文章编号:1673-5005(2017)06-0166-05 doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2017.06.021

高压直流接地极对埋地管道的干扰及防护

杨 超[1,2], 李兆玲[3], 杨任继[3], 李自力[1,2], 崔 淦[1,2]

(1. 中国石油大学山东省油气储运安全省级重点实验室,山东青岛 266580; 2. 青岛市环海油气储运技术重点实验室,山东青岛 266580;3. 浙江金衢丽天然气有限公司,浙江杭州 310016)

摘要:为探究高压直流接地极对埋地管道的干扰规律以及防护措施,模拟不同入地电流对管地电位的变化规律,并从距离、分段隔离和阴极保护 3 个方面研究对直流干扰区埋地管道的防护措施。结果表明:管地电位偏移随入地电流的增大而增大,随距离的增大先急剧后缓慢减小;分段隔离+阴极保护措施可保护隔离区域内管段,但可能会对区域外管段产生直流干扰。对于高压直流干扰区管道,在保证接地极与管道最大距离的情况下,可通过分段隔离加阴极保护的方式保护受干扰管道,但应注意隔离区域内的阴保系统对区域外管道的干扰。

关键词:高压直流; 接地极; 埋地管道;分段隔离; 阴极保护

中图分类号:TG 174 **文献标志码**:A

引用格式:杨超,李兆玲,杨任继,等. 高压直流接地极对埋地管道的干扰及防护[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2017,41(6):166-170.

YANG Chao, LI Zhaoling, YANG Renji, et al. Interference and protection of buried pipelines due to HVDC grounding electrode [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017,41(6):166-170.

Interference and protection of buried pipelines due to HVDC grounding electrode

YANG Chao[1,2], LI Zhaoling[3], YANG Renji[3], LI Zili[1,2], CUI Gan[1,2]

(1. *Shandong Provincial Key Laboratory of Oil & Gas Storage and Transportation Safety*, *China University of Petroleum*, *Qingdao* 266580, *China*;
2. *Qingdao Key Laboratory of Circle Sea Oil & Gas Storage and Transportation Technology*, *Qingdao* 266580, *China*;
3. *Zhejiang Jinquli Natural Gas Company Limited*, *Hangzhou* 310016, *China*)

Abstract: In order to study the rules of the interference and protection schemes of the high voltage direct current (HDVC) on the buried pipelines, the process is simulated to study the effect of the electrical current on the pipe-to-soil potential. The electrode-to-pipe distance, insulating flange and catholic protection were simulated. The results show that the deviation of the pipe-to-soil potential increases with the increase of the current, and decreases first sharply and then slowly with the increase of the electrode-to-pipe distance. The protective scheme of insulating flange and catholic protection can protect the pipes in the isolation area, and can cause extra DC interference on pipes out of the isolation area. Therefore, for pipes in the DC interference area, under the condition of guaranteeing the maximal electrode-to-pipe distance, insulating flange and catholic protection can be adopted to protect pipes in the isolation area, and it is noted that the catholic protection system of pipes in the isolation area can cause extra DC interference on other pipes.

Keywords: high voltage direct current (HVDC); grounding electrode; buried pipe; insulating flange; catholic protection

高压直流输电系统一般为双极对称接线方式, 在正常运行时,通过接地极的不平衡电流仅为系统

收稿日期:2016-12-18

基金项目:国家自然科学基金项目(51301201);山东省自然科学基金项目(ZR2013EMQ014)

作者简介:杨超(1991-),男,博士研究生,研究方向为埋地管道安全评估与防护。E-mail:yangchao201001@163.com。

通讯作者:李自力(1963-),男,教授,博士,研究方向为油气储运系统安全工程。E-mail:zilimenhuzu@163.com。

额定直流电流的 1%[1],对周围埋地管道的干扰较小。当输电系统调试或发生故障时转为单极运行,此时,大地作为一根导线加入到输电系统中,电流从受端接地极流经大地返回到送端接地极,此时入地电流为系统额定直流电流,数值可能达到几千安,瞬间大电流会击穿埋地管道防腐层造成管道穿孔,且会烧毁附近的阴保设备,对操作人员造成人身伤害[2-6]。针对直流干扰的严重性,国内外相关学者对直流杂散电流对埋地管道和金属设施的影响进行了探究。Nicholson[7]通过实际测试发现 HVDC 故障电流流入到埋地管道中时,在流出管道之前会沿着管道流动很长一段距离,在管道中持续存在几分钟甚至是几天,使得管道流出位置产生严重腐蚀。中国许多学者[8-9]也对不同直流接地系统对埋地金属构件和站场内设备的影响进行了研究,而在实际测试中发现,某接地极阳极放电 3 500 A,在站场绝缘接头处的电位偏移达到了 50 V,并大量烧毁了管道沿线的防爆接线箱、测试桩等设备。笔者基于边界元法[10-11],以溪洛渡左岸-浙江金华特高压直流输电工程为实例,计算金丝接地极对金丽温输气管道的影响,并探究不同防护措施对直流干扰下的管道防护的有效性。

