

接触网中验电位置对电容型验电器灵敏度的影响研究

韩思丹

(西安理工大学水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对接触网检修作业中出现的验电器无法准确验电的现象, 以 GSY-II 型 27.5 kV 电容型验电器为例, 首先分析了其工作原理, 然后通过仿真计算比较接触网中不同位置验电器的电容电流值和最小起动电流值, 分析验电位置对验电器灵敏度的影响, 最后通过现场试验验证了仿真结果, 对现场检修作业具有指导作用, 可有效保障检修人员的人身安全。

关键词: 接触网; 电容型验电器; 验电位置; 灵敏度

Study on the influence of the electroscope position on the sensitivity of capacitive electroscope in catenary

HAN Sidan

(Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: According to the inaccurate checking of the electroscope during the catenary maintenance operation, the GSY-II 27.5 kV capacitive electroscope is taken as an example. Firstly, the working principle is analyzed, and then the capacitance current value and the minimum starting current value of the electroscope in catenary different positions are analyzed through simulation, and the influence of the electroscope position on the sensitivity of the electroscope is analyzed. Finally, the simulation result is verified by the field test, which has a guiding function for the on-site maintenance work, and can effectively protect the personal safety of the maintenance personnel.

Key words: catenary; capacitive electroscope; electroscope position; sensitivity

0 引言

验电器是检修作业中必不可少的工具, 主要用来检测导线和电气设备的带电情况, 验电器的使用有利于保障检修现场工作人员的人身安全^[1-5]。目

前使用最多的是接触式电容型验电器, 其原理是通过检测验电器对地杂散电容中流过的电流来反映被测设备是否存在电压, 并通过声光报警提醒检修人员带电情况^[6-9]。由于接触式电容型验电器具有结构简单、成本低廉和携带方便等优点, 已被广泛用于接触网检修作业验电操作中。

在现场检修作业中, 由于选取不同位置验电, 有时会出现验电器无法正确检测接触网是否

陕西省科技统筹创新工程计划项目 (2013KTCQ01-14); 陕西省教育厅服务地方专项计划项目 (16JF020); 西安市碑林区科技局科技计划项目 (2017GX1714)

带电的情况,从而影响检修人员的判断以及后续检修作业的进行。例如,在2012年北京铁路局供电段检修作业时,发现在靠近定位线夹的接触线验电时无法判断接触网是否带电,但在远离定位线夹后可判断带电。2014年济南局京沪线接触网停电检修作业时,检修人员在验电时仍然发现有电,故而取消了后续的3项检修作业^[10-13]。

本文针对上述现象,以27.5 kV接触网为例,在ANSYS Maxwell仿真软件中搭建接触网模型,从电场的角度研究不同验电位置对验电器灵敏度的影响,可以为检修作业验电操作时验电位置的选取提供一定的理论依据。

1 电容型验电器工作原理

电容型验电器的原理是通过检测流过验电器对地杂散电容的电流来判断电压是否存在,并以声光报警的形式提示检修人员待测设备的带电情况^[14]。基于电容型验电器的工作原理,验电器无法正确检测带电情况的原因与验电器的杂散电容电流有关,而该杂散电容电流又与验电器周围的电场分布有关^[15-16]。当待测设备周围的电场近似于均匀电场时,距离待测设备 r 处的电场强度为

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon} \quad (1)$$

式中, σ 为电荷面密度; ε 为介质的介电常数。

均匀电场的电动势分布曲线如图1所示,由于其场强大小和距离无关,所以当验电器在均匀电场中验电时,验电器的轴向电位梯度较小,导致流过验电器的杂散电容电流很小,不足以驱动验电器工作。

当待测设备附近的电场为非匀强电场时,其电场分布和均匀带电单导线的电场分布类似,距离待测设备 r 处的电场强度为

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon r} \quad (2)$$

式中, τ 为电荷线密度。

根据式(2)可知,非匀强电场的电场强

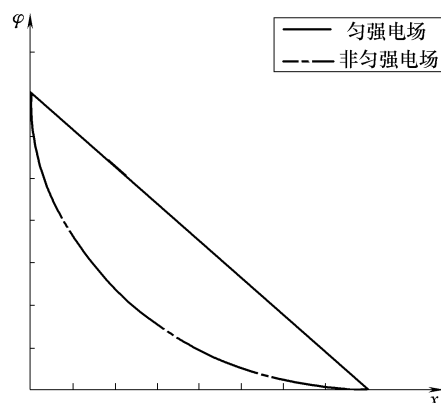


图1 电动势分布曲线

Fig. 1 Potential distribution curve

度大小和距离 r 成反比,其电动势分布曲线见图1,故待测设备附近电动势降落较快,而随着距离的增加,电动势降落速度逐渐降低。当验电器在非匀强电场中验电时,验电器的轴向电位梯度较大,所以流过验电器的杂散电容电流很大,将驱动验电器发出声光报警提示。

