DOI:10.20033/j.1003-7241.(2025)02-0057-05.

新型通信蓄电池远程管理系统研究

杨劲松，范雪峰，豆书亮，管金胜，喻 琰

(国网浙江省电力有限公司宁波供电公司,浙江 宁波 315000)

摘 要:变电站通信蓄电池的核容放电模式响应效率较低、安全性较弱、劳动强度较高,为此,提出新型通信蓄电池远程管理系统。利用远程充放电方法,改变外接式负载放电方式,利用直流负载对蓄电池进行能量消耗;采用单片机对本地系统进行充放电参数调节,通过系统软件实现对充放电过程的远程监控,分析蓄电池运行状况;设置多种故障响应,实现远程中断放电操作。实验结果表明系统响应效率高、安全性强,有效实现蓄电池远程充放电控制,为变电站蓄电池运维提供智能化支持。

关键词:通信蓄电池;远程管理;真实负载;核容放电

中图分类号:TP393 文献标识码:A 文章编号:1003-7241(2025)02-0057-05

Research on Remote Management System of New Communication Battery

YANG Jin-song, FAN Xue-feng, DOU Shu-liang, GUAN Jin-sheng, YU Yan

(State Grid Zhejiang Electric Power Corporation Ningbo Electric Power Supply Company, Ningbo 315000 China)

Abstract: The nuclear capacity discharge mode of communication battery in substation has low response efficiency, weak security and high labor intensity. Therefore, a new communication battery remote management system is proposed. The remote charging and discharging method is used to change the external load discharging mode, and the DC load is used to consume the energy of the battery. The charging and discharging parameters of the local system are adjusted by a single chip microcomputer, and the charging and discharging process is monitored remotely by the system software to analyze the battery operation status. Multiple fault responses are set to realize remote interruption of discharge operation. The experimental results show that the system has high response efficiency and strong security, effectively realizes the remote charging and discharging control of the battery, and provides intelligent support for the operation and maintenance of the battery in the substation.

Keywords: communication battery; remote management; real load; battery capacity checking

0 引言

蓄电池是电力通信网中保障通信系统安全、稳定的关键设备。然而,由于单体蓄电池性能的差异性,使得某些蓄电池长期自放电,导致电极板硫化、内部短路、电池老化。若不能有效地管理蓄电池,使蓄电池处于正常工作状态,当市电停电,无法达到预定的持续供电时间时,导致通信设备断电,严重时造成电网的停电事故[1]。为更好地了解蓄电池的正常工作状态,有效地管理蓄电池组是非常必要的。相比于端部电压、内阻预测等蓄电池性能的检测手段[2-3],蓄电池的核对性放电试验可以更为精确地测定蓄电池性能。

针对长期浮充蓄电池,应采用定期核对性放电试验,以使蓄电池的各项性能得到充分的激活,从而提高电能的利用率和供电的可靠性。目前相关领域学者利用便携式放电仪对蓄电池进行充放电试验,试验过程需要准备备用蓄电池组,大量改接线路,操作过程繁琐,耗费时间长。尹航等人[4]提出全自动运行地铁列车上应用的蓄电池在线监测系统,阐述蓄电池剩余电量SOC的估算方法,有效地利用和管理车载电池的能量;魏丽君等人[5]提出一种电流解耦控制算法,通过蓄电池充放电装置主电路原理和参数设计、检测电路设计、控制电路的设计,完成智能铅酸蓄电池充放电管理装置设计。

本文主要研究以真实负载为基础的变电所蓄电池的远程充放电系统,根据充放电策略实现蓄电池的寿命延续,减少人力物力,提升蓄电池运行寿命,为电力变电站蓄电池运维提供有力保障。

1 蓄电池容量检测

1.1 核对性容量

蓄电池组在使用一段时间后,其实际容量将会下降。其原因是:电池正电极栅被腐蚀、硫化、电解液减少

*基金项目:浙江省科技攻关计划项目(ZN202000316)

