

GW6B-252型隔离开关触头温升与接触状态关系研究

李玉杰¹, 李洪涛¹, 高山¹, 腾云¹, 和彦森², 刘通¹

(1. 国家电网公司GIS设备运维检修技术实验室(国网江苏省电力有限公司电力科学研究院), 江苏南京 211103; 2. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192)

摘要: 高压隔离开关异常发热是电力系统中长期存在的安全隐患。温升是评估隔离开关运行状态的一个重要指标, 接触电阻值是表征导电回路联接是否良好的关键参数。隔离开关设备的温升主要受接触电阻控制, 接触电阻值变化时, 将引起隔离开关整体温度分布改变。文中针对隔离开关不同缺陷对隔离开关触头接触电阻和触头最大温升的影响进行相关试验, 最终得到GW6B-252型隔离开关触头压力应该在400 N以上, 且触头污秽对隔离开关温升影响最大的结论。

关键词: GW6B-252型隔离开关; 触头温升; 接触电阻; 接触状态

中图分类号: TM564

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2018)04-0121-05

0 引言

高压隔离开关是电网中使用最广泛、使用量最大的高压开关设备, 通常是高压断路器使用数量的2~4倍^[1]。在电网运行过程中, 隔离开关接触面不洁净、触头烧蚀、机械变形松动等都可能引起接触条件恶化, 接触电阻增大, 造成接触点温度变高, 接触面氧化加快, 使局部熔焊或接触变形松动处产生电弧, 最终导致电气设备的损毁甚至停电等重大电气事故^[2]。在变电站电气设备的运行中, 实时在线监测触头升温具有重大意义, 可通过电气设备的温度信息直接判断其是否处在正常运行状态^[3]。

高压隔离开关工作可靠性与触头温升有着密切联系, 触头温升严重影响其安全工作性能和触头寿命。因此, 对隔离开关触头温度进行实时监测, 是保证高压隔离开关安全运行的重要手段, 对于提高设备运行的安全性, 及时发现事故隐患、预防事故发生具有重要的意义^[4-5]。文中通过研究GW6B-252型隔离开关不同触头接触状态与接触电阻及最大温升的关系, 得到不同隔离开关缺陷对触头温升的影响严重程度, 并指导检修人员对隔离开关发热缺陷进行判断与处理。

1 隔离开关触头常见发热缺陷原因

高压隔离开关在高电压、大电流状态下运行, 其工作可靠性与触头温升联系密切^[6]。GW6B-252

型隔离开关运行触头过热可能有以下原因:

(1) 合闸不到位, 电流通过的截面大大缩小, 导致接触电阻增大, 产生很大的斥力, 弹簧压力减小, 使压缩弹簧或螺丝松弛, 接触电阻增大而过热。

(2) 触头紧固件松动, 刀片或刀嘴的弹簧锈蚀或过热, 使弹簧压力降低; 或操作时用力不当, 使接触位置不正, 导致触头压力降低, 触头接触电阻增大而过热。

(3) 刀口合得不严, 使触头表面氧化、脏污; 拉合过程中触头被电弧烧伤, 各连动部件磨损或变形等, 均会使触头接触不良, 接触电阻增大而过热。

(4) 隔离开关过负荷, 引起触头过热, 在电网运行过程中, 以上机械振动、触头烧蚀等原因都可能使接触条件恶化, 接触电阻增加, 引起接触点温度升高, 加剧接触表面氧化, 导致局部熔焊或接触松动处产生电弧放电, 最终造成电气设备的损坏甚至停电等重大事故^[7-9]。

2 隔离开关触头接触电阻与温升试验

为探究隔离开关触头不同状态与触头接触电阻和最大温升的关系, 针对隔离开关的常见过热缺陷类型, 文中搭建隔离开关温升试验平台对GW6B-252型隔离开关进行温升试验, 分别测试不同触头接触状态下接触电阻和不同电流条件下的触头温升状态。

