

Influence of the High Voltage Ground Current on Buried Pipeline's Potential

Jiangwei Wu, Peng Song

College of Automation and Electrical Engineering, Qingdao University, Qingdao Shandong
Email: wujiangwei92@163.com, 740127683@qq.com

Received: May 31st, 2017; accepted: Jun. 18th, 2017; published: Jun. 21st, 2017

Abstract

When the high voltage direct current system runs in the unipolarway, high current will flow into the ground, which has a negative influence on buried pipelines and can cause or accelerate corrosion of metal pipelines. This paper studies the influence of the ground current to buried metal pipelines under different factors. The results show that the greater soil resistivity, the greater distance from the interfering pipe to the grounding electrode, the smaller ground current, the greater resistivity of protecting coating, the influence is smaller. The content of this paper can provide the basis for the location and layout of newly built transmission lines and pipelines.

Keywords

High Voltage Direct Current, Ground Current, Electric Field, Buried Pipelines, Corrosion

高压入地电流对埋地管道电位的影响

吴江伟, 宋 鹏

青岛大学自动化与电气工程学院, 山东 青岛
Email: wujiangwei92@163.com, 740127683@qq.com

收稿日期: 2017年5月31日; 录用日期: 2017年6月18日; 发布日期: 2017年6月21日

摘 要

当高压直流输电系统处于单极运行方式时, 会有很大的入地电流流入大地, 对埋地金属管道带来负面影响, 能够造成或者加速金属管道的腐蚀。论文研究了不同影响因素下, 高压直流入地电流对埋地金属管道的干扰规律。结果表明土壤电阻率越大、被干扰管道到接地极的距离越大、入地电流越小、防腐层电阻率越大, 高压直流输电对埋地金属管道的干扰越小。论文内容能够为新建输电线路和管道的选址以及

布局提供依据。

关键词

高压直流输电, 入地电流, 电场, 埋地管道, 腐蚀

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国资源分布不均, 所以能源的输送尤其重要, 随着经济的发展, 高压直流输电线路(High Voltage Direct Current, 简称 HVDC)和应用于石油、天然气等远距离输送的管道运输业, 都将得到持续的发展[1]。目前我国高压直流输电系统的额定入地电流为 3 kA, 能够造成大范围内的地电场畸变[2], 杂散电流会流入距离 HVDC 的接地极较近的金属管线, 严重时甚至会危害油气管道维护人员的安全。如何减小入地电流对埋地管道的干扰, 越来越受到社会的关注。

以往大多数研究人员采用 ANSYS 来分析入地电流对管道产生的影响, 但是研究中所建立的物理模型均偏小, 而且为了便于建模对管道参数进行了折算, 这样既不能很好的反应入地电流对大范围内管道的干扰情况, 当分析参数不同管道时, 也需要对参数进行重新的折算。本文建立了大范围的物理模型, 同时管道参数也未经折算, 计算结果能够更准确的反映入地电流对管道干扰的结果, 并且当分析不同类型的管道时, 由于无需进行参数的折算, 程序的通用性更强, 结果也更直观。

2. 干扰机理

2.1. 入地电流产生的原因

HVDC 的运行方式主要有以下三种: 单极直流输电、单极两线直流输电和双极直流输电。虽然我国目前建设的高压直流输电线路采用的都是双极直流输电方式, 但是在实际运行中, 单极运行模式仍然占有一定比例, 尤其是在线路建设初期或者双极输电线路检修期间。

当高压直流输电系统工作在以大地作为回线的单机运行模式时, 由于线路以大地作为回线, 就会有很大的入地电流 I_e 流入大地, 大小与输电线路中的电流 I_{dl} 相等[3], 如图 1 所示。

2.2. 入地电流对管道的干扰

入地电流由接地极流入大地, 会使地电场发生畸变, 使管道和土壤之间存在电位差, 即管地电位。当接地极阳极放电时入地电流为正, 在距离接地极较近部分的管道的管地电位为负, 电流会从土壤流入管道[4]; 由于金属管道的电阻率远小于土壤的电阻率, 所以管道的电位下降非常慢, 而管道附近土壤的电位下降比较快, 所以在距离接地极较远的另一部分管道的管地电位为正, 电流会从管道流入土壤, 在这一部分管道发生电化学反应, 而且金属管道作为阳极, 会被腐蚀掉, 这一区域称为腐蚀区, 如图 2 所示。当接地极阴极放电时, 管地电位的情况与接地极阳极放电时的情况正好相反。

