

为什么要维护或监控铅酸备用蓄电池

Why Maintain or Monitor Lead-Acid Standby Batteries

(北京莱姆电子有限公司) 安云良 (译)



安云良 (1975-)

河北，工程师，硕士，蓄电池监控方向。

摘要：本文介绍了一种基于SoC技术的全新的测量蓄电池内部参数的方法，该方法是一种区别于传统方式的有效的低成本方案。

关键词：片上系统；集成；内阻；铅酸蓄电池；失效形式；不间断电源

Abstract: This article introduced a new technology based on the SoC integration system, this system is a efficient low cost solution compare with traditional methods.

Key Words: SoC (System On Chip); Interaction; Impedance; VRLA; Failure style; UPS

1 引言

铅酸蓄电池至今已经存在了大约150年，至今仍然保持着最初的形式；富液蓄电池这么多年来几乎没有发生过任何重大改变。唯一的改变不外乎是在添加材料方面有一些改动，在有些特种的极板中少量加入了各种金属，不过，即使在今天，纯铅极板蓄电池仍然是使用寿命最长、最可靠的铅酸蓄电池类型之一。

在过去150年里，最大的进展无疑是大约三十多年前出现

的密封式单体蓄电池Cell或整体蓄电池(Monobloc)。SLA(密封铅酸)类型、VRLA(阀控式铅酸)类型、AGM类型和凝胶类型都具有一个共同特征，即这些类型均为密封类型，并采用气体再复合技术，使得气体能够在充电后重新复合成电解液。VRLA、AGM和SLA类型蓄电池的极板阵列附近存在充足的自由空间，为气体的存储、渗透创造了条件。这些蓄电池中不存在液态电解液，仅在玻璃纤维(如果是胶体电池，则为胶体悬浊液)中存在少量电解液。这就使得这些蓄电池类型能够方便地应用在包括办公室或公共区域等在内的非专业受控环境(无需专门的蓄电池室)场合，可随意叠放而无需制冷；不需要特别的环境控制或排风装置等，很少或根本不需要进行任何维护。

电池厂家的宣传大概就是以上这样。当然，实际情况并非完全如此；密封电池并不是完全密封，而是采用了压力(Presure value)排气阀，排气阀允许气体在内部压力过大(通常是过度充电或不利环境引发的结果)时逸出。如果没有足够的制冷条件，则不能把这些电池安装到狭小的空间，如果需要保证合理的使用寿命，则应安装风扇。现在，所有这些要求都已经是一般性常识了，而不是最早引入密封蓄电池时所宣称的那样：“无需特别维护”。

另外，已经被实践证明的是，新型蓄电池比传统的富液蓄电池对充电和环境问题更敏感。即使轻微的长期过充都可能导致电解液损失，并且要达到声称的使用寿命，环境温度必须稳定在大约25摄氏度。

多年来，蓄电池行业已经意识到，为了确保密封蓄电池能够达到其最大可靠使用寿命，必须小心维护，并进行定期测试，以便在某些小问题影响到整个蓄电池组前被及时发现，以防在电网供电故障时蓄电池组不能向负载供电。

图1列出了在密封蓄电池的使用寿命中会遇到的各种问题。有些问题是设计缺陷，有些是制造缺陷，其中至少两种失效形式(硫化和正极板腐蚀)将最终导致所有铅酸蓄电池彻底失效。尽管如此，监控蓄电池组的浮充电和温度从而避免过早出现硫化或正极板腐蚀仍然是很重要的。

异极金属腐蚀
电解液不足
金属短路
极板生长和变形
硫化
电解液干涸
极板腐蚀



图1 VRLA密封铅酸蓄电池存在的一些问题

不利的环境条件会缩短备用蓄电池组的使用寿命；持续不利的环境温度会显著缩短密封蓄电池组的使用寿命（图2）。作为UPS系统的一个必要组成部分，蓄电池组的故障率与UPS或充电机的故障率不同，UPS或充电部分的电子器件的寿命可能会超过25年。大多数蓄电池组厂商都承认，对于一个设计寿命为10到12年的蓄电池，前五年内的故障率为0.3%~0.4%是很合理的，对于电化学设备而言这样的故障率已经是很低的了。换句话说，这意味着每安装1000个单体蓄电池（Cell）或整体蓄电池（Monobloc），就会有3到4个会出现故障。