1　相关参数

溪洛渡左岸-浙江金华特高压直流输电工程送端接地极位于四川宜宾兴文县共乐镇,受端接地极位于浙江金华武义县金丝村,额定运行电压为±800 kV,额定运行电流为 5 000 A,双极不平衡电流为 50 A。金丝接地极采用双跑道环形极体布置,为浅埋型接地极,埋深为 3.5 m。极体材料采用低碳钢,活性材料为煅烧后的石油焦炭,接地极埋设处土壤垂直分层,当深度为 0 ~ 1.5 m 时,土壤电阻率为 150 Ω·m;当深度为 1.5 ~7 m 时,土壤电阻率为 300 Ω·m。管道设计管径为 Φ813 mm×10 mm,外防腐采用 3PE 防腐层,管中心埋深取 2 m,钢管纵向电阻取 1×10^{-6} Ω·m,新建管道防腐层取均匀破损率为 1%,金丝接地极距管道最近距离为 860 m,当不存在杂散电流时,管地电位为-600 mV(相对于饱和氯化银),取距离接地极较近的管段模拟计算。

当金丝接地极为阳极接地时,如图 1 所示,管道附近的接地极为阳极放电,电流将在管道近接地极端由防腐层破损处流入管道,再由远端流出管道,远端流出点作为腐蚀原电池的阳极发生腐蚀;当管道附近的接地极为阴极放电时,电流将在管道远离接地极端由防腐层破损点流入管道,再由近端流出管道,导致近端流出点腐蚀[12]。

管道在电流流出的地方发生腐蚀,根据法拉第定律,1 A 的阳极电流将导致 9.1 kg/a 的金属损失。换句话说,若阳极电流密度为 1 A/m^2 时,裸钢管的平均减薄量为 1.17 mm/a,对于直流杂散电流来说,管道传递的杂散电流数量大,而电流排出点集中在界面电阻小、易放电的局部位置,导致破坏性极强,在短时间内即可导致管线发生腐蚀穿孔;而在电流流入的地方会导致管地电位负向偏移,若负向偏移程度超出管道防腐层析氢电位会使得管道产生过保护发生析氢反应,导致防腐层阴极剥离。

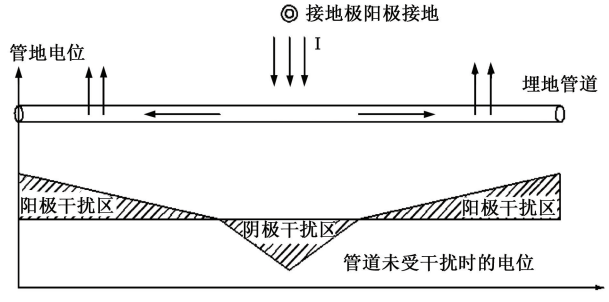

图 1　金丝接地极阳极接地时的管道干扰

Fig. 1　Interference on pipeline as anode with Jinsi ground electrode

2　接地极对埋地管道影响

图 2 为模拟不同入地电流时管道上的电位分布。图中,50 A 为直流输电系统双极正常运行时的不平衡电流, 1 000、2 000、3 000、4 000 和 5 000A 为故障电流。

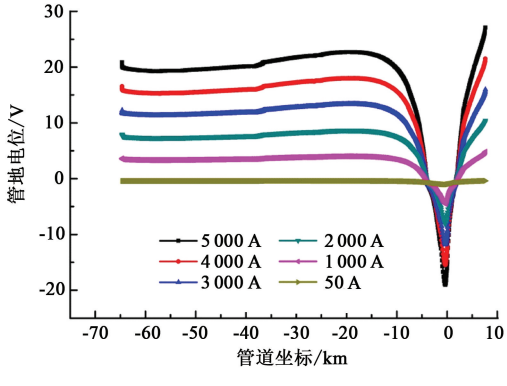

图 2　不同入地电流对管地电位的影响

Fig. 2　Influence of different current on electrode-to-pipe protection potential

从图 2 中可以看出,随着入地电流的增大,管地电位的最大正向偏移和最大负向偏移均呈现正相关变化。图 3 为不同入地电流对管地电流密度的影

响。由图 3 可以看出,在接地极周围约 14 km 范围内,管地电位的变化与流入到管道中电流(流入与流出管道的电流之和,且规定电流流入管道的方向为正)呈正相关,且管段距离接地极越近,流入到管段中的电流越大,管地电位负移越大;在管道远离接地极方向,电流从管道流入到土壤中,且管道上各个点流出的电流随距离的增大略有减小,并且由于管道压降的存在,管地电位正向偏移量也略有减小。

