

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2018.06.038

光纤集成式触头盒的设计和工艺探讨

胡良蓉¹, 樊维涛², 王 帅¹, 郭黎黎¹, 赵洪波²

(1. 西安西电电气研究院有限责任公司, 西安 710075; 2. 西安和其光电科技股份有限公司, 西安 710119)

摘要: 文中介绍了光纤测温在开关柜中的应用,分析了现有光纤存在的缺点,提出光纤集成式触头盒设计的思路,阐述了该光纤集成式触头盒的设计、加工、装配和光纤走线布局,最后进行了试验验证。光纤集成式触头盒和走线方式具有外形整洁,光纤长度短,有效地解决了光纤裸露在外带来的凌乱、绝缘等问题,提高了产品可靠性,降低了整体成本,满足温升在线监测的要求。

关键词: 光纤测温; 光纤集成式触头盒; 浇注; 试验验证

Design and Technology of a Fiber-optical Integrated Insulating Bushing

HU Liangrong¹, FAN Weitao², WANG Shuai¹, GUO Lili¹, ZHAO Hongbo²

(1. Xi'an XD Electric Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710075, China;

2. Xi'an Heqi Opto-electronic Technology Co., Ltd., Xi'an 710119, China)

Abstract: The application of fiber-optical temperature measurement to the switchgear is introduced, and the shortcomings of the existing optical fiber are analyzed. Hence, the design of an optical fiber integrated insulating bushing is discussed in terms of the processing, the assembly, and the layout of the optical fibers. Verification test indicates that the designed optical fiber integrated insulating bushing and its optical fibers layout are neat in appearance with shorter fibers, thus the problems of untidy status and insufficient insulation due to the exposed fibers are effectively solved, the reliability is improved, the overall cost is reduced, and the requirements of online temperature monitoring are met.

Key words: fiber-optical temperature measurement; optical fiber integrated insulating bushing; pouring; verification test

0 引言

如果手车式开关柜一次插头若触头温度过高,其接触面会强烈氧化、锈蚀,严重的发热或因导电不良而“打火”都有可能造成熔焊,最终使得开关设备发生运行事故^[1]。因此对该部位的温升监测可以达到对开关设备发热事故的预防^[2-6]。常用的温升监测方式有无线测温、光纤测温等^[7-10]。

1 光纤测温在开关柜中的应用研究

光纤测温采用光学原理的传感器件和光信号传输通道,有着良好的电磁不敏感性,传感器尺寸小,易于在狭小的高压设备内部安装,可靠稳定,特别适用于手车式开关柜的一次插头的监测。

光纤测温主要采用荧光式、光纤光栅和F-P空腔等三种光纤传感器,具有环境适用性好、传输距离远、使用寿命长和结构小巧等特点。不同光纤测温方式的比较见表1。

针对开关柜的使用特点,初步选择光纤材质较软、可靠性高、组网灵活和低成本的荧光式光纤测温传感器进行了试验研究。

在试验前将待用光纤进行耐压测试,其中20 cm击穿电压为86 kV,30 cm击穿电压为120 kV。平均光纤耐压值在4 kV/cm。

试验中,在开关柜的六个静触头的同一位置预埋了热电偶和光纤测温传感器。光纤从测量点到测量仪表走线有两种方式,一种是从高压测量点直接到柜体,见图1(a);一种是采用缠绕式的方法,见图1(b)。缠绕式安装从高压(测量点)到地(柜壁)距离远大于

24 cm, 可满足爬电距离的要求。试验中采用图 1(b) 的安装方式, 完成了全部的型式试验, 各项指标均能满足设计要求。

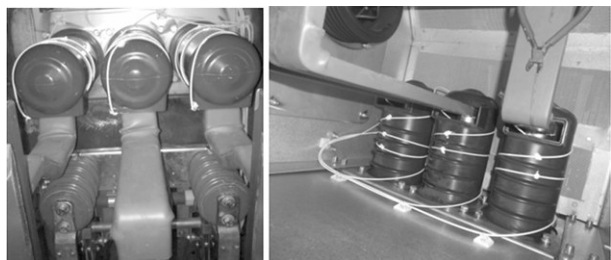
表 1 不同光纤测温方式的比较

Table 1 The comparison of temperature measurement methods by different fiber-optical