试验利用大电流试验装置对GW6B-252型隔离开关加载大电流并测量其触头温升与接触电阻。隔离开关触头接触电阻采用高精度回路电阻测试仪进行测试, 隔离开关触头压力采用隔离开关触指压力智能检测仪进行测试。

收稿日期: 2018-03-30; 修回日期: 2018-05-17

基金项目: 国家电网公司科技项目(高压开关设备机械状态评估及故障诊断关键技术研究); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2015JBM085)

采用热电偶测温仪测量隔离开关触头温度,试验前需先对测温仪进行温度校验,并检查隔离开关处于完全合闸状态;在试验过程中每隔 10 min 记录下测量点温度值,直到 30 min 内温升不超过 0.5 °C 时结束试验;在试验前后分别测量隔离开关的接触电阻并记录数值^[10]。

温升试验参照 GW6B-252 型隔离开关实际运行中可能出现的故障缺陷类型进行模拟,触指镀层材料不同模拟的是隔离开关因长时间多次闭合导致的镀层材料脱落^[11];接触压力不同模拟的是隔离开关因夹紧力不足造成的接触不良缺陷;动静触头表面污秽模拟的是实际运行中出现的表面污秽缺陷;蚀点模拟的是母线隔离开关因为开合闸过程中发生放电,引起的电弧造成的蚀点;不同的电流模拟的是实际运行中负载不同时, GW6B-252 型隔离开关的运行状况^[12]。为更好地研究隔离开关触头温度分布情况,在 GW6B-252 型隔离开关的动静触头上布置了 6 至 8 个温度监测点,布置如图 1 所示,其中 1—5 为测温点。

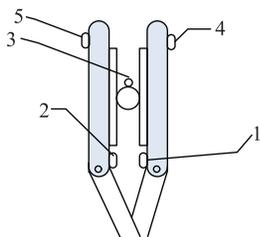


图 1 试验测温传感器布置示意图

Fig.1 Location schematic diagram of temperature monitoring

3 隔离开关触头接触状态对接触电阻的影响

对 4 种常见影响 GW6B-252 型隔离开关触头接触电阻与运行温度的因素排列组合后进行接触电阻测量和温升试验^[13]。表 1 为不同缺陷条件下接触电阻的数值。

经过接触电阻测量发现:GW6B-252 型隔离开关接触电阻随接触压力、触头材质、触头表面质量和触头表面污秽程度的变化数值可知,表面污秽对隔离开关触头接触电阻影响最大,其次是触头接触压力,触头材质对接触电阻也有一定影响,隔离开关触头蚀点对隔离开关触头接触电阻影响最小。

4 不同接触条件对隔离开关触头温升影响

设置 GW6B-252 型隔离开关触头接触状态,并开展不同 GW6B-252 型隔离开关触头接触状态条

表 1 不同触头接触状态与接触电阻的关系

Tab.1 The relationship between contact resistance and contact state

序号	接触压力/N	触头材质	表面质量	表面污秽	接触电阻/ $\mu\Omega$
1	202				27
	421	镀硬质银	正常	正常	21
	600				20
2	205				82
	440			0.1 mm 污秽	64
	610	镀硬质银	正常		42
	208				317
	438			0.2 mm 污秽	292
	617				276
3	403	镀硬质银	1 对点蚀 2 对点蚀	正常	21
	203	一侧镀			41
	432	银, 一侧			31
4	605	裸铜	正常	正常	29
	201				45
	421	裸铜			34
	605				31

件下的大电流试验,在相同电流条件下对表 1 中不同隔离开关触头接触状态进行触头温度监测。

4.1 接触压力对触头温升影响

图 2 为不同接触压力下触头最高温度随时间的变化曲线。在夹紧力为 400~600 N 时,接触电阻变化不明显,热点的稳态温升也几乎没有变化,从 25.8 °C 变化为 26.3 °C。夹紧力变为 200 N 附近时,温升有了一定的提高,温升变为 29.1 °C。通过结合接触电阻可知,夹紧力为 400~600 N 区间为 GW6B-252 型隔离开关的夹紧力良好区间,在此区间接触电阻以及温升几乎没有变化。当夹紧力下降至 200 N 附近时,由于夹紧力影响了动静触头接触面积,接触面积变小进而导致接触电阻明显变大,进而导致温升有更大的提升。