接触网的结构复杂,不同位置电场分布差异明显,流过验电器的电容电流会受到不同位置电位梯度的影响,其结果就是在高场强位置验电器灵敏度高,低场强位置灵敏度低,使得检修作业人员无法准确判断接触网是否带电,威胁检修人员的人身安全^[18-19]。

本文通过比较不同位置流过验电器的电容电流值与最小起动电流值的大小,来分析验电器灵敏度的变化情况。若电容电流值大于最小起动电流值,则验电器的灵敏度高,可正常工作;若小于起动电流值,验电器则无法起动。可见,最小起动电流值与不同位置电容电流值的确定是问题研究的关键,本文将从这两方面展开具体的分析研究。

2 验电器最小起动电流

验电器电路原理图如图2所示,主要包括限流电路、放大电路、滤波电路、多谐振荡电路、声光报警电路和自检电路。

根据验电器内部原理图,使用Multisim建模并仿真验电器内部电路,确定最小起动电流,验电器电路模型如图3所示。模型中元件

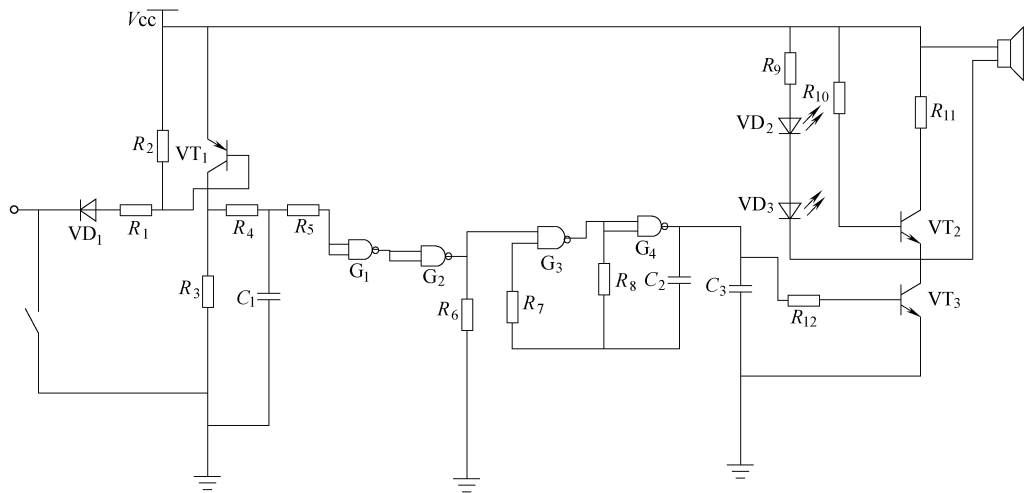


图 2 验电器原理图

Fig. 2 Schematic diagram of electrostatic

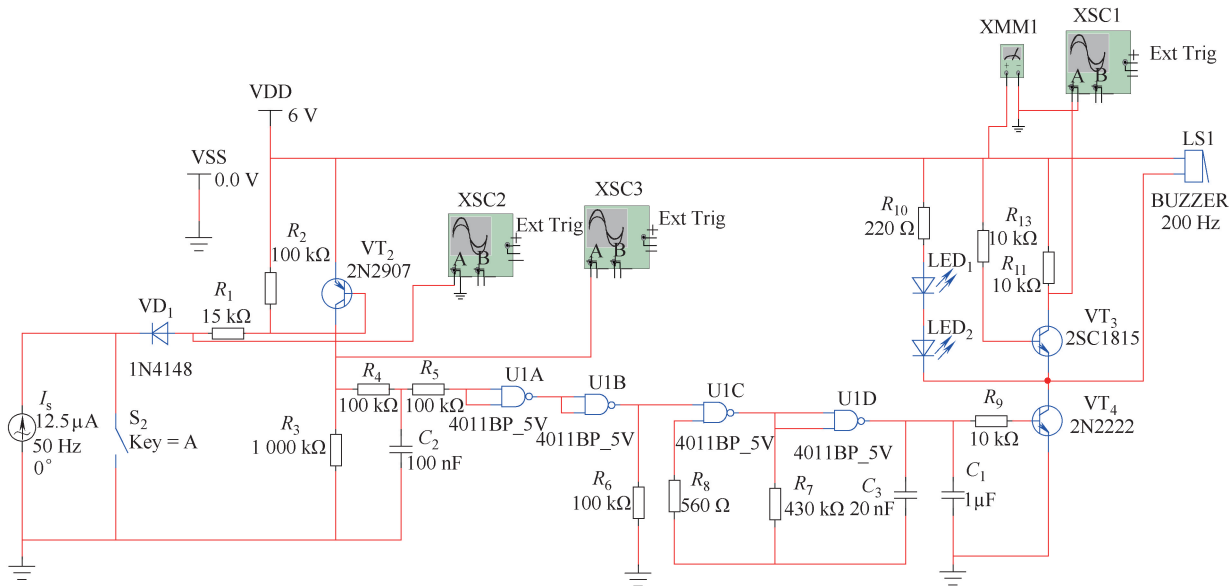


图 3 电路仿真模型

Fig. 3 Circuit simulation model

