

高压直流接地极放电对输气阀室 仪表影响研究

曹国飞¹ 丁疆强¹ 祝令卿² 顾清林¹ 姜永涛¹ 姚清勇² 王棠昱²

1. 中国石油东部管道有限公司, 上海 200122;

2. 中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610041

摘要: 天然气输送管道作为社会发展的能源动脉, 确保其安全运行具有重要意义。根据现有案例及实验分析, 研究高压直流接地极放电对输气阀室仪表的影响, 得到绝缘卡套接头在受到高压直流干扰的情况下会出现电弧及烧毁的结论, 压力变送器、温度变送器、电子控制单元和 RTU 在接地良好的情况下, 不会受到高压直流电流的影响。建议从源头控制高压直流的干扰强度, 保证干扰电压在绝缘卡套接头的允许值范围内; 采用耐受性能更好的绝缘卡套接头, 并改变安装位置, 提高抗风险能力, 以保证天然气输送管道的安全运行。

关键词: 高压直流; 接地极; 天然气输送管道; 绝缘卡套接头

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2019.03.018

The Influence of HVDC Grounding Electrode Discharge on the Instrument of Line Valve Chamber

Cao Guofei¹, Ding Jiangqiang¹, Zhu Lingqing², Gu Qinglin¹, Jiang Yongtao¹, Yao Qingyong², Wang Tangyu²

1. PetroChina Eastern Pipeline Co., Ltd., Shanghai, 200122, China;

2. China Petroleum Engineering & Construction Corp. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China

Abstract: Oil and gas transportation pipeline is the energy artery of social development and it is of momentous significance to ensure the safety of pipeline operation. According to the existing cases and experimental analysis, the influence of HVDC grounding electrode discharge on the automatic control instrument of valve chamber of natural gas pipeline is studied. The conclusion is drawn that arc and burn-out will occur to the insulation sleeve joint under the interference of HVDC. Pressure transmitter, temperature transmitter, electronic control unit and RTU are not affected by HVDC current when grounding is good. It is suggested that the interference intensity of HVDC should be controlled from the source to ensure that the interference voltage is within the allowable range of the insulation sleeve joint, and insulation sleeve joint with better tolerance should be adopted, and the installation position should be changed to improve the risk resistance and guarantee safety of pipeline operation.

Keywords: High-voltage direct current (HVDC); Grounding pole; Natural gas pipeline; Insulation sleeve joint

收稿日期: 2018-12-03

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科研项目“高压直流电区域管道风险防控技术研究与应用”(2016 D-4602)

作者简介: 曹国飞(1985-), 男, 山东泰安人, 工程师, 硕士, 主要从事管道腐蚀控制与完整管理工作。

0 前言

中国天然气管网里程超 9×10^4 km,以西气东输、陕京线、川气东送、中缅线、永唐秦等为主的干线,以冀宁线、兰银线、忠武线、中贵线等的联络线,连同最近几年的地方管网建设,初步形成了一张长输管网。另外,随着国内高压直流输电技术的普遍应用,国内目前拟建和已建的 $\pm 500 \sim \pm 1\,000$ kV 超高压直流输电线路就有 30 多条干线,在其线路送端和受端(云南、贵州、四川、湖北、广西、上海、广东、浙江)分别设有相应换流站的接地极。接地极与大地充分接触,实现与大地连接的电极。在工程中已发现距离接地极 10 ~ 50 km 的天然气管道,受直流干扰后电位偏移数十伏特的案例,同时发现多处输气阀室引压管、绝缘卡套放电,甚至出现烧穿、泄漏事故^[1]。

2013 年开始,西气东输巡检人员在日常巡检中先后发现多处阀室引压管、绝缘卡套接头放电,甚至出现烧穿、泄漏事故。研究发现高压直流接地极放电对管道的干扰,是造成引压管放电或者绝缘卡套接头击穿的主要原因之一。2013 年 12 月 24 日,由于南方电网所辖 ± 800 kV 云广特高压直流输电系统故障,采取单极大地返回方式运行过程中,将直流电流泄放入清远市清新县鱼龙岭接地极,接地极入地电流为 3 125 A。导致广东省天然气管网从化分输站 BV 1101 气液联动球阀执行机构 Line Guard 控制箱引压管绝缘卡套位置发生持续约 3 h 的放电烧蚀,造成引压管绝缘卡套表面氧化,其内衬的绝缘套被炭化;位于绝缘卡套正上方的引压管也被高温氧化为黑色,同时引压管向左右传导热量熔化了固定于绝缘卡套附近的塑料管卡。引压管绝缘卡套密封和绝缘失效,将引发天然气泄漏,进而引起燃烧、爆炸事故的可能。

