

# 大型主变压器强制油循环风冷系统不间断电源改造

郑权国, 胡龙军, 钟著辉, 刘星, 张斌, 杨毅

国网常德供电公司, 湖南 常德

收稿日期: 2023年3月3日; 录用日期: 2023年3月16日; 发布日期: 2023年3月29日

## 摘要

变压器冷却系统的优劣决定了变压器的工作油温状态, 影响变压器内部绝缘、运行寿命及带负载能力等。为保证冷却机组安全稳定运行, 传统变压器冷却系统控制箱使用两路独立电源供电, 但是在两路电源故障时, 冷却系统控制回路由于无供电无法控制变压器油温, 导致变压器被迫减负。针对此类问题, 该文提出一种不间断电源改造方案, 通过增加一路具有自启动功能的小型柴油发电机组作为备用电源, 并对控制回路进行改进, 实现双电源故障情况下自动切换到柴油发电机组供电的功能, 以减少电源问题导致的冷却系统故障。目前, 该方案已应用于某变电站主变控制系统, 实际运行情况表明, 该方案运行稳定可靠, 特别是能够显著提高重点负荷的供电可靠性。此外, 该方案改造成本较低, 技术实现难度不大, 具有推广价值。

## 关键词

变压器, 风冷系统, 不间断电源

# Improvement of Large Main Transformer Forced Oil Circulation Air Cooling System on Uninterrupted Power Supply

Quanguo Zheng, Longjun Hu, Zhuhui Zhong, Xing Liu, Bin Zhang, Yi Yang

State Grid Changde Power Supply Company, Changde Hunan

Received: Mar. 3<sup>rd</sup>, 2023; accepted: Mar. 16<sup>th</sup>, 2023; published: Mar. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Transformer cooling system determines its oil temperature when it is operating and affects the

文章引用: 郑权国, 胡龙军, 钟著辉, 刘星, 张斌, 杨毅. 大型主变压器强制油循环风冷系统不间断电源改造[J]. 传感器技术与应用, 2023, 11(2): 186-193. DOI: 10.12677/jsta.2023.112020

internal insulation, operating life and its load carrying capacity, *et al.* To ensure the safety and stability of the cooling units, the control cabinet of the traditional power transformer cooling system uses two power supplies. However, when two power supplies both fail, the cooling system control circuit cannot control the transformer oil temperature without power supply, which causes the transformer to be forced to reduce its load. Aiming at these problems, this paper proposes an improvement scheme of uninterruptible power supply by adding a small diesel generator set with self starting function as the standby power supply. And it improved the control circuit, which can automatically switch to the diesel generator in case of dual power supply failure, so as to reduce the cooling system failure caused by power supply problems. At present, the scheme has been applied to the main power transformer control system of a substation. The practice operation shows that the scheme is stable and reliable, especially can significantly improve the power supply's reliability of key loads. In addition, the reconstruction cost of this scheme is low, and the technical realization is not difficult, so it is worth popularizing.

## Keywords

Transformer, Cooling System, Uninterruptible Power Supply

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在 220 kV 及以上变电站中,主变压器通常采用强制油循环风冷的方式[1]。对与无人化值守的变电站,由于变压器冷却系统出现问题导致主变压器被迫减负甚至跳闸,影响电网运行的安全和供电可靠性[2]。冷却系统故障主要出现在两个方面,其一是电源故障导致冷却系统无供电;二是工作冷却器的风机组长期处于运行工况,到达寿命后失效,备用风机由于长期未运行可能已经发生损坏导致其投入时无法正常启动。文献[2][3]从电源角度出发,通过对冷却器控制电源电路进行改造,降低了冷却器控制及信号电路的故障隐患,提高了变压器冷却系统的供电可靠性。文献[4][5][6][7]则从提高风扇利用率的角度出发,根据风扇的工作时间决定投入的风扇组,采用控制器软件编程的方式,始终保证每套风扇组的运行时间接近,从而提高冷却器(风扇)整体的运行寿命。