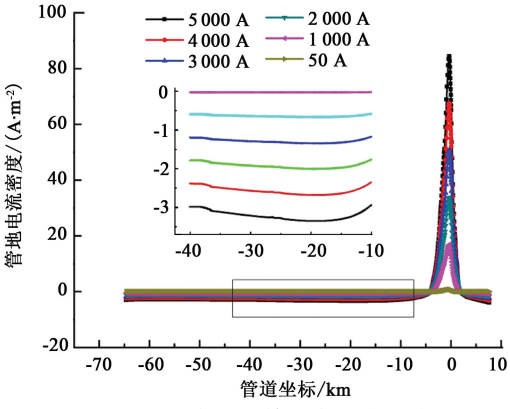

图 3　不同入地电流对管地电流密度的影响

Fig. 3　Influence of different current on electrode-to-pipe current density

3　防护措施

3.1　距　离

在 DL/T 5224-2014《高压直流输电大地返回运行系统设计技术规程》中指出:如果接地极与地下金属管道、地下电缆、非电气化铁路等地下金属构件的最小距离(d)小于 10 km,或者地下金属管道、地下电缆、非电气化铁路等地下金属构件的长度大于 d,应计算接地极地电流对这些设施产生的不良影响。扩大直流接地极与管道的距离为 10、30 、60 和 100 km 时,以入地电流为 5 000 A 为例,研究对管地电位和管地电流密度的影响。

图 4、5 分别为管地电流密度和管地电位随距离的变化曲线。在 0 ~ 30 km 内,随着距离增大,管地电位和管地电流密度急剧减小,当距离大于 30 km 时减小程度明显减弱;通过距离为 60 km 和 100 km 的变化曲线可以看出,随着距离增大,管地电位和管地电流密度基本不变。在实际工程中,应使得高压直流接地极与管道的最小距离至少为 30 km,并且应评估接地极对 60 km 范围内埋地管道的干扰影响。

