

DOI: 10.11973/fsyfh-202204007

# 基于低感石墨复合接地材料的油气管道 绝缘层的防护效果

王鑫宇<sup>1</sup>, 安韵竹<sup>1</sup>, 胡元潮<sup>1</sup>, 向真<sup>2</sup>, 黄涛<sup>3</sup>, 黄士君<sup>3</sup>

(1. 山东理工大学电气与电子工程学院, 淄博 255000; 2. 深圳供电局有限公司, 深圳 518000;  
3. 国网江苏省电力工程咨询有限公司, 南京 210000)

**摘要:** 通过 CDEGS 仿真软件对传统镀锌钢和新型低感石墨复合接地的杆塔接地网进行建模计算, 分析了外延接地体与管道距离、土壤电阻率等因素对管道绝缘层承受电压的影响, 对比这两种接地材料的散流特性。仿真结果表明: 土壤电阻率增加会使管道绝缘层承受电压幅值增大; 两者距离增大可减小管道绝缘层的过电压, 低感石墨复合接地在高频电流作用下的散流特性优于镀锌钢。采用低感石墨复合接地进行换向引流后, 管道绝缘层承受的过电压幅值明显降低。提出了采用低感石墨复合接地材料进行雷电流换向引流的过电压防护优化方案。

**关键词:** 油气管道; 接地网; 绝缘层防护; 低感石墨复合接地材料; 换向引流

**中图分类号:** TG174      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-748X(2022)04-0033-07

## Protection Effect of Oil and Gas Pipeline Insulation Layer Based on Low-Inductive Graphite Composite Grounding Material

WANG Xinyu<sup>1</sup>, AN Yunzhu<sup>1</sup>, HU Yuanchao<sup>1</sup>, XIANG Zhen<sup>2</sup>, HUANG Tao<sup>3</sup>, HUANG Shijun<sup>3</sup>

(1. Electrical and Electronic Engineering College, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China;  
2. Shenzhen Power Supply Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;  
3. State Grid Jiangsu Power Engineering Consulting Limited Company, Nanjing 210000, China)

**Abstract:** The grounding grid using traditional galvanized steel and new low-sensitivity graphite composite grounding tower was modeled and calculated by CDEGS simulation software. The influence of factors such as the distance between the epitaxial grounding body and the pipeline, soil resistivity and other factors on the withstand voltage of the pipeline insulation layer was analyzed, and the dissipation characteristics of the two grounding materials were compared. The simulation results showed that the increase of soil resistivity would increase the voltage amplitude of the pipeline insulation layer. The increase of the distance between the epitaxial grounding body and the pipeline could reduce the overvoltage of the pipeline insulation layer, and the dissipation characteristics of the low-inductive graphite composite grounding under the action of high-frequency current were better than those of galvanized steel. After using low-inductive graphite composite grounding for commutation and drainage, the overvoltage amplitude of the pipeline insulation layer was significantly reduced. An optimization scheme of overvoltage protection using low-sensitivity graphite composite grounding material for lightning current commutation and drainage was proposed.

**Key words:** oil and gas pipeline; grounding grid; insulation protection; low-inductive graphite composite grounding material; commutation and drainage

随着我国经济的快速发展,对能源的需求与日俱

增,然而,工业用地资源日益紧张,为节省土地资源,输电线路和油气管道通常共用走廊。因此,若输电线路经受雷击就会在土壤中产生杂散电流,邻近的管道会感应出高幅值的电压,管道的绝缘层也会承受高幅值电压,这将对管道的正常运输构成严重威胁<sup>[1-2]</sup>。考虑到管道的安全问题,必须采取相应措施以减小杂散电流对油气管道的电磁影响。通过采用低感石墨复合接

收稿日期:2020-12-18

基金项目:国家自然科学基金(51807113);山东省自然科学基金(ZR2016EEQ20)