无人值守变电站的冷却系统会因大规模停电事故导致的双电源同时停电而失去供电,此时主变只能进行减负或跳闸,否则会因散热不够导致主变过温。根据国家相关标准,强油风冷变压器冷却系统发生故障需切除全部冷却器时,额定负载下允许运行 30 分钟,切除冷却器后的最长运行时间不超过 1 小时[8][9][10]。为了解决上述问题,双电源切换装置也需要配置有应急电源[11]。本文提出增加一路小型柴油机组作为备用电源,并对原控制回路进行改造,保证在原 220 kV 强迫油循环风冷主变压器冷却系统电源故障引起两组冷却系统全停条件下,自动启动第三路备用供电电源系统供电,保证主变安全可靠运行和电网供电可靠性。

## 2. 改进前主变冷却系统运行分析

大型主变强油循环风冷系统由若干冷却器构成,主要由潜油泵、风机及其控制信号回路组成,强迫导向油循环风冷装置主要由蝶阀、潜油泵、风机、油流继电器和片式散热器等几部分组成[12][13]。图 1~3 为项目中某 220 kV 变电站#3 主变强油循环风冷电源控制回路以及冷却器控制回路以及信号回路,现行的大部分强油循环风冷主变冷却器控制部分均采用类似的设计[2]。

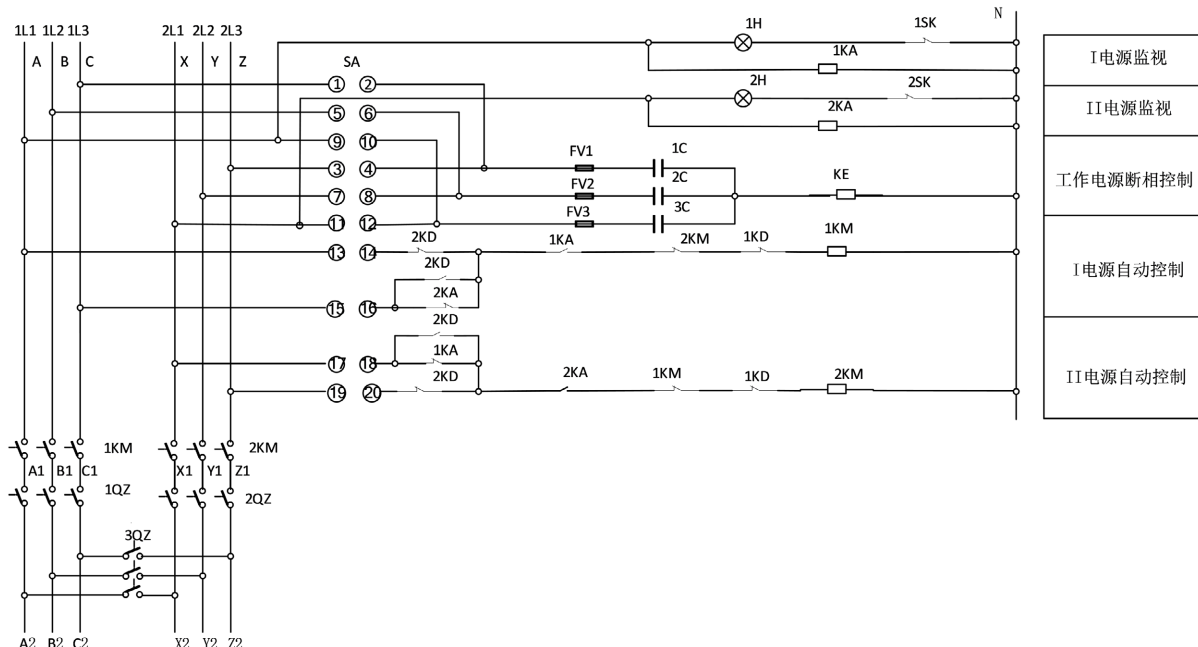


Figure 1. Control circuit diagram of forced oil circulating air-cooled power supply for #2 main transformer of 220 kV substation