的参数设置按照 GSY-II 型 27.5 kV 验电器参数设置。其中， I_s 为流过验电器的电容电流，实际运行环境中电流导通回路为被测设备-验电器-绝缘杆-人体-地，仿真过程中以验电器为对象，将验电器两端（接触电极到电路参考地）等效为电流源 I_s 驱动。通过改变电容电流的大小来观察验电器是否起动，以此确定验电器的最小起动电流，如表 1 所示。

表 1 电路起动情况

Tab. 1 Circuit startup

电容电流 $I_s/\mu\text{A}$	是否报警
10	否
10.5	否
11	否
11.5	否
12	否
12.5	是
13	是
13.5	是
14	是

由表 1 可知, 验电器起动声光报警所需的最小电容电流为 $12.5 \mu\text{A}$, 所以, 经仿真确定了验电器的最小起动电流为 $12.5 \mu\text{A}$ 。该值为后续不同位置的灵敏度分析提供了参考依据。

3 不同位置验电的仿真分析

验电器验电时, 流过验电器的电容电流可由式 (3) 计算求得, 其中电容 C 为验电器自身的杂散电容, 根据电力行业标准 DL/T 740—2014《电容型验电器》, 接触网验电器杂散电容值为 23.53 pF , 其值大小固定不变^[19]; 电压 U 为验电器接触电极与验电器蜂鸣器金属基片之间的电位差, 验电器内部结构如图 4 所示, 该电位差值与验电器所处的空间电场分布有关。本文通过 ANSYS Maxwell 仿真软件搭建接触网和电容型验电器模型, 计算不同位置验电时验电器内部的电压 U , 最后通过式 (3) 得到电容电流。