3. ANSYS 建立模型

理论上受直流干扰影响下的地电场分布, 通过求解在确定边界条件下的麦克斯韦方程组即可得到,

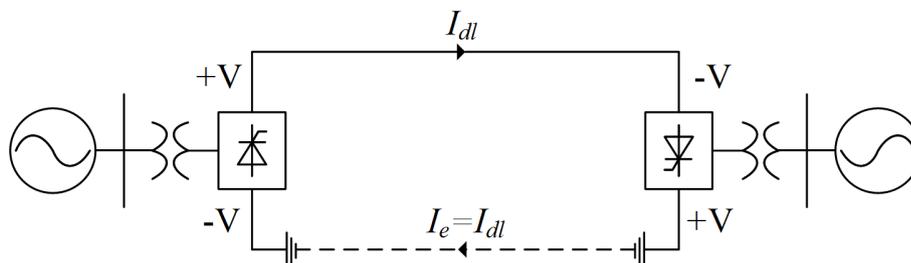


Figure 1. The sketch configuration of HVDC system at monopole operation
图 1. 单极直流输电示意图

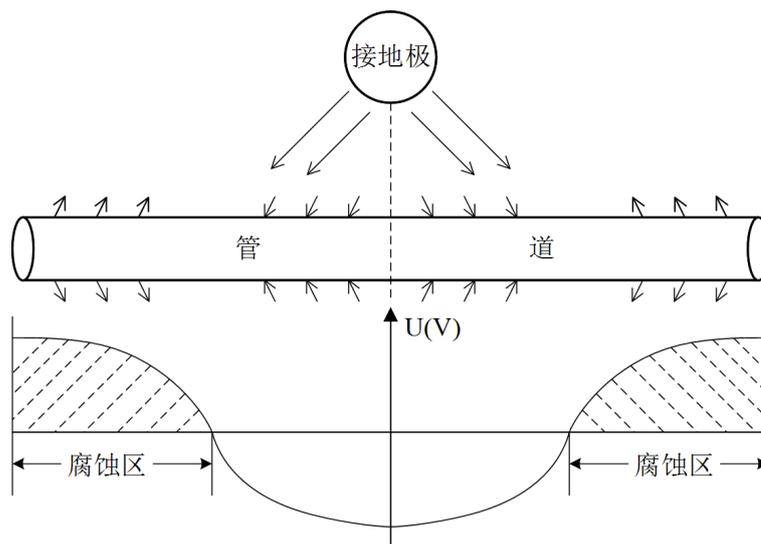


Figure 2. Schematic diagram of anode discharge
图 2. 阳极放电示意图

但是当分界面比较多的情况下，直接求解麦克斯韦方程组会非常困难，通常会采用有限元分析软件来进行计算。在电磁场的计算中，ANSYS 作为大型通用有限元分析软件收到广泛的应用[5] [6] [7] [8]，而且计算结果比较准确。本文采用 ANSYS 来进行管地电位的计算。

3.1. 模型简化

为了提高计算速度、方便网格划分，需要对实际模型进行适当简化，具体过程如下：

- 1) 将接地极简化为点电流源[9]。
- 2) 将实际土壤简化为 2 层土壤模型，土壤电阻率各处均相同。
- 3) 管道埋地深度不发生变化。
- 4) 管道上防腐层结构完整，没有破损点。

3.2. ANSYS 模型

论文中建立的管道模型与实际管道相同，管道截面图如图 3 所示。

图 3 中，区域 I 表示管道中实际输送的物质，例如石油、天然气等，在本文的研究过程中，认为管道内运输的物质为成品油；区域 II 表示管道壁；区域 III 表示覆盖在管道上的防腐层。管道横截面尺寸如下：管道内径 $d_1 = 511 \text{ mm}$ 、管道外径 $d_2 = 711 \text{ mm}$ 、防腐层厚度 $c = 5 \text{ mm}$ 。

