

[变压器]

光纤温控器在超高压变压器的应用研究

文/潘 岩 章海斌 黄石磊 马 凯 彭翔天
国网安徽省电力有限公司超高压分公司

温度控制器是超高压主变压器的核心部件，温控器运行的可靠性关乎主变压器的可持续运行，具有重要作用。基于传统超高压主变压器温控器运行中的常见缺陷与主变压器结构，对不同主变压器温控器改造方法进行对比，并通过超高压主变压器温控器改造案例给出了具体改造方法，以为光纤温控器在超高压变压器中的应用提供参考。

近年来，随着我国对于主电网架建设改造的持续投入，超高压变电站大量投运，超高压网架趋于完善。油浸式电力变压器是超高压电网中最关键的设备之一，它的性能对整个电网的可靠运行起到至关重要的作用。主变压器的温度控制依靠变压器温控器测量温度，控制冷却器启停使主变压器温度保持在合理范围内，同时向后台传递温度信号给予运维人员辅助判断变压器运行状态。目前应用的传统变压器温控器测量精度低、故障率高，不仅会影响变压器冷却自动装置的控制，而且容易导致变压器局部过热，进而引发一系列恶性事故，给变压器的安全运行带来不利影响。因此，在运的超高压变压器温度控制器需要一种综合有效的改造方案。

变压器温控器运行中典型缺陷

目前常用的超高压变压器温度控制器为普通压力式变压器温控器，即利用封闭容器内的液体、气体受热后产生体积膨胀或压力变化作为测温信号，传送至表计带动机械指针转动，同时通过温度变送器将温度信号转换为4~20 mA的模拟量传输至监控后台。此类温控器在运行过程中存在以下典型缺陷：

1. 表针松动或传动卡涩

由于表针以及内部传动采用机械传动方式，在变压器长时间运行中，受外界影响仪表指针可能会出现松动甚至脱落现象，内部机械传动部件也会出现卡涩情况，导致温度显示不准确。

2. 行程开关故障

行程开关采用机械触点式结构，长时间运行的行程开关受温湿度影响较大，触点铜片易老化，从而出现粘连、误动作及不复位等现象，导致开关无法正常控制冷却系统以及发送非电量信号。

3. 温度变送器故障

温度变送器是温控器向监控后台传递温度信号的装置。通常采用220 V或24 V电源，电源不稳定供电情况下容易烧毁，易受干扰及影响出现误报警现象。

4. 温包漏液

温包是温控器测量变压器油温测量装置。温包内部是特殊感温介质，采用热胀冷缩原理，通过转向联动推动机芯传动来实现温升转化。由于填充介质需密封处理，封装时采用激光焊接方式，焊接点长时间暴露在户外会存在开焊及漏液的情况，一旦漏液，则会出现数据不准、温度测量偏差大的情况。

国网安徽省电力有限公司科技项目资助-1221P8 基于光纤测温的变压器温度控制器的研制

综上所述,目前使用压力式变压器温控器由于其特性和原理的限制,难以从根本上降低故障率。变压器温控器的各种缺陷会导致变压器温度信息永久性或间歇性采集不准确,成为变压器运行过程中的巨大隐患。

基于光纤测温的变压器温控器改造技术

为了提高超高压油浸式变压器测温与控制精度,避免传统温控器的多种缺陷,在运变压器普片使用光纤温控器替代传统的机械式温控器。光纤测温的温控器使用光纤探头,深入测温部位将温度

信息采集至测温主机。测温主机本体温度使用液晶显示屏显示,后台温度通过测温主机内部特定的通信协议,传输至监控后台。同时使用控制主机内部微机系统控制冷却系统的起停,达到控制温度的目的。光纤温控器从原理上避免了传统温控器多种常见缺陷,提升了温控器的运行可靠性。