通信作者:安韵竹(1988—),博士,讲师,主要研究方向为电力系统过电压及其防护,气体介质放电等领域,anyunzhu2006@163.com

地材料替代传统镀锌钢材料,并采用换向接地的方式,可以降低杆塔接地电阻,减小管道绝缘层承受的电压,这将对油气管道的安全运输以及绝缘层的防护提供有效帮助。

关于由雷击输电线路引起的管道安全问题,国内的研究多关注于正常运行情况下,输电线路电磁耦合作用对管道杂散电流的影响,对于雷击线路或者线路短路故障情况下入地高幅值冲击电流对于管道潜在影响的研究则鲜见报道。文献<sup>[3-4]</sup>详细分析了不同条件下油气管道与交流输电线之间应该保持的安全距离。文献<sup>[5]</sup>详细介绍了输电线路对油气管道的电磁影响,并提出了管道安全电压、对地泄漏电流密度等参量的限值。文献<sup>[6-8]</sup>详细分析了不同条件下,雷击输电线路对油气管道过电压的影响,并提出了相应的防护措施。综上,目前研究主要集中在管道过电压的幅值及安全距离的界定问题,对于管道绝缘层防护本身承受的电位差以及绝缘层材料过电压预防措施等尚未进行系统论述。

本工作首先分析了土壤电阻率、外延接地体与杆塔距离等因素对绝缘层承受电压的影响,对比了镀锌钢和低感石墨复合接地材料在高频电流作用下的散流特性差异,进而提出采用新型低感石墨复合接地材料进行雷电流换向引流的过电压防护优化方案,并通过仿真计算验证了方案的可行性。

## 1 管道临近处接地散流计算

### 1.1 雷击输电线路下的散流

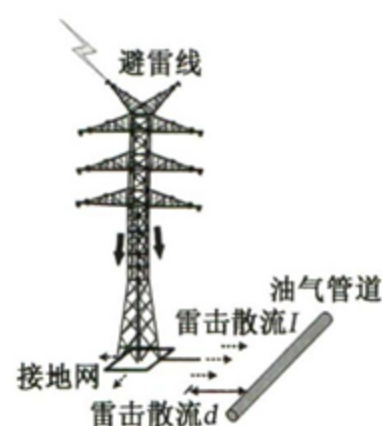
当雷电击中输电线路时,雷电流将会经由输电线路杆塔的接地网注入大地,产生的杂散电流致使走廊附近的油气管道和其附近的土壤电势发生明显改变,导致管道绝缘层承受高幅值电压。由于雷电流的频率极高,传统的镀锌钢接地材料会因为电感效应出现散流不充分的情况,杂散电流注入点附近的土壤电势会明显提高,由此绝缘层两侧的电势差进一步增大。当电势差超过绝缘层材料的耐受电压时,会击穿油气管道的绝缘层,加剧油气管道腐蚀<sup>[9]</sup>,这将对石油、天然气传输产生严重威胁。因而如何降低雷击输电线路所产生的杂散电流对油气管道绝缘层的影响,维持油气管道安全可靠运行,成为一项亟待解决的课题。

### 1.2 仿真模型与参数

本工作研究的是电力线路接地体逼近油气管道的场景,图 1(a)为电力线路与油气管道并行的实际情形。在实际工程施工中,这种情况经常出现,会对油气管道



(a) 实际工程



(b) 仿真模型

图 1 实际工程和仿真模型

Fig. 1 Actual scene (a) and simulation model (b)

的安全运行产生不利影响,故应对其进行深入研究。

低感石墨复合接地材料是最近新兴起的新型接地材料。外层由石墨线编织而成,内层为绝缘填充材料<sup>[10]</sup>。低感石墨复合接地材料有良好的耐蚀性,降低了接地体全寿命周期成本<sup>[11]</sup>。相较传统的镀锌钢材料,低感石墨复合接地材料相对磁导率低,高频电流下的趋肤效应和电感效应小于镀锌钢材料,有更好的散流特性,能有效降低冲击接地电阻<sup>[12-13]</sup>。

采用 CDEGS 接地计算软件搭建输电线路杆塔接地网模型,此模型为方框单根外延射线型接地网。根据工程应用实际,方框接地体材料选用  $\phi 10$  mm 镀锌钢,外延接地体采用不同材料,参数如表 1 所示。方框接地体边长为 18 m,外延接地体长度为 20 m。在外延接地体右侧有长度为 100 m 的油气管道,该管道为  $\phi 272$  mm 无缝钢管,壁厚 8 mm,采用的绝缘层材料为

表 1 不同外延接地体材料的参数

Tab. 1 Parameters of different epitaxial ray materials

材料	直径/mm	相对电阻率	相对磁导率
低感石墨	40	1 857.1	1
镀锌钢	10	109.7	636

熔结环氧粉末 FBE,绝缘层厚度为 0.4 mm,电阻率为  $3 \times 10^4 \Omega \cdot \text{m}$ 。管道的首尾两端接地,用于模拟管道上的杂散电流和阴极防护接地线,该仿真模型如图 1(b)所示。

