

超高压交流输电线路与油气管道安全间距研究

阮亦根¹, 李自力²

(1. 中国石化浙江石油分公司, 杭州 310009; 2. 中国石油大学(华东), 山东 青岛 266580)

摘要: 在公共走廊内, 高压交流输电线路和埋地油气管道的共同敷设, 不可避免地会产生交流电对埋地管道的干扰问题, 这不仅会影响管道的正常运行, 还会导致阴保系统异常。以甬绍金衢管道为研究对象, 以交流干扰电压 4 V 为限值, 通过 CDEGS 软件对不同相线高度和土壤电阻率条件下的埋地管道交流干扰安全间距进行了研究。研究表明: 安全间距与并行长度总体呈对数关系, 主要分为快速增大和平稳变化 2 个阶段; 在研究条件下, 当相线对地高度大于 21.44 m 时, 高度对埋地管道交流干扰的安全间距没有影响, 土壤电阻率的影响大于输电线路对地高度, 土壤电阻率越大, 对埋地管道干扰电压变化程度影响越大。

关键词: 交流干扰; 埋地管道; 安全间距; 土壤电阻率

文章编号: 1007-1881(2019)04-0092-04

DOI: 10.19585/j.zjdl.201904016

中图分类号: TM723

文献标志码: B

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on Safety Distance between UHV Transmission Lines and Gas Pipelines

RUAN Yigen¹, LI Zili²

(1. Zhejiang Petroleum Branch of Sinopec, Hangzhou 310009, China;

2. China University of Petroleum (East China), Qingdao Shandong 266580, China)

Abstract: In public corridors, laying HVAC transmission lines and buried pipelines together will inevitably lead to the interference of AC power to buried pipelines, which will not only affect the normal operation of pipelines but lead to the abnormality of cathodic protection system. Taking the Yongshao-Jinqu pipeline as the subject in the study and the ac interference voltage of 4 V as the limit value, this paper studies the safe AC interference spacing of buried pipelines with different phase line heights and soil resistivity by using CDEGS software. The results show that there is a logarithmic relationship between the safety distance and the parallel length, which can be divided into two stages: under the research conditions in this paper, when the ground height of the phase line is greater than 21.44 m, the height has no influence on the safe spacing of AC interference of buried pipelines. The influence of soil resistivity is greater than that of the transmission line to the ground. Meanwhile, the greater the soil resistivity is, the greater the influence of it is on the disturbance voltage variation degree of buried pipelines.

Key words: AC interference; buried pipelines; safety distance; soil resistivity

0 引言

随着我国电气化铁路、电力工业的跨越式发展及近年来长输油气管道的大规模建设, 导致管道与高压输电线路近距离并行或交叉的情况越来越多, 在局部区域形成了所谓的“公共走廊”^[1-2]。由于其容性耦合、阻性耦合和磁感应耦合的方

式, 导致交流输电线路对埋地管道产生较大的交流感应电压^[3]。相关研究表明, 高压输电线路对管道形成的杂散电流干扰已经成为管道安全的主要威胁之一^[4-6]。

在文献[7]中, 分别从交流电压和交流电流密度 2 个方面对于干扰程度进行了划分, 并说明了直接接地、负电位接地和固态去耦合器接地 3 种排流方式的应用范围, 同时规定了埋地管道与交流接地体的最小距离^[8-9]。但是上述最小距离仅仅是根据电压等级进行简单的划分, 一方面没有明确

在该最小距离下管道交流干扰电压的影响程度；另一方面没有考虑复杂的土壤参数、输电线路高度等参数对最小安全距离的影响^[10-11]。

本文以甬绍金衢管道为研究对象，通过CDEGS软件对500 kV超高压交流输电线路对埋地管道干扰影响程度进行了研究，并将交流电压为4 V作为干扰限值，确定了不同因素下埋地管道与输电线路的安全距离。

1 模型参数设置

图1为交流输电杆塔头结构与埋地管道相对距离示意图。在本文所用的塔头结构中，中性线/屏蔽线位于塔头最上方，而3条相线挂点在同一水平高度上。交流输电线最大挂点高度为32.76 m，平均弧垂为16.98 m，导线对地平均高度为挂点高度减去2/3弧垂，计算得到相线对地平均高度为21.44 m^[11]。

