

数据中心和网络机房蓄电池系统： VRLA电池组的可靠性与安全性

第 39 号白皮书

版本 2

作者 Stephen McCluer

> 摘要

阀控铅酸(VRLA)蓄电池是中小型不间断电源(UPS)的首选储能电池。本白皮书探讨了技术对蓄电池整体寿命和系统可靠性的影响，此外，还将介绍 VRLA 蓄电池的预期性能、影响其生命周期的因素，以及故障应对机制。

目录

[点击内容即可跳转至具体章节](#)

简介	2
VRLA 蓄电池的类型	2
VRLA 蓄电池的工作原理	3
VRLA 蓄电池的预期寿命	4
故障模式	4
安全性	7
回收处理和环境安全	7
结论	8
资源	9

简介

阀控铅酸(VRLA)蓄电池已在 UPS 系统中运用了将近 20 年之久。与传统的富液电池相比，VRLA 蓄电池的功率密度更高，投资成本更低。通常来说，500 kVA 以下的电源系统中适合采用 VRLA 蓄电池。VRLA 蓄电池的功能包括：

- 蓄电池箱密封，不能加入或倒出电解液
- 其铅板浸在用水稀释了的硫酸溶液（电解液）中
- 电解液不流动（不允许流动）
- 在高电流下工作
- 安全排气口只有在电池故障或超量充电的情况下，才会排气
- 在内部，氧和氢重新结合形成水
- 安装在开放式机架或大型机柜中（或内置在小型电源系统中）

本文将详细探讨与 VRLA 蓄电池工作相关的部分因素。人们对于 VRLA 蓄电池的关注主要集中在两个方面：可靠性和安全性。因为 VRLA 蓄电池十分普及（每年估计部署 1000 万个左右），许多人都有使用 VRLA 技术的经验，其中有好也有坏。为了更好地了解 VRLA 技术的应用范围与限制，我们首先需要了解 VRLA 设计中的各种变化以及它的工作原理。之后，我们就能看到对于这种技术的正确与错误应用。所有产品都有使用期限。我们将探讨 VRLA 蓄电池的寿命，以及对它的应用和维护将如何影响其寿命。尽管灾难性故障并不常见，但我们将了解如果 VRLA 电池使用不当，将会发生哪些安全危险。

VRLA 蓄电池的类型

VRLA 蓄电池有时可通过其采用的**固定电解液技术**来识别，它分为两种类型：

- 凝胶电池 - 在这类型电池中，电解液分布在电池极板和隔板周围，通过添加一种凝胶增稠剂来防止其流动。凝胶电池有时较常用于室外机柜和光伏发电应用中。与北美相比，它们在欧洲和亚洲的普及程度更广。
- 吸附式玻璃纤维隔板(AGM)电池 - 在这类型电池中，多孔透水的吸附式玻璃纤维隔板将极板隔开，以类似于海绵的方式吸附电解液。相比之下，AGM 相比凝胶电池更常见，将作为本文讨论的重点。AGM 适用于数据中心和网络机房等需要能够充分把控的环境。

VRLA 电池还可根据其**极板类型**进行进一步细分。

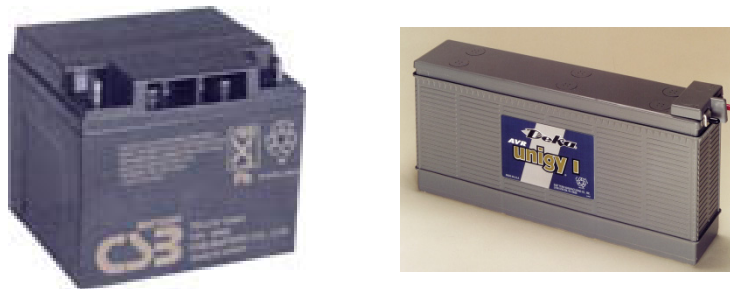
- 被称为“电信用”或“长持续时间”的 VRLA 蓄电池极板较厚，使电池须经过几小时才能达到其最终电压。如果低于每电池 1.75 V，它们一般不再放电。
- 被称为“UPS 用”或“高放电率”VRLA 蓄电池极板较薄，蓄电池只需几分钟就能达到其最终电压。它们一般在 1.67 V 到 1.70 V 左右放电。

