

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2015.06.033

基于红外测温的零值和污秽绝缘子快速检测试验研究

陈 勇¹, 郭俊峰², 邬小均²

(1. 重庆市电力公司万州供电局, 重庆 404000; 2. 重庆润创科技有限公司, 重庆 400050)

摘要: 红外测温技术具有不接触、不停运、不取样、检测速度快的优点,是绝缘子运行状态在线检测的重要方法之一。文中在绝缘子发热机理和红外热像技术的原理上,立足电力工作中零值和污秽绝缘子快速检测,分别对零值绝缘子位于绝缘子串不同位置时红外测温试验对比,以及对污秽绝缘子串与清洁串的红外测温对比,试验结果表明,当绝缘子串有严重污秽和零值绝缘子存在时,其热像表征图像发生明显的突变。此外,当零值绝缘子位于串中靠近高压端时,其热像图像显示零值绝缘子与相邻正常绝缘子平均温差最大,位于中部时与相邻正常绝缘子平均温差最小,位于低压端时为高压端和中部之间,因此可利用红外测温技术通过精度较高的红外热像仪对串中零值绝缘子和污秽绝缘子快速辨别。

关键词: 红外测温; 发热功率; 污秽绝缘子; 零值绝缘子

Fast Detection of Zero Insulator and Polluted Insulator Based on Infrared Temperature Measurement

CHEN Yong¹, GUO Junfeng², WU Xiaojun²

(1. Wanzhou Electric Power Bureau, Chongqing Electric Power Company, Chongqing 404000, China;

2. Chongqing Runch Technology Co., Ltd., Chongqing 400050, China)

Abstract: Infrared temperature measurement is one of the important approaches to online detection of insulator operation status. In this study, the heat generation mechanism of an insulator and the principle of infrared thermal imaging were analyzed. Experiments of infrared temperature measurement were conducted for the porcelain insulator strings with a zero insulator at different position of the string, and for the polluted and clean strings. The results indicate that: ①the thermogram contains catastrophe as pollution or zero insulator exists; ②in the thermogram, the average temperature difference between the zero insulator and the adjacent insulator reaches its maximum when the zero insulator locates near the high voltage side, the average temperature difference reaches its minimum when the zero insulator locates in the middle part, and it is between the maximum and minimum when the zero insulator locates near the low voltage side. Therefore, zero insulator and polluted insulator can be identified rapidly by high accuracy infrared thermal imaging system based on infrared temperature measurement technology.

Key words: infrared temperature measurement; heat generation power; polluted insulator; zero insulator

0 引言

绝缘子作为输电线路的主要绝缘元件,是保障电气性能的重要部件,其质量主要取决于电气绝缘性能和力学性能。由于绝缘子长期运行于强电场、高温日照、机械应力、湿度、污秽物等环境下,当其劣化达到一定程度时,其绝缘性能就会降低。特别在高压输电线路,绝缘子的劣化直接威胁着电力系统的

安全运行。如果绝缘子串中存在零值,相当于有部分绝缘被短路,相应地也减少了绝缘子串的整体爬电距离,因而大大增加了该串绝缘子的闪络概率。一旦发生闪络,零值绝缘子的钢帽经常会炸裂或脱开,从而出现绝缘子串的掉串和电力线路的导线落地等严重事故。

目前劣质绝缘子的检测方法有绝缘电阻测定法、分布电压测定法、脉冲电流法、电场法、超声波测量法、紫外电晕检测法等^[1-3]。但这些方法具有如劳

收稿日期:2015-01-04; 修回日期:2015-02-06

动强度大、检测精度低、易受电磁干扰、安全隐患大、检测成本高等缺点,并且缺少对设备外绝缘性能实时信息的获取,不能做到及时准确地判断,因此亟需一种安全准确、经济高效地零值绝缘子检测方法,以实现输电线路由定期检修到状态检修的转变。