因此当 GW6B-252 型隔离开关触头表面状态良好时,若实际运行中触头接触压力尽量在 400 N 以上, GW6B-252 型隔离开关可在正常电流工况下安全可靠运行。

4.2 负载电流对触头温升影响

为探究隔离开关触头温升随负载电流的变化关系,文中设置 GW6B-252 型隔离开关动触头镀层材料均为镀硬质银材料,动静触头的接触压力为 202 N,动静触头表面状态良好无污秽和蚀点,将大电流发生器分别设置为 500 A, 1000 A, 1500 A, 2000

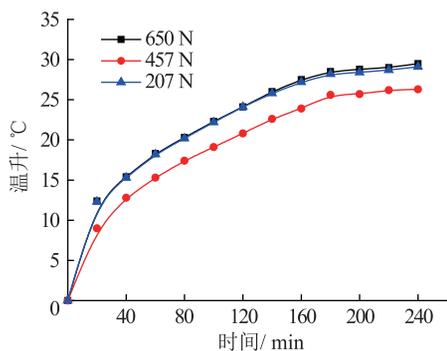


图2 不同接触压力下触头最高温度随时间变化曲线

Fig.2 The temperature of contact on the condition of different clamping force

A 和 2500 A 5 个等级,开展温升试验并监测隔离开关触头温度变化。

经试验测得,温升试验前后隔离开关触头接触电阻分别为 $27 \mu\Omega$ 和 $28 \mu\Omega$,不同负载电流对应的热点的稳态温升如图 3 所示。由图可知,随着负载电流的增加,GW6B-252 型隔离开关触头的温度也有所增加。温升曲线的斜率随电流增大而增大^[14]。这是由于发热功率与电流的平方成正比,负载电流对热点的稳态温升有着显著的影响。但热点温升并未与电流成平方的关系,是因为随着电流的增大,热点的发热功率也会随之成平方倍增大,但随着功率的增大温度的升高,触头表面对流作用和热点与周围的温度差变大,使得对流散热与热传导散热的功率不断增大,使得触头发热点的温度小于其功率随电流的增长速度,使温度上升曲线介于线性增加与平方关系增加之间。

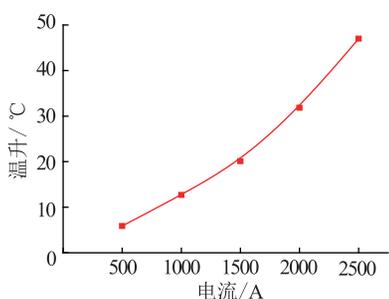


图3 触头最高温度随负载电流变化曲线

Fig.3 The relationship of the temperature of contact and load current

4.3 接触压力与污秽程度对触头温升影响

向 GW6B-252 型隔离开关动静触头处撒干粉尘,使动触头污秽最大厚度介于 $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$,即轻度污秽状态。向动静触头连接处播撒湿粉尘,污秽最大厚度介于 $0.15 \sim 0.2 \text{ mm}$,即重度污秽状态。经前期试验测得,在轻度污秽的状态下,夹紧力为 205 N,440 N,610 N 时,隔离开关的接触电阻分别为 82

$\mu\Omega$, $64 \mu\Omega$, $42 \mu\Omega$,在这 3 组夹紧力的情况下进行温升试验,得到了稳态情况下热点的温升以及隔离开关的温度分布情况。在重度污秽的状态下,夹紧力为 203 N,438 N,617 N 时,GW6B-252 型隔离开关的接触电阻分别为 $317 \mu\Omega$, $292 \mu\Omega$, $276 \mu\Omega$,在这 3 组夹紧力的情况下进行温升试验,得到了在稳态情况下热点温升以及隔离开关温度分布情况。不同污秽程度、不同夹紧力对应的热点的稳态温升情况如表 2 所示。