比较项目	荧光式	光纤光栅	F-P 空腔式
精度	$\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以上	$\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$
集成度与组网	适合各种组网方式	大范围多节点的分布式	—
复杂度	简单、可靠、耐用	较高	简单
响应频率	较高	需要复杂解调器	较高
光源要求	较低	较高	较低
寿命与适用范围	寿命长、适用范围广	不适合 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的环境	寿命短
使用场合	具备可靠性高、组网灵活和低成本	大型、复杂、高精度要求的低温准分布式传感网络	灵活、小型、简单的传感系统



(a) 光纤直连



(b) 光纤缠绕

图 1 光纤安装方式

Fig. 1 The wind-mounting type of fibre-optical

但是, 光纤从测量点到测量仪表的两种走线方式, 存在如下问题:

- 1) 光纤由高压直接到地, 见图 1(a), 有可能存在沿面绝缘问题;
- 2) 光纤缠绕, 见图 1(b), 带来成本增加, 且需要固定, 影响美观;
- 3) 两种方式均采用光纤外露, 在装配中可能会发生磕碰或拉断的可能;
- 4) 光纤缠绕走线困难, 不易批量安装。

2 光纤集成式触头盒

2.1 光纤集成式触头盒的设计

为解决上述的问题, 文中提出: 采用三段式光纤, 将通道光纤浇注于触头盒内, 通道光纤两端均焊接有螺纹的金属连接头, 其中一端连接测量光纤, 另一端连接输出光纤, 直到仪表室的测温显示装置。光纤在触头盒中布局有三种方式见图 2。

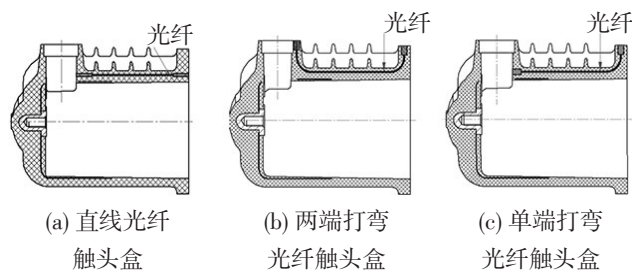


图 2 光纤布局方式

Fig. 2 The layout of fibre-optical

从光纤的材质工艺加工来说, 图 2(a) 方式是最易加工的。但是触头盒法兰盘前端的光纤出线需要空间, 对活门板的上下运动有影响; 图 2(b) 方式从安装角度来说最方便, 但是光纤两端均打弯, 对于光纤的要求和加工都有很大的挑战; 折中选择了图 2(c) 方式。其测量原理图见图 3(a), 图 3 包括输出光纤、通道光纤、测量光纤; 同时规划了开关柜光纤走线见图 3(b), 固定方式见图 3(c)。图 3(c) 中, 上触头盒的三路光纤从法兰盘上端面伸出, 并向上延伸到一定高度后, 再向柜体左侧(或右侧)排布; 下触头盒的三路光纤从法兰盘下端面伸出, 并向下延伸一定长度后, 也向柜体左侧(或右侧)排布; 六路光纤在柜体左侧(或右侧)形成一整路光纤束, 一齐向上延伸到仪表室高度, 并分别与其内部处理单元相对应的通道对接, 形成测温通道, 并采用卡扣固定。

1) 光纤连接操作需要较大空间, 加大触头盒母排出口尺寸。触头盒集成有屏蔽环, 将通道光纤两端的金属连接头设置为悬浮电位, 主回路施加高压(雷电冲击 85 kV), 环氧和光纤介电常数设置为 4, 安装板接地。其电场仿真模型见图 4(a), 电场云图见图 4(b), 最高场强为 2.8 kV/mm (梅花触头根部), 电场设计满足要求。

