

变压器冷却系统 PLC 逻辑缺陷分析及处理

Analysis and Treatment of PLC Logic Defects in Transformer Cooling System

蒋贵斌 邢诗强 王立凯 云佳乐 高嘉男

Guibin Jiang Shiqiang Xing Likai Wang Jiale Yun Jianan Gao

中广核核电运营有限公司 中国·广东 深圳 518124

CGNPC Nuclear Power Operation Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518124, China

摘要: 电力变压器冷却系统已广泛应用基于 PLC 技术的冷却器控制装置, 实现了冷却器的自动控制, 并简化了二次回路。论文以某核电厂主变强迫油循环风冷 PLC 控制系统为例, 分析了主变风冷 PLC 逻辑缺陷, 并提出了处理方案, 确保了变压器冷却系统安全可靠运行。

Abstract: The cooler control device based on PLC technology has been widely used in the cooling system of power transformer, which realizes the automatic control of cooler and simplifies the secondary circuit. Taking the forced oil circulation air cooling PLC control system of the main transformer of a nuclear power plant as an example, this paper analyzes the logic defects of the air cooling PLC of the main transformer, and puts forward a treatment scheme to ensure the safe and reliable operation of the transformer cooling system.

关键词: 变压器; 冷却系统; PLC; 逻辑缺陷

Keywords: transformer; cooling system; PLC; logic defect

DOI: 10.12346/peti.v4i2.6616

1 引言

变压器冷却系统 PLC 程序在实际运行中, 由于 PLC 逻辑程序设计不合理, 会直接作用到变压器冷却系统二次回路中, 导致变压器冷却器控制系统产生异常缺陷, 影响设备安稳运行。结合长期以来对变压器冷却系统 PLC 逻辑程序的调试及运维经验, 主要针对变压器冷却器自动启停、油流故障、冷却器全停故障等 PLC 逻辑缺陷进行了分析, 进一步合理优化了变压器冷却系统 PLC 逻辑程序。

2 变压器冷却系统 PLC 控制装置概述

论文以某核电厂主变强迫油风冷 PLC 控制装置为例, 该主变冷却系统采用 ABB AC500 PLC, 并配合使用 ABB CP430T 触摸屏 (HMI), 通过 PLC 与 HMI 组态进行通信, 实现了对变压器冷却器运行状况的实时监控, 更便于系统维护, 同时控制系统的软件功能齐全, 实现了人机界面友好, 使设备的操作更加直观、便捷^[1]。

3 变压器冷却系统 PLC 基本控制逻辑

该主变共有六组冷却器, 即有三组冷却器为工作冷却器, 有一组冷却器为辅助 I 组冷却器, 有一组冷却器为辅助 II 组冷却器, 有一组冷却器为备用冷却器。当主变高压断路器合闸, 变压器投入运行, 冷却器均处于就地及自动状态, 工作冷却器直接投入运行; 辅助冷却器根据主变的油面温度 (POP)、绕组温度 (PWI) 及变压器负荷变化自动进行投切; 备用冷却器根据工作冷却器及辅助冷却器的故障状况自动进行投切。冷却器自动投切条件如表 1 所示。

主变六组冷却器以十天为周期 (循环周期可根据实际需求在 PLC 逻辑程序中进行修改设置), 自动进行循环轮换投切, 以此实现冷却器的均匀投切, 达到均衡冷却器工作, 避免单一冷却器过度运行损耗或过度静止而影响整体冷却器组的使用寿命。冷却器周期循环轮换如表 2 所示。

【作者简介】蒋贵斌 (1985-), 男, 中国辽宁鞍山人, 本科, 工程师, 从事电气研究。

表 1 冷却器自动投切条件

冷却器组	上电自动投入条件	上电自动切除条件
工作	主变投入运行	主变退出运行
辅助 I 组	POP1 \geq 65℃或 POP2 \geq 55℃或 PWI \geq 55℃或负荷 \geq 75%	POP1 $<$ 45℃或 POP2 $<$ 55℃或 PWI $<$ 55℃或负荷 $<$ 45%
辅助 II 组	POP2 \geq 75℃或 PWI \geq 75℃或负荷 \geq 95%	POP2 $<$ 75℃或 PWI $<$ 75℃或负荷 $<$ 75%
备用	工作或辅助 I 组或辅助 II 组任一故障	工作、辅助 I 组、辅助 II 组故障均消除

表 2 冷却器周期循环轮换

冷却器组	工作组	辅助 I 组	辅助 II 组	备用组
循环 1	#1、#3、#5	#2	#4	#6
循环 2	#2、#4、#6	#1	#3	#5
循环 3	#3、#5、#1	#6	#2	#4
循环 4	#4、#6、#2	#5	#1	#3
循环 5	#5、#1、#3	#4	#6	#2
循环 6	#6、#2、#4	#3	#5	#1

