

主变压器冷却水中断工况下带厂用电温升试验分析

刘 强, 李 侯 小, 李 林, 郝 佳 林, 卜 灵 玉

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051)

摘 要: 电厂主变压器在冷却水中断的情况下, 应在空载状态下继续为厂用电提供电力供应, 以满足厂用电供电的可靠性要求。文章针对电厂主变压器冷却水中断工况下带厂用电温升试验进行了风险分析和步骤指导。根据试验验证, 锦屏一级水电站主变压器在主变冷却系统停运 3 h 后, 油温及绕组温度仍能维持在低水平运行。因此, 主变压器具备在冷却水中断情况下一定时长的带厂用电运行能力。试验结果为变压器特殊运行方式下的温升水平提供了明确的数据支撑, 为运行人员在相关事故中所采取的处置方案提供了准确依据, 为主变冷却水异常中断后的处置提供了技术支持。

关键词: 主变压器; 空载; 厂用电; 温升试验

中图分类号: U664.81+4; U224.2+2; O212.6

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2020)03-0120-03

Analysis of Temperature Rise Test of Auxiliary Power in Case of Cooling Water of Main Transformer Interrupted

LIU Qiang, LI Houxiao, LI Lin, HAO Jialin, BU Lingyu

(Yalong River Hydropower Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610051)

Abstract: In case of cooling water interrupted, the main transformer of the powerhouse shall be able to continue to provide power supply for auxiliary power under no-load state to meet the reliability requirements of auxiliary power supply. In this paper, the risk analysis and step guidance of temperature rise test of auxiliary power supply are carried out under the condition of cooling water of main transformer interrupted in powerhouse. According to the test verification, the oil temperature and winding temperature of the main transformer of Jinping I Hydropower Station can still remain low level operation after the cooling system of the main transformer is shut down for 3 hours. Therefore, the main transformer has the ability to remain auxiliary power supply for a certain period of time in case of cooling water interrupted. The test results provide a clear data support for the temperature rise level of the transformer under special operation mode, provide an accurate basis for the treatment plan taken by the operators in relevant accidents, and provide a technical support for the treatment after the abnormal interruption of the main transformer cooling water.

Key words: main transformer; no-load; auxiliary power; temperature rise test

1 概 述

锦屏一级水电站主变压器为单相双绕组升压变压器, 单相额定容量 234 MVA, 共 19 台, 其中一台备用。主变压器将 6 台机的机端电压 20 kV 升至 500 kV 后送至电网。主变压器属国调中心管辖, 设备操作以及影响设备正常运行和备用的检修维护工作应得到国调值班调度员的许可后方可进行。

主变压器冷却方式采用强迫油循环强迫水冷却, 在自动方式下, PLC 根据主变的电压、油温、绕组温度及负荷进行主变冷却器的启停控制。其中, 水冷却系统分别由主变技术供水系统及主变

空载冷却水系统组成, 正常情况下由主变技术供水系统提供水源, 在主变技术供水系统无法供水时切换至空载冷却水系统供水。主变技术供水系统设置两台技术供水泵, 采用尾水管取水单元加压供水方式供水。主变空载冷却水系统水源取自厂内空调水, 由 5 台水泵主备用轮换供水至空调系统后, 作为备用水源。

主变压器的非电气量保护中除油温和绕组温度保护外, 还配置了冷却器全停保护, 以保护变压器绝缘, 延长其使用寿命^[1]。

2 试验目的及条件

2.1 试验目的及理论计算

当主变压器两路水源均中断或主变冷却水供

收稿日期: 2020-02-16

水管路出现故障,均可能导致主变冷却水中断。由于主变为涉调设备,且主变与对应高厂变之间并未设置断路器。因此,主变停运必然伴随着高厂变停运和厂用电倒换,造成不必要的涉调设备非计划停运和厂用电供电可靠性降低。

根据主变压器厂家提供的设备设计说明以及技术参数,当主变 3 台冷却器退出运行后,变压器允许连续空载运行的工作时间为 10 h。为实际验证主变压器在冷却水完全中断情况下,带厂用电运行工况下的温升情况,进行此次试验。

由于变压器自身散热能力较差,当变压器冷却器全停时,变压器温度将迅速上升,并且与主变负载率高度正相关,负荷越重,温升越大^[2]。在该试验中,主变压器所带负荷即为厂用电负荷,则主变实际损耗计算公式为:

$$\Delta P_T = \Delta P_o + \left(\frac{S_c}{S_r}\right)^2 \Delta P_k$$

式中 ΔP_T 为变压器实际有功损耗; ΔP_o 为变压器空载损耗; ΔP_k 为变压器 100% 额定容量下的负载损耗; S_c 为试验中厂用电负荷; S_r 为主变压器额定容量。

