

关脚水电站蓄电池核容试验引起灭磁柜非线性电阻局部烧毁故障分析及处理

金科全

国家电投贵州金元安顺水力发电总厂, 贵州 安顺 561000

摘 要 : 为了更好的保证电站直流系统运行稳定可靠, 我厂对关脚电站直流蓄电池按照周期表周期进行核容试验。发电厂出现很多全站停电事故、电网事故是由于直流系统故障引起的, 大多中小水电都是单套直流蓄电池。因此对蓄电池核容试验时直流负荷都是由充电机提供, 由于交流电源的不可靠容易造成全厂直流失电, 即操作母线和控制母线断电, 造成保护、励磁、调速器误动作或拒动, 而引起事故的发生, 严重的造成电网事故, 因此都是采用退出保护、机组备用状态时进行的。

关 键 词 : 直流系统; 核容试验; 灭磁电阻

Magnetic Tization Cabinet Caused By Battery Nuclear Capacity Test Of Guanjiao Hydropower Station Analysis And Treatment Of Nonlinear Resistance

Jin Kequan

State Power Investment Corporation, Guizhou Jinyuan Anshun Hydropower General Plant, Guizhou, Anshun 561000

Abstract : In order to better ensure the stable and reliable operation of the DC system of the power station, our factory conducts the nuclear capacity test on the DC storage battery of the foot power station according to the periodic table cycle. Many power plants and power grid accidents are caused by the failure of the DC system, and most small and medium-sized hydropower stations are a single set of DC batteries. So the battery nuclear capacity test when dc load is provided by the charger, due to the ac power supply is not reliable to cause the whole plant direct loss of electricity, namely the operation bus and control bus power, protection, excitation, governor or rejection, and cause the accident, serious power grid accident, so are using the exit protection, unit standby state.

Keywords : DC system; nuclear capacity test; magnetization resistance

一、概述

关脚水电站是打邦河干流开发规划中的第五级梯级电站。坝址以上集雨面积2297km², 多年平均流量54.15 m³/s。大坝为浆砌石重力坝, 最大坝高12.8m, 正常蓄水位628.5m, 校核洪水位633.5m, 起调水位629m, 总容量21万 m³, 无调节库容, 死水位624.5m, 无死库容, 工程为小型。电站装机容量为3×16MW, 发电引用流量为45m³/s, 只配置一套DC220v直流系统。

机组主要参数:

发电机额定电压: 10500V 发电机功率: 16MW

额定励磁电压: 114V 空载励磁电流: 330A

额定励磁电流: 648A 空载励磁电压: 40V

X_d (不饱和值): 1.1910 X_d' (饱和值): 0.2721

T_{d0}' : 5.5 S 转子绕组电阻 (75℃): 0.1494Ω

事件发生前状态:

关脚水电站1号、2号发电机热备用, 3号机带10MW负荷运行, 经110kV风关线上网, 其他辅助设备正常, 试验人员进行

“220V直流系统蓄电池放电试验”工作。

二、事故现象及设备损坏情况

对直流系统和3号机组励磁系统进行检查。发现蓄电池充电控制装置监控电源模块损坏; 3号机组灭磁柜中非线性电阻烧坏16片(共24片); 快熔保险均损坏8只(共12只)。

三、事故原因分析

对蓄电池充放电进行核容试验, 经查看关脚水电站励磁系统主接线图和现场排查得出必须取下保险才能开展, 微机监控装置电源取自蓄电池直流系统母线(保险下端), 核容试验完成后试验人员恢复保险(18时00分)蓄电池电压195V, 由于不是断路器因此合闸时存在冲击或电压波动^[1], 微机监控装置电源模块烧坏, 但上端保险未烧坏, 由此确定电源模块老化严重禁不起冲击。充电机失去微机监控装置的控制按最大电流对蓄电池充电,