VRLA蓄电池浮充使用寿命与温度之间的关系

Design Life 设计寿命
Un-compensated 未采取温度补偿
Temperature 温度
（图形提供：Hawker Batteries）

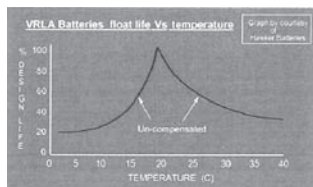


图2 使用寿命与持续不利温度之间的关系

不幸的是，由于无法检测到电池组中仅有的几个蓄电池缺陷，以至于很多的备用蓄电池组甚至无法达到6到7年的使用寿命，与设计寿命相差甚远。实际上，大多数故障条件都可以被及时检测到，从而避免灾难性故障的发生。在最早引入整体单元时，厂商声称无需维护，实际上，也确实没有什么办法可以测试和检测这些密封、不透明的单元。在经过许多年后，大量的实践证据才迫使整个行业重新考虑这种免维护声称的合理性。

2 维护或监控

要了解为什么维护或监控这些系统如此至关重要，必须了解以下事实：因为这些蓄电池以串联方式连接成蓄电池组，一旦某个蓄电池发生故障而导致开路，整个蓄电池组就会彻底无法工作。每年都会有成百上千的备用蓄电池发生故障，而只有在出现电网供电故障时才会真正发现这些故障，为时已晚！这也相应地会对重要负载造成数以百万英镑计的资金损失。

另外，在实际使用中可以发现，存在早期缺陷的蓄电池也会“传染”周围的蓄电池，如果不采取补救措施，这种缺陷蓄电池会大大加速整个蓄电池组的恶化，这会比在发现问题后

立即替换缺陷蓄电池的恶化速度要快得多。

3 计划性维护（定期维护）

良好的计划性维护是确保备用蓄电池组装置达到其设计使用寿命的最起码的手段和措施。至少建议对蓄电池组及其电气连接进行外观检查，并每六个月（最好每三个月）利用一个优质阻抗测试仪测试一次所有蓄电池及其连接线。由于充电器决定了整个蓄电池组的充电电压，蓄电池端电压不会与标准参考值有太大差别，因此除非蓄电池已经出现灾难性故障，否则仅仅测量蓄电池的端电压不大可能检测到任何潜在故障。

应该至少每年对蓄电池组进行一次核对性放电测试。如果蓄电池组三四年都不进行一次充/放电，蓄电池组电解液就会出现分层现象，即电解液会分解为酸溶液浓度各不相同的液体层，这会影响到蓄电池在断电时的供电能力。这种现象会最终导致在硫酸浓度较高的区域出现极板腐蚀。

计划性维护的问题是，像汽车的年检一样，计划维护实际上只针对当时有效。另外，因为测量或测试参数的不同，以及维护是否操作正确，有时甚至连当时有效都做不到。

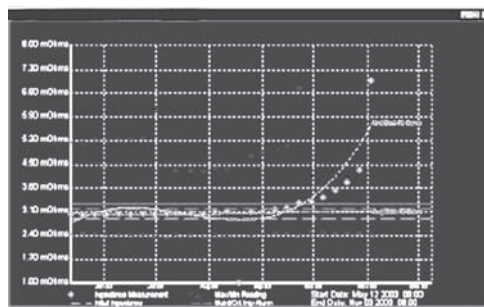


图3 连续阻抗监控检测到的蓄电池故障

许多失效模式可以在很短的时间内发展成蓄电池彻底失效，有时候也就几个星期。那么定期维护的方式能够在蓄电池发生如上图所示的故障的概率会有多大呢？甚至I. E. E. E. 所建议的维护，以及电阻或阻抗测试（即使更为全面），仍然无法让用户了解在定期维护期间到底会发生什么，这也就是定期维护的最大弱点。

