

主变智能温控系统的研究

罗 恒，史秋芸

(无锡供电公司，江苏 无锡 214000)

摘 要：随着负荷增长，很多室内自冷主变在夏季高温时存在高温报警的隐患。本文在原有传统风冷控制系统基础上，改进设计了主变智能温控系统。该系统具备两个可调温度节点，可根据实时油温进行逻辑判断，来实现对风扇启停的控制。经多次试验分析，该系统运行稳定，可在油温较高的时段启动，起到抑制油温上升速度和降低油温的作用，在油温较低的时段停止运行，从而节约电能和降低设备损耗，具有高效节能的效果，并且能带来明显的经济效益。

关键词：主变；风冷；智能温控；经济高效

0 引言

随着一流电网建设的不断推进，电网设备可靠性及安全性的要求越来越高。主变作为整个电网中的枢纽设备，其重要性不言而喻，因此对于主变的安全可靠性一直是电网建设运行中的重中之重。影响主变寿命和容量和主要因素是温度。主变绝缘可以耐受的温度越高，则主变的寿命越长、容量越大。然而，在现实运行环境中，主变绝缘的耐受温度是有极限的（A级绝缘极限温度为 105℃），所以，适当降低主变温度意味着主变可以获得更长的寿命和更高的容量^[1]。

主变冷却系统可以大致分为自冷、风冷两种。就目前而言，大量 110kV 的室内变均为自冷主变，然而，伴随着负荷的增长，很多室内自冷主变在夏季高温的炙烤下由于热量无法快速排出而导致油温、油位超限报警，需要检修人员及时赶到现场进行处理，更严重者会导致压力释放阀动作而造成主变跳闸停电。有部分地区每年夏季还会单独对部分室内自冷变电站进行高温特巡，增加了额外的检修巡视成本，上述问题迫切需要得到解决^[2]。

1 主变风冷控制系统

1.1 室内自冷主变运行现状

经调查，某市供电公司变电检修室管辖市区 102 座 110kV 变电站和 25 座 35kV 变电站。其中，室内自冷主变共 64 座，主变 100 台。自 2012 年起，该公司变电检修室组织各专业人员对负荷大、

易超温超限的变电所进行夏季特巡。2013 年 7、8 月对需要进行监控的 21 座重载室内自冷变电站每月巡视一次，约占所有室内自冷变电所的 33%。针对重载主变，变检室夏季 7、8 月由一次、二次、电试专业各 1 人组队进行特巡，按照 PMS 系统中平均人员成本 60 元/小时、车辆成本（油耗、折旧）90 元/小时（工作人员 1 人兼驾驶员）计算如下：