图 1. 220 kV 变电站#2 主变强油循环风冷电源控制回路图

改造前的电源控制回路如图 1 所示，当把转换开关 SA 打在“工作模式 I”时，触点 1-2，5-6，9-10，13-14，17-18 接通，优先使用第一路电源为冷却系统供电。1C、2C 及 3C 为电容器，分别与熔断器 FV1、FV2 及 FV3 串联后经接地继电器线圈组成断相控制电路。以工作模式 I 为例，若第 I 路电源 1L1、1L2 和 1L3 供电正常，第 I 路电源的电源监视继电器 1KA 线圈得电，1KA 常开触点闭合，主接触器 1KM 线圈得电，接触器 1KM 的主触点闭合，同时 1KA 的常闭触点断开，接触器 2KM 线圈无电，故 2KM 主触点未吸合，只有第 I 路电源供电。当第 I 路电源由于故障等原因中断供电时，I 路电源监视继电器 1KA 线圈失电，1KA 的常开触点断开，常闭触点恢复闭合，主接触器 1KM 线圈由于 1KA 断开失电，因此主接触器 1KM 的触点断开，切除故障电源。此时，若第 II 路电源供电正常，则中间继电器 2KA 的常开触点闭合，主接触器 2KM 的线圈得电，2KM 的主触点闭合，第 I 路电源故障状态切换至第 II 路电源向冷却装置供电。当把转换开关 SA 打在“工作模式 II”时，触点 3-4，7-8，11-12，15-16，19-20 接通，由第 II 路电源作为主电源、第 I 路电源作为备用电源，工作状况与第 I 路电源作为主电源、第 II 路电源作为备用电源的情况类似，不再赘述。

改造前的冷却器控制回路如图 2 所示，此处仅展示#I 冷却器控制回路，其余冷却器依次并联。图 2 中，3KA 为冷却器工作电源监视线圈，若冷却器工作电源故障则 3KA 失电。当油温超过 55℃时，中间继电器 4KA 的线圈得电，4KA 的常开触点闭合。当电流超过整定值时，电流继电器 KL 常开触点闭合，断电延时继电器 1KT 线圈得电，4KA 线圈得电。当自动空气开关 Q1Z 闭合后，控制潜油泵的接触器 1KBM 的线圈得电，1KBM 的主触点、辅助常开闭合，潜油泵工作。同时，控制风机的接触器 1KFM 线圈得电，1KFM 的主触点、辅助触点闭合。

改造前信号回路如图 3 所示，该回路主要实现四个功能，分别为冷却器自投、直流电源监视、冷却器全停延时跳闸、电源断相报警。具体原理为中间继电器 3KD 的线圈失电则表示控制电源故障，中间继电器 1KD 线圈得电时，1KD 常闭触点断开，断电延时继电器 KT1、KT2 线圈失电，KT1、KT2 触点延时断开，实现冷却器全停延时跳闸功能。若出现电源断相，则 2KD 得电，电源控制回路切换至另一路电源供电。