实际上，除了电阻测试外，蓄电池单独放电测试是维护中唯一真正有用的一件事。

这是判定蓄电池组是否能够达标的唯一绝对有效的方法。不幸的是，电池组单独测试与季度检查会同样遇到同一个基本问题：用户在测试完成后的第二天就不敢说蓄电池组是否将会正常运行下去，实际上，在放电测试后进行充电常常会加速落后蓄电池的失效，这种现象并不少见，而这种失效通常在出现下一次电网供电故障时才会被检测到。另外，独立放电测试（通常会消耗几个小时）是一个高成本、具有破坏性的过程（包括重新充满电），大型系统甚至耗费1到2天才能完成此类测试。

4 连续监控

监控数据的质量在很大程度上取决于被监控的是什么参数。在十几年前，廉价的监控系统通常只会监控蓄电池组的总电压，有时会把蓄电池组一分为二进行比较。采用分别测量两部分的电压然后进行比较的方式对蓄电池组进行监控，这种方式可以算得上是最不成功的方法了，因为此类系统不大可能敏感到可以检测到因为一个缺陷蓄电池而导致的在半个蓄电池组的230伏电压上出现的千分之几伏的变化，同时，来自整流器/逆变器的大量系统噪音也会大大增加检测难度。

有些连续监控系统监控单个蓄电池的电压，以及表示放电性能的电池组电流。如前所述，因为充电器/整流器决定了蓄电池组的总电压，所以除非电池已经发生灾难性故障，否则蓄电池或整体单元电压仅会发生微小变化。因此，监控单个蓄电池电压的主要优点是在发生电网供电故障后的放电过程中或独立放电测试过程中收集数据。这种数据当然是非常有用的数据，如果对之加以合理记录，可以帮助检测到失效蓄电池。不过，这种监控具有与定期维护相同的缺点，只有在放电过程中才可可靠地检测到缺陷蓄电池（在实际使用中正常放电，或在每年一次的测试中放电）。

不过多年来，更昂贵的蓄电池组监控系统一直提供对单个蓄电池的内部电阻或阻抗进行监控的功能，这些功能属于系统的标准功能。已经有很多人针对此问题完成了许多测试，也发表过很多文章，就蓄电池劣化与内部电阻或阻抗值之间的关系进行了对比。尽管两者之间没有直接关系，但通常与“新蓄电池”为基准，内阻偏差的确可以指示出蓄电池存在潜在故障。

尽管阻抗已经使用多年，而且看起来是一个无需进行昂贵的放电测试即可检测蓄电池潜在失效故障的好办法，不过某些行业人士对内阻测试的方式还有疑问，认为这种方法不是非常可靠的。稍后会对产生这种疑虑主要原因之一作出解释。

5 选择最有效的电池监控系统

首先，我们必须确保电池监控系统能够测量所有关键参数。为确保最高的供电可靠性需要监控蓄电池组供电系统的五个关键参数，这些参数包括：

- 单个蓄电池端电压：是在放电和充电过程中记录充放电曲线，反映蓄电池性能的最有用的参数。
- 单个蓄电池温度：是潜在蓄电池问题（包括热失控）早期检测中的关键参数。工作温度对于密封蓄电池组尤其重要；过长时间处于不利温度将显著影响使用寿命。
- 温度是可以补偿的，不过有时候这会导致其自身出现问题，稍后会详细讨论这些问题。
- 单个蓄电池阻抗或电阻：该参数与单个蓄电池温度参数大概是针对蓄电池失效模式进行检测的两个最有效的参数，不过这里有所保留，稍后进一步讨论。

• 充电和放电电流（电池组）：用于正常放电电流检测或对表现不良蓄电池组的即时放电检测，也用于检测在放电过程中同时也在吸收电流的蓄电池组（放电的同时也在充电），这是一个危险的状态。

• 电池组浮充电流（LEM正在研发中）：尽管尚需生产出一种可靠的浮电流传感器，可以肯定的一点是，处于失效状态的蓄电池在浮充电流方面与正常状态不同。

如果所有这些参数都被有效的监控起来，您的蓄电池组基本上就拥有了当今最全面、最可靠（在检测潜在蓄电池失效方面）的系统，不过在这些参数的测量方式上或许还存在着这样或那样的问题。