1 高压直流接地极放电对输气阀室仪表电位影响

高压直流输电系统对天然气管道的干扰影响,来源于其输电线路两端换流站的接地极放电期间产生的高电压和大电流流动。对翁源接地极(± 500 kV 牛从同塔双回超高压输电系统)、鱼龙岭接地极(± 800 kV 云广特高压输电系统和贵广二回 ± 500 kV 超高压输电系统)、大塘接地极(± 500 kV 天广超高压直流输电系统)和哈密接地极(± 800 kV 哈密特高压直流输电系统)的放电数据进行实测,数据汇总见表 1。

通过对表 1 数据分析,其中 304 V 管/地电位和 121 A 的管内电流是最大值,是由翁源接地极放电对西二线广东段的干扰造成的,翁源接地极放电时入地电流量大,同时翁源接地极深层以花岗岩为主,造成了深层

土壤电阻率很高的情况,使得翁源接地极放电时电流更多地在地表流动,造成如此高的干扰电压和电流,应是接地极放电对在役天然气输送管道影响中干扰最大的^[2-17]。

表 1 现场收集典型数据汇总

序号	管道名称	高压直流输电系统接地极	接地极入地电流 /A	管/地电位 /V	管内电流 /A
1	西二线	翁源接地极	3 000	304	-
2			2 400	-11	121
3			2 400	-164	-
4			2 400	-5.95	80
5			1 200	-1.43	64.2
6			1 200	-86	-
7			1 200	-2	39
8	广东管网	鱼龙岭接地极	1 200	-5.3	40
9			-	52	-
10			3 000	187	-
11			1 200	-	34.2
12	广东管网	大塘接地极	1 800	40	40
13			1 200	-3.92	-
14	西二线哈密密段	哈密接地极	-	9.7	-
15			-	7.1	-

注:管/地电位为直流电压,管内电流为直流电流。

2 输气阀室仪表

输气阀室仪表一类是和天然气管道直接连接的,如压力检测仪表、气液联动执行机构、绝缘卡套接头等;另一类是不和天然气管道直接连接的,如远程终端单元(RTU)等。输气阀室仪表分布见图 1。

绝缘卡套接头是阴极保护的常用管件,其主要功能是保护线路管道内的阴极保护电流不被流失,常安装于仪表引压管线上^[18]。

3 高压直流接地极对输气阀室仪表影响

与管道直接连接的仪表设备主要包括:气液联动执行机构、压力变送器、温度变送器、引压管绝缘卡套,以及区域范围内的各级防电涌保护装置、阴保电源设备、电位变送器等。绝缘卡套接头/垫片在天然气管道系统中主要分布于输气阀室中气液联动执行机构及其引压管和压力变送器引压管上,主要作用是保证阴极保护电流不流失^[19]。