根据单相主变压器技术参数, $\Delta P_o = 90 \text{ kW}$, $\Delta P_k = 440 \text{ kW}$, $S_r = 234 \text{ MVA}$, S_c 根据实测值电压、电流值计算单相为 124 kVA。因此,可得 $\Delta P_T \approx \Delta P_o = 90 \text{ kW}$ 。

假设试验过程中,主变压器绝缘油与外界无热交换,则运行 3 h 后绝缘油温升:

$$\Delta t = \frac{\Delta P_T \times 3600 \times 3}{mc}$$

式中 m 为绝缘油质量,为 35 t; c 为绝缘油的比热容,为 2.093 J/(g·°C)。

因此,可得 $\Delta t = 13.27 \text{ °C}$ 。考虑到实际中,主变压器绝缘油经变压器箱体与空气进行热交换的情况,油面温度实际温升应小于 13.27 °C。

2.2 试验条件

首先,为保证主变压器处于轻载状态,大功率负荷被可靠切除或转移。其次,当主变压器冷却器全停保护判断主变冷却器全停并满足一定条件后会动作跳闸。因此,在本试验中,虽然冷却水中断,但需保证主变冷却油泵不能全停。此外,由于继电器是一种故障率很高的原件,易发生线圈烧损,且触点易接触不良,通常会出现继电器设备无

法正常运行的故障^[3],一旦控制回路故障导致主变冷却器全停信号到达,可能造成保护开出。因此,退出非电量保护上的“主变冷却器全停保护跳闸”功能压板,即通过双重控制的方式保证保护装置不会误动作出口。

最后,非电量保护中的油温保护动作于跳闸,但绕组温度保护仅动作于发信号,因此,将油温保护功能压板退出,绕组温度保护正常加用^[4]。

表 1 主变压器部分非电量保护及动作后果

保护名称	动作后果
主变油面温度保护	温度高(85 °C)时动作于发信号; 温度过高(95 °C)时动作于跳厂变低压侧、跳发电机出口 GCB、跳开本发变组单元的主变 500 kV 侧两台断路器、启动故障录波,并发送事故信号
主变绕组温度保护	温度高(100 °C)和过高(110 °C)时均动作于发信号
冷却器全停保护	当主变压器冷却器电源消失、冷却器全停时,保护瞬时动作于发信号,当冷却器全停 20 min,且油温超过 75 °C 或冷却器全停 60 min 不经油温闭锁直接动作于跳厂变低压侧、跳发电机出口 GCB、跳开本发变组单元的主变 500 kV 侧两台断路器、启动故障录波,并发送事故信号

3 带厂用电温升试验程序

3.1 试验前

检查高厂变带本段 10 kV 母线正常运行,将本段 10 kV 母线上检修、渗漏排水泵控制方式把手切除,保证试验期间不会有 10 kV 水泵启动对试验造成影响。检查主变压器所有保护(含两套电气量保护及一套非电气量保护)均正常投入,停用“主变冷却器全停跳闸”功能压板及“主变油温过高启动跳闸”功能压板。将主变压器冷却水由技术供水系统手动切换至主变空载冷却水系统供水,并检查主变压器冷却油泵均在自动方式下运行正常。

3.2 试验过程

将主变压器 A、B、C 三相所有冷却油泵控制方式切换至“手动”方式,并每相启动一台冷却油泵运行。关闭主变空载冷却水供水阀,观察主变冷却供水管路流量下降为 0。在监控系统及现地密切监视主变压器的油面温度及绕组温度,观察和记录单位时间内的温度上升量。若期间出现油温高于报警值 85 °C 或绕组温度高于报警值 100 °C 时,立即开启主变空载冷却水供水阀,恢复主变空载冷却水供水,检查主变冷却器运行正常、主变油温及绕组温度下降至正常。