单次巡检成本=3×60×90÷60+90÷60×50=315 元

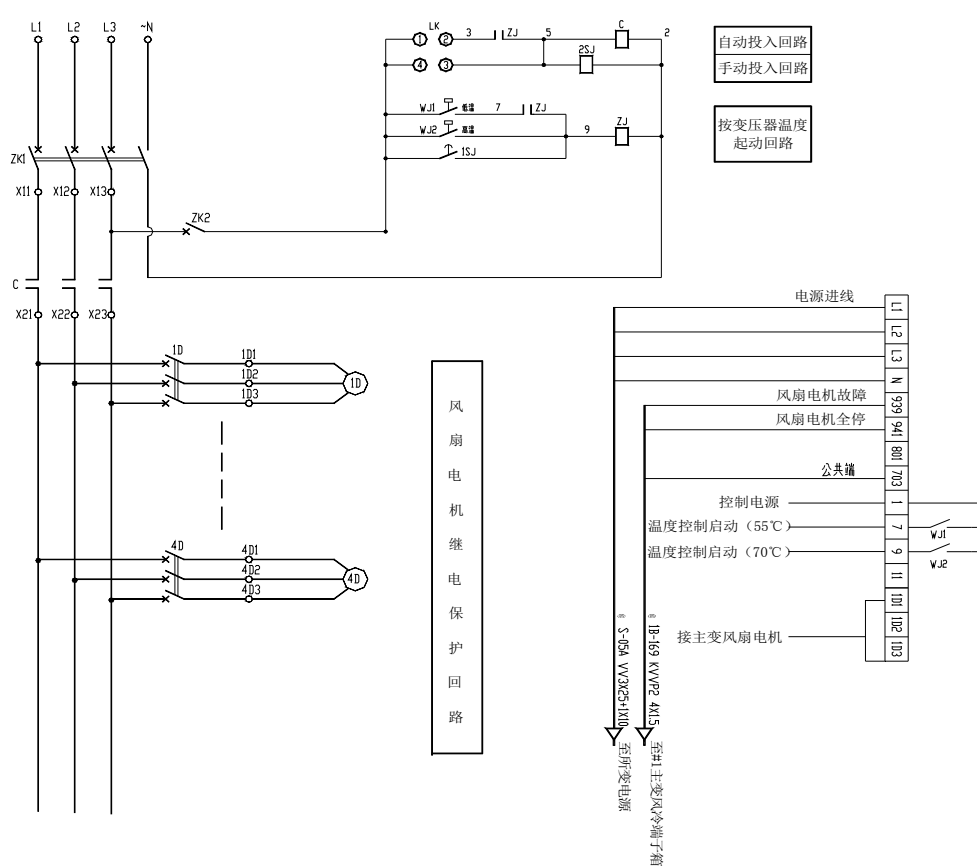
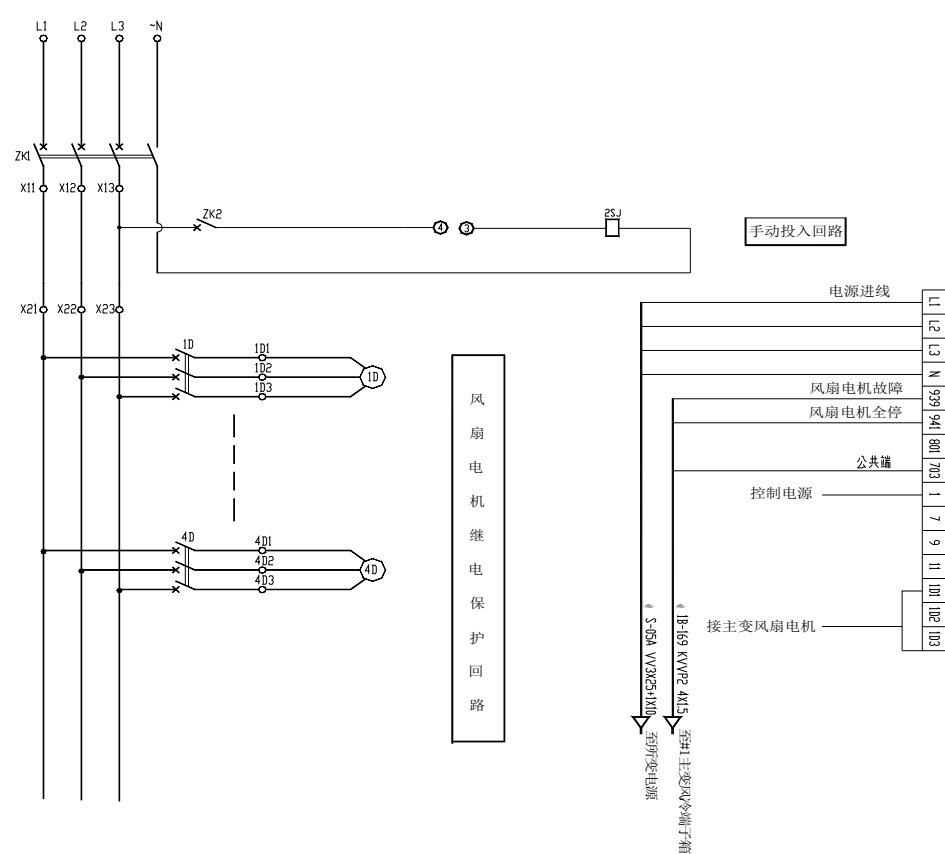
每座变电站全年巡检成本为 315×2=630 元。

此外，在重载主变发生超温超限报警时，检修人员如果赶赴现场不及时，主变很有可能会发生内部压力超过限定值导致压力释放阀动作、主变跳闸的事故，所以对重载室内自冷主变加装风冷系统十分必要。

