

文章编号: 1000-8241(2020)01-0066-05

One-Pass 水下管道检测系统在定向钻穿越管段中的优化应用

谢崇文^{1,2} 陈利琼² 何沫¹

1. 中国石油西南油气田分公司安全环保与技术监督研究院; 2. 西南石油大学·油气藏地质及开发工程国家重点实验室

摘要: 为保证穿越河流管段的正常运行,需要定期检测管道埋深。针对定向钻穿越大埋深管道检测过程中电磁信号不稳定导致检测结果不准确的问题,通过改变不同埋深穿越管段的电磁信号校准方法,对 One-Pass 水下管道检测系统进行优化,提高其在定向钻穿越管道检测中的检测精度。结果表明:利用优化后的电磁信号校准数据计算得到的结果与实际情况的符合度更高,说明优化后的 One-Pass 检测系统能满足水深 40 m 范围内的定向钻穿越管道敷设状态检测要求。研究成果对定向钻大埋深穿越河流管段敷设状态检测具有指导作用,对保障穿越河流管段的安全运行具有重要意义。(图 3,表 1,参 20)

关键词: 定向钻穿越; 电磁法; One-Pass 检测系统; 优化

中图分类号: TE88

文献标识码: A

DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2021.01.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Optimized application of One-Pass underwater pipeline inspection system in directional drilling crossing pipeline

XIE Chongwen^{1,2}, CHEN Liqiong², HE Mo¹

1. Safety, Environment & Technology Supervision Research Institute, PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company;

2. Southwest Petroleum University//State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation

Abstract: For the purpose of ensuring the normal operation of river-crossing pipeline, it is necessary to detect the burial depth periodically. In view of the inaccurate result caused by unstable electromagnetic signals during the detection of directional drilling crossing pipeline due to its large covering, the One-Pass underwater pipeline inspection system was optimized by changing the calibration method of electromagnetic signals in the crossing pipelines with different buried depth to improve the detection accuracy of directional drilling crossing pipeline. The consequences show that the higher degree of compliance of the results calculated according to the calibration data of the optimized electromagnetic signal with the actual situations indicates that the optimized One-Pass inspection system can satisfy the detection requirements for laying status of the directional drilling crossing pipeline within a water depth of 40 m. The research results could be used to guide the detection of the laying status of river-crossing pipeline by directional drilling, and they are of important significance to ensure the safety operation of river-crossing pipeline. (3 Figures, 1 Table, 20 References)

Key words: directional drilling crossing, electromagnetic method, One-Pass inspection system, optimization

随着油气需求量的与日俱增,管道建设行业也在蓬勃发展,管道的安全性愈发受到重视,特别是穿跨越河流的管段,一旦发生事故,不但带来巨大的经济损失,而且会造成严重的环境污染,引起生态破坏。由于水流冲刷及人类活动的影响^[1],管道覆盖层正逐年变

薄,甚至出现裸露,此时管道极易受到砂石撞击、水流冲击及船锚的破坏,因此,需要定期对穿越河流管道的埋深进行检测,掌握穿越河流管段的确切位置及掩埋状态^[2],从而有效提高管道安全管理水平。