收稿日期:2023-08-03

等。为准确地获取蓄电池的真实容量，必须对其进行核对性容量测试。

核对性放电测试通常是以0.1 C放电率的放电电流进行的恒流放电。当蓄电池组中的任意一节电池的额定电压达到最低额定电压时，所获得的电量是该蓄电池的真实容量。蓄电池组的容量等于放电时间乘以放电电流。当室温小于25℃时，可用25℃时实测的容量C_e来表示：

$$C_e=\frac{C_r}{1+K(t-25℃)} \tag{1}$$

式中：t表示放电时周围环境温度；K表示温度因子；在10 h核对性放电下，K=0.006/℃；在3 h核对性放电下，K=0.008/℃；在1 h核对性放电下，K=0.01/℃；表示电池在测试温度下的容量。

当前主流的核容放电仪以电阻体为载体，利用负载产生的热量实现放电。这种方法尽管具有较好的放电性能，但仍然存在以下缺点：

放电时间长，效率低下，通常以0.1 C放电率核容放电，充放电全过程时间在10 h以上[6]；放电过程温度较高，负载表面温度可达200℃以上，需要风机强制散热，长时间高温可能损坏设备，甚至引发火灾，安全性低；放电过程能量浪费，如220 V/500 Ah的蓄电池组采取0.1 C放电率放电，电能以6 600 W的功率消耗在空气中。

1.2 短时放电容量预估

除核对性容量试验法，还使用短时放电法预测蓄电池组的真实容量[7]。放电时，端电压迅速下降至低点后反升至平台，记录下放电时间t'和电压值V'。持续放电至蓄电池组的电压产生压降$\triangle P$，在对持续时间t_0以及持续电压V_0进行记录后，放电终止。蓄电池组电压从V_0下降至V_1($V_1=V_0-\triangle P$)分段持续时间t_1表示为：

$$t_1=(\alpha_2/\alpha_1)\times t_0 \tag{2}$$

式中：α_1是电压在($V'+V_0$)上的降低速率；α_2是电压在(V_0+V_1)上的降低速率；t_0是前一阶段的压力下降持续时间。采用同样的方法，获得蓄电池组的全部放电持续时间，以此预估蓄电池组真实容量。

2 新型蓄电池远程管理系统

2.1 系统架构

新型蓄电池远程管理系统的核心模块是真实负载充放电系统，其目的在于改变常规的“假负载”放电方式，以更经济、更环保的方式，以及利用高频、合理的放电策略提高电池的寿命。蓄电池真实负载充放电系统框图如图1所示。

该系统包括蓄电池组、核载控制模块、监测单元、控制装置、通信模块和网管服务器。通过本地和远程双环路控制提高系统可靠性。核载控制模块采用RS485接口和控制装置进行串口通信，以执行本地控制指令，使蓄电池在本地充放电过程得以实现。监测单元实时对蓄电池组及各个单体蓄电池状态进行监测，数据的采集通过RS485与控制装置之间的串口通信实现。控制装置可以识别、反馈所采集的数据，在出现异常状况时，能及时地进行远程中断放电作业。利用RS232接口和通信模块连接，再经过通信模块端口和网管服务器进行通信，并利用TCP/IP协议对放电过程进行远程控制。在本地端设备与网管服务器之间设置安全防火墙，保证设备通信的安全。此外，当出现异常情况如数据中断时，本地通信模块主动重新连接数据，并由网管服务器进行自动备份，降低通信中断的影响。