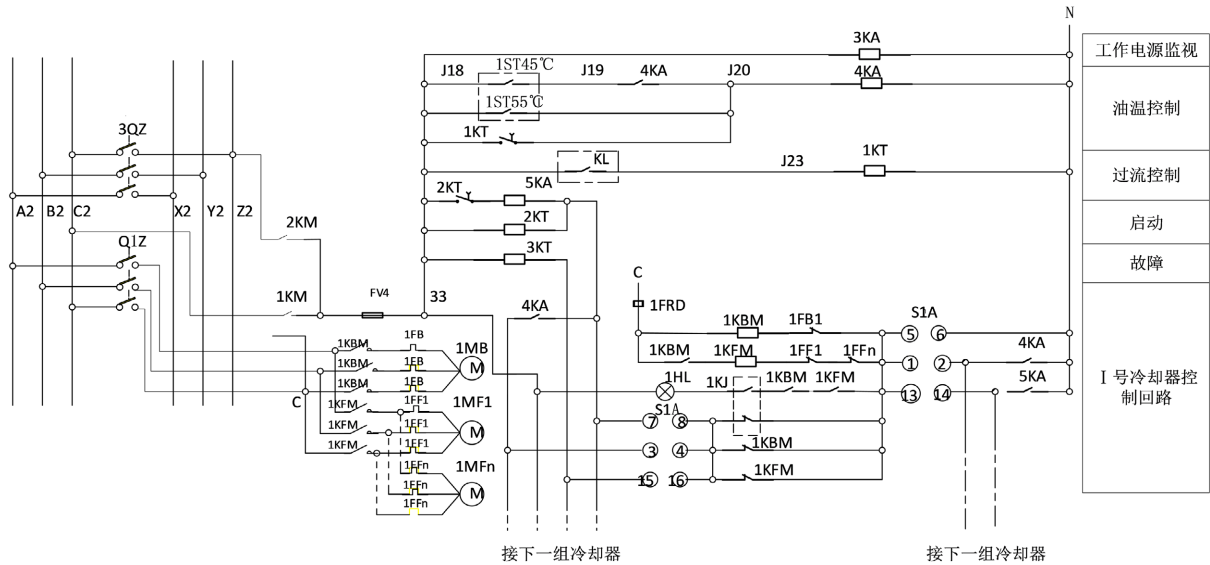


Figure 2. Cooler control circuit  
图 2. 冷却器控制回路

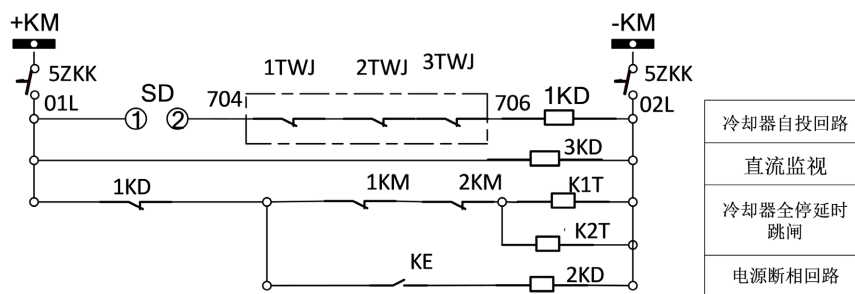


Figure 3. Signal circuit  
图 3. 信号回路

### 3. 存在问题及改进方案

虽然采用双电源供电的方式是目前使用最多的控制回路供电方案，但是强迫油循环风冷变压器的冷却控制装置，大都采用传统的继电器控制模式，通过温度控制器机械触点的开闭来驱动交流接触器的线圈，从而接通冷却器的工作回路，用热继电器实现短路、过载、缺相等保护，这种模式线路复杂，器件故障率高，存在着不少的缺陷。常规的温度控制器接点少，容量小，误差大，控制冷却器工作电路的交流接触器启动频繁，触点容易烧伤，造成接点不良或粘死。成为电机缺相或绝缘破坏的一个不可忽视的因素。因此该方案会因为控制回路故障或两路电源全停等原因导致主变压器冷却装置停止工作，无法保证关键供电负荷的稳定供电。因此，为了进一步保证冷却装置不会因电源问题导致停机，通过引入以自启动柴油发电机组为核心的不间断电源作为第三路电源，在尽量减少项目改造成本的原则下，使用双电源转换开关(ATS, Automatic Transfer Switch)完成主供电电源 2 与发电机组供电的切换。图 4 为改造后主回路结构示意。