VRLA 蓄电池也能根据其**蓄电池箱类型**进行细分：

- “整体蓄电池箱”VRLA 一般是一个 6 V（3 x 2 V 电池）或 12 V（6 x 2 V 电池）蓄电池箱。端子可以在蓄电池箱的顶部，也可以在蓄电池箱的一端。这种电池无疑是中小型电池备用系统使用最广泛的电池，适用于数据中心、网络机房和电信环境。

图 1

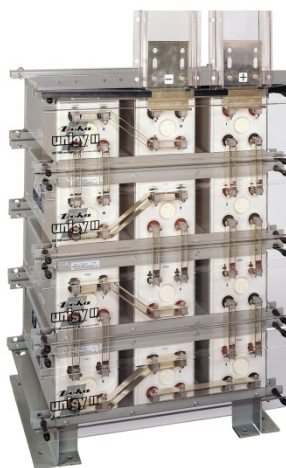
“整体蓄电池箱” VRLA 蓄电池示例



- “单元式” VRLA 蓄电池几乎都是由单独的 2 V 电池组成，一般水平安装，以便其所有连线和维护都从系统“前面”进行。这些电池常常打包为钢制“模块”，而这些模块能够叠放，串联和/或并联。该类型电池最常用于希望实现长时间、高功率备用的电信应用。

图 2

“单元式” VRLA 蓄电池



- “模块化” VRLA 蓄电池实际上是排成一串、方便打包的多个 VRLA 电池，安装和拆除非常快捷。插装式电池模块能插装进设计了匹配插座的电池机柜中。

图 3

“模块化” VRLA 蓄电池



VRLA 蓄电池的工作原理

阀控铅酸蓄电池这一名称来自于蓄电池箱中有一个标志性的阀门。与过去的富液电池不同，VRLA 蓄电池的设计既防止气体释放——这是电气化学反应通常会产生的副产品，也防止外部空气进入。在铅酸蓄电池充电期间，一般会释放氢气。在排气式电池中，氢气会逸入大气中。而 VRLA 蓄电池使用的一个流程（该流程不在本白皮书讨论范畴内），将氢和氧重新结合，将水分

损失减至最少。在普通浮充状态下，大约 95%到 99%的氢和氧再次结合了。阀门可重复密封，只有当压力超过安全阈值时，才排出不能重新结合的气体。

尽管其电气化学反应过程与富液电池类似，但 VRLA 的不同之处在于正极释放氧气、到达负极，最终形成水的速率。其速率要比富液电池快几个数量级。因为不能加水，所以氢氧重新结合生成水，对于 VRLA 电池的寿命和健康运行极为重要。任何会提高蒸发速度或失水速度的因素都将缩短电池寿命。这其中包括蓄电池箱材料、工作或存储环境温度，以及充电电流热失控等。

VRLA 蓄电池的预期寿命

在蓄电池行业，一直存在着对于“预期寿命”的争议。如果我们忽略作为商业术语的“保修期”，实际上人们经常混淆以下两个技术术语来表达“预期寿命”，但它们的含义并不相同。

- 设计寿命 - 生产商使用此术语作为衡量指标。这是一个理论值。它用来快速比较电池，如“5年”、“10年”和“20年”电池等，是生产商提供相应保修的基础。
- 使用寿命 - 这是一个更为实际的概念，为从安装电池到其电量不足额定电量的 80%之间的时间（以年为单位）。使用寿命意味着电池不到设计寿命，就必须更换。实际上，VRLA 电池的使用寿命很可能不到设计寿命的一半。在一些工作环境极为恶劣的情况下，使用寿命将只有设计寿命的 20%。而如果正确使用、监控和维护，VRLA 电池的服务寿命一般能达到设计寿命的 70-80%。

有人曾说“VRLA 蓄电池都不是自然‘死亡’——它们是被谋杀的”。这句话的意思是，VRLA 蓄电池常常被置于要求过高的应用场合，所以其寿命被人为缩短了。影响 VRLA 蓄电池寿命的因素包括：

