

DOI: 10.3969/j.issn.1674-1951.2020.01.015

在运分相操作 GIS 断路器现场改造

Field transformation of GIS circuit breaker in
phase-division operation

陈宇¹, 胡贤矿², 翁小川³, 余子聪⁴, 邵敬平¹
CHEN Yu¹, HU Xiankuang², WENG Xiaochuan³,
YU Zicong⁴, SHAO Jingping¹

(1. 湖北华电西塞山发电有限公司, 湖北 黄石 435000; 2. 湖北西塞山发电有限公司,
湖北 黄石 435000; 3. 湖北华电武昌热电有限公司, 武汉 430000;
4. 华电湖北发电有限公司黄石热电分公司, 湖北 黄石 435000)

(1. Hubei Huadian Xisaishan Power Generation Company Limited, Huangshi 435000, China;
2. Hubei Xisaishan Power Generation Company Limited, Huangshi 435000, China; 3. Hubei
Huadian Wuchang Thermal Power Company Limited, Wuhan 430000, China; 4. Huangshi
Thermal Power Generation Branch of Huadian Hubei Power Generation
Company Limited, Huangshi 435000, China)

摘要:为防止发电机组非全相运行而导致机组损坏,某电厂将在运分相操作气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)断路器现场改造成三相机械联动操作机构。针对机组实际运行情况,通过对比2种改造方案,确定了不解体断路器,仅调整部分物料尺寸,保证传动部分可与现场使用的断路器转轴直接连接的改造方案。该方案具有造价低、不需要停母线、不解体断路器灭弧室、简单方便、改造灵活等优点,从根本上消除了发电机变压器组GIS断路器非全相的风险,保证了设备安全运行。

关键词: GIS; 断路器; 非全相; 三相机械联动

中图分类号: TM 561.3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1674-1951(2020)01-0073-05

Abstract: To prevent units from being damaged by open phase operation, a power plant planned to update GIS circuit breakers in phase-division operation into three-phase mechanical-linked mechanism on site. Comparing two updating schemes and the operation situation of the unit, non-disassembling circuit breaker, partial adjustment on the size of material, and direct connection between the transmission part and the shaft of the circuit breaker must be taken in the updating scheme. The scheme has the advantages of low cost, non-stop bus-bar, arc extinguishing chamber with non-disassembling circuit breakers, convenience, flexible transformation and so on, which fundamentally eliminates the risk in the open phase operation of GIS circuit breakers in generator transformers, and ensures the safe operation.

Keywords: GIS; circuit breaker; open phase; three-phase mechanical linkage

0 引言

六氟化硫(SF₆)封闭式组合电器国际上称为气体绝缘金属封闭开关设备(GIS),它将一座变电站中除变压器以外的一次设备,包括断路器、隔离开关、接地开关、电压互感器、电流互感器、避雷器、母线、电缆终端、进出线套管等,经优化设计有机地组合成一个整体并封闭于金属壳内,采用SF₆气体作

为灭弧和绝缘介质。通俗地讲,GIS就是开关站,是高压配电装置的一种形式,具有占地面积小、可靠性高、安全性强、维护工作量很小等优点,逐步得到了广泛应用^[1-3]。

国家电网有限公司1982年开始使用252 kV的GIS设备(用于电网220 kV系统),较普遍的使用是从1999年开始的,以后的装用量逐年增加,2004年1年投运的断路器间隔数比1999年以前总投运的断路器间隔数还要多^[4]。

发电机或发电机变压器组的出口断路器发生非

收稿日期:2019-02-25;修回日期:2019-09-10

全相或者三相不一致时,其后果是非常严重的^[5-7]。有关资料显示^[8-11],当机组断路器发生非全相时,因负荷不对称导致定子绕组中有负序电流流过,其产生的磁场对于转子是以 2 倍频率旋转的,这种旋转磁场在转子本体、槽楔和护环感应出 2 倍频率的负序电流,电流在这些部件上和各部件的接触处产生很大的附加损耗和温升,将导致发电机转子齿部、槽楔和护环嵌装面烧熔和产生裂纹。某电厂机组解列时,主变压器高压侧断路器 V 相拒跳,导致发电机非全相运行,事故造成发电机转子本体套装面有过热痕迹,大齿极面有过热现象,励端护环套装面严重过热,产生一条 5.5 mm 长的裂纹^[12-14]。2009 年 11 月 25 日,西北电网某变电站由于断路器 B 相输出轴严重卡滞,导致了 330 kV SF₆ 高压断路器非全相运行事故^[15-16]。