充电机负荷总负荷约40A，由此得出交流回路单向电流约13.3A；从关脚励磁系统主接线图得知充电机电源由两回交流380V经双电源切换开关供电，现场检查两回交流电源空开容量均15A，且Ⅱ回下端并接10.5kV室风机（六台）电源和UPS逆变电源负荷约4A；总负荷约17.3A大于空开容量，经查阅资料本空开负荷电流大于1.1倍电流延时20分钟，电流越大延时越短，由时间差得知投上直流保险后14分钟左右充电机交流二回断开（18时14分），经现场检查交流切换开关未切换，经确认已坏，值班负责人发现机组不定态，立即上位机发停机令，上位机显示流程失败，立即汇报电站专工并下令副值班员对发电机层和水轮机层进行检查，询问试验人员现场情况，副值班员在发电机层闻到有焦臭味，试验人员交代（17时59分）蓄电池核容试验结束在恢复时合上直流充电保险后，发现直流蓄电池4台充电机、充电控制装置停止工作，经检查充电机交流失电，充电控制装置电源模块烧坏。18时25分试验人员手动切换充电机双电源开关，充电机恢复正常工作，监控系统各机组信号恢复正常，18时26分主值班员上位机操作停机，18时26分55秒3号机组GCB023分位动作。18时27分专工和主值班员检查到发电机层，发现3号机组励磁风机抽出大量浓烟。

由上述事件经过分析充电机交流失电后直流系统电压瞬间波动（234V—195V），可控硅触发角在充电机交流失电导致的直流系统电压瞬间波动中可能发生了异常变化。由于励磁调节CPU的电源精度要求较高，且存在老化现象，当直流系统电压从234V迅速下降到195V时，可能导致CPU的供电不稳，进而引发其重启。重启过程中，励磁调节系统可能暂时失去了对可控硅触发角的精确控制^[2]，使得触发角发生非预期的变化。这种触发角的异常变化会直接影响到励磁电流的大小和稳定性，可能导致励磁电流瞬间增大或减小。在励磁电流异常增大的情况下，灭磁柜中的非线性电阻可能承受了过高的电流和热量，超过了其承受能力，从而导致局部烧毁。同时，快熔保险也可能因为电流过大而熔断，起到保护作用，但同时也造成了设备的损坏^[9]。

根据关脚电站励磁系统DC24V电源图可知励磁调节A、B、C三个通道直流24V均取自一路直流、一路交流电源模块并接的，询问厂家本套励磁调节柜CPU由于年限长存在老化，优先选用直流输出24V且电源精度要求比较高如果存在波动或冲击励磁调节CPU重启对可控硅触发角失去控制^[4]，励磁电压采样接近正弦波是由定子感应来的，查询机组LCU录波图机端电压未采集到，由此推出可能机组LCU受直流系统冲击重新启动（上位机无法操作），极端电压是内部映射因此无法采集，其余是由模拟量输入可以采集。经录波装置查询可以得出18时20分励磁系统及机组系统重启完成3号机组励磁强磁动作（持续时间17S），充电机交流电源恢复正常直流系统稳定，但是之前励磁非线性电阻已过压击穿，燃烧后短路点消失机组才恢复正常^[5]。

（一）诱发原因

- ①微机监控装置电源模块烧坏；
- ②直流系统充电机交流电源Ⅰ、Ⅱ回400V空开容量（15A）不够，且Ⅱ回下端并接10.5kV室风机（六台）电源和UPS逆变

电源；

- ③直流系统双电源切换开关已坏。

（二）直接原因

①励磁调节柜年限老化，CPU对24V电源要求太高使励磁可控硅导通角不稳定。

②非线性电阻已运行20年，水电站机组开停机比较频繁，关脚电站线路多次非停用负荷，这加剧了非线性电阻老化或绝缘受损。非线性电阻其原有的保护功能可能受到影响，无法有效地抑制发电机励磁电流的过度增大，进一步加剧了故障的发展。

