

南朗段埋地天然气管道杂散电流检测与治理

符耀庆¹, 王秀通², 陈胜利¹

(1. 中海油能源发展股份有限公司北京分公司, 北京 100027;

2. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: **目的** 减小杂散电流对南朗段天然气管道的干扰, 消除杂散电流腐蚀隐患。 **方法** 利用沿线阴极保护电位测试、SCM 检测等技术对南朗段管道的杂散电流干扰情况进行检测, 并根据检测结果实施排流设计与改造。在 009—019 测试桩中设计 6 个排流点, 用固态去耦器排流技术实施排流改造。改造完成后, 对排流效果进行验证。 **结果** 检测表明, 杂散电流最大干扰值达 16.839 V, 杂散电流密度达 393 A/m², 干扰长度为 8 km。杂散电流干扰来源于电气化铁路, 在铁路运行时间段存在杂散电流干扰, 在铁路停运时间段无杂散电流干扰。改造完成后, 杂散电流干扰电压降至了 4 V 以下。 **结论** 该排流技术的应用有效减小了南朗段埋地管道的杂散电流干扰, 使其达到了国家规定标准, 消除了杂散电流腐蚀的隐患, 保障了南朗段天然气管线的安全运行。杂散电流干扰的检测与排流技术可以用于消除铁路等对埋地管道杂散电流腐蚀的影响, 对受到新建带电结构影响的管道的防护工作具有示范作用。

关键词: 长输管道腐蚀; 阴极保护; 杂散电流; 埋地管道; 排流; 腐蚀与防护

中图分类号: TG174.41; TG172.84 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2016)02-0022-06

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2016.02.004

Stray Current Detection and Treatment for Buried Natural Gas Pipeline of Nanlang Segment

FU Yao-qing¹, WANG Xiu-tong², CHEN Sheng-li¹

(1. Beijing Branch, CNOOC Energy Technology & Services Limited, Beijing 100027, China;

2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

ABSTRACT: **Objective** To reduce the interference of stray current on natural gas pipeline of Nanlang segment, and eliminate the stray current corrosion risks. **Methods** Detection of stray current interference on natural gas pipeline of Nanlang segment was conducted by cathodic protection potential test and SCM detection technology. According to the test results, discharge of stray current was designed and transformed. Six discharge points were designed in the 009—019 test pile, and the drainage technology was implemented using the solid state decoupling device. After the completion of the transformation, the effectiveness of the implementation was verified. **Results** The detection result showed that the maximum disturbance of stray current was 16.839 V, the stray current density was 393 A/m², and the interference length was 8 km. The stray current interference came from the electrified railway. There was stray current interference during the railway running time, and no stray current interference during the railway outage time. After the transformation was completed, the stray current interference voltage dropped to below 4 V. **Conclusion** The practical application of the drainage technology effectively reduced the stray current interference on natural gas pipeline of Nanlang seg-

收稿日期: 2015-11-09; 修订日期: 2015-11-27

Received: 2015-11-09; Revised: 2015-11-27

作者简介: 符耀庆(1962—), 男, 高级工程师, 主要研究石油天然气工程的腐蚀与防护。

Biography: FU Yao-qing (1962—), Male, Senior engineer, Research focus: corrosion and protection in oil and gas engineering.

ment, and the national standard was attained. The risk of the stray current corrosion was eliminated, ensuring the safety operation of natural gas pipeline of Nanlang segment. The detection and drainage technology of stray current interference could be used to eliminate the influence of railway on the stray current corrosion of the buried pipeline. and is of demonstration significance for the protection of pipelines affected by the newly built charged structure.

KEY WORDS: corrosion of long-distance gas pipeline; cathodic protection; stray current; buried natural gas pipeline; drainage; corrosion and protection

我国天然气的输送主要依靠长距离埋地管道来实现,管材一般为普通钢制螺旋焊管,外防腐层多采用 3PE,阴极保护采用外电流和牺牲阳极联用的方式。长输天然气管道通常采用浅埋地方式敷设,随着管道、公路、轻轨、高压线建设的增多,管道受到杂散电流干扰的情况也越来越多,易产生杂散电流腐蚀。杂散电流对管道有着不同程度的腐蚀性,漏损处也不易及时发现,并且地下管道维修要进行大量的土方工程,投入比新建管线更大。因此,如何防止长输油气埋地管道的腐蚀破坏,尤其是建成后的腐蚀保护,一直是管道工程中的重要环节。