因此,某电厂将在运分相操作 GIS 断路器现场改造成三相机械联动操作机构,从根本上防范发电机组非全相运行造成的机组损坏。

1 GIS 断路器非全相运行分析

某电厂二期 2 × 680 MW 机组均采用发电机变压器组单元接线,以 220 kV 等级电压接入系统,厂内设置 220 kV 配电装置,电气主接线为双母线接线形式。受建设场地限制,220kV 配电装置采用 GIS。该电厂 GIS 成套设备于 2010 年 9 月安装完成,由于当时该 GIS 断路器无三相机械联动结构,故所有开关均为分相操作,其中 #3 发电机变压器组(塞 222)和 #4 发电机变压器组(塞 228)间隔通过电气控制回路实现三相电气联动。GIS 及断路器主要参数见表 1。

表 1 GIS 及断路器主要参数

Tab. 1 Main parameters of the GIS and circuit breaker

项目	参数
GIS 型号	IFT-252
断路器型号	MFPT-252-50L
安装方式	户外
额定电压/电流	220 kV/4000 A
最高电压	252 kV
断路器形式	液压弹簧机构,三相电气联动

该电厂 #3 主变压器为 Y/Δ-11 接线,高压侧 C 相没有断开,等同于发生 C 相接地故障,A,B 相无电流,C 相有电流。低压侧由于是 Δ 接线,故发电机端的 B,C 相有大小相等、方向相反的电流。

发电机电枢电流起到去磁、制动作用。汽轮机

打闸后,由于惯性作用,短时间内转子转速仍然保持在 3000 r/min,此时发电机成了负载,随着汽腔内余汽做功完毕,发电机定子电流减小后又逐步增大^[17]。

2 IFT-252 GIS 三相机械联动断路器介绍

IFT-252 GIS 三相机械联动断路器由三相断路器本体、液压弹簧机构、传动系统、机构箱等部分组成,如图 1 所示。机构采用水平布置方式,通过多连杆传动将机构与灭弧室有效连接起来。

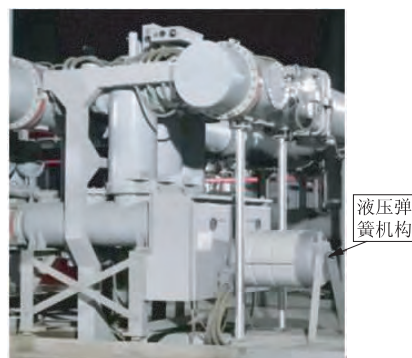


图 1 三相机械联动断路器

Fig. 1 Three-phase mechanical-linked circuit breaker

IFT-252 GIS 三相机械联动断路器配用了 CYA6-2 型液压弹簧机构(如图 2 所示),该机构以弹簧作为储能部件,以液压油作为传动载体,克服了传统液压机构效率低、易渗漏等缺点,将各主要功能部件集成化和模块化,使其具有高度通用性与互换性,并且没有管道能量损失,机构效率达到了最大化,是一种高可靠性的免维护操动机构。CYA6-2 型液压弹簧机构的主要特点见表 2。

3 改造方案

新设计结构与现有传动方式存在差异,需进行局部调整变更,目前由于 GIS 设备处于运行状态,需要在系统设备不停电或停电时间极短的状态下进行改造,按照这一特殊情况,准备了 2 个方案。

3.1 方案 1

在保证可靠性等同于成套 IFT-252 GIS 三相机械联动断路器产品的前提下,将三相机械联动的传动部分进行特殊设计,传动方式、传动结构都不变,仅调整传动机构的尺寸,保证可与转轴直接连接。

