

# 高压开关柜过热原因分析及监测措施

夏志军

(国网泸州供电公司,四川 泸州 636064)

**摘要:** 35 kV 及以下封闭式高压开关柜在电网中日益广泛运用,封闭式高压开关柜比常规户外式开关在减少占地、防止设备锈蚀等方面具有较大优势,但也因此存在动静触头等部分部件无法直观观测的致命弱点。在设备长期运行过程中,开关柜中的动静触头结合部等部位会由于各种原因引起发热,由于开关柜处于封闭状态导致这些发热部位的温度无法观测,过热缺陷日积月累便会最终导致设备损毁等事故发生。通过对封闭式高压开关柜过热原因进行分析,在此基础上研究提出了在线监测措施,希望能对防范高压开关柜过热事故提供一些帮助。

**关键词:** 高压开关柜; 过热; 监测

**Abstract:** Enclosed high-voltage switch cabinet at 35 kV and below is widely used in power grid, and it has great advantages in less space and anti-corrosion for equipment than the conventional outdoor switchgear. But there is a fatal weakness in the presence of partial components that cannot be directly observed. In the long-term running process of equipment, the junction parts of dynamic and static contacts in switch cabinet will be caused overheating due to various reasons, the temperature of these heating parts cannot be observed because the switch cabinet is enclosed, and the overheating defects which accumulate for a long time will eventually lead to equipment damage and other accidents. The on-line monitoring measures are proposed based on the cause analysis on overheating of enclosed high-voltage switch cabinet, which is helpful to prevent overheating accident of high-voltage switch cabinet.

**Key words:** high-voltage switch cabinet; overheating; monitoring

中图分类号: TM591 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)06-43-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.06.010

## 0 引言

伴随社会经济的飞速发展,当今社会对电力的依赖越来越强,对电力可靠性的要求也随之越来越高。近年来大规模的水电、火电等常规能源和太阳能、风能等新能源发电项目建设,让电力短缺的日子渐渐远去,保证电力持续可靠供应的主要焦点已从发电转移到电网。如何保证电网安全稳定和经济运行,保证对电力客户的持续可靠供电,自然成为电网企业的首要使命。而保障电网安全稳定运行,除强化电网网架结构完善外,更主要的任务是保证现有电力设备的安全稳定运行。

随着技术的进步及土地资源的日益珍贵,目前 35 kV 及以下配电系统已广泛采用封闭式高压开关柜。运行中封闭式高压开关柜比常规户外式开关在减少占地、防止设备锈蚀等方面具有较大优势,但也存在动静触头等部分部件无法直观观测的致命弱

点,设备长期带电运行时,开关柜中的动静触头结合部、刀闸结合部、母线连接点、电缆头 T 接点等部位会由于设备制造、安装不良及设备自然老化引起接触电阻过大而发热,这些现象在大电流开关柜如总路进线柜、母连柜上尤为突出;如果这些发热部位的温度无法监测,则最终发热严重会导致烧毁开关柜的事故。近年来,国家电网公司系统有变电站已发生过开关柜因过热而烧毁的事故,甚至是“火烧连营”,造成整个开关间设备损毁,酿成大面积停电。开关柜更换涉及停电范围广,施工周期长;若遇整个开关间设备损毁的严重局面,按目前中国大部分地区的配电网状况来看,若遇一个变电站 10 kV 全停,配电网根本无力转供所有负荷,特别是在电网迎峰度夏和迎峰度冬等大负荷时节。因此,分析清楚封闭式开关柜过热的主要原因,实时掌控开关柜内部件特别是手车触头等元器件结合部的温度状况,提前发现封闭式高压开关柜的过热异常状况,提前采取检修措施,对保证电网安全稳定运行、保证对

