

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.05.020

雁门关直流接地极附近地表电位分布研究

孙志鹏¹, 蔡新景², 魏建³, 孙志龙³

(1. 东北电力大学电气工程学院, 吉林 吉林 132012; 2. 沈阳工业大学电气工程学院, 辽宁 沈阳 110870; 3. 国网吉林省电力有限公司松原供电公司, 吉林 松原 138000)

摘要:随着我国特高压直流输电线路的投运,直流入地电流引起的地电位畸变及电磁干扰问题得到了越来越多的重视。不同地区由于土壤结构的差异,地表电位分布并无参考价值。为了研究雁门关换流站单极运行时地表电位变化规律,采用 Wenner 四电极法实测雁门关直流接地极附近土壤视在电阻率,建立了3层大地土壤水平分层模型,利用 CDEGS 计算接地极在额定电流下附近 100 km 范围内变电站、风电场、输气管道的电位分布,定量给出了地表电位随距离变化的函数关系式,并研究了注入电流、土壤电阻率、局部不均匀电阻率、埋地金属管道对地表电位分布的影响。仿真结果表明,接地极为双圆环时地表电位与距离呈幂函数下降关系,注入电流、土壤电阻率对地表电位分布影响较大,埋地金属管道、局部不均匀电阻率对地表电位影响很小,可以忽略不计。

关键词: Wenner 四电极法; 地表电位分布; CDEGS; 直流接地极; 土壤结构

中图分类号: TM721.1

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2020)05-0140-06

0 前言

超高压直流输电具备超远距离、超大容量、低损耗输电的特点,是我国电能传输的主要方式之一^[1-2]。直流输电系统在正常工况下采用双极模式运行,但在前期建设和建成后输电线路发生故障时,必须采用单极大地模式运行。此时会有数千安培的直流电流注入大地,直流入地电流不仅会使直流接地极附近地表电位发生变化,破坏附近交流电网的稳定性,还会加快附近埋地金属构件的腐蚀,影响电气设施的正常使用^[3-9]。

研究地表电位的分布 (earth surface potential, ESP) 对于分析附近交流电网的稳定性、直流接地极选址及直流偏磁等问题具有重要意义^[10-16]。文献[17]提出采用等值复数镜像法求解静电场中的电位分布;文献[18]采用大地电磁测深法实测陕北换流站附近土壤电阻率,利用 ANSYS 研究了陕北换流站附近地表电位分布规律;文献[19]研究了影响大地电位变化的若干个敏感性参数,对抑制地表电位升高有重要意义。

不同地区由于土壤结构的差异,地表电位分布并不相同。为了研究雁门关换流站附近地表电位分布规律,首先利用 CDEGS 软件反演了雁门关附近土壤结构并搭建了直流输电系统单极大地模式运行的电磁仿真模型。然后计算额定电流下雁门关直流接地极附近 100 km 范围内变电站、风电场和输气管道的电压分布,并定量给出地表电位随距离变

化的函数表达式。最后讨论注入电流、土壤电阻率、局部不均匀土壤、埋地金属管道影响下的地表电位分布规律。该研究能够有效发现雁门关换流站附近接地网、风机及箱变接地装置、埋地输气管道的安全隐患,降低电力系统和输气管道的事故风险,具有极大的经济效益和社会效益。

1 理论基础

1.1 土壤结构分析

图1为 Wenner 法测量土壤电阻率的示意图。A、B、C、D 为 4 个等间距放置的电极,视在电阻率为:

$$\rho_a(a) = 2\pi aR \quad (1)$$

式中: R 为电阻, $R = U/I$, U 为电压表示数, I 为入地电流; a 为电极间距。

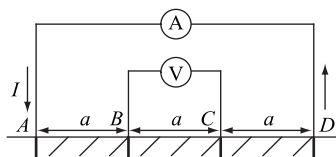


图1 Wenner 四电极法

Fig.1 Wenner four-electrode method

土壤水平分层模型(如图2所示),是根据土壤视在电阻率的测量值 ρ_m , 计算值 ρ_c 与间距的关系确定的。在确定土壤分层数 n 后,使用最小二乘法建立目标函数,利用最速下降法等寻找最优土壤模型参数,即各层厚度 h_i 和电阻率 ρ_i 。

$$f(\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n, h_1, h_2, \dots, h_n) = \sum_{j=1}^M \left[\frac{\rho_{mj} - \rho_{cj}(\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n, h_1, h_2, \dots, h_n)}{\rho_{mj}} \right]^2 \quad (2)$$