2) 需选择曲率较大、细直径的多根光纤组合, 将光纤朝柜壁单侧折弯后同时朝上折弯成一线束, 采用绝缘材质的弹性卡线扣将光纤线束固定于开关柜内部隔板上, 同时采用线盒子进行保护, 最终引入到仪表室。整体布局整齐美观, 安装牢靠, 不受开关柜运行过程中的振动及发热影响, 不影响开关柜的绝

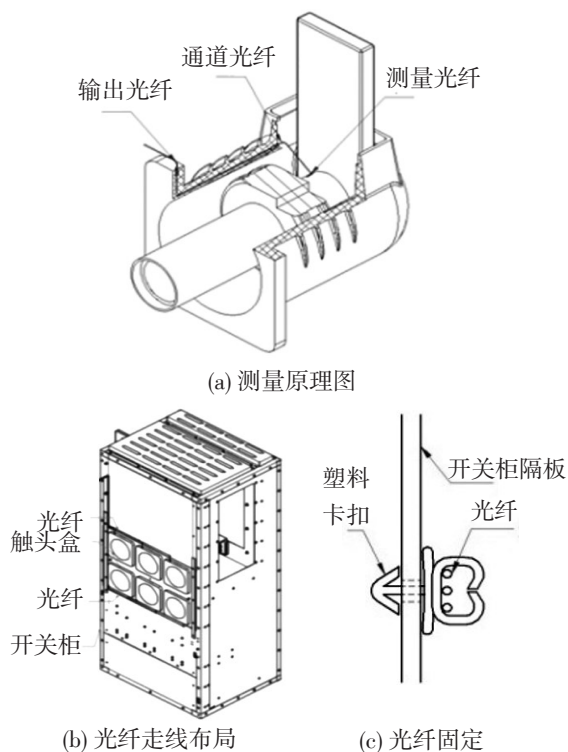


图3 光纤走线布局

Fig. 3 The layout of fibre-optical



图4 光纤集成式触头盒

Fig. 4 The fibre-optical insulating bushing
绝缘特性及电磁兼容特性。

根据高压开关柜的结构特点,采用光纤集成式触头盒,规划光纤走线布局,使其外形整洁美观,光纤路径短,降低了整体成本。

2.2 光纤集成式触头盒的浇注

光纤集成式触头盒浇注所需的光纤,需要耐受至少 150 ℃ 以上的高温。有两种光纤可供选择,一

种是多组分玻璃光纤(普通光纤),一种是石英玻璃光纤(石英光纤)。两种光纤的比较见表2。

表2 两种光纤的比较

Table 2 The comparison of two kinds of fiber-opticals

光纤	多组分玻璃 光纤	石英玻璃光纤	结论
耐温	150 ℃ 以上	150 ℃ 以上	满足光纤浇注温度要求
电性能	具有很高的介电强度和极低的导电率 光纤平均工频耐压值在 4 kV/cm。	常温下介电常数为 3.70 200 ℃, 石英的击穿电压约为普通光纤的 3 倍, 500 ℃, 石英的击穿电压约为普通光纤的 10 倍。	石英光纤更有利于避免击穿和爬电现象
机械性能	成分较多, 纯度低热稳定性差。	石英纯度高, 热稳定性好。	玻璃的热膨胀系数取决于其化学成分及纯度, 石英热稳定性远大于普通光纤。

选择一种石英光纤和一种普通光纤进行对比试验,石英光纤采用聚酰亚胺涂覆层,能耐温 350 ℃,普通光纤采用多芯光纤,用带有切口聚四氟乙烯管进行保护。

试验结果:普通光纤绝缘套浇注过程变形,在浇注过程中光纤断裂非常严重,样品无法传光。石英光纤没有异常现象发生。

选择石英光纤进行后续的浇注试验。先将无聚酰亚胺涂覆层的光纤通过陶瓷插芯固定到金属嵌件后,再将嵌件固定到模具,随后进行触头盒浇注。第一次浇注成功率很低,10个样品总共有 7 只光纤断裂,分别出现在以下几个过程中,见图5。