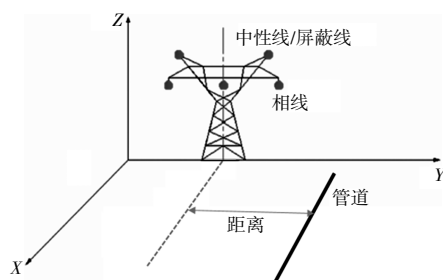


图1 交流输电杆塔与埋地管道相对距离示意图

表1给出了高压输电线路相线和中性线/屏蔽线型号及电气参数。

表1 高压输电线路相线和中性线/屏蔽线型号及电气参数

项目	型号	外径/mm	相对电阻率	磁导率/(H·m ⁻¹)
相线	4×LJG-400/50	26.82	1	4π×10 ⁻⁷
中性线/屏蔽线	LGJ-95/55	16	4	4π×10 ⁻⁷
	OPGW-97/48	16	4	4π×10 ⁻⁷

500 kV高压交流输电线通常额定功率下运行的单相线路电流约为1 600 A，甬绍金衢管道规格为Φ508 mm×7.9 mm，管道防腐层电阻率取20 kΩ·m²，埋深取1.5 m，管道连接情况取如图2所示连接方式，2端各延伸1 000 m。

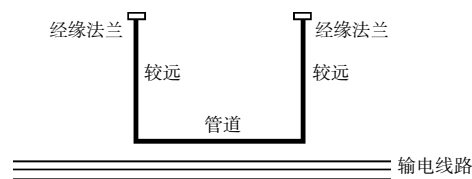


图2 交流输电线路与埋地管道干扰模型

2 交流输电线路与埋地管道干扰模型

甬绍金衢管道与输电线分布关系比较复杂，并行长度各异；500 kV输电线路与输油管道并行长度主要在0.5~10 km变化。管道沿途经过地区主要为水田、耕地、丘陵，土壤电阻率普遍较小，在5~200 Ωm范围内。因此，选定管道与高压三相导线的相对高度的取值为11 m（最小对地高度），21.44 m（平均对地高度）和32.76 m（最大对地高度），土壤电阻率取20 Ωm，60 Ωm和200 Ωm，并行长度取500 m，1 000 m，2 000 m，3 000 m，5 000 m和10 000 m，研究不同条件下高压交流输电线与埋地管道的安全距离。

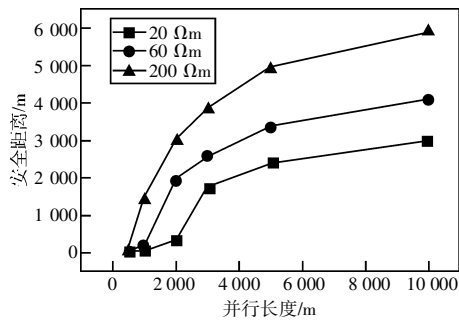
3 管道安全极值研究

3.1 影响因素分析

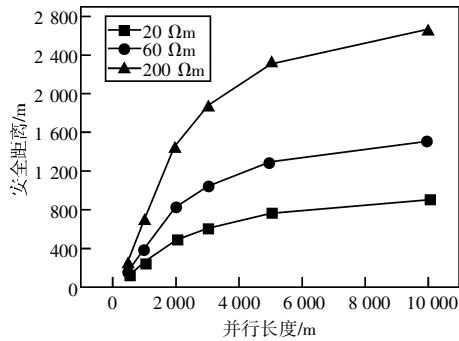
如图3所示为不同土壤电阻率条件下埋地管道安全距离与并行长度的关系。在不同的相线对地高度条件下，随着并行长度的增大，安全间距也增大，并且总体呈“凸”函数的变化规律，主要分为并行长度为0~4 000 m，4 000~10 000 m的快速增大和平稳变化2个阶段；同时，在相同的并行长度和相线高度条件下，随着土壤电阻率的增大，安全距离也增大，这主要是由土壤电阻率的增大导致阻性耦合部分的增大引起的。当并行程度为10 000 m、土壤电阻率为200 Ωm和相线高度为11 m时为最危险工况，其安全间距达到5 880 m，才可满足感应电压低于4 V的要求。

当相线对地高度为11 m时发现，土壤电阻率为20 Ωm时，其并行长度与安全间距的变化曲线呈“S”型变化，与常见的“凸”函数变化规律有所不同，这主要是由低电阻率和较小并行长度条件下不同耦合的作用方式引起的。