式中: ρ_{mj} , ρ_{cj} 分别为第 j 次测量的土壤视在电阻率测量值和计算值; h_i 为第 i 个分层厚度; ρ_i 为第 i 个分层的电阻率; M 为测量次数。

	空气
第一层土壤 ρ_1 h_1	土壤
第二层土壤 ρ_1 h_2	
⋮	
第 n 层土壤 ρ_n h_n	

图2 n 层水平土壤分层模型

Fig.2 n -layer horizontal soil layering model

1.2 地表电位分布计算

点源 P 在任意点 $N(r, z)$ 产生的电位 φ 满足拉普拉斯方程:

$$\nabla^2 \varphi = 0 \quad (3)$$

在圆柱坐标系中,可表示为:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad (4)$$

求解式(4),可得到电位函数的通解为:

$$\varphi = \theta(\lambda) J(\lambda r) e^{-\lambda z} + \varphi(\lambda) J(\lambda r) e^{\lambda z} \quad (5)$$

式中: λ 为任意常数; $J(\lambda r)$ 为第一类零阶贝塞尔函数; $\theta(\lambda)$, $\varphi(\lambda)$ 为待求系数。

圆柱坐标系下均匀土壤的电位函数表达式为:

$$\varphi = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}} \quad (6)$$

式中: ρ 为大地电阻率; I 为点源注入电流。

当土壤分为2层时,设上层土壤厚度为 S , 电阻率为 ρ_1 , 下层土壤电阻率为 ρ_2 。点源 P 在第一层距地表距离为 h , 如图3所示。

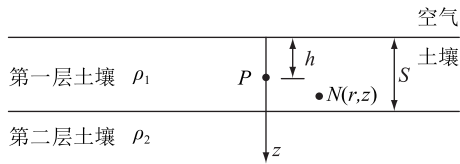


图3 水平2层土壤结构模型

Fig.3 Horizontal two-layer soil structure model

2层土壤模型中电位的拉普拉斯方程的解为:

$$\varphi_1 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left(\int_0^\infty J(\lambda r) e^{-\lambda z} d\lambda + \int_0^\infty \theta_1 J(\lambda r) e^{-\lambda z} d\lambda + \int_0^\infty \varphi_1 J(\lambda r) e^{\lambda z} d\lambda \right) \quad (7)$$

$$\varphi_2 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left(\int_0^\infty J(\lambda r) e^{-\lambda z} d\lambda + \int_0^\infty \theta_2 J(\lambda r) e^{-\lambda z} d\lambda + \int_0^\infty \varphi_2 J(\lambda r) e^{\lambda z} d\lambda \right) \quad (8)$$

外加边界条件:

$$\frac{1}{\rho_1} \frac{d\varphi_1}{dz} = \frac{1}{\rho_2} \frac{d\varphi_2}{dz} \quad (9)$$

可得:

$$\theta_1(\lambda) = \varphi_1(\lambda) = \frac{K e^{-2\lambda S}}{1 - K e^{-2\lambda S}} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \theta_2(\lambda) = \frac{K(1 + e^{-2\lambda S})}{1 - K e^{-2\lambda S}} \\ \varphi_2(\lambda) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

代入式(7)可得:

$$\varphi_1 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\int_0^\infty J(\lambda r) e^{-\lambda z} d\lambda + \int_0^\infty \frac{K e^{-2\lambda S}}{1 - K e^{-2\lambda S}} J(\lambda r) (e^{-\lambda z} + e^{\lambda z}) d\lambda \right] \quad (12)$$

式中: $K = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$ 。令式(12)中 $z=0$, 可得电流源和地表任意点间的互电阻关系为:

$$R(r) = \frac{\rho_1}{2\pi} \int_0^\infty J(\lambda r) \mu_{12} d\lambda \quad (13)$$

