

某核电厂蓄电池放电报警故障原因分析与处理

韩存效

中广核核电运营有限公司 广东 深圳 518000

摘要: 核电厂220 V不间断电源系统为核岛重要保护系统、DCS及消防报警等设备提供不间断供电,其运行可靠性直接关系机组安全。本文针对某核电厂1号机组LNC系统蓄电池放电报警故障,基于GUTOR UPS系统原理,分析了故障现象、报警触发逻辑及传播路径。通过现场排查与信号溯源,确定故障根源为P009霍尔传感器内部印刷电路板过热损坏,导致采样信号异常输出,引发充电器限流误动作、输出电压持续跌落,最终蓄电池带载逆变器运行并触发报警。本文阐述了故障处理过程与传感器更换校验方案,为同类故障快速诊断提供工程参考。

关键词: 核电厂; UPS系统; 充电器限流; 霍尔传感器; 蓄电池放电

引言: 核电厂220 V不间断电源系统是保障核岛保护系统、DCS及消防报警等设备不间断供电的关键系统。某核电厂采用GUTOR UPS系统,正常由充电器带载逆变器并对蓄电池浮充。某日1号机组LNC系统主控触发蓄电池放电报警,面板显示蓄电池充电电流高达347 A(实测0 A),充电器输出电压降至107 V且处于均充状态,存在蓄电池深度放电、系统被迫切换至旁路降级运行的风险。本文基于故障处理过程,分析故障现象、报警逻辑及深层机理,为同类故障快速诊断提供参考。

1 220V 不间断电源系统原理

1.1 功能定位与应用场景

220 V不间断电源系统是核电厂内稳定连续供电的电源系统,主要功能是保证核岛保护系统、全厂DCS、热工自动装置及消防报警系统等设备获得高质量不间断电力供应。该类负荷对供电连续性要求极高,一旦中断或出现较大波动,可能导致保护系统误动、DCS数据丢失或控制失效,严重时影响核电机组安全运行。因此,该系统被定位为核电厂重要的厂用电系统之一,其运行可靠性是核电厂安全运行的重要保障。

1.2 某核电站GUTOR品牌UPS的硬件组成

某核电厂采用瑞士GUTOR厂家生产的UPS系统为LNC等系统供电,由六大核心硬件组成:充电器将交流输入整流为直流,为逆变器供电并对蓄电池充电;蓄电池组在交流失电或充电器故障时为逆变器提供直流电源;逆变器将直流电逆变为稳定的220 V交流电供给下游负荷;旁路变压器在逆变器退出运行时提供备用通道;静态切换开关实现逆变器与旁路电源间的快速无间断切换;保护和监测回路负责系统状态实时监控与故障保护。上述硬件协同工作,构成完整可靠的UPS供电系统^[1]。

1.3 系统全状态运行逻辑说明

GUTOR UPS系统存在三种运行状态。正常运行:充电器从400 V交流母线取电,经整流后为逆变器提供直流输入,逆变器输出220 V交流电供负荷,同时充电器以浮充方式为蓄电池充电。蓄电池应急供电:充电器故障或交流失电时,蓄电池自动无间断切换放电,通过逆变器继续供电;电压降至低电压定值后逆变器停运,切换至旁路。旁路切换降级:逆变器异常或蓄电池电压过低时,静态切换开关将负荷切至旁路变压器,该模式下电源存在安全降级风险,供电质量下降,属应急备用方式。

2 故障现场核实与现象梳理

2.1 主控侧报警信息核对

某核电厂1号机组日常运行期间,LNC系统主控室出现蓄电池放电报警。经与主控值班人员核对,确认报警为蓄电池放电报警信号,表明蓄电池正在带载运行,UPS系统已偏离正常运行状态。该报警触发说明蓄电池已持续向逆变器供电,充电器已无法维持正常输出电压。

2.2 就地UPS面板参数核查

接到报警后,维护人员前往就地检查LNC系统UPS控制面板。面板显示以下异常参数:蓄电池充电电流显示为347 A(正常浮充状态下应为0 A左右);充电器输出电压为107 V,与蓄电池组当前电压基本一致;控制面板显示充电器处于均充状态;其余参数均显示正常。上述面板参数表明,充电器输出电压已降低至蓄电池电压水平,充电器处于异常均充状态,蓄电池已实际开始向逆变器放电。