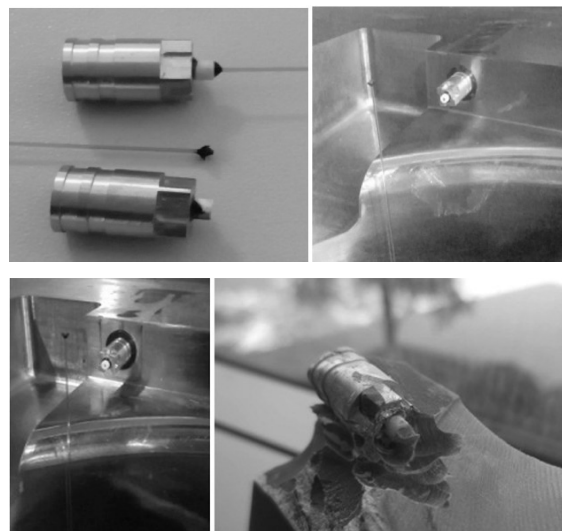


图5 光纤浇筑过程中光纤损坏

Fig. 5 The damage of fibre-optical in process of pouring

1) 光纤装模头过程中损坏, 均断在光纤焊接点上;

2) 光纤安装到模具上后, 合模前发现光纤断掉;

3) 产品脱模后发现光纤不透光, 敲开发现光纤及焊接点已与光纤头部分开, 光纤焊点已不见, 孔被树脂填满了, 应该是浇筑过程中断裂。

在触头盒内空间小, 光纤弯曲半径过小, 如采用无涂覆层进行浇注, 易导致光纤受力过大发生断裂, 需要特殊涂覆层对光纤进行有效防护。采用带有涂覆层(聚酰亚胺涂覆层)的光纤再次进行浇注试验, 达到了比较满意的成品率, 通光测试和局放试验满足设计要求。浇注结果见表3。

表3 光纤浇注试验结果比较

Table 3 The comparison of two kinds of fibers-optical

光纤 材质	普通光纤(聚四氟 乙烯管)	石英光纤(无 涂层)	石英光纤(聚酰 亚胺涂层)
浇注 试验	全部断裂, 无法传光	10个样品, 断裂7个	10个样品,完好

2.3 光纤集成式触头盒的装配

2.3.1 光纤集成式触头盒装配中出现的问

在进行光纤集成式触头盒装柜前对每个触头盒(25只)进行通光检测, 发现有2只触头盒通光出现问题, 检查发现光纤与金属连接头连接处发生断裂。分析原因可能为在运输途中金属连接头受力过大导致光纤断裂。

由光纤厂技术员和厂方工人分别负责, 将测试完好的光纤触头盒进行配柜安装, 结果发现: 光纤技术人员负责安装的成功率明显优于厂方工人安装的成功率, 厂方工人安装的六个光纤通道仅两个通道正常, 其余4路均出现故障, 见图6(a)。

1) 采用通光笔检查内嵌光纤: 6只样品均有光输出, 但是光斑不均匀, 见图6(b);

2) 在显微镜下观察, 光纤端面有不同程度地破损, 有的光纤端面脏污, 见图6(c)。

2.3.2 原因分析

1) 安装前测试合格, 安装后重新插拔则不合格, 说明光纤通道损坏是由于装配引起的;

2) 光纤浇注过程中, 由于光纤和环氧材料、金属嵌件的不同的收缩比, 导致了光纤的局部伸出; 或者部分嵌件螺纹制作不够完善, 旋紧过程中光纤会随螺纹旋转, 导致端面突出; 进行对接时容易发生碰撞, 造成端面受损导致信号弱甚至完全消失;