出于成本考虑,大多数光纤温控器将变压器的油温与绕组温度显示与冷却器控制集中在一台测温主机上,常见的变压器光纤测温温控器功能模块如图1所示。

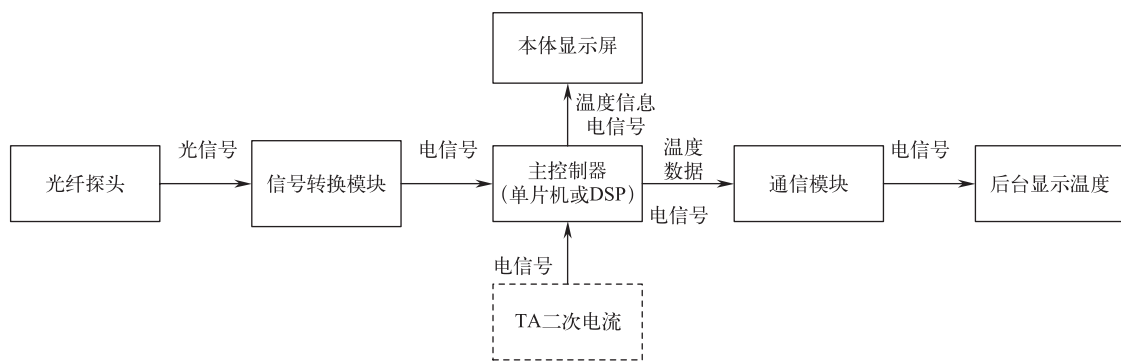


图1 光纤温控器各模块功能示意图

目前常见的光纤温控器主机原理与功能基本一致,但光纤探头在主变压器上的安装方式存在区别,常见的光纤探头安装方式有以下两种。

(1) 光纤嵌入安装方法

变压器器身组装制造、变压器本体安装或本体油箱排油内检阶段,在变压器油箱内部预埋绝缘材料制成的光纤,将光纤埋入变压器内部绕组中。同时在油箱外壁开孔安装箱壁穿通件法兰,在箱壁穿通件法兰上安装光纤贯通器,将油箱内部光纤与外部光纤相对接,以达到向测温主机传输光纤信号的目的,具体结构如图2所示。

光纤嵌入安装方法可以对绕组温度与油温进行直接测量,不需要采集TA二次电流用以模拟绕组温度,能够精确测量变压器内部油温与绕组温度,且光纤探头与光纤由绝缘材料制成,抗电磁干扰能力较强,不会对变压器的内部绝缘造成影响。具有测温响应快、精度高等优势。

嵌入安装光纤需要在变压器本体油箱内箱壁上开孔安装箱壁穿通件法兰与光纤贯通器,存在后期渗油隐患。此外内部预埋的光纤若发生故障,则需

要对主变压器进行排油内检后方可进行检查和更换,检修周期较长不利于后期维护。

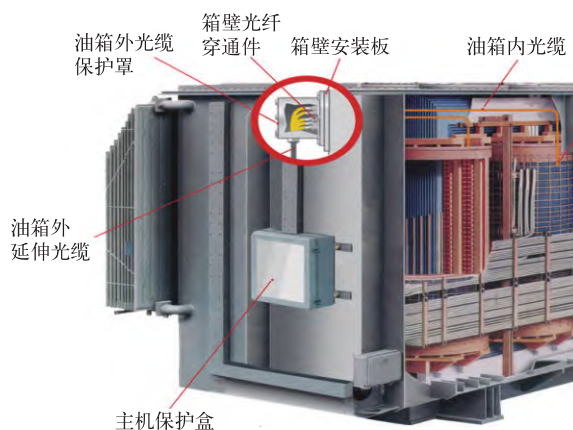


图2 光纤嵌入法安装示意图

(2) 盲孔安装方法

变压器停电检修阶段,在变压器顶部本体预留的盲孔内部,插入与盲孔尺寸相匹配的光纤探头传感器。光纤探头传感器将盲孔内部变压器油测温的光纤信号传输至测温主机,同时接入TA二次电流,依据变压器油温以及铜油温差参数模拟绕组温度,