电磁法是目前管道检测最有效、最经济的物探手

段^[3],是利用发射机在待检管段中施加交流信号,在管道周围形成特定频率的电磁场,通过接收机检测管道上方的磁场强度或电流强度,从而实现对管道路径的定位及埋深检测等。诸多学者对电磁法检测原理进行了研究,如李振海等^[4]研究了导向仪法、磁梯度探测法、电磁法等探测方法的探测精度,指出了在某种特定场合下可综合利用以上探测方法,互为补充,从而提升管道埋深检测范围和精度;陈军等^[5]分析了不同检测电流对管道磁场强度的影响,提出采用远端接地直连、低频等方式来抑制或排除干扰异常的影响,扩大埋深检测范围,且提高精度。目前,基于电磁法的水下管道检测技术应用广泛,对其开展研究也由来已久。1931年,第一款基于电磁法的高性能金属管道探测仪在美国诞生。随后,美国贝尔实验室对探测仪的结构进行了改进,提出了双天线结构。在此结构的基础上,世界上很多公司,如加拿大BPS公司、荷兰Alliander能源电网公司、美国STARTRAK公司及Innovative Inc公司等,纷纷对电磁法管道检测技术进行改进,生产出了多种管道检测产品^[6-8]。目前,市场上出现较多的管道检测系统有:BPS河流穿越管道探测系统、磁性多功能定位及跟踪系统、One-Pass水下管道检测系统、FieldSens管道遥测检测系统、GPS-RTK水下管道检测系统、RD4000以及RD8000设备^[9-11]。其中,One-Pass水下管道检测系统应用最为广泛,但在定向钻穿越大埋深管道检测过程中,该方法电磁信号不稳定,导致检测结果不准确。通过改变不同埋深穿越管段的电磁信号校准方法,对One-Pass水下管道检测系统进行优化,提高其在定向钻穿越管道检测中的检测精度。

1 One-Pass 检测系统原理及优化

1.1 检测原理

One-Pass水下管道检测系统(表1)由Trimble GPS(Global Positioning System)测绘系统、管道定位与埋深测量系统、声呐水深测量系统及ARIVER数据处理软件组成^[12-13]。

表1 One-Pass水下管道检测检测系统工作参数

探测水深/m	探测管道埋深/m	探测精度	定位精度/cm	最大流速/(m·s ⁻¹)	工作温度/℃
40	15	厘米级	10	3	-20~65

管道定位及埋深测量的工作原理为:向管道施加一定的电流信号后,电流信号沿管道向远方延伸,在管道周围形成电磁场,其强度与管道中的电流强度有关,用接收机可以直接测得管道中任何一点的电流强度,即可对管道进行定位;测量接收机底部到管道的距离,从而实现埋深检测。声呐水深测量的原理为:由声呐设备向水中发射一个具有一定空间指向性的短脉冲声波,声波在水中匀速直线传播,遇到河底后发生反射,反射回来的回波再被声呐设备接收。已知发射和接收的时间间隔及声波在水体中的平均传播速度,就可以计算出声波在水中传播的单程距离,即信号源到河底的距离。

将管道埋深测量与水深测量同步进行,即在测量管道埋深的同时测量水深,就可得到管道覆土层的厚度,了解管道在河床下敷设的状况。管道覆土层厚度的计算表达式为:

$$l=d_1-d_2-h \quad (1)$$

式中: l 为管道覆土层厚度,m。 d_1 为管道埋深,m。 d_2 为管内信号至管顶的距离,管径小于426mm时,建议为1/2管径;管径不小于426mm时,建议为1/3管径。 h 为水深,m。

采用One-Pass水下管道检测系统现场检测(图1)时,先用船只拖送过江电缆,使其与穿越管道两端的阴保测试桩连接构成一个闭合回路,再将电磁信号发射机串接到环路中,整个环路通过发射机持续发射低频信号供能。测量前,经过电磁信号强度多次校准,对不同的时间、空间以及高度进行定标;测量时,利用接收机在河面上沿“S”形路径来回跨越管道采集电磁信号,并用GPS对管道穿越路径进行定位,采集的数据经ARIVER数据处理软件及CAD绘图软件处理后,得到管道穿越路径平面图和埋深剖面图。