表2 GW6B-252型隔离开关触头最高温度随夹紧力与污秽程度变化关系

Tab.2 The relationship between the temperature of contact, clamping force and contamination $^{\circ}\text{C}$

触头夹紧力	无污秽	轻度污秽	重度污秽
200 N 附近	29.1	45.3	73.7
400 N 附近	26.3	37.1	66.58
600 N 附近	25.8	32.8	54.6

由表 2 可知,存在污秽缺陷时,热点温升有显著提高。相较于前文中所述的表面状态正常情况下接触压力对温升的影响,可看出,存在污秽缺陷时,接触压力对热点的温升影响更加剧烈。不存在污秽状态时,接触压力 400 ~ 450 N,温升基本保持不变。但是表面存在污秽时,200 ~ 600 N 区间,热点温度有显著的变化。而且可以明显看出,同一个接触压力情况下,不同的污秽状态对热点的温升也有着显著的影响。接触状态最差的情况(接触压力 203 N,污秽状态为重度污秽)热点的温升到达了 73.7°C ,相较于正常情况的温升 26°C 提高了 47.7°C 。由此可见,触头表面污秽对隔离开关稳态的温升有着显著的影响,且有污秽存在时,接触压力对 GW6B-252 型隔离开关触头温升的影响幅度也会增大。

4.4 触头接触压力及触头材质对触头温升分布影响

为研究 GW6B-252 型隔离开关触头压力及材质对触头温升的影响,分别对动触头两侧镀银和单侧镀银情况下的最大温升进行对比试验,对单侧镀银模型进行不同接触压力条件下的温升对比试验,经过隔离开关触头压力测试仪检测,三种状态下接触压力分别为 605 N,432 N 和 203 N,GW6B-252 型隔离开关触头温升随时间的变化规律如图 4 所示。

由图 4 可知,动触头材质一侧由镀银触指换为裸铜触指时,热点的温升变大。随着接触压力逐渐变小,热点温升进一步上升。在接触压力为 203 N 时,热点温升达 30.8°C ;在接触压力为 432 N 时,热点温升为 32.3°C ;在接触压力为 601 N 时,热点的

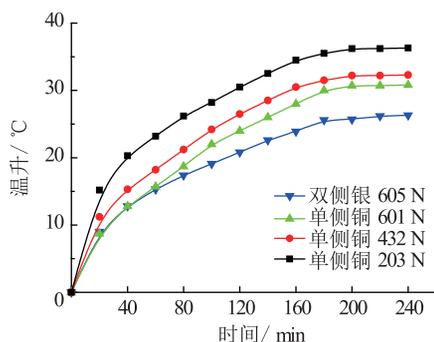


图4 不同镀层材料、不同压力下触头温升曲线

Fig.4 The relationship between the temperature of contact and clamping force with coating material of contact

温升为 36.3 °C。在正常的双侧触指镀银的情况下,热点的温升仅为 26.3 °C,将一侧触指换为裸铜时,接触电阻与温升都有小幅度的提升,这是因为铜的电导率低于银的电导率,致使局部接触电阻增加,进而引起异常发热。在温度场分布方面,不同位置点的稳态温升如表 3 所示。

表 3 隔离开关不同位置稳态温升

Tab.3 Steady temperature rising on different positions of isolation switch °C

接触压力/N	动触头下侧(1)	银侧热点温升(2)	静触头下侧(3)	静触头上侧(4)	动触头上侧(5)	静触头远端(6)	铜侧热点温升(7)
605	24.2	26.5	26.2	26.5	17.5	22.1	21.9
432	25.4	27.3	27.1	27.2	18.2	22.3	23.7
203	27.8	33.7	32.8	33.1	19.8	28.8	29.1

由表 3 可知,动静触头 1,3,4 点的温升情况相差不大,热点的温度越高,温度最高与最低值相差越大。在同一组实验中可知,静触头上下两侧的温升基本相同,上方的温升略高于下方的温升,这是由于触头周围空气对流,热空气向上运动,静触头上方的温度要略高于静触头下方的温度值^[15]。