1.2 主变风冷系统

变压器风冷是在自冷的基础上，在油箱壁或散热管上加装风扇，利用风机帮助冷却。一般情况下，主变加装风冷系统后可扩容 25%~35%。主变风冷系统散热效果好，其制造和维护成本也相对较高。传统的主变风冷系统控制模式为单一控制，即只具备开启和关闭功能。其控制系统如图 1 所示。

其中，ZK1 为空气开关，用于控制三相电路总电源的开断；2SJ 为手动投入回路控制器。939 与 941 分别为风扇电机故障和风扇电机全停（电源失电）信号，1D 至 4D 为四组风扇。接通电源后，手动投入风扇，则风扇启动，为主变散热。



传统风冷控制系统的优点是控制逻辑和控制原理简单，其缺点是控制模式单一，仅具备启停功能，在一般情况下，凡是安装有风冷控制系统的主变，无论环境温度及油温为何种情况，其风冷装置一直为运行状态，不利于风冷设备的有效利用，长时间运行还会导致设备加速老化和损坏，降低其使用寿命，另外，也不利于节能环保，长期耗电电能和产生噪音^[3-5]。

2 基于智能温控的主变风冷控制系统

2.1 主变智能温控系统设计及原理

本文基于现有的风冷系统，设计出一种能够依靠温度进行风机开启和停止的装置电路图，通过优选合适的风机、元器件和材料，来完成整个主变智能温控系统的构造；从而减少检修和运行人员的工作成本，提高设备运行的可靠性和稳定性，降低重载主变夏季运行的安全隐患。

具体方案设计为：四组风扇+手动投入回路和自动温控智能启停回路，在回路中设置风机全停、故障等信号。考虑到若自动智能温控启停回路发生问题，可切换至手动投入，不影响主变运行，因此依旧保留手动投入回路。智能温控系统如图 2 所示。

智能温控系统在原风冷系统回路的基础上，引入了电子接触器 C，同时在 220V 回路中串入了自动投入回路和接触器 ZJ、1SJ，并在油温计上接可调温度节点 WJ1（对应启停温度 60℃）、WJ2（对应启停温度 70℃）。WJ1 和 WJ2 对应的启停温度可以根据需求进行调节。其工作原理及过程如下：闭合接触器 ZK1，将回路投入自动状态；当温度计油温达到 60℃时，WJ1 先闭合，此时，由于 ZJ 是断开的，整个回路不带电；70℃时，节点 WJ2 接通，ZJ 闭合，接触器 C 带电闭合，使整个风机回路闭合，四组风机开始进行散热工作。当温度计油温跌落至 70℃时，节点 WJ2 断开，此时，由于 WJ1 未跳开，回路仍旧接通；当温度跌落至 60℃时，WJ1 断开，ZJ 失电，接触器 C 断开，风冷回路断开，风机停转。

智能温控系统利用两个温度节点 WJ1 和 WJ2，通过油温计测量的油温来进行逻辑判断，来实现对风扇启停的控制。控制过程如图 3 所示。

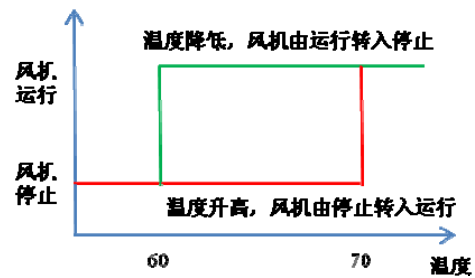


图3 智能温控系统启停控制示意图

另外，还增强了风机支架的稳固，同时对端子箱进行线路简化并加强密封箱，提高其抗湿防潮能力，加强设备运行的稳定性和可靠性，降低故障率。经过市场调查研究，根据以往的经验 and 实际操作环境选择了西诺 DBF-5Q 风扇和西门子的 3TB41 接触器，前者具备功率大、静音性好、维修方便的特点，后者具有物美价廉、安装方便快捷、轻便可靠等特点。

