

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2016.06.030

基于红外测温技术的电气设备汇控柜 内部异常发热的分析与处理

李永祥¹, 杨冬冬¹, 王天正¹, 张来福¹, 高佳琦², 李艳鹏¹

(1. 国网山西省电力公司电力科学研究院, 太原 030001; 2. 国网山西省电力公司晋城供电公司, 山西 晋城 048000)

摘要: 为实现电力设备的安全可靠运行, 针对电力设备汇控柜内元器件及二次回路发热问题, 结合红外热成像检测技术的应用实践, 文中研究了电气设备汇控柜中二次端子排和接触器接线端的异常发热。依据相关的检测数据, 采用表面温度判断、相对温差法和同类比较判断方法分析了上述发热问题的成因, 并提了具体的处理方案。通过对汇控柜的红外热成像检测, 为汇控柜的状态检修提供可靠的数据, 同时也为红外测温技术在继电保护及安全自动装置等二次设备上的应用提供依据。

关键词: 电气设备; 汇控柜; 红外测温; 异常发热

Analysis and Treatment of Control Cubicle Internal Abnormal Heat for Electrical Equipment Based on Infrared Thermometry

LI Yongxiang¹, YANG Dongdong¹, WANG Tianzheng¹,
ZHANG Laifu¹, GAO Jiaqi², LI Yanpeng¹

(1. Electric Power Research Institute, Shanxi Provincial Electric Power Corp., Taiyuan 030001, China;

2. State Grid Jincheng Power Supply Company, Shanxi Jincheng 048000, China)

Abstract: In order to achieve the safety and reliability operation of electrical equipment, the thermal problem of secondary terminal and contactor connector in control cubicle are researched by combined with the application practice of the infrared thermal imaging detection technology. The reasons of abnormal thermal are analyzed through employing the surface temperature of comparison, relative temperature different methods and same kind comparison methods according to the related testing data, and give out the specific processing scheme. It provides a reference for the condition-based maintenance of control cubicle and the application of secondary equipment.

Key words: electrical equipment; control cubicle; infrared thermometry; abnormal heat

0 引言

状态检修的核心是电气设备状态评估, 通过设备状态评估对故障的部位、严重程度、发展趋势作出判断, 从而制定合理的检修计划。在状态评估中, 关键是通过运行、带电测试、在线监测等手段获取设备状态数据^[1-4]。红外诊断技术作为带电检测的重要组成部分, 已广泛应用于电力生产实践。通过红外诊断技术可以准确地获取带电设备的温度等状态, 并且对被测物形成清晰的影像。通过分析可发现设备过热性缺陷或者潜故障状态, 是预防事故、开展带电设

备状态检修及评价的有效依据^[5-6]。

目前, 红外测温技术大多针对电网中的一次设备如: 电力变压器、断路器、GIS、隔离开关、电流互感器、电容器、避雷器、电力电缆、绝缘子及架空线路等, 发现了不同输变电设备的发热缺陷及部位, 并建立了相应的典型图谱库及缺陷案例库^[7-20]。然而, 对于电力设备二次系统及控制装置的红外热成像检测则相对较少, 对应用于继电保护及安全自动装置等二次设备及控制回路红外测温研究缺乏。因此, 文中结合电力设备红外热成像检测的经验, 研究了电气设备汇控柜内部二次端子排、接触器接线端异常发热, 分析了上述发热成因, 并提了处理方案。

收稿日期: 2016-01-14; 修回日期: 2016-03-21

1 红外测温的原理及应用

1.1 红外诊断原理概述

红外辐射基本规律表明,物体红外辐射的本质是热辐射,热辐射的强度及光谱成分取决于辐射体的温度。电力设备运行状态的红外检测,实质是对设备(目标)发射的红外辐射进行探测及显示处理的过程^[5]。设备发射的红外辐射功率经过大气传输和衰减后,由检测仪器光学系统接收并聚焦在红外探测器上,并把目标的红外辐射信号功率转换成便于直接处理的电信号,经放大处理,以数字或二维热图像的形式显示目标设备表面的温度值或温度场分布,见图 1。