（三）间接原因

- ①充放电前风险预控不到位；
- ②现场人员未及时手动切换双电源开关导致故障时间延长，加剧了励磁过压的次数。

1. 不符合项：

- ①直流系统微机监控装置电源不应该从直流系统母线取；
- ②直流系统充电机交流电源Ⅰ、Ⅱ回400V空开容量（15A）不够，且Ⅱ回下端并接10.5kV室风机（六台）电源和UPS逆变电源，存在多个一类负荷同时并接一个电源和一类负荷上任意并接三类负荷。

- ③直流系统充电机双电源切换开关已坏。

（四）其他问题：

- ①我厂水电站设备检修技改制度不完善，励磁柜（调节柜、功率柜、灭磁柜）未彻底进行卫生清扫；
- ②定期工作不完善，巡检人员技术水平不足；
- ③技术监督开展不够细，励磁系统非线性电阻的相关试验没有开展；
- ④相关人员对现场设备接线不熟悉，风险预控不到位，应急措施执行不好；
- ⑤调速器柜紧急停机按钮在直流电源消失后无法操控，中控室、机旁屏紧急停机按钮操作还待试验。
- ⑥励磁调节柜自身没有配置录波功能；
- ⑦针对于老水电站单套直流蓄电池，充放电试验时不应有机组在运行状态。

四、故障处理、措施及试验

（一）直流系统

- ①编制蓄电池充放电作业指导书；
- ②对于我厂各电站设备电源进行梳理排查，对不符合项进行整改，对一个电源开关同时接入多个不同等级类负荷和不满足开关容量的立即整改，立即采购双电源切换装置并更换；
- ③对我厂只有一组蓄电池组的电站建议增加一组蓄电池，以确保机组安全运行；或只配置一组蓄电池的电站核容试验时采取放50%的容量并在机组停运时进行；

（二）励磁系统

- ①修编完善我厂检修技改相关制度（规定设备运行年限必须更换，对多年运行的设备加强技术监督等相关措施）；

②关脚水电站 #1、#2、#3 机组励磁系统列入技改项目；

③检修后对各系统严格按照调试流程完成相关试验，比如励磁系统：小电流试验、阶跃试验、强励、过电压、断电等试验；

④灭磁电阻

关脚电站 1992 年投运，灭磁非线性电阻无备品备件，汛期为了更快的恢复生产减少弃水风险，我厂技术监督部应积极组织专业人员对事故进行分析并与厂家联系沟通解决问题。

磁能量计算：

空载情况

$$L_{f0} = T_{d0} \times R_{f75} = 5.5 \times 0.1494 = 0.8217(\text{H})$$

$$W_{f0} = 0.5 L_{f0} \times I_{f0}^2 = 0.5 \times 0.8217 \times 330^2 = 44.742(\text{KJ})$$

空载强励情况

$$L_f' = L_{f0} \times X_{d'} / X_d = 0.8217 \times 0.2721 / 1.1910 = 0.1877284(\text{H})$$

$$W_f' = 0.5 \times L_f' \times (K_{ql} \times I_{LN})^2 = 0.5 \times 0.1877284 \times (2 \times 648)^2 = 157.7(\text{KJ})$$

其中：

L_f' —— 强励情况下的饱和电感

K_{ql} —— 强励倍数

W_f' —— 强励情况下的转子储能

$$W_N = K_1 \times W_f' = 1.3 \times 0.1577 = 0.205(\text{MJ})$$

经过计算得出：阀片容量取 0.24MJ，采取 2 串 12 并共 3 条。

确认灭磁电阻容量及组串，并现场测量安装尺寸与厂家联系加急生产。对于高能氧化锌压敏电阻元件，交接试验中应逐片测试记录元件压敏电压 $U_{1.0\text{mA}}$ ；测试元件泄漏电流，对元件施加相当于 0.4 倍 $U_{1.0\text{mA}}$ 直流电压时其通流量应小于 $50 \mu\text{A}$ 。