以南朗段管道为例,该管道建成于 2006 年,中山轻轨建成通车于 2012 年底,轻轨与管道相互交叉并行。轻轨通车后,南朗分输站阴极保护设备随之失效,沿线保护电位异常,经检测初步确认为杂散电流干扰,可能诱发杂散电流腐蚀。因此,需对该段管道实施杂散电流检测、排流设计与施工,最终达到减小杂散电流对管道的干扰,消除杂散电流腐蚀隐患的目的。该段管道经过排流工程改造后,保护电位及杂散电流干扰电位达到国家标准要求,保障了天然气的正常输送。

1 南朗段管道杂散电流干扰分析

南朗段管道是中山管道通过南朗镇的部分,长度约 8 km,管线压力 7.8 MPa,管径 $\phi 660$ mm,通天然气温度 28 ~ 32 $^{\circ}\text{C}$ 。受影响管道距离电气化铁路最近处为交叉点,最远处为 4 km,铁路转向后,管道不受影响。双线电气化客运专线铁路是 25 kV 交流供电,线路敷设以高架和地面为主,动车组牵引供电回路为:牵引变电所—馈电线—接触网—电力机车—钢轨—回流联接—(牵引变电所)接地网。工频单相交流 25 kV 牵引网是一种不对称供电回路,势必在其周围空间产生电磁场;加之在部分区段,轨道与大地间无法完全绝缘,有部分电流经铁轨流入大地,在附近产生复杂的地电场;因此,临近设施会受到干扰^[1-5]。当钢轨泄露电流经土壤进入管道时,在流入点会形成阴

极区,降低管道电位,加上已经存在的管道阴保设定电位,很容易使管道电位过负而引发涂层剥离,诱发管道腐蚀的发生;在电流由管道流回钢轨或变电站的流出点,管道电位正向偏移,阴保失去效果,如果突破 -0.85 V 的防护电位,就相当于在此处对管道进行电解,使得管道腐蚀加剧^[6-7]。

表 1 为南朗段受影响管道测试桩的断电电位测试结果。根据表 1 可以判定,南朗段管道显著受到轻轨的干扰,阴极保护系统恒电位仪不能正常工作,同时沿线阴极保护断电电位漂移严重。因此,需要对管道实施杂散电流 24 h 检测,判断杂散电流干扰程度,并针对干扰进行排流设计与施工,消除杂散电流干扰。

表 1 南朗段测试桩断电电位
Tab.1 Off-potential at test pile of Nanlang Pipeline

测试桩	断电电位 /V	管道与轻轨的 距离/m	判定
019 [#]	2.175	630	受到干扰
018 [#]	3.558	470	受到干扰
017 [#]	5.745	180	受到干扰
016 [#]	8.563	0	受到干扰
015 [#]	10.152	300	干扰严重
014 [#]	12.545	600	干扰严重
013 [#]	14.598	860	干扰严重
012 [#]	14.827	1120	干扰严重
011 [#]	13.713	1350	干扰严重
009 [#]	3.865	1850	受到干扰,存在接地网

2 管线的杂散电流检测

管线杂散电流检测是利用 SCM 杂散电流检测仪对沿线 10 个测试桩(见表 1)实施 24 h 监测^[8-10],参比电极为硫酸铜电极,测量频率为 1 Hz,对干扰大于 5 V 的测试桩实施 48 h 加密测量,其中 4 个测试桩的监测结果如图 1 所示。分析表明,在铁路运行时段 6:00—24:00,管道持续受到杂散电流干扰,015[#]—011[#]测试桩干扰值均超过 10 V,013[#]测试桩的干扰值最大,为 16.839 V。根据干扰电压和土壤电阻率计算