红外热像测温技术具有不接触、不停运、不取样、检测速度快等优点,是电力设备预知性故障诊断的重要手段之一。绝缘子的红外检测是在其工作状态下通过红外测温仪检测绝缘子获取绝缘子的温度状态。目前国内外有较多学者做了相应研究^[4-8],文[9]中通过红外热象仪采集图像,再对图像进行去噪分割等预处理,通过模式识别的方式对零值绝缘子进行识别。红外测温技术对劣质绝缘子的检测研究,具有比较明显的技术优势和使用便利性,将在电力系统运行维护中发挥重要作用。目前的研究集中在红外检测的影响因素分析及图像分析处理。文中主要立足于电力设备运行维护的实际情况,从检测的准确、快捷及简便性出发,通过精度较高的红外热象仪拍到的热像图,可当场对运行中的绝缘子的运行状态进行快速辨别。

该文在劣化绝缘子发热机理基础上,针对电网中零值和污秽绝缘子的快速检测识别,通过红外测温技术分别对污秽绝缘子和零值绝缘子进行快速检测辨别以验证红外测温技术的有效性和实用性。

1 红外测温法检测原理

1.1 绝缘子电压分布分析

由于绝缘子的钢脚、钢帽等金具部分、接地的杆塔和带电的输电线路三者之间都存在杂散电容,使得绝缘子串的电电压分布不均匀,随着绝缘子串长度增加,电压分布不均的现象将更为显著。一般情况下,线路中正常的绝缘子串中绝缘子本身电容 C 约为40~60 pF,绝缘子对杆塔的杂散电容 C_E 约为4~5 pF,而绝缘子对导线的杂散电容 C_L 为0.5~1.0 pF,因此 C_E 的影响比 C_L 大,即绝缘子串中电压分配不均,靠近导线的绝缘子承担的电压降较大,靠近杆塔的绝缘子承担的电压降较小,整串绝缘子的电压分布呈不对称的马鞍形。绝缘子串的等效电路及各绝缘子电压分布见图1。

1.2 绝缘子发热机理

国内外研究者对绝缘子发热机理及数学物理模型进行了大量研究,取得了丰富的研究成果^[10-14]。由于绝缘劣化等原因,引起绝缘电阻值下降,会导致绝缘子发热。绝缘子发热包括介质极化引起的介损发热、内部穿透性泄漏电流引起的发热、表面泄漏电流

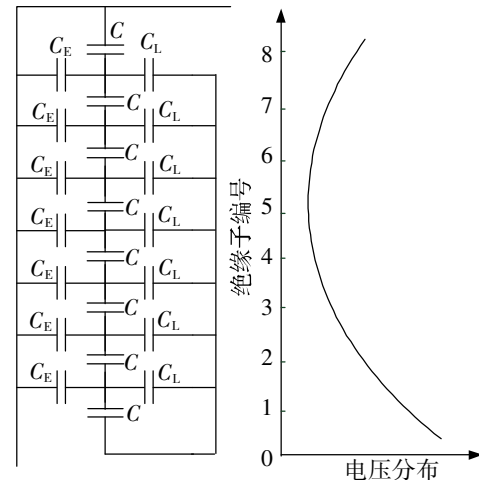


图1 绝缘子串等效电路和电压分布

Fig. 1 Equivalent circuit and voltage distribution of insulator string

引起的发热。

绝缘子未投入运行时,绝缘子温度与环境大气温度无明显差异。当投入运行后,绝缘子串中各片绝缘子都会因介质损耗发热而出现温升,但因绝缘子串中各片绝缘子上的分布电压呈不对称马鞍形分布,由绝缘子表面相对环境的温升公式,处于不同位置的良好绝缘子彼此温升不同,同时也表现为不对称的马鞍形分布,即在绝缘子串的两端部温度偏高,中间逐渐降低,温度连续分布。当绝缘子性能出现劣化后,其绝缘阻值减小,其分布电压和发热程度应随电阻减小而发生相应的变化,劣化绝缘子发热功率随绝缘电阻值呈非线性变化。对于逐渐劣化的绝缘子,当绝缘电阻值比正常值稍有降低时,发热功率增大;当绝缘电阻值降低至等效容抗值时,发热功率达到最大值;当绝缘电阻继续降低时,发热功率下降。