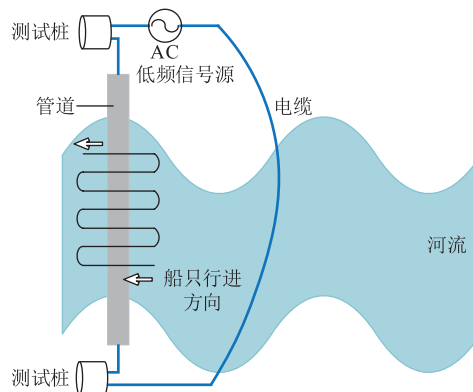


图1 One-Pass水下管道检测系统现场测量方法示意图

1.2 优化

尽管 One-Pass 水下管道检测系统具有探测精度高、定位准确、受干扰小等优点,但在实际使用过程中仅能探测埋深小于 15 m 的管道,此时管道埋深较均匀,电磁信号变化规律性明显。若直接将现有技术应用于埋深超过 20 m 且埋深变化大的定向钻河流穿越,则可能导致检测精度低、检测结果不可靠等问题^[14-20]。因此,针对定向钻河流穿越管道敷设状态检测,需要对 One-Pass 水下管道检测系统进行优化,并验证其应用效果。在运用 One-Pass 水下管道检测系统对定向钻河流穿越管道进行检测时,需要解决 3 个问题:①获取接近管道最大深度范围的校准数据;②选择检测设备增益;③防止流速对数据的干扰。针对上述问题,提出以下 5 项优化措施。

(1) 调整河流穿越管段检测分段方法。针对定向钻穿越管段,将分段方式调整为浅埋段($d_1 \leq 18$ m)和深埋段($d_1 > 18$ m),分别对浅埋段和深埋段进行独立检测。

(2) 电磁信号强度校准方式优化。优化前一般采用单个校准点的检测方式,只通过一次校准数据计算全穿越段的管道埋深。优化后的检测流程,通过选取多个校准点进行电磁信号强度校准,来获取接近管道最大深度范围的校准数据,并根据采集的数据建立动态管道埋深计算模型。针对浅埋段,选取 1 个或 2 个校准点进行电磁信号强度校准(即 1 次校准或 2 次校准);针对深埋段,选取 2 个以上校准点进行电磁信号强度校准。

(3) 电磁信号增益选择方法优化。深埋段和浅埋段各自确定适合的电磁信号增益,每个增益的选择应保证在采用该增益进行检测的范围内,检测读数需足够大且不超过接收机的量程范围。具体的选择方法为:

深埋段选用 One-Pass 水下管道检测接收机第二增益,浅埋管段采用 One-Pass 水下管道检测接收机第一增益。后期进行数据处理和埋深计算时,浅埋管段采用 1 次校准数据计算,深埋管段采用 2 次校准数据计算。

(4) 深埋陆地管段定位方式优化。现场试验结果表明:管道浅埋时,探管仪对管道的定位能保持高精度;管道深埋时,探管仪对管道的定位偏差逐步增大。对定向钻管道穿越段而言,常见的大部分管段属于深埋,应用探管仪将无法保证管道定位的准确性。因此,先将陆地段管道定位方式优化为浅埋段,直接采用探管仪定位;对于确实是深埋段的管道,应先用探管仪粗略定位管道大概位置,再用 One-Pass 水下管道检测接收机根据峰值法对管道的准确位置进行校核(即对探管仪测得的数据进行校核)。

(5) 检测数据校核。对于流速较快(2~3 m/s)的穿越管段电磁信号强度、水深等数据采集应不少于 3 次,并在检测完成后优先进行数据处理,剔除无效数据,保证检测的准确性。

2 实例应用

2.1 工程地质概况

以某定向钻穿越管段为例验证 One-Pass 水下管道检测系统的优化应用效果。该穿越河段检测长度 350.153 m,陆地段检测长度 780.34 m,检测总长 1 130.493 m。

2.2 优化检测结果分析

将穿越段竣工图与该穿越工程优化后的检测结果(4 次校准)进行对比(图 2)可见,沿线所有管道无裸露、浅埋段,河流水深最浅处 0.11 m、最深处 5.83 m,水下穿越段覆土质层厚度平均 28.69 m,覆土层厚度