电力客户的持续可靠供电具有重要的现实意义。

## 1 封闭式高压开关柜过热故障及原因分析

电力设备的过热往往是在接头产生,根据电工理论,在电路中,1个电气接头的热量是用  $Q = I^2 Rt$  表示的。式中:  $Q$  为产生的热量;通过截面的电流为  $I$ ;接头的电阻为  $R$ ;  $t$  为电流作用的时间。实际运行中的设备,不管应用哪种材料哪怕是超导材料,都有材料电阻值存在,电流流过导体就会产生热量。当某一接头的电阻过大,热量在这一部位就会特别突出,若散热热量无法抵消发热量,就会使热量在这一点集中,使本部位的温度升高,当温度超过了材料的允许温度值或温升,设备就会因过热而烧损。运行中的电气设备不同程度地会发生发热现象,如不及及时发现并处理,最终会导致开关柜烧毁等严重后果。下面以 KYN28-12 高压开关柜为例,分析开关柜过热故障形成的原因。

### 1.1 封闭式高压开关柜主要构成

以电力系统目前应用较多的 KYN28-12 出线柜为例,封闭式高压开关柜的一次设备分布在3个相互独立的隔室内,分别是断路器室、母线室、出线室,二次设备独立设置在继电器室内,结构示意图如图1。

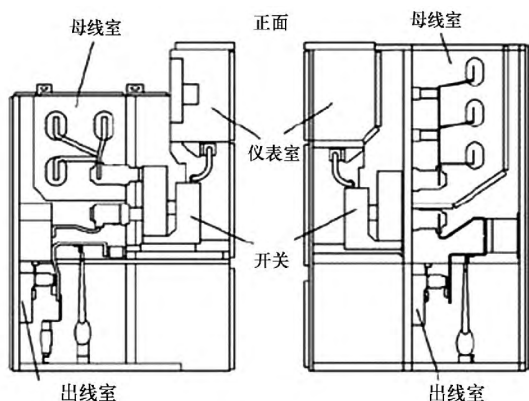


图1 KYN28-12 开关柜结构示意图

### 1.2 封闭式高压开关柜过热主要原因分析

1个 KYN28-12 高压开关出线柜一般至少会有18个接头部位通过大电流,分别是:在断路器室内一般有6个主接头(即手车触头),每个触头有10多个流过负荷电流的连接点(即手车触指);在出线室有连接出线电缆的3个主接头、连接电流互感器的6个主接头;在母线室有支路与主母排的3个T

接点。上述接头部位除避雷器连接点外均有负荷电流通过,遇负荷电流较大时,存在隐患的连接点就会发热;而这些连接点中,根据电力系统运行经验,发热部位主要出现在6个手车触头、3个出线电缆T接点等两处位置,这两处发热点特别是手车触头发热点由于在密封柜内,封闭式高压开关柜运行中的柜门禁止打开,值班人员无法通过正常的肉眼巡视或红外测温等监视手段发现热缺陷,发热严重时接头会膨胀、变红、甚至熔断,最终酿成事故。

导致封闭式高压开关柜发热缺陷的原因比较多,综合起来主要包含以下几个方面:

#### 1) 电气连接部位接触不良,导致发热。

①造成封闭式高压开关柜电气连接部位接触不良的原因,大都是因检修安装人员工作失误或安装工艺存在缺陷有关。施工中如果未严格执行工艺标准,安装工艺出现了问题,便为封闭式高压开关柜埋下了过热隐患。如母线室的母线在加工、连接以及安装环节当中,若出现母线表面不光滑、不平整、有油污和氧化、搭接面不足宽度的1.5倍、搭接压力不足、未使用专用导电膏加工处理等等纰漏,均会造成母排联接点接触电阻增大,导致发热。再如出线室电缆T接时,若出线电缆与开关引出线的连接处接触面不足,或连接压力不足,甚至铝排与出线电缆未采用铜铝过渡措施,均会引发电缆接头发热。因此,需要强化对封闭式高压开关柜安装工作质量的监督,确保严格依照厂家提供的安装说明以及相关的技术标准、工艺进行施工,才能把好开关柜发热故障的第一道关口。

