

# 红外测温技术在特高压启动调试过程中的应用

王晨,陶加贵,马勇,肖雷,施景奎

(国网江苏省电力公司电力科学研究院,江苏南京 211103)

**摘要:**红外测温技术目前已成熟应用于电力设备状态检修、带电检测,但在变电站启动调试阶段鲜有应用。文中通过2起案例介绍了红外测温技术在淮上特高压工程某1000 kV变电站启动调试中的应用,提出了目前启动调试过程中进行红外测温存在的关键问题以及解决建议。

**关键词:**特高压;红外测温;启动调试;消缺

**中图分类号:**TM407

**文献标志码:**A

**文章编号:**1009-0665(2016)06-0029-03

在特高压工程投运前,对特高压系统的设备性能和控制保护功能进行启动调试,在初送电过程中进行各项测试,是筛查特高压系统各类电气问题的有效手段,也是确保特高压工程投运后能正常运行的重要环节<sup>[1]</sup>。红外测温技术是目前带电检测的重要手段,已成熟应用于各类运行变电站。然而发热缺陷发现易、处理难,尤其是特高压变电站在运行期间,难以及时停电处理缺陷。因此有必要在调试阶段开展红外测温工作,实现关口前移,把潜在的问题消除在正式投运前,保障电网安全可靠运行。2016年3月淮南—南京—上海特高压工程启动调试期间,国网江苏省电力公司电力科学研究院采用红外测温技术在某1000 kV变电站发现数起异常发热缺陷,并跟踪复检,评估检修效果,科学、有效地排除了缺陷隐患。

## 1 红外测温的原理

任何温度高于绝对零度( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ )的物体都会发出红外线,又称红外辐射。物质发射出的红外线反应在物体表面的温度场即“红外热像”。运行中的电力设备因其具有电压、电流产生热效应对外辐射产生红外线电磁波。红外测温仪通过吸收红外辐射能量,检测设备表面的温度及温度场的分布,从而准确发现电气设备运行中的异常和缺陷。电力设备不同程度、不同位置、不同性质的故障,均会产生不同的温升且表面温度分布也会具有不同特征。所以分析处理红外热像图能够对潜伏中的设备缺陷作出判断,这就是红外测温技术发现诊断电力设备故障的基本原理<sup>[2]</sup>。

## 2 特高压调试过程中的红外测温

不同于日常运行维护,带电检测中的红外测温,特高压启动调试过程中红外测温存在环境恶劣、检测时间紧、运行方式复杂、设备首次带电等不确定因素。这些均对红外测温人员技术水平提出了很大要求。

### 2.1 测温环境

根据DL/T 664—2008<sup>[3]</sup>,一般检测要求环境温度不低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度不大于85%,白天天气以阴天、多云为佳。检测不宜在雷、雨、雾、雪等恶劣气象条件下进行,检测时风速一般不大于 $5\text{ m/s}$ ,精确检测要求风速一般不大于 $1.5\text{ m/s}$ 。被检测设备周围背景辐射均衡,应避免附近有影响检测结果的热辐射源引起的反射干扰。而变电工程启动调试时多难以达到以上要求。

### 2.2 运行方式

特高压工程启动调试时各线路及无功装置逐一投切,主变及汇流母线区域设备负荷远低于正常运行时,部分设备甚至会空载运行。例如特高压泰州站投切1号主变110 kV侧低压电抗器、电容器试验。其110 kV设备区域:3组电抗器、4组电容器、1台站用变逐一投切。110 kV汇流母线1101开关和1102开关最大负荷电流约为1200 A,与实际运行时可能达到的4000 A相差甚远,且投切时最长运行时间均不超过1 h。难以达到DL/T 664—2008规定“设备通电时间不少于6 h,最好在24 h以上,被测设备在不低于30%额定负荷下运行”的红外测温要求。泰州站投切1号主变110 kV侧低压电抗器、电容器试验系统接线方式如图1所示。

### 2.3 测试安全

启动调试期间,所有设备均是初次带电,且投切频繁,设备发生故障可能性远大于正常运行。同时缺陷设备需要足够的通电时间,才会有明显温升,测温人员需要熟悉投切方案,明确设备投切情况及带电时间,提前制定测温计划。测试期间应与投切负责人随时保持联系,确保在开关投切时,测温人员远离被投切设备。

### 2.4 诊断注意事项

综合上述,特高压启动调试期间红外测温诊断存在以下注意点:

- (1) 白天光照强烈时,测温需及时排除反射干扰。
- (2) 风速大时,受风速影响,设备表面温度下降,测试人员应根据具体风速对实测温度做适当修正或提高缺

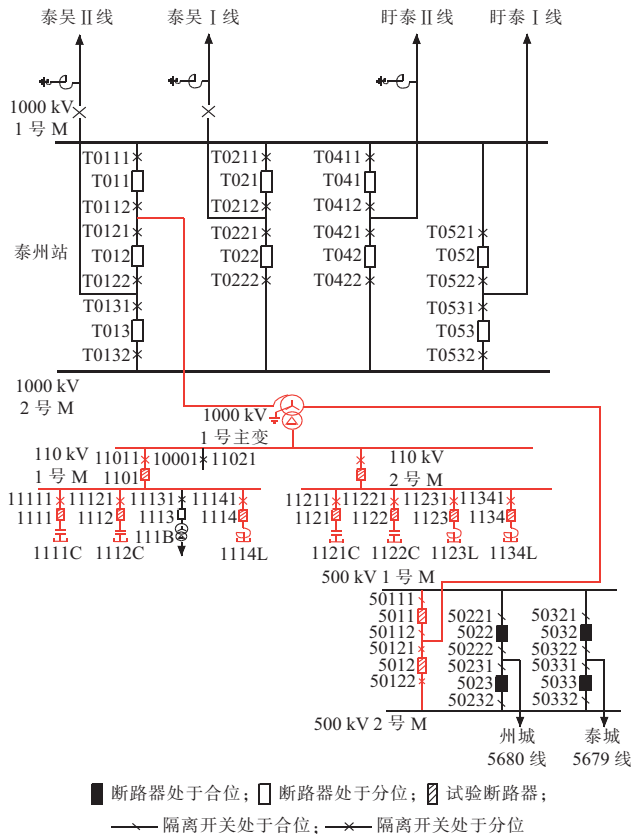


图1 泰州站投切1号主变110 kV侧低压电抗器和电容器试验系统接线方式

陷判断等级<sup>[4]</sup>。(3) 检测人员需估算实际运行时负荷,并结合实际检测时负荷对实测温度做适当修正或提高缺陷判断等级。(4) 特高启动调试时设备带电时间有限,需根据设备运行时间、负荷和环境,综合评估缺陷性质。(5) 检测人员需及时给出检修建议,并于消缺后及时复测。

### 3 案例分析

#### 3.1 1号主变11011 闸刀

##### 3.1.1 案例情况

2016年3月10日投切1114低抗期间,红外测温发现1号主变11011 闸刀B相接头(开关侧)发热,其中A相23.2℃、B相200℃、C相50.1℃,相间最大温差176.8 K。经停电检查,为连接板电接触表面未除净氧化层和导电膏未涂抹均匀,导致接触电阻增大,随即对其进行处理、消缺。

##### 3.1.2 检测分析方法

1号主变11011 闸刀B相接头(开关侧)热像图如图2所示。图2中最高温度为200℃。1号主变11011 闸刀A相和C相热像图如图3所示。两相温度分别为23.2℃、50.1℃,环境参照温度为5℃。

根据公式:

$$\delta_t = \frac{\text{对应点温差}}{\text{对应点升温}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \times 100\% \quad (1)$$

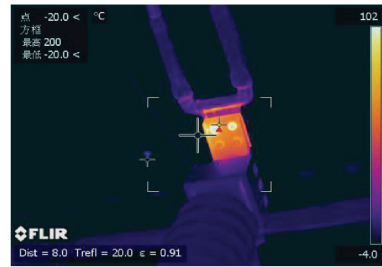


图2 B相接头(开关侧)热像图

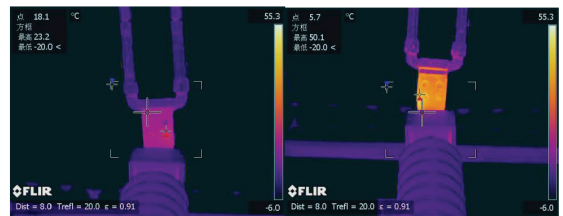


图3 1号主变11011 闸刀A相和C相热像图

计算得出相对温差值为93.3%。热像图显示发热缺陷点属于金属部件与金属部件的连接,根据DL/T 664—2008 电流致热型设备缺陷诊断判据:热点温度>130℃或 $\delta \geq 95\%$ 为危急缺陷。考虑到该刀闸在特高压启动调试期间送电时间不到30 min,且负荷仅为实际运行的1/3。日后投运生产时,该缺陷温度可能远高于200℃,应当引起重视。