$$I = 2\pi fCU \quad (3)$$

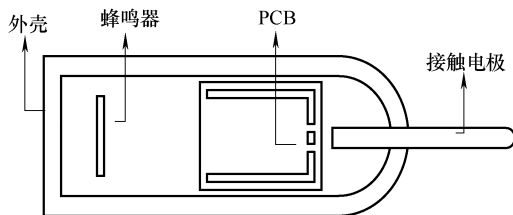


图 4 验电器内部结构图

Fig. 4 Internal structure diagram of electroscope

建立接触网模型如图 5 所示, 假设验电器垂直向上接触被测点, 分别置于图中 1~5 的位置, 其中位置 1 在接触线处, 该处上方没有

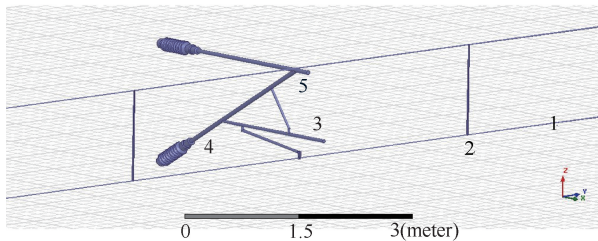


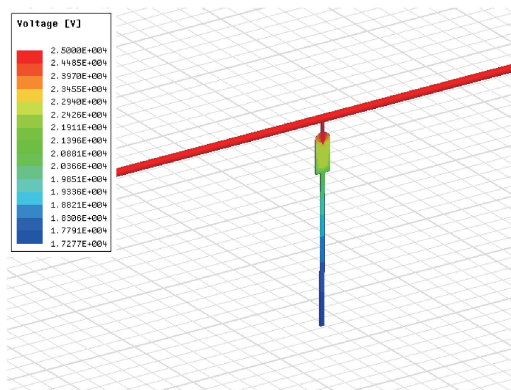
图 5 接触网仿真模型

Fig. 5 Simulation model of catenary

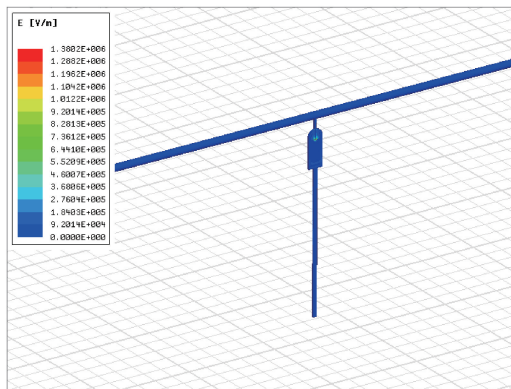
定位线夹, 且距离两边线夹较远; 位置 2 为定位线夹下方的接触线; 位置 3 为定位管最外侧, 距离边缘 10 cm 处; 位置 4 为斜腕臂下方, 距离绝缘子 10 cm 处; 位置 5 为斜腕臂上方, 距离平腕臂与斜腕臂交汇点 10 cm 处。分别计算不同位置流过验电器的电容电流。

3.1 位置 1

当验电器在位置 1 验电时, 其周围的电位及电场分布如图 6 所示。验电器接触电极的电位和导线电压基本一致, 顺着验电器绝缘杆向外电位逐渐降低, 接触电极附近电位降落快, 绝缘杆外部电位降落缓慢。接触电极附近的电场强度较高。



(a) 电位分布云图



(b) 电场分布云图

图 6 位置 1 验电器周围电位及电场分布图

Fig. 6 Distribution of potential and electric field around position 1 electroscope

验电器内部电位及电场分布云图如图 7 所示。验电器的内部电位从接触电极到验电器底部逐渐降低, PCB 两侧铜线与验电器下方蜂鸣器等电位, 接触电极与板子上方焊点等电位。此时, 根据式 (3) 计算验电器电容电流 I_s 为 $16.56 \mu\text{A}$ 。