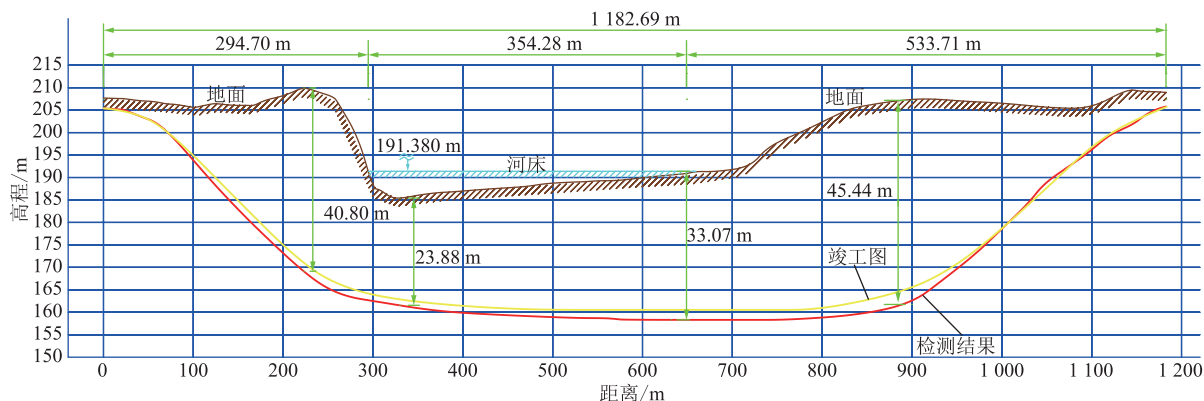


图 2 某定向钻穿越管段竣工图与 One-Pass 水下管道检测系统优化后的检测结果对比图

最大为 33.2 m、最小 23.38 m,检测结果未见异常。优化后检测结果(4次校准)与竣工资料中的竣工图总体变化趋势一致,在埋深较小区域几乎无明显差别,在埋深较大区域差别较小,说明优化后的检测达到了预期的效果。

2.3 优化检测效果对比

对该穿越工程采用优化前的一般检测流程进行检测,即在全段只采用第 1 次的校准数据。结果发现,由于管道埋深变化在 0~50 m 之间变化,现场无法确定出一个适合的接收机增益,当根据深埋段选择较大增益时,浅埋段会出现超量程的情况;当根据浅埋段选择增益时,深埋段接收机读数过低,且几乎无明显变化规律。

故一般检测流程无法应用于定向钻穿越管段。

采用优化后的流程对该穿越管段进行检测,根据设计资料该穿越管段平均埋深为 35 m 左右,分别采用 3 次和 4 次校准数据进行计算,并将检测结果绘制成图(图 3)进行对比。可见,当采用 3 次校准数据时,管道埋深检测结果普遍大于采用 4 次校准数据的检测结果,且埋深越大的位置,二者区别越明显。根据图 2,当采用 4 次校准数据时,检测结果与竣工资料能较好地符合,由此可见优化后的 One-Pass 水下管道检测系统可以有效地检测管道埋深在 40 m 范围内的河流穿越管段,且校准次数越多,其计算得到的结果与实际情况的符合程度越高。