方案 1 仅对断路器前端支架、传动部分、传动机构箱进行更换,更换步骤如下。

(1) 拆卸机构箱上方母线支架,安装临时支撑。

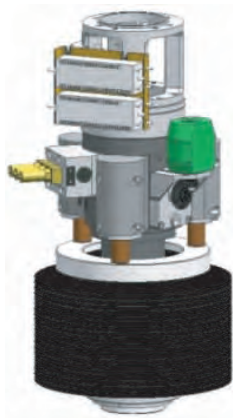


图 2 CYA6-2 型液压弹簧机构

Fig.2 CYA6-2 hydraulic spring mechanism

表 2 CYA6-2 型液压弹簧机构主要特点

Tab.2 Main features of CYA6-2 hydraulic spring mechanism

系统	结构组成	特点
整体	模块式	通用性高,互换性强
缓冲系统	截面缓冲	结构紧凑,特性平滑,极大地提高了机械可靠性
分合闸系统	节流孔	平滑调节,简单方便
压力控制系统	定油量与定压力兼容方式	与环境温度无关,机械特性十分稳定
弹簧系统	碟簧	力特性平稳,运动特性变化小;多个碟簧串联,任何一个碟簧失效,运动特性都不会超差

(2) 解除电缆线,拆卸机构箱、机构。

(3) 在断路器罐体下面安装临时支撑,拆卸断路器前端支架。

(4) 安装三相机械联动断路器前端支架、导向机构及传动机构。

(5) 底架打孔,拆卸母线临时支撑,安装新支架,调试机构动作特性。

特别需要注意的是: 施工前应确认本间隔停电,断路器弹簧机构储能已释放,母线隔离开关已经分闸,接地开关已合闸;拆下的标准件、密封圈必须全部更换。

3.2 方案 2

断路器气室气压降至 0 MPa 后,打开灭弧室拐臂盒,更换分相式断路器与三相机械联动断路器不同的地方,主要更换断路器前端支架、转轴、传动部分、机构箱、机构,更换步骤如下。

(1) 拆卸机构箱上方母线支架,安装临时支撑。

(2) 解除电缆线,拆卸机构箱、机构。

(3) 在断路器罐体下面安装临时支撑,拆卸断路器前端支架。

(4) 安装三相机械联动断路器前端支架、导向机构及传动机构。

(5) 底架打孔,拆卸母线临时支撑,安装新支架,断路器的气室气压降至 0 MPa 后,打开灭弧室拐臂盒更换拐臂。

(6) 抽真空,充 SF₆ 气体至 0.6 MPa,调试机构动作特性(现场预留试验需要的临时电源) 。

方案 2 的复杂之处在于灭弧室拐臂的更换,由于转轴与灭弧室中的绝缘拐臂相连接,只能在断路器的气室气压降至 0 MPa,灭弧室拐臂盒打开后才能对拐臂进行更换。

更换转轴时断路器气室气压降至 0 MPa,在不停电的前提下,相邻的母线气室压力从 0.6 MPa 降至 0.5 MPa,断路器气室与母线气室压差过大,现场更换拐臂时有一定的危险性;同时,现场施工环境比较复杂,给拐臂的更换带来一定困难。

方案 1 对部分零部件尺寸进行了调整,为保证可靠性,厂内需进行寿命试验;方案 2 为保证传动部分的可靠性,同样需要进行厂内寿命试验。

通过表 3 可知: 方案 1 和方案 2 都具备实施的可行性;方案 2 比较成熟,但方案 1 的风险性比方案 2 小很多,而且方案 1 不需要解体断路器灭弧室,排除了现场环境等的影响,施工难度大大降低。

经过研究,建议优先采用方案 1,如方案 1 不成功,则进行方案 2。

表 3 方案 1 与方案 2 对比

Tab.3 Comparison of scheme 1 and scheme 2

项目	方案 1	方案 2
技术成熟性	需要设计周期	已有多个工程运行
工作量	传动重新设计,厂内预安装	厂内预安装
试验项目	动作特性测量、寿命试验(3 000 次)、二次调试	动作特测量、寿命试验(3 000 次) 二次调试
现场工作量	单间隔更换 6 d	单间隔更换 7 d
施工风险性	无	断路器气室打开,母线带电运行有一定的风险性
施工调试时间	无区别	无区别

4 试验验证

由于此次改造为现场改造,机构和本体连接传动部分都是第 1 次在此种工况下运行,故必须在厂内进行充分严格的试验(试验 3 000 次),验证其机械特性及寿命。采用 GKCHD420B 高压开关测试仪

对 IFT-252 GIS 三相机械联动断路器进行测试(主要技术参数见表 4),测试条件如下。

(1) 分、合闸速度满足 GB 11022—2011《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》规定^[18]。

