

直流电源预警及灭火系统的设计与实现

直流电源设备是变电站重要组成部分,其运行管理主要依赖工作人员的现场巡视,效率低且安全保障率不高。因此,研究直流电源的在线监测系统具有重要意义。分析了直流电源系统的失效机理,探讨了蓄电池质量、蓄电池运行环境、蓄电池充电机特性以及蓄电池监控装置对直流电源设备的影响。基于蓄电池失效机理,设计了一种适用于变电站现场运行的直流电源预警及灭火系统。该系统的中央处理模块通过RS 485总线与蓄电池监测模块、充电装置监测模块、母线监控模块和火灾报警及灭火模块进行实时通信,实时收集各个蓄电池信息并判断,若采集的蓄电池特征量异常,则给出预警。利用该系统可提高直流电源监测水平,提升变电站的安全性。

敖 非 李 辉 梁文武/国网湖南省电力公司电力科学研究院
刘全志 张天才/武汉华工先舰电气股份有限公司

0 引言

直流电源系统是电力系统重要负载的不停电供电电源,是继电保护、自动装置等设备正确启动的基本保证,其稳定性至关重要^[1]。传统的直流电源系统质量参差不齐,导致事故时有发生,文献[2-6]介绍了多起直流电源装置故障,造成了较严重的损失。随着电力系统容量增加以及无人值班变电站建设速度加快,对直流电源的智能化系统的需求也越来越迫切。直流电源在线监测系统能够对直流系统进行实时远程监测,因而对有效降低事故率具有重要意义。

在直流电源失效机理方面,分析了蓄电池老化的机理,提出失水是阀控式铅蓄池失效的主要原因;同时提出失效机理主要由电池设计结构、工艺质量和使用环境等因素决定。这些研究多侧重于蓄电池本身,对充电装置与监控装

置等研究较少。在直流电源在线监测方面,文献[7]设计了直流电源绝缘在线监测系统。根据充放电回路对蓄电池寿命的影响,文献[8]提出一系列解决方案。文献[9]介绍了一种基于AT89S52单片机的直流电源监测系统。基于直流电源电压与漏电流,文献[10]设计了监控装置,但故障特征量较少,未能对失效前期进行提前预警。

本文对直流电源系统失效原因进行了总结,分析了蓄电池自身质量、充电装置和控制装置对系统失效的作用。根据直流电源系统失效机理,本文设计了模块化的直流电源预警及灭火装置系统,并详尽阐述了各模块的功能。

1 直流电源系统失效机理

1.1 蓄电池自身因素的影响

蓄电池组内部由于存在复杂的电化学反应,其寿命长短主要取决于制造正负极板的材料质量、工艺环境和活性物质纯度等因素。其失效机理归纳如下。

(1) 极板硫化

在蓄电池使用过程中,极板表面会逐渐生成白色、粗大晶粒硫酸铅,这种晶粒较硬,很难溶于电解液,充电时也不易与电解液起还原反应,从而减少了活性物质,这种现象称为极板硫化。当铅酸蓄电池带电搁置时,其处于放电状态,若放电后未及时给电池充电,或电解液密度过高以及不纯,都会使正负极板上形成不可逆的白色粗粒结晶的硫酸铅,也即不可逆硫化。



敖 非/工程师

关键词/Keywords

直流电源·
蓄电池·
在线监测·
RS 485·
预警·

(2) 自放电现象

蓄电池如果一直闲置不使用,也会损耗电量,这种现象称为蓄电池的自放电现象。因铅酸蓄电池生产制造中材料不纯(如含锑过高或其他有害杂质)或电解液中含有害杂质(如铁、锰、砷和铜等离子)、正负极板硫化后极隔板孔隙堵塞等原因,导致铅酸蓄电池内阻消耗增大,从而出现铅酸蓄电池自放电现象。设备评判标准为:每昼夜容量下降不大于2%时,则认为正常;否则认为故障。