其中:

$$\mu_{12} = \frac{1 + K e^{-2\lambda S}}{1 - K e^{-2\lambda S}} \quad (14)$$

n 层土壤时的地表电位及互电阻系数可由对应的边界条件求得。由于表达式复杂,不再详细推导。

2 模型与参数确定

雁门关±800 kV换流站接地极30 km范围内有多个变电站(五寨、义井),风电场(神池板井、南桦山、继阳山、柳沟、利民)以及输气管道(神池—偏关),额定运行电流为5 000 A。输气管道长60 km,由西向东延伸,接地极位于管道的北边,且处于这段管道的中间部位,距管道约10 km,具体见图4。

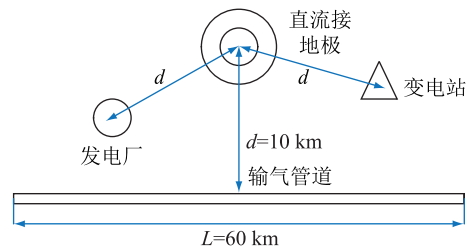


图4 直接地极附近设施

Fig.4 Facilities near DC ground

直接地极为双圆环结构,具体参数见表1,埋地输气管道具体参数见表2。

通过 Wenner 四电极法实测雁门关直接地极附近土壤视在电阻率,得到不同方向不同间距下的视在电阻率,即表3,其中GS01—GS04为不同方向测得的土壤电阻率。同一间距的数值取平均值之后,

表 1 直流接地极参数

Table 1 DC ground electrode parameters

接地极	管径/mm	半径/m	埋深/m	相对电阻率
内环	60	75	2.5	12
外环	70	175	3	12

表 2 输气管道参数

Table 2 Gas pipeline parameters

参数	数值	参数	数值
内半径/mm	300	涂层电阻率/($\Omega \cdot m$)	10^5
外半径/mm	350	相对电阻率	17
涂层厚度/mm	3	相对磁阻率	300
埋深/m	2.5		

用 CDEGS 软件中的土壤分析模块 (REASP) 反演土壤结构, 得到水平 3 层土壤模型, 结果见表 4。

表 3 雁门关土壤电阻率测量值

Table 3 Measured value of soil resistivity at Yanmenguan

间距/m	GS01/ ($\Omega \cdot m$)	GS02/ ($\Omega \cdot m$)	GS03/ ($\Omega \cdot m$)	GS04/ ($\Omega \cdot m$)
1	94.80	112.80	119.80	78.90
2	103.30	124.90	112.10	82.00
3	106.20	136.00	110.90	87.10
4	106.70	148.40	105.30	90.40
6	107.50	176.04	106.00	93.10
10	106.80	201.59	108.40	98.40
20	96.20	170.05	103.00	99.00
30	104.10	142.37	92.80	92.30
40	113.30	149.60		
80	93.40	238.00		
150	139.30	183.50		
300	122.80	156.40		
600	125.00	334.60		

表 4 雁门关直流接地极土壤反演结果

Table 4 Soil inversion results of DC ground electrode at Yanmenguan

层数	视在电阻率/($\Omega \cdot m$)	厚度/m
1	101.72	1.34
2	125.72	36.90
3	171.19	∞

该模型下土壤电阻率的测量值与计算值曲线的均方根误差为 10.55%, 表明土壤电阻率的反演结果与土壤实际分层很接近, 符合工程要求。

3 仿真结果分析

3.1 雁门关周围埋地金属设施电位分析

3.1.1 雁门关地表电位分布

当注入电流为 5 000 A 时, 土壤模型采用水平 3

层分层模型, 接地极参数见表 1。雁门关接地极附近地表电位分布如图 5 所示。

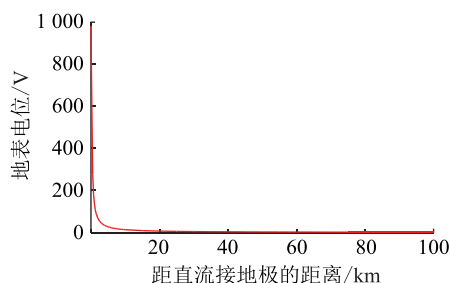


图 5 100 km 范围内的电位分布

Fig.5 Potential distribution in the range of 100 km

分析图 5 可知, 直流接地极所在位置的地表电位最高, 随着距离的增加, 地表电位一直下降。距离接地极 10 km 内地表电位变化速率最快, 30 km 以外地表电位变化几乎为零。