根据 3.1 中模型简化的规则，利用 ANSYS 建立的土壤与管道、接地极模型示意图如图 4 所示。

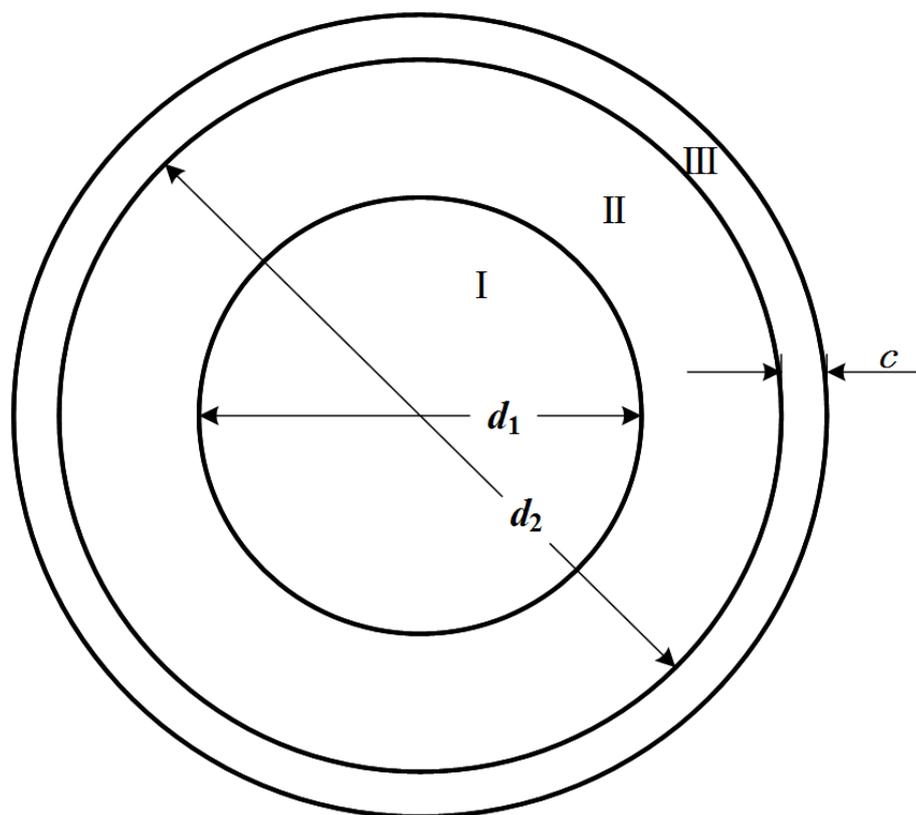


Figure 3. Cross section of pipe
图 3. 管道横截面图

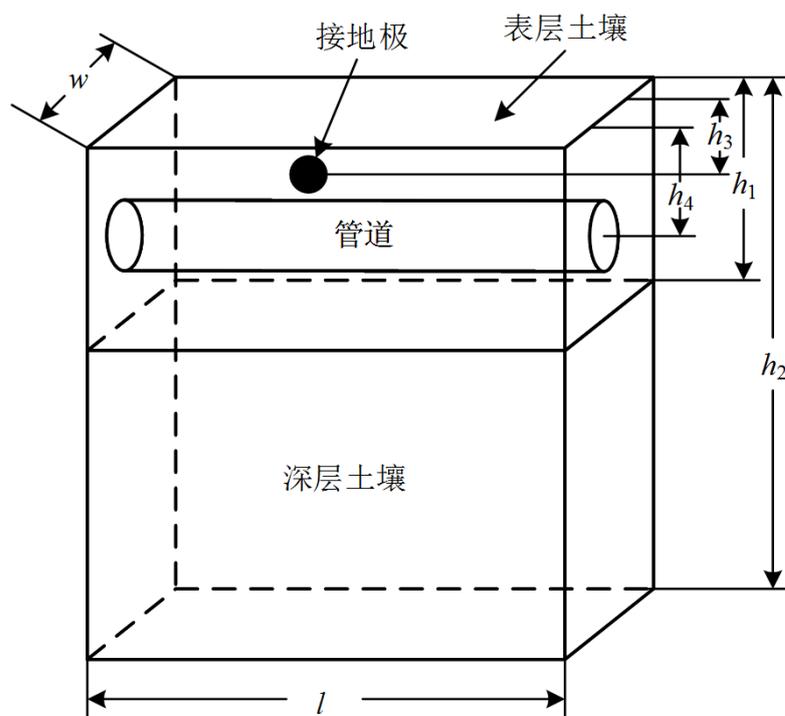


Figure 4. Model of soil, pipeline and grounding electrode
图 4. 土壤与管道、接地极模型

图 4 中土壤模型长 $l = 300 \text{ km}$, 宽 $w = 150 \text{ km}$, 表层土壤深 $h_1 = 4000 \text{ m}$, 深层土壤深 $h_2 = 4000 \text{ m}$, 接地极埋设深度 $h_3 = 3.5 \text{ m}$, 管道中心与地表的垂直距离 $h_4 = 1.5 \text{ m}$ 。