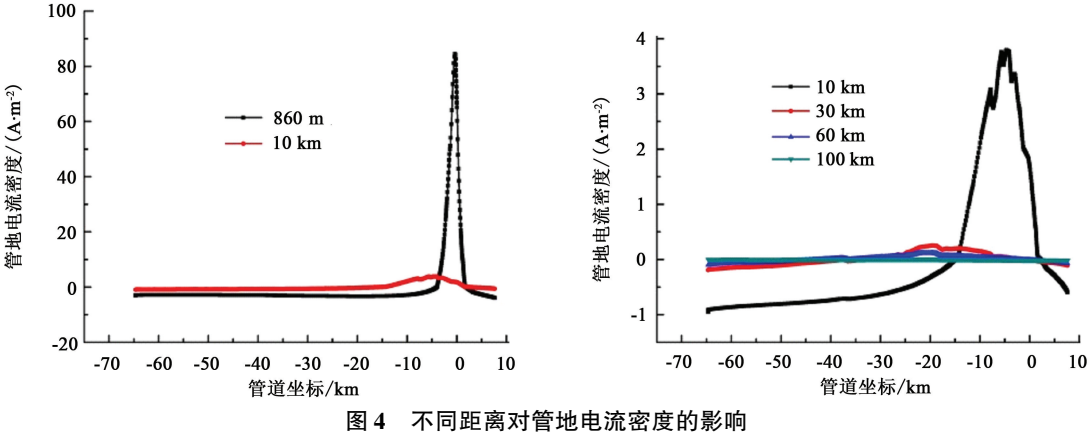

图 4　不同距离对管地电流密度的影响

Fig. 4　Influence of different distances on electrode-to-pipe current density

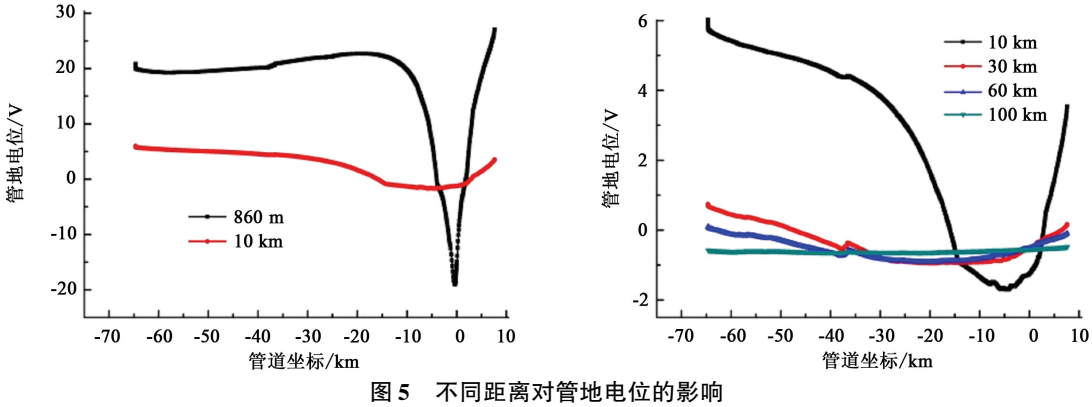

图 5　不同距离对管地电位的影响

Fig. 5　Influence of different distances on electrode-to-pipe protection potential

3.2　分段隔离

当接地极与管道的距离大于 30 km 时,管地电位的最大正向偏移和负向偏移以及管地电流密度均变化幅度很小,当距离为 100 km 时,高压直流接地极对管道基本无影响(图 4、5),因此以距离 30 km 为基础,选择在 30 km 管道实行分段隔离措施[13],探究分段隔离措施在直流干扰下对埋地管道管地电位的影响规律。

图 6 给出了当入地电流为 5000 A 时,安装绝缘法兰前后管地电位的变化情况。在隔离区域内(中间段),流入管道内的电流减小,管地电位上升,而两端管段流入的电流增大,因此管地电位均有不同程度的降低;而从图 6 中可以看出,在绝缘法兰两侧的电压差可达 1.22 V,这可能会造成操作人员触电或击穿绝缘法兰设施,若存在腐蚀性介质,还可能加速绝缘法兰处的内腐蚀,因此应设置绝缘法兰跨接进行防护。

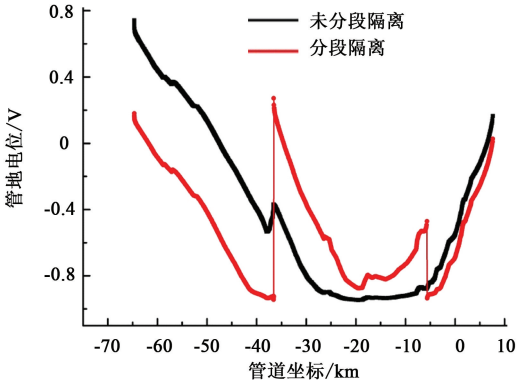

图 6　分段隔离对管地电位的影响

Fig. 6　Influence of different flange on electrode-to-pipe protection potential

3.3　隔离区域阴极保护

图 7 为未加防护措施和不同防护措施下管地电位的变化曲线(图中,*A* 表示未增加防护措施,*B* 为采取分段隔离措施,*C* 为分段隔离措施加一端阴保措施,阴保电流为 5 A;*D* 为分段隔离措施加两端阴保措施(相距 30 km),阴保电流为 30 A。通电点设置在绝缘法兰内侧管地电位较高点,可以看出,此时隔离区域管段的管地电位略有下降,而阴保装置对隔离区域外的管段基本无影响;当在隔离区域两端的管段各增加阴保设施后(曲线 *D*),阴保电流的增大使得管地电流大幅度增大,尤其是在通电点处,并且此时隔离区域内的阴保设施对区域外的管道产生了杂散电流干扰,使得其管地电位升高。对于高压直流干扰区域内的管道可以采取分段隔离措施与阴极保护共同作用进行防护,但应注意的是,当输出阴保电流较大时,会引起隔离区域外管道的直流干扰[14]。

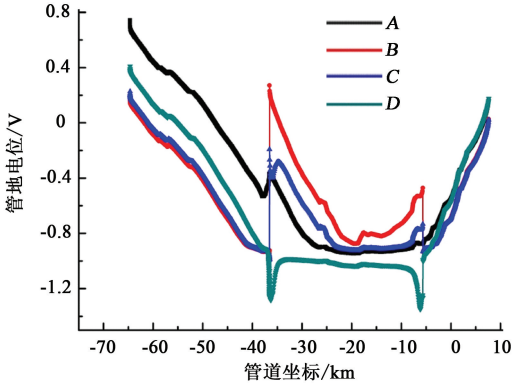

图 7　不同防护措施对管地电位的影响

Fig. 7　Influences of different protective measures on electrode-to-pipe protection potential