改进前，若为工作模式 I，优先采用主供电电源 1 供电，主供电电源 1 故障情况下则由主供电电源 2 供电，若主供电电源 2 也故障则，冷却装置停止工作，潜油泵、风机停机，主变压器随着油温的增加自动降低带载或甚至切除所有负载。改造后，主供电电源 1 故障、主供电电源 2 故障的情况下，控制回路输出冷却器全停信号给自启动发电机组，柴油发电机组通过蓄电池完成自启动，ATS 自动跳合至备用电源，即自启动发电机供电给冷却器工作，故障解除后，冷却装置仍由主供电电源供电。改进方案原理图如图 5 所示。

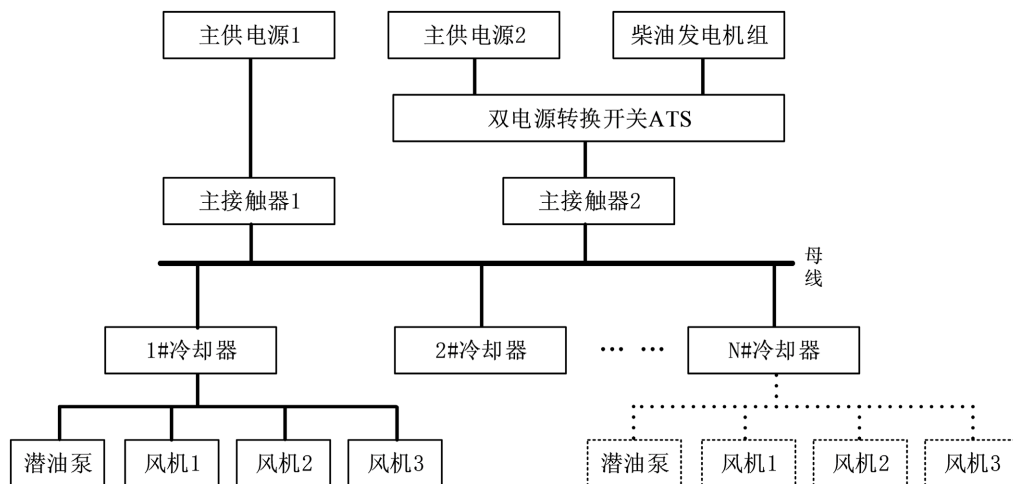