3.1.2 雁门关周围发电厂和变电站地电位计算

雁门关周围部分变电站和风电场电位计算结果如表 5 所示。

表 5 变电站和电厂电位分布

Table 5 Substation and power plant potential distribution

变电站及电厂名称	与接地极的距离/km	电压/V
五寨 500 kV 变	28	4.846 7
朔州 500 kV 变	33	4.111 3
神泉火电厂	49	2.768 9
义井 220 kV 变	10	13.575 0
凤凰 220 kV 变	31	4.377 7
岢岚 220 kV 变	70	1.940 3
方城 220 kV 变	34	3.989 2
水头 220 kV 变	36	3.768 2
向阳堡 220 kV 变	45	3.012 9
铺上 220 kV 变	39	3.482 1
辛庄 220 kV 变	41	3.308 4
安荣 220 kV 变	34	3.989 2
虎头山风电场	31	4.377 7
高家堰风电场	38	3.573 1
北山风电场	40	3.394 7
白玉山风电场	46	2.948 9
刘家窑风电场	44	3.084 4
巡镇 110 kV 变	48	2.825 4
五寨 110 kV 变	29	4.682 8

3.1.3 雁门关周围埋地管道电位分布

本节计算了注入电流为 5 000 A (额定电流) 时, 距离接地极 10 km 处的金属管道的电位分布计算结果如图 6 所示。接地极运行方式对埋地金属管道电位的影响如图 7 所示, 地理位置见图 4。

分析图 6 可知, 由于管道中点距离接地极最近,

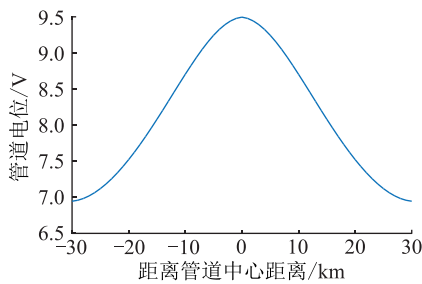


图6 额定电流下管道电位分布

Fig.6 Distribution of pipeline potential under rated conditions

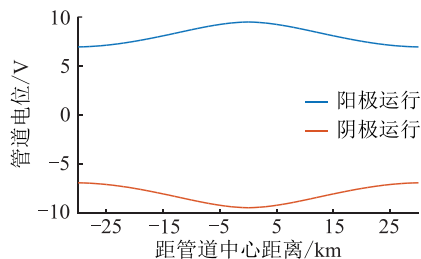


图7 接地极不同运行方式下管道电位

Fig.7 Ground potential in different operating modes

其受接地极的影响最大。离管道中心越远,管道沿线电位越低。管道中点电位为 9.496 1 V,管道端点电位为 6.945 6 V,且管道电位分布关于管道中心对称。由图 7 可知,接地极以阳、阴极运行时管道电位分布恰好相反。

3.2 雁门关地表电位分布的影响因素

由电磁场理论可知,直直接地极附近地表电位分布主要由土壤模型决定。在实际情况中,地表电位分布还与注入电流、距直接接地极的距离、局部不均匀电阻率等因素有关。

(1) 距离。由图 5 可知,地表电位随距离的增加而下降。由于大多数金属设施都处于接地极 10~80 km 之内,因此有必要归纳出该范围内二者的函数关系从而方便工程计算。其下降规律为:

$$u = 136.2x^{-1.001} \quad (14)$$

式中: u 为地表电位; x 为与接地极的距离。由式(14)可知,地表电位按幂函数规律下降。

(2) 注入电流。注入电流不同,地表电位也不同。现仅改变注入电流的大小,其他参数同上。注入电流对地表电位变化规律如图 8 所示。由图 8 可知,随着注入电流的增大,地表电位均有所升高。其中,距离接地 5 km 范围内的电位升高幅度比较明显,10 km 以外地表电位增幅较小。