针对图 1 所示模型以及表 1 所示参数,研究了不同因素对绝缘层承受电压的影响,在此基础上,进一步对比了低感石墨复合接地材料和镀锌钢两种不同外延接地材料在绝缘层防护中的优劣,得出管道绝缘层防护的最优方案,以减小雷击输电线路产生的杂散电流对管道绝缘层的危害。

### 1.3 接地体的散流特性与有效散流长度

输电线路遭受雷击时,雷击电流通过杆塔接地网将高幅值、高频率的雷电流泄至土壤中。接地体在高频电流作用下并非纯电阻,而是呈现出感抗特性,与常用工频接地的电阻值差别较大。接地体感抗值由接地体的电导率、磁导率等材料参数决定,并且影响着雷电流沿接地体向远端散流的距离,即接地体的有效散流长度,这往往是影响临近土壤介质及埋地管道电位的重要因素。对比了常见金属接地材料和新型低感非金属接地材料,进一步分析了内芯绝缘材料填充后非磁性导体的散流特性,计算了两种接地材料的结构与尺寸,如图 2 所示。



图 2 两种接地材料的结构和尺寸

Fig. 2 Structure and size of different grounding materials

图 2 中,低感石墨复合接地体的直径为 40 mm,外层为 4mm 厚的环状高导电率石墨层,电阻率为  $3.25 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{m}$ ,内芯填充材料为尼龙,直径为 36 mm,接地材料采用此结构的益处在于能够减小材料在高频电流作用下的自感与互感,降低材料自身的趋肤效应,增大高导电率石墨导体的材料利用率及通流密度。为了直观对比两种材料的散流特性,采用 COMSOL Multiphysics 有限元仿真计算软件,选取水平“一”字型接地体作为散流计算模型:水平接地体的长度为 50 m,材料分别为  $\phi 10 \text{ mm}$  镀锌圆钢和  $\phi 40 \text{ mm}$  低感石墨复合接地材料,固定土壤电阻率为  $300 \Omega \cdot \text{m}$ 。

入地冲击电流频率为 10 kHz,可得“一”字型接地体末端截面的电流密度分布如图 3 所示。

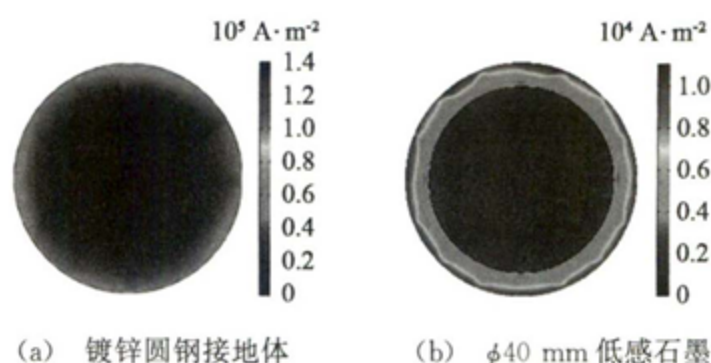


图 3 两种接地体材料的截面电流密度分布

Fig. 3 Current density distribution of two grounding materials: (a) galvanized steel; (b) low-sensitivity graphite

由图 3 可见:相对于镀锌钢材料,低感石墨复合材料的散流截面更大,表明低感石墨材料拥有更好的散流特性。这主要是因为镀锌钢材料的磁导率远高于低感石墨复合接地材料,导致其受趋肤效应的影响更加明显。为了进一步研究这两种接地体在有效散流长度方面的差异,采用不同长度(20, 40, 60, 80, 100, 120 m)接地体,将其分为 10 段,计算最末一段与第一段的通流比,见图 4。