⑤由生技部组织按以上公式计算出其他电站各运行情况下的磁能量，并要求技术监督部把灭磁电阻列入预试定检周期表，根据周期表对各电站灭磁开关开展预防性试验，对发现不合格的下发技术监督预警通知单，电站收到预警通知单后立即按要求采购更换。

五、结语

电站内的直流系统是电力系统的重要组成部分，它为电站内的控制系统、信号系统、操作系统提供直流电源。直流系统包含充电电源和蓄电池两部分，平常蓄电池处于浮冲状态，主要的直流负荷由充电电源提供，当充电电源故障或系统需要提供大容量直流功率时，由蓄电池提供。交流电源的不可靠性，容易造成直流电源供电中断，操作母线失电，造成继电保护系统失灵，势必造成故障的越级跳闸，扩大电网事故范围^[6]。

灭磁装置在机组事故停机时将转子的能量转移到灭磁电阻上，致使灭磁电阻在短时间内要承受巨大的能量，灭磁电阻容量不足或灭磁电阻特性有缺陷时，势必对机组安全运行产生隐患。机组在正常停机都是采取逆变灭磁，灭磁电阻不参与灭磁，因此在灭磁非线性电阻在日常机组的运行检修中，很难发现其性能方面的缺陷。对于励磁系统灭磁电阻定期检验是技术监督必须定期开展的项目。大修时，应测定元件压敏电压，在同样外部条件下与初始值比较，压敏电压变化率大于 10% 应视元件为老化失效^[7]。

通过本文实例分析，在电站的运行维护中，对于直流系统以及励磁系统的监测和诊断也至关重要。对于直流系统，应定期检查充电电机的工作状态^[8]，确保蓄电池的浮充状态正常，同时还需要对蓄电池进行定期充放电测试，以保证其性能良好。而对于励磁系统，除了定期对其非线性电阻进行性能检测外，还需要对励磁调节器、功率柜等关键部件进行全面的维护检查，确保其在机组运行时能够正常工作^[9]。此外，我们还需要关注电站设备检修技改制度的完善情况。对于设备检修技改制度，应定期进行修订和完善，以适应电站设备的更新和改造需求。同时，还需要加强技术人员的培训和教育，提高他们的技术水平和工作能力，确保电站的安全稳定运行。总之，此次关脚水电站蓄电池核容试验引起的灭磁非线性电阻局部烧毁故障，给我们敲响了警钟。我们必须高度重视设备的维护和管理，加强预防性措施，确保电站的安全稳定运行^[10]。

最后，以此实例希望能为同行提供借鉴。

参考文献：

- [1] 《贵州关脚水电站机电设备安装与调试工程招标文件及合同》（励磁系统部分）。
- [2] DL/T724-2000《电力系统蓄电池直流电源装置运行与维护技术规范》。
- [3] GB 14048.2-2008《低压开关和控制设备-断路器》。
- [4] 关脚水电站运行规程-2019。
- [5] DL 489-92《大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置试验规程》。
- [6] 李亚超. 发电厂热控保护系统故障分析与预防措施研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(05): 15-17. DOI: 10.16107/j.cnki.mmte.2024.0331.
- [7] 王杨. 发电厂电气设备运行管理措施分析 [J]. 电气技术与经济, 2024, (04): 265-267.
- [8] 陈晨. 发电厂热工自动化仪表的安装与故障分析 [J]. 电子技术, 2023, 52(12): 393-395.
- [9] 戴琪凤. 水电站发电机励磁系统常见故障分析 [J]. 云南水力发电, 2024, 40(05): 146-148.
- [10] 彭永强. 基于 GPS 的水电站机电设备运行故障检修方法 [J]. 设备管理与维修, 2024, (06): 71-73. DOI: 10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2024.03D.23.