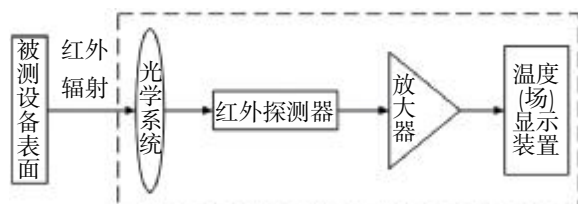


图 1 红外探测原理示意图

Fig. 1 Principle of infrared thermal detection

1.2 红外测温在电网中的应用

按现有关标准及规范,电气设备的发热缺陷可分为电流致热型、电压致热型和综合致热型 3 类,且根据过热缺陷对电气设备运行的影响程度分为一般缺陷、严重缺陷及危急缺陷,针对不同的发热缺陷类型采用的处理方法不同^[7-8]。

对于电气设备的发热故障,从红外检测与诊断的角度分为外部故障和内部故障^[5]。外部故障是指裸露在设备外部各部位发生的故障(如电气接头故障、设备表面污秽以及金属封装设备箱体涡流过热等)。内部故障是指封闭在固体绝缘、油绝缘及设备壳体内部的各种故障。由于受到绝缘介质或设备壳体的阻隔,不同于外部故障从设备外部直接获得直观的有关故障信息。但依据电气设备的内部结构和运行工况,分析热交换形式的传热规律,并结合模拟试验、大量现场检测实例的统计分析和解体验证情况,获得设备内部故障在设备外部显现的温度分布规律或热像特征,从而对设备内部故障的性质、部位及严重程度做出判断^[9]。

电力设备的二次系统及控制装置主要有汇控柜、冷控箱及机构控制箱等,不同于一次设备,作为设备运行状态与主控室的枢纽,主要用于监测和控制电力设备的状态。要实现对其红外热成像检测,必须打开汇控柜及控制箱等柜门或箱盖才能使汇控柜等内部的元器件视同于外部设备,方可进行红外检

测与诊断。采用红外测温技术可准确快速的找出汇控柜、控制箱等内部元器件或二次控制回路等异常发热情况,从热图像可直观地判断是否存在热故障,根据温度分布可准确地确定故障的部位及故障严重程度,因此属于外部故障。

2 汇控柜红外测温异常发热类型及案例分析

2.1 汇控柜发热异常的类型

作为电气设备的重要组成部分,汇控柜是对设备进行现场监视与控制的集中控制屏,是间隔内、外各元件以及设备与主控室之间电气联络的中间枢纽。汇控柜的主要作用:显示一次主接线方式及运行状态;监视开关的分、合闸状态;实施开关就地—远方操作;实现本间隔断路器、隔离开关、接地开关之间的电气闭锁;监视气室 SF₆ 气体密度等。

针对多个变电站不同间隔的汇控柜,打开汇控柜柜门,采用红外热成像仪对汇控柜内部元器件及二次回路检测发现异常发热主要分为两种类型:①二次回路接触不良引起的发热,如二次端子、接触器接线端异常发热;②线圈类元器件的异常发热(与其他该类器件温度和该器件的最大工作温度相比过高),如主回路继电器、辅助回路继电器异常发热。

目前,红外热成像检测分析方法主要有表面温度判断法、相对温差法、同类比较法、图像特性判断法、档案分析法和实时分析法^[7]。针对所讨论的电力设备汇控柜内异常发热问题,文中采用表面温度判断法、相对温差法及同类比较法进行分析,并参照 DL/T 664—2008《带电设备红外诊断应用规范》判断发热的类型及缺陷的性质。

温差是不同被测设备或同一被测设备不同部位之间的温度之差。温升是指被测设备表面温度和环境参照体表面温度之差。相对温差指两个对应测点之间的温差与其中较热点的温升之比的百分数。其数学表达式如下。

$$\delta_1 = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} \times 100\% = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中: τ_1 、 T_1 分别为发热点的温升和温度; τ_2 、 T_2 分别为正常相对应点的温升和温度; T_0 为环境参照体的表面温度。