(3) 极板活性物质脱落

若电压不足或低温时大电流放电,易发生正极板活性物质脱落;若过充电或充电电流过大,会引起水的电解产生大量的氢气和氧气,当氢气向孔隙冲出时,易发生负极板活性物质脱落;另外铅酸蓄电池在颠簸的环境使用也会加速活性物质的脱落。

(4) 电池的失效报废

新铅酸蓄电池尚未使用就失效报废。可能原因有:铅酸蓄电池制造材料中的活性物质组合不合理;极板在化学处理时未达到充放标准;极板贮存环境不良或存放时间过长,密封受损,长期处于空气的氧化之中,致使极板活性物质被老化。

1.2 蓄电池组环境的影响

环境温度对直流电源系统的实际寿命具有较大的影响。高温环境下,阀控密封式铅酸蓄电池温度每升高10℃,恒定电压下充电电流的接受量将增加一倍,其寿命就会因总累积电量的增加而缩短。同时,浮充电流的增大,加快了过充电量的累积以及板栅腐蚀速度和气体的生成析出,从而缩短了阀控密封式铅酸蓄电池的寿命。低温环境下,阀控密封式铅酸蓄电池负极的活性物质为海绵状铅,在充放电时易发生铅的溶解和结晶,也即生成具有化学活性的硫酸铅,这是一种直径为 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ cm的斜方形晶粒。若放电,极易再生成细微的晶粒(粒子直径小于 10^{-5} cm)。这种粒子排列过于紧密,且孔隙少,构成细微致密的硫酸铅层,减小了充电过程中的电极反应面积,

使蓄电池充电不足,长期累积就可能导致负极板产生不可逆硫化。

阀控密封式铅酸蓄电池最佳运行温度为20~25℃。若运行环境在该温度范围外,则可通过温度补偿进行调整,电压调整值表达式为

$$\Delta U = k(T - t)N \quad (1)$$

式中, k 为温度补偿系数, mV/℃; t 为蓄电池温度,℃; T 为基准温度,℃; N 为阀控密封式铅酸蓄电池节数。

根据标准规定:每下降1℃,单体2 V阀控蓄电池浮充电压应提高3~5 mV。

1.3 充电装置的影响

随着运行时间的推移,特别是投运1~3年后,充电装置技术指标发生偏移,充电机的稳压准确度、稳流准确度及纹波系数超标,造成蓄电池容量下降。同时,蓄电池长期过充或欠充,对其寿命也会造成不可挽回的影响。一般来说,现场不具备相应的测试手段,无法及时发现、调整技术指标,使得蓄电池提前失效或损坏,直接威胁电网的安全运行。此外,目前变电站多采用综合自动化技术,蓄电池通过柜式安装与自动化设备同装一室,若充电机性能异常,则会造成蓄电池发热、溢酸等问题。

1.4 监控装置的影响

监控装置可对系统运行实施全面监测和控制,同时可进行系统设置、信息查询,也可通过后台监控和远程监控对系统实施“遥测、遥控、遥信、遥调”四遥功能,从而实现无人值守。主要失效原因如下:

1) 偶发的死机或程序出错等现象可造成直流系统失控。

2) 参数设置不正常或者检测传感器故障,造成充电机浮充/均充转换失灵。若长期处于浮充状态,蓄电池由于不能进行大电流充电而造成硫化现象;若长期处于均充状态,充电电压过高,更易使蓄电池提前失效。