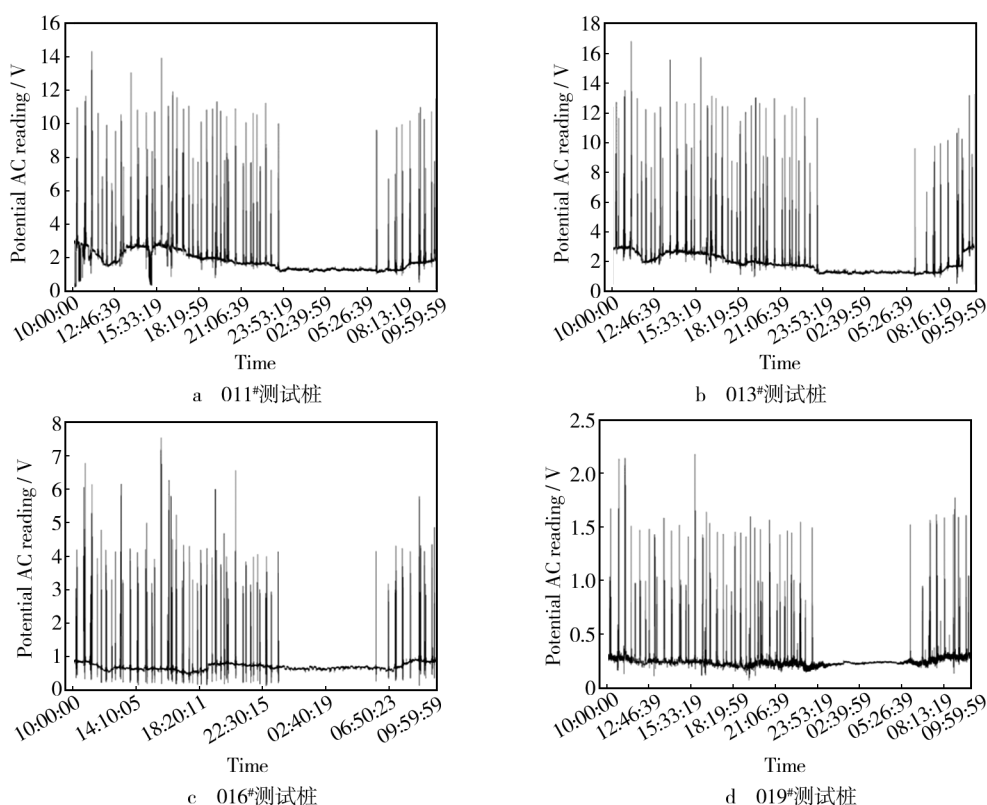


图1 不同测试桩杂散电流排流前干扰图

Fig. 1 Stray current interference before drainage at different test piles:

a) No. 011 test piles, b) No. 013 test piles, c) No. 016 test piles, d) No. 019 test piles

干扰电流密度,算得最高交流干扰电流密度达到 393 A/m^2 ,属于强杂散电流干扰,存在较大的杂散电流腐蚀隐患。在铁路停运阶段,管道受到杂散电流干扰值极小,可以忽略不计。杂散电流干扰的峰值出现时间与电气化铁路经过南朗段的时间间隔一致,这说明杂散电流干扰来自于电气化铁路运行。

3 管线的杂散电流排流设计与实施

管道杂散电流干扰由电气化铁路引起,排流设计需要重点考虑电气化铁路与管道之间的关系。电气化铁路与管道走向如图2所示,管道在009#测试桩接入分输站,铁路在016#测试桩附近与管道交叉,自019#桩开始远离管道。排流点设计应在019#测试桩与009#测试桩之间,浅埋式排流地床的安装位置应在管道左侧并远离管道,地床距管道直线距离应超过50 m。深井阳极地床可以选择在管道附近安装,安装深度应在15 m以上。如此,杂散电流排流后才不会回流至管道。

根据以上设计思想,按照实地杂散电流监测结果和相关规范的要求,并结合管道沿线的实际情况,设

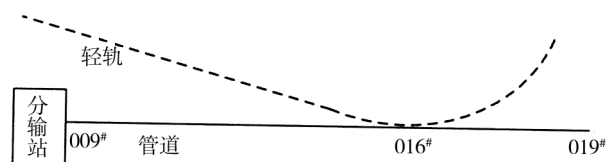


图2 电气化铁路与管道走向示意

Fig. 2 The relationship of electrified railway and pipeline

计排流点在019#—009#测试桩之间,共设计019#, 018#, 016#, 015#, 013#, 011# 6个排流点。根据排流点位置的现场条件,分别设计浅埋阳极地床和深井阳极地床。设计的排流点及地床形式见表2。