当绝缘子劣化为零值绝缘子时,其阻值、电抗值、分布电压、泄漏电流的流电路径以及发热功率等因素的变化会使得零值绝缘子盘面的温升相对于环境大气温升接近于零,此时该片绝缘子与良好绝缘子的相对温差最大。与此同时,当瓷质绝缘子串中含有零值绝缘子时,整串绝缘子的电抗降低,绝缘子串泄漏电流增加,会造成其他绝缘子分布电压升高。由于阻值差别,也会使得良好绝缘子与零值绝缘子发热差异增大,在较高污秽等级和较大的湿度条件下,两者的温度差异更为显著,所以当绝缘子串中含有零值绝缘子时,绝缘子串的电压分布和温度分布都将发生很大程度的畸变,从而采用高精度的红外热像仪对绝缘子的红外图像差异进行辨别。

1.3 红外热像技术的优点

红外热成像技术具有如下优点:非接触遥感检测,不用接触被测绝缘子串,安全直观地找到发热

点;二维画面,体现被测范围所有点的温度情况,具有直观性。还可比较处于同一区域的物体的温度,查看两点间的温差等;实时快速扫描静止或者移动目标,可以实时传输到电脑进行分析监控。

盘形悬式绝缘子属于电压致热型设备,良好绝缘子与劣质绝缘子之间的温差不是很大,但目前最先进的红外热像仪的温度灵敏可达 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$,因此仍然可用红外热成像技术来实现劣质绝缘子的检测。

理论上在整个绝缘子串中,零值绝缘子是不会发热的,其温度与环境温度一致,因此通过红外热像技术的特征图谱判别法可快速检测出绝缘子串中的零值绝缘子。

2 试验方法与试验结果分析

2.1 试验方法

用4串绝缘子串对盘形悬式陶瓷绝缘子串分别进行试验,每串从上至下分别标记为第1-8片,试验电压为 65 kV ,试验时环境温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。每串上端悬挂端为低压端,下端则为高压端。试验采用的零值绝缘子为实际应用中发生劣化的零值绝缘子。

首先对绝缘子串含有一个零值绝缘子且当绝缘子位于串中不同位置时的情况分别进行加压试验,其中第1串绝缘子串中第4片为零值绝缘子,第2串绝缘子串中第6片绝缘子为零值绝缘子,第4串绝缘子串中第2片绝缘子为零值绝缘子。为尽量避免各串之间相互影响,分别对第1、2、4串进行试验,加压 20 min 后每隔 10 min 利用红外热像仪得到零值绝缘子在不同位置时红外图谱进行对比分析;然后对污秽绝缘子串与清洁绝缘子串进行试验,4串分别依次为污秽串、清洁串、清洁串、污秽串,污秽是由硅藻土和氯化钠组成的混合物。人工涂刷第1、4串绝缘子串各绝缘子,各绝缘子等值附盐密度均为 0.15 mg/cm^2 ,加压时污秽绝缘子为干燥状态,且各绝缘子表面且无明显放电现象。同样加压 20 min 后每隔 10 min 用红外热像仪得到污秽串和清洁串的红外图谱进行对比分析。通过以上两组试验验证红外测温技术在污秽绝缘子和零值绝缘子检测中的效果。

2.2 试验结果分析

图2(a)、(b)、(c)分别为第2、4、7片为零值绝缘子的绝缘子串的红外热像图与其对应温度曲线图。

零值绝缘子的位置对红外检测有一定的影响。当零值绝缘子处于高压端时,零值与相邻正常绝缘子平均温差最大;零值绝缘子处于绝缘子串中部时,相对温差最小;处于低压端时,温差介于高压端与中部之间。因此,当零值绝缘子位于串中高压端时易于

