

DCS 系统电源模块备用锂电池失效原因探究

刘国庆 李宜民

中广核核电运营有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i5.9902

[摘要] 某核电站采用DCS系统控制,其非安全级DCS控制系统为德国西门子公司开发的 Teleperm XP系统,简称TXP系统。TXP系统的正常供电为PS电源模块,PS电源模块将外部交流供电转换为24V直流供电,为机柜内CPU处理单元、通讯模块、CP1430时钟模块等卡件供电。PS电源模块内置了两块锂电池,用于在PS电源模块失去外部供电时,保存CPU处理单元内的程序和CP1430的MAC地址信息。某一短时期内,多个PS电源模块的锂电池出现电量低报警。本文对PS电源模块锂电池出现电量低报警的原因进行了分析,并根据分析结果给出了改进建议。

[关键词] PS电源模块; 锂电池; 失效

中图分类号: TL503.5 **文献标识码:** A

Exploration into the Failure Causes of Backup Lithium Batteries in DCS System Power Modules

Guoqing Liu Yimin Li

CGN Nuclear Power Operation Co.,LTD

[Abstract] A nuclear power plant uses DCS system control, and its non-safety DCS control system is Teleperm XP system developed by Siemens, Germany, referred to as TXP system. The normal power supply for a TXP system is the PS power module. The PS power module converts the external AC power supply to 24V DC power supply and supplies power for the CPU processing unit, communication module, and CP1430 clock module in the cabinet. The PS power module has two built-in lithium batteries, which are used to save the programs in the CPU processing unit and the MAC address information of the CP1430 when the PS power module loses external power supply. In a short period of time, the lithium battery of multiple PS power modules has a low power alarm. In this paper, the causes of low power alarm of PS power module lithium battery are analyzed, and the improvement suggestions are given according to the analysis results.

[Key word] PS Power Module; Lithium Battery; Failure

引言

KCP系统为核电站非安全级DCS系统控制机柜系统,机柜内包含有PS电源模块、CPU处理单元、网络传输模块、CP1430时钟模块等设备,其中PS电源模块将外部交流供电转换为24V直流供电^[1],为机柜内其他卡件供电。当外部供电失去时,为了避免CPU内的程序丢失,在PS电源模块内安装了两块锂电池。单个锂电池可提供3.6V的供电,2个锂电池可提供7.2V的供电。为了监视锂电池的状态,机柜对电池电量进行监控,当电池电量低时,触发机柜故障综合报警,并将报警送达主控室。

1 背景信息

2016年12月27日,维修人员在执行定期更换KCP机柜锂电池工作时,发现从仓库领出的18个锂电池备件中,有8个锂电池备件不可用(以色列生产)。维修部门将该信息反馈采购部门后,要求采购部门采购生产日期在半年内,且为德国西门子原厂生

产的锂电池。

2018年采购备件到货后,维修部门利用机组大修窗口,将KCP所有机柜电池更换为从德国西门子厂家采购的原厂备件。但是在更换时间不到一个月时间内,机组已累计出现7个KCP机柜,共计9次PS电源模块电池电量低报警。

其中2018年11月15日11:54-12:29,在三十分钟时间左右,主控室相继出现KCP519/410/401/412/504/508AR机柜故障报警,和对应机柜标示为“BATT”的I&C报警,维修人员现场确认KCP519/410/401/412/504/508AR等机柜的PS电源模块锂电池电量低导致。维修人员更换新的PS电源模块锂电池后报警消除。

查询历史维修记录,每年均多次出现KCP机柜PS电源模块锂电池电量低报警,分析原因可能为个别备用电池的个性差异引起。

近几年电池电量低报警次数统计情况,如图1所示。根据统计数据可知,2016年至2018年,年均出现10次报警,给主控室监盘带来很大困扰。



图1 锂电池电量低报警次数统计

2 锂电池功能介绍

KCP机柜机架共分为4层,从机柜上方到下方依次为AA层、BA层、CA层、DA层,其中DA层安装了PS电源模块、机柜监视模块、CPU处理单元、通讯模块和CP1430模块。DA层机架共安装了主从2套设备,即安装了2个PS电源模块。每个PS电源模块设计安装2节备用锂电池。单节锂电池的电压为3.6V,2节锂电池可以提供7.2V的供电。该2节锂电池用于在KCP机柜失电的情况下保存CPU处理单元内的程序和数据,以及CP1430模块的MAC地址信息,以便在机柜重新送电后,对CPU进行热启动。若锂电池失效,则可能导致组态数据丢失^[2]。