4　结　论

(1)随着入地电流的增大,管地电位的最大正向偏移和最大负向偏移均呈正相关变化;在管道远离接地极方向,由于流出管道电流略有减小和压降的存在,管地电位正向偏移量也略有减小。

(2)随着接地极与管道距离增大,管地电位偏移程度先急剧后缓慢减小,在实际工程中应使高压直流接地极与管道的最小距离至少为 30 km,且应评估接地极对周围 60 km 范围内埋地管道的干扰影响。

(3)对于高压直流干扰区的管道,在保证接地极与管道最大距离的情况下,可通过分段隔离加阴极保护的方式保护受干扰管道,但应注意隔离区域内的阴保系统对区域外管道的干扰。

参考文献:

[1]　曾连生,黄玲,梁言桥,等. 高压直流输电大地返回运行系统设计技术规程:DL/T 5224-2014[S]. 北京:中国计划出版社,2014.

[2]　陈凡,何金良,张波,等. 共用接地极对云广与贵广Ⅱ回直流系统的影响[J]. 高压电技术,2009(4):743-748.
CHEN Fan, HE Jinliang, ZHANG Bo, et al. Influence of common grounding electrode on Yunnan-Guangdong DC transmission project and Guizhou-Guangdong Ⅱ DC transmission project [J]. High Voltage Engineering, 2009(4):743-748.

[3] 程明,张平. 鱼龙岭接地极入地电流对西气东输二线埋地钢质管道的影响分析[J]. 天然气与石油,2010,28(5):22-26.
CHENG Ming, ZHANG Ping. The influence on second west to east pipeline of Yulongling grounding electrode current [J]. Natural Gas and Oil, 2010,28(5):22-26.

[4] 应斌. 高压直流输电系统接地极对长输管道安全运行的影响[J]. 油气田地面工程,2014,33(7):23-24.
YING Bin. The influence on safe operation of the long-distance pipeline of electrode of high voltage direct current transmission system [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2014,33(7):23-24.

[5] 迟兴和,张玉军. 直流接地极与大地中金属管道的防护距离[J]. 电网技术,2008,32(2):71-74.
CHI Xinghe, ZHANG Yujun. Protective distance between HVDC electrode and underground metal pipe [J]. Power System Technology, 2008,32(2):71-74.

[6] LIU J, DAWALIBI F P, MA J, et al. HVDC advanced analysis methods for grounding design and DC interference mitigation techniques: International Symposium on Electromagnetic Compatibility[C]. Quebec: Safe Engineering Services & Technologies Ltd, 2002.

[7] NICHOLSONPETE R. High voltage direct current interference with underground or underwater pipelines: NACE Corrosion Conference & Expo, Bolton, 2010 [C]. Holston: NACE International,2010.

[8] 刘连光,崔明德,孙中明,等. ±800kV 直流接地极对交流电网的影响范围[J]. 高电压技术,2009,35(6):1243-1247.
LIU Lianguang, CUI Mingde, SUN Zhongming, et al. Influence scope of AC network by DC grounding electrode rated ±800 kV [J]. High Voltage Engineering, 2009,35(6):1243-1247.

[9] 董晓辉,杨威,唐程,等. 特高压直流入地电流对附近杆塔地网腐蚀评估[J]. 高电压技术,2009,35(7):1546-1552.
DONG Xiaohui, YANG Wei, TANG Cheng, et al. Corrosion effects and evaluation method of UHV power Line tower grounding collection caused by DC current [J]. High Voltage Engineering, 2009,35(7):1546-1552.

[10] 崔淦,李自力,卫续,等. 基于边界元法的站场区域阴极保护设计[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2014,38(6):161-166.
CUI Gan, LI Zili, WEI Xu, et al. Cathodic protection design of station area based on boundary element method [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014,38(6):161-166.

[11] 商善泽. 直流接地极入地电流对埋地金属管道腐蚀影响的研究[D]. 北京:华北电力大学,2016.
SHANG Shanze. Research on the corrosion influence of ground current from DC earth electrode on the buried metal pipeline [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.

[12] GONG Yu, XUE Chunlin, YUAN Zhilei, et. al. Advanced analysis of HVDC electrode sinterference on neighboring pipelines [J]. Journal of Power and Energy Engineering,2015,3:332-341.

[13] SALEH A A, HASAN S, AMER J, et al. DC interference testing and mitigation of new electrically isolated pipelines installed within congested existing pipeline network: China International Oil & Gas Pipeline Conference[C]. CIPC, 2013.

[14] CUI Gan, LI Zili, YANG Chao, et al. The influence of DC stay current on pipeline corrosion [J]. Petroleum Science, 2016,13:135-145.

(沈玉英)