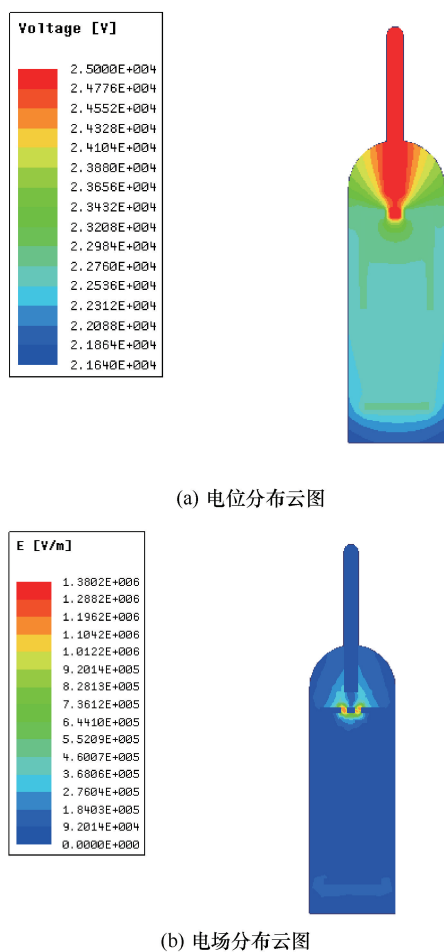


图 7 验电器内部电位及电场分布图

Fig. 7 Potential and electric field distribution in electro-scope

3.2 位置 2

当验电器在位置 2 验电时, 验电器内部电位云图如图 8 所示。根据电位云图计算可得, 验电器电容电流值为 $15.52 \mu\text{A}$ 。

3.3 位置 3

当验电器在位置 3 验电时, 验电器内部电位分布云图如图 9 所示。根据电位云图计

算可得, 电容电流值为 $12.84 \mu\text{A}$ 。

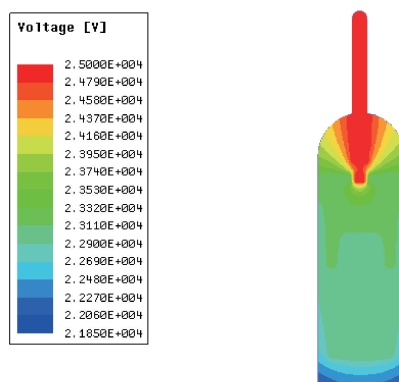


图 8 验电器内部电位分布云图

Fig. 8 Nephogram of potential distribution inside electro-scope

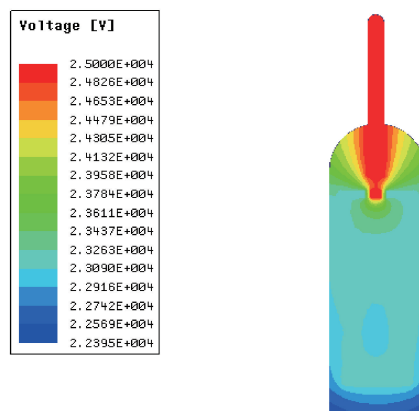


图 9 验电器内部电位分布云图

Fig. 9 Nephogram of potential distribution inside electro-scope

3.4 位置 4

当验电器在位置 4 验电时, 验电器内部电位分布云图如图 10 所示。根据电位云图计算可得, 电容电流值为 $14.59 \mu\text{A}$ 。

3.5 位置 5

当验电器在位置 5 验电时, 验电器内部电位分布云图如图 11 所示。根据电位云图计算可得, 电容电流值为 $13.85 \mu\text{A}$ 。

3.6 仿真结果分析

当验电器在接触网不同位置验电时, 验电器内部电容电流的大小如表 2 所示。

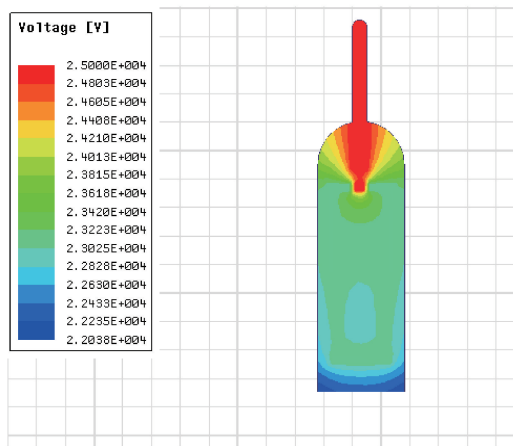


图 10 验电器内部电位分布云图
Fig. 10 Nephogram of potential distribution
inside electro-scope

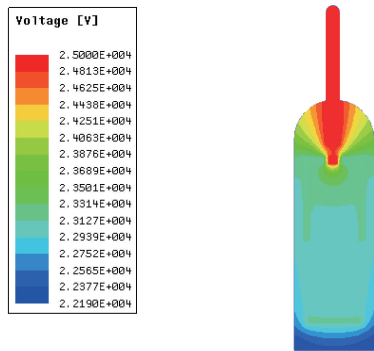


图 11 验电器内部电位分布云图
Fig. 11 Nephogram of potential distribution
inside electro-scope

表 2 不同检测位置验电器电容电流值
Tab. 2 Capacitance current value of electro-scope
at different detection positions
(单位: μA)

位置 标号	位置	电容电流	同最小启动 电流值差值
1	接触线	16.56	4.06
2	上方有定位线夹的 接触线	15.52	3.02
3	定位管	12.84	0.34
4	斜腕臂下方	14.59	2.09
5	斜腕臂上方,靠近斜 腕臂与平腕臂交汇处	13.85	1.35

由表 2 可以得出如下结论:

1) 验电器在腕臂和接触线验电时,其灵敏度与稳定性均存在差异。相较于在腕臂验

电,在接触线验电时,电容电流值远大于验电器最小启动电流值,说明在接触线验电可以确保验电器正常可靠工作。

2) 在定位管验电时,电容电流的大小基本和最小启动电流值一样,导致验电器会出现工作不稳定或误判的现象。

3) 在上方有线夹的接触线验电时的电容电流要小于没有线夹时的情况,这是由于线夹影响了电场分布,使得接触线周围电场近似于均匀电场,验电器在这样的电场中轴向电位梯度很小,导致电容电流值变小。

4 现场试验

为了验证不同位置对验电器灵敏度的影响,在南京南铁路供电段的南京南至江宁西检修作业期间进行了现场试验,通过试验分别在接触线、上方有定位线夹的接触线、定位管、斜腕臂下方和斜腕臂上方这 5 个地方验电,验证验电器能否稳定工作。选取 10 只 GSY-II 型 27.5 kV 电容型验电器,对上述 5 个地方进行试验。