5.1 阻抗或电阻测量

尽管蓄电池“简单”阻抗（单一频率时的VAC/IAC）或电阻（复数的直流“实部”，与“虚部”相对应）值在失效蓄电池检测过程中是一个非常强大的工具，不过通常认为这种方法提供的信息不是特别可靠。在实际应用中，经常会出现电阻或阻抗监控无法检测到劣化蓄电池的事例，或者电阻值表明存在一个劣化蓄电池而在随后的放电测试中被证明是好蓄电池的事例。某些事例可能是杜撰、没有根据的，不过很多这样的传言确实影响到该参数监控有效性和可靠性的推广。

电阻或阻抗监控的可靠性被怀疑的主要原因可能是：在蓄电池组处于浮充状态下，采用小电流测试或不太可靠的测量方法测量内阻或电阻，会得到各种非常戏剧性的测试结果。

图4示意图图解说明了小测试电流和/或不良测试技术下得到的内阻结果。充满状态下的蓄电池开路电压大约为每个蓄电池(Cell) 2.1~2.15伏(VPC)。在进行浮充时，该数值提高到大约2.27 VPC。对在浮充电状态下的蓄电池进行测试时必须采用足够电流以确保被测试的蓄电池的电压响应来自于蓄电池本身“能量层”(Cell energy layer)，而不是来自于可以被称为“视在能量层”(Apparent energy layer)的区域，浮充时的过压和电化学反应的反电动势(Back EMF)导致生成这种视在能量层。1~2安培的低测试电流通常无法从蓄电池吸引足够能量以穿透蓄电池能量层，从而会得出误导性数据。

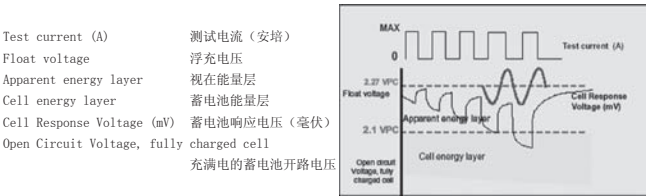


图4 不可靠内阻测试技术

图5说明了一个在浮充状态下测试蓄电池内阻的有效方法。这种方法采用一个持续几秒钟的单电流脉冲放电。这种方法采用40A或更高的测试电流，利用测试电流（N）刚刚停止后的初始恢复电压除以点P处的测试电流，就可以得到稳定的内阻数据。这种方法是最安全的内阻测试方法之一，在实际运用中也得到了可靠的测试结果。但是该方法的缺点也很明显，就

案例 | CASE

是制造和安装成本非常高，因为必须把承载着较高电流的连接电缆连接到监控柜上，不够安全。

Test current (A) 测试电流 (安培)
Float Voltage 浮充电压
Apparent energy layer 视在能量层
Cell Energy Layer 蓄电池能量层
Cell Response Voltage (mV) 蓄电池响应电压 (毫伏)
Open Circuit Voltage, fully charged cell 充满状态下的蓄电池开路电压

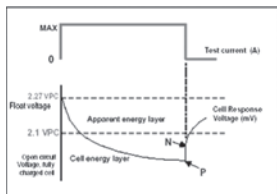


图5 一种高成本的大电流放电测试方法

另一种方法（图6所示，安装要简单得多，电缆用量极少）是在每个蓄电池上连接一个很小的本地模块，以吸收小测试脉冲电流。

Test current (A) 测试电流 (安培)
Pre-conditioning 预处理
Float Voltage 浮充电压
Apparent energy layer 视在能量层
Cell Energy Layer 蓄电池能量层
Cell Response Voltage (mV) 蓄电池响应电压 (毫伏)
Natural (OC) voltage (Fully charged cell) 充满状态下的蓄电池开路电压