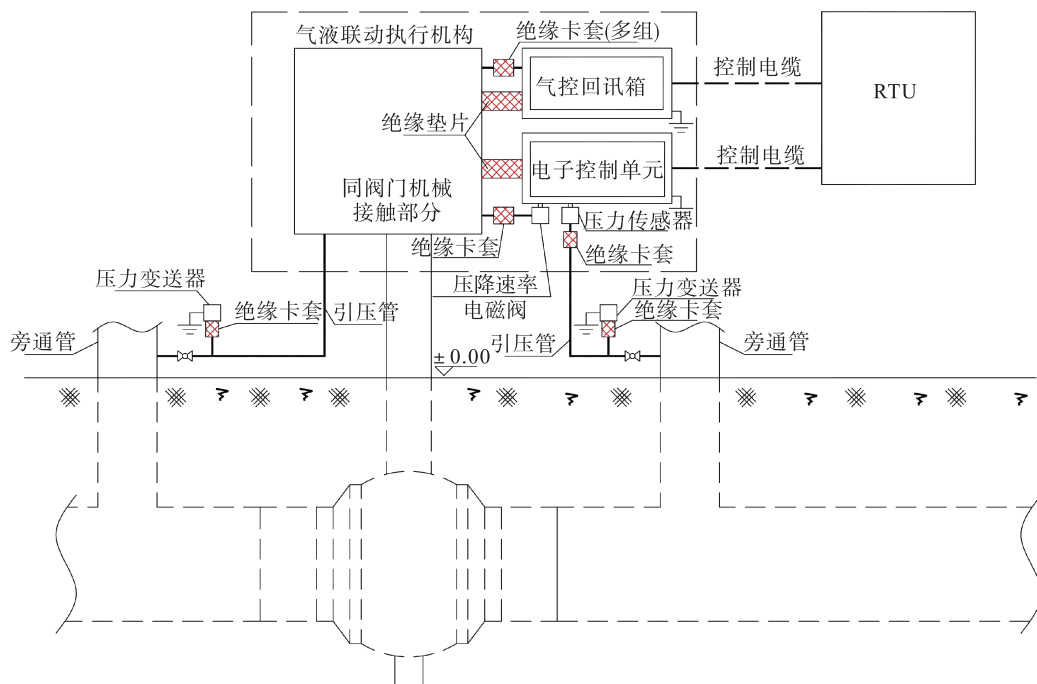


图1 输气阀室仪表分布

3.1 对绝缘卡套接头干扰影响

在高压直接地极放电干扰情况下,高压直流电压将直接作用在绝缘卡套/垫片上。在正常运行时阴极保护电压不会大于3 VDC,绝缘卡套的额定电压一般为10 VDC,304 VDC的高电压可能会对绝缘卡套造成极大伤害,甚至出现瞬间烧毁的可能。北京安科管道工程科技有限公司《高压电网及接地极对管道安全影响研究报告》(以下简称研究报告)中,对绝缘卡套接头的绝缘性能作了测试,测试结果表明,单独测试绝缘卡套接头的绝缘阻抗或者击穿电压,均满足标准要求,性能合格。从研究报告可以看出,当直流电压在1 000 VDC,湿度50 %~90 %时,绝缘卡套的绝缘阻值为10 MΩ。在直流电压达到2 228 VDC,湿度50 %~90 %时,才会产生电弧。同时,对绝缘卡套和绝缘垫片做了绝缘性能实验。

根据绝缘卡套接头测试结果及实验结果可以看出,厂家生产及配备的绝缘卡套接头及垫片符合标准要求,同时304 VDC的高压直流电压对绝缘卡套接头及垫片不会产生直接影响,更不会被直接击穿。但实际工程中,确实存在绝缘卡套接头被击穿的情况,见图2。

造成这种损坏的原因如下:

- 1) 绝缘卡套接头在多次高电压(如雷电)击穿后,绝缘性能下降,可能发生放电现象。
- 2) 在雷雨天气、空气湿度较大的条件下,可能发生表面放电现象,造成绝缘性能下降。
- 3) 在绝缘卡套接头安装施工过程中,由于施工不当,对绝缘卡套接头造成了一定程度的伤害,降低了绝



图2 现场绝缘卡套接头被击穿情况

缘性能。

从《高压直流干扰对设备可靠运行的影响研究仪表设备实验-测试报告》结果和分析可知,造成绝缘卡套接头损坏有多种原因,高压直流电的干扰不一定是直接原因,但是,在高压直流电干扰区域的天然气输送管道,在绝缘卡套接头的绝缘性能下降后,由于大电流的流动,电能产生热能,将造成绝缘卡套接头的密封件烧蚀、炭化,绝缘卡套接头密封失效,引起天然气泄漏,甚至可能带来燃爆的灾难。

由于以上原因对绝缘卡套接头的绝缘性能造成下降后,再受到高压直流电干扰的304 VDC电压,的确会击穿绝缘卡套接头,甚至造成烧蚀。要避免烧蚀,建议注重安装施工质量,严格按照厂家要求进行安装;定期检查绝缘卡套接头的绝缘性能(测绝缘阻值);定期清洁绝缘卡套接头的灰尘;最重要的是将高压直流干扰电压通过排流器或者其他措施限制在10 VDC内。绝缘卡套接头见图3。