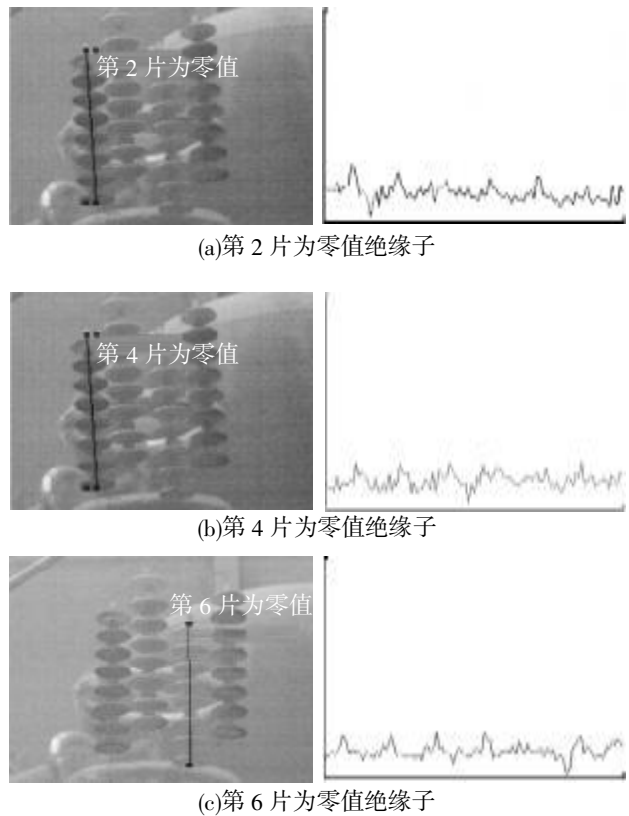


图2 第2、4、6分别为零值绝缘子时的红外图谱和对应温度曲线

Fig. 2 Infrared spectra and corresponding temperature curve when the second, fourth and sixth is zero insulator respectively

红外成像法检测,低压端次之,中部最低。

图3(a)、(b)分别为污秽绝缘子串与清洁绝缘子串的红外热像图与其对应温度曲线图,两边的绝缘子串为污秽串,中间的为清洁串。通过对比可知,图3(a)的温度曲线图突变较多,绝缘子串间温差差异较显著。污秽绝缘子的发热比正常绝缘子要大,因此,与正常清洁绝缘子相比,污秽绝缘子其热像表征图像发生明显的突变,可通过精度较高的红外热像仪对不同污秽程度的绝缘子红外图像进行辨别。此外,靠近两端的两片绝缘子发热较大,主要是由于该处绝缘子承受的电压较高。

3 结语

该文在劣质绝缘子的发热机理和红外测温原理基础上,立足于实际工作中零值和污秽绝缘子的快速检测,通过试验得到如下结论:

1)污秽绝缘子的发热较正常绝缘子要大,而零值绝缘子理论上发热功率很低或为零,其温度与环境温度接近,污秽绝缘子和零值绝缘子与相邻正常绝缘子温度变化大,故当绝缘子有严重污秽和零值绝缘子存在时,其热像表征图像会发生明显的突变;

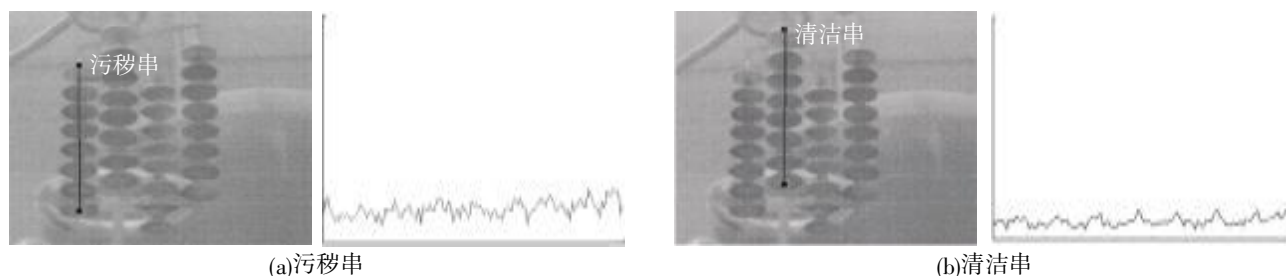


图3 污秽串与清洁串红外图谱和对应温度曲线

Fig. 3 Infrared spectra and corresponding temperature curve of polluted and cleaning insulator string respectively

2)当零值绝缘子位于串中靠近高压端时,其热像图像显示零值绝缘子与相邻正常绝缘子平均温差最大,位于中部时与相邻正常绝缘子平均温差最小,位于低压端时温差为高压端和中部之间;