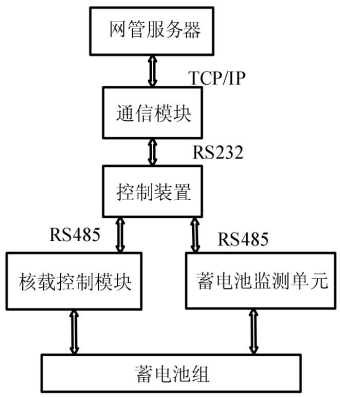


图1 系统架构图

2.2 本地控制系统

本地控制系统的核心部件是自带开关电源核载模块，并联在电源输出母排上，常闭节点继电器串联在电源交流输入端，具备43 V−56 V输出可调功能。

该设备具有集成的特点，可以实时地对蓄电池的工作参数进行采集，并能在触摸屏上显示各种参数，实现放电；对蓄电池的浮充、均充、放电状态进行测试；在放电试验之前，能够自动设置放电关断参数，使放电时间、容量、电压达到设置参数或人为终止；可依据蓄电池类型合理选用适当的放电率；该设备具有储存放电时的各种参数、报表、趋势图等功能，并能在U盘上实现对数据的本地存储和输出。

核载试验前，首先检测自带开关电源核载模块带载能力(基于单个容量的80%考虑，输出电流需达到25 A)，检测无误后电压调整至43 V，作为核载试验保护电压。控制常闭节点继电器，中断通信电源模块交流输入，负载由电池放电供给，并开始核载计时。当采集数据达到预设值时停止放电。协议控制自带开关电源核载模块限流工作模式(一般为0.1 C充电率)对电池组均充运行。池组电压达到56.7 V(充电容量达到放电容量的1.2倍)后，控制恢复通信电源模块交流，下调核载设备开关模块电压到43 V。通信电源系统恢复有电源模块54 V供电运

行模式，核载完成。

2.3 远程控制系统

蓄电池远程控制系统能够配合本地控制系统，完成充放电过程的远程控制。各部分功能如下。

(1) 蓄电池监测单元。在蓄电池真实负载充放电系统运行过程中，要对蓄电池的各项参数进行实时采集，以确定蓄电池是否符合放电条件，放电过程中有无故障，放电结束后对蓄电池的性能进行分析[8]。该系统采用蓄电池监测单元，监测蓄电池、高频开关电源等电源装置的基本参数。经过对应的信号转换器，将电源设备运行工况物理量转变成电信号，并经过滤波器抑制干扰后，将其调节成一个适当的模拟信号，然后用A/D转换为数字信号，传输给网管服务器，用于对充放电系统的参数设置和状态监控。

(2) 控制装置。作为蓄电池真实负载充放电系统的核心，主要由主控板和继电开关装置组成，控制装置是蓄电池真实负载充放电系统的核心部分，其包括主控制器和继电器开关设备。采用单片微处理器对主控板进行控制，通过串行服务器接收上位机软件的充放电指令，对开关通断进行控制，并进行充电、放电等工作；同时对充电、放电的各个参数和开关量进行采集，然后将数据传输到数据中心。利用高可靠性的开关设备，以确保通信供电系统的完整性，并能在发现系统出现故障时，及时切断放电程序，使其切换至开关状态，从而确保通信供电直流系统的安全[9]。

(3) 网管服务器。利用网管服务器实时数据库(Real-Time Data Base，RTDB)，实现蓄电池放电的各个参数的实时存储、分析；可实现人机交互，包括控制界面系统、管理界面系统、数据界面系统、语音生成系统等。具备电源系统接线、电池电压、电流、温度和放电曲线展示、电池组寿命判定评估、充放电策略选择等功能。

2.4 远程充放电程序

远程充放电程序的基本功能有遥测、遥信、遥控等，可设置直流母排电压、放电时间、充电电流等参数，以及温度、电流、电压等报警门限值。蓄电池充放电流程如图2所示，通过自检确认电源系统、核载控制模块等带载能力正常后，中断开关调节模块交流输入，负载由电池放电供给，到达初设时间后退出放电。放电结束后，通过协议控制调压模块使电池组电压达到56.7 V(充电容量达到放电容量的1.2倍)，完成核载。