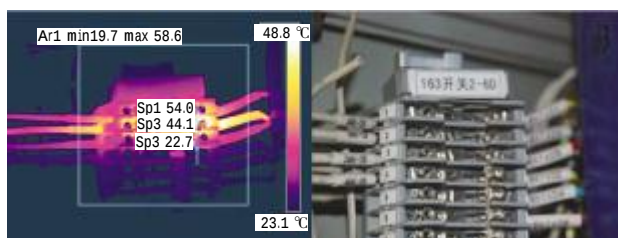
2.2 二次端子异常发热

2.2.1 检测数据分析

在对某 110 kV 变电站进行红外测温发现某间隔汇控柜二次端子排发热异常,其红外检测图谱及可见光照片见图 2。

2.2.2 过热原因分析

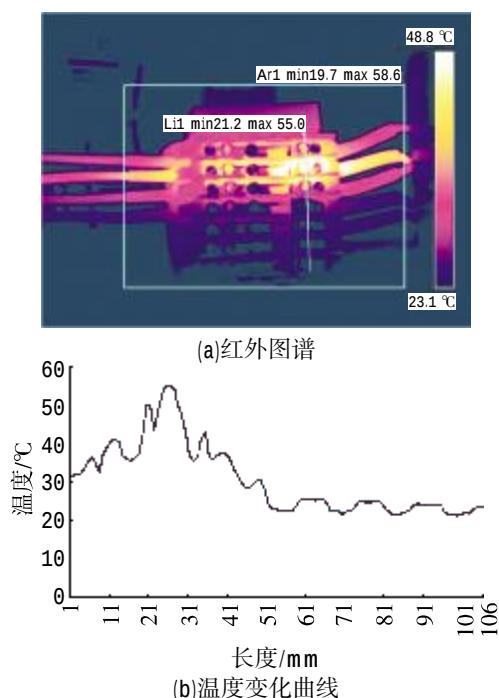
发热端子排红外图谱及温度变化曲线见图 3。



(a)红外图谱 (b)可见光
图 2 二次端子排红外图谱及可见光情况

Fig. 2 Infrared spectra and visible light of secondary thermal

图 3 中,对于图 3 (a)红外图谱中的直线 Li1,温度从上往下的变化曲线见图 3(b)。由图 3(b)可知,从上往下第 2 个端子排表面最高温度 58.6 °C,另外端子排温度 22.7 °C,环境参照体的表面温度 20 °C。最高温度点的温升达到 38.6 K,与另一相相应点的温差达到 35.9 K,相对温差达到 93%。尽管温升并未超标,但与另一相的温差较大,分析认为由于固定端子的螺栓松动,造成接触电阻变大,导致回路发热现象严重,最终造成端子排严重发热的后果。



(a)红外图谱 (b)温度变化曲线
图 3 二次端子排红外图谱及温度变化情况

Fig. 3 Infrared spectra and temperature change curve of secondary thermal

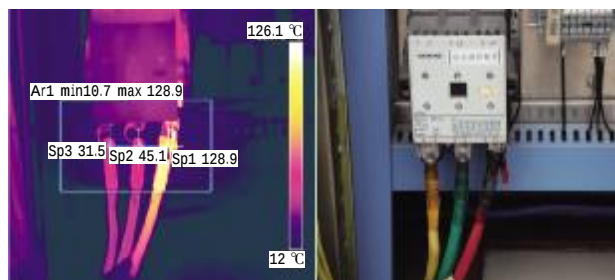
2.2.3 处理方案

参考 DL/T 664—2008《带电设备红外诊断应用规范》规定,根据电流致热型设备缺陷诊断判据故障特征接触不良,采用同类比较判断法,热点相对温差以达到 93%缺陷性质为严重缺陷。先断开二次回路,将发热的端子固定螺栓进行紧固处理。