2.3 现场实测校验与异常值比对

为进一步确认故障性质,维护人员使用钳形电流表对蓄电池充放电电流进行现场实测。实测结果显示,蓄电池实际充放电电流为0 A,与控制面板显示的347 A存在

严重偏差。这一关键对比说明,面板显示的347 A并非真实的电流值,而是采样或显示环节出现了异常^[2]。故障的根源在于测量环节而非功率回路,充电器本体及蓄电池组本身并未发生真正的过流故障,而是控制系统接收到了错误的电流信号。

3 故障初步判定与排查路径设计

3.1 蓄电池放电报警的连锁触发逻辑推导

根据GUTOR UPS控制逻辑,充电器最大充电电流限制为35 A,当蓄电池充电电流达到35 A时触发限流报警(仅用于显示与控制,不上传主控)。本次故障面板显示蓄电池充电电流为347 A,限流报警正常触发。限流报警持续超过3分钟后充电器自动转为均充,与现场一致。限流报警触发时充电器自动降低输出电压使电流降至35 A,本次显示347 A,充电器持续降压直至蓄电池电压,但显示电流仍大于35 A,蓄电池开始带载逆变器运行,2分钟延时后主控触发放电报警。完整逻辑链条:显示347 A→触发限流报警→持续3分钟转均充→充电器持续降压→电压低于蓄电池→蓄电池放电→2分钟延时后主控报警。

3.2 核心故障诱因的初步锁定范围

基于上述逻辑推导,初步判断故障可能原因为蓄电池充电电流采样回路或处理回路异常,导致面板显示347 A,充电电压降低引发蓄电池放电报警。实测电流为0 A而面板显示347 A,两者存在根本性矛盾,故障必然位于从电流传感元件到信号处理再到显示输出的全链路中的某一环节,而非功率回路真实过流所致。

3.3 基于采样信号链路的分层排查方案制定

蓄电池充电电流采样信号流程:P009霍尔互感器采集信号→A071信号调理板→A070主控板→A073显示面板(001DP)。制定分层排查方案:第一层检查P009传感器接线及端子紧固情况;第二层检查A071至A070排线是否异常;第三层如接线正常,通过手动关闭逆变器、单独启动充电器,将P009与P007(同型号传感器,用于直流总电流监测)接线互换判断传感器是否故障。采用互换法因直流母线穿过P009霍尔感应元件,直接更换耗时过长。如为P009故障则切换至完全旁路更换校验,如传感器正常则进一步读取分析A070主板充电器控制程序^[3]。

4 故障精准定位与现场处置流程

4.1 全链路节点初步排查

现场首先将LNC系统切换至完全旁路带载状态,手动停运逆变器及充电器,将系统设定至完全隔离状态,确保后续作业安全。按照分层排查方案,第一步检查P009传感器电路板出线端子,确认紧固无松动;第二步

检查A071电路板X016端子,确认紧固无松动;第三步重新拔插P009端子接线后重新启动充电器和逆变器,蓄电池电流显示依然为异常值(347 A)。至此,排除接触不良因素,故障仍然存在,需进入下一层排查。

4.2 同型号传感器交叉比对快速定位法应用

为快速判断故障元件,采用同型号传感器交叉比对法。将P007(充电器输出总电流测量传感器)与P009(蓄电池电流测量传感器)的传感器接线进行互调。互换后观察面板显示:P007对应的充电器总电流显示为244 A,显示异常;P009对应的蓄电池电流显示恢复正常(0 A)。由此判断P009传感器的电路板故障,而非信号传输或处理环节的问题。该交叉比对法操作简便、判断直观,在不停运全部系统的情况下即可快速锁定故障元件,是本次故障排查的关键技术手段,避免了逐一更换元件造成的检修时间延长。

4.3 传感器更换与参数校验实操

确认P009传感器故障后,将系统保持于完全旁路带载状态,对故障传感器进行更换。更换新传感器后,按照GUTOR厂家规程对P009传感器参数进行校正,使其显示值与实际值相符。校正操作主要包括零点调整和满量程校准两个步骤,确保传感器在全量程范围内的输出线性度满足要求,测量精度恢复至出厂标准。校验合格后方可进入后续投运环节。