2.5 在线程序

通过对单体电池两极进行加载峰值脉冲，使电极板上的硫酸铅晶体不断被破坏和减少。通过充电使击碎的硫酸铅微粒还原为铅(尖脉冲+充好还原分时序进行)，继而动态监测单体电池的电压和内阻。浮动状态下，单体电池处于相对稳定的平衡状态，核载控制模块按时间顺序加载完成蓄电池组的尖锐脉冲和充电电压，以此提高单体电池的均匀性，使电池的结构容量和充电容量更加稳定[5]。持续跟踪和记录蓄电池活化数据，根据变化趋势反应分析变电站蓄电池组的荷电功效，将蓄电池组数据上传至平台应用层[10-11]。

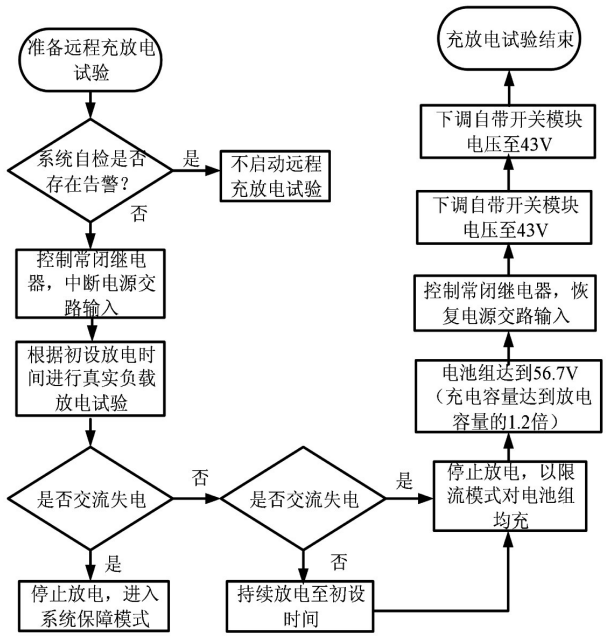


图2 充放电基本流程

2.6 电源管理程序

基于蓄电池真实负载充放电系统，建立电源系统管理程序，实现电源设备智慧化管理。根据系统变电站蓄电池组的运行参数信息，将其作为大数据形式进行存储，通过云计算平台的功能，对运行数据进行智能分析，从而实现监测设备运行状况、预测预警故障隐患、辅助诊断维护决策和电源设备集中统一管控等主要功能。通过智慧管理程序，可以充分保障电源设备的安全稳定运行，提高电源维护效率需求，全面提高电源管理的信息化、自动化和智能化。

3 实验测试

根据变电站蓄电池维护规程要求，以宁波地区电网规模为例，选择投运5年以上站点的8组蓄电池组作为测试对象，基于MATLAB/Simulink搭建软件环境，系统关键参数为：蓄电池电压为80 V，母线电容为0.2 mF，负载电阻为20 Ω，脉冲频率为100 Hz。

并与文献[4]提出的全自动运行地铁列车蓄电池在线监测系统和文献[5]提出的高精密铅酸蓄电池充放电管理系统进行对比。测试指标为系统响应效率、安全性能、蓄电池放电性能和抗负载扰动能力，测试结果如下。

3.1 系统响应效率测试

在宁波公司信通实验室对8组蓄电池组进行带载充放电测试，验证系统响应效率。在达到投放要求后，于2021年5月在宁波地区部分220 kV站点试点应用。利用所提系统和两种文献系统分别对变电站蓄电池进行远程充放电操作，测试24周内系统的响应效率，测试结果如图3所示。

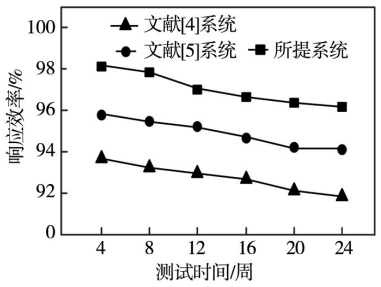


图3 系统响应效率结果

根据图3可知，经过24周的测试后，所提系统整体响应效率依然保持96%的效率，而文献[4]系统和文献[5]系统的整体响应效率均低于95%。由此表明所提系统能够有效为试运行站点提供多种充放电数据，形成一套提升蓄电池寿命的充放电策略。