根据现场试验情况,做出试验结果如表 3 所示。

表 3 不同检测位置验电器电容电流值
Tab. 3 Capacitance current value of electro-scope
at different detection positions

位置标号	位置	验电情况
1	接触线	√
2	上方有定位线夹的接触线	—
3	定位管	×
4	斜腕臂下方	√
5	斜腕臂上方,靠近斜腕臂与平腕臂交汇处	—

注:“√”表示稳定工作;“×”表示不工作;“—”表示部分验电器工作。

根据试验结果可以得到,在接触线和斜腕臂下方验电时,验电器能够稳定可靠地工作;在定位管处验电时,验电器基本不工作;在有定位线夹的接触线和斜腕臂上方验电时,验电器不能可靠工作。因此,在实际接触网检修作业验电时,要选择合适的验电位置。在接触线

验电时应选择远离线夹的位置验电,在腕臂验电时应选择靠近斜腕臂下方的位置,确保验电器可靠工作,避免检修人员带电挂接地线,保证检修人员的人身安全。

5 结束语

本文对接触网中验电位置对电容型验电器灵敏度的影响进行了仿真计算和现场试验,可以得到如下结论:

1) 腕臂复杂的结构导致其周围电场近似于均匀电场,会降低验电器灵敏度。

2) 由于接触线线夹影响了电场分布,使得在上方有线夹的接触线验电时的灵敏度要小于没有线夹时的情况。

3) 定位管处验电器灵敏度最低,导致验电器无法正常工作。

4) 接触网检修作业时选择远离线夹或靠近斜腕臂下方的位置进行验电,避开在定位管验电。**EA**

参考文献

- [1] 李禾,邓志祥,王闯,等.电容型验电器验电盲区问题的研究[J].电器与能效管理技术,2014,44(3):10-13.
- [2] 张甜.接触网检修作业防误挂接地线监测装置的研制[D].西安:西安理工大学,2017.
- [3] 张忠宝.35 kV 数显式高压验电器研究与开发[D].保定:华北电力大学,2010.
- [4] 黄志坚.10 kV 声光报警验电器工作原理及其使用的探讨[J].电子技术与软件工程,2013(13):84-84.
- [5] JIANG Tao, HUANG Xiaobo, YANG Yong-ming, et al. Study on anti-interference of high voltage ultraviolet electroscope [C]. 2008 World Automation Congress, 2008.
- [6] 马雷,白家琨.27.5 kV 电容型高压验电器验电死区问题探讨[J].电气化铁道,2013(4):14-15.
- [7] 雷兴列,潘巍巍,胡礼军,等.电容型验电器影响因素研究[J].高压电器,2019,55

(1): 203-208, 214.

- [8] 王培军,张萍,王立勇.电容型验电器使用中存在的问题及对策[J].电力安全技术,2006,8(8):54-55.
- [9] 廖文强.浅析电容型验电器在使用中的缺陷及对策[J].通信电源技术,2013,30(2):79-80.
- [10] 盛守贫.关于对高压交流验电器检测工作原理的认识[J].华东电力,2007,35(7):81-82.
- [11] 邢西沙,连继亮,曹兵,等.V形天窗接触网停电后验电有电的原因分析及应对措施[J].科技视界,2015,12(5):290-292.
- [12] 徐劲松.接触网验电放电接地一体化装置设计与实现[J].电气化铁道,2017,23(11):14-16,24.
- [13] 冯锟,阮江军,杜晟磊,等.电容型高压验电器故障分析与灵敏度改进[J].机电元件,2014,(3):42-45.
- [14] 吴龙锋,黄胜,胡礼军,等.高压验电器的研究综述及展望[J].智慧电力,2018,46(6):61-67,94.
- [15] 吴黎明,杨金根.电容型高压验电器安全探讨[J].云南电力技术,2011,40(2):76-77.
- [16] 郭瑞红,吴波,陈龙.750 kV 输电线路验电时间长的原因分析及对策[J].宁夏电力,2011(12):69-74.
- [17] 武文吉,吕泽鹏.特殊条件下高压验电器强度不够的解决方案[J].中国新技术新产品,2014(24):34-35.
- [18] 肖魁欧,张宁.一种便携式验电器 CN103630733A [P]. 2014-03-12.
- [19] 电容型验电器:DL/T 740—2014 [S].

作者简介



韩思丹

韩思丹(1994—)女,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化。

(收稿日期:2020-01-22)