

某核电厂直流系统充电器跳闸原因分析及改进措施

文耀华

中广核核电运营有限公司 广东 深圳 518000

摘要：某核电机组日常运行期间主控触发LBB001KA2故障报警，现场检查LBB002RD静态过压保护动作跳闸。本文对此问题进行深入分析，结果表明：电压反馈回路分压模块321BN上的311DY二极管引脚脱焊是充电器静态过压保护动作跳闸的根本原因，据此制定相应的处理措施，措施实施后故障现象消失。

关键词：充电器；引脚脱焊；静态过压

引言：某核电日常运行期间主控触发LBB001KA2，现场检查LBB002RD静态过压保护动作跳闸，LBB001RD正常带载，期间LBB001BT始终处于浮充状态，未发生蓄电池放电工况。LBB002RD不可用，LBB001TB供电可靠性降低，若期间LBB001RD或LBB001BT故障不可用，按照技术规格要求^[1]需在1小时内完成处理，否则机组将退状态。分析有关同型号充电器内外部事件，确认本次故障为首次发生。分析可能原因有保护误动、电压调节回路故障、外部因素影响。本文对此故障的根本原因进行分析，并制定了相应的改进措施。

1 充电器及电压调节回路工作原理

LBB002RD充电器采用成熟的相控整流技术，主要由工频变压器、可控硅、滤波回路、控制回路等组成。其基本原理是交流电源经过工频变压器变压隔离、三相全控桥整流、再经过电抗器及输出滤波器滤波，从而将输

入交流电压转换成稳定的直流输出电压。

电压调节回路工作原理是通过采样输出电压变化量，在误差放大器中经过与基准电压值进行比较放大之后，输出脉冲信号控制可控硅的导通角。当输出电压下降时，可控硅的导通角增大，可控硅的导通时间增加，输出电压上升。当输出电压上升时，可控硅的导通角减小，可控硅的导通时间减小，输出电压下降。实现输出电压全程动态负反馈调节。

2 过压保护动作跳闸原因分析

从充电器结构和工作原理分析，过压保护动作跳闸的原因有三方面因素：保护误动、外部因素、电压调节回路故障。其中电压调节回路故障分电源回路故障、可控硅控制回路故障、电压给定回路、电流反馈回路、电压反馈回路。

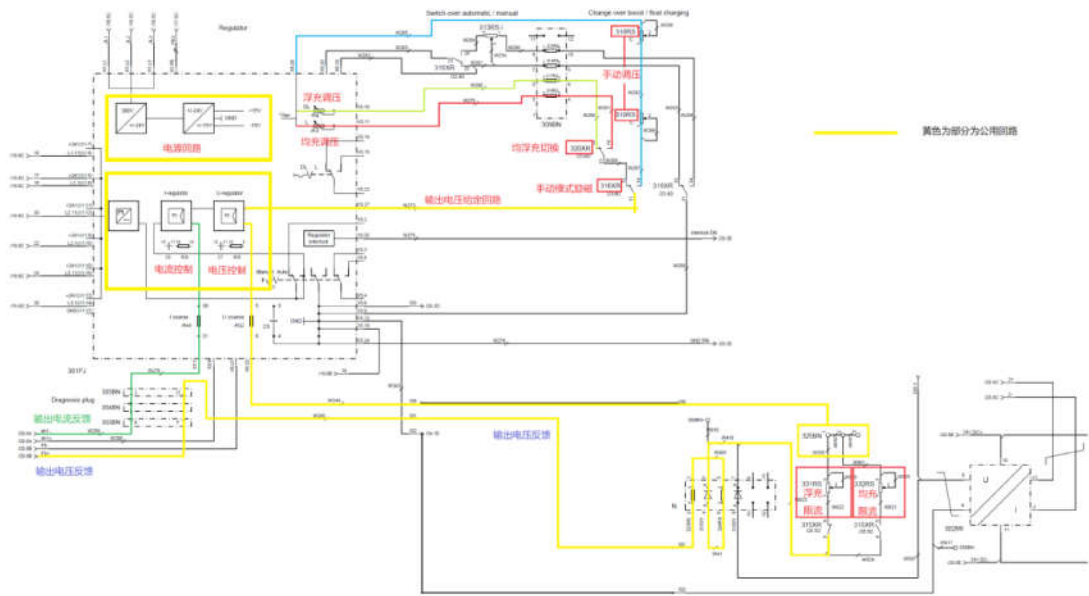


图1：电压调节回路原理图

2.1 保护误动原因分析

LBB002RD跳闸后,就地检查充电器报警卡件306CT上记录静态过压保护动作。查询LBB002RD电压趋势,可见输出电压异常升高至静态过压定值。306CT检测到过电压后正确动作跳闸,可确认静态过压跳闸是LBB002RD充电器输出电压真实升高导致,排除保护误动的可能性。