(3) 土壤电阻率。设土壤电阻率均匀,仅改变土壤电阻率参数,其他参数同上。土壤电阻率对地表电位影响如图 9 所示。由图 9 可知,随着土壤电

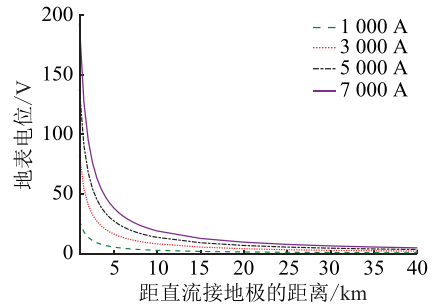


图8 注入电流对地表电位的影响

Fig.8 Effect of injected current on ground potential

阻率升高,地表电位也升高。因此接地极应尽量在大地的浅层土壤中来减小地表电位升高的幅度。

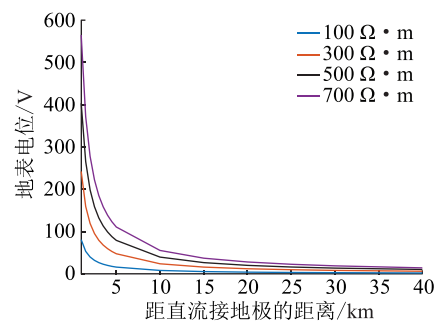


图9 土壤电阻率对地表电位的影响

Fig.9 Effect of soil resistivity on surface potential

(4) 局部土壤不均匀电阻率。实际情况中,大地中存在湖泊、岩石等电阻率等不同的物质,所以有必要讨论局部土壤不均匀对地表电位的影响。为了简化计算,假设土壤均匀电阻率 $\rho = 100 \Omega \cdot m$ 。局部土壤模型为半径为 2 km 的圆柱体,圆心位于接地极正东方向 10 km 处。改变局部土壤电阻率,其对地表电位的影响如表 6 所示。可知,局部土壤电阻率对整体地表电位影响可以忽略。

表6 局部土壤不均匀电阻率对地表电位的影响

Table 6 Effect of local soil resistivity on surface potential

距接地极 的距离 /km	地表电位/V				
	30 $\Omega \cdot m$	60 $\Omega \cdot m$	100 $\Omega \cdot m$	300 $\Omega \cdot m$	600 $\Omega \cdot m$
5	15.454 9	15.729 8	15.918 9	16.244	16.371 9
10	7.116 6	7.412 9	7.957 8	7.657 7	7.692 6
15	5.403 0	5.374 5	5.305 1	5.125 6	5.041 7
20	4.012 5	4.001 3	3.978 9	3.909 1	3.876 1
30	2.664 8	2.661 9	2.652 7	2.628 7	2.617 3
40	1.995 9	1.994 3	1.989 6	1.977 2	1.971 4

(5) 埋地金属管道。实际情况中,土壤中会存在输气管道。考虑到管道的导电性能,仿真了管道对地表电位的影响。管道参数见表 2,管道与接地极相对位置如图 4 所示,其余参数同上。仿真结果如图 10 所示。由图 10 可知,埋地管道对地表电位

分布的影响不大,可以忽略。

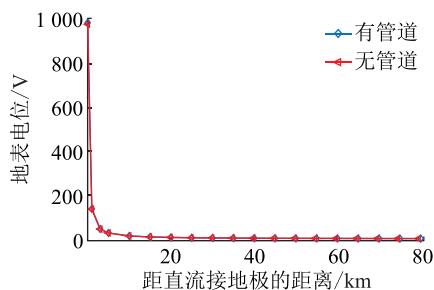


图10 管道对地表电位的影响

Fig.10 The effect of soil resistivity on surface potential

4 结论

文中通过 CDEGS 软件搭建了直流输电系统的电磁仿真模型,针对雁门关土壤结构模型定量给出了地表电位随距离的函数关系式,并讨论了影响地表电位变化的若干因素。具体如下:

(1) 接地极为圆环时直流入地电流引起的地表电位与距离呈幂函数关系。距离接地极越近,地表电位下降越明显,对周围设施的影响也越大。因此,在距离接地极 10 km 内不应建设电力通信设施。对已存在的输气管道应加强防腐措施,对变电站、发电厂等要加强对直流偏磁的监测。

(2) 地表电位分布受注入电流、土壤电阻率影响较大。注入电流、土壤电阻率数值越大,地表电位升高越多。抑制地表电位升高的最有效方法是减小注入电流。直流接地极应埋设在土壤电阻率较小的浅层土壤当中。局部电阻率、埋地管道对地表电位的影响很小,可以忽略。

参考文献:

[1] 许飞宇. 国际电网输电技术发展趋势及应用研究[D]. 北京:华北电力大学,2017.
XU Feiyu. Development trend and application research of international grid transmission technology[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.