1. 设计（各生产商的设计互不相同）
2. 材料质量（杂质/缺陷）
3. 生产方法
4. 质量控制
5. 充放电曲线
6. 工作环境
7. 充电模式

第 1 到第 4 项是由生产商决定的。电池买家必须根据自己的知识与经验，选择一家值得信赖的供应商。第 5 到第 7 项则由系统集成商或用户控制。

故障模式

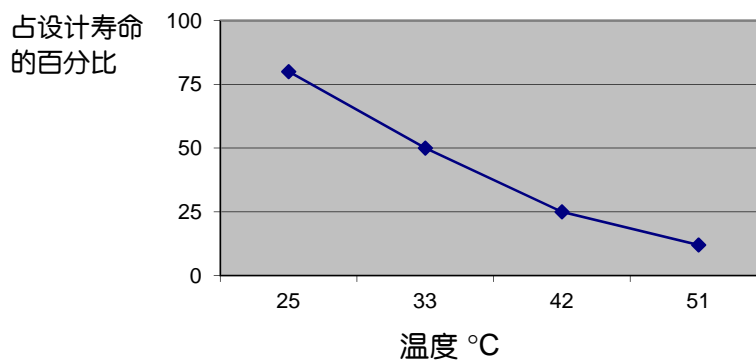
电解液干涸是造成 VRLA 蓄电池无法使用的主要原因之一。许多故障模式都有导致电解液干涸的倾向。

高温环境 - 电池生产商一般采用在特定环境温度下的工作年限的形式，来表达保修寿命或设计寿命。在可控环境下，可进行合理预测。根据经验，对于一个保持恒定充电状态（浮充寿命）的固定型 VRLA 蓄电池来说，在最适宜的 25°C (77°F)温度基础之上，每升高 8°C (14.4°F)，寿命减少 50%。对于 VRLA 蓄电池的批评，一定程度上是因为它们广泛用于狭窄、不可控的环境，如室外机柜等，这些环境中，温度剧烈变化司空见惯。图 4 提供了在数据中心等温度稳定环境中持续工作时的预期合理服务寿命。

当然，单凭经验，可能会忽略很多。图 4 只是考虑了一个因素（温度），但实际上 VRLA 蓄电池受多个因素影响。例如，即使室温完全合乎条件，电池堆放过密或置于不通风的机柜，也会导致内部温度过高，从而使容量过早受损。

图 4

工作温度与电池寿命



循环寿命 - 较少使用的电池，其寿命明显长于每天都充放电的电池。生产商的产品简介中很少公布电池的循环寿命。每次，您通过电池供电，就是在放电。您放电的功率瓦数和时间长度决定了“放电深度”(DOD)。电池放电速率、两次放电之间充电的时间，以及充电速率也都很重要。在电池的设计中，通常假设每年有 2-3 次深放电（放电深度为 100%）。一般来说，一个 VRLA 蓄电池能提供上百次的浅放电（放电深度 < 25%）。而在现场实际运行过程中，将有多种类型的充放电情况。

充电模式 - 越来越多的证据表明，浮充电压对 VRLA 蓄电池的寿命影响很大。富液电池常见的定期对电池高压“恒流充电”的做法，公认为对 VRLA 蓄电池非常不利。数据中心和网络机房 UPS 系统中使用的电池一般为恒定电压充电，称为浮充电压。电池不能超过电池生产商规定的浮充电压值。过度充电会导致电解液干涸，缩短电池寿命，并引发故障，有时甚至出现灾难。大多数数据中心和网络机房 UPS 在 10 倍于放电周期的时间内，将电池充电到额定电量的 90%（例如，一次 7 分钟放电后，将充电 $10 \times 7 = 70$ 分钟）。如果充电过快，会给电池造成压力，缩短其寿命。