2.2 外部因素原因分析

对比LBB002RD上游电源LLB母线电压趋势;在充电器跳闸前后,LBB母线电压趋势基本稳定在410VAC左右,无明显阶跃变化。该充电器具备电压反馈调节功能,交流输入侧电压无明显阶跃变化时,不会对充电器输出电压造成实质性的干扰。LBB002RD满足抗震I类要求,厂房和设备自身的震动极其微小,不会对充电器可靠性造成影响,故可排除外部因素影响。

2.3 电压调节回路故障原因分析

电压调节回路控制原理如图1所示^[2]。现场监测充电器在浮充、均充和手动模式的输出电压,并对电压调节回路的元器件及接线进行轻微晃动,可复现充电器输出电压波动升高导致静态过压保护动作跳闸的异常现象,确认故障点位于电压调节回路。

2.3.1 电源回路故障原因分析

电源回路主要包括电源开关310JA,控制变压器302/303/304TU,电源板卡301UC。301UC的输出电压将直接影响充电器输出电压的基准电压。如基准电压波动,则电压调节器接受的给定值不稳定,进而导致充电器输出电压波动。

现场对相关元器件进行了系统性检查,未发现异常。查询历史故障记录,确认310JA及302/303/304TU未发生过类似故障,301UC仅出现过一次故障。遂将301UC进行更换并在离线设备上持续拷机测试,期间板卡输出电压稳定。对比离线设备上原301UC,测量两个电源板卡基准电压基本一致。综合上述,可排除电压调节回路的电源回路故障的可能性。

2.3.2 可控硅控制回路故障原因分析

可控硅控制回路主要包括可控硅触发卡306TU和PI调节器302CT。302CT输出信号至306TU,通过调节306TU输出至三相全控桥内可控硅的导通角实现电压的动态调节功能。302CT输出的触发控制信号,结合交流电源相位信号,生成对应导通角的可控硅触发脉冲,并通过调整可控硅导通角控制输出的电压幅值,最终稳定在目标值。

若可控硅控制回路出现异常,如接线接触不良、触发脉冲畸变等,均会导致可控硅导通角控制异常,整流输出有偏差,最终会使充电器输出电压波动。现场对

LBB002RD输出电压进行录波,其在周期内的六个可控硅触发信号正常,证明可控硅回路无异常。综合上述,故可排除可控硅控制回路故障的可能性。

2.3.3 电压给定回路故障原因分析

电压给定回路主要包括调节卡件301CT、中间继电器320/316XR、均浮充限流电阻316/317RS。充电器运行期间316XR失磁,通过320XR切换均浮充控制回路。调节301CT的R4/R3电阻,设定输出电压给定值至电压调节器,通过PI调节使输出电压稳定在目标值。如该回路上直阻异常,如继电器触点氧化、电阻阻值漂移等,则电压调节器接收的给定值不稳定,从而导致输出电压波动。

对相关元器件进行了全面排查,未发现明显异常。查询历史故障记录,上述元器件均未发生过类似故障。电压给定回路为纯阻性回路,若回路存在氧化,触点虚接等,将会导致反馈给电压调节器的电压降低,进而导致充电器输出电压降低,与本次故障情况不符。在离线设备上将更换下来的301CT进行持续拷机及电压调节测试,期间卡件输出电压稳定。综合上述,可排除电压给定回路故障的可能性。

2.3.4 电流反馈回路故障原因分析

充电器电流反馈信号回路主要包括分流器307RS及调节卡件302CT。输出电流信号通过充电器出口分流器采集,该电流信号经分流器转换为mV电压量,并通过电流采样回路送入PI调节回路中的电流环,作为反馈参量参与闭环控制,结合实际输出电压及电流,从而动态调节输出电压,增大或降低整流器输出功率,维持系统稳定带载能力。

使用离线同型号设备验证电流反馈回路异常的结果如下:①直接断开电流反馈信号回路接线,充电器无法启动建压;启动充电器,浮充电压为116.1V,再断开电流反馈信号回路接线,充电器电压降至0V;③启动充电器,浮充电压为116.1V,从回路输入5、10、20、30mV信号,充电器浮充电压最大下降0.4V,2秒内很快恢复至116.1V。综合上述,若是输出电流反馈回路异常,将直接导致充电器输出为零,与故障现象不符。故可排除电流反馈回路故障的可能性。

2.3.5 电压反馈回路故障原因分析

电压反馈信号回路主要包括调节卡件302CT、均浮充限流电阻331/332RS和分压模块321BN。电压反馈回路采集输出电压信号并反馈至控制系统,实现负反馈调节。通过302CT的电压调节器实现出口电压调节,调节方式为比例积分,调节器将给定值与反馈值的差值实时做比例积分运算,最终转化为晶闸管脉冲触发角的调节信号,改变晶闸管导通比例,不断调整充电器出口电压接近给