##### 3.1.3 检修过程

现场结合红外图谱初步判定发热点为图4所示的红圈内螺栓,检修人员登高使用力矩扳手检查螺栓,未发现明显松动,怀疑为连接板电接触表面未除净氧化层或导电膏未涂抹均匀。随后检修人员使用回路电阻仪测试缺陷位置电阻,测试结果如表1所示。



图4 缺陷发热点可见光图片

表1 回路电阻测试数据  $\mu\Omega$

相别	A相	B相	C相
处理前	45.15	192	89
处理后	10	10.8	8

回路电阻测试完成后检修人员拆卸接头,精细处理接触面。先用150目细砂纸去除残留导电膏,再用无水酒精擦拭接触面,确保表面清洁。然后用刀口尺和塞尺测量平面度后,均匀薄涂导电膏,控制涂抹剂量,用不锈钢尺刮平,再用百洁布擦拭干净,使接线板表面形成一薄层导电膏<sup>[5]</sup>。接着对角预紧螺栓、再用规定力矩拧紧,保证接线板受力均匀,并用记号笔做标记。复测回路电阻,数值较处理前大幅降低,测试数据见表1。

分析认为,此缺陷是由于安装时未按要求处理连接板电接触表面,造成接触面电阻增大,电流转而流经螺栓,继而引起的发热。次日消缺结束后重新送电,复测1号主变11011 闸刀,发现原热点消失,缺陷得到了有效地消除,充分发挥了启动调试期间红外测温发现缺陷可立即停电处理的优势。

### 3.2 1号主变调补变A相

#### 3.2.1 案例情况

2016年3月21日,红外测温发现1号主变调补变A相X2与X套管升高座间油路接头螺栓发热,其中温度 $32.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,B相、C相 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。3月23日停电检查螺栓并未有异常,怀疑是漏磁引起的发热,电科院技术人员建议在法兰两侧加装短接线。

#### 3.2.2 检测分析方法

1号主变调补变A相局部热像图如图5所示。图5中最高温度为 $32.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。



图5 1号主变调补变A相局部热像图

1号主变调补变B相和C相热像图如图6所示。两相温度分别为 $18.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $18.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,环境参照温度为 $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对温差 $68\%$ 。

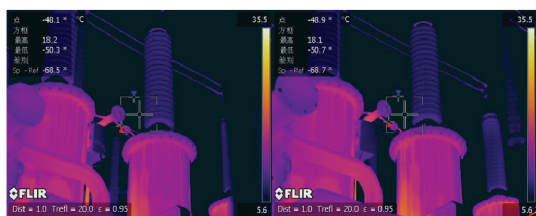


图6 1号主变调补变B相和C相局部热像图

根据DL/T 664—2008漏磁环(涡)流现象引发的发热缺陷诊断判据:温差 $\delta \geq 35\%$ 但热点温度未达到严重缺陷温度值<sup>[6]</sup>。诊断结果为一般缺陷,但由于当前负荷远低于实际运行,日后运行时实际温度会高于当前温度,缺陷有上升为严重缺陷的可能,应利用特高压启动期间的停电机会及时处理。

#### 3.1.3 检修过程

3月23日停电检修时在法兰两侧加装短接线如图7所示。

3月24日重新送电后电科院复测1号主变调补变A相X2与X套管升高座间油路接头螺栓 $12.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,缺陷得到了有效地消除。复测红外热像图如图8所示。



(a) 加装前 (b) 加装后

图7 1号主变调补变A相局部可见光



图8 复测红外热像图

## 4 结束语

(1) 红外精确测温对于发现安装施工不合格、不符合工艺要求的设备,如螺栓紧固不到位、未拧紧、未加弹簧垫、连接件焊接工艺差等问题具有较好的检测效果,在调试期间开展红外检测并及时处理缺陷,可避免投运后再次停电。(2) 启动调试过程中开展红外测温目前尚未制定导则和标准规范,缺陷判断依赖于测试人员的经验判断,应尽快制定相关导则和标准规范。(3) 在制定启动调试及调度方案时,应将红外测温纳入计划时间。

### 参考文献:

- [1] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005: 89-95.
- [2] 钟义, 陈小军, 程锦.  $\pm 800\text{ kV}$  特高压直流换流站换流站设备红外热像带电检测技术探讨[J]. 电气安全, 2012, 32(21): 38-42.
- [3] DL/T 664—2008 带电设备红外诊断应用规范[S].
- [5] 王晨, 陶加贵, 施景奎, 等. 两起典型红外发热缺陷案例分析及处理[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(4): 21-24.
- [4] 王晨, 施景奎, 陶加贵, 等. 红外测温诊断影响因素分析[J]. 电力安全技术, 2015, 34(6): 48-52.
- [6] 王雨阳, 王永强, 王洁, 等. 一起110 kV 电缆终端特殊部位发热的分析处理[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(4): 9-11.