2.3 接触器接线端异常发热

在对某 220 kV 变电站进行红外测温发现 2 号

变冷控箱 I 段电源交流接触器 C 相出线测温异常,其红外检测图谱及可见光照片见图 4。



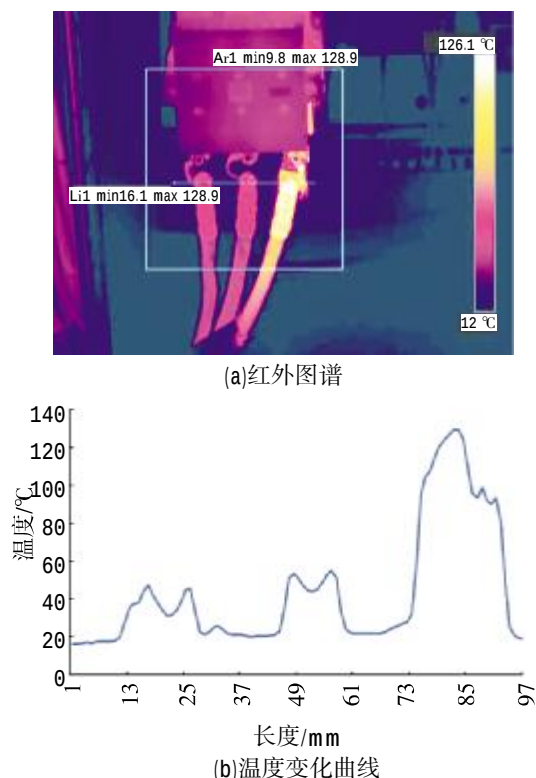
(a)红外图谱 (b)可见光

图 4 接触器接线端红外图谱及可见光情况

Fig. 4 Infrared spectra and visible light of contactor connector

2.3.1 过热原因分析

发热接触器接线端红外图谱及温度变化曲线(从左往右)见图 5。图 5 中,对于图 5(a)红外图谱中的直线 Li1,温度从左往右的变化曲线见图 5(b)。由图 5(b)可知,C 相出线表面最高温度 128.9 °C,正常端子排温度 42.5 °C,环境参照体的表面温度 10 °C,最高温度点的温升达到 118.9 K,与另一相相应点的温差达到 86.4 K,相对温差达到 72.7%。经分析判断,初步认定为接触器 C 相接线端由于接触面氧化、松动造成接触电阻变大,导致接触器 C 相出线严重发热的后果。



(a)红外图谱

(b)温度变化曲线

图 5 接触器接线端红外图谱及温度变化情况

Fig. 5 Infrared spectra and temperature change curve of contactor connector

2.3.2 处理方案

参考 DL/T 664—2008《带电设备红外诊断应用规范》分析,依据电流致热型设备缺陷诊断判据故障特征接触不良,采用同类比较判断法,热点温度已超过相关标准的允许温度值,缺陷性质为危机缺陷;断开二次回路,将发热的出线端子进行平整处理,清除相应的氧化物,并用固定螺栓进行紧固。

3 结论

1)对采用红外测温检测出的电气设备汇控柜等中的二次端子排、接触器出线接触不良引起的异常发热进行了案例分析,提出了相应的处理方案。

2)通过对继电保护及安全自动装置等二次设备的红外测温检测,可以及时发现一些回路松动、接触不良、元器件老化等原因导致的发热问题。

参考文献:

- [1] 徐国政.高压电器原理和应用[M].北京:清华大学出版社,2006.
XU Guozheng. Principles and applications of high-voltage electrical[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [2] 成永红.电力设备绝缘检测与诊断[M].北京:中国电力出版社,2001.
CHENG Yonghong. The insulation detection and diagnosis of power equipment [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [3] 董其国.红外诊断技术在电力设备中的应用[M].北京:机械工业出版社,1998.
DONG Qiguo. Application of infrared diagnosis technology in power equipment [M]. Beijing: China Machine Press, 1998.
- [4] 陈衡,侯善敬.电力设备故障红外诊断[M].北京:中国电力出版社,1999.
CHEN Heng, HOU Shanjing. Electric power equipment failure infrared diagnosing[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.
- [5] 张国光.电气设备带电检测技术及故障分析[M].北京:中国电力出版社,2015.
ZHANG Guoguang. Live testing technology and fault diagnosis of electrical power unit[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2015.
- [6] 国网公司运维检修部.电网设备带电检测技术[M].北京:中国电力出版社,2015.
Operational and Maintenance Department of SGC. Live testing technology of power grid equipment [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2015.
- [7] DL/T 664—2008 带电设备红外诊断技术应用导则[S]. 2008.
DL/T 664—2008 Charged equipment infrared diagnosing technology application guideline[S]. 2008.
- [8] DL/T 393—2010 输变电设备状态检修试验规程[S]. 2010.
DL/T 393—2010 Regulations of condition based maintenance & test for electric equipment[S]. 2010.
- [9] 朱建军,王赞中,崔绍平,等.红外技术诊断高压电气设备内部缺陷[J].高电压技术,2004,30(7):34-36.
ZHU Jianjun, WANG Yunzhong, CUI Shaoping, et al. The application of infrared diagnosis technology in diagnosis of the high voltage electrical equipment internal defect [J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(7): 34-36.
- [10] 国网公司运维检修部.电网设备状态检测技术应用典型案例[M].北京:中国电力出版社,2014.
Operational and Maintenance Department of SGC. Application example of power grid equipment state inspection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2014.
- [11] 陆佳政.电力设备红外诊断典型图谱及案例分析[M].北京:中国电力出版社,2013.
LU Jiazhang. Typical atlas and example analysis of electric equipment infrared diagnosis[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2013.
- [12] 严文群.变压器内部金属部件之间接触不良引起的过热故障诊断及处理[J].高压电器,2010,46(11):103-106.
YAN Wenqun. Overheating fault diagnosis and treatment of transformer caused by poor contact between metal parts [J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(11): 103-106.
- [13] 武胜斌,郑研,陈志彬.基于红外测温技术的GIS导体温度在线监测的方案[J].高压电器,2009,45(4):100-102.
WU Shengbin, ZHENG Yan, CHEN Zhibin. An on-line monitoring scheme of conductor temperature in GIS based on infrared temperature measurement [J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(4): 100-102.
- [14] 陈宝怡.红外诊断技术在高压断路器内部发热故障中的应用[J].高压电器,2011,47(5):92-95.
CHEN Baoyi. Application of infrared diagnostic technology in high voltage circuit breaker internal heat fault [J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(5): 92-95.
- [15] 葛猛,李鹏,陶安培,等.220 kV 电流互感器局部放电缺陷不停电检测与分析[J].高压电器,2009,45(6):153-155.
GE Meng, LI Peng, TAO Anpei, et al. 220 kV current transformer partial discharge defect outage detection and analysis [J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(6): 153-155.
- [16] 孔令明,刘娟,贾亚军.应用红外测温仪分析磁吹避雷器内部缺陷[J].高电压技术,2005,31(11):90.
KONG Lingming, LIU Juan, JIA Yajun. Analysis of internal defect of lightning arrester by infrared thermometer [J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(11): 90.
- [17] 陈昱同,何杰,闫杰.红外诊断在电力设备状态检修中的应用[J].山西电力,2011(3):16-19.

(下转第 192 页)