4 主变风冷 PLC 逻辑缺陷分析及处理

4.1 主变备用冷却器故障 PLC 逻辑缺陷分析及处理

4.1.1 主变备用冷却器故障 PLC 逻辑缺陷分析

主变冷却系统 PLC 基本控制逻辑中，当循环周期内的工作冷却器及辅助冷却器均正常可用，此时，备用冷却器发生故障，即该循环周期内的冷却器组失去备用冷却器可用，一旦工作冷却器或辅助冷却器发生故障，则备用冷却器无法投入运行，将对主变的冷却能力造成影响。

4.1.2 主变备用冷却器故障 PLC 逻辑缺陷处理

在主变风冷 PLC 基本控制逻辑程序中，修改备用冷却器故障 PLC 逻辑，即增加判断当前循环周期内的备用冷却器可用性，如果当前循环周期内的备用冷却器发生故障，则立即跳转至下一个循环周期执行冷却器投运。与此同时，PLC 自动执行判断已跳转到的循环周期内的备用冷却器可用性情况，如果所跳转到的循环周期内备用冷却器可用，则按正常循环周期运行。如果所跳转到的循环周期内备用冷却器故障，则继续执行跳转判断，实现循环扫描判断备用冷却器可用性。一旦发生循环扫描判断备用冷却器均不可用，则判断为主变冷却器全停故障。

4.2 主变冷却器油流故障 PLC 逻辑缺陷分析及处理

4.2.1 主变冷却器油流故障 PLC 逻辑缺陷分析

主变在运行过程中，油流继电器的指针可能会存在抖动现象，随着长时间的运行，由于油流继电器指针频繁抖动，导致油流继电器内部接点接触不良。油流继电器接点接入 PLC 的输入模块参与风冷启停逻辑控制，当油流继电器故障信号输入到 PLC 中，PLC 逻辑程序瞬时判断为油流故障，执行切除油流故障的冷却器，投入备用冷却器。当油流继电器故障信号消失，PLC 逻辑程序判断为油流故障信号复归，

执行切除备用冷却器，投入油流故障信号已复归的冷却器。

由于油流继电器接点频繁闪发故障，PLC 逻辑程序开始频繁执行冷却器投切，在风冷控制箱内出现了冷却器接触器频繁吸合的情况，极易造成冷却器潜油泵电机和风扇电机以及回路接触器损坏，严重影响主变冷却器系统可靠运行。

4.2.2 主变冷却器油流故障 PLC 逻辑缺陷处理

对于油流继电器接点频繁抖动，导致冷却器频繁投切问题，针对性修改优化冷却器油流故障 PLC 控制逻辑，增加 PLC 内部通电延时继电器（timer_oilflow_F1），当冷却器油泵投入信号（%IX17.1）输入至 PLC 中，PLC 执行判断冷却器油流信号正常（%IX2.0），则 PLC 内部通电延时继电器不动作，冷却器油流故障信号（%QX122.4）不触发。当冷却器油泵投入（%IX17.1），且冷却器油流正常信号（%IX2.0）消失，即冷却器油流故障，PLC 内部延时继电器开始计时（延时时间可根据需求修改设置），延时 10s 后，PLC 内部延时继电器动作，输出冷却器油流故障信号（%QX122.4）。

通过修改优化冷却器油流故障 PLC 逻辑程序，在 PLC 控制逻辑程序中增加内部延时继电器，待油流故障延时继电器动作后，判断为冷却器油流继电器真实故障，以此避免因冷却器油流继电器接点频繁抖动闪发故障信号，造成冷却器频繁投切的异常。修改优化后的冷却器油流故障 PLC 逻辑程序如图 1 所示。

4.3 主变冷却器全停故障 PLC 逻辑缺陷分析及处理

4.3.1 主变冷却器全停故障 PLC 逻辑缺陷分析

当主变六组冷却器全部故障或冷却器两段动力电源全部故障时，PLC 瞬时输出主变冷却器全停故障告警信号，同时，冷却器全停故障信号输入后，如果变压器顶层油温度达

到 75℃，允许变压器带额定负载运行 20 分钟。如果 20 分钟后顶层油温未达到 75℃，则允许变压器顶层油温上升到 75℃，此状态下，变压器运行最长时间不得超过 1 小时，达到设定值后输出变压器冷却器全停故障跳闸或报警。