②电气接头和设备线夹接触面氧化,造成发热。各运用中的电气设备接触面无论压接多紧,总会有一定缝隙,运行时间长后,一层氧化膜就会发生在接触面。接头氧化后接触电阻就会增加,运行时接触电阻的增加会引起该接触面变热,变热又会加速接触面的氧化反映,如此反复循环,最后叠加酿成发热故障。

#### 2) 手车触头接触不良,导致发热。

手车触头发热多数是因为长期运行,触指压紧弹簧疲劳或者弹簧锈蚀老化功能减退,引起触头与触指的接触压力不足,触指与触头接触不充分,引起接触电阻增加和有效载流截面变小造成发热。并且运行中由于触指压紧弹簧长期受压缩,在电流作用下弹簧会产生发热,加上触头由分到合或由合到分

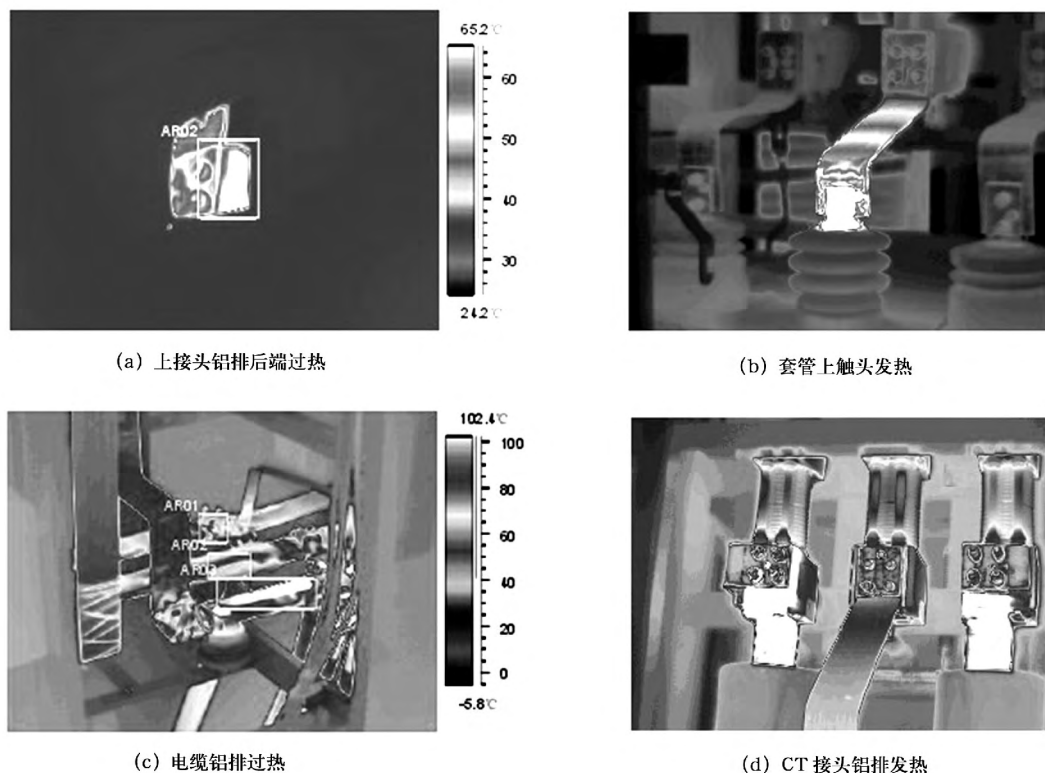


图 2 高压开关柜的典型过热故障

产生的电弧烧伤,运行时间久后弹簧的弹性会变差进而造成触指压紧弹簧压紧力不足,压紧力不够引起手车动静触头接触不充分又会发热加剧,如此反复恶性循环造成触头发热日益严重,最终甚至会造成压紧弹簧断裂触头散落,动静触头接触极差而烧毁。此外,部分封闭式高压开关柜内的手车操作机构行程不当造成不能将手车完全摇至预设位置,从而在手车动静触头间插入深度不够,因接触面不足而引起发热升温,造成了开关设备的损害。因此,为防范手车触头发热,在开关柜每次检修时都应仔细检查手车触头的烧损情况、检查压力弹簧是否完好、检查触头插入深度是否满足要求,且在每次检修都需要涂导电膏降阻防腐,从而防范因触头接触不良而引起发热。