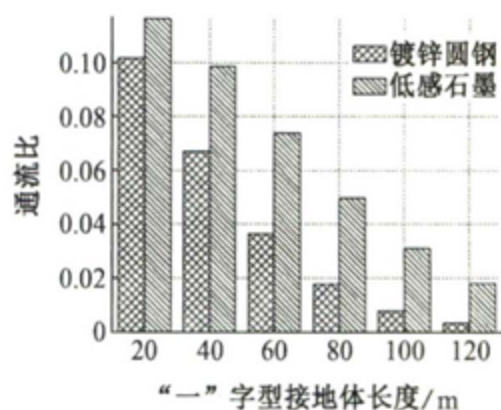


图 4 两种接地体的通流比

Fig. 4 Flow current ratios of two materials

由图 4 可见:相同长度下,低感石墨复合接地的通流比明显高于镀锌钢,即低感石墨复合接地的对外散流能力更强。且随着接地体长度的增加,通流比逐渐降低,这是因为增加接地体长度,可以使更多雷电流通过接地体向周围土壤泄散,从而降低接地体末端的电流密度。当接地体长度大于 100 m 时,低感石墨复合接地的通流比仍远高于镀锌钢,说明其仍可向外散流,即其拥有更长的散流长度。镀锌钢受趋肤效应和电感效应影响明显,相比于镀锌钢,低感石墨复合接地由于较低的相对磁导率,在散流方面比更具优势。并且石墨材料不易腐蚀,在实际改造工程中可考虑采用低感石墨复合材料取代镀锌钢作为临近杆塔接地网的外延接地材料。

## 2 杆塔附近接地网对管道过电压的影响

在图 1 的接地体模型基础之上,研究杆塔接地网外延接地体与管道距离、土壤电阻率等因素对管道绝缘层承受电压的影响规律。仿真试验所取杆塔接地网外延接地体为传统镀锌钢,其临近管道端与油气管道的距离为 10 m,雷电冲击电流为 80 kA,频率取 100 kHz,土壤电阻率取  $300 \Omega \cdot \text{m}$ ,通过 CDEGS 计算可得观测面(距地面 0.8 m)上接地网附近土壤的电位分布如图 5 所示。

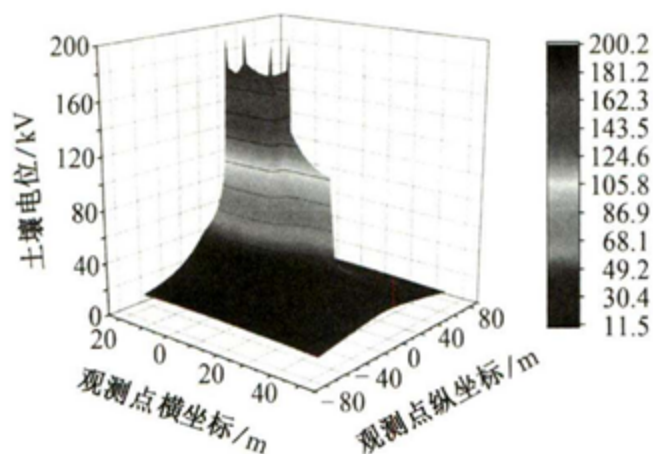


图 5 方框单根外延射线接地体附近土壤电位

Fig. 5 The soil potential of the square grounding body with a single epitaxial ray

由图 5 可见:接地体在散流过程中,外延接地体附近的电位非常高,即其引流效果十分明显,泄放到土壤中产生的杂散电流导致管道绝缘层承受较高的电压,可能会对管道本身产生危害。通过 CDEGS 软件计算接地体及管道周围的泄漏电流如图 6 所示。

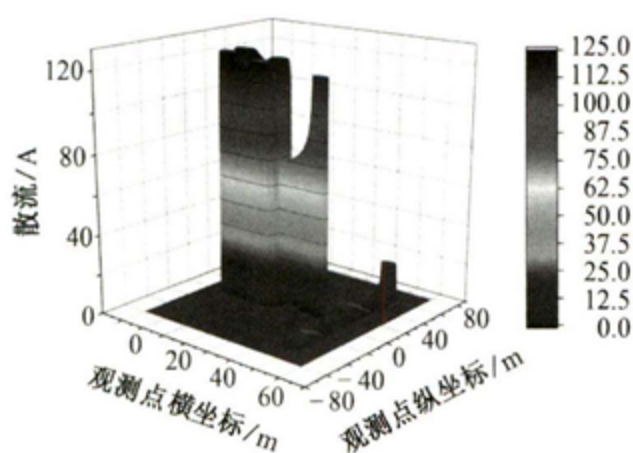


图 6 方框单根外延射线接地体泄漏电流分布

Fig. 6 Leakage current distribution of square grounding body with a single epitaxial ray

由图 6 可见:外延接地体可向附近土壤有效散流,尤其外延接地体末端的散流能力极强,泄漏电流最高可达 124.74 A。但是,外延接地体会将雷电流引向管道方向,由此加剧了管道绝缘层的过电压,对管道安全产生不利影响。

