基于变压器智能化温度监控装置的探索研究

变压器是电力系统的主体设备，随着变电站装机容量的扩大和综合自动化水平的提高，温度监测更为重要。在不同传感监测基础上，建立了复合监测体系，并根据变电站有人和无人值班情况，引入了计算机技术，使测试结果既能在变电站内显示，又可将信号远传到集控中心和生产管理系统，使运行人员及时采取处理措施，由此大幅度提升变压器的温度监控水平。

刘　伟/国家电网四川省电力公司计量中心
马　瑞/国家电网内江供电公司

刘　伟/工程师

关键词/Keywords
主变压器·
温度监测·
信号远传·
判断控制·

0　引言

变压器是电力传输的主要设备，在经受能量转换、负荷冲击和谐波干扰时，有可能使铁心和绕组温度异常升高，造成绝缘老化，甚至烧损事故。为此，需要良好的温度监测手段，对超温现象及时发现报警，起动冷却系统，乃至跳闸，以减少故障的发生，延长变压器的使用寿命。

变压器测温方法主要分为接触式和非接触式，它们的特点如下。

1）接触式测温元件直接与被测对象相接触，感温元件与被测物两者之间进行充分热交换，包括液体和气体膨胀式温度计；热电偶、金属电阻等热电式温度计。

2）非接触式测温器的特点是感温元件不与被测对象相接触，根据热能转变为辐射能原理，以光辐射测量为主，其中最具代表性的是红外测温技术。

1　温度监控体系

现有变压器温度监测与控制，主要采用接触式，具体测量方法有以下几种。

（1）压力式传感器在线监测

变压器油温监测器主要是对变压器上层油温的测量，其中压力传感式温控器被广泛应用，结构原理如图1所示。

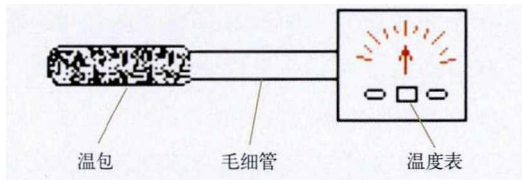

图1　压力测温结构原理

从图1中可见，压力式温控器由充满感温物质的温包、传压毛细管及温度表构成。

温包内充填的感温物质有气体、液体和蒸气等。测温时，温包置于被测介质中，温包内的感温物质因温度升高，其体积膨胀，压力增大，从而使盘簧管变形，借助齿轮或杠杆转动机构的传动，由表上指针指示出相应的温度值。此结构适合于现场温度测量显示。

当测量值超标时，同样因温包中感温物质体积膨胀，压力增大，盘簧管变形，促使齿轮或杠杆机构传动，驱动微动开关转换输出电信号，分别起动温度报警系统、冷却系统，甚至高温跳闸系统，达到变压器温度监测控制的目的。此为机械式监控。

（2）电阻式传感器在线监测

电阻式传感器测温主要用于变压器上层油温的测量，利用金属导体的电阻值随温度变化特性制作成传感器，现采用的基本为导体正温系数工作，即电阻值随温度升高而增加。该类导体在一定温度范围内，电阻－温度间具有一定线性关系，温度的变化可导致金属导体电

阻的变化。这样，只要测出电阻值的大小，就可达到测量温度的目的。

电阻式传感器的结构如图2所示。

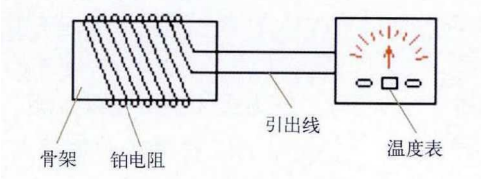

图2 电阻测温结构原理

从图2中可以看到，准确度较高的铂电阻导线缠绕在骨架上，该部分设置于变压器油箱内，直接跟随温度变化。其所采集到的温度值，由引出线传送给温度表。

温度表中还要完成一系列计算等处理，在处理中，涉及到电阻与温度的关系式为

$$R_t = R_0[1+a_0(t-t_0)]$$

式中，R_t为温度为t时的电阻值；t_0为起始温度，一般规定为0℃；R_0为温度为t_0时的电阻值；a_0为温度系数（以0℃为起始的温度）。

Pt100：铂电阻0 ℃时电阻为100 Ω，100 ℃时电阻为138.50 Ω。

温度表根据技术处理和计算结果，显示出在线温度测值，并将分别起动温度报警系统、冷却系统，甚至高温跳闸系统，达到变压器温度监测控制的目的。此方法为热电型监控方式。

（3）压电传感结合式在线测温

前面分别介绍了电阻式与压力式变压器在线温度监测体系的单一方法，为了更先进完善，融合各自的优点，进一步设置了压电传感结合式在线测温装置，在实用中将发挥更大的功能作用。机电式测温结构原理如图3所示。