3) 直流充电装置模块通常采用 $n+1$ 备用模式,其整体额定电流通常为蓄电池组额定充放电

电流的数倍。若限流值设置不当,造成蓄电池充电电流过大,加速蓄电池水电解过程,析出的氢气和氧气会随着排气阀排出,从而造成蓄电池电解液提前干枯。

2 直流电源预警及灭火系统设计

根据直流电源系统失效机理,本文设计了模块化的直流电源预警及灭火装置系统,系统描述如图1所示。

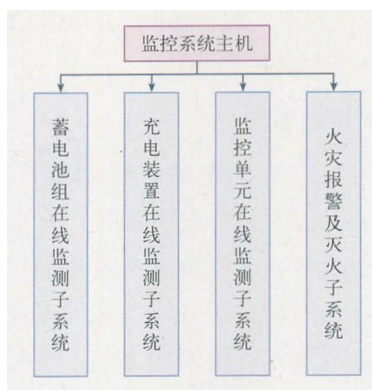


图1 直流电源预警及灭火系统构成

直流电源预警及灭火系统包括监测系统主机、蓄电池组在线监测子系统、充电装置在线监测子系统、监控单元在线监测子系统和火灾报警及灭火子系统。其中监测系统主机主要负责通信功能,包括与各个监测子系统通过串口组成分布式监测系统,以及与直流系统监控模块通信,读取监控模块实时运行状态,同时还负责与后台通信,将监测数据实时传输至远方。由图1可知,监测系统主机包括四个子系统,各子系统的功能功能阐述如下:

1) 监控单元在线监测子系统主要负责监测功能与报警功能。其中监测功能包括:①监测合闸母线电压、控制母线电压、充电机输出电压及电流、蓄电池组端电压及充放电电流等信息;②监测直流系统均/浮转换是否成功;③监测蓄电池组充放电电流是否过大,蓄电池组电压是否过高或过低;④监测充电装置浮充电压/均充电压温度补偿是否成功。除了监测功能,该子系统内的报警功能还包括:①当监测到的各类信息与监控单元传输的信息不符时报警;②当监测到直流系统均

/浮转换不成功时报警;③当监测到蓄电池充放电电流过大、蓄电池电压过高/过低时报警;④当监测到充电装置输出电压不符合温度补偿时报警。

2) 蓄电池组在线监测子系统负责电池模块监测功能与报警功能。该子系统中单模块可监测1~4只蓄电池,能监测每只蓄电池温度,分辨率为0.5℃,同时兼容2V、6V和12V电池监测,模块电压测量分辨率1mV,准确度5mV。一组模块最大数为120只,可以同时监测两组蓄电池。其中转模块具备无线/有线通信方式与监控系统主机通信(也可与放电仪等仪器通信),能监测蓄电池组电压、充放电电流及环境温度;且自带数据保存功能,能保存1年以上数据,同时配置了USB接口与触摸屏显示。蓄电池组在线监测子系统具备完善的后台分析软件,可分析蓄电池电压曲线、柱状图和充放电表格等信息。当单只(整组)蓄电池的电压、环境温度过高或过低,蓄电池充/放电电流过大时该子系统提供报警功能。

3) 充电装置在线监测子系统主要负责充电机性能的监测与报警功能,可以实时监测充电机输出电压、电流值,以及充电机的稳压准确度、纹波系数和稳流准确度。当充电机输出电压过高/过低、输出电流过大,或者充电机稳压准确度、稳流准确度和纹波系数超标时提供报警功能。

4) 火灾报警及灭火子系统具有温度、烟、火焰辐射和气体浓度等检测器,能自动探测火灾前的各种隐患。在蓄电池还未爆炸起火前发出声光报警,同时通过通信系统将报警信号远传,并具备带电电气设备火灾灭火功能。

3 直流电源预警及灭火系统实现

3.1 系统构成

蓄电池组监控模块、充电装置监控模块、母线监控模块、火灾报警灭火模块与中央处理模块之间通过RS 485通信,将采集的信号传送至中央处理模块,中央模块系统经过计算分析,对比预设的阈值,判断直流系统运行是否异常,并给予预警,整个流程如图2所示。若某只蓄电池体表

温度突然升高，或整套直流系统有冒烟、局部温度急剧升高起火灾前兆特征时，自动启动火灾报警灭火模块，在救援人员赶来之前将火扑灭。中央处理模块与作为远程监控中心的变电站进行通信，实时将监测量及报警量传输至后台。