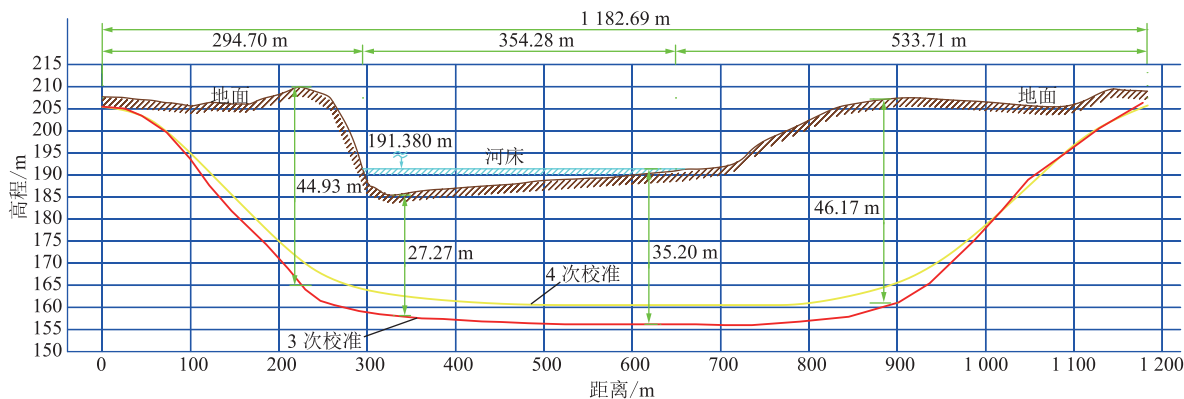


图 3 某定向钻穿越管段采用优化后的检测系统的 3 次校准与 4 次校准数据对比图

3 结论

河流穿越管段敷设状态的检测方法,应根据穿越管段基本情况以及不同的需求加以确定。对于大埋深定向钻穿越管段敷设状态的检测,采用优化的 One-Pass 系统以多次校准、多种增益的分段检测流程,能满足管道埋深在 40 m 范围内的管道敷设状态检测。针对应用过程中出现的电磁干扰问题,仍需进一步掌握通过电磁法探测金属管道的理论及方法,为河流穿越管段敷设状态检测奠定理论基础,寻求更优的电磁干扰排除方法,扩大电磁声波法的应用范围。今后,可对超大埋深金属管道电磁探测装置硬件电路进行优化设计,实现探测数据快速反演,研制河流穿越管段敷设状态检测国产化系统。

参考文献:

[1] 梁骁男,梁光川,张建强,黄薪宇,周军. 大型河流水平定向钻穿越技术研究[J]. 石化技术, 2019, 26(7): 78, 124.
LIANG X N, LIANG G C, ZHANG J Q, HUANG X Y, ZHOU

J. Study on horizontal directional drilling crossing technology in large rivers[J]. Petrochemical Industry Technology, 2019, 26(7): 78, 124.

[2] 何沫,张良,舒洁. 绝对电磁法管道测深系统在定向钻河流穿越管段的应用[C]. 福州: 2018 年全国天然气学术年会, 2018: 307-311.
HE M, ZHANG L, SHU J. Application of absolute electromagnetic pipeline sounding system in directional drilling river crossing section[C]. Fuzhou: 2018 National Gas Academic Annual Conference, 2018: 307-311.

[3] 刘素贞,张严伟,张闯,金亮,杨庆新. 电磁超声管道周向兰姆波仿真分析及缺陷检测特性研究[J]. 电工技术学报, 2017, 32(22): 144-151.

LIU S Z, ZHANG Y W, ZHANG C, JIN L, YANG Q X. Research on simulation analysis of electromagnetic ultrasonic circumferential lamb waves and defect feature detection in pipeline[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2017, 32(22): 144-151.

[4] 李振海,刘建军. 地下非开挖管线探测方法简介与应用[J]. 勘察科学技术, 2019, 4(3): 55-60.