采用固态去耦合器接地法作为干扰排流施工方案。固态去耦合器接地法是在管道一侧安装排流地床^[11-13],排流地床通过去耦合器与管道相连。由于去耦合器具有隔直流、通交流的特点,一方面可以应用在有阴极保护的管道上;另一方面也使得排流地床材料有更多的选择,不再局限于镀锌扁钢、钢管、牺牲阳极等材料,可以选择铜接地材料、铸铁材料等。去耦合器的导通电压根据可阴极保护的准则进行任意设置,一般排流点采用锌带作为排流地床,深井地床

表 2 排流点设计及施工点位
Tab.2 Design and construction of drainage points

序号	测试桩	排流方式	地床长度(数量)	土壤电阻率/($\Omega \cdot \text{m}$)	完工后接地电阻/ Ω
1	019 [#]	浅埋敷设锌带	200 m	70.7	0.95
2	018 [#]	浅埋+深井	浅埋(200 m)+深井(1)	118.4	0.6
3	016 [#]	深井阳极排流	(k016+200 m)深井(3)	243.3	2.8
4	015 [#]	浅埋+深井	浅埋(100 m)+深井(2)	40.5	0.9
5	013 [#]	浅埋敷设锌带	300 m	30.4	1.9
6	011 [#]	浅埋+深井	浅埋(80 m)+深井(2)	69.4	1.8

可以选择钢管作为接地材料。

设计完成后,按照排流设计方案进行排流整改。在排流点开挖排流地床,安装固态去耦合器,对管道和固态去耦合器进行连接。排流地床采用锌带,埋设在管道靠近干扰源一侧。锌带的埋深与管顶平齐,接地电阻应尽量小于 1Ω ,在土壤电阻率高处应保证锌带的接地电阻 $\leq 3 \Omega$,与管道平行间距应不小于 500 mm 。在敷设锌带时,预先开掘一条截面为 $0.4 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$ 的地床沟,使锌带阳极处于沟的中心位置。锌带阳极四周填覆填包料,在土壤电阻率 $> 20 \Omega \cdot \text{m}$ 处,填包料材料的成分(以质量分数计,下同)为:石膏粉 75% ,工业硫酸钠 5% ,膨润土 20% 。在土壤电阻率 $\leq 20 \Omega \cdot \text{m}$ 处,填包料材料成分为:石膏粉 50% ,

工业硫酸钠 5% ,膨润土 45% 。填包料填充锌带敷设沟后,用水浸透,然后回填原状土。排流施工完成后,对地床接地电阻进行测试,结果见表 2,排流点接地电阻均小于 3Ω ,符合设计要求。

4 排流改造后的排流效果

杂散电流排流改造完成后,对排流效果实施了测试检验。按照相关国家标准规定,在土壤电阻率不大于 $25 \Omega \cdot \text{m}$ 的地方,管道交流干扰电压应低于 4 V ;在土壤电阻率大于 $25 \Omega \cdot \text{m}$ 的地方,管道交流电流密度应小于 60 A/m^2 。在 019[#]—009[#] 测试桩实施了 24 h 的杂散电流检测,检测结果见图 3。