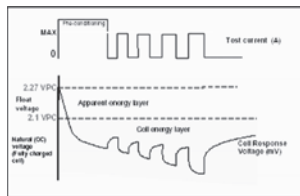


图6 一种成功的低成本中小电流测试方法

因为要在一个很小体积的模块内实现电流测试，出于升温方面的考虑，需要对测试电流做一些限制（最大12A）。为保证此类系统的可靠性，可以配合采用某种算法与测试电流相匹配的方式进行，该算法可以保证蓄电池电压的响应来源于蓄电池本身的能量层（而不是来自视在能量层），并且可以保证充电机以及蓄电池形成的该视在能量层不会对返回值的精确性造成影响。

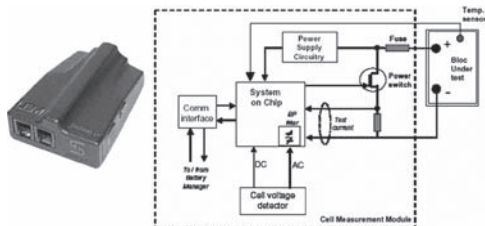


图7 LEM Sentinel模块；

一个体积小、低成本的可进行单个蓄电池有效阻抗和温度测试的实例

因为图7这种设计采用了一个蓄电池配一个模块的方式，并且其目标是为了降低对蓄电池组每只蓄电池都监控起来的总成本（包括安装成本和电缆连接），所以LEM Sentinel 采用了一个LEM定制的片上系统SoC；高度的集成度大大降低了模块的成本，串行通信进一步简化了安装，更少的部件确保了模块更高的可靠性。LEM Sentinel模块采用和LEM其他传感器器件一样的质量标准，目标是6西格玛可靠性。

Sentinel模块具有产生一个中等大小的电流测试信号的能力，即最大12A的测试电流。这种测试电流与一种特有的算法配合使用就可以判断出电压的响应是来自视在能量层还是来自蓄电池本身能量层，从而可以保证该种阻抗测试方法的高可靠性。可用来检测蓄电池的老化或潜在失效问题。

图8中列举了一个实际测试波形图的实例。在测试中，以预先设定好的方式从被测试的蓄电池获取电流，并对响应电压进行测量。然后利用这些波形进行分析，最后 计算出内阻。

图8中的波形为单一频率波形，事实上我们也可以使用多种频率波形，以便在高系统噪声条件下得出更为安全的测试结果，这样也可以对蓄电池的几个参数分别测量，比如电解液电阻、双层电容性阻抗和金属电阻等。

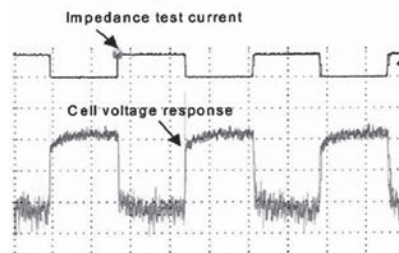


图8 源自自控电流测试信号的电压响应（LEM Sentinel产品）

5.2 单个蓄电池温度

VRLA（阀控式铅酸）蓄电池特别容易受到持续不利的温度的影响。充电器的充电电压优化会在一定程度上抵消对蓄电池的影响，绘制一张蓄电池组的温度分布图会比单纯依赖于某一点的环境温度要好得多，因为用这种方法可以通过某种方式（比如重新排列蓄电池摆放位置等）防止受影响的区域的蓄电池恶化。而不是仅仅根据一个温度点来决定充电机总电压的方式，这样会使某些区域的电池情况更加恶化（见图9）。



图9 一个蓄电池室的不良设计示意图

在高于34摄氏度的温度条件下，温度补偿功能会把浮充电压降低到一个很低的数值（小于2.2VPC），这时正极板很可能会出现硫化，硫化会大大加速，从而导致问题不但没有解决，反而会更糟！所以，在测量单个蓄电池温度时，正确布置温度测量设备是极端重要的。

6 连续监控或计划性定期维护——总结

除非使用者能做到每月至少一次认真完成定期维护，并且定期维护至少包括蓄电池的互连阻抗和单个蓄电池温度，否则不大可能在故障变得严重前检测到所有电池失效。这种方法要求投入大量人力，因而并不适合每种应用（比如无人值守的