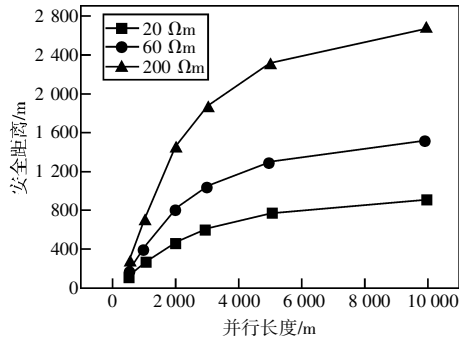
如图4所示为不同相线对地高度条件下埋地管道安全距离与并行长度的关系。在不同的土壤电阻率条件下，不同的并行长度，导线对地距离



(a)相线对地高度 11 m

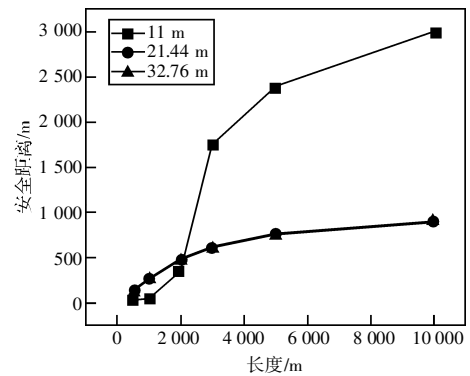


(b)相线对地高度 21.44 m

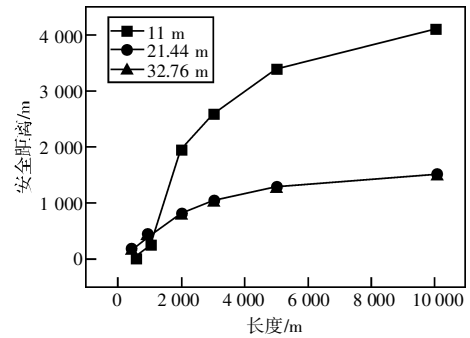


(c)相线对地高度 32.76 m

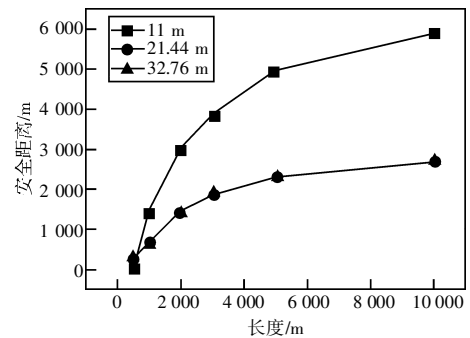
图3 土壤电阻率与安全间距的关系



(a)电阻率 20 Ωm



(b)电阻率 60 Ωm



(c)电阻率 200 Ωm

图4 相线对地高度与安全间距的关系

越小,安全间距也就越大。由图4可知,相线对地高度为21.44 m和32.76 m时的2条曲线基本重合,因此在本文研究条件下,当相线对地高度大于21.44 m时,高度对埋地管道交流干扰的安全间距没有影响。但是在实际中,输电线为弧垂型,因此应以相线与对地最小距离为依据进行判别。

由图4可知,当相线对地高度为11 m、土壤电阻率为20 Ωm时,其并行长度与安全间距的变化曲线呈“S”型,通过对比可知,引起该现象的主要因素是土壤电阻率(随着土壤电阻率的增大,“S”型变化特征逐渐消失)。由交流干扰的作用过程可知,从磁感应耦合、阻性耦合和容性耦

合来看,磁感应产生的纵向电压占主要部分;当土壤电阻率较小且并行长度较短时,此时磁感应产生的干扰电压与阻性耦合产生的干扰电压相互作用,表现在管道上的总干扰电压数值减小,因此其安全间距呈“S”型变化。

3.2 拟合公式

由3.1小节可知,当相线对地高度大于21.44 m时,安全间距主要受到土壤电阻率的影响。因此本文为描述土壤电阻率对安全间距的影响,定义单位变化率 D_0 来描述单位土壤电阻率的改变对安全间距的影响,可通过式(1)来描述:

$$D_0 = \Delta D / \Delta \rho \quad (1)$$

式中： ΔD 为不同土壤电阻率下安全距离的改变量； $\Delta\rho$ 为土壤电阻率的变化量。

以并行长度10 000 m为例，当相线对地高度为11 m时， ρ 在20~60 Ωm 和60~200 Ωm 范围内， $D_0=27.8$ 和44.3；当相线对地高度为21.44 m和32.76 m时，在 $\rho=20\sim 60 \Omega\text{m}$ 和60~200 Ωm 范围内， $D_0=15.3$ 和28.8。因此对于高压交流输电线路对埋地管道的干扰来说，土壤电阻率的影响大于输电线路对地高度，同时土壤电阻率越大，对埋地管道干扰电压变化程度影响越大。