由于电池自身的特性,随着日常消耗使用逐渐出现电量低I&C报警“BATT”,并触发机柜KA综合报警,综合报警等级为RED,要求主控操纵员立即响应。

3 报警实现方式

PS电源模块的锂电池在使用过程中会逐渐放电,电池电量低于一定值,电池功能则会失效。为了监视锂电池的状态,系统设计了报警监视系统,对锂电池状态进行监视。PS电源模块中的备用电池报警信息由PS模块内部电路检测。当电池电量低时,输出24VDC信号至DEDA卡件采集,之后送CPU处理单元中进行逻辑组态运算触发I&C报警,并触发综合KA报警。I&C报警和KA报警最终在KIC中显示,供主控操纵员查看并响应处理。

以KCP519AR为例,当机柜中任意一个PS电源模块的备用锂电池电量低时,组态功能图中AP.ALARM模块的BATT端口触发为1,系统生成KCP519AR的BATT I&C报警信息,在KIC系统的I&C报警列表中显示。同时,AP.ALARM模块的BATT端口信号参与KCP519AA报警的逻辑运算,使系统产生KCP519KA报警。KCP519KA为KCP519AR机柜故障报警,报警等级为红报警。报警卡提示产生KCP519KA的原因可能有(1)工作供电故障;(2)总线供电故障;(3)其他电源故障;(4)处理器电池故障;(5)机柜温度过高;(6)SINEC总线故障。产生的后果有(1)可能导致处理器、I/O模块、通讯模块不工作;(2)失去机柜内的部分监测和控制功能;(3)部分I/O模块输出为0;(4)失去与DCS的网络通讯。当KIC报警列表中

出现KCP519KA报警时,要求主控室操纵员立刻响应,通知维修人员检查。

4 电池参数设置

PS电源模块的备用电池有三种安装方式。方式1为不安装备用电池,方式2为安装1块备用电池,方式3为安装2块冗余的备用电池。其备用电池的报警检测方式通过PS电源模块的侧板拨码开关实现。

KCP机柜的PS电源模块设计时采用方式3,即安装2块冗余的备用电池,第一次送电时先装上的备用电池是为主电池,另一块为备用电池。断电再送电,则系统随机选择一块电池为主电池。

PS电源模块中锂电池的部分参数如下:

(1)品牌:TADIRAN塔迪兰;(2)尺寸:14mm*50mm;(3)电压:3.6V;(4)容量:2400mAh;(5)型号:SL-360(TL-5903);(6)类别:锂电池(不可充电)。

5 电池低电量报警测试

对PS电源模块的备用锂电池进行测试,测试其电量低报警电压阈值,结果如下:

(1)在PS电源模块备用电池回路中并入电阻箱,通过减小电阻箱阻值,增加电池负载以降低电池电压,当报警触发时,测量测点电压为3.890V。该报警定值与TXP系统手册中背板电压的参数吻合。(2)在PS电源模块备用电池回路中串入电阻箱,通过增大电阻箱阻值,减少电池负载电流来降低回路功率,因电流较小,未测出明确数据,根据TXP手册分析工作电流应为10 μA。

6 影响分析

每块PS点云模块安装2块备用电池后,主电池作为工作放电状态,另一块为备用状态。若主放电电池电量低报警,则自动切换到备用电池,不影响CPU处理器的程序和数据及CP1430的MAC地址信息。

当KCP机柜外部供电正常供电时,即使PS电源模块的2块电池电量都低,由于机柜正常供电工作(每个KCP机柜都有冗余的外部供电),对CPU处理单元的运行不会产生影响。

当某个KCP机柜失电,该机柜的CPU处理单元、FUM板件、通讯模块都将停止工作,与二层设备通讯丢失,该机柜内所有信号都失去显示,机柜所包含的相关设备不可控。若此时2块备用电池电量都低,会导致单侧CPU处理单元相关数据丢失。KCP机柜外部供电恢复后,可通过写CP1430的MAC地址,然后启动失电的CPU处理单元,让左右侧CPU处理单元自动同步,实现数据恢复。

综述分析可知,PS电源模块电池电量低对工艺系统无直接影响,但因KCP机柜PS电源模块的备用电池报警参数设置为A级报警(RED),报警出现后要求主控操纵员立即响应,会影响操纵员对其他重要信号的判断,对机组控制不利。