### 2.1 外延接地体与油气管道间距的影响

在图 1 模型基础之上,分别改变外延接地体临近管道端与管道之间的距离  $d$  为 10, 20, 30, 40, 50 m。设定土壤电阻率为  $300 \Omega \cdot \text{m}$ ,其余参数同上。对计算结果进行分析,可得管道电位的幅值和绝缘层耐受电压幅值如图 7 所示。

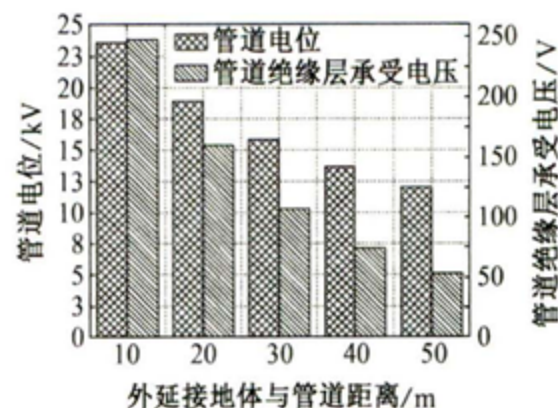


图 7 不同距离下管道电位幅值和绝缘层承受电压幅值

Fig. 7 Amplitude of pipeline potential and insulation withstand voltage at different distances

由图 7 可见:随着外延接地体与油气管道的距离  $d$  逐渐增大,管道电位和管道绝缘层承受的电压逐渐下降。管道绝缘层承受的电压起初随距离  $d$  的增大变化较快,而后变化较缓。管道绝缘层承受最高电压 (248.13 V) 远不及 FBE 材料遭受雷击时的管道安全电压极限值 (28 kV)。然而,埋设在土壤内的油气管道可能会出现绝缘层破损和老化的现象,承受较高电压会加速绝缘层老化,更甚者使绝缘层击穿,加速管道腐蚀,对油气运输产生不利影响<sup>[14]</sup>。管道电位最大值为 27.18 kV,过高的电位也会对管道安全运输产生不利影响。随着管道和外延接地体距离的增加,外延接地体的引流作用对管道的影响越来越小,这使得管道电位和管道绝缘层承受电压呈现下降趋势。

### 2.2 土壤电阻率的影响

土壤电阻率对接地电阻的影响较大,进而会导致土壤中的电位发生改变,结果会对管道绝缘层承受电压产生影响。取土壤电阻率为 100, 300, 500, 700, 900, 1 100  $\Omega \cdot \text{m}$  进行分析。不同土壤电阻率条件下的管道电位幅值和管道绝缘层承受电压幅值如图 8 所示。

由图 8 可见:随着土壤电阻率逐渐增大,管道电位幅值与管道绝缘层承受电压幅值也逐渐增加。管道电位最高可达 84.13 kV,绝缘层两侧承受电压幅值为 357.7 V,这会对管道及其绝缘层安全产生较大威胁,这是因为土壤电阻率的增加会导致接地体在靠近杆塔处的散流分量减小,更多电流经接地体流向远端。进一步计算不同土壤电阻率与距离  $d$  下的接地电阻如

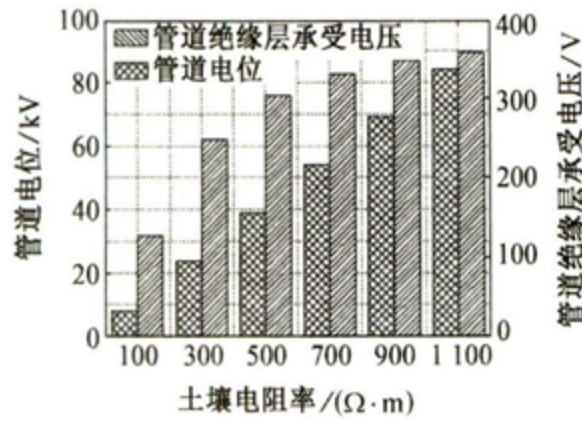


图8 不同土壤电阻率下管道电位和绝缘层承受电压幅值

Fig. 8 Amplitude of pipeline potential and insulation withstand voltage at different soil resistivities

表2所示。

由表2可知,随着外延接地体末端与油气管道的距离  $d$  逐渐增大,接地电阻变化不大。而土壤电阻率增加则会导致接地电阻值增大,过高的接地电阻值对于输电线路的雷击跳闸故障产生不利影响。这说明实际工程中对于临近管道的杆塔接地改造,需要同时兼顾管道过电压防护,也要兼顾到杆塔接地电阻问题。

