



# 现行蓄电池健康状态的问题及 智能蓄电池的应用

张永明 程鹏 陈炯 冯耀宇 张宇

(昆明供电局 云南昆明 650100)

(收稿日期:2020-05-11)

**摘要:**对现有的蓄电池健康状态分析与评估技术现状从物理角度与应用效果进行了调研与整理分析,认为现有的蓄电池监测产品在对蓄电池的监测关键参数缺乏有效的管理,通过对造成蓄电池失效的各类物理参数原因逐个分析,总结认为蓄电池评估最关键的参数在于蓄电池内阻的高精度、低影响度测量,分析适用于应用的内阻测量技术,同时提出智能蓄电池在结构上对内阻监测精度有着非常大的优势,展开基于智能蓄电池的电池健康度评估研究,结果表明智能蓄电池内阻测量精度很高,内阻参数与蓄电池健康评估具有较强的相关性,适于展开大范围应用。

**关键词:**智能蓄电池的物理模型 SOH 蓄电池内阻测量 蓄电池在线监测

以阀控式铅酸蓄电池为主的备用电源常用于交通、通信、不间断电源系统,为保护、照明等设备提供可靠的备用电源,尤其是电力直流系统,对阀控式铅酸蓄电池的应用量巨大,通常成组批量应用,但在对蓄电池组的维护技术上有很大的欠缺.除了一些地区由于人力、设备等资源调配问题,无法保证基本的定期维护,使备用电源处于无管理无监管的状态,即使有充足的人力物力完成规定的人工巡检、定期核容放电等作业,依然无法确保每组、每节电池处于可控状态,一些技术条件优越的站点,对电池加装了远程监测系统,也只能掌握电池的电压、电流、环境温度等易测量,仅对严重失效的电池有一定的监测效果,但依然无法准确判断每节电池的健康状态,对大部分健康状况不佳的电池都没有有效的监测作用,在线监测的意义大打折扣<sup>[1~4]</sup>.

## 1 现行蓄电池健康状态的问题

所谓电池的健康状态即电池SOH(State of Health),定义为当前电池有效容量与电池标称容量的比值,作为准确判断蓄电池健康状态和荷电能力的参量对蓄电池状态描述非常关键,也是目前对铅酸蓄电池监测技术研究的重点内容之一,在应用中仍然处于理论和实验阶段,在实现精确、低成本、实时测量技术方面,仍需要大量的研究和实验工作,也是本文研究的重点.目前蓄电池SOH估计算法较

多,通常结合在线监测技术进行研究,相关物理量包括蓄电池的单体电压、单体温度、单体内阻、环境温度,蓄电池组的电压、电流,其中电压包括开路电压、浮充电压、负载电压等<sup>[5,6]</sup>.

蓄电池开路电压是指蓄电池在开路状态下的端电压.由于电池正负极板附着不同极性的离子,形成电势差.因此,开路电压由极板附着的不同极性的物质总量决定.

蓄电池浮充电压是指蓄电池在浮充状态下的电压,浮充是电池充电状态的一种情况,是指将满电电池接入略高于电池端电压的电路,用于防止电池自放电过程,蓄电池浮充电压主要由接入的电路的总电压决定.

蓄电池负载电压是指电池在给负载供电时的电压,电池供电(放电)能力越弱,负载电压越低,因此负载电压主要由电池的放电能力决定.

蓄电池单体温度是指电池内部温度,内部热量交换和环境温度都会导致内部温度变化,由于内部温度不宜测量,很多在线监测产品简单地以环境温度或蓄电池壳体表面温度作为蓄电池内部温度处理,并不合理.

蓄电池内阻用于描述电流流过电池内部受到的阻力,包括欧姆电阻和正负极阻抗,其等效电路如图1所示,电池内部活性物质数量、接触面积、电流流过的极柱、汇流排的电阻都是蓄电池内阻的影响因素<sup>[7~10]</sup>.