对于变压器冷却器全停故障的 PLC 逻辑，可能存在 PLC 逻辑程序设计不合理的问题，即当变压器冷却器全停故障信号输入，PLC 首先执行判断变压器顶层油面温度是否达到 75℃，并串入 PLC 内部延时 20 分钟继电器，该 PLC 逻辑看似没有任何问题，也符合变压器冷却器全停故障后如果变压器顶层油温达到 75℃运行变压器带额定负载运行 20 分钟的要求。但是，如果在变压器冷却器全停故障工况下，此时变压器油面温度刚好在 75℃上下临界波动，就会出现变压器油面温度 75℃接点时通时断的情况。当变压器油面温度达到 75℃，PLC 内部两个并联的 20 分钟和 60 分钟延时继电器立即开始计时，假设此时 PLC 内部延时继电器已延时了 10 分钟（即油面温度 75℃保持了 10 分钟），这时变压器油面温度又低于了 75℃，其温度接点将处于断开状态，PLC 内部 20 分钟延时继电器随之断开。而后，又经过 10 分钟，变压器油面温度再次达到了 75℃，其温度接点导通，PLC 内部 20 分钟延时继电器重新开始计时，如果油面温度持续不低于 75℃，则 PLC 内部时间继电器延时 20 分钟后输出冷却器全停故障信号。若以此例 PLC 逻辑执行冷却器全停故障延时，则冷却器全停故障且变压器油温达到 75℃的运行时间已超出 20 分钟，将不满足冷却器全停故障在油面温度不低于 75℃的情况下允许变压器带额定负载运行 20 分钟的要求^[2]。

4.3.2 主变冷却器全停故障 PLC 逻辑缺陷处理

对于变压器冷却器全停故障 PLC 程序存在的逻辑缺陷，针对性修改相关冷却器全停故障 PLC 逻辑程序，当变压器

冷却器全停故障时，PLC 内部接点信号（all_coolers_stop）为真，立即接通 PLC 内部两个并联的延时 60 分钟时间继电器和延时 20 分钟时间继电器，并在 20 分钟时间继电器后面串联变压器油面温度 75℃接点（%IX16.3）。从该冷却器全停故障 PLC 逻辑可以看出，当变压器冷却器全停故障信号输入后，开始启动延时继电器，延时 20 分钟后，20 分钟时间继电器（delay20min）保持输出状态，并判断变压器顶层油面温度是否达到 75℃，如果油面温度已经达到 75℃，则输出冷却器全停故障跳闸或报警（%QX124.6）。如果油面温度未达到 75℃，则 60 分钟时间继电器（delay60min）延时 60 分钟后，输出冷却器全停故障跳闸或报警。在此期间，如果变压器顶层油面温度达到 75℃，则输出冷却器全停故障跳闸或报警。修改优化后的变压器冷却器全停故障 PLC 逻辑程序如图 2 所示。

5 结语

论文根据某核电厂主变强油风冷却器 PLC 控制系统在实际运行中存在的设备状态缺陷，以及对变压器冷却器风冷 PLC 逻辑程序设计的合理性进行了深入研究分析，并针对性提出了相关处理方案，修改优化了变压器冷却器控制系统风冷 PLC 逻辑程序。论文中所论述的关于变压器风冷 PLC 逻辑缺陷及其处理方案，可以妥善解决变压器风冷 PLC 当前循环周期内的冷却器组发生备用冷却器故障时，无法投入备用冷却器的问题。可以避免因冷却器油流故障信号的频繁瞬时输出导致变压器冷却器频繁投切的异常。可以消除冷却器全停故障变压器顶层油面温度达到 75℃的运行时间超出 20 分钟的 PLC 逻辑隐患。修改优化后的变压器风冷 PLC 逻辑程序，极大提高了变压器冷却系统运行的可靠性，确保了变压器安全稳定运行^[3]。

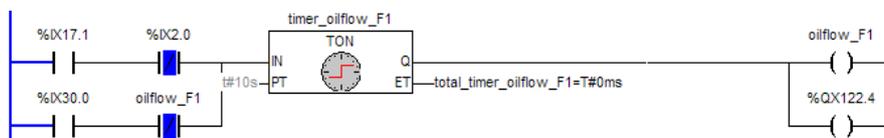


图 1 油流故障 PLC 逻辑程序

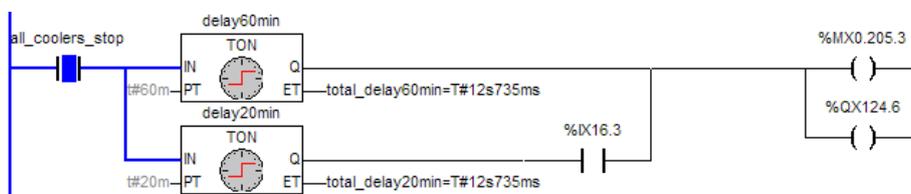


图 2 冷却器全停故障延时输出 PLC 逻辑程序

参考文献

- [1] ABB(中国)有限公司.ABB AC500 PLC可编程控制器手册[Z].培训手册,2008.
- [2] GB/T 37761—2019 电力变压器冷却系统PLC控制装置技术要求[S].2020.
- [3] 朱英浩,计宏伟,郑时伊.新编变压器实用技术问答[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1999.