[2] 季连波. 分析我国特高压交流输电发展前景[J]. 科协论坛, 2012(11):62-63.
JI Lianbo. Analyze the development prospect of UHVAC transmission in China [J]. Science and Technology Forum, 2012 (11):62-63.

[3] 曹国飞,顾清林,姜永涛,等. 高压直流接地极对埋地管道的电流干扰及人身安全距离[J]. 天然气工业, 2019, 39(3): 125-132.
CAO Guofei, GU Qinglin, JIANG Yongtao, et al. Current interference of HVDC grounding electrode to buried pipeline and personal safety distance [J]. Natural Gas Industry, 2019, 39 (3): 125-132.

[4] 廖敏夫,张晓莉,邢小羽,等. 特高压直流接地极入地电流对

金属管道腐蚀研究现状与发展趋势[J]. 高压电器, 2018, 54 (7):44-52.

LIAO Minfu, ZHANG Xiaoli, XING Xiaoyu, et al. Research status and development trend of grounding current effect of UHVDC grounding electrode on corrosion of the metal pipelines [J]. High Voltage Apparatus, 2018, 54(7):44-52.

[5] 魏德军. 直流接地极对地下金属设施的电腐蚀影响[J]. 电网技术, 2008(2):75-77.
WEI Dejun. Electro-corrosion impacts of DC grounding electrode on underground metal facilities [J]. Power System Technology, 2008(2):75-77.

[6] 张璐,毛辰,孙蕾,等. 变压器直流偏磁研究现状综述[J]. 电工电气, 2019(8):1-6.
ZHANG Lu, MAO Chen, SUN Lei, et al. Summary of the research status of transformer DC bias [J]. Electric Engineering, 2019(8):1-6.

[7] 种芝艺,宋胜利,谭波,等. 特高压直流工程接地极对附近油气管线的影响研究[J]. 电网技术, 2019, 43(3):1099-1104.
ZHONG Zhiyi, SONG Shengli, TAN Bo, et al. Study on the influence of converter grounding electrode of UHVDC project on nearby oil and gas pipelines [J]. Power System Technology, 2019, 43(3):1099-1104.

[8] 孟晓波,张波,廖永力,等. 直流接地极入地电流对附近埋地管道电位的影响[J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(20): 6113-6121, 6192.
MENG Xiaobo, ZHANG Bo, LIAO Yongli, et al. Potential influence of ground return current from HVDC grounding electrode on buried pipeline [J]. Proceedings of the CSEE, 2019, 39 (20):6113-6121, 6192.

[9] 王明新,张强. 直流输电系统接地极电流对交流电网的影响分析[J]. 电网技术, 2005(3):9-14.
WANG Mingxin, ZHANG Qiang. Analysis of the influence of grounding electrode current in DC transmission system on AC grid [J]. Power System Technology, 2005(3):9-14.

[10] 曹方圆,白锋. 直流接地极电流干扰下埋地金属管道防护距离影响因素研究[J]. 高压电器, 2019, 55(5):136-143.
CAO Fangyuan, BAI Feng. Study on influencing factors on buried metal pipeline under DC grounding electrode interference [J]. High Voltage Apparatus, 2019, 55(5):136-143.

[11] 白锋,李雄,曹方圆. 高压直流接地极对埋地油气管道腐蚀影响的等效电流研究[J]. 电网技术, 2019, 43(5): 1834-1840.
BAI Feng, LI Xiong, CAO Fangyuan. Research on equivalent current of high voltage DC grounding electrode on corrosion of buried oil and gas pipeline [J]. Power System Technology, 2019, 43(5):1834-1840.

[12] 马俊杰. 考虑大地构造的直流输电接地极电位分布[D]. 北京:华北电力大学, 2012.
MA Junjie. Ground potential distribution of HVDC ground considering tectonics [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.