- LI Z H, LIU J J. Brief introduction and application of underground non-excavation pipeline detection method[J]. Site Investigation Science and Technology, 2019, 4(3): 55-60.
- [5] 陈军, 陈泽元, 杨川. 基于深埋管线探测的井中磁梯度方法[J]. 地球科学, 2015, 40(12): 2120-2128.
- CHEN J, CHEN Z Y, YANG C. Borehole magnetic gradient method based on detection of deep underground pipeline[J]. Earth Science, 2015, 40(12): 2120-2128.
- [6] 曹乾. 浅谈城市市政燃气管道施工安全与质量事件专项应急预案的编制方法[C]. 成都: 中国燃气运营与安全研讨会(第九届)暨中国土木工程学会燃气分会 2018 年学术年会, 2018: 120-124.
- CAO Q. Discussion on the compilation method of special emergency plan for construction safety and quality incidents of urban municipal gas pipeline[C]. Chengdu: China Gas Operation and Safety Seminar (9th session) and 2018 Annual Meeting of Gas Branch of China Civil Engineering Society, 2018: 120-124.
- [7] 周春阳. 河流大开挖技术在管道施工中实际应用[J]. 中国石油企业, 2019(增刊 1): 101-104.
- ZHOU C Y. Practical application of river excavation technology in pipeline construction[J]. China Petroleum Corporation, 2019(S1): 101-104.
- [8] 陈更, 邢颂. 水下穿越管道腐蚀检测新方法 & 案例分析[J]. 全面腐蚀控制, 2020, 34(6): 1-3.
- CHEN G, XING S. New method and case analysis of corrosion detection for underwater crossing pipeline[J]. Total Corrosion Control, 2020, 34(6): 1-3.
- [9] 王晓司, 王勇, 杨静, 王晓霖. 电磁超声和漏磁管道内检测技术对比分析[J]. 石油化工自动化, 2018, 54(5): 55-57.
- WANG X S, WANG Y, YANG J, WANG X L. Comparative and analysis of electromagnetic acoustic transducer and magnetic flux leakage in pipelines internal inspection technology[J]. Automation in Petro-chemical Industry, 2018, 54(5): 55-57.
- [10] 孙峥, 李永虔, 杨金旭, 翟国富. 管道内检测电磁超声在线测厚装置[J]. 中国测试, 2017, 43(2): 69-72.
- SUN Z, LI Y Q, YANG J X, ZHAI G F. Thickness gauging equipment for ILI of pipelines using EMATs[J]. China Measurement & Testing Technology, 2017, 43(2): 69-72.
- [11] 杨理践, 申晗, 高松巍, 刘斌. 低频电磁的管道内检测器跟踪定位技术[J]. 沈阳工业大学学报, 2018, 40(1): 48-53.
- YANG L J, SHEN H, GAO S W, LIU B. Low frequency electromagnetic tracking and positioning technology for pipeline internal detector[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2018, 40(1): 48-53.
- [12] 李忠吉, 李长俊, 成婷婷, 何玉发. 电磁法在埋地管道磁记忆检测中的应用研究[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(6): 122-127.
- LI Z J, LI C J, CHENG T T, HE Y F. Application of electromagnetic method in magnetic memory testing of buried pipelines[J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(6): 122-127.
- [13] 浦哲, 任彬, 石生芳, 赵番, 王洁璐, 李玮. 穿越河流段管道检测方法研究[J]. 上海化工, 2019, 44(11): 29-32.
- PU Z, REN B, DAN S F, ZHAO F, WANG J L, LI W. Research on pipeline detection method for crossing river section[J]. Shanghai Chemical Industry, 2019, 44(11): 29-32.
- [14] 陶常飞, 徐永臣, 周兴华, 王方旗, 丁继胜, 林旭波. 起伏地形条件下侧扫声呐探测存在的问题及改进方法——以海底管道检测为例[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(5): 71-77.
- TAO C F, XU Y C, ZHOU X H, WANG F Q, DING J S, LIN X B. Problems and improvement methods of side-scan sonar detection under undulating terrain - a case study of submarine pipeline detection[J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science Edition), 2019, 49(5): 71-77.
- [15] 吕卫斌, 张晓莉, 欧阳祖军, 张厚今. 天然气输送管道的检测及安全运行措施[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(1): 172.
- LV W B, ZHANG X L, OUYANG Z J, ZHANG H J. Natural gas pipeline testing and safe operation of measures[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2018, 44(1): 172.
- [16] 冯景微. 穿越河流的长输管道施工方法[J]. 工程建设与设计, 2017(8): 138-139.
- FENG J W. Long-distance pipeline construction method of crossing rivers[J]. Construction & Design for Project, 2017(8): 138-139.
- [17] 卢泓方, 吴晓南, ISELEY T, MATTHEWS J, 彭善碧. 国外天然气管道检测技术现状及启示[J]. 天然气工业, 2018, 38(2): 103-111.
- LU H F, WU X N, ISELEY T, MATTHEWS J, PENG S B. The status quo of natural gas line pipe inspection technologies abroad and its implications for China[J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(2): 103-111.

(下转第 77 页)