### 3) 负荷电流过大,导致发热。

①设备本身质量问题。许多老旧变电站的封闭式高压开关柜在建设时,受当时经济发展等因素影响导致当时规划设计裕度不高,造成所选的开关设备容量与后期实际运行的容量不匹配,导致在后期运行过程中,随着用电负荷的不断增长,开关动静触头的载流量无法满足负荷增长的需求,且加上动静触头日久氧化,接触电阻增大,触头会出现局部温升

现象。

②负荷电流突变,导致发热。依据 DL/T 593 - 2006《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》,开关柜触头温升不应超过 35℃,即在室温最高为 40℃时,其最高运行温度不应超过 75℃。正常运行时,其负荷电流产生的热量经空气冷却后处于热平衡状态,温度升高不会超过允许值;但当遭遇比平时增加 1 倍或几倍的负荷电流突变时,特别是线路遭受短路电流冲击后,设备温度急剧增加,温升超过允许值,其薄弱部位就会过热,产生氧化等物理或化学变化,又会增大接触电阻,经过多次反复的恶性循环,接头的接触电阻越来越大,过热情况越来越严重,最后造成接头熔毁。

### 4) 环境温度高,造成散热不良。

为防止人体接近封闭式高压开关柜的高压带电部位和触及运动部位造成伤害,以及避免敞开式开关柜容易进入异物引起开关柜短路的危险,根据《户内封闭式高压开关柜订货技术条件》第 6.5.2 条规定,在最高防护等级 IP5X 时,开关柜的缝隙小到能防止影响设备安全运行的大量尘埃进入,如此严密的防护,在夏季高温季节室内环境温度过高,将造成开关柜散热困难。电气设备接头(母线连接、

电缆 T 接等) 一般常用螺栓连接, 螺栓一般为钢材质, 而母排或电缆设备线夹采用铝或铜材质, 钢材质的螺栓膨胀系数比铝排或铜设备线夹小, 遇温度变化时母排与螺栓由于膨胀或收缩比率不一致, 就会逐步造成接触压力降低→接触电阻增加→接触电阻升高发热又使接触面氧化→氧化膜的形成又使接触电阻更大, 如此温度变化的恶性循环。

## 2 封闭式高压开关柜温度监测

### 2.1 目前封闭式高压开关柜温度监测主要手段

封闭式高压开关柜内部过热现象已成为开关柜使用中的常见问题, 如果不加以控制, 过热程度会不断加剧, 引起开关柜寿命加速老化, 性能大幅降低, 严重时将引起设备故障, 甚至造成事故。目前国内已有大量关于封闭式高压开关柜测温方面的技术研究, 从测温元件与被测设备的接触方式划分主要分为接触式测温和非接触式测温两种。按照各种测温方法的主要特征, 目前主要有如下 4 种测温方法。

1) 测温片测温法: 这是一种最传统的测温方法, 属接触式测温法, 此种方法是通过在电力设备接触点粘贴示温蜡片或在设备表面涂一层发光材料, 发光材料的颜色能随温度变化, 不同的颜色变化即代表不同的温度, 设备的温度情况通过由运行人员看颜色变化来大致确定。

2) 红外测温法: 基于辐射定律, 任何温度高于绝对零度的物体都会不停地向空间发出红外辐射能量, 而且温度越高发出的红外辐射能量越强, 因此只要运用适当的红外检测仪器, 检测设备发出的红外辐射能量, 再经过专门的信号处理系统进行处理, 就可以获得设备表面的温度分布状况, 并进一步获取设备运行状态信息, 这是红外检测的基本原理。由于红外测温能方便地实现电力设备带电状态下对设备的温度状况进行直观形象的检测, 测试过程简单方便, 劳动强度低、监测面积广、监测效率高, 因此电力系统目前已将红外测温作为带电检测主要技术手段。