(2) 辅助开关的辅助节点随本体一起考核。

(3) 试验过程中不更换零件,不对零件做任何处理。

(4) 试验操作时间:0.5 次/min。

(5) 每操作 1 000 次,按规定润滑和做少量的紧固。

方案 1 机械操作试验结果:试验过程中没有出现误动现象;所有零件未出现对开关动作不利的影响;辅助开关的节点切换正常,结构检查合格;3 015 次机械操作试验合格。

方案 2 机械操作试验结果:试验过程中出现拐臂损坏现象;主拐臂异常,不能正常分合;辅助开关的节点切换正常;结构检查不合格;在第 1 027 次机械试验时,出现拐臂机械异常。

最终确定采用方案 1 进行现场改造,即将成套三相机械联动的传动部分进行适应该电厂的特殊设计(传动方式、传动结构都不变化,仅对部分物料尺寸进行调整)。

表 4 IFT-252 GIS 三相机械联动断路器主要技术参数

Tab. 4 Main technical parameters of IFT-252 three-phase mechanical-linked circuit breaker in GIS

项目	参数
额定电压/kV	252
额定电流/kA	4
额定频率/Hz	50
额定短时耐受电流/kA	50
额定峰值耐受电流/kA	125
额定短时工频耐受电压/kV	对地:460; 断口间:460+145
额定雷电冲击耐受电压/kV	对地:1 050; 断口间:1 050+200
额定短路开断电流/kA	50
额定短路关合电流/kA	125

5 结束语

依托现有成套三相机械联动机构的 GIS 断路器的成熟经验进行现场改造,通过 2 种方案的对比试验,确定了解体断路器,仅对部分物料尺寸进行调整,其传动部分可以与现场使用的断路器机构转轴直接连接的改造方案。该方案具有造价低(整体更换一个间隔费用约 200 万元,该方案仅需 70 多万元)、不需要停母线、不解体断路器器灭弧室、简单方便、改造灵活等优点。

现场改造后,从根本上消除了该电厂 #3, #4 发电机变压器组 GIS 断路器非全相的风险,提高了设备安全运行的能力,可为国内同类型或类似 GIS 断路器改造提供参考。

参考文献:

- [1] SHU Yinbiao, CHEN Weijiang, LI Zhibing, et al. Experimental research on very-fast transient overvoltage in 1 100 kV gas-insulated switchgear [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2013, 8(1): 458-466.
- [2] 陈维江, 颜湘莲, 王绍武. 气体绝缘开关设备中特快速瞬态过电压研究的新进展 [J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(31): 1-11.
CHEN Weijiang, YAN Xianglian, WANG Shaowu, et al. Recent progress on investigations on very fast transient overvoltage in gas insulated switch gear [J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(31): 1-11.
- [3] 孔旭, 郭飞, 梁涛, 等. 220 kV GIS 中断路器关合空载变压器所产生 VFTO 辐射电场的测量与波形特征分析 [J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(18): 5087-5093.
KONG Xu, GUO Fei, LIANG Tao, et al. Measurement and analysis of the transient radiation electric field excited by the breaker when closing the unloaded transformer in GIS [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(18): 5087-5093.
- [4] 汪泓, 邱毓昌. 气体绝缘开关装置(GIS)的近期发展动向 [J]. 电网技术, 2003, 27(2): 54-57.
WANG Feng, QIU Yuchang. Recent development trend of gas insulated switchgear [J]. Power System Technology, 2003, 27(2): 54-57.
- [5] 杨森林, 陈红兵, 刘林. 浅析沙湾水电站 220 kV 断路器非全相保护的完善 [J]. 四川水力发电, 2010(6): 197-198, 213.
YANG Senlin, CHEN Hongbing, LIU Lin. Improvement of mon whole phase protection of 220 kV circuit breaker at Shawan Hydropower Station [J]. Sichuan Water Power, 2010(6): 197-198, 213.
- [6] 刘玉, 鲁海亮, 张晶焯. 220 kV 变压器空载合闸暂态过电压分析 [J]. 武汉大学学报(工学版), 2018, 51(2): 165-171.
LIU Yu, LU Hailiang, ZHANG Jinzhao, et al. Transient overvoltage analysis of 220 kV transformer in no-load switching [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2018, 51(2): 165-171.
- [7] 韦鑫, 温才权. 一起 500 kV 断路器本体非全相保护缺陷分析及改进措施 [J]. 电气技术, 2014(10): 103-105.
WEI Xin, WEN Caiquan. Analysis and improvement measures of non-phase protection defect of 500 kV breaker body [J]. Electrical Engineering, 2014(10): 103-105.
- [8] 孔大明, 高潮, 王永贵, 等. 水电厂发变组高压侧开关非全相故障仿真分析 [J]. 水电自动化与大坝监测, 2009