2.2 主变智能温控系统先进性分析

本文设计改进的智能温控系统在很多方面具有优越性。

（1）技术上的优越性

首先，在智能温控系统回路中，由于设置了温控启停，从最大程度上降低了风机不间断运行而造成的老化和磨损，有效延长了风机的寿命，在保证重载主变可靠运行的基础上最大程度降低了装置的使用成本。第二，在设置温控启停回路的同时并没有放弃老式的手动投入回路，该回路可作为温控启停回路的备用，在温控启停回路发生故障时及时投入使用，确保不影响重载主变的稳定运行，也提高了自身设备的稳定性。第三，系统自带故障信号回路，当智能温控系统由于各种原因发生故障而使得风机停运时，检修人员可以在短时间内根据信号更换故障部件，使系统重新运行，提高了检修效率。

（2）安全上的优越性

智能温控系统在安全性上也有较大的优越性，缓解了重载主变夏季超温超限的情况。一般情况下主变在上层油温超过 80℃时会发超温报警信号，而智能温控系统在 70℃时启动，立刻对重载主变进行降温处理，尽量避免主变发生超温超限的情况，提高了主变运行的可靠性与稳定性。

（3）经济上的优越性

任何方法的改进必须朝着更加经济更加安全的方向进行。该系统的使用，可在不久的将来避免检

修、运行人员针对重载主变进行的特巡工作，降低工作成本，在降低设备故障率的同时提高检修工作的安全性，节约了大量的劳动力；同时，以杨家变为例，2013 年 7 月 1 日 2#主变油温高达 82.78℃，发超温报警，此时主变负荷已达 97%，据超限只有 3%的余量，十分危险；在加装智能温控系统后，当夏天用电高峰来临时，2#主变温度未超过 72℃，负荷未超 87%，若以 93%的负荷为报警提前量计算，重载主变还能提升 6%的负荷容量而不超温超限，如以夏季 8 小时工作时间来计算，改装后可以达到很客观的经济效益。

3 主变智能温控系统应用及分析

3.1 主变智能温控系统实际应用

为验证本文设计改进的智能温控系统的实际应用效果，2014 年 8 月，把风机和控制端子箱在杨家变 2#主变安装并进行试验，并择日对试验情况进行了观察和记录，从 9:00 至 20:00，每隔一小时观测一次油温和风扇运行情况，验证智能温控系统是否能正常工作。

表 1 主变观测记录表

日期	(一) 8 月 2 日		(二) 8 月 12 日		(三) 8 月 22 日	
观测时间	记录温度/℃	风扇运行情况	记录温度/℃	风扇运行情况	记录温度/℃	风扇运行情况
9:00	58.4	静止	59.8	静止	56.7	静止
10:00	59.2	静止	60.4	静止	58.9	静止
11:00	62.1	静止	63.4	静止	61.6	静止
12:00	65.7	静止	66.3	静止	65.1	静止
13:00	69.1	静止	70.4	运转	69.2	静止
14:00	74.4	运转	75.7	运转	73.3	运转
15:00	75.1	运转	77.2	运转	75.5	运转
16:00	72.8	运转	74.5	运转	73.2	运转
17:00	68.6	运转	71.2	运转	69.7	运转
18:00	63.8	运转	66.5	运转	64.8	运转
19:00	59.1	静止	61.1	运转	59.2	静止
20:00	58.3	静止	58.8	静止	56.8	静止

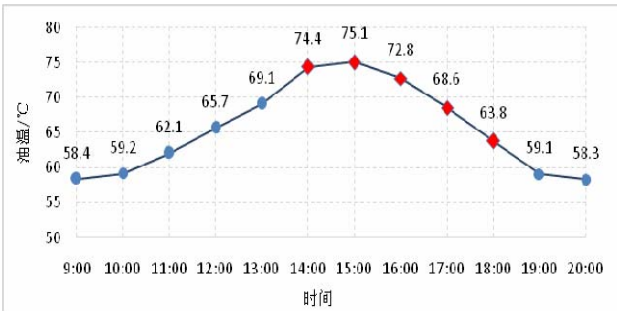


图 4 主变观测结果（一）

(注：图中，●表示风扇未启动，●表示风扇启动，下同。)