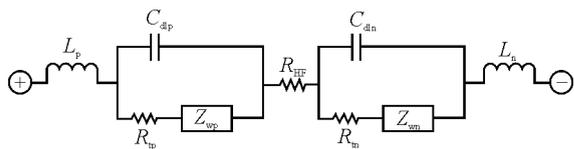


图1 电池内阻等效电路图

图1中  $L_p, L_n$  为正负极电感;  $R_p, R_n$  为电极离子迁移电阻;  $C_{dlp}, C_{dln}$  是极板双电层电容;  $Z_{wp}, Z_{wn}$  是离子在电解液和多孔电极中的扩散速度决定形成的阻抗;  $R_{HF}$  是蓄电池欧姆内阻。

电池劣化失效的根本因素分析如表1所示。

表1 电池劣化失效分析

电池劣化原因	电池劣化过程分析	对应物理模型参数变化
正极板软化	正极板结构支撑的物质被参与反应,使正极板物质被消耗变软,活性物质脱落,正极板参与反应的物质减少	内阻 $R_{tp}$ 增加
负极板硫化	经常充电不足、浮充电压低或过放电,会导致活性电解液中的物质结晶,电池内部活性物质数量减少	内阻 $R_{HF}, R_{tn}$ 增大
失水	过充电电池发生失水、发热现象,电流较大,内部水被分解成气体,电池内部干涸,相当于电流通过的物质横截面积变小	内阻 $Z_{wp}, Z_{wn}$ 增大 内部温度增加
板栅孔率减少	板栅被失效的活性物质堵塞,相当于电流通过的物质横截面积减少	内阻 $Z_{wp}, Z_{wn}$ 增大
汇流排腐蚀	汇流排腐蚀,横截面积变小,无法承受大电流冲击,甚至出现断裂现象	内阻 $R_{HF}$ 增大

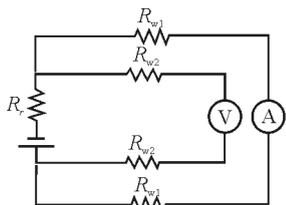
从表1可知,我们从电池劣化的5个原因入手,分析电池劣化的过程,探究物理模型参数的变化。

综上,尽管开路电压、温度、电流等对电池健康状态有一定的影响,但几乎所有导致电池失效的根本因素都伴随着内阻的变化,也就是说内阻是目前研究分析的唯一能够反馈电池内部变化的因素。

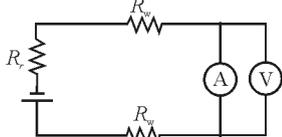
## 2 智能蓄电池结构及性能优势

### 2.1 内阻测量办法

内阻测量过程会引起电池短时放电,也是加速电池劣化的因素之一,在内阻测量方案的选择上应充分考虑这一影响。在线内阻宜采用脉冲小电流法进行测量,为了提高内阻测量精度一般采用四线法,图2(a)是四线法测内阻的原理图。



(a)四线法



(b)二线法

图2 内阻测量接线原理

图2(b)是二线法测内阻的原理图,图中  $R_x$  为被测电阻,  $R_w$  为线路阻抗,由于被测电阻非常小,所以线路阻抗不可以忽略不计。二线法测量回路中,共用线路导致电流经过线路阻抗  $R_w$  时产生压降,测得的电压值为被测电阻加线路阻抗两端的电压值,计算得到的电阻值为  $R_x + 2R_w$ 。

相对于二线法,四线法电压与电流分别测量,由于测量电压的回路阻抗非常大,相应的线路电流非常小,可以忽略不计,线路阻抗  $R_{w2}$  不产生压降,测得的电压值即为被测电阻两端电压值,计算得到的电阻值为  $R_x$ 。

### 2.2 智能蓄电池结构优势

四线法在应用中,接线与极柱下端越近,测得的内阻值就越有价值。为此,我们提出基于智能蓄电池进行蓄电池在线监测技术的研究,通过对电池的结构进行改造创新,增加电池智能芯片仓,与电池两极柱在空间上直接相通,将内阻监测芯片和相关线路集成置于智能芯片仓,对外增加通信接口,使其具备自我监测和通信功能。

如图3所示,普通蓄电池(a)与智能蓄电池(b)采用四线法测量电池内阻的误差对比,采用普通蓄电池测量点位于极柱螺柱突出部分上方与螺栓之间,电压监测线路一般通过接线线鼻子穿过螺栓,螺栓通过螺纹与极柱接触,从线路连接点至极柱内部之间包括电压测量线路接触电阻  $R_{ov}$ ,电流测量线路

接触电阻  $R_{0i}$ , 螺栓接触电阻  $R_L$ , 线路与螺柱实际接触点  $a$  到  $b$  点之间的电阻  $R_{ab}$ , 极柱螺栓突出部分电阻  $R_{bc}$ , 极柱浇注绝缘层部分电阻  $R_{cd}$ ; 而采用智能蓄电池测量点位于螺柱浇注层下方, 只存在电压测量线路接触电阻  $R_{1v}$ , 电流测量线路接触电阻  $R_{1i}$ .