图 3 绝缘卡套接头

图 3 的绝缘卡套接头参数:阀体为 316 不锈钢,绝缘为聚酰胺酰亚胺,四边密封烧蚀 70 硬度碳氟化合物 FKM,备用环为纯聚四氟乙烯,20℃ 时的绝缘体电阻 $10 \times 10^6 \Omega$ (10 DC) 压力等级 35 MPa,温度范围 $-40 \sim 93^\circ\text{C}$ 。

3.2 对电子控制单元、压力变送器影响

从图 1 可看出,气液联动执行机构分为同阀门机械接触部分、电子控制单元、气控回讯箱三部分。同阀门机械接触部分,直接和阀门连接,无法进行绝缘处理,而电子控制单元、气控回讯箱只要与天然气输送管道有连接的地方均用绝缘卡套接头或绝缘垫片进行绝缘处理。

电子控制单元作为气液联动执行机构的核心部件,由图 1 可看出当压力传感器引压管的绝缘卡套接头和降压速率引压管的绝缘卡套接头损坏或者击穿的情况下,输气管道上受到高压直流接地极放电干扰产生的电流会直接作用在电子控制单元外壳上,通过电子控制单元外壳的接地线流入大地。当电子控制单元外壳的接地线虚接或者电流过大烧毁接地线的情况下,管/地电位将直接加在电子控制单元外壳^[20]。

压力变送器(或压力传感器)通过引压管与天然气输送管道连接,引压管上安装绝缘卡套接头,同电子控制单元一样,引压管的绝缘卡套接头损坏或者击穿的情况下,管道上受到高压直流接地极放电干扰产生的电流会直接作用在压力变送器外壳上,通过压力变送器外壳的接地线流入大地。当压力变送器外壳的接地线虚接或者电流过大烧毁的情况下,管/地电位将直接加在压力变送器外壳。

通过对压力变送器、电子控制单元核心部件与外壳之间的绝缘、电压冲击及干扰进行相关的实验并进行分析可知,高压直流接地极放电干扰产生的直流电流静电场,并不会对压力变送器、温度变送器、电子控制单元、RTU 这种安装于金属壳体内部的电器元件造成损坏、影响正常运行和电磁干扰。

4 结论和建议

4.1 结论

从上述实验可知,完好的绝缘卡套接头,拥有的绝缘性能能满足工程需要,也能在高压直流接地极放电干扰产生的高压直流接地极放电电压(304 VDC)的情况下安然无恙,但在受过高压击穿、浸湿、灰尘和施工不当情

况下,会有发生绝缘击穿甚至烧蚀的可能。

压力变送器和电子控制单元在接地良好的情况下,不会受高压直流电压的影响,更不会烧毁核心部件,也不会对设备的正常工作产生影响。

压力变送器、电子控制单元和 RTU 在接地良好的情况下,不会受到高压直流接地极放电电流产生的静电场影响,也不会受到其产生的电磁波影响。

通过高压直流接地极对输气管道仪表设备的危害分析,在现有危害分析的基础上,进一步进行相关研究,对高压直流接地极带来的风险进行评价,对已建天然气输送管道的优化方案提出整改方向和采取与干扰程度相适应的防护措施,对新建天然气输送管道提供参考,确保天然气输送管道安全运行。

4.2 建议

从以上分析结果得知,绝缘卡套接头在多次高压击穿、灰尘、浸湿、施工操作不当的情况下,绝缘性能会降低,受到高压直流接地极放电干扰形成的高电压,有击穿和烧蚀的可能。在以后的工程建设中提出以下建议:定期检测绝缘卡套接头的绝缘性能,杜绝绝缘卡套接头带病运行;定期清理灰尘;规范安装施工;在阀室气液联动执行机构引压管(DN 50 或 DN 25)上安装绝缘性能更高的绝缘接头;取消阀室气液联动执行机构的电子控制单元,其爆管保护功能由 RTU 实现;采取远离避让及防护措施。

参考文献:

- [1] 黄留群,张本革. 高压输电线路接地极对管道强电冲击的防护[J]. 石油工程建设,2010,36(1):70-73.
Huang Liuqun, Zhang Benge. Protective Effect of Heavy Current Impulse from Grounding Electrode of High Voltage Electrical Transmission Line on Pipeline [J]. Petroleum Construction Engineering, 2010, 36 (1): 70-73.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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. Effect of Yulongling Grounding Current in Buried Steel Pipeline of West-East Gas Pipeline 2 [J]. Nature Gas and Oil, 2010, 28(5): 22-26.
- [5] 孙建杭, 曹国飞, 韩昌荣, 等. 高压直流输电系统接地极对西气东输管道的影响[J]. 腐蚀与防护, 2017, 38(8): 631-636.
Sun Jianguang, Cao Guofei, Han Changchai, et al. Influence of HDVC Transmission System Ground Electrode on West-East Gas Pipeline [J]. Corrosion & Protection, 2017, 38(8): 631-636.
- [6] 国家能源局. 油气储运术语: SY/T 7031-2016[S]. 北京: 石油工业出版社, 2016.
National Energy Administration. Terminology of Oil & Gas Storage and Transportation: SY/T 7031-2016 [S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2016.
- [7] 何衍和, 肖磊石. 高压直流输电系统接地极对油气管道影响分析[J]. 贵州电力技术, 2016, 19(8): 42-46.
He Yanhe, Xiao Leishi. Summary Analysis of the Impact of HVDC Grounding Electrode on Oil and Gas Pipelines [J]. Guizhou Electric Power Technology, 2016, 19(8): 42-46.
- [8] 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 Pipeline [J]. Power System Technology, 2008, 32(2): 71-74.
- [9] 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.
- [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] 房媛媛, 卢剑. 直流接地极的地电流对埋地金属管道腐蚀影响分析[J]. 南方电网技术, 2013, 7(6): 71-75.
Fang Yuanyuan, Lu Jian. Analysis on the Influence of HVDC Grounding Electrode's Ground Current on the Corrosion of Buried Metal Pipelines [J]. Southern Power System Technology, 2013, 7(6): 71-75.
- [12] 王文涛. 高压交、直流电力设施对埋地管道的干扰危害及检测[J]. 石油和化工设备, 2009, 12(9): 51-55.
Wang Wentao. The High Pressure Hands Over, the Direct Current Electric Power Facilities Endangers and Examines to the Interference of the Underground Piping [J]. Petro & Chemical Equipment, 2009, 12(9): 51-55.
- [13] 陈水明, 施广德, 赵智大. 直流输电大地回流对地下金属管道的影响分析[J]. 浙江大学学报, 1993, 27(3): 315-323.
Chen Shuiming, Shi Guangde, Zhao Zhida. Analysis of Effects of HVDC Earth-Return Current on Underground Metallic Pipeline [J]. Journal of Zhejiang University, 1993, 27(3): 315-323.
- [14] 孟晓波, 廖永力, 李锐海, 等. 金属管道受入地电流影响的抑制措施研究[J]. 南方电网技术, 2015, 9(2): 62-67.
Meng Xiaobo, Liao Yongli, Li Ruihai, et al. Research on Repressive Measures of the Influence of the Ground Return Current on the Metallic Pipeline [J]. Southern Power System Technology, 2015, 9(2): 62-67.
- [15] National Association of Corrosion Engineers. Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems: NACE SP 0169-2013 [S]. Houston: NACE, 2013.
- [16] Nicholson P. High-Voltage Direct Current Interference [R]. Houston: National Association of Corrosion Engineer, 2014.
- [17] McCollum B, Ahlborn G H. The Influence of Frequency of Alternating or Infrequently Reversed Current on Electrolytic Corrosion [J]. Journal of Franklin Institute, 1916, 182(1): 108-110.
- [18] 程明, 唐强, 魏德军, 等. 高压直流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.
Cheng Ming, Tang Qiang, Wei Dejun, et al. Comprehensive Protection of Buried Steel Pipelines at HVDC Earthed Electrode Interference Area [J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(9): 105-111.
- [19] 程明, 向波, 湛贵宇, 等. 油气管道针对高压直流接地极干扰的综合防护方法: 201410133109.2[P]. 2014-04-04.
Cheng Ming, Xiang Bo, Chen Guiyu, et al. Comprehensive Protection Method of Oil and Gas Pipelines High Voltage DC Grounding Interference: 201410133109.2 [P]. 2014-04-04.
- [20] 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 Grounding Electrode of High Voltage Direct Current Transmission System [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2014, 33(7): 23-24.