3)基于红外测温技术可利用精度较高的红外热像仪对不同污秽程度的绝缘子进行辨别;高压端的零值绝缘子易于红外测温技术检测,低压端次之,中部较难。

通过试验验证红外热成像测温技术在零值和污秽绝缘子检测中的有效性,红外测温技术进行绝缘子带电检测,该方法通过遥测绝缘子串温度分布来检测零值和污秽绝缘子,不需要人工爬塔进行检测,具有工作量小、工作效率高、检测速度快等优点。

参考文献:

- [1] 李波,黄媛.国内外绝缘子在线检测方法的研究[J]. 电气技术, 2011(9):1-5.
LI Bo, HUANG Yuan. Study on the on-line monitoring method of insulator in the world[J]. Electrical Engineering, 2011(9):1-5.
- [2] 卢明,姚德贵,张国民,等.劣化绝缘子检测方法的对比分析[J]. 电瓷避雷器, 2006(5):9-13.
LU Ming, YAO Degui, ZHANG Guomin, et al. Study on methods of detection of faulty insulators[J]. Insulators and Surge Arresters, 2006(5):9-13.
- [3] 徐击水,张子蓬,王淑青,等.基于GNBR算法的BP网络对绝缘子运行状态预测研究[J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(6):6-9.
XU Jishui, ZHANG Zipeng, WANG Shuqing, et al. Research on the prediction for the operating state of insulators using BP network based on GNBR algorithm[J]. Power System and Clean Energy, 2013, 29(6):6-9.
- [4] 金光照,权光日,郎成,等.故障绝缘子的发热机理及其红外热像检测[J]. 电瓷避雷器, 2011(5):12-15.
JIN Guangxi, QUAN Guangri, LANG Cheng, et al. Heating mechanism and infrared thermography detection of failure insulators[J]. Insulators and Surge Arresters, 2011(5):12-15.
- [5] 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, 1997.
CHEN Heng, HOU Shanjing. Infrared diagnostic technology of power system [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [6] 闫士涛,何宇,石岩龙.750 kV 直线塔整串绝缘子带电更换方法[J]. 电网与清洁能源, 2012, 28(2):30-34.
YAN Shitao, HE Yu, SHI Yanlong. Live replacement methods of the whole-bunch insulators on the 750 kV suspension tower[J]. Power System and Clean Energy, 2012, 28(2):30-34.
- [7] 黄军凯,曾华荣,杨佳鹏,等.红外热像技术在低零值绝缘子检测中的应用[J]. 电瓷避雷器, 2013(2):40-44.
HUANG Junkai, ZENG Huarong, YANG Jiapeng, et al. Application of infrared thermal imaging technology to detection of low and zero resistance insulators[J]. Insulators and Surge Arresters, 2013(2):40-44.
- [8] 关石磊.基于红外热像的零值绝缘子识别方法研究[D]. 长沙:湖南大学, 2012.
GUAN Shilei. Research on the method of zero value insulator identification based on infrared imaging[D]. Changsha: Hunan University, 2012.
- [9] MIZUNO Y, NAITO K, SUZUKI Y, et al. Voltage and temperature of infrared on energized polluted insulators[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1979, 14(5): 278-280.
- [10] 刘习生.瓷绝缘子的老化及其鉴定[J]. 高电压技术, 2002, 28(3):52-54.
LIU Xisheng. The aging and appraising of porcelain insulators[J]. High Voltage Engineering, 2002, 28(3):52-54.
- [11] 李佐胜,姚建刚,杨迎建,等.湿污绝缘子发热模型[J]. 电工技术学报, 2009, 24(7):21-27.
LI Zuosheng, YAO Jiangang, YANG Yingjian, et al. Heating model of polluted and wetted insulators[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(7):21-27.
- [12] VITELLI M, TUEE V, PETRARE C, et al. Temperature distribution along an outdoor insulator subjected to different Pollution levels[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2000, 7(3):416-423.