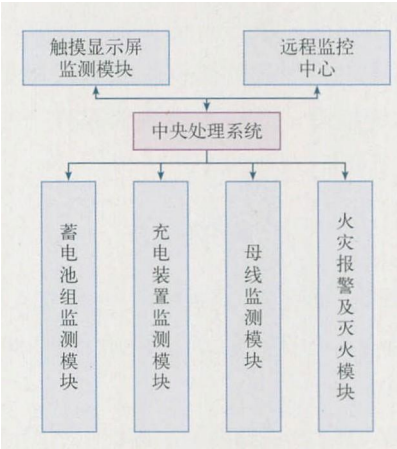


图2 系统模块化示意图

3.2 中央处理系统

中央处理模块包括触摸显示屏、控制主板、存储单元、USB接口、网络接口以及RS 485接口，如图3所示。触摸显示屏用于系统参数设置及实时数据显示等人机交互；控制主板用于处理采集的数据并与预设阈值进行比对发出控制或报警信号；存储单元用于存储各种监测量；RS 485接口用于与系统中其他模块通信；RS 232用于与监控模块通信；网络接口可与后台综合自动化系统通信，所述控制主板可产生遥信信号，且遥信信号以开关量的形式传递至远程监控中心。

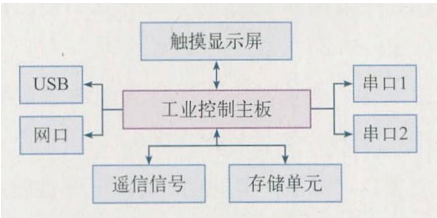


图3 中央处理系统模块示意图

3.3 母线监测模块

母线监测模块包括ARM芯片1[#]（STM32F103 ZET6 ARM）及16位多通道A-D采样芯片2[#]；其中16位多通道A-D采样芯片1[#]（AD7606）用来采样控制母线电压及合闸母线电压，将采集的数据实

时通过RS 485通信给中央处理模块，如图4所示。

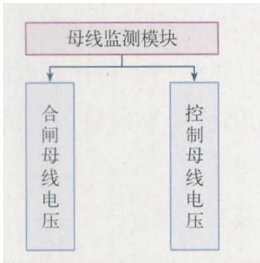


图4 母线监测模块示意图

3.4 充电装置监测模块

充电装置监测模块包括ARM芯片2[#]（STM32F103ZET6 ARM）及16位多通道A-D采样芯片2[#]；其中16位多通道A-D采样芯片2[#]（AD7606）用来采样充电装置电压及电流信号，将采集的数据实时通过RS 485通信给中央处理模块，如图5所示。

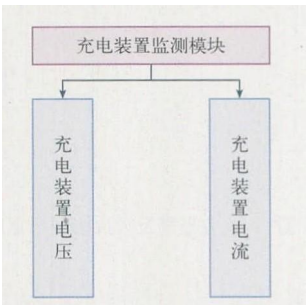


图5 充电装置监测模块示意图

3.5 蓄电池组监测模块

蓄电池组监测模块包括中转显示单元和蓄电池测量单元，中转显示单元与所述蓄电池电压测量单元之间通过433 MHz通信模块进行通信相连，如图6所示。

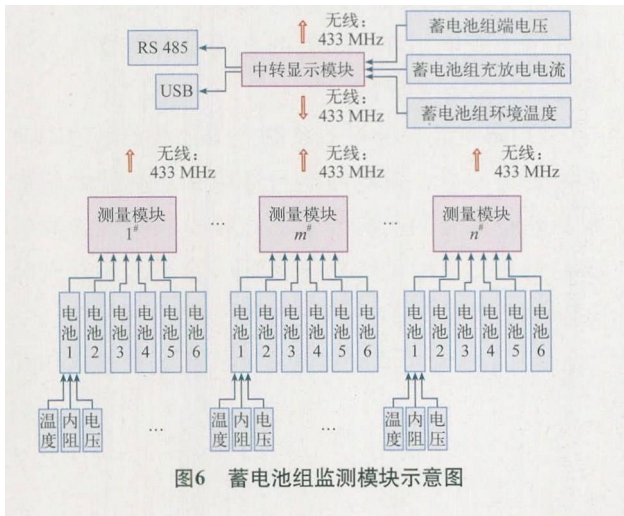


图6 蓄电池组监测模块示意图

中转显示单元包括中转显示屏、中转存储模块、A-D采样接口、RS 485接口、433 MHz无线通信接口以及USB接口；所述蓄电池测量单元包括蓄电池电压及电流采集模块、设置在蓄电池上的温度传感器及电阻传感器。