- (2): 36-40.
- KONG Daming, GAO Chao, WANG Yonggui, et al. High voltage breaker open phase default simulation analysis for generator-transformer unit of hydropower plant [J]. Hydro-power Automation and Dam Monitoring, 2009(2): 36-40.
- [9] 刘玉朋, 杨荣华, 张雷, 等. 一起 220 kV 断路器本体非全相保护误动故障分析 [J]. 山东电力技术, 2017, 44(8): 73-75.
- LIU Yupeng, YANG Ronghua, ZHANG Lei, et al. Fault analysis of the open-phase maloperation for a 220 kV breaker [J]. Shandong Electric Power, 2017, 44(8): 73-75.
- [10] 国家电力调度通信中心. 电网调度运行实用技术问答 [M]. 北京: 中国电力出版社.
- [11] 殷继伟, 戈宝军, 陶大军, 等. 大型半速汽轮发电机非全相工况下转子涡流损耗的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(20): 5650-5656.
- YIN Jiwei, GE Baojun, TAO Dajun, et al. Analysis of rotor eddy-current losses in large half speed turbo-generators under open-phase conditions [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(20): 5650-5656.
- [12] 张建忠, 王贵生, 秦平绪. 开关一相未断开引起的发电机转子故障分析 [J]. 华北电力技术, 2001(2): 34-36, 42.
- ZHANG Jianzhong, WANG Guisheng, QIN Pingxu. Fault analysis on generator rotor caused by circuit breaker one phase not-breaking [J]. North China Electric Power, 2001(2): 34-36, 42.
- [13] 冯杨州. 大型汽轮发电机组非全相运行的分析与研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2005.
- [14] 白志伟, 王蕾. 对一起开关一相未断开引起电压不平衡的原因分析 [J]. 黑龙江科技信息, 2008(34): 56.
- BAI Zhiwei, WANG Lei. Analysis of the cause of voltage unbalance caused by circuit breaker one phase not-breaking [J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2008(34): 56.
- [15] 杨韧, 汪金星, 陈琦, 等. 一起 330 kV SF₆ 高压断路器非全相运行原因分析 [J]. 陕西电力, 2010, 38(10): 58-60.
- YANG Ren, WANG Jinxing, CHEN Qi, et al. Reason analysis on 330 kV SF₆ high voltage circuit breaker open-phase running [J]. Shaanxi Electric Power, 2010, 38(10): 58-60.
- [16] 李广宇. 330 kV SF₆ 断路器运行中常见故障分析与处理 [J]. 甘肃电力技术, 2009(2): 6-8.
- LI Guangyu. Analysis and treatment of common faults in 330 kV SF₆ circuit breaker operation [J]. Gansu Electric Power Technology, 2009(2): 6-8.
- [17] 曹雪兰, 李本瑜, 沈燕华, 等. 发变组主变高压侧非全相运行电气特征及其对保护的影响 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(15): 34-38.
- CAO Xuelan, LI Benyu, SHEN Yanhua, et al. Electrical characteristics of generator transformer high voltage side on open phase operation and its effect on protection [J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(15): 34-38.
- [18] 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求: GB 11022—2011 [S].

(本文责编: 刘芳)

作者简介:

陈宇(1995—), 男, 湖北鄂州人, 助理工程师, 工学硕士, 从事电力系统继电保护方面的工作(E-mail: 815034513@qq.com)。

广告索引

郑州科润机电工程有限公司……………(后插 1)
 华电水务控股有限公司(跨版)……………(后插 2,3)
 华电环保系统工程有限公司(跨版)……………(后插 4,5)
 华电新能源技术开发公司……………(后插 6)
 国家能源生物燃气高效制备及综合利用技术
 研发(实验)中心……………(后插 7)
 华电分布式能源工程技术有限公司……………(后插 8)

华电通用轻型燃机设备有限公司……………(后插 9)
 华电郑州机械设计研究院有限公司(跨版)
 ………………(后插 10,11)
 郑州科源耐磨防腐工程有限公司(跨版)……………(后插 12,13)
 华电重工股份有限公司(跨版)……………(后插 14,封三)
 华电郑州机械设计研究院有限公司……………(封底)