3) 光纤测温法: 这是一种目前在封闭式开关柜上应用较多的接触式测温法之一, 按照光纤测温的基本原理和作用, 光纤测温分为光纤光栅测温技术与光纤分布测温技术。光纤分布式测温技术是在 20 世纪 70 年代末提出, 其测温原理是利用光纤后

向拉曼散射的温度效应和光时域反射技术 (OTDR) 来获取空间温度分布信息的检测方法, 测温范围可以达到  $0^{\circ}\text{C} \sim 370^{\circ}\text{C}$ 。光纤光栅测温技术是通过光纤光栅感温探测信号处理器, 通过检测光栅反射光的波长变化, 从而测得被测物体温度。

4) 无线测温法: 无线测温法是目前在封闭式开关柜上应用较多的接触式测温法之一。一般无线测温系统通常由分布式测温传感器、温度采集器、后台监控分析系统等 3 部分组成。其中分布式测温传感器直接安装在被测部位, 与高压电气设备直接接触, 温度采集器放置在高压室外, 分布式测温传感器与温度采集器之间的信号传输采用无线通讯方式进行数据的传输, 这样一来既实现了直接接触测温, 确保了采集数据的可靠性, 又解决了传统直接接触测温的高压、低压隔离的问题, 因而该测温法目前已在封闭式开关柜测温技术中得到广泛应用。

### 2.2 各测温方式的主要优缺点

1) 测温片测温: 常规的示温片测温法是通过观察示温蜡片是否溶化掉落或热敏材料示温片的颜色变化程度来大致确定温度范围的一种方法。这种方法虽较为直观, 但由于其不能准确体现出设备的具体温度值, 只能在温度过高时提供“设备过热严重”的定性判断, 不能进行定量测量, 而且需要人工定时察看, 因此此种测温方法效果较差。而热电阻、热电偶等测温方式, 工作时需要通过金属导线对外传出信号, 不能实现高低压隔离, 因此不能用于封闭式高压开关柜。

2) 红外测温: 目前常用的手持式红外热成像仪是一种非接触式测温方法, 它通过检测待测物体表面的辐射热能值来获得待测物体的温度值, 测试时要求被测物体与测试仪器之间不能有物体遮挡。为保证安全封闭式开关柜在运行过程中柜门是不能开启的, 因此红外测温仪器便不能透过开关柜外壳直接测量到开关柜内部温度情况, 无法反映高压开关柜运行过程中内部的真实温度情况。且由于红外测温仪器需人工操作, 因此无法实现不间断在线测量, 且测温数据受测试人员的人为影响较大, 如检测距离远近、辐射系数的选择都会影响测试结果的准确性。

3) 光纤测温: 光纤测温法也是一种直接接触测温法, 光纤温度传感器采用光导纤维传输信号。由于光纤自身具有优异的绝缘性能, 因此可以直接将

(下转第 67 页)

参考文献

[1] 刘俊勇,沈晓东,田立峰,等. 智能电网下可视化技术的展望[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(1): 7-13.

[2] 段刚,杨东,吴京涛,等. 综合智能电力系统动态监视平台及其应用[J]. 电力科学与技术学报, 2011, 26(2): 21-26.

[3] 周宏,李强,林涛,等. 基于 WAMS 量测数据的电网扰动和操作类型识别[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(2): 7-11.

[4] 张晓莉,周泽昕,张道农,等. 同步相量测量装置的测试与评估[J]. 电力科学与技术学报, 2011, 26(2): 31-36.

[5] 杨洪耕,明娇,代海波. 地区电网智能告警系统的实现[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(2): 105-109.

[6] 王尔玺,童渊,关杰. 上海电网调度智能告警应用研究[J]. 华东电力, 2012, 40(5): 779-782.

[7] 沈国辉,孙丽卿,游大宁,等. 智能调度系统信息综合

可视化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(13): 129-134.