3.6 火灾报警及灭火模块

火灾报警及灭火模块包括ARM芯片3[#] (STM32F103Z ET6 ARM)、16位多通道A-D采样芯片3[#]、声光报警单元、温度传感器、烟雾传感器、气体浓度传感器以及火焰辐射传感器，如图7所示。

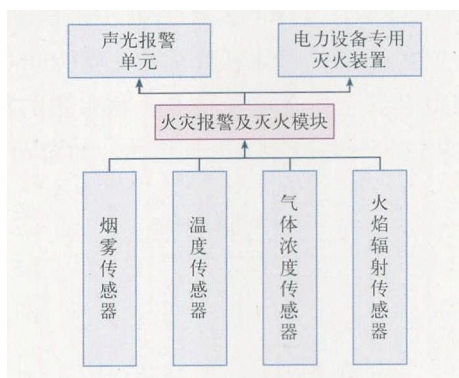


图7 火灾报警及灭火模块示意图

16位多通道A-D采样芯片3[#]的采集端与设置于蓄电池屏柜与直流屏柜内的温度传感器、烟雾传感器、气体浓度传感器以及火焰辐射传感器相连，输出端与ARM芯片3[#]相连；而声光报警单元受控于ARM芯片3[#]。

4 结束语

基于直流电源系统失效机理，本文设计了一种适用于变电站现场运行的直流电源预警及灭火系统。主要结论如下：

1) 蓄电池自身材质及制作工艺是蓄电池寿命直接决定因素，蓄电池运行环境和运维技术是影响蓄电池寿命的间接因素，高频模块特性参数不满足要求、监控模块功能紊乱引发长时间过充等充电装置异常故障均会导致蓄电池性能的劣化。

2) 根据无人值班变电站的实际运行需求和直

流电源失效机理，设计了一种新型的直流电源在线监测系统，该系统包括蓄电池组监测子系统、充电装置监测子系统、监控单元监测子系统、火灾报警及灭火子系统，并阐述了各自的监测功能。

3) 采用模块化实现直流电源在线监测系统，给出了中央处理模块、蓄电池组监测模块、充电装置监测模块、母线监测模块和火灾报警及灭火模块的结构框图，并对各模块的采样信号及硬件构成进行了分析。

参考文献

- [1] 刘险峰, 邹积岩, 高洪钢. 一种新型直流电源集中监控系统 [J]. 电力自动化设备, 2008 (11): 91-93, 98.
- [2] 黄兴, 魏延彬, 杨琳琳. 蓄电池老化导致重合闸失败事故的处理 [J]. 山东电力技术, 2015 (5): 62-63, 67.
- [3] 王秀菊, 李莉. 电力电源中蓄电池失效模式及在线监测 [J]. 电源技术, 2004 (12): 790-793.
- [4] 郝庆英, 张敏, 张绍芝, 等. 阀控式铅酸蓄电池失效原因的研究 [J]. 蓄电池, 1997 (1): 21-23.
- [5] 王秋虹, 张捷. 阀控式铅酸蓄电池失效原因及容量恢复 [J]. 蓄电池, 1998 (4): 3-6.
- [6] 术守喜, 元学广, 陶鑫, 等. 阀控式密封铅酸蓄电池的寿命及失效分析 [J]. 通信电源技术, 2006 (6): 63-65.
- [7] 王瑞祥, 刘峰, 熊小伏, 等. 变电站直流电源绝缘在线监测新方法 [J]. 电力自动化设备, 2009 (12): 65-67, 93.
- [8] 彭刚毅. 变电站电力操作直流电源系统的研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- [9] 门虎, 丁慎花, 廖卫红. 直流电源监测系统的设计 [J]. 自动化应用, 2014 (3): 36-38.
- [10] 董雪梅, 赵万清, 杨建国, 等. 直流电源的监测装置 [J]. 测试技术学报, 1998 (3): 261-266.

(收稿日期: 2015-02-10) **EA**