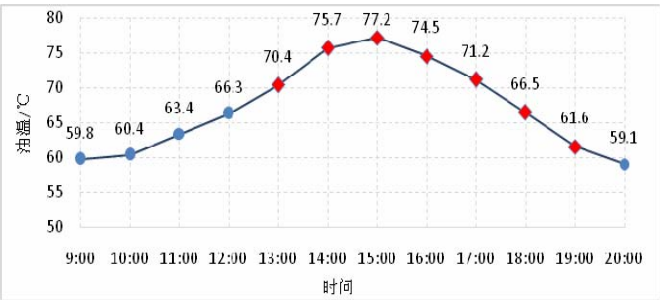


图 5 主变观测结果（二）

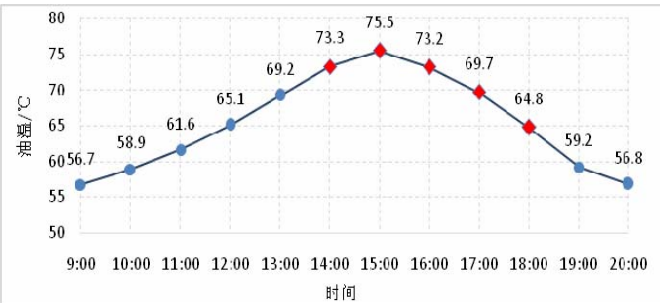


图 6 主变观测结果（三）

由上述图表分析可知，智能温控系统能按照所设定的启停温度对风扇进行控制。在油温达到所设定的启动温度 70℃后，该系统启动，风扇运行，在油温降至所设定停止温度 60℃时，风扇停止运行。经过多次试验统计，智能温控系统运行良好，满足控制要求。

3.2 智能温控系统效果分析

为了分析智能温控系统使用效果，作为对比，以 8 月 12 日为例，同时记录杨家变 1#主变（未安装风冷系统）和万象变 1#主变（安装传统风冷系统）的油温变化情况。三者油温变化情况对比如图 7 和表 2 所示。

由上述图表可知，未安装风冷系统的杨家变 1#主变在下午 15:00、16:00 时，油温已超过高温报警温度 80℃，而且整个观测时段内，油温整体较高。安装传统风冷系统的万象变 1#主变在整个时段内，油温较低，相比未加装风冷系统的主变油温降低了约 7℃，但是由于该风冷系统始终处于运行状态，在一些油温较低的时段略显浪费资源。对于安装智能温控系统的杨家变 2#主变来说，智能温控系统仅在 13:00 到 19:00 时段内启动，在油温上升阶段，智能温控系统明显抑制了油温的上升速度，降低了主变油温的最高温度值；在油温下降阶段，也加速了油温降低的过程，相当于对油温变化