### 作者简介:

- 王晨(1990),男,江苏盐城人,助理工程师,从事带电检测方面的研究工作;
- 陶加贵(1984),男,江苏盐城人,工程师,从事开关方面的研究工作;
- 马勇(1986),男,湖北保康人,工程师,从事输变电工程启动调试、过电压检测分析及避雷器和电容器设备专业管理工作;
- 施景奎(1986),男,江苏盐城人,助理工程师,从事开关方面的研究工作;
- 肖雷(1987),男,江苏淮安人,助理工程师,从事带电检测方面的研究工作。

- [11] 何整杰,李震彪,梁盼望. 输电线温度及载流量的 ANSYS 计算方法[J]. 浙江电力,2010,29(8):1-5.
- [12] Q/GDW 179—2008,110~750 kV 架空输电线路设计规范[S].
- [13] 张国顺. 现代激光制造技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006:23-29.
- [14] 柳亚芳. 基于参数辨识的架空导线载流温升热路模型研究[D]. 南京:南京理工大学,2015.

作者简介:

- 黄清(1968),男,江苏常州人,高级工程师,从事电网设备状态分析及技术管理工作;
- 魏旭(1974),男,江苏连云港人,教授级高级工程师,从事高电压及变电设备技术研究与管理工;
- 周志成(1977),男,湖南株洲人,高级工程师,从事高电压技术研究工作。

## Research on Temperature Effect of Laser on Overhead Transmission Line

HUANG Qing<sup>1</sup>, WEI Xu<sup>1</sup>, ZHOU Zhicheng<sup>2</sup>

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** The foreign body cleaner based on directed energy laser is a new type of foreign body removal tool which is effective, safe, convenient, and practical. It can remove foreign bodies of overhead transmission line remotely under live working condition. When the laser device cleans foreign bodies, the local temperature rise of wire may happen, followed with local damage of wire or abnormal operation of power transmission line. Theoretical analysis and multi-physics finite element simulation are carried out to study the local temperature variation and temperature field distribution of wire under laser action. The simulation results show that the laser absorption rate and the wire diameter have great effect on wire temperature during the laser action on wire. The simulation results of laser irradiating aluminum cable steel reinforced (ACSR) LGJ-300/50 show that the laser irradiation can result in local temperature rise with the upper limit of 170°C, and the local conductivity of current carrying conductor has an uneven distribution related with temperature.

**Key words:** foreign body removal; laser; overhead line; wire; temperature

(上接第 31 页)

## Application of Infrared Temperature Measurement Technology in Start-up and Commissioning of UHV

WANG Chen, TAO Jiagui, MA Yong, XIAO Lei, SHI Jinglei

(State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** The infrared temperature measurement technology is widely used in detecting and repairing electrical equipment, but hasn't been used in substation start-up and commissioning. In this paper, the infrared temperature measurement technology applied into the start-up and commissioning of ultra-high voltage project in two engineering cases are introduced. Finally, the problems of and corresponding suggestions to infrared temperature measurement technology for start-up and commissioning are proposed.

**Key words:** ultra-high voltage; infrared temperature; start-up and commissioning; eliminate defects

(上接第 44 页)

## Directional Component Based on Sequence Component for Parallel Lines with Magnetically Strong and Electrically Weak Connection

ZHANG Qibing<sup>1</sup>, SU Dawei<sup>1</sup>, XU Chunlei<sup>1</sup>, PENG Zhiqiang<sup>2</sup>

(1.State Grid Jiangsu Electrical Power Company, Nanjing 210024, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** The zero sequence directional component gives the wrong judgment when ground faults occur on the other line of the parallel transmission lines with magnetically strong and electrically weak connection. Focused on the problem, the characteristics of voltage sequence components under different faults are analyzed. Based on different voltage sequence components, a new zero sequence directional component is proposed in this article. Considering the different types of faults, the new zero sequence directional component takes the synthetic value of zero sequence voltage and positive sequence voltage as the reference voltage of phase comparison. The new proposed zero sequence directional component can distinguish the fault direction correctly for parallel transmission lines with magnetically strong and electrically weak connection, preventing the unwanted operation of the pilot zero sequence directional protection. The simulation by PSCAD verifies the effectiveness of the new directional component.

**Key words:** weak electrical and strong magnetic; parallel lines; directional component