的铅金属条。接口处多为铜制接口。连接条松动，会引起接触不良，电阻异常增大。连接部分的接触不良会导致局部发热、发烫乃至过热起火，发生接触不良时，接触部位会出现局部变色痕迹，表面附着黑色炭化物，局部出现金属融化痕迹。

四、阀控式铅酸蓄电池着火痕迹分析

通过对2起阀控式铅酸蓄电池火灾事故调查中，着火痕迹进行分析，进一步验证阀控式铅酸蓄电池起火原因：

1、2022年，某水利发电厂中控室设备房备用电源发生火灾，燃烧物为阀控式铅酸蓄电池发生火灾。火灾在初期阶段被工作人员使用干粉灭火器扑灭。该组蓄电池使用超过15年，火灾发生前两天，刚完成放电性试验。火灾发生后，对现场进行勘验，设备房内部为2组64个蓄电池组，电池组柜线南侧紧挨1个UPS电源控制柜，电池之间用铜质导线相连，32个电池串联为1组，两组并联使用。阀控铅酸蓄电池柜上方吊顶部分过火掉落地面，紧贴吊顶下部部分腻子粉过火脱落露出红色砖体，且该处上部烟熏痕迹最重，烟熏痕迹由中间向两侧逐渐减轻，由上往下逐渐减轻，墙面呈“V”字型烟熏痕迹（如图1-1）。



图1-1

从墙面“V”型烟熏痕迹底部水平位置附件对应的蓄电池组可判定为起火部位。该蓄电池过火后，外壳全部烧毁，少量炭化外壳附着在顶部，内部玻璃纤维板裸露，整体呈现白色，纤维隔板鼓胀，部分隔板破损，有大量球形铅熔铸从隔板之间被挤出来，少量球形铅熔铸附着在隔板上（如图1-2）。



图1-2



翻开电池底部散落大量铅熔铸（如图1-3），可判定铅酸电池发生了内部短路，短路导致电池内部电流持续攀升，大电流会击穿隔板，电池内部会产生大量热量，引发热失控，造成电池着火。大电流的痕迹，可以从该电池电极铜制接口及导线痕迹进行佐证。接口痕迹分析，该电池一侧电极铜制接口崩脱，其他电极接口与电极连接，绝缘外壳被烧毁，但位置保持原样，崩脱的接口缺口处有氧化痕迹（如图1-4）。



图1-4

导线痕迹分析，该接口导线上的多股铜线因高温嵌入钢架横梁中，横梁因高温出现凹口，并有铜线熔融痕迹（图1-5）。



图1-5

此阀控式铅酸蓄电池着火诱因为电池内部隔板击穿引发的热失控典型痕迹表现。

2、2023年某高速路口收费站机房内备用电源的普通铅酸蓄电池发生火灾，现场人员使用灭火器将火扑灭，起火的铅酸电池组使用7年。据现场工作人员反映，在起火前一天开展防火巡检时，已发现该组电池中，有部分电池外壳有些鼓胀，因缺乏对铅酸蓄电池专业知识了解，没有及时更换故障电池。经现场勘察，该房外部有轻微烟熏痕迹，内部烟熏痕迹较重且较为均匀，在房间内蓄电池组架有过火痕迹，其余地方仅有烟熏无过火痕迹。起火蓄电池组由下往上分四层，每层8个电池串联，第3、4层，电池塑料外壳未燃烧，仅有烟熏痕迹，第1层电池底部塑料底座因高温融化，第2层电池有明显过火痕迹，塑料外壳被烧毁，底部有残留（如图2-1）。



图2-1

第2层电池电极接口及导线位置未发生偏移，接口未脱落。因高温导线外壳碳化，导线未裸露，线路上无融痕。对当事人指认的鼓包蓄电池位置勘验，此电池组极板有变形，排列不均匀，部分极板之间有炸裂痕迹，极板上有大量金属熔铸被挤出，呈现喷溅痕迹（如图

2-2）。



图2-2

综合勘验情况，引起电池着火的诱因为安全阀“失效”失效，导致电池内部“析气”无法有效排出，引起电池鼓包，当压力到达峰值时，内部电池炸裂，引发着火。

小结

预防阀控式铅酸蓄电池火灾，从管理方面来看，管理人员应掌握铅酸电池基本常识，做好日常巡检工作，发现电池有鼓包或安全阀渗水等异常情况时，要及时查看设备运行参数、运行温度、电压、内阻是否正常；定期检查并记录电池室环境温度和电池的浮充电压；查看电池上正负极柱有无变形、电池连接条有无松动、腐蚀现象。对阀控式铅酸蓄电池选型要求，外壳材料必须使用ABS材料，耐燃等级B1级以上，电池应直接向厂家购货，避免出现假货或劣质货。蓄电池室内温度控制在22-25℃之间，保持清洁、通风。对新安装的蓄电池组，应进行全核对性放电试验，以后每隔2-3年进行1次核对性试验。对已运行6年的蓄电池组应每年做1次核对性放电试验，单体电池测量电压时，不能只在浮充状态进行，还应在放电状态下进行，严禁过放电。若蓄电池组的容量达不到额定容量的80%以上，可判定此组蓄电池已失效。

参考文献

- [1] 四川大华杰照明电器有限公司. 一种密封阀控式铅酸蓄电池: CN202022272492.3 [P]. 2021-08-03.
- [2] 李华, 周哲, 赵浩标. 浅论阀控式铅酸蓄电池安全阀的重要性[J]. 中国设备工程, 2017(10): 109-111.
- [3] 黄建江. 阀控式铅酸蓄电池组着火原因分析及应对措施[J]. 电力安全技术, 2016, 18(10): 16-18.
- [4] 黄建江. 阀控式铅酸蓄电池组着火原因分析及应对措施[J]. 电力安全技术, 2016, 18(10): 16-18.