- [5] 李宇,张国钢,耿英三.基于模糊理论的高压断路器状态评估研究[J]. 高压电器,2007,43(4):274-277.
LI Yu,ZHANG Guogang,GENG Yingsan. The condition assessment method for HV circuit breakers based on fuzzy theory[J]. High Voltage Apparatus,2007,43(4): 274-277.
- [6] 曾国,李鹏飞,李俊,等.断路器合闸储能弹簧状态监测[J]. 仪表技术与传感器,2015(4):65-68.
ZENG Guo,LI Pengfei,LI Jun,et al. State-monitoring of circuit breaker's energy-storing closing spring[J]. Instrument Technique and Sensor,2015(4): 65-68.
- [7] CHEN S W,LIN S C,CHANG K E. Attributed concept maps: Fuzzy integration and fuzzy matching[J]. IEEE Trans. on Systems,Man,and Cybernetics. Part B,Cybernetics : A Publication of the IEEE Systems,Man,and Cybernetics Society,2001,31(5): 842-852.
- [8] 张涵曦,何正嘉.模糊诊断原理及应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,1992.
ZHANG Hanyan,HE Zhengjia. Principle and application of fuzzy diagnosis[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1992.
- [9] 代文芳,赵思洋,曾国,等.基于断路器动作特征参数的合闸弹簧储能状态预测[J]. 仪表技术与传感器,2015(8):107-110.
DAI Wenfang,ZHAO Siyang,ZENG Guo,et al. Prediction of closing spring's energy-storing state based on circuit breaker[J]. Instrument Technique and Sensor,2015(8): 107-110.
- [10] 孙明华. 关于模糊综合评判结果的等级划分与排序[J]. 北京工业大学学报,1994(1):72-79.
SUN Minghua. Gradation's division and ranking of fuzzy comprehensive evaluation's results[J]. Journal of Beijing University of Technology,1994(1): 72-79.
- [11] 姜军,宋保维,潘光,等.基于不确定度的专家评价综合方法[J]. 火力与指挥控制,2011,36(9):82-84.
JIANG Jun,SONG Baowei,PAN Guang,et al. A uncertainty-based expert comprehensive evaluation method in group decision-making[J]. Fire Control & Command Control,2011,36(9): 82-84.
- [12] NOTSU A,KAWAKAMI H,TEZUKA Y,et al. Intergration of information based on the similarity in AHP[J]. Procedia Computer Science,2013,22(22): 1011-1020.
- [13] 郭凤鸣,成金华.层次分析法判断矩阵一致性检验及偏差修正方法研究[J]. 中国地质矿产经济,1997(7):19-24.
GUO Fengming,CHENG Jinhua. Study on inspection to determine unanimity of the matrix in a level analysis method and deviation correction method[J]. China Geology&Mining Economic,1997(7): 19-24.
- [14] 段会川,张海波,张曙光,等.基于模糊理论的仪表数字识别研究[J]. 仪表技术与传感器,2004(4):37-39.
DUAN Huichuan,ZHANG Haibo,ZHANG Shuguang,et al. Research of meter digits recognition based on fuzzy theory[J]. Instrument Technique and Sensor,2004(4): 37-39.
- [15] 吴松涛,侯风华,戴锋.非线性数据标准化处理过程中的线性近似法[J]. 信息工程大学学报,2007,8(2):250-253.
WU Songtao,HOU Fenghua,DAI Feng. Linear approximating method in the transacting process of nonlinear standardization of data[J]. Journal of Information Engineering University,2007,8(2): 250-253.
- [16] 胡世凯.关于模糊算子的研究[D]. 成都:四川大学,2004.
HU Shikai.The study of fuzzy aggregation operators [D]. Chengdu: Sichuan University,2004.
- [17] 田钦谟.模糊综合评判的结果分析[J]. 大连水产学院学报,1990(1):61-65.
TIAN Qinmo. The result analysis of fuzzy comprehensive evaluation[J]. Journal of Dalian Fisheries University,1990 (1): 61-65.
- 赵思洋(1991—),男,硕士研究生,主要研究方向为断路器状态检修。

(上接第186页)

- CHEN Yutong,HE Jie,YAN Jie. Application of infrared diagnosis to condition-based maintenance of electrical equipment[J]. Shanxi Electric Power,2011(3): 16-19.
- [18] 陈仁刚.红外测温技术在GIS故障诊断中的应用[J]. 高压电器,2015,51(9):190-193.
CHEN Rengang. Application of infrared thermometry technology for the fault diagnosis in GIS[J]. High Voltage Apparatus,2015,51(9): 190-193.
- [19] 曹春梅,张晓宏.红外热诊断技术在电力系统中的应用[J]. 激光与红外,2006,36(s1):781-784.
CAO Chunmei,ZHANG Xiaohong. The application of infrared thermo diagnosis in electric system[J]. Laser & Infrared,2006,36(s1): 781-784.
- [20] 邵进,胡武炎,贾风鸣,等.红外热成像技术在电力设备状态检修中的应用[J]. 高压电器,2013,49(1):126-129.
SHAO Jin,HU Wuyan,JIA Fengming,et al. Application of infrared thermal imaging technology to condition based maintenance of power equipment [J]. High Voltage Apparatus,2013,49(1): 126-129.
- 李永祥(1983—),男,工程师,研究方向为输变电设备状态评价技术、电力设备带电检测技术。
- 杨冬冬(1983—),男,高级工程师,研究方向为电力设备带电检测技术。
- 王天正(1965—),男,高级工程师,研究方向为高电压与绝缘技术、电力设备试验技术。