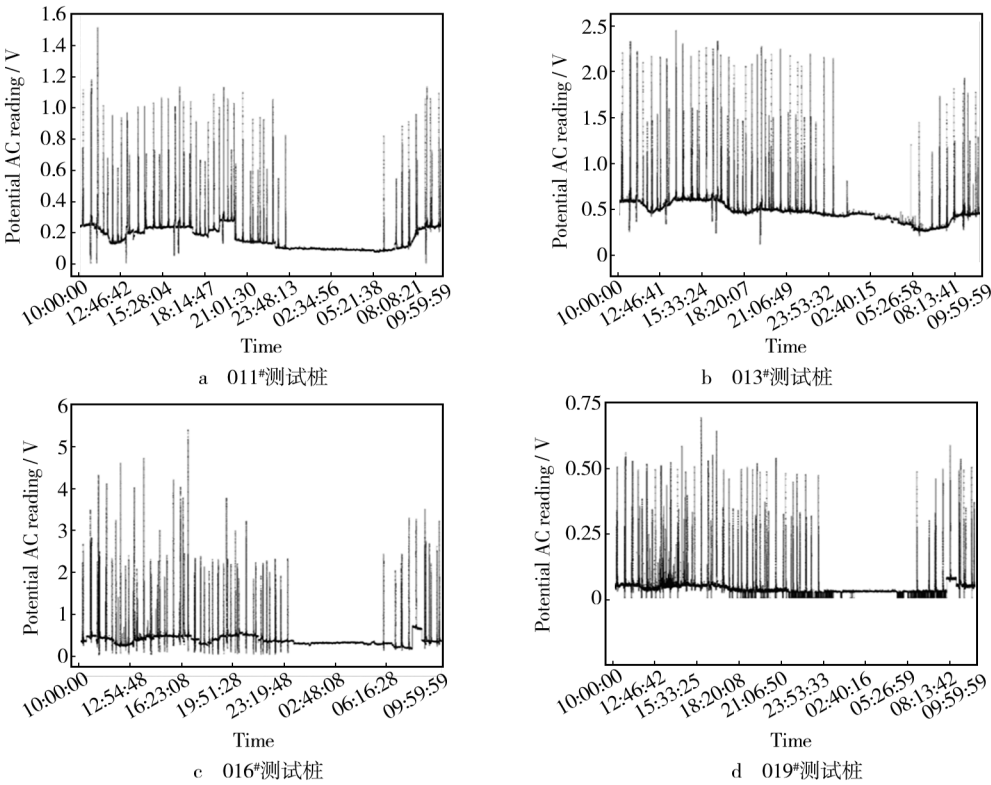


图 3 不同测试桩杂散电流排流后干扰图

Fig. 3 Stray current interference after drainage at different test piles:

a) No.011 test piles, b) No.013 test piles, c) No.016 test piles, d) No.019 test piles

分析表明,在 011[#]测试桩,干扰电压最高值由排流前的 14.324 V 降为 0.615 V;在 013[#]测试桩,干扰电压最高值由排流前的 16.839 V 降为 2.455 V;在 019[#]测试桩,由于距离电气化铁路线路较远,因此干扰电压相对较低,其最高值由排流前的 2.175 V 降为 0.693 V。在 016[#]测试桩,土壤电阻率较大,排流前交流干扰电压最高为 9.077 V,排流后干扰电压大幅下降,除个别时刻高于 4 V 外,基本都降低到 4 V 以下,经计算,此处排流后交流干扰的电流密度为 2 A/m²,远小于 60 A/m² 的国家标准。

此次排流改造有效减小了南朗段管道杂散电流干扰,取得了较好的排流效果,消除了杂散电流腐蚀隐患。该排流工程能达到较为理想的排流效果,原因有三方面:

首先,杂散电流干扰源排查准确。管道的最大干扰源是电气化铁路,并无其他的大型干扰源。

其次,排流设计合理。此次排流设计在排流点选择、地床方式设计上采用了灵活的形式,在距干扰源最近的 016[#]测试桩周围连续设计了 015[#]、016[#]、018[#] 三个排流点,采用了深井+浅埋的地床形式,可最大限度地实施排流。

最后,排流施工工程质量达标。在排流施工过程中,严格按照设计文件施工,严控工程质量,杜绝了偷工减料等因素,实现了排流工程的预期目标。

5 结语

南朗段埋地管道受到新建电气化铁路杂散电流干扰,受干扰长度 8 km,最大干扰值 16.839 V。通过沿线杂散电流检测、排流设计和排流改造,将杂散电流干扰电压降低至 4 V 以下,杂散电流干扰电流密度远低于 60 A/m²,达到了国家规定的排流标准,消除了杂散电流腐蚀隐患。南朗段埋地管线受杂散电流干扰具有典型的代表性,杂散电流的检测、排流设计和改造对受杂散电流影响管道的腐蚀与防护工作具有示范作用。

随着管道受杂散电流干扰越来越多,建议构建管线杂散电流定期检测机制。管道的阴极保护效果随着管道沿线带电设施的增多会发生变化,因此在管道的运维过程中,需要定期对杂散电流进行检测,尤其是新建高压输电线和电气化铁路时^[14-15],应重点对可能受影响的管道实施检测评估。在管道周围建设主干公路、轻轨等大型公共设施必然会对管道的防腐