[8] 宋晓娜,毕天姝,吴京涛,等. 基于 WAMS 的电网扰动识别方法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(5): 24-28.

[9] 毕天姝,刘灏,杨奇逊. PMU 算法动态性能及其测试系统[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(1): 62-67.

[10] 贺春,任春梅. 相量测量单元综合矢量误差指标分析[J]. 电力系统自动化, 2012(4): 110-113.

[11] 许勇,张道农,于跃海,等. 智能变电站 PMU 装置研究[J]. 电力科学与技术学报, 2011, 26(2): 37-43.

[12] 童旭,王珮璐,孙雅平. 智能变电站时间同步系统在线监测技术的研究[J]. 华东电力, 2012, 40(12): 2184-2186.

作者简介:

温丽丽(1982), 硕士, 从事电网调度自动化工作;  
赵静(1982), 博士, 从事电网调度自动化工作;  
郭亮(1982), 硕士, 从事电网调度自动化工作。

(收稿日期: 2015-08-14)

(上接第46页)

光纤温度传感器安装在开关柜内的高压设备上,实现对高压设备运行温度的准确测量;然而,光纤具有易折、易断、不耐高温等弱点,要在结构紧凑的开关柜内布线难度较大,若光纤运行时间久积累灰尘后导致光纤沿面放电,有引起开关柜发生内部短路的危险。此外,光纤测温系统配置元件成本较高,系统投资相对较大。

4) 无线测温: 无线测温是最近几年开始推广的测温方法,它也是一种直接接触测温法。采用将感知温度的测温元件——温度传感器紧贴在被测物体表面,与被测物体为高电位工作,接收模块处于低电位工作,两者之间采用无线通讯传输数据,两者之间彻底物理隔离,绝缘水平满足规程要求。传感器安装简便、方案可行,且不会破坏原开关柜结构(如解体开关柜部件、在母线上打孔等),不会影响原开关柜性能(如绝缘水平、安全距离、动稳定性、热稳定性、散热功能等)。目前,国内已广泛采用无源无线测温,无源无线测温系统采用的传感器无需电池(电源)驱动,从而提高了系统的可靠性、安全性,由于无需考虑功耗,因此在数据提取频次上也可不受限制,可以实现不间断在线监测;同时没有了电池更换带来的维护成本和停电损失,保证了对外供电可靠性不受影响。无源无线温度传感器自身体积小,可根据需要制成多种样式,因此传感器可以不受封闭式开关柜紧凑结构的影响,能够方便地安装在开关柜母线 T 接点、断路器手车触头等狭小的电气节点中,直接接触设备测试其温度,因而其测量精度较高。

2.3 小结

通过上述分析,不难看出,采用无线传感器技术的无线测温法在安全性、可靠性、环境适应能力强等方面拥有其他测温法无法比拟的优点。特别是近年基于声表面波技术的无源无线测温技术的发展,无线测温技术可以在高压开关柜内高电压、大电流、强磁场的环境下实现对触头的高精度、高稳定性的测量;且易于构成分布式测温系统对所有触头、引线等温度点进行实时在线式监测,因此是更加适合封闭式高压开关柜温度监测的技术手段。

3 结论

造成封闭式高压开关柜过热的原因很多,通过加装无线测温装置等技术手段,实时掌控开关柜内部元件特别是手车触头等元器件结合部的温度状况,提前发现封闭式高压开关柜的过热异常状况;提前采取检修措施,对防范过热故障导致封闭式开关柜损毁等事故发生,保证电网安全稳定运行具有重要的现实意义。

参考文献

[1] 许伟琳. 高压开关柜的故障类型及其处理措施初探[J]. 科技资讯, 2010(27): 39-41.

[2] 尚丽. 电气设备接头发热原因的分析及处理[J]. 大众用电, 2002(10): 26-27.

[3] 许一声,顾霓鸿. 高压开关柜触头温度在线检测仪[J]. 高压电器, 2005, 41(2): 139-140.

(收稿日期: 2015-07-31)