起到了“削峰”作用，有效地避免了主变在高油温时段存在的安全隐患。

智能温控系统能够仅在油温较高的时段启动，

起到抑制油温上升速度和降低油温的作用，在油温较低的时段停止运行，从而节约电能和降低设备损耗，具有高效节能的效果。

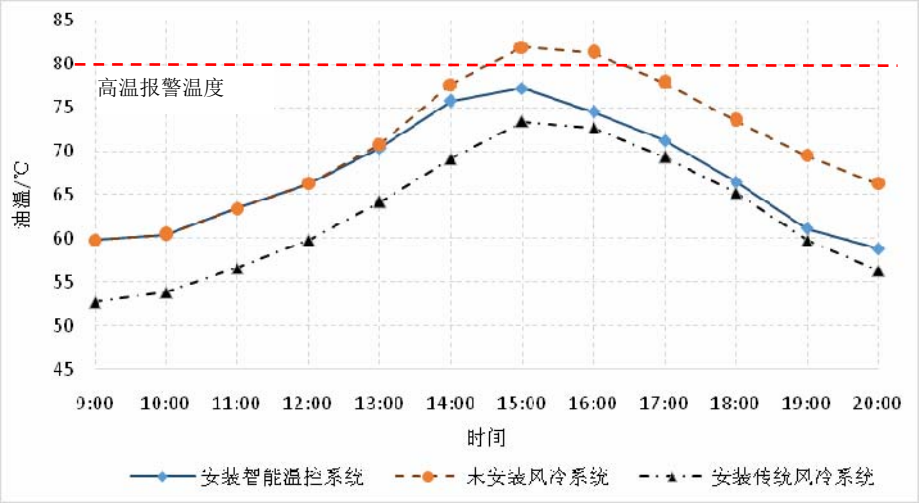


图7 杨家变2号主变周期巡视结果

表2 主变油温记录对比表

观测时间	主变记录温度（℃）		
	杨家变 2#主变 (安装智能温控系统)	杨家变 1#主变 (未安装风冷系统)	万象变 1#主变 (安装传统风冷系统)
9:00	59.8	59.8	52.7
10:00	60.4	60.4	53.8
11:00	63.4	63.4	56.6
12:00	66.3	66.3	59.8
13:00	70.4	70.8	64.2
14:00	75.7	77.6	69.1
15:00	77.2	81.9	73.4
16:00	74.5	81.3	72.7
17:00	71.2	77.8	69.3
18:00	66.5	73.5	65.2
19:00	61.1	69.5	59.8
20:00	58.8	66.3	56.3

3.3 经济效益

通过使用主变智能温控系统对重载自冷主变的改装，能够有效缓解重载自冷主变在夏季易超温超限的情况，无需检修和运行部门针对重载主变进行特巡，降低了检修成本、节约了时间，为供电公司产生可观的经济效益。现以一座单自冷主变（容量40000kVA）变电站投运第一年为例，对使用智能温控系统前后的经济数据进行对比（成本由SG-ERP中的成本为指导），如表3所示。

表3 经济对比表

指标	未装智能温控系统	安装智能温控系统	对比结果
工作时间	1.5 小时（开票结票 20 分钟，来回车程 50 分钟，巡视 40 分钟）×2=3 小时。	0 小时	使用智能温控系统节约工作时间 3 小时。
人员/车辆	出动人员 3 人，工作成本为每人小时 60 元/小时，车辆成本为每车 90 元/小时，总共为 315×=630 元。	0 元	使用智能温控系统节省劳动力成本 630 元。
成本损耗	0 元	安装主变智能温控系统的材料及人员成本经核算约为 20000 元。	使用智能温控系统增加成本 20000 元。
设备	一年经济效益 0 元	以每年夏季高温日 40 天算，每天 8 小时，每度电平均电价 0.75 元，提高容量 6%，则获经济效益 =40000×0.75×0.06×8×40=576000 元。	使用智能温控系统增加经济效益 576000 元。

由表3分析可知，该室内重载单自冷主变在安装智能温控系统后，第一年所创造的经济效益为576000元，远超过安装使用成本20000元。如果

将智能温控系统推广至全部室内重载自冷主变变电站，所能收获的经济效益将十分巨大。

4 结束语

本文在原有传统风冷系统基础上,改进并设计了智能温控系统,该系统利用两个可调温度节点 WJ1 和 WJ2,可根据实时油温进行逻辑判断,来实现对风扇启停的控制。该系统在技术、安全和经济方面均具备一定先进性。

通过现场试验和观测统计分析,智能温控系统运行良好,能够根据设定的启停温度实现对风扇启停的控制,满足控制要求。智能温控系统仅在油温较高的时段启动,起到抑制油温上升速度和降低油温的作用,在油温较低的时段停止运行,从而节约电能和降低设备损耗,具有高效节能的效果。

经过分析计算,对于室内重载自冷主变使用智能温控系统能够明显增加经济效益,若全面推广使用,则将取得巨大经济效益。

参考文献:

[1] 马利友. 110~220kV 变电站简易实用节电智能温控系统

[A]. 北京:设备与自动化控制会议论文集[C]. 2006.

[2] 林标伦. 主变风机系统实时监控的实现[J].水电自动化与大坝监测,2003(02).

[3] 李静. 防雨罩在主变温控系统中的应用[J].变压器, 2011(10).

[4] 毛长春,李胜春,盛毅. 主变测温表计校验及改进方法[J]. 湖南电力,2006,26(1).

[5] 刘丕睿. 主变温控误差分析 [J]. 云南电力技术,2010,38(6):75-76.

作者简介:

罗 恒 (1988—), 男, 陕西安康人, 从事变电检修工作;

史秋芸 (1989—), 女, 安徽宣城人, 从事变电运维工作。