7 原因分析

针对PS电池备件L308大修后,在不到1个月时间,多次出现电池电量低的可能原因分析如下。

可能原因一,PS电源模块的报警采集回路异常。因为PS电源模块的报警采集电路异常可导致报警误触发。但是大修前电源

采集检测回路正常,大修后再次重新更换新备件报警复位消除,说明采集回路正常。该可能原因的可能性较低。

可能原因二,锂电池备件的激活安装方式不当。因锂电池钝化膜的原因,电池更换前进行1~2s的短接激活,会造成锂电池电量损耗。但是历史大修都是采用该方式消除锂电池钝化膜,且西门子手册明确说明,若钝化膜存在可以通过短接脉冲方式消除。该可能原因的可能性较低。

可能原因三,锂电池的个性差异导致。因为虽然同一天内同时出现多起电池电量低报警,但报警总数与全部300多块锂电池相比,占比较低;且锂电池在静置储存一段时间后,可能因电池内钝化膜的存在会发生电压滞后,而引起电压低。另外虽然大修前抽检10个备用电池,但是抽检时间较短,且有随机性,不能确定全部锂电池都是合格的。锂电池在批量生产过程中,锂电池的容量、电压、内阻和自然放电效率都会有偏差,且随着环境的变化,会导致电池性能下降^[3]。该可能原因的可能性较高。

8 锂电池内钝化膜形成机理

组成锂电池的电解液是一种强氧化性的化学物质,它同时起了电解液和电池正极活性物质的作用,在与电池的负极活性物质金属锂接触后,在金属锂表面上立即形成一层致密的钝化膜,这层钝化膜被称为“固体电解质界面膜”(Solid Electrolyte Interface)。这是一种离子导体,锂离子能在钝化膜中进行迁移,但由于其迁移的速率很小,因此会阻挡电池进行反应,当电池中流过的电流不大于 $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ (金属锂表面积)时,钝化膜中锂离子的迁移速率能够满足要求,当电流较大时,钝化膜中锂离子的迁移速率受限制产生严重影响,钝化膜两端产生很大的电压降,此时具体表现就是电池负载电压低;随着电流的不断流过,钝化膜逐渐破裂,两端的压降逐渐下降,电池的负载电压就逐渐上升直至正常。钝化膜的逐渐破裂过程就是电池电压滞后的消除过程。

“电压滞后”,即电池在极其微小电流使用或者静置储存一

段时间后,当突然需要一个较大的工作电流时,电池的电压下降得相当厉害甚至降到设备的工作电压之下,导致电池无法供设备正常使用,这种现象称之为电压滞后现象,这成为制约锂电池可靠使用的重要因素。产生电压滞后现象的主要原因是锂电池内钝化膜的存在,钝化膜又称固体电解质膜SEI膜。

9 结语

根据可能的原因分析,可制定以下改进措施,以避免锂电池电量低报警频繁触发的现象。

(1)按照维修大纲的要求,每轮大修都对PS电源模块电池备件更换,并在更换前提前领出10个电池备件,进行抽检,确认电池备件满足要求。(2)对锂电池激活方式进行变更,大修更换锂电池时尝试不采用直接短接正负极的方式进行激活,使其在PS电源内部自行缓慢激活。若采用直接短接正负极接激活电池的方式,电池安装到PS电源模块中,便可直接复位电量低报警,但会损耗一定的电池电量;让电池在PS电源模块中自行缓慢激活,虽然电量低报警需经过30分钟至数小时后才能复位,但不会导致电量损失。(3)对锂电池低电量报警触发机柜故障报警的逻辑进行改造,取消KCP机柜PS电源模块锂电池电量低信号参与机柜故障报警的逻辑,同时将I&C报警类别由F修改为I类报警,减少对主控操纵员的影响。

[参考文献]

- [1]张天航,杨宇奇,朱野,等.继电器控制系统DCS改造电源需求分析[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2019,(09):181-183.
- [2]李文学.DCS系统维护管理和应用探析[J].通信电源技术,2018,35(07):104-105.
- [3]黄晓艳.便携式备用电源的锂电池管理系统[D].华侨大学,2015.

作者简介:

刘国庆(1989--),男,汉族,安徽省金寨县人,本科,工程师,研究方向:核电站DCS控制,热工仪表检修。