偏远地区）。另外，必须保持定期维护的详细记录，以便确保可以利用这些数据进行趋势分析，从而检测出可能的电池失效。实际上，如果频繁进行（例如每月一次），许多计划维护程序很有可能在月复一月、年复一年的执行过程中变成敷衍了事。

连续监控系统，除了需要对报警做出响应外，即使最基本的连续监控过程也不需要任何人为干预。一旦完成投资，连续监控系统就成为一个自动系统，不需任何进一步投资。（而且如果有必要，我们甚至可以说，很多监控系统可以通过减少替换整个电池组的费用弥补）。如果把成本均摊到UPS及蓄电池组系统的整个使用寿命，其成本会比定期维护要低得多。另外，如果采用芯片级片上系统（SoC）技术和更好的安装技术（例如，蓄电池连接采用定制好的插接件，并采用节省成本的预先准备好的插接电缆），蓄电池监控系统的总体拥有成本（Total Cost of Ownership）会大幅下降。

只要对所有重要参数进行监控，连续监控就能够实现比年度维护更高的可靠性。目前连续监控系统被大量使用的原因在于用户越来越意识到以上事实的重要性：毕竟连续监控系统是一笔非常昂贵的投资，只有在真正需要时才会发挥作用。另外，这种认识提高的同时也伴随着监控成本的显著降低，这种降低主要得益于此类监控系统的生产方式，这种方式在设计上采用定制设计的芯片级片上系统（SoC）以便最大限度地降低部件数量，同时采用大规模工业化的生产方式，这是传统小型手工作坊型公司完全不具备的。

显而易见，全面连续的监控方式比传统的计划性定期维护不但要好得多、可靠得多的保护备用蓄电池的方法，而且在整个蓄电池组使用寿命内比计划性定期维护更节省成本，而且这些优点随着时间的推移会变得越来越突出。

目前LEM Sentinel蓄电池监控系统在全世界很多国家都有着非常好的应用。图10是LEM Sentinel系统的配置图以及实际使用图片。

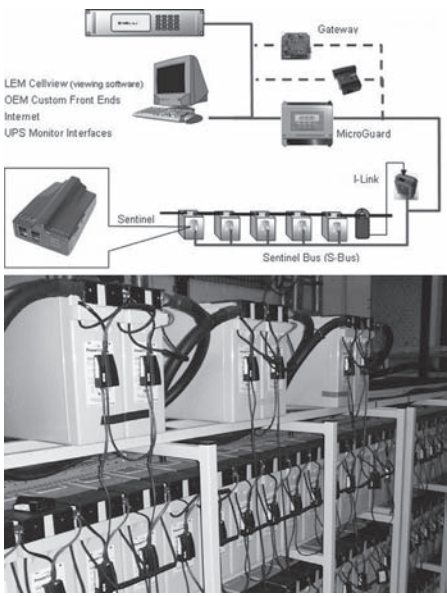


图10 LEM Sentinel系统的配置图以及实际使用图片

（上接第161页）
变频改造前的记录如下表一所示：

表一 变频改造前参数记录

风机参数	电机参数			
风门开度	A相电流	C相电流	有功功率	功率因数
20%	38.4 A	43.3 A	327.6kW	0.88

变频改造两个月后的记录如下表二所示：

表二 变频改造后参数记录

风机参数	电机参数			
风门开度	A相电流	C相电流	有功功率	功率因数
100%	13.9 A	13.5 A	98.5kW	0.97

从上两表可以看出，运行电流下降了，节能效果相当明显，节电率可达70%。同时，厂用变压器前端功率因数也得到了提升，达到0.97以上，用户还受到了供电部门的奖励。

6 结束语

球团厂1#主抽风机经过改造后，优化了风机的运行状况和生产工艺，降低了噪声，节约了大量的电能，同时拉长了风机的维修周期，节省维修成本。目前，球团厂拟对2#风机进行

节能改造，企业领导给予了高度重视。同时也增强了球团厂产品在市场的竞争力。

参考文献

[1]三垦力达电气（江阴）有限公司SUPERDRIVEA7三垦高压变频器用户。
[2]承德铜兴矿业有限公司球团厂链蓖机回转窑手册.法工艺技术方案。