- stations[J]. *Natural Gas and Oil*, 2011, 29(5): 11-14, 100.
- [13] MAJDALANI J, MAICKE B A. Direct calculation of the average local Mach number in converging-diverging nozzles[J]. *Aerospace Science and Technology*, 2013, 24(1): 111-115.
- [14] 娄晨, 宫敬, 林棋, 林金贤, 彭清华. 输气干线放空系统水力特性[J]. *油气储运*, 2014, 33(5): 542-548.
LOU C, GONG J, LIN Q, LIN J X, PENG Q H. Hydraulic characteristics of the blow-down system of gas trunk lines[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2014, 33(5): 542-548.
- [15] 蒲丽珠, 陈利琼, 杨文川. 天然气管道放空设置方式探讨[J]. *天然气与石油*, 2014, 32(1): 50-52.
PU L Z, CHEN L Q, YANG W C. Setting of natural gas vent pipe[J]. *Natural Gas and Oil*, 2014, 32(1): 50-52.
- [16] PICARD D. International methane recovery and project opportunities in the oil and gas industry[C/OL].(2004-11-17)[2020-07-10]. Calgary: Methane to Markets Ministerial Meeting, 2004. [https://www.globalmethane.org/\(X\(1\)S\(y3ejwpqe411whhuj1b1njsxc\)\)/documents/events_oilgas_20041115_picard.pdf](https://www.globalmethane.org/(X(1)S(y3ejwpqe411whhuj1b1njsxc))/documents/events_oilgas_20041115_picard.pdf).
- [17] 晏伟. 输气站场放空系统设计思路[J]. *石油工程建设*, 2012, 38(6): 39-43.
YAN W. Venting system design thinking of gas transmission station[J]. *Petroleum Engineering Construction*, 2012, 38(6): 39-43.
- [18] 李育天, 吴长春, 雷依婷, 于阳. 输气管道计划放空方式对比[J]. *油气储运*, 2019, 38(4): 429-434.
LI Y T, WU C C, LEI Y T, YU Y. Comparison analysis on the scheduled venting modes of gas pipelines[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2019, 38(4): 429-434.
- [19] 汤冠琼, 林宇震, 秦皓, 丁志磊. 带阻塞喷射的大流量排气管降噪处理[J]. *噪声与振动控制*, 2014, 34(5): 102-105.
TANG G Q, LIN Y Z, QIN H, DING Z L. Noise control for large flux exhaust pipe with choked jet[J]. *Noise and Vibration Control*, 2014, 34(5): 102-105.
- [20] 李育天, 姬忠礼, 于阳, 张文花. 大口径、高压输气管道放空系统泄放后果分析及改进建议[J]. *天然气与工业*, 2018, 38(2): 97-102.
LI Y T, JI Z L, YU Y, ZHANG W H. Discharge effect analysis and improvement of the venting system of large diameter and high pressure gas line pipes[J]. *Natural Gas Industry*, 2018, 38(2): 97-102.
(收稿日期: 2018-12-28; 修回日期: 2020-10-17; 编辑: 杜娟)

作者简介: 李龙冬, 男, 1985年生, 工程师, 2008年毕业于中国石油大学(北京)油气储运工程专业, 现主要从事输油气调度运行管理工作。地址: 新疆乌鲁木齐市高新区天津北路西五巷99#中油大厦, 830011。电话: 18799176310。Email: 404726939@qq.com

(上接第70页)

- [18] 徐岩. 大口径输水管道穿越河流施工方案探析[J]. *甘肃水利水电技术*, 2019, 55(9): 63-65.
XU Y. Analysis on construction scheme of large-diameter water conveyance pipeline crossing river[J]. *Gansu Water Resources and Hydropower Technology*, 2019, 55(9): 63-65.
- [19] 邢杨. 大型河流长输管道穿越设计与施工技术探讨[J]. *石化技术*, 2018, 25(1): 276.
XING Y. Discussion on the design and construction technology of pipeline crossing in large river[J]. *Petrochemical Industry Technology*, 2018, 25(1): 276.
- [20] 袁海涛. 浅析油气长输管道工程施工风险管理[J]. *全面腐蚀控制*, 2019, 33(6): 47-49.
YUAN H T. Analysis on construction risk management of oil and gas long distance pipeline engineering[J]. *Total Corrosion Control*, 2019, 33(6): 47-49.
(收稿日期: 2018-05-02; 修回日期: 2020-10-29; 编辑: 张雪琴)
- 作者简介:** 谢崇文, 男, 1990年生, 工程师, 2018年硕士毕业于西南石油大学油气储运工程专业, 现主要从事管道检测及评价方面的研究。地址: 四川省成都市高新区天府大道北段12号中石油科技大厦, 610041。电话: 18628962968。Email: xchongwen@petrochina.com.cn