测量内阻时, 电压测量回路位于靠近电池内部的一方, 较大的测量电流并不通过电压测量线路接触电阻, 因此接触电阻对测量结果不产生影响. 智能蓄电池相对比普通蓄电池而言, 减少了电阻  $R_{ab}$ ,  $R_{bc}$ ,  $R_{cd}$  和  $R_L$  的影响, 因此更加精确.

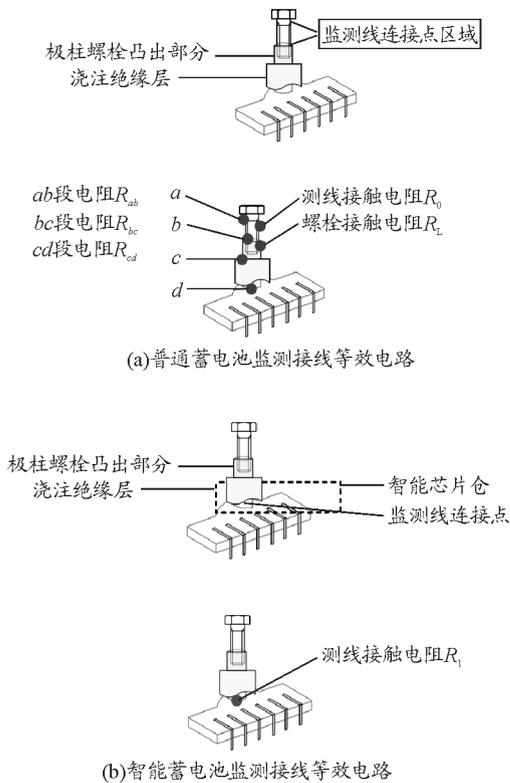


图3 普通蓄电池与智能蓄电池测量内阻误差对比

### 3 智能蓄电池监测技术的应用及前景

我们采用保定钰鑫电气科技有限公司生产的具备运行工况自我监测功能以及通信功能的智能蓄电池<sup>[12]</sup>, 其内阻测量绝对误差能够控制在  $3 \sim 5 \mu\Omega$  ( $2 \text{ V}$  单体蓄电池), 并基于智能蓄电池数据和运行老化情况展开电池健康状态研判与评估研究.

我们将同一批次的智能蓄电池放置在不同的环境下进行老化测试, 通过阻变化趋势评估额定环境下的正常蓄电池、自然劣化状态下的正常蓄电池、自然环境下的落后蓄电池. 同时通过定期对被测电池进行容量核定测试, 通过实验数据分析, 内阻的变化

趋势与电池的健康状态评估、趋势变化评估有很强的相关性, 以内阻变化趋势表示电池健康程度变化趋势具备一定的科学性, 前提是内阻测量精度足够精确, 能够明显感知到相应的劣化变化.

智能蓄电池在应用方面还具备温度触点可内置、电池组接线更便捷等优点, 其一体化设计意味着自电池生产出厂之日起, 伴随着电池内阻测量记录和数据, 与电池存在捆绑关系, 可以通过软件将其与电池的其他信息例如厂家、型号、批次、工艺等相关联, 具备物联网基础, 获得电池的全寿命数据, 能够很好地应用在大数据体系中, 使电池测量数据发挥更大的作用.

### 4 总结

本文通过分析蓄电池健康状态与电池内阻的本质关系, 提出蓄电池评估最关键的技术在于蓄电池内阻的高精度、低影响度测量, 同时基于智能蓄电池具备的高精度内阻测量技术对电池进行分组劣化实验验证了这一基本观点, 为电池健康状态评估方法提供了一种新方法, 具备较高的研究借鉴意义.

