

Fault analysis and proposed measures for adjusting the camera excitation system together

Shengchun Liu¹ JieZhang² Guobin Shang¹ Bing Xu¹ Fei Ma¹

1. Qinghai Dehong Electric Power Technology Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

2. State Grid Qinghai Electric Power Company Electric Power Science Research Institute, Xining, Qinghai, 810000, China

Abstract

Synchronous phase-shifting camera is essentially a device that operates without mechanical load and no-load. The active power absorbed from the power grid during its operation is only used to supply the motor's own losses, such as iron core losses and winding copper losses. Therefore, it always operates under conditions close to zero electromagnetic power and zero power factor. Its core function is to optimize the reactive power balance of the power grid and improve the quality of system power supply. The power supply and its ancillary equipment that supply the excitation current of the synchronous generator together constitute the excitation system. Among them, the automatic excitation regulator plays a significant role and is crucial for improving the stability of parallel units in the power system. With the continuous development of modern power systems, the stability limit of units is decreasing, which further promotes the continuous innovation of excitation technology to better adapt to the operational needs of the power grid and ensure reliable power supply of the system.

Keywords

adjust the camera; Excitation; Measures

一起调相机励磁系统故障分析及措施建议

刘生春¹ 张杰² 尚国斌¹ 徐兵¹ 马飞¹

1. 青海德泓电力科技有限公司, 中国·青海 西宁 810000

2. 国网青海省电力公司电力科学研究院, 中国·青海 西宁 810000

摘 要

同步调相机本质是一台不带机械负载、空载运行的设备, 其运行过程中从电网吸收的有功功率, 仅用于供给电机自身的损耗, 如铁芯损耗、绕组铜损等, 因此它始终在接近零电磁功率、零功率因数的工况下运行, 核心功能是优化电网无功功率平衡, 改善系统供电质量。而供给同步发电机励磁电流的电源及其附属设备, 共同构成了励磁系统。其中, 自动励磁调节器作用显著, 对提升电力系统并联机组的稳定性至关重要。随着现代电力系统不断发展, 机组稳定极限呈降低趋势, 这一变化也进一步推动励磁技术持续革新, 以更好适配电网运行需求, 保障系统可靠供电。

关键词

调相机; 励磁; 措施

1 引言

同步调相机实际上是一台不带机械负载(空载)运行的。它从电网吸收的有功功率仅供给电机本身的损耗, 因此同步调相机总是在接近千零的电磁功率和零功率因数的情况下运行。调相机是一种特殊的“发电机”, 但它不发有功功率, 仅“发出”无功功率。励磁系统一般由励磁功率单元和励磁调节器两个主要部分组成。励磁功率单元向同步发电机转子提供励磁电流; 而励磁调节器则根据输入信号和给定的调节

准则控制励磁功率单元的输出^[1]。

2020 年 × 月 × 日, 某站 2 号调相机并网运行时, 调变组保护 A、B 屏励磁变过流动作, 2 号机出口断路器跳闸, 现场检查发现励磁系统 #3 整流柜损坏, 柜内三相母排熔断。

2 故障现象

故障前, 2 号调相机并网运行, 无功出力为滞相 24Mvar; 故障发生后 12ms, 励磁系统检测到励磁变低压侧电流异常升高, 励磁调节器触发角度由 86 度调整到 150 度逆变角; 202ms, 励磁变过流保护动作, 发出跳并网断路器和磁场断路器指令; 253ms, 500kV 侧并网断路器断开; 263ms, 灭磁回路跨接器闭合, 灭磁电阻投入; 325ms, 磁

【作者简介】刘生春(1983-), 男, 中国青海大通人, 工程师, 从事高电压与绝缘技术研究。

场断路器断开，励磁系统闭锁 触发脉冲并退出运行，调相机进入惰转状态；522ms，励磁绕组过负荷反时限动作，此时并网断路器和磁场断路器已分断；5.6s，机端电压衰减到 0，励磁变低压侧电压随之衰减到 0，故障电流消失。由于调相机开路瞬变时间常数达 7.5s，且故障期间 1、2 号整流柜正常运行，因此在励磁变过流保护动作之前调相机未见明显异常，转子电流由 770A 减小至 672A，无功出力由滞相 24Mvar 变化为进相 6.8Mvar，无功波动为 30.8Mvar，未出现失磁现象；故障期间 1 号调相机运行正常，无功出力未有波动，此次 2 号调相机励磁系统故障对电网及调相机本体影响有限。

3 现场检查情况

3 号整流柜正面，-B 相散热器与晶闸管阳极接触部分有灼伤痕迹，-B 相晶闸管陶瓷外壳裂开，+B、-B 相晶闸管外挡板脱落，其余 5 只晶闸管无明显异常。

3 号整流柜背面，-A、-B、-C 相快熔开裂，交直流侧隔离刀闸、交直流铜排有熏黑痕迹，脉冲板及屏后二次线损毁，#3 整流柜与 #2 整流柜连接处三相交流铜排熔断。