定值，将偏差信号不断调整趋于零。电压反馈调节回路结构为纯阻性电路，若回路出现异常，主要体现为回路中直阻增大而增加分压量。

电压反馈调节回路的采样点位于充电器输出正负母线，依次经过305BN母线端子—302JA断路器—304BN假插件—321BN分压模块—315XR均浮充转换继电器—331/332RS均浮充限流电阻—325BN连接端子—302CT可调电位器—电压PI调节器反馈侧。该回路中任意元器件或连接端子异常均会导致回路直阻增大。监测电压反馈回路直阻，然后逐一晃动回路接线。当晃动回路接线至分压模块321BN上的311DY二极管接线侧时，回路直阻出现异常波动上涨。检查发现其焊接引脚出现隐秘性脱焊现象^[3]，引脚与焊点仅搭接接触。对分压模块321BN上引脚焊接情况进行全面排查，发现仅311DY引脚存在脱焊现象，其余引脚焊接点完好。

同时对更换下的315XR、331/332RS进行详细排查，均未发现明显异常，离线对315XR继电器进行校验，继电器接点动作正常，同时将更换下的331/332RS回装至离线同类设备进行试验，模拟现场对元器件的震动工况，充电器输出电压稳定无波动，结合元器件本体检查及震动试验情况，可确认315XR、331/332RS无异常。更换充电器分压模块321BN整体备件，重新启动充电器无异常，验证模拟震动操作，充电器输出电压稳定无波动。从而可确认311DY引脚脱焊导致电压反馈回路直阻增大分压增大，电压调节器反馈侧的电压值下降，电压调节器调高充电器输出过电压，最终导致本次LBB002RD静态过压跳闸。该分析结论与现场故障现象相符，结合离线测试结果可验证该分析结论正确。

综上所述：LBB002RD静态过压保护动作跳闸的可能原因及分析结果汇总如下表1所示。

表1：可能原因及分析结果汇总表

原因因素	支持依据	反对依据	可能性
保护误动	无	静态过压保护动作，存在真实过电压。	排除
外部因素	交流输入电压阶跃变化、震动等环境因素造成充电器输出电压变化。	上游电源LLB001TB母线电压变化趋势稳定；充电器为1E级设备厂房和设备自身产生的震动极其微小，不会影响充电器可靠性。	排除
电源回路故障	电源回路故障将导致基准电压波动，进而导致充电器输出电压异常。	检查回路无异常，现场卡件基准电压与离线同类设备一致。	排除
可控硅控制回路故障	可控硅控制回路故障，将导致晶闸管无法正常触发或导通，进而导致充电器输出电压异常。	检查回路无异常，录取可控硅导通波形情况无异常。	排除
电压给定回路故障	电压给定回路故障将导致电压调节器接收的给定值不稳定，进而导致充电器输出电压异常。	该回路为纯阻性回路，其异常将导致回路直阻增大而回路分压增大，进而导致充电器输出电压降低，该结果与本次故障现象相悖。	排除
电流反馈回路故障	电流反馈回路故障将导致送入调节卡件的电流信号波动，进而导致输出电压波动。	该回路检查无异常，若其异常，直接导致充电器输出为零，该结果与本次故障现象相悖。	排除
电压反馈回路故障	电压反馈回路为阻性电路，现场检查分压模块321BN上的311DY二极管引脚脱焊，该故障将导致电压调节器反馈侧的电压值下降，进而出现真实输出过电压。该结果与本次故障现象相符。	无	极高

3 结论及改进措施

通过以上原因分析，检查充电器分压模块321BN上的311DY二极管引脚脱焊，是导致LBB002RD静态过压跳闸的根本原因。经梳理，该类型充电器设备在工程阶段为成套供应，本次故障的分压模块321BN为整体供应，设备生产阶段已完成321BN上二极管311DY的焊接工作；当前采购的分压模块备件为单独零件，包括分压模块底板、二极管和电阻。设备维修手册中也未提及焊接工艺标准。

根据上述分析，已反馈在检修规程中增加反馈措施：①对同类设备分压模块进行引脚焊接情况反馈检查；确认引脚焊点饱满，无虚焊、脱焊问题，有异常则

使用电烙铁进行点焊修复处理，处理后确认焊点接触直阻 < 1Ω。②若涉及元器件定期更换时，在更换前需工程师进行元器件引脚焊接，确认满足焊接要求。③重新采购整体备件并明确备件验收标准，同时制定元器件焊接工艺标准。

参考文献

[1]陈红雷.阳江核电厂5、6号机技术规格书[Z].10版.阳江:阳江核电有限公司,2024.
[2]廖雪梅,柯诗雯,李月翠.Equipment Drawings Charger Unit 6[Z].F2版.阳江:阳江核电有限公司, 2026.
[3]赵宇翔,项永金,王少辉.热应力对电子器件焊点可靠性影响分析与研究[J].电子产品世界,2021(10):88.