蚀产生影响,应该针对变化的腐蚀环境进行相应整改,确保管道的腐蚀安全。如果能够及时发现管道的杂散电流干扰问题并进行对应整改,大多数杂散电流腐蚀问题是在腐蚀发生前得到控制的。

参考文献

- [1] 刘军. 埋地管道杂散电流干扰监测与治理[J]. 化学工程与装备,2010(11):78—80.
LIU Jun. Study on Stray Current Detection and Control for Buried Steel Pipeline[J]. Chemical Engineering & Equipment,2010(11):78—80.
- [2] 唐永祥,宋生奎,朱坤峰. 油气管道的杂散电流腐蚀防护措施[J]. 石油工程建设,2007,29(4):42—44.
TANG Yong-xiang, SONG Sheng-kui, ZHU Kun-feng. Corrosion and Protection Measures of Stray Current of Oil and Gas Pipeline[J]. Petroleum and Chemical Construction, 2007,29(4):42—44.
- [3] 曹阿林,朱庆军,侯保荣,等. 油气管道的杂散电流腐蚀与防护[J]. 煤气与热力,2009,29(3):B06—B09.
CAO A-lin, ZHU Qing-jun, HOU Bao-rong. Stray Current Corrosion on Oil and Gas Pipeline and Its Protection[J]. Petroleum and Chemical Construction,2009,29(3):B06—B09.
- [4] 高博,申龙涉,孟祥谦. 油气管道直流杂散电流的腐蚀与防护[J]. 管道技术与设备,2010(4):41—43.
GAO Bo, SHEN Long-she, MENG Xiang-qian. DC Stray Current Corrosion and Protection of Oil Gas Pipeline[J]. Pipeline Technique and Equipment,2010(4):41—43.
- [5] 高辉,何仁洋,孟涛,等. 埋地钢制管道杂散电流测试与评价[J]. 石油化工腐蚀与防护,2009,26(6):34—35,59.
GAO Hui, HE Ren-yang, MENG Tao. Study on Stray Current Detection and Evaluation for Buried Steel Pipeline[J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry,2009,26(6):34—35,59.
- [6] 岳宏波. 采取有效措施防护地铁杂散电流危害[J]. 中国高新技术企业,2009(1):189—190.
YUE Hong-bo. The Effective Measures to Protect the Subway Stray Current Hazards[J]. Chinese Hi-tech Enterprises,2009(1):189—190.
- [7] ZHU Qing-jun, CAO A-lin, WANG Zai-feng. Fundamental Aspects of Stray Current Corrosion on Buried Pipeline[J]. Advanced Materials Research,2011,146/147:70—74.
- [8] 张建昌,徐忠伟,冉小俊. 埋地钢制管道基于 SCM 检测仪的杂散电流测试与评价[J]. 石油化工应用,2010,29(9):86—88.