4. ANSYS 仿真结果分析

4.1. 土壤电阻率对干扰的影响

当土壤分层以后, 表层土壤电阻率对地表电场的分布有较大影响[10], 本文中第深层土壤电阻率不发生变化, 均为 $7000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ 。表层土壤电阻率参数按表 1 设置, 其余各个参数保持不变: 成品油电阻率 $1010 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$, 管道壁电阻率 $9.78 \times 10^{-8} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$, 防腐层电阻率 $2 \times 10^7 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$, 管道距离接地极 10 km , 接地极入地电流 3000 A 。

图 5 为不同土壤电阻率条件, 在直流干扰下管道的管地电位。横坐标表示管道上不同的位置, 以管道距离接地极最近的位置处为坐标 0 点。土壤电阻率越大, 管道受到直流干扰时管地电位的数值越大, 即管道受到的直流干扰越强烈。在表层土壤电阻率为 $20 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$, 入地电流为额定电流 3000 A 时, 在管道 -100 km 位置处的管地电位为 3.40 V , 在管道 200 km 位置处的管地电位为 3.18 V , 整段管道均受到直流干扰的影响, 从这也可以看出高压直流入地电流的影响范围非常大, 建立一个模型是必要的。

在不同的表层土壤电阻率的情况下, 电位均在 $\pm 37 \text{ km}$ 位置处衰减为 0, 所以管道腐蚀区的长度与位置不受表层土壤电阻率的影响, 但是由于管地电位的幅值发生了变化, 会影响腐蚀区管道的腐蚀速率。

4.2. 管道与接地极之间的距离对干扰的影响

管道与接地极之间的距离按表 2 设置, 其余各个参数保持不变: 成品油电阻率 $1010 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$, 管道壁电

Table 1. The resistivity parameter of first layer soil

表 1. 表层土壤电阻率参数

模拟参数	参考值			
表层土壤电阻率($\Omega \cdot \text{m}$)	10	20	60	100

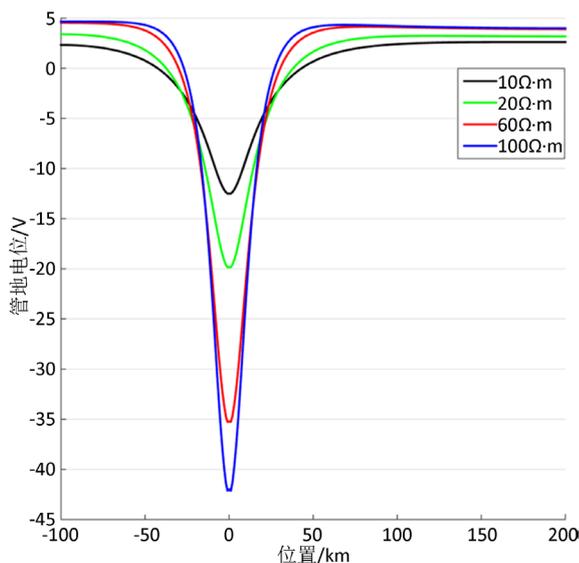


Figure 5. The pipe-to-soil potential at different surface soil resistivity

图 5. 不同表层土壤电阻率时的管地电位

阻率 $9.78 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, 防腐层电阻率 $2 \times 10^7 \Omega \cdot m^2$, 入地电流为 3000 A, 表层土壤电阻率 $20 \Omega \cdot m$ 。

图 6 为管道与接地极之间不同距离时的管地电位图。管道距离接地极越近, 管地电位的数值越大。这是由于距离接地极越近, 受入地电流影响的地电场场强越强, 所以距离接地极近的管道, 受到的干扰更加强烈。从图 6 中也可以看出, 在不同的距离下, 电位也均是在 $\pm 37 \text{ km}$ 的位置处衰减为 0, 管道与接地极之间的距离不会改变腐蚀区的位置和长度, 只是会影响腐蚀区的腐蚀速率。