(下转第 199 页)

参考文献:

- [1] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
ZHAO Wanjun. HVDC engineering technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [2] 中国南方电网公司. ± 800 kV 直流输电技术研究[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
China Southern Grid Corp.. Research on ± 800 kV HVDC transmission technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [3] 刘振亚. 特高压直流输电系统过电压及绝缘配合[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
LIU Zhenya. UHVDC transmission system overvoltage and insulation coordination[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2009.
- [4] 程晓绚. 云广 ± 800 kV 直流输电工程过电压与绝缘配合研究[R]. 西安: 西安高压电器研究院, 2007.
CHENG Xiaoxuan. Yun-Guang ± 800 kV HVDC project overvoltage and insulation coordination study [R]. Xi'an: Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute, 2007.
- [5] 苟锐锋, 程晓绚, 吕金壮, 等. GB/T 28541—2012 ± 800 kV 高压直流换流站设备的绝缘配合[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
GOU Ruifeng, CHENG Xiaoxuan, LYU Jinzhuang, et al. GB/T 28541—2012 Insulation coordination for equipments on ± 800 kV HVDC converter stations[S]. Beijing: China Standards Press, 2012.
- [6] 周佩洪. Q/GDW 144—2006 ± 800 kV 特高压直流换流站过电压保护和绝缘配合导则 [S]. 北京: 国家电网公司, 2007.
ZHOU Peihong. Q/GDW 144—2006 Guide for overvoltage protection and insulation coordination for ± 800 kV UHVDC converter station[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2007.
- [7] CHOY L A, DARVENIZA M. A sensitivity analysis of lightning performance calculation for transmission lines[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1971, PAS-90(4): 1443-1451.
- [8] 叶会生, 何俊佳, 李化, 等. 雷击高压直流线路杆塔时过电压和闪络仿真研究[J]. 电网技术, 2005, 29(21): 31-35.
YE Huisheng, HE Junjia, LI Hua, et al. Simulation of overvoltage and flashover caused by lightning stroke at towers of HVDC transmission line[J]. Power System Technology, 2005, 29(21): 31-35.
- [9] 莫付江, 陈允平, 阮江军. 输电线路杆塔模型与防雷性能计算研究[J]. 电网技术, 2004, 28(11): 80-84.
MO Fujiang, CHEN Yunping, RUAN Jiangjun. Study on transmission tower models and lightning performance calculation[J]. Power System Technology, 2004, 28(11): 80-84.
- [10] 谷定燮. 500 kV 输变电工程设计中雷电过电压问题[J]. 高电压技术, 2000, 26(6): 60-62.
GU Dingxie. Research on lightning overvoltages of 500 kV transmission engineering design[J]. High Voltage Engineering, 2000, 26(6): 60-62.
- 程晓绚(1972—), 女, 高级工程师, 研究方向为高压直流输电系统研究、柔性直流输电和电力电子产品应用。
- 刘大鹏(1982—), 男, 工程师, 研究方向为高压直流输电和柔性直流输电系统研究。
- 苟锐锋(1959—), 男, 正高级工程师, 从事电力系统过电压与绝缘配合研究、高压直流输电研究及柔性直流输电研究等。
- 张万荣(1964—), 男, 教授级高级工程师, 研究方向为高压直流输电和柔性直流输电系统研究和成套设计。

(编辑 赵彩莉)

(上接第 194 页)

- [13] 郭文勇, 独亚军, 魏存娣, 等. 数学形态学在绝缘子泄漏电流在线监测中的应用[J]. 电网与清洁能源, 2011, 27(11): 20-24.
GUO Wenyong, DU Yajun, WEI Cundi, et al. Application of mathematical morphology in on-line leakage current monitoring of insulators[J]. Power System and Clean Energy, 2011, 27(11): 20-24.
- [14] 陈广辉, 王安妮, 李云强, 等. 交流电场下 XLPE 绝缘空间电荷研究综述[J]. 电网与清洁能源, 2012, 28(7): 31-35.
CHEN Guanghui, WANG Anni, LI Yunqiang, et al. Review of research on space charge in XLPE insulation under AC electric field[J]. Power System and Clean Energy, 2012, 28(7): 31-35.
- 陈勇(1973—), 男, 工程师, 主要研究方向为输电线路在线监测与运行维护管理。

(编辑 赵彩莉)