具体结构示意图如图3所示。

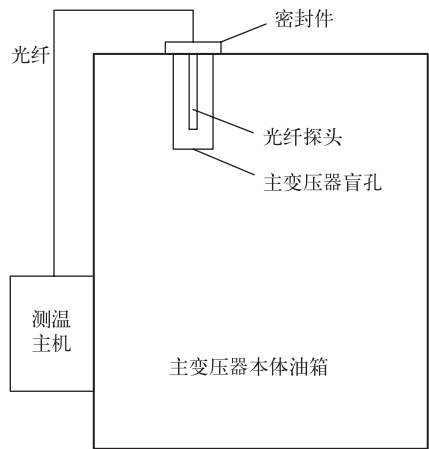


图3 盲孔安装法示意图

盲孔安装法在主变压器油箱预留的盲孔内部安装光纤探头，不需要对主变压器油箱进行改造，可以维持其原有的密封性，对于主变压器设备本体影响较小，且安装均在主变压器油箱外部进行，不涉及主变压器排油工作，安装简便，便于后期检修维护。但光纤探头在盲孔内部测量温度，对于油温变化响应较慢。此外，采用油温叠加铜油温差参数模拟出绕组温度，测量精度没有直接准确测量，但测量精度满足JB/T6302—2005《变压器用油面温控器》标准中要求的测量精度等级为1.5级要求。

综上所述，盲孔安装方法对于主变压器油温与绕组测量精度，虽然相较于光纤嵌入安装方法低，但仍满足标准要求。且该方法安装简便、便于检修维护，广泛适用于安装调试以及运行阶段的超高压变压器温控系统改造。

超高压变压器温控器改造案例分析

某500 kV变电站2[#]主变压器ODFS-250000/500，为油浸式单相自耦无励磁调压变压器，冷却方式为ONAF（油浸风冷）。2021年2月，运维人员巡视发现，500 kV 2[#]主变压器C相油温与绕温现场与后台温度见表1。

表1 2[#]主变压器C相油温与绕温统计（单位：℃）

温控器	现场	后台	差值
油温1	38	-27	65
油温2	39	37	2
绕温	45	21	24

依据《国家电网公司变电检修管理规定》中规定，就地与远方温度显示比较，相差不超过5℃。依据表1中统计数据，油温1与绕温表存在缺陷。2021年5月，该变电站2[#]主变压器停电检修，检修人员对温控器检查，发现温控器出现故障，温控器输出电流见表2。

表2 2号主变压器C相油温与绕温统计（单位：mA）

温控器	变送器输出电流	理论计算电流
油温1	0	8.028
绕温	6.23	8.77

通过表2可以看出，变送器输出电流与理论计算值偏差较大，可以判断为油温1表计与绕温表温度变送器发生故障。鉴于2[#]变压器运行时间已近12年，温控器除变送器故障外，其他部件检查也存在不同程度的老化，经过研究决定对其进行改造，更换为光纤测温的变压器温控器。

鉴于停电时间、改造难度以及后期检修维护方面的考虑，决定采用盲孔安装法对主变压器温控器进行改造，测温主机采用油温、绕温综合一体机。

在检查光纤测温变压器温控器校验报告与外观无问题后，开始对2[#]主变压器C相温控器进行改造，改造过程如下：

- 1) 将2[#]主变压器C相油温1、油温2与绕温表连通温包探头拆除。
 - 2) 根据现场情况，安装固定设备的转接板，固定光纤温控器主机。
 - 3) 将原有温控器所有接线（冷控系统起停控制接线、非电量信号接线及TA二次线、变送器输出接线）接入光纤温控器主机内部。为了降低改造难度，本次改造使用测温主机自带的4~20 mA的直流模拟量信号通道传输温度信息至监控后台。
 - 4) 将光纤温控器三个光纤探头传感器安装在原油温1、油温2和绕组温度计对应的盲孔内。云光纤探头传感器相连的光纤由金属软管保护安装在光纤测温主机相应的通道内（油温1、油温2和绕温通道）。
 - 5) 设置铜油温差参数、冷却系统起停温度值和相关非电量定置等相关参数，并调试设备。
- 改造完成后，2[#]主变压器C相油温与绕温现场与后台指示温度见表3。