为适用于数据中心和网络机房，系统必须包括一个能精确调整电压的控制机制。它也应该能根据温度来调整电压。

几年前，大家普遍认为，由于交/直流整流器不佳而导致的纹波电流是缩短电池寿命的主因。但如今，人们意识到，在大多数 UPS 系统中，纹波电流并不会造成严重问题，但过多的交流纹波电流确实会对电池内部热量生成和服务寿命造成巨大影响。UPS 充电器应尽量减少纹波电流（如每 100 AH 低于 5A 等）。

电池反极 - 大型电池串联组，主要是 VRLA 蓄电池会出现电池反极现象。只有当电池放电，且具备以下两个前提条件时，才会形成电池反极：

1. 在一个电池串联组中，一个电池的电量远远低于其它电池。
2. 电量较低的那块电池被其它正常电池造成电极反极。

尽管出现电池反极，但电池组仍能保持足够的总电压，以便电池组继续向负载供电。

这种情况是否会出现，取决于系统设计。一般来说，电池总线电压低于 100 V 的 UPS 系统，或是采用并联电池组的系统，不会出现此现象。因为电池性能下降或生产时的问题，会出乎意料地形成上面第一个条件。而以上两个条件都出现后，反极的电池会给全部电池电量带来 5% 的功率消耗，导致电池严重过热，甚至在某些极端状况下爆炸。

幸运的是，我们可以通过以下措施，几乎完全避免系统中出现电池反极的风险：

- 使用并联电池组
- 使用较低的 UPS 直流总线电压
- 监控电池组中的电压

并联电池组有助于防止上面第二个条件的发生，因为当问题电池上的电压企图反极时，电流会流入邻接电池组。插装式电池模块采用并联电池组，不会出现这种故障模式，因为试图反极的电池上的负载电流会流入邻接电池组。

内部故障 - VRLA 故障包括负极端子侵蚀、负极汇流排破损、极板过度增长、负极容量损失，以及正极和负极汇流排相触等。这些故障会在电池使用后的 1 至 5 年内出现。

- **板栅侵蚀/极板间距变短** - 正极板栅侵蚀/增长是导致 VRLA 蓄电池和插装式电池模块（特别是设计寿命较短的电池）故障的主要原因之一。这种情况下，总是先发生电解液干涸，再出现板栅侵蚀问题。正极板栅侵蚀也是富液电池系统的一种常见故障模式。它造成机械强度减弱，最终使得板栅上铅脱落。内部阻抗增加，而电量减少。严重时，板栅侵蚀会破坏蓄电池箱、盖和端子。极板间距变短也是一种常见故障模式。这种故障减少了电池电量，但电池组仍能为 UPS 供电。
- **互联故障** - 大多数电池间连接故障会导致突然断路，不会造成危险。但一小部分互联故障会造成稳定高阻抗。在 VRLA 蓄电池系统中，放电期间，连接端子上电流很高。高阻抗互联会导致严重过热甚至火灾。带有电流和温度监控的电池系统能够检测或在其严重前防御此类故障模式。插装式电池模块在工厂出厂前就已完成连接，故障率低。插装式电池模块一般在低电流下运行，因此不像富液电池那样，对低阻抗连接有较高的要求。

热失控- 当一个 VRLA 蓄电池长时间处于极高“浮充”电压状态或在完全重组模式下过度充电，几乎所有过度充电的能量都变成热能。出色设计的应用能够热失控，达到热平衡，因此不会出现。但是，如果热量产生速度超过散热速度，电池温度将会升高。温度升高，则会使电池电流增加（浮充电流）。而电流增加，则又进一步提高温度，为保持浮充电压不变，就需要更高电流。更高电流又散发更多热量，直至电解液在 126°C (259°F) 蒸发为止。在排气口打开，释放出氢气、氧气，偶尔还释放出极少量的硫化氢和雾状电解液之前，电池中始终存在压力。电池内部压力和外壳材料在较高温度下的软化，已证实会造成蓄电池箱凸起甚至破裂。如果一直不能察觉，那么这个恶性循环将继续，直到电池电解液干涸并失效。以下情况会导致热失控：