4.3. 入地电流的大小对干扰的影响

入地电流的大小按表 3 设置, 其余各个参数保持不变: 成品油电阻率 $1010 \Omega \cdot m$, 管道壁电阻率 $9.78 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, 防腐层电阻率 $2 \times 10^7 \Omega \cdot m^2$, 表层土壤电阻率 $20 \Omega \cdot m$, 管道距离接地极 10 km。

图 7 为不同入地电流时的管地电位图。当大入地电流通过接地极注入大地后, 接地极附近的电场可以认为是一个恒定的直流电场[11], 且入地电流越大场强越强, 对管道的干扰也越强。与 4.1 和 4.2 分析情况类似, 入地电流的大小也不会改变管道腐蚀区的大小和位置, 只会影响管道腐蚀的速率。

4.4. 防腐层电阻率对干扰的影响

防腐层电阻率的数值按表 4 设置, 其余各个参数保持不变: 成品油电阻率 $1010 \Omega \cdot m$, 管道壁电阻率

Table 2. The distance between the pipe and the ground electrode

表 2. 管道与接地极之间的距离

模拟参数	参考值		
管道与接地极距离(km)	7	10	20

Table 3. The value of the ground current

表 3. 入地电流的大小

模拟参数	参考值			
入地电流的大小(A)	500	2000	3000	4500

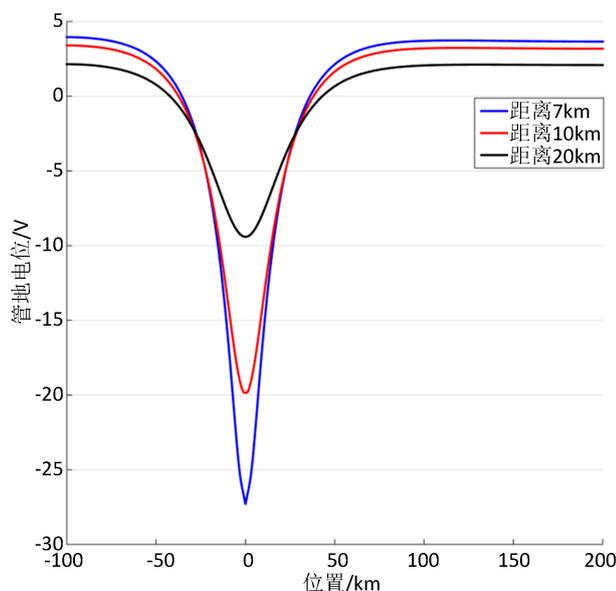


Figure 6. The pipe-to-soil potential at different distance

图 6. 不同距离时的管地电位

$9.78 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, 表层土壤电阻率 $20 \Omega \cdot m$, 入地电流为 3000 A, 管道距离接地极 10 km。

图 8 为不同防腐层电阻率使时的管地电位图。虽然随着防腐层电阻率的增加, 管地电位的数值会增大, 但是由于防腐层的电阻率增加的更多, 所以流入管道和流出管道的电流反而减小, 使位于腐蚀区的管道的腐蚀速率降低。