图 1 3 号整流柜正视图

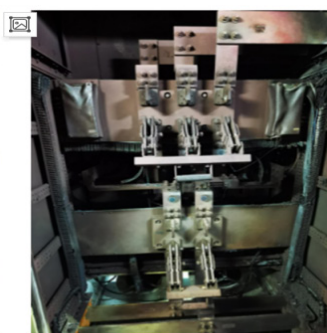


图 2 3 号整流柜背视图

4 励磁系统故障原因分析

3 号整流柜 -B 相晶闸管关断承受反压时被击穿，随着 -C 相晶闸管正常导通，整流桥 BC 相间短路。

-A 晶闸管被提前触发。故障发生后，-B 相晶闸管上承受的反向电流迅速增大，短路电流由阴极流向阳极的过程中，在阴极和门极之间产生电压差，一部分短路电流经由脉冲变压器副边的二极管形成通路，将脉冲变副边的铜箔烧断并向 -A 晶闸管门极放电，造成 -A 晶闸管提前触发，导致两相短路发展为三相短路^[2]。BC 相间发生短路后，由于快速熔断器 I_2t 值超标，未能在晶闸管损坏之前迅速熔断，无法保护晶闸管。故障发生后，抽取该批次未损坏的 6 只快速熔断器在上海电器设备检测有限公司进行第三方检测。检测报告显示，快速熔断器的弧前 I_2t 熔断 I_2t 为 $10.6 \times 10^6 A^2s$ （快熔厂家对此款熔断器未开展相关实际 I_2t 测试的型式试验，其出厂值 $7.29 \times 10^6 A^2s$ 为厂家理论计算值），超过设计值 ($7.29 \times 10^6 A^2s$) 约 45%，大于 5STP 26N6500 晶闸管 ($10.125 \times 10^6 A^2s$) 的 I_2t ，使得快速熔断器动作滞后，

无法有效保护晶闸管，使得 -A、-C 相晶闸管因严重过流而击穿。-A 相快熔在通过大电流、内部燃弧后，未能在内部彻底灭弧，快熔破裂喷出的导电物质降低了柜内绝缘水平，引发 -A、-B、-C 三相熔断器对晶闸管散热器的固定螺栓时间放电（图 3 和图 4），形成电弧。电弧使得快熔内侧（朝绝缘板）铜板烧蚀缺损，瓷管釉面烧熔，瓷管呈碎裂状；而外侧（朝后门）铜板无烧蚀变形，瓷管裂纹长而少。

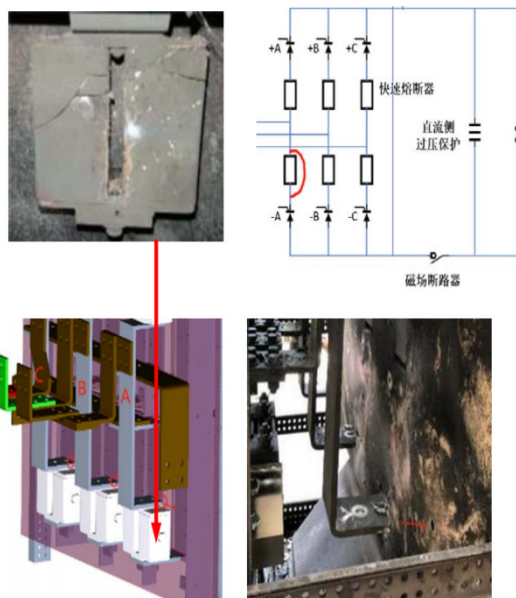


图 3 快熔破裂导致柜内产生电弧

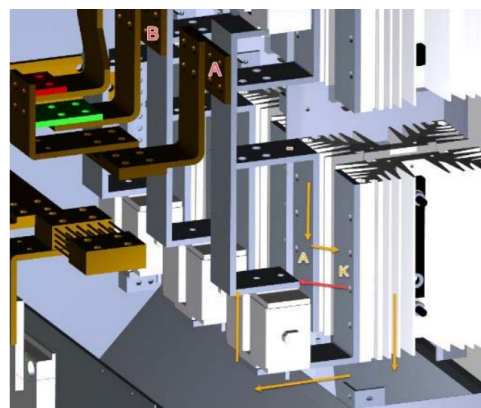


图 4 放电过程示意图（隐去了绝缘板）

电弧在柜内蔓延，经由交流母排的最薄弱部位（汇流铜排支撑处，铜排对地间距 25mm（图 5），且没有绝缘套管）放电，引发铜排三相短路，使得故障蔓延和扩大化。励磁母排安装到机柜采用了环氧板、不饱和树脂板，均属于有机绝缘，对于 I 级污秽等级，交流电压 1545V 需要满足的对地爬电距离不小于 $16 \times 1.545 = 24.72mm$ ，屏柜交接处（母排支撑）的铜排对地最小爬电距离为 25mm，裕度过小，且未有绝缘措施，所以当屏柜内出现拉弧现象，屏柜内部有电离时，此处为最薄弱部位最容易发生放电短路，引起铜排三相短路造成了故障扩大。