- 高温环境
- 通风不良/电池/设备间未留有足够空间
- 缺乏能降低电压的电压补偿
- 不当的浮充电压调整（充电器电压过高）
- 电池组中单个电池故障
- 充电器故障导致高输出电压、电流或纹波电流
- 过度冗余的整流器（造成充电电流过高）

在热失控中，高电压和高热能互为因果。如果其中一个消失，则热失控问题就会得到缓解。出色设计的整流器或不间断电源系统采用了温度补偿充电。实际上，防火规范现在要求为安装在数据中心或网络机房中的电池配备经过认可的温度补偿设备。温度补偿充电能够监控电池温度，根据电池温度的增加情况，按比例降低充电电压。对于热失控的校正措施包括：

- 降低房间或机柜中的环境温度
- 将电压降低到将引发热失控的阈值以下（对于工作于恒定电压的电池）
- 将电流降低到将引发热失控的阈值以下（对于工作于恒定电流的电池）
- 断开电池与充电器或整流器的连接
- 关闭整流器或充电器

安全性

VRLA 蓄电池的本质是安全的，热失控情况可以预防。但是，当 VRLA 被误用或滥用时，会有一些的危险。正如前面所说，热失控的副产品是氢气和氧气（构成水的两个元素）。而且在有些情况下，还会有少量氢气与电解液的混合物，形成硫化氢（ H_2S ）。具体讨论如下

氢气 - 人们对于 VRLA 蓄电池热失控的最大恐惧就是氢气和氧气的逸出。当氢气在空气中的浓度达到 4% 左右，即爆炸下限(LEL)时，氢气会燃烧。当然，此时需要点火（火花），才能燃烧，当浓度仅为 4% 时，燃烧程度很弱，极难引起注意，但当浓度升高，会发生剧烈爆炸。氢是最轻的原子，因此它总是上升，很难抑制，一有机会它就会逸出。出色设计的供电系统和设施能防止氢气累积。电池生产商可提供最坏情况下的气体逸出率。标准做法是将机柜或机房中累积的氢气浓度控制在 1% 以下。相比较而言，自然界中氢气含量为 0.01%。VRLA 蓄电池中的阀门在设计时，就能够防止火焰进入电池，造成内部爆炸。

硫化氢 - 人们有时会在发生热失控事件后，抱怨有难闻的“臭鸡蛋”味道或刺鼻的味道。这很有可能是硫化氢（ H_2S ）造成的。铜质电池端子变暗也表示有硫化氢生成。热失控并不一定会生成硫化氢。具体机制还不清楚。自然界中的硫化氢通常是因为蔬菜腐烂或动物粪便而生成的。人类的鼻子能够闻到浓度低至 0.005 到 0.02ppm 的硫化氢。伊利诺伊州公共卫生部将其描述为“相当于在整个剧场的空气中有一小管硫化氢一样”。美国国立环境卫生科学研究所称，当硫化氢浓度仅为对人体有害浓度的 1/400 左右时，就能发现它的存在。美国政府表示，20 ppm 是每天 8 小时吸入剂量的上限。OSHA 则认为 10 分钟、最高 50 ppm 是可接受的上限。虽然有一些证据表明长期接触硫化氢会有一定风险，但没有证据显示短期少量接触会有任何问题。接触硫化氢的症状包括眼睛、鼻子和喉咙感到刺激，有时会有头痛。如果浓度极高，会引发严重疾病甚或死亡。对于浓度低于 250 ppm 的情况，一旦不再接触硫化氢，身体就能很快恢复，应该不会留下长期后遗症。

因为 VRLA 热失控期间逸出的硫化氢量极小，通常不会有什么风险。在造成危害前，肯定能检测到硫化氢。但是，一旦检测到硫化氢，就应该为房间通风和/或离开该区域。

火灾/可燃性 - 大多数大型 VRLA 电池外壳在设计时都是阻燃的，符合 UL94 V0 和 28 L.O.I.（临界氧指数）可燃性标准的最低要求。内置在 UPS 中的、较小的 VRLA 一般符合 UL94HB。尽管一些富液电池使用会生成危险烟雾的 PVC，但 VRLA 蓄电池几乎从不使用 PVC。