### 3 临近杆塔处油气管道过电压防护

#### 3.1 接地方案优化

分别采用镀锌钢和低感石墨复合接地材料作为外

表2 不同条件下的接地电阻值

Tab. 2 Grounding resistance under different conditions

$\Omega$

土壤电阻率 $/(\Omega \cdot m)$	外延接地体距管道距离 $d$									
	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	40 m	45 m	50 m
100	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61
300	9.11	9.11	9.12	9.12	9.12	9.12	9.12	9.12	9.12	9.12
500	14.38	14.40	14.41	14.41	14.42	14.42	14.42	14.42	14.42	14.42
700	19.61	19.64	19.66	19.67	19.67	19.67	19.67	19.68	19.68	19.68
900	24.83	24.88	24.90	24.91	24.92	24.92	24.93	24.93	24.93	24.93
1 100	30.05	30.12	30.15	30.16	30.17	30.18	30.18	30.18	30.18	30.18

延接地体材料,接地网采用换向接地方式,其模型如图9所示,方框长度为18 m,右侧外延接地体起始长度为95 m,依次递减15 m,左侧接地体起始0,依次递增15 m。固定土壤电阻率为  $300 \Omega \cdot m$ ,假定雷电流幅值80 kA,频率100 kHz,通过CDEGS软件可得接地电阻随换向接地体长度变化的趋势如图10所示。

由图10可见:在相同接地网结构条件下,低感石墨复合接地可以有效降低接地电阻,这主要是由于在高频条件下,镀锌钢的电感效应明显增加了接地电阻,而两端都存在外延接地体时会比单端外延接地体的接地电阻值低,即双端外延接地体的散流效果明显好于单端情况。

根据CDEGS软件可以求得基于图9模型的管道电位幅值和管道绝缘层承受电压幅值,见图11和12。

对比图11和12可知:临近管道侧接地体越短时,往管道方向的散流效果越小,可以显著降低管道过电压,而低感石墨复合接地材料在换向引流时,迫近侧接地体从零到某一距离时降压效果好于镀锌钢。绝缘层承受电压幅值随着迫近管道侧接地体长度的减小而呈现降低的趋势。因此,综合以上考虑,为了有效降低绝缘层电压并防止管道过电压,实际工程中采用低感石墨复合接地材料进行换向引流,可以有效降低施工难度及施工成本。

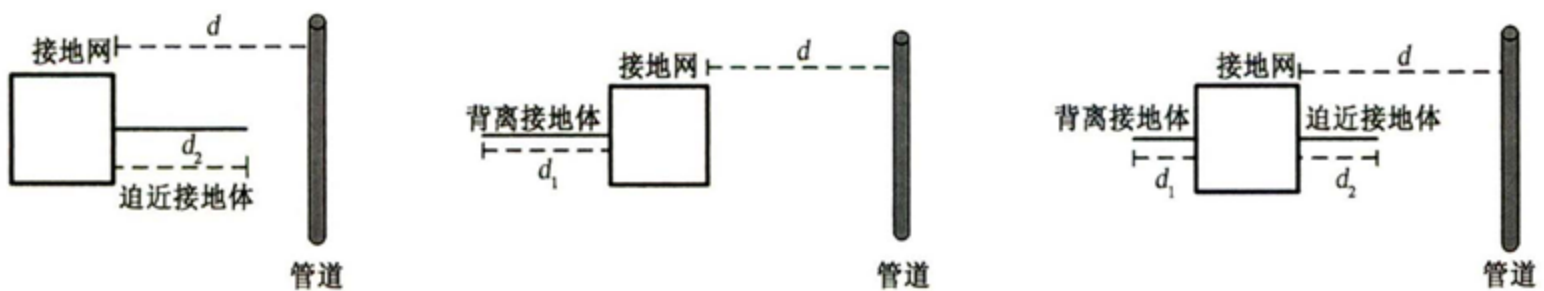


图9 换向接地体模型

Fig. 9 Reversing grounding body models

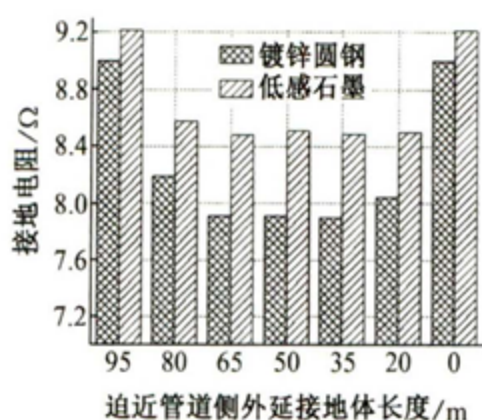


图 10 不同接地体长度条件下的接地电阻  
Fig. 10 Grounding resistance under different grounding body length conditions