表2为不同输电线路对地高度和土壤电阻率条件下的管道安全间距拟合公式和误差。由表2可知，在不同相线对地高度和土壤电阻率下，安全间距与并行长度呈对数关系；同时从拟合公式的系数也可以看出，土壤电阻率对管道干扰电压的影响大于导线高度，并且土壤电阻率越大，影响越明显。

表2 不同输电线路对地高度和土壤电阻率条件下的管道安全间距拟合公式

输电线路高度/m	土壤电阻率/ Ωm	拟合公式	决定系数 R^2
11	20	$D=1118.3\ln(L)-7397.3$	0.882 1
	60	$D=1497.5\ln(L)-9549.2$	0.965 4
	200	$D=1997.2\ln(L)-12258$	0.993 7
21.44	20	$D=272\ln(L)-1583.7$	0.992 6
	60	$D=473.19\ln(L)-2790.7$	0.990 0
	200	$D=854.05\ln(L)-5074.7$	0.986 4
32.76	20	$D=274.47\ln(L)-1597.9$	0.993 2
	60	$D=475.01\ln(L)-2800.8$	0.990 5
	200	$D=855.35\ln(L)-5081.8$	0.986 8

4 结论

本文以埋地管道交流干扰电压4 V为限值，通过CDEGS软件对不同相线高度和土壤电阻率条件下埋地管道交流干扰安全间距进行了研究，主要得到以下结论：

(1)在不同的相线对地高度条件下，安全间距与并行长度总体呈“凸”函数的变化规律，主要分为并行长度为0~4 000 m，4 000~10 000 m的快速增大和平稳变化2个阶段(当并行程度为10 000 m、土壤电阻率200 Ωm 和相线高度11 m时为最危险工况，其安全间距可达5 880 m；在本文的研究条件下，当相线对地高度大于21.44 m时，高度对埋地管道的交流干扰的安全间距没有

影响)。

(2)对于交流输电线路对埋地管道干扰来说，土壤电阻率的影响大于输电线路对地高度，土壤电阻率越大，对埋地管道干扰电压变化程度影响越大。

(3)在不同相线对地高度和土壤电阻率条件下，安全间距与并行长度呈对数关系。因此可根据该方程确定不同条件下管道交流干扰的安全范围。

参考文献：

- [1] 王新华,杨国勇,黄海,等.埋地钢质管道交流杂散电流腐蚀规律研究[J].中国腐蚀与防护学报,2013,33(4):293-297.
- [2] 王帅华.高压输电线对埋地管道耦合干扰规律研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2009.
- [3] 杨晓洪,陈敬和,胡士信,等.交流输电线路对输油气管道的电磁影响现场测试研究[J].腐蚀与防护,2012,33(S2):23-29.
- [4] 李自力,孙云峰,刘静,等.埋地油气管道交流干扰腐蚀及防护研究进展[J].腐蚀科学与防护技术,2011,23(5):376-380.
- [5] 董铁柱,白锋,李海鹏,等.新疆750 kV二通道交流输电线路对邻近输油气管道电磁影响的仿真研究[J].电力建设,2013,34(8):40-46.
- [6] 董根生,蒋剑,相生荣,等.750 kV交流线路对多条油气管道的电磁影响研究[J].中国电业,2015,65(10):16-22.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.埋地钢质管道交流干扰防护技术标准:GB/T 50698-2011[S].北京:中国计划出版社,2011.
- [8] 李天成.榆济输气管道交流干扰的排流[J].腐蚀与防护,2013,34(3):249-251.
- [9] 王雁冰.川气东送管道杂散电流排流工程技术研究[D].西安:西安石油大学,2010.
- [10] 王爱玲.750 kV高压交流输电线路对埋地管道的干扰规律研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2013.
- [11] 杨超,李自力,催淦,等.埋地管道与高压交流输电线路之间的安全距离[J].腐蚀与防护,2016,37(1):56-59.
- [12] 桂菲菲,王振刚,庞百姓,等.基于labVIEW的架空输电线最大弧垂计算方法[J].电力建设,2013,34(7):108-113.

收稿日期:2019-02-19

作者简介:阮亦根(1963),男,高级工程师,从事油气管道建设、运行管理工作。

李自力(1963),男,教授,从事于油气储运系统安全工程的研究教学工作。(通讯作者)

(本文编辑:童凯)