酸溢出 - “酸溢出”一词不适用于 VRLA 蓄电池，因为其电解液是不流动的。VRLA 蓄电池会因为老化、滥用或生产问题而膨大变形。有时会发生破裂、少量泄露或滴漏，或是极柱侵蚀现象。这些都可通过常规检查或监控而发现，在维护时能轻松修复。如果 VRLA 蓄电池电解液流出，则意味着应该更换电池或电池组。但更多情况下，不会有电解液流出迹象，因为如上所述，VRLA 蓄电池故障的主要原因是电解液干涸。

在正常的电池安装、使用和维护期间，用户不会接触到电池的内部组件及其内部有害的化学物质。VRLA 电池含铅，在报废时，应通过适当途径，使用有资质的电池回收商进行回收处理。

回收处理和
环境安全

结论

如果正确使用与维护，在中小型 UPS 系统中使用的 VRLA 蓄电池和插装式电池模块等能在 3 到 5 年，甚至更长时间内提供可靠性能（具体取决于所选的电池）。电池电解液干涸是 VRLA 蓄电池寿命终止的主要原因。持续监控和管理系统能够发现会造成电池过早失效的状况并采取应对措施。温度补偿和限流充电有助于防止热失控。采用冗余并联电池组，能够减少电池故障，延长电池系统的寿命。

VRLA 蓄电池在正确使用和维护时，能够安全地应用于数据中心和网络机房。疏忽、滥用或不正确的操作都有可能使电池出现故障模式。在一些极端情况下，会出现灾难性的问题，造成火灾以及释放危险气体。正确的制冷和通风、定期监控、使用并联电池组以及温度补偿充电，都有助于延长电池寿命，保证安全。



关于作者

Stephen McCluer 是施耐德电气负责外部法规和标准方面的资深经理。Stephen 在电力保护行业有 30 年的丰富经验，是 NFPA、ICC、IAEI、ASHRAE、The Green Grid（绿色网格）、BICSI 和 IEEE 标准委员会的成员。他在上述这些组织中的多个委员会担任职务，是行业会议热邀的演讲嘉宾，他撰写了多篇有关供电质量的技术论文与文章。此外，Stephen 还是负责重写 2011 版《美国国家电气法规》中信息技术设备要求的任务小组成员。



资源

点击图标打开相应
参考资源链接



数据中心和网络机房蓄电池系统：
铅酸电池组的选择
第 30 号白皮书



数据中心和网络机房蓄电池系统：
消防安全法规
第 31 号白皮书



浏览所有 白皮书
whitepapers.apc.com



浏览所有 TradeOff Tools™ 权衡工具
tools.apc.com

参考文献

1. Culpin & Wainwright, *An investigation Into the Effect of Abuse Charging and Thermal Runaway in VRLA Batteries*, INTELEC 2001, *Conference Publication No. 484*
2. C&D Technologies, *Charger output AC Ripple Voltage and the Effect on VRLA Batteries*, www.dynastybattery.com/cd_dyn/contact/tech_support/2131.htm
3. Rhodes, Vaccaro & Lee, *VRLA Batteries: Predominate Problems and Concerns, a Battery Manufacturer's Evaluation*
4. Onada, Noda, Abe & Kobayashi, "Development of Reliable and Long Life VRLA Batteries," INTELEC 2001, *Conference Publication No. 484*
5. *IEEE Guide for the Ventilation and Thermal Management of Stationary Battery Installations* [Draft], Jan 2001
6. International Code Congress, *International Fire Code*, Section 609.3
7. Illinois Department of Public Health/ Division of Environmental Health, *Fact Sheet: Hydrogen Sulfide Gas*
8. OSHA, 20CFR1910.1000, Subpart Z
9. Public Law 104-102, 13 May 1996, 110 STAT.1329, 42 USC 14301-14336



联系我们

关于本白皮书内容的反馈和建议请联系：

数据中心科研中心
DCSC@Schneider-Electric.com

如果您作为我们的客户需要咨询数据中心项目相关信息：

请与所在地区或行业的 **施耐德电气** 销售代表联系，或登陆：
www.apc.com/support/contact/index.cfm