Figure 4. Structure diagram of improved main circuit  
图 4. 改进后主回路结构图

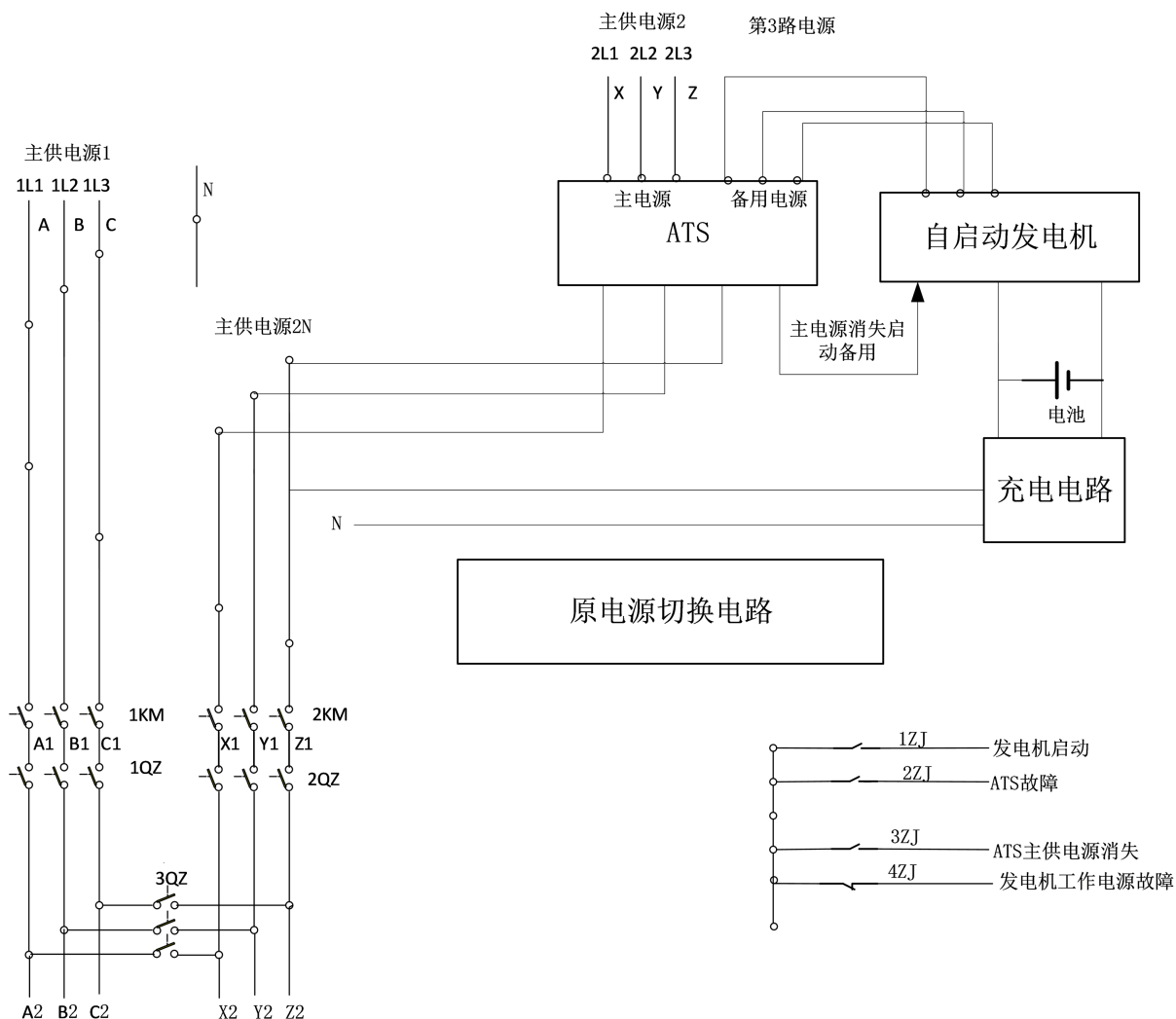
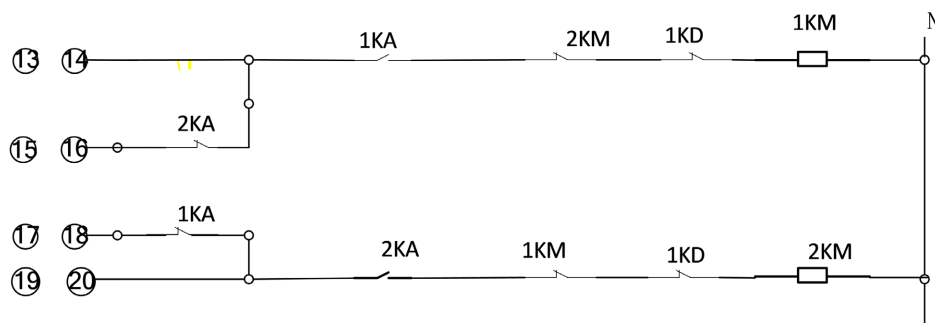


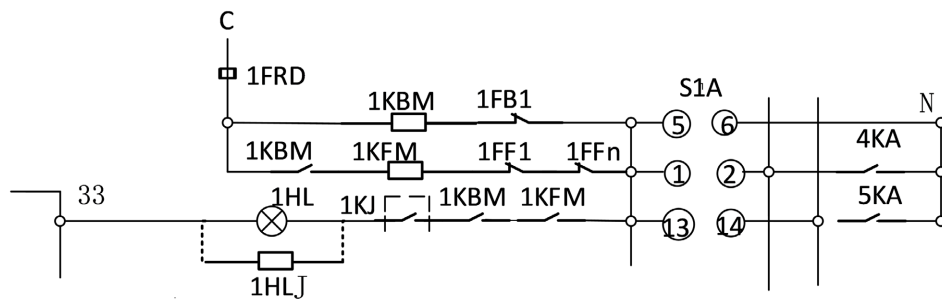
Figure 5. Schematic diagram of uninterruptible power supply improvement scheme  
图 5. 不间断电源改进方案原理图