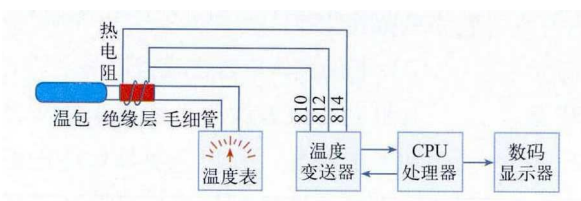

图3 机电式测温结构原理

在图3中，除文字标注外，数字为输入线号。从中可以看到，压电结合式在线测温装置的传感器是由温包与热电阻相结合的双重结构。

其中温包利用充填在内部的介质材料随温度变化而体形变化的特点传感采样，通过毛细管的传递引导，在控制器中使盘簧管变形，推动齿轮或杠杆转动机构动作，由表上指针指示出相应的温度值，并触发不同开关，接通各自电路，完成冷却风机和保护跳闸机构的起动，实现控制功能。此结构主要为机械动作完成，较适合变电站内部的监测控制。

本装置还融合了铂电阻传感监测方式，既实现温度的准确测试，又能把信号远传，这在在无人值班变电站中特别实用。

从图3中还可看到，高准确度铂电阻导线缠绕在骨架或加有绝缘保护层（图中灰色部分）的毛细管上，该部分随温包设置于变压器油箱内，直接跟随温度变化，采集运行温度变化值，所采集到的温度值由引出线传送给温度变送器。变送器再将温度转换为电压（0～5 V）或电流（4～20 mA）的电信号。这些电信号又被进行模数转换，进而将转换后的数字信号送给CPU微处理器，进行分析计算和比较判断，还原显示变压器实际油温数值。被测的油温数值还将传送给上位机和通信网络，传送给集控中心和生产管理系统，发出起动冷却系统和保护动作的指令，实现变压器远方监测控制的目的。

两种方式可以互补，甚至相互甄别，只有监测数据一致方为正确。若悬殊较大，则必须引起重视，查找原因。检测是主变压器温升变化，还是某监测系统出现问题，有针对性地做出改进处理，以恢复正常工作。故机电共用式具有双重功效，值得现场广泛采用。

2 智能监测系统

前面已述，变压器温度监控装置由传感器采集到的变化量值，经变送器转换为电信号后，再传送给单片智能系统，完成后续的比较判断、显示报警和控制起动等工作。下面，将介绍监控装置的软硬件结构。

2.1 智能处理器结构原理

本主变压器温度监测智能处理器结构如图4

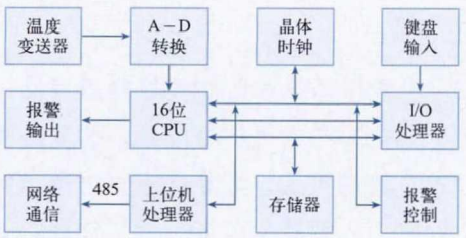

图4 主变压器温度监测智能结构原理

所示。

从图4可以看到，主变压器在线监测的温度，经变送器转换为电信号，再开展与智能系统相关的处理工作，下面将分别介绍各单元功能。

（1）A－D转换

因前端变送器传来的不论是电压信号还是电流信号，均为模拟信号，而智能芯片响应的是数字信号。为此，首先要进行A－D转换，将采集到的模拟信号转变为数字信号，再由数据总线传送给CPU，进行比较判断等工作。

（2）时钟芯片

装置内部设有石英晶体振荡器、分频和计数器等，以产生年、月、日、时、分和秒走时信号，其用途是既确定扫描时间间隔，又记录故障发生时刻等，以便于分析处理。

（3）键盘设置

在主变压器温度监测智能结构中设有键盘和I/O接收处理器。该处理器是RAID控制器的指令中心，实现包括PCI和SCSI总线数据传输等，在与键盘相互配合中，完成人机对话，可作被测主变压器编号、温度报警与控制、时间校正和通信规约设置等；又可结合液晶显示屏作温度监测值、故障时间等调看和查询。

（4）CPU处理器

CPU智能芯片通过地址总线和数据总线，接收电流互感器和键盘人工设置的双重信号，按周期循环采集数据，进行计算、分析、比较和判断等处理。随后，将处理结果储存、显示、报警及输出控制信号，传送给上位机，作更多主变压器台次、更宽监测范围的编排、制表等处理。

（5）通信网络

已测得的变压器温度数值，还将按现场适应的通信规约，经RS 485接口等将信号传递到系统网络上，使集控中心和安全生产管理人员在远方也能了解掌握主变压器温度变化情况，对超标事故及时排查处理，以保证主变压器的安全运行。

2.2 软件流程

在主变压器温度监测中，将采集信号和键盘输入指令送给主机进行比较判断，并将结果进行储存显示等，除硬件功能外，还需软件配合方能完成。对此，编制出了相关软件流程，如图5所示。