4.4 系统带载投运验证

传感器更换及参数校验完成后,重新投运充电器及逆变器,将LNC系统切换至正常工作状态。确认控制面板显示所有参数恢复正常,其中蓄电池充电电流显示为0 A(浮充状态正常值),充电器输出电压恢复至正常值(约130 V),主控蓄电池放电报警复位,系统恢复正常运行状态。至此故障处理完毕。

5 故障深层机理溯源

5.1 霍尔传感器异常输出的连锁反应机制

通过对拆下的故障CT进行测量,并结合设备原理图进行分析,可知充电器侧直流CT采用霍尔传感器,其中P007测量充电器输出电流,P009测量蓄电池电流。测量结果既用于001DP显示充电器输出电流和蓄电池电流,也参与充电器输出电压、电流的闭环控制。P007、P009正常输出范围为-4.6 VDC到+4.6 VDC,穿心电流为0 A时输出0 VDC。在故障时,无论穿心电流多大,输出都将接近5.5 VDC。当P009故障时,控制系统错误地收到一个比正常电流大很多的蓄电池充电电流(显示约347 A,对应约35 A的定值被远超),此时充电器进入限流模式,通过降低输出的直流电压来减小蓄电池充电电流。因为是检测

元件故障,即使充电器降低电压也无法改变传感器输出的错误信号,最终的结果是充电器将一直降低电压到0 V,逆变器下游负荷完全由蓄电池放电带载运行。这一连锁反应揭示了传感器故障通过控制系统闭环逻辑被逐级放大的完整机制^[4]。

5.2 Honeywell CSLA2EL型号传感器的结构与工作原理

故障CT的电路板及信号处理回路测量未见异常,进一步对其核心传感器CSLA2EL进行分析。CSLA2EL是Honeywell公司CSLA系列经济型感应式模拟电流传感器,采用了SS94A2线性输出霍尔效应传感器(LOHETTM)。该类型传感器的工作原理是通过磁通收集器约束流过CT的穿心电流产生的磁场,利用安装在磁通收集器气隙中的霍尔传感器产生与穿心电流成线性

关系的微小电压,再通过放大器放大来反映穿心电流的大小。CSLA2EL由传感器、磁通量收集器和PBT聚酯外壳组成,传感器和传感元件装配在印刷电路板上,电路板尺寸为15 mm×7 mm,存在3个埋孔,推测为多层板结构,电路板上存在明显的光刻电阻。

5.3 内部印刷电路板过热失效的根因确认

目视检查传感元件与印刷电路板,发现印刷电路板存在明显的过热痕迹(图1),局部区域颜色变深、焊点周围呈现热应力特征。由此确定CT故障的直接原因:传感器的印刷电路板故障,过热导致输出异常。过热导致霍尔传感元件输出特性发生偏移,使传感器线性输出特性失效,无论穿心电流为何值,输出均维持在接近5.5 VDC的异常高电平,控制系统据此判定蓄电池充电电流过大,触发后续一系列误动作。



图1 故障P009霍尔传感器内部印刷电路板外貌及过热痕迹

结束语

LNC系统UPS的蓄电池充电电流传感器故障,导致充电电流采样异常,触发充电器充电限流报警,充电器根据自身控制逻辑调低输出充电电压,最终充电电压低于蓄电池电压,蓄电池带负荷运行,主控出现蓄电池放电报警。传感器故障的根本原因是其内部霍尔传感器的印刷电路板过热引起输出特性失效。建议后续加强霍尔传感器定期检测与校验,优化UPS机柜散热条件,建立传感器输出值趋势监测机制,并完善同类故障应急处理预案,以进一步提升核电厂UPS系统运行可靠性。

参考文献

- [1]张睿,徐鹏,吕晨勇.基于模糊C均值聚类算法模型的核电厂蓄电池运维更换策略研究[J].智能建筑电气技术,2023,17(4):12-15,82.
- [2]张晓光,谭理珂,沈秋宇.基于机房动力环境监测及实际负载放电的蓄电池在线核容监测系统研究[J].电器工业,2024(4):37-42.
- [3]毕文鹏.VRLA电池作为核电厂1E级蓄电池可行性分析[J].科技创新与应用,2025,15(34):21-24.
- [4]白金永.智慧电厂蓄电池组在线均衡技术研究[J].通信电源技术,2026,43(7):110-112.