3) 光纤端面脏污, 影响通光强度。

2.3.3 改进方案

1) 按规程进行安装, 尤其是要安装有利于光纤

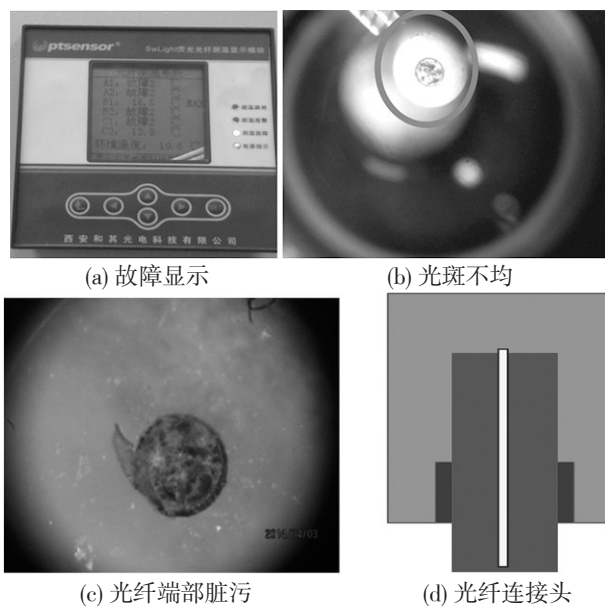


图6 触头盒安装中暴露的问题
Fig. 6 The problem exploded in installation process of insulating bushing

导向的套管;

2) 减弱插芯与嵌件胶强度, 加强插芯和光纤的胶强度, 让插芯伸缩来避免光纤伸缩;

3) 改进采用自带伸缩功能的ST接头, 见图6(d), 可避免旋紧过程中损伤光纤。

4) 浇注和运输过程用耐高温防尘帽全程防护光纤端面, 可以选取硅胶防尘帽; 对接前对光纤端面及嵌件内部进行有效的清洁, 避免对接过程中损伤光纤。

3 光纤集成式触头盒的研究性试验

光纤集成式触头盒配柜后, 在国家质量监督检测中心进行了绝缘和温升的试验验证^[11]。

绝缘试验: 可耐受工频42 kV, 冲击75 kV的绝缘试验。

温升试验: 在开关柜的上、下静触头、断路器室、电缆室、母线室的同一位置预埋了热电偶和光纤测温传感器; 待

温升试验数据基本稳定后, 每隔15 min读取热电偶、光纤测试数据进行比对, 比对折线图见图7, 其中线1为热电偶测量值(℃), 线2为光纤测温传感元件测量值(℃), 线3为两种测量方式偏差(℃)。

试验结果的比对结论: 最大偏差为1.8℃, 浇注式光纤测温方式满足测温要求。(注: 比对误差应不大于±2℃)

4 结论

文中介绍了光纤集成式触头盒的结构设计、光

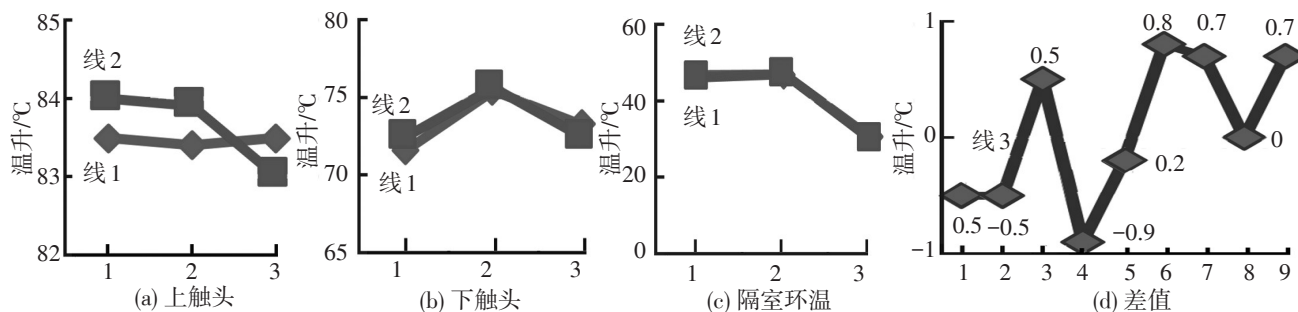


图7 温升试验数据折线图

Fig. 7 Temperature rise test

纤选择及处理、加工工艺和开关柜中的走线布局,进行了试验验证,得出以下几个结论:

1) 光纤集成不改变光纤测量精度高、绝缘性强的特点,满足开关柜温升在线监测的要求,为开关设备智能化的奠定基础。

2) 光纤集成式触头盒将光纤集成于触头盒中,外形整洁美观,光纤路径短,降低了整体成本,解决了光纤在开关柜布局困难等难题。

3) 光纤脆性大,抗弯能力差,石英光纤电性能、热稳定性能均强于普通光纤,浇注时宜采用石英光纤;在加工周期和运输过程中需要进行严格的保护,如:浇注前,对石英光纤采用涂覆层保护;浇注过程中,应对光纤端面全程保护,防尘处理;浇注完成后,应对光纤端头加装防护罩进行存放、运输。

参考文献:

- [1] 李华良,孙敏,谢瑞涛,等.中压开关设备试验典型故障分析及建议[J].高压电器,2013,49(11):139-144.
LI Hualiang, SUN Min, XIE Ruitao, et al. Analyses and recommendations of typical faults in tests for MV switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(11): 139-144.
- [2] 钟建英.智能高压开关设备技术研究进展[J].高压电器,2013,49(7):110-115.
ZHONG Jianying. Technology development summary of intelligent high-voltage switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(7): 110-115.
- [3] 韩书谟,钟建英,尹军华,等.智能高压开关设备技术发展[J].智能电网,2013,1(1):6-11.
HAN Shumo, ZHONG Jianying, YIN Junhua, et al. Technology development of intelligent high-voltage switchgear[J]. Intelligent Grid, 2013, 1(1): 6-11.
- [4] 方勇灵.智能开关设备优化设计方案探讨[J].南方电网技术,2012,6(4):44-47.
FANG Yongling. Discussion on the optimal design scheme for intelligent cubicle switchgear[J]. Southern Power System Technology, 2012, 6(4): 44-47.
- [5] 刘有为,邓彦国,吴立远.高压设备智能化方案及技术特征[J].电网技术,2010,34(7):1-4.

LIU Youwei, DENG Yanguo, WU Liyuan. Intelligent solutions and technical characteristics of high-voltage equipment[J]. Power System Technology, 2010, 34(7): 1-4.

- [6] 胡良蓉,戴冬云,骆虎,等.24 kV智能开关设备的集成设计和试验[J].高压电器,2017,53(12):181-186.
HU Liangrong, DAI Dongyun, LUO Hu, et al. Integrated design and test of a 24 kV intelligent switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2017, 53(12): 181-186.
- [7] 李中祥,宋建成.高压隔离开关触头温度在线监测系统的研制[J].高压电器,2009,4(2):11-17.
LI Zhongxiang, SONG Jingcheng. On-line temperature measurement system for contacts in HV switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 4(2): 11-17.
- [8] 陈雪薇,马国明,李成榕,等.高压开关柜无线测温系统设计及可靠性研究[J].高压电器,2015,51(6):152-160.
CHEN Xuewei, MA Guoming, LI Chengrong, et al. Wireless temperature measuring system design for high voltage switchgear and its reliability research[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(6): 152-160.
- [9] 兰西柱,李海鹏,颜文靖.基于ZigBee的高压开关柜无线测温系统的设计[J].安徽理工大学学报(自然科学版),2011,31(1):45-50.
LAN Xizhu, LI Haipeng, YAN Wenjing. Research and design of wireless temperature measurement system of high voltage switch cabinet based on ZigBee technology[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science), 2011, 31(1): 45-50.
- [10] 邓世杰.中置式开关柜的无线测温方法[J].高压电器,2010,46(11):99-101.
DENG Shijie. Wireless real-time temperature monitoring method for mid-set switch cabinet[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(11): 99-101.
- [11] 3.6 kV~40.5 kV智能交流金属封闭开关设备和控制设备:NB/T 42044—2014[S].2014.
Alternating-current metal-enclosed intelligent switchgear and controlgear for rated voltages above 3.6 kV and up to and including 40.5 kV: NB/T 42044—2014 [S]. 2014.

胡良蓉(1972—),女,硕士,高工,从事高压开关柜及智能化设计。