但是相较于双侧动触头镀银实验得到的温度分布可以发现,2 点(银触指侧)与 7 点(铜触指侧)的温度也有所差异,银触指的温度要明显高于铜触指温度,这是由于铜银两个触指是并联状态,铜侧的接触电阻大的触指分到的电流小,发热的功率又与电流的平方成正比例关系,因此铜触指侧相对应的发热情况比较弱,也导致了在温度分布上出现了银触指的温度要明显高于铜触指温度。

通过温度分布规律可知,接触电阻小的一侧触指的温升更高。若现场测温时发现单侧触头的温升过高,可推测出隔离开关另一侧可能出现触头接触不良等故障。

5 结论

GW6B-252 型隔离开关温升试验对不同触头接触状态下隔离开关触头的最高温升和温升分布及触头接触电阻等参数进行测量,最终得到触头温升和接触电阻受不同缺陷条件影响的大小关系,得到以下结论:

(1) 表面污秽对 GW6B-252 型隔离开关触头接触电阻和触头温升影响最大,其次是触头接触压力,触头材质对接触电阻有一定影响,隔离开关触头质量(蚀点)对隔离开关触头接触电阻影响最小。

(2) GW6B-252 型隔离开关触头温升随负载电流增大而增大,但电流的增大温度的升高,触头表面对流作用和热点与周围的温度差变大,使得对流散热与热传导散热的功率不断增大,最终使触头温度小于其功率随电流的增长速度,因此触头温升曲线介于线性增加与平方关系增加之间。

(3) GW6B-252 型隔离开关触头表面污秽对隔离开关稳态的温升有着显著的影响,且有污秽存在时,接触压力对温升的影响幅度也会增大。

(4) 当 GW6B-252 型隔离开关两侧触头接触条件不一致时,接触条件好的一侧触指的温升更高。若现场测温时发现单侧触头的温升过高时,可推测出另一侧可能出现触头接触不良等故障。

参考文献:

- [1] 周武仲. 电力设备维修诊断与预防性试验[M]. 北京:中国电力出版社, 2008.
ZHOU Wuzhong. Maintenance diagnosis and preventive test of electric power equipment [M]. Beijing: China Electric Power Press. 2008.
- [2] 王超, 罗虎. 电力设备异常运行及事故处理手册[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2015.
WANG Chao, LUO Hu. Manual of abnormal operation of electric power equipment handling of accident [M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2015.
- [3] 凌颖, 赵莉华, 林显, 等. 高压隔离开关电触头性能改善探讨[J]. 高压电器, 2010, 46(8):101-105.
LING Ying, ZHAO Lihua, LIN Xian, et al. Study on the performance improvement of the electric contact of high voltage isolation switch [J]. High Voltage Electrical Apparatus, 2010, 46(8): 101-105.
- [4] 王磊, 严浩军, 林钧, 等. 户外高压隔离开关电触头温升机理研究[J]. 广东电力, 2014(12):92-95.
WANG Lei, YAN Haojun, LIN Jun. Research on temperature rise mechanism of outdoor high-voltage isolating switch electrical contacts [J]. Guangdong electric power. 2014 (12): 92-95.
- [5] 任大江, 秀春男, 席志峰, 等. 变电站一次设备温度实时监测数据分析报警系统的研发[J]. 现代制造, 2017(24):19