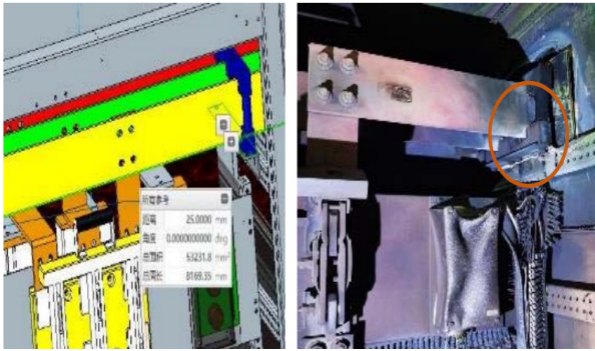


图 5 母排支撑与铜排的间距

6 后备过流保护在故障发生 200ms 后正确动作。由于调相机直轴开路瞬变时间常数约 7.5 秒，并网断路器和磁场断路器分断后，机端电压缓慢下降，无法立即阻断短路电流。长时间的短路电流作用于交流铜排相间短路点（图 6），造成励磁系统烧毁。

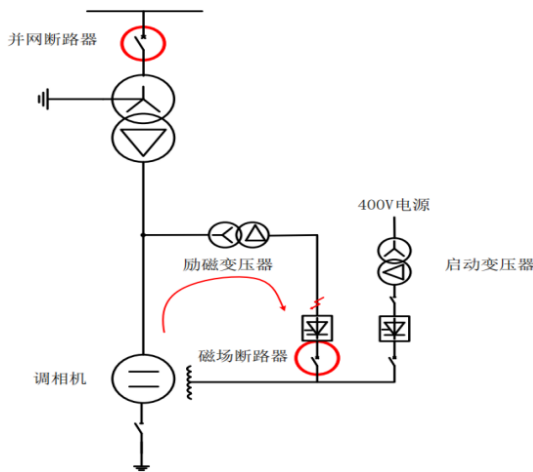


图 6 过流保护动作后的短路电流

5 处理措施和建议

开展晶闸管应用筛选测试，保证供货晶闸管的合格率。所有调相机站励磁系统应提供晶闸管的出厂时间、投入使用时间、出厂报告及复测试验报告，如有不满足质控要求的，

应予以更换。目前励磁系统晶闸管只测试了通态电压、反向断态电流、门极触发电流和门极触发电压等少数参数，应开展更加全面的筛选测试，涵盖断态电压临界上升率、维持电流、擎住电流、通态电流临界上升率、通态浪涌电流、门极控制开通时间等参数^[3]。

优化脉冲触发回路走线方式，提高脉冲触发回路抗干扰能力。工程中应严格禁止在励磁系统屏柜内出现强弱电共槽盒的情况，防止出现信号干扰情况，影响设备运行。

快速熔断器应通过型式试验并提供试验报告。部分型号快速熔断器规格书中的 I_{2t} 参数为推算值，第三方试验发现实测值和推算值的差距达到 45%，造成产品选型不正确，快熔无法起到保护晶闸管的作用。调相机在用励磁系统的快速熔断器应通过型式试验并提供试验报告，实测 I_{2t} 参数应与晶闸管参数相配合，确保熔断器具备可靠的保护能力。不满足要求的，应予以更换。

一次回路应做好绝缘防护措施。南瑞科技和西门子的裸露金属铜排无相关的绝缘措施，存在人员触电和金属短路的风险，所有的励磁系统裸露金属铜排增加绝缘护套，完善绝缘措施。绝缘间隙较小的晶闸管散热器的固定螺丝等位置，应增加绝缘螺帽。

修改励磁变过流保护动作时间，在 200ms 的基础上进一步缩小。在主保护快速熔断器失效的情况下，可通过调变组保护迅速跳开并网开关和磁场断路器，以减少故障持续时间，从而减小对电网和设备的影响。

参考文献

- [1] 国电南瑞科技股份有限公司, 国电南瑞南京控制系统有限公司.."一种大型调相机启动并网过程中的励磁控制方法."CN107979096B,2021-10-01.
- [2] 姚辉.同步发电机励磁实时仿真测试系统研究[D].西安理工大学,2005.
- [3] 王永骥,张丽胜,涂健.同步发电机组励磁系统实时仿真研究[C]//中国机械工程学会.Proceedings of the 4~(th) International Conference on Frontiers of Design and Manufacturing.华中理工大学控制系;华中理工大学控制系;华中理工大学控制系;;2000:780-786