（下转第86页）

的目标。其次，预案执行跟踪。当出现配电网故障后，智能配电网抢修指挥平台可以自动将故障元联系在一起，迅速制定出故障处理防范，并对预案执行情况进行全程跟踪。

12. 抢修评估管理

首先，抢修效率分析。对于配电网故障而言，影响因素较多，诸如资源配置、负荷变化及资源配置等，实施数据整合分析，并立足于建立相应的配电网故障标准抢修效率模型，实现事前指导、事中监控及事后分析，积极迎合故障抢修高效率需求。基于强求效率标准差情况，对现阶段故障抢修过程中的薄弱环节进行分析，对强求流程进行优化调整，做到迅速反应与抢修，促进客户满意度与资源运用效率的提高。其次，预测分析故障。以历史故障、区域分布、负荷变化及天气预报等相关影响因素为基础，采取回归算法的方式，构建故障预测模型，游戏开展故障抢修活动，强化事前预防效能。

和预测故障及故障抢修效率相结合，对配电网故障抢修资源进行优化配置，并合理设计抢修驻点，采取有效措施预防故障的出现。

13. 运行模拟操作

本系统支持在接线图上，亦或是地理图上人工置数/置位开关设备，同时在图形上通过醒目方式相似影响范围，例如特殊颜色或闪烁。

结束语

本文主要针对智能配电网抢修智慧平台的构建展开了探讨，利用各类技术手段，实现了配电网故障抢修、95588客户报修、抢修资源管理及计划停电分析等相关功能，凭借功能深入应用与数据的健全，能够让供电公司在配电网故障抢修过程管控、配电网投资规划等方面，全程掌控与精细化管理配电网抢修业务。EA

(收稿日期：2022-07-14)

(上接第82页)

表3 改造完成后油温与绕温统计 (单位:℃)

温控器	现场	后台	差值
油温1	35.4	34.7	0.7
油温2	34.9	34.5	0.4
绕温	41.0	41.5	0.5

改造完成后，现场与后台温度满足《国家电网公司变电检修管理规定》中就地与远方温度显示相差不超过5℃的要求，缺陷消除。改造完成后通过近1年的运维巡视观察，该光纤温控器运行情况平稳，无异常。

结束语

针对超高压变压器温控器运行中暴露出的多种缺陷，可以对在运变压器温控系统进行改造，使用光纤温控器替代传统机械式温控器，可以有效克服机械式温控器在运行中的多种缺陷，达到对主变压器精确测温与对冷控系统精准控制的目的，能够提升超高压变压器冷空系统运行水平，提高超高压变压器的运行可靠性，广泛适用于调试安装以及在运阶段的超高压变压器。EA

(收稿日期：2022-06-21)

参考文献

[1] 冯玉辉, 高超. 光纤测温技术在核电主变压器的应用及建议[J]. 电气时代, 2022(2): 51-54.

[2] 钱国超, 彭庆军, 彭惠. 变压器油中气体拉曼光谱光纤增强检测实验研究[J]. 云南电力技术, 2021, 49(6): 21-25.

[3] 刘佳鑫, 韦德福, 唐红, 等. 高压电缆分布式光纤测温装置性能评估方法研究[J]. 电气应用, 2021, 40(9): 22-29.

[4] 刘兰荣, 孙建涛, 马斌, 等. 温度和微水对变压器油及油纸绝缘介电性能的影响[J]. 电气应用, 2021, 40(3): 8-13.

[5] 李衡. 浅析光纤测温 and 传统热敏电阻测温在干式变压器上的应用前景[J]. 中国设备工程, 2020(15): 250-251.

[6] 张法业, 郑美松, 刘思峰, 等. 光纤光栅变压器绕组温度在线监测技术[J]. 仪表技术与传感器, 2012(10): 88-90.

[7] 孙振. 基于光纤法的变压器绕组热点温度检测及应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2020.