- 19.
REN Dajiang, XIU Chunnan, XI Zhifeng. Substation real-time monitoring data analysis and alarm system research and development[J]. *Modern Manufacturing*, 2017 (24): 19-19.
- [6] 杨景刚,刘媛,高山,等. 高压开关机械故障诊断技术[J]. *江苏电机工程*, 2016, 35(2): 1-5.
YANG Jinggang, LIU Yuan, GAO Shan, et al. Review on mechanical fault diagnosis of high-voltage circuit breakers [J]. *Jiangsu Electrical Engineering*, 2016, 35(2): 1-6.
- [7] TIMSIT R S. Electrical instabilities in stationary contacts: al/al and al/brass junctions[J]. *Electrical Contacts*, 1988, 11(1): 12-16.
- [8] RUNDE M, HODNE E, TTDAL B. Current-induced aging of contact spots[J]. *Electrical Contacts*, 1989, 12(13): 20-25.
- [9] LEE KL, HU CK, TU KN. In-situ scanning electron-microscope comparison studies on electro-migration of Cu and Cu (Sn) alloys for advanced chip interconnects[J]. *Journal of Applied Physics*, 1995 (8): 4428-4437.
- [10] 吴涛,余海涛,戴永正,等. 550 kV 高压隔离开关热稳定性分析[J]. *高压电器*, 2013, 49(9): 134-141.
WU Tao, YU Haitao, DAI Yongzheng. Thermal stability analysis of 550 kV high voltage isolation switch [J]. *High Voltage Electrical Apparatus*. 2013, 49(9): 134-141.
- [11] 何兵,邓海峰. GW4/GW5型隔离开关烧坏原因分析及预防控制措施研究[J]. *电气开关*, 2012, 50(4): 46-48.
HE Bing, DENG Haifeng. Research and prevention of GW4/GW5 isolation switch burning out[J]. *Electric Switch*, 2012, 50(4): 46-48.
- [12] 徐虎林. GW16型隔离开关结构的改进设计[J]. *电气制造*. 2011(1): 50-52, 55.
- XU Hulin. An improved design of GW16 disconnector structure [J]. *Electric Manufacturing*, 2011(1): 50-52, 55.
- [13] 夏振岭,宋维功,刘峰,等. GW16-252高压隔离开关不能分闸故障分析[C]// 亚太智能电网与信息工程学术会议. 北京: 2011.
XIA Zhenling, Song Weigong, Liu Feng, et al. Fault analysis of GW16-252 high voltage disconnector unusable to open a breakout [C]// Asia Pacific Conference on Smart Grid and Information Engineering. Beijing: 2011.
- [14] 李广鹏. 隔离开关静触指组件热缺陷机理与防护研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2016.
LI Guangpeng. Study on mechanism and protection of thermal defects of static contact components of Isolating switches [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Railway University, 2016.
- [15] 张扬. 一例红外测温技术诊断220 kV隔离开关过热缺陷[J]. *江苏电机工程*, 2012, 31(5): 21-22.
ZHANG Yang. An example of diagnosing overheating defects in 220 kV disconnector by infrared thermometric techniques [J]. *Jiangsu Electrical Engineering*, 2012, 31(5): 21-22.

作者简介:



李玉杰

李玉杰(1991—),男,硕士,工程师,从事高压开关及局部放电带电检测工作(E-mail: liyujie.12@qq.com);

李洪涛(1987—),男,博士研究生,工程师,研究方向为高压开关电器(E-mail: 5pro@163.com);

高山(1971—),男,本科,高级工程师,从事高电压技术相关工作。

The Relationship between Contact Temperature and Temperature Rise of GW6B-252 Isolation Switch

LI Yujie¹, LI Hongtao¹, GAO Shan¹, TENG Yun¹, HE Yanmiao², LIU Tong¹

(1. National Power Grid Corp GIS Equipment Operation and Maintenance Technology Laboratory

(State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute), Nanjing 211103, China;

2. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: The problem of overheating fault of high-voltage isolation switch has brought unavoidable safety hazard for power system. The temperature rise is an important index to evaluate the operation state of isolation switch. The contact resistance value is the key parameter to indicate whether the connection of the conducting circuit is good. The temperature rise of the isolator is mainly controlled by the contact resistance. When the contact resistance changes, the overall temperature distribution of the isolation switch changes. In this paper, the effects of different defects of the contact resistance and the maximum temperature rise on the contacts of GW6B-252 isolation switch are studied. The conclusion is occurred that the contact pressure of the GW6B-252 should be above 400 N, and the fouling of the contact has the greatest influence on the temperature rise of the GW6B-252 isolation switch.

Key words: GW6B-252 isolation switch; temperature rise of the contact; contact resistance; contact state

(编辑 方晶)