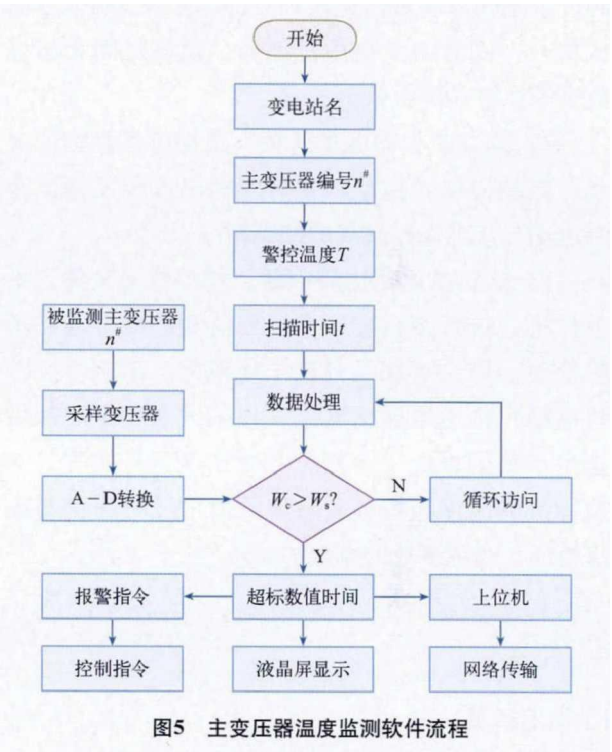

图5 主变压器温度监测软件流程

由图5可见，装置首先进行人机对话，从键盘中输入被监测变电站名、主变压器编号$n^{\#}$、超标（含报警、冷却和跳闸起动控制）温度值T、采集时间间隔t，本装置取为10 s，这是做延时处理，避免瞬时冲击，以确认故障真实性。

当内部参数设置完毕，便进行数据转换处理，形成单片机能识别的二进制码，输送给CPU作比较判别。

另一侧，由温度传感器对被监测的$n^{\#}$主变压器进行采样，并经A－D模数转换，送给单片机进行外部温度测试值W_c与内部温度设定值W_s的数据进行比较。正常时，外部采集信号W_c接近于0，必然

小于内部设定信号W_s，即在“$W_c > W_s$？”的查询比较中，结论相反，所以从比较器的N端输出，继续“循环访问”；当主变压器温度超标，在“$W_c > W_s$？”的查询比较中，结论相同，监测信号则从比较器的Y端输出。

Y端输出的信号将分为三路传送。

1）第一路送给液晶显示屏，在“循环访问”中，程序是按变电站名、主变压器编号和时间间隔逐条进行查询比较的。所以，当发现温度超标时，装置内部将做出记录和存储，并在Y端输出测试信号，同时将主变压器编号、超标时间和超标数据等在液晶屏中做出显示。

2）第二路起动电子开关，根据超标数据的大小，只输出报警指令，或者既输出报警又输出冷却起动，甚至保护跳闸的控制指令。

3）第三路根据比较判断，相关信号又传送给上位机，进行多台次主变压器监测的整合与归类等处理，使之更加系列化、规范化。随后再经接口电路，传送给通信网络，使远方集控中心和安全生产部门也能了解相关主变压器运行情况，对监测到的温度超标等故障现象做出及时防护与维修处理，以免事故的蔓延扩大。

3 结束语

针对主变压器温度监测控制的重要性，运用了压力、热电为传感采样器的单一与复合测试的应用方式，改进不足，汇集优点，力争最佳监控效果。同时引入智能手段进行优化处理，增强了温度超标故障的分析判断能力，利用CPU微处理器和RS 485通信接口，在扩大变电站及主变压器监测范围中发挥了极大作用。本监测装置的研制投用，将大幅提高电力系统的安全水平，增强发输配的运行稳定性。

参考文献

[1] 刘常满．温度测量与仪表维修问答 [M]．北京：中国计量出版社，2000．

[2] 胡开明．变压器温度监控系统的设计 [J]．自动化技术与应用，2008 (27)：88-90．

[3] 马景利，智奇楠．变压器多路温度监控系统设计 [J]．天津职业技术师范大学学报，2012，22 (3)：17-20．

（收稿日期：2017－04－16）EA

(上接第39页)

4）该次事故的另一个原因是风机塔地网接地电阻偏高。对于风电机组接地电阻一般都是按风机制造厂要求，一般不应大于4 Ω。目前，风电场部分风电机塔的接地电阻均大于4 Ω。建议对风机塔接地网进行改造，尽可能降低地网接地电阻值，使之满足厂家要求。

5）有资料提到三角形联结的变压器在相间安装避雷器大雷电防护措施，主要考虑变压器低压侧雷电保护措施失效的情况下，低压侧地电位升高引起的过电压通过变压器绕组间的电磁耦合，在高压绕组两端形成过电压危及变压器绕组绝缘安全。因为在这种情况下，高压侧相安装的避雷器起不到保护作用。为完善变压器雷电防护措施，可在变压器高压绕组相间安装避雷器。

4 结束语

山地风电场箱式变压器防雷，国内目前还没有统一的技术规范和标准，箱式变压器防雷设计还是采用通常35 kV变压器的防雷技术。实际运行中，35 kV箱式变压器因雷击损坏事故频发，严重影响了风力发电场安全稳定运行。本文通过一个箱式变压器雷击损害事故为案例，提出风电场箱式变压器防雷技术要求，针对目前的防雷措施中存在的问题提出改进措施，完善风电场箱式变压器防雷技术措施，提高设备防雷水平，保障风电场箱式变压器安全、稳定运行。

（收稿日期：2017－06－20）EA