将主供电电源 2 接至 ATS 的主电源上，将自启动发动机输出作为第三路电源接至 ATS 的备用电源接口，ATS 的输出接至原来的主供电电源母线上。从主供电电源 2N 上引单相 220 V 交流电通过充电电路给自启动发电机的蓄电池进行充电。双电源转换开关工作在自投自复模式，主供电电源 2 正常的情况下，开关自动转换至常用电源位，输出主电源 2。当 ATS 主供电电源消失，即图中主供电电源 2 消失时，中间继电器 3ZJ 的常开触点闭合，自启动发电机接收 ATS 主电源消失信号，启动发动机，常用电源转换至备用电源工作，如常用电源恢复正常，应重新转换至常用电源。

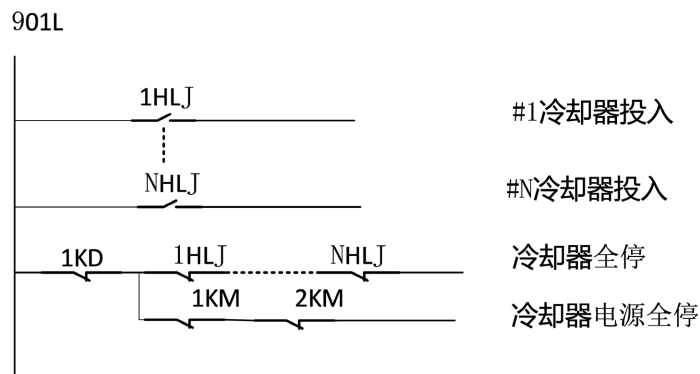
改进回路如图 6 所示，在图 6(b)控制回路改进示意图中，在#1 冷却器投入指示灯 1HL 的两侧并联了一个中间继电器 1HLJ 线圈，在 1KJ 的常开触点闭合时，1HLJ 线圈得电，图 6(c)信号回路中输出#1 冷却器投入信号。通过中间继电器 1HLJ-NHLJ 常闭触点串联，在冷却器全停时输出信号。在电源 I 和电源 II 故障时，主接触器 1KM 和 2KM 辅助常闭触点恢复闭合，输出冷却器电源全停信号。



(a) 电源切换部分修改示意图



(b) 控制回路修改部分示意图



(c) 信号回路修改部分示意图

Figure 6. Improved loop

图 6. 改进回路



## 4. 试验及运行

根据前述方案,对国网湖南省电力有限公司常德供电分公司某变电站#2 主变的冷却系统进行了改进。图 7 为某 220 kV 变电站#2 主变施工现场,图 8 为现场安装的自启动发电机组低压控制箱,在现有控制柜一侧增加一个不间断电源柜,保证主线路接线最少,同时对控制柜的接线进行改造。施工后,进行了相应的试验测试,测试结果表明对于输入市电或相位缺失时系统能及时监测并发出告警信号,功能正常。在原有两路供电系统故障时能够自动投入,切换时间  $\leq 1\text{ s}$ ,能够满足实际安全运行的需求。



Figure 7. 220 kV Substation #2 main transformer air cooling system uninterruptible power supply reconstruction construction site drawing