### 参考文献

- 1 李晓琴. 变电站蓄电池在线监测管理系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2019
- 2 郑国超. 铅酸蓄电池在线监测系统的设计[D]. 保定: 河北大学, 2017
- 3 王杰, 马海, 张康, 等. 基于智能蓄电池监测的远程核容作业方案设计[J]. 电源技术, 2018(4): 575 ~ 577
- 4 刘重阳. 铅酸蓄电池在线监测与维护系统的设计及实现[D]. 北京: 华北电力大学, 2019
- 5 耿星, 王友仁. 蓄电池 SOH 估算方法研究综述[J]. 机械制造与自动化, 2019(01): 204 ~ 206
- 6 舒成才. 车载铅酸电池 SOC 与 SOH 协同估计及充放电策略研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019
- 7 纪哲夫. 变电站蓄电池内阻测试方法及应用的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015
- 8 赵彪. 蓄电池内阻在线监测系统关键技术探究[J]. 科技展望, 2016(08): 55 ~ 57
- 9 胡为民, 张河宜, 高安亮. 铅酸蓄电池内阻在线监测系统的设计[J]. 电源世界, 2013(12): 43 ~ 47
- 10 张斌, 邹洪森, 刘志远, 等. 新型智能蓄电池在线监测系统的设计及在电力系统中的应用[J]. 电气应用, 2016(06): 62 ~ 67

(下转第 111 页)

同层次实验班表现优于对照班,在“系统与推理”层级下,实验班基于实验事实推理理想条件下实验结论的逻辑清晰程度更高,对“惯性维持物体运动状态”的深入理解更到位。

第2题正答率如图6所示,该题正答率能够体现出明显的班级层次差异性,同层次实验班学生运用“惯性维持物体运动状态,物体运动状态改变需要力”解决问题的能力优于对照班。

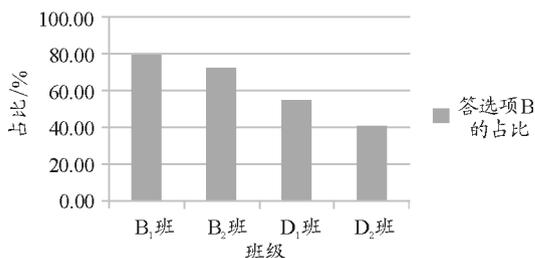


图6 测试题2正答率

## 5 结论

本文通过实验研究发现,基于认知进阶的分层教学设计对引导学生“惯性概念”的形成有较好的成效,并且对提升学生运用“惯性概念”分析解决实际问题的能力起到积极作用。

## 参考文献

- 1 郭玉英,姚建欣. 基于核心素养学习进阶的科学教学设计[J]. 课程·教材·教法,2016,36(11):64~70
- 2 郭玉英. 整合与发展——科学课程中概念体系的建构及其学习进阶[J]. 课程·教材·教法,2013(2):44~49
- 3 Alicia C. Alonzo, 翟小铭. 学习进阶:描述学生思维发展的有效方式[J]. 物理教师,2015,36(11):73~76
- 4 何春生,郭玉英. 基于学习进阶的课堂教学设计与实践[J]. 物理教师,2016,37(10):23~31

(上接第106页)

# Problems of Health Status of Current Storage Battery and Application of Intelligent Storage Battery

Zhang Yongming Song Qing Chen Jiong Feng Yaoyu Zhang Yu

(Kuming Power Supply Bureau, Kunming, Yunnan 650100)

**abstract:** we have investigated and analyzed the status quo of battery health analysis and evaluation technology from the physical point of view and application effect. it is considered that the existing battery monitoring products lack of effective management on the key parameters of battery monitoring. by analyzing the causes of various physical parameters that lead to battery failure one by one, we conclude that the key parameter of battery evaluation lies in the measurement of internal resistance with high accuracy and low influence. we analyze the internal resistance measurement technology which is suitable for application, and propose that the intelligent battery has a great advantage in the structure of internal resistance monitoring accuracy. then we carry out battery health assessment research based on intelligent battery. and the results show that the measurement accuracy of the internal resistance of the intelligent battery is very high, and the internal resistance data has a strong correlation with the battery health assessment, which is suitable for a wide range of applications.

**Key words:** physical model of intelligent battery; soh; battery internal resistance measurement; battery online monitoring