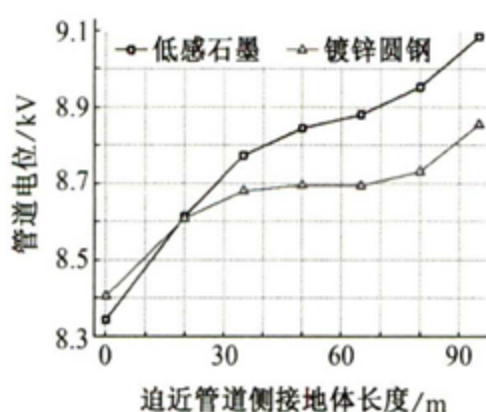


图 11 不同材料时管道电位幅值变化曲线  
Fig. 11 Potential amplitudes of pipelines with different materials

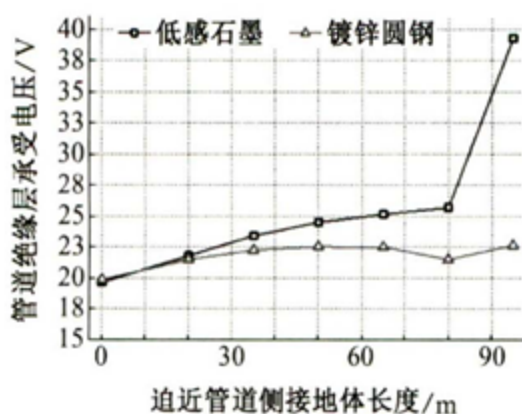


图 12 不同材料时管道绝缘层承受电压幅值变化曲线  
Fig. 12 Withstands voltage amplitudes of pipeline insulation layer with different materials

### 3.2 埋地管道与交流接地体安全距离

针对油气管道与电力线路交叉跨越问题,相关标准<sup>[15]</sup>中规定了埋地管道与高压交流输电线路杆塔接地体之间的最小安全距离限定值:在开阔地区二者距离不宜小于杆塔高度,在土地受限区域,二者间最小距离见表 3。

考虑到实际工程中油气管道绝缘层所采用的材料有差异,在标准中规定的油气管道与电力杆塔最小安全距离限定值的基础之上,进一步分析绝缘层采用 3PE 材料和 FBE 材料时管道与接地体应保持

表 3 管道与交流接地体最小距离

Tab. 3 Minimum distance between pipeline and AC grounding electrode

电压等级/kV	≤220	330	500
最小距离/m	5.0	6.0	7.5

的安全距离。由 2.2 节结论可知土壤电阻率增大会增加管道绝缘层承受电压,综合考虑选定土壤电阻率为  $500 \Omega \cdot m$ ,接地体分别采用传统方案和换向方案,选取外延接地体距离管道距离为 7.5 m,管道绝缘层承受电压如表 4 所示。

根据相关文献<sup>[16]</sup>所示的实际油气管道绝缘防护层的冲击耐压试验结果:FBE 材料金属管道在雷电冲击条件下耐压值为 28 kV,3PE 材料金属管道的冲击耐压值为 109 kV。故从雷击杆塔导致管道过电压的角度来看,表 4 计算结果均远低于其材料冲击耐受电压值,并且采用换向方案可以有效地降低管道绝缘层承受电压,故可知在考虑雷击散流情况下,国标规定的输电线路与油气管道的安全距离限值仍然适用。

表 4 采用不同方案时的绝缘层承受电压

Tab. 4 Withstand voltage of insulation layer in different schemes

接地方案	绝缘层承受电压/V	
	FBE 材料	3PE 材料
传统接地方案	369.98	5844.33
换向引流方案	215.75	2291.98

## 4 结论

通过 CDEGS 软件,针对输电线路临近处的油气管道绝缘层过电压进行仿真计算,可得到以下规律性结论:

(1) 油气管道与接地体距离增加时,增大了土壤散流面积,降低了绝缘层承受电压;土壤电阻率增加会阻碍散流过程,导致电流经由接地体流向远端,使得管道绝缘层承受电压幅值增大。

(2) 采用低感石墨复合接地材料进行换向引流时,可以使雷电流向背离油气管道的方向泄散,有效避免了因为单根外延接地体逼近管道时导致的油气管道绝缘层承受高幅值电压的问题,随着逼近管道侧接地体长度的减小,降压效果越来越明显。