图 7. 220 kV 变电站#2 主变风冷系统不间断电源改造施工现场图

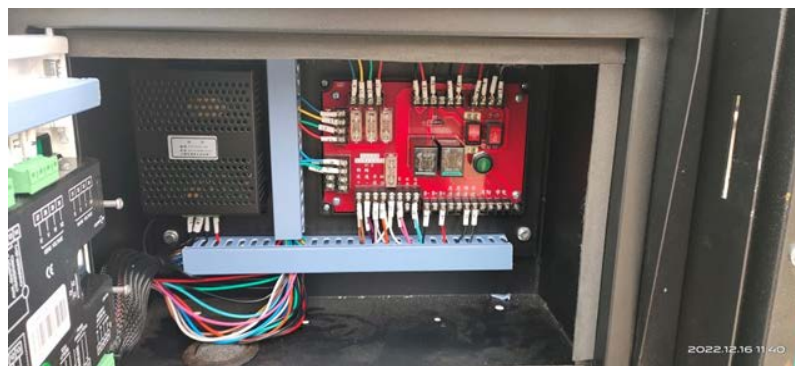


Figure 8. Self-starting generator set low voltage control box

图 8. 自启动发电机组低压控制箱

## 5. 结论

在大型变压器运行中,出现两组冷却系统全停事故使主变压器跳闸或被迫减负现象时有发生。本文立足于工程实际问题,对冷却系统控制回路进行改进后,在主电路中增加一组自启动发电机作为备用电源,通过 ATS 实现主电源故障情况下第三路应急电源的投入,保证主变冷却系统电源的稳定可靠。运用该方案已经成功对 220 kV 变电站主变控制系统进行了改进。改进后,两路电源失电情况下,自动启动第三路备用供电电源系统供电,避免了原有设计中冷却系统电源停电超过 20 min 且主变油温超过 75℃或失电超过 60 min 导致的主变三侧开关强制跳开,主变非计划停运事故的发生。实际运行情况表明,该方案运行稳定可靠,特别是能够显著提高重点负荷的供电可靠性。此外,该方案还具有改造成本较低,整体技术实现难度不大,改造周期短等优势,可为后续同类变电站冷却系统改进项目提供解决思路。

## 基金项目

国网常德供电公司群众性科技创新项目：220 kV 强迫油循环风冷主变压器冷却系统不间断电源供电系统改进和优化设计(5216J0220003)。

## 参考文献

- [1] 邱静宜, 丁可为, 卓旺权, 何敏, 陈川. 变压器冷却器系统防全停优化方案分析及实施[J]. 电世界, 2017, 58(2): 8-9.
- [2] 丘演峰, 曾招辉. 220 kV 主变强油循环风冷全停延时起跳回路探讨[J]. 电气技术, 2013(6): 71-74.
- [3] 王道志. 变压器强油风冷却器电源自投及故障信号电路的改进[J]. 变压器, 1999, 36(12): 34-36.
- [4] 刘延超, 翟常营, 洪序平, 等. 核电站变压器智能冷却监控系统设计研发[J]. 工业仪表与自动化装置, 2022(5): 84-90.
- [5] 卢屹磊. 基于 PLC 控制的风冷系统研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北科技大学, 2018.
- [6] Liu, S.-G. and Xi, Z. (2008) Application of PLC in Large Transformer Cooling System. *Proceedings of 2008 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Kunming, China, 12-15 July 2008. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2008.4620717>
- [7] 郭大朋. 大型变压器冷却系统经济运行智能控制[J]. 变压器, 2020, 57(9): 44-47.
- [8] 章忠国, 刘爽, 姜益民, 等. GBT 6451-2015. 油浸式电力变压器技术参数和要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [9] 程涣超, 凌愨, 李鹏, 李博. DL/T 572-2010. 电力变压器运行规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [10] 秦卓欣. 主变冷却器控制回路的分析与改进[J]. 电工技术, 2016(5): 53-54.
- [11] 何宇, 邢小平, 于帅. 储能和柴油发电机两级应急电源供电策略[J]. 船电技术, 2021, 41(9): 30-34.
- [12] 裴丽秋. 主变风冷控制系统故障的原因分析与改进[J]. 电气技术与经济, 2022(4): 125-130.
- [13] 张向荣. 石家庄某 500 kV 变电站主变智能冷却控制系统的设计与研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2017.