3.2 系统安全性能测试

本次测试通过迭代方式，分析所提系统和两种文献系统的安全性能，安全指数达到85即为满足安全性要求。安全指数计算公式为：

$$Q_t = \frac{t \times \chi}{U} \tag{3}$$

式中：t为蓄电池组充电时间；χ为标准差；U为放电截止电压。安全性能测试结果如表1所示。

表1 系统安全性能测试结果

迭代次数	所提系统	文献[4]系统	文献[5]系统
50	96	85	88
100	97	87	84
150	98	84	84
200	97	83	85
250	95	86	89
300	96	88	83

根据图4可知，文献[4]系统和文献[5]系统的安全指数均低于90，而所提系统的安全指数在95以上，满足安全性能要求，可以在真实负载下对蓄电池组的充放电状态进行有效评估。

3.3 蓄电池放电性能测试

对所提系统的蓄电池放电性能进行如下测试：标准充电，蓄电池最高单体电压为3.65 V，静置蓄电池40分钟，运行SPORT工况，将蓄电池放电至SOC为20%，标准充电，1/3C恒定电流让蓄电池充电至SOC为50%；试验结束。图4是蓄电池在SPORT工况下进行的放电曲线，对蓄电池充电的时候电流为正，蓄电池放电的时候电流为负，具体测试结果如图4所示。

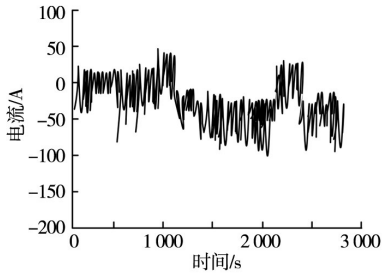
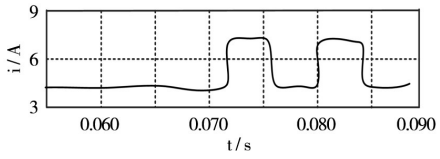


图4 蓄电池放电曲线

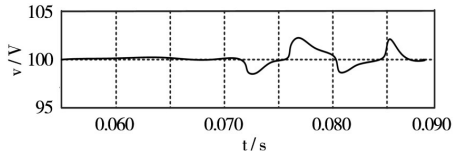
图4试验曲线可以很直观地反映出所提系统的通信蓄电池并没有出现总压欠压、电流过大、最小单体电压超高、单体压差过大、电池温度超温等异常现象，表明蓄电池表现出良好的效果。且电流持续控制在−100 A～50 A范围内。

3.4 抗负载扰动能力

为进一步验证系统对负载变化的抗扰动能力和鲁棒性，在原有负载基础上增加频率90 Hz的周期脉动负载，基于所提系统的动态响应波形如图5所示。



(a) 负载电流波形



(b) 母线电压波形

图5 系统负载工况波形图

由仿真结果可知，母线电压在负载变化时出现轻微超调现象，超调幅值约为3 V，母线电压波动频率与负载脉冲频率一致。动态工况下，系统响应快速，能够在5 ms内迅速稳定在给定值。这说明本文所提系统具有良好的动态特性和较强的抗负载扰动能力。

4 结束语

本文以变电站蓄电池真实负载远程充放电为出发点，设计蓄电池管理及电源系统管理平台。该系统可推广至一次直流电源系统等，特别是针对信息机房、自动化机房以及办公机房UPS电源系统蓄电池的充放电，效果显著。根据前期调研情况了解，信息机房同通信机房一样，存在供电所点多面广的情况，日常蓄电池充放电检修

(下转第104页)