(3) 在满足国家标准规定的油气管道与接地体安全距离的情况下,管道绝缘层采用 FBE、3PE 材料时,其绝缘层承受电压均远小于两种材料的冲击耐压值,

故考虑雷击散流时,国家标准规定的安全距离仍然适用。

#### 参考文献:

- [1] 覃慧敏,都业强,吕超,等. 埋地管道动态直流杂散电流干扰评估及防护技术的研究现状[J]. 腐蚀与防护,2018,39(6):409-417,424.
- [2] 陈登义,谢林峰. 雷击输电线路对地上油气管道干扰影响[J]. 电瓷避雷器,2017(2):85-89.
- [3] 杨超,李自力,崔滢,等. 埋地管道与高压交流输电线之间的安全距离[J]. 腐蚀与防护,2016,37(1):56-59.
- [4] 焦保利,谢辉春,张广洲,等. 特高压交流架空线路与油气管道的防护间距[J]. 高电压技术,2009,35(8):1807-1811.
- [5] 郭剑,曹玉杰,胡士信,等. 交流输电线路对输油输气管道电磁影响的限值[J]. 电网技术,2008,32(2):17-20.
- [6] 王楠,张龙,时云洪,等. 超高压直流输电线路对埋地油气管道的电磁影响仿真研究[J]. 高压电器,2016,52(10):124-129.
- [7] 白锋,陆家榆,林珊珊,等. 特高压交直流输电线路同走廊正常运行时对邻近埋地油气管道的电磁影响分析[J]. 电网技术,2016,40(11):3609-3614.
- [8] 安宁,彭毅,艾宪仓,等. 雷击超高压交流输电线路对埋地输油输气管道的电磁影响[J]. 高电压技术,2012,38(11):2881-2888.
- [9] 程明,唐强,魏德军,等. 高压直接地极干扰区埋地钢质油气管道的综合防护[J]. 天然气工业,2015,35(9):105-111.
- [10] 肖微,胡元潮,阮江军,等. 柔性石墨复合接地材料及其接地特性[J]. 电工技术学报,2017,32(2):85-94.
- [11] 胡元潮,阮江军,肖微,等. 柔性石墨复合接地材料及其相关性能试验研究[J]. 高电压技术,2016,42(6):1879-1889.
- [12] 胡元潮,阮江军,龚若涵,等. 柔性石墨复合接地材料及其在输电线路杆塔接地网中的应用[J]. 电网技术,2014,38(10):2851-2857.
- [13] 肖微,黄道春,阮江军,等. 石墨基柔性接地体与金属接地体冲击接地性能对比[J]. 高电压技术,2018,44(12):3808-3813.
- [14] 周雪会,王希平,李名星. 埋地石油管道的雷电浪涌防护[J]. 电瓷避雷器,2017(1):37-40.
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 输气管道工程设计规范:GB 50251-2015[S]. 北京:中国计划出版社,2015.
- [16] 周国雨. 新建交流输电线路对埋地金属管道电磁影响研究[D]. 北京:华北电力大学(北京),2017.

## 好书推荐

《现代材料腐蚀与防护》一书于2012年9月由上海交通大学出版社出版,全国发行。该书共分11章,依次为绪论,材料腐蚀过程热力学,腐蚀反应动力学,金属与合金的氧化与热腐蚀,金属材料的全面腐蚀与钝化,金属材料的局部腐蚀,金属材料在应力作用下的腐蚀,金属材料在自然环境和化工介质中的腐蚀与防护,非金属材料的腐蚀与防护,高科技领域中材料的腐蚀,材料腐蚀的防护技术。

本书涉及的内容较为广泛,全面系统的阐述了材料(金属与非金属)腐蚀的基本原理,腐蚀破坏的各种形式和防护技术,重点讨论了航空航天领域、核电工业、新能源和生物医药工程中出现的材料发生问题和应对措施。本书既可以作为材料科学与工程专业的教材,又可以供从事材料设计和研发的有关工程技术人员参考使用。

《现代材料腐蚀与防护》由上海交通大学黄永昌教授、内蒙古科技大学张建旗教授担任主编,上海材料研究所杨武研究员担任主审,并有中科院上海微系统与信息技术研究所(原上海冶金所)黄元伟研究员、华东理工大学潘洪良教授、上海材料研究所李光福教授级高工参与编写。