Table 4. Resistivity of anticorrosive coating

表 4. 防腐层电阻率

模拟参数	参考值
防腐层电阻率($\Omega \cdot m$)	1×10^5 2×10^7 1×10^{10}

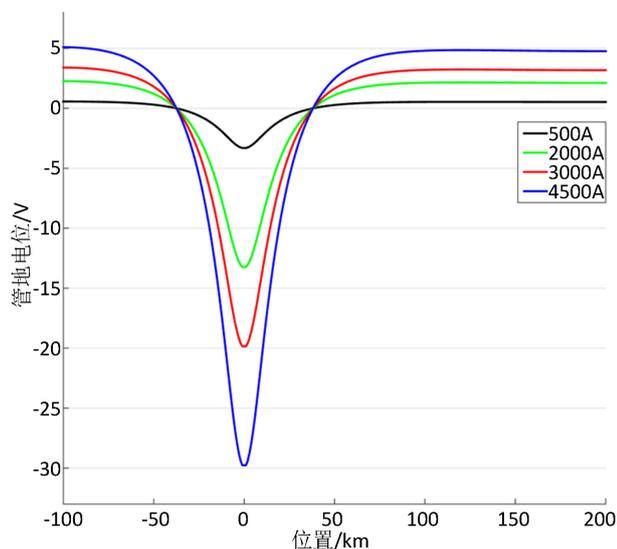


Figure 7. The pipe-to-soil potential at different ground current

图 7. 不同入地电流时的管地电位

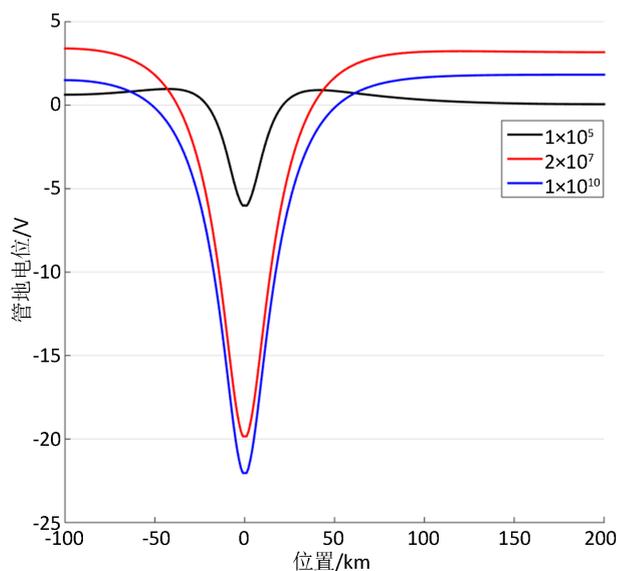


Figure 8. The pipe-to-soil potential at different resistivity of anticorrosion layer

图 8. 不同防腐层电阻率时的管地电位

从图 8 中也可以明显的看出, 随着防腐层电阻率的增加, 管道腐蚀区(管地电位为正的区)的长度明显减小, 所以提高防腐层的电阻率, 既能减缓管道腐蚀的速率, 又能减少管道受腐蚀的区域。

5. 结论

通过上述分析可知, 高压直流输电的大电流由接地极注入大地后, 会对附近埋地金属管道产生大范围的影响, 所以在输电线路和管道选址时, 要充分考虑入地电流对管道干扰的影响。通过研究表明, 表层土壤电阻率小的区域适宜埋设接地极和管道; 同时需要考虑接地极与管道的距离, 输电线路的额定电流值越高, 距离应该越远; 防腐层能对管道进行有效的保护, 但是防腐层电阻率越大成本也会越高; 需要做好防腐层的检修工作, 如果防腐层有破损, 在破损点处会有较大的泄露电流, 反而会加速破损点处管道的腐蚀。

参考文献 (References)

- [1] 曾南超. 高压直流输电在我国电网发展中的作用[J]. 高电压技术, 2004, 30(11): 11-12.
- [2] 郝治国, 余洋, 张保会, 等. 高压直流输电单极大地方式运行时地表电位分布规律[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(6): 10-14.
- [3] 叶杰宏. 直流单极运行对 500kV 交流变压器的影响[J]. 电气时代, 2011, 47(3): 111-114.
- [4] 杨理践, 黄平, 高松巍. 有效抑制电气化铁路对油气管道管地电位影响的技术[J]. 材料保护, 2015, 48(6): 48-51.
- [5] 张攀峰, 於孝春. 受直流杂散电流影响埋地管线的 ANSYS 模拟[J]. 腐蚀与防护, 2011, 32(2): 146-149.
- [6] 赵永生, 张文亮. 同走廊高压交、直流输电线路混合电场分析[J]. 高电压技术, 2014, 40(3): 923-929.
- [7] 张榴晨, 徐松. 有限元法在电磁计算中的应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.
- [8] 阮江军. HVDC 直线型直流接地极端部三维电流场有限元计算[J]. 高电压技术, 1998, 23(3): 47-48.
- [9] 潘卓洪, 张露, 刘虎, 等. 多层水平土壤地表电位分布的仿真分析[J]. 高电压技术, 2012, 38(1): 116-123.
- [10] 吴超, 吴广宁, 范建斌, 等. 高压互联电网极址土层参数对直流地表电位影响的研究[J]. 高压电器, 2011, 47(3): 41-46.
- [11] 刘连光, 马成廉. 基于有限元方法的直流输电接地极多层土壤地表电位分布计算[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(18): 1-5.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org