[13] 严森淼. 特高压直流单极运行时地表电位变化产生的偏磁

- 电流对交流变压器的影响研究[D]. 太原:太原理工大学,2016.
- YAN Yaomiao. Research on the influence of DC bias induced by the change of ESP on AC transformer in Mono-Polar of UHVDC system operation[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2016.
- [14] 刘曲. 高压直流输电系统单极大地运行时地中电流分布的研究[D]. 北京:清华大学,2007.
- LIU Qu. Study on the distribution of ground-to-ground current during single-maximum operation of HVDC transmission system [D]. Beijing: Tsinghua University, 2007.
- [15] 郭名文,樊艳芳,耿山,等. 特高压直流接地极周边断裂结构对地表电位分布的影响研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(2): 73-79.
- GUO Mingwen, FAN Yanfang, GENG Shan, et al. Research on the influence of fracture structures around UHVDC grounding electrodes on ground surface potential distribution[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(2): 73-79.
- [16] 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.
- HAO Zhiguo, YU Yang, ZHANG Baohui, et al. Distribution of ground surface potential when HVDC transmission unit operates in maximum mode [J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(6): 10-14.
- [17] 刘力,孙结中. 等值复数镜像法在多层土壤接地计算中的应用[J]. 高电压技术, 1998(3): 49-50, 53.
- LIU Li, SUN Jiezhong. Application of equivalent complex image method in multi-layer soils grounding calculation[J]. High Voltage Engineering, 1998(3): 49-50, 53.
- [18] 马成廉,王乐天,李波,等. 基于ANSYS的陕北换流站直流接地极地电位分布计算[J]. 中国电力, 2018, 51(5): 52-60.
- MA Chenglian, WANG Letian, LI Bo, et al. Calculation of DC ground polarity potential distribution in north Shaanxi converter station based on ANSYS [J]. Electric Power, 2018, 51(5): 52-60.
- [19] 耿山,樊艳芳,巩晓玲,等. 特高压直流接地极周边地表电位分布计算与敏感性参数研究[J]. 高压电器, 2019, 55(3): 163-169.
- GENG Shan, FAN Yanfang, GONG Xiaoling, et al. Calculation of surface potential around UHVDC grounding electrodes and analysis sensitivity parameters [J]. High Voltage Apparatus, 2019, 55(3): 163-169.

作者简介:



孙志鹏

孙志鹏(1994),男,硕士在读,研究方向为高压直流输电(E-mail:1275731468@qq.com);
蔡新景(1980),男,博士,博士生导师,研究方向为等离子体运输和雷电保护;
魏建(1990),女,硕士,工程师,从事高压直流输电相关工作。

Surface potential distribution near DC grounding electrode of Yanmenguan

SUN Zhipeng¹, CAI Xinjing², WEI Jian³, SUN Zhilong³

(1. College of Electrical Engineering, Northeast Electric Power University, Jilin 132012, China;

2. School of Electrical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China;

3. State Grid Jilin Electric Power Co., Ltd. Songyuan Power Supply Company, Songyuan 138000, China)

Abstract: With the commissioning of UHVDC transmission lines in China, more and more attention has been paid to ground potential distortion and electromagnetic interference caused by direct current into the ground. Due to differences of soil structure in different regions, the distribution of surface potential is not the same. In order to study the law of surface potential distribution during unipolar operation of the Yanmenguan converter station, a three-layer soil resistivity model of Yanmenguan according to the field measurement using Wenner four-electrode method is established. Then the potential of substations, wind farms, and gas pipelines within 100 km of the grounding electrode at rated current is calculated. Simultaneously, the expression of the change of ground potential with distance is determined. Finally, the effects of injected current, soil resistivity, local resistivity and buried metal pipelines on the distribution of ground potential are studied. The simulation results show when the grounding electrode is a double ring structure, the ground potential decreases with distance. The injection current and soil resistivity have a greater influence on the surface potential distribution, and the buried metal pipes and local uneven resistivity have little effect on the surface potential.

Keywords: Wenner four-electrode method; surface potential; CDEGS; DC ground electrode; soil structure

(编辑 方晶)