3.3 试验结束

在油温及绕组温度均未达到报警值的前提下,连续 1 h 温度上升不超过 1 °C 或连续运行 3 h (考虑异常情况下的应急处置时间)任一条件满足,即试验结束。试验结束且数据记录完成后,开启主变空载冷却水供水阀,恢复主变压器冷却水,并将 A、B、C 三相所有冷却油泵控制方式恢复“自动”方式,检查油泵自动启动正常。检查确认三相主变油温均已降至 70 °C 以下、绕组温度恢复试验前水平,且专业班组检查确认非电量保护装置上无警告及开出信号后,加用“主变冷却器全停跳闸”功能压板及“主变油温过高启动跳闸”功能压板。两次全面检查设备无异常后,全部试验结束,试验数据见表 2。

表 2 主变压器空载温升试验数据

时刻	绕组温度值 /°C			油温值 /°C		
	A 相	B 相	C 相	A 相	B 相	C 相
试验前	17.1	16.7	17.3	16.4	16.2	16.9
空载 3 h 后	29.1	28.6	29.6	27.1	27.4	27.3

3.4 试验结论

主变压器在冷却水完全中断情况下,运行 3 h 后油面平均温升为 10.8 °C,绕组平均温升 12.1 °C,与理论计算相吻合。试验结束时,右面及绕组温度维持在较低水平,距相应报警值仍有较大裕量。

4 试验风险分析及相应控制措施

试验中存在的主要风险为主变压器保护动作造成主变压器高压侧 500 kV 开关动作跳闸,具体的原因如下:

实验过程中保护装置动作跳闸。由于每相主变均保留一台冷却油泵运行,如果三相主变中任一正在手动运行的油泵运行信号未被保护装置采集到,满足条件后就可能导致保护动作出口。因此,每相主变需手动启动运行一台冷却油泵,同时,将“主变冷却器全停跳闸”保护退出,确保“主变冷却器全停跳闸”保护不会动作。此外,需保证压板的操作质量,避免压板虚接或与盘柜柜面接触造成装置电源短路或保护误动。

主变压器温度上升较快,损坏主变。在冷却水中断后,密切监视各部温升情况,根据温度上升速率采取提前控制措施,恢复冷却水源及冷却油泵运行。此外,在试验进行前,确保主变电气量保护及其他非电气量保护正常投入,保证主变在异常情况下能够正确动作;排查高厂变所带 10 kV 母线的负荷情况,将大容量负荷,如机组检修排水

泵、厂房渗漏排水泵(额定功率 355 kW)切除,避免造成主变带负荷运行,温度迅速上升。

试验后恢复过程中,设备误动。在试验过程中可能导致保护装置信号开入或开出,但由于保护压板停用,并未动作出口,在试验结束后恢复设备正常运行方式时,若操作顺序错误(如先恢复保护后恢复冷却油泵),或保护压板加用前未检查保护装置上的报警信号,可能导致保护加用时直接动作出口。因此,严格按照试验顺序,先恢复一次设备正常运行方式,使各部温度恢复正常并检查保护装置无异常后方可恢复保护装置至正常运行。

5 结语

主变压器是电力系统重要设备,根据试验验证,锦屏一级水电站主变压器在主变冷却系统停运 3 h 后,油面平均温度由 16.5 °C 上升至 27.3 °C,绕组平均温度由 17.0 °C 上升至 29.1 °C,油温及绕组温度仍能维持在低水平运行。因此,主变压器具备在冷却水中断情况下一定时长的带厂用电运行能力^[5]。试验结果为变压器特殊运行方式下的温升水平提供了明确的数据支撑,为运行人员在相关事故处置中所采取的处置方案提供了准确依据,并为处置过程中要采取的临时控制措施提出了指导意见。

参考文献:

- [1] 变压器强迫油循环水冷系统事故简析[J].科技创新与应用,2019.
- [2] 周丽巍.北京电网 220 kV 强油循环水冷变压器冷却系统安全运行分析[J].科技商品,2017.
- [3] 杜启业. 220 kV 主变压器冷却系统研究与应用[D].
- [4] 邹文华.李家峡水电站主变非电量保护的运行分析[J].2013.
- [5] 王新程.岩滩水电厂主变冷却器控制回路优化改造[J].2013.

作者简介:

刘 强(1991-),男,山西朔州人,本科学历,中级工程师,从事水电站运行管理工作;

李侯小(1994-),男,陕西榆林人,本科学历,助理工程师,从事水电站运行管理工作;

李 林(1993-),男,四川绵阳人,本科学历,从事水电站运行管理工作;

郝佳林(1996-),男,陕西咸阳人,本科学历,助理工程师,从事水电站运行管理工作;

卜灵玉(1993-),男,河南驻马店人,本科学历,从事水电站运行管理工作。

(责任编辑:吴永红、卓政昌)