- ZHANG Jian-chang, XU Zhong-wei, RAN Xiao-jun. The Detection and Evaluation of Stray Current by Use of Stray Current Mapper in the Buried Steel Pipeline[J]. Petrochemical Industry Application, 2010, 29(9): 86—88.
- [9] 陈志光, 秦朝葵, 计雪松. 上海轨道交通二号线杂散电流测试分析[J]. 腐蚀与防护, 2008, 29(6): 344—347.
- CHEN Zhi-guang, QIN Chao-kui, JI Xue-song. Testing and Analysis of Stray Current of Shanghai Rail Traffic Line 2 [J]. Corrosion & Protection, 2008, 29(6): 344—347.
- [10] 王华, 陈胜利, 朱庆军. 广珠轻轨对南朗段天然气管道杂散电流干扰测试与分析[J]. 全面腐蚀控制, 2012, 26(3): 40—43.
- WANG Hua, CHEN Sheng-li, ZHU Qing-jun. Test and Analysis of Stray Current Interference in Nanlang Gas Pipeline under Guangzhou—Zhuhai Railway [J]. Total Corrosion Control, 2012, 26(3): 40—43.
- [11] 滕延平, 张丰, 赵晋云. 杂散电流干扰下管道密间隔电位检测数据处理方法[J]. 管道技术与设备, 2009(4): 28—31.
- TENG Yan-ping, ZHANG Feng, ZHAO Jin-yun. CIPS Data Process Method of Pipeline Affected by Stray Current Interference[J]. Pipeline Technique and Equipment, 2009(4): 28—31.
- [12] 董华清, 王亚平, 王家庆, 等. 钟市—荆门输油管道杂散电流干扰测试与排除[J]. 腐蚀与防护, 2008, 29(11): 698—699, 716.
- DONG Hua-qing, WANG Ya-ping, WANG Jia-qing, et al. Stray Current Influence Tests and Drainage Protection of Zhongshi—Jingmen Crude Oil Pipeline [J]. Corrosion & Protection, 2008, 29(11): 698—699, 716.
- [13] CAO A-lin, ZHU Qing-jun, ZHANG Sheng-tao. BP Neural Network Predictive Model for Stray Current Density of a Buried Metallic Pipeline [J]. Anti-corrosion Methods and Materials, 2010, 57(5): 234—237.
- [14] ZHU Qing-jun, CAO A-lin, HOU Bao-rong. Pipe-to-Soil Potential and Stray Current of Buried Pipeline [C]//Proceeding of the 4th Japan-China Joint Seminar on Marine Corrosion. Tokyo: [s. n.], 2008: 55—60.
- [15] 李自力, 孙云峰, 陈邵凯, 等. 交流电气化铁路杂散电流对埋地管道电位影响规律[J]. 腐蚀与防护, 2011, 32(3): 177—181.
- LI Zi-li, SUN Yun-feng, CHEN Shao-kai. Influence of Alternating Current Electrified Railway Stray Current on Buried Pipelines [J]. Corrosion & Protection, 2011, 32(3): 177—181.
- (上接第21页)
- [8] 胡建修, 富玉海, 李金炭, 等. 污水回注套管内涂层防腐技术应用[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2012, 24(3): 261—262.
- HU Jian-xiu, FU Yu-hai, LI Jin-tan, et al. Application of Internal Coating Protection Technology on Produced Water Reinjection Pipe [J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2012, 24(3): 261—262.
- [9] 杨全安, 李琼玮, 杨海恩, 等. 有机涂层在天然气井环境下的耐腐蚀性能研究[J]. 材料保护, 2002, 35(2): 49—51.
- YANG Quan-an, LI Qiong-wei, YANG Hai-en, et al. Corrosion Resistance of Protective Polymer Coating in Gas Well [J]. Materials Protection, 2002, 35(2): 49—51.
- [10] 裘智超, 熊春明, 常泽亮, 等. 油管内涂层防腐技术在塔中I号气田的应用[J]. 天然气工业, 2012, 32(10): 86—89.
- QIU Zhi-chao, XIONG Chun-ming, CHANG Ze-liang, et al. Application of Anti-corrosion Coating for Internal Tubing in the Tazhong-I Gas Field, Tarim Basin [J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(10): 86—89.
- [11] SY/T 6717—2008. 油管和套管内涂层技术条件[S].
- SY/T 6717—2008. Internal Coating Technology of Tubing and Casing[S].
- [12] NACE TM0174. Laboratory Methods for the Evaluation of Protective Coatings and Lining Materials on Metallic Substrates in Immersion Service[S].
- [13] WELDON Dwight G. Failure Analysis of Paints and Coatings[M]. Imperial: John Wiley & Sons, Ltd, 2009.
- [14] OLE O K, ASTRID B, ANN K K. Internal Coating of Multi-phase Pipelines—Requirements for the Coating [C]//Corrosion. Houston TX: NACE, 2010: Paper No 10004.
- [15] 张金涛, 胡吉明, 张鉴清. 有机涂层的现代研究方法[J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(5): 763—768.
- ZHANG Jin-tao, HU Ji-ming, ZHANG Jian-qing. A Review on Modern Study Methods of Organic Coatings [J]. Journal of Materials Science & Engineering, 2003, 21(5): 763—768.
- [16] 李琼玮, 张振云, 奚运涛, 等. 油气生产中的金属选材与腐蚀控制[M]. 北京: 石油工业出版社, 2015.
- LI Qiong-wei, ZHANG Zhen-yun, XI Yun-tao, et al. Metallurgy and Corrosion Control in Oil and Gas Production [M]. Beijing: Petroleum Industry of Technology Press, 2005.