

中俄东线天然气管道剩磁焊接指标研究

谭 笑¹ 刘少柱² 吴晓光² 柳 尚²

1. 中油管道科技研究中心, 河北 廊坊 065000;
2. 中国石油管道公司, 河北 廊坊 065000

摘 要:长输管道在建设、改线或维抢修作业时,常会遇到管道对口处有磁偏吹现象,使得在焊接施工时,电弧发生偏离,导致焊接缺陷甚至无法焊接施工,严重影响工程进度及管道本质安全。分析了管道剩磁的产生机理和危害,梳理并对比了国内外对于管道焊接剩磁的指标要求,并通过试验验证了管道剩磁在中俄东线天然气管道焊接作业中的适用性。试验结果表明,对于高钢级管道磁场强度应当至少低于 5 mT,才能满足焊接的要求进行施焊。试验结果对类似天然气管道焊接作业有较好的指导意义。

关键词:中俄东线;焊接;剩磁

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2020.02.004

Study on Pipeline Remanence Index of the China-Russia Eastern Gas Pipeline Project

Tan Xiao¹, Liu Shaozhu², Wu Xiaoguang², Liu Shang²

1. PetroChina Pipeline R & D Center, Langfang, Hebei, 065000, China;
2. PetroChina Pipeline Company, Langfang, Hebei, 065000, China

Abstract: During the construction, reroute and repairing of long-distance pipeline, magnetic blow in pipeline junction is frequently occurring. Magnetic blow, which means welding arc deviation, will lead to welding defect or even welding failure, and then, seriously affect the progress of the project and the essential security of pipeline. The pipeline remanence will lead to magnetic blow, resulting in welding defect and then seriously affect the essential security of pipeline. After the study of mechanism and hazard of residual magnetism in pipeline and the comparison of pipeline remanence index at home and abroad, a verification experiment of the China-Russia Eastern Gas Pipeline Project has been made for defining the effect of remanence on welding. The experimental results show that the welding operation can be carried out only when the magnetic field strength of the pipeline is lower than 5 mT. The test results will effectively guide the welding operation of similar gas pipeline.

Keywords: The China-Russia Eastern Gas Pipeline Project; Welding; Remanence

收稿日期:2019-12-02

基金项目:中国石油管道公司科研课题“大口径油气管道维抢修技术及装备研发”(2017/B-3106-0506)

作者简介:谭 笑(1989-),男,河北沧州人,工程师,硕士,主要从事油气管道标准方向的研究工作。E-mail:tanxiao01@petrochina.com.cn

0 前言

在长输管道的建设、维抢修过程中,经常产生管道剩磁现象,实施焊接作业时,焊接管口存在的剩磁将导致磁偏吹现象的产生^[1-3]。如果不对磁偏吹加以控制,将对焊接产生严重影响:轻者,电弧的稳定燃烧受到影响,造成焊缝根部未焊透、未融合,必须重新焊接管道;重者,焊接作业将无法正常工作,因而影响工程进度和工程质量,恶化管道的物理特性,造成严重的经济损失^[4-5]。

1 剩磁产生的原因与危害

1.1 剩磁产生的原因

在管道换管焊接作业时经常会看到电弧引燃困难、电弧燃烧稳定的破坏、明显的磁偏吹现象,尤其是磁偏吹将对焊接作业造成很大影响和危害,这些都是由于管道剩磁导致的。电弧磁偏吹是由于弧焊电流产生的磁场和被焊接金属本身的剩磁干扰,而产生电弧不规则偏离的现象^[6-8]。焊接电弧的微观结构由分离且有运动方向的正、负电荷组成,流动电荷产生的电流促使电弧周围产生感应磁场。管口剩磁会破坏分布均匀的电弧磁场,使局部的洛伦兹力过大,受力不均匀的电弧将偏离焊条的轴线方向,与电极轴形成倾斜角度,产生电弧磁偏吹,电弧磁偏吹起因见图 1(F_1 为电弧左侧磁场产生的洛伦兹力; F_2 为电弧右侧磁场产生的洛伦兹力)^[8]。

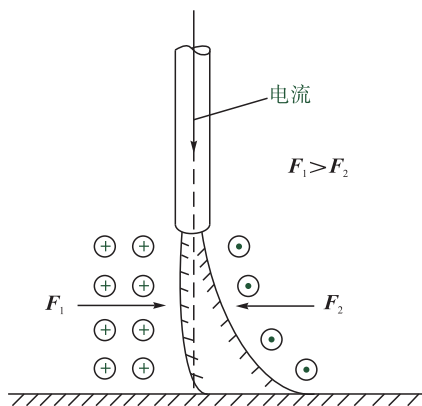


图 1 电弧磁偏吹起因示意图

Fig. 1 Causes of electric arc magnetic blowing deviation

由实践经验和理论分析^[9]可知,管道属于铁磁性材料,对于磁性材料而言,存在一条磁化曲线和磁滞回线,见图 2。没有外加磁场时,管壁处于未磁化状态,磁场强度为 0;当存在外加磁场时,管壁被磁化,磁化曲线为 OS 或 OS' 段。当外加磁场强度大于 H_s 时,管壁的磁感应强

度由 0 达到了饱和磁化状态 B_s ;当外加反向磁场强度大于 $-H_s$ 时,管壁的磁感应强度为反向饱和磁化状态 B_s' ;而当外加磁场去除时,管壁的外加磁场变为 0,此时管壁的磁感应强度并不是沿曲线 SO 变化,而是沿曲线 SS' 或 $S'S$ 变化,因此导致管壁中存在剩磁,使新旧管道在焊接过程中出现了磁偏吹现象。

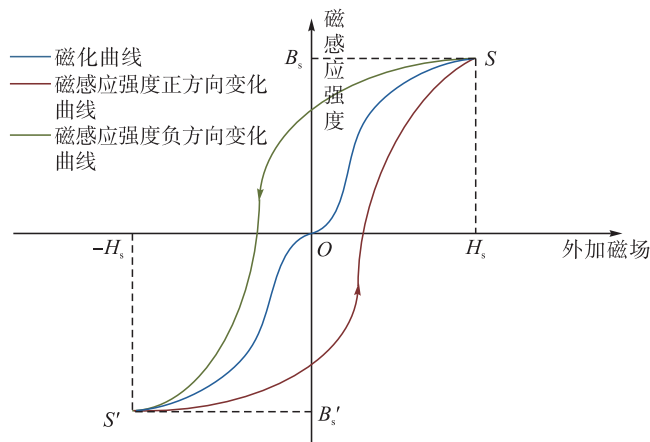


图 2 管道磁化曲线和磁滞回线原理图

Fig. 2 Schematic of pipeline magnetization curve and hysteresis loop

管道偏转磁场主要是由铁磁性基体材料(包括钢、铁、镍等)产生的残余磁性造成的。因此,中俄东线天然气管道这样的高等级钢材,特别是镍含量高的高等级合金钢更容易被磁化。导致钢管被磁化从而携带残余磁性的原因有多种,钢管在制造、涂层处理、运输和服役期间都有可能被磁化^[10-12]。一些典型的钢管被磁化的情况包括:使用电磁起重机,运输途中通过高压输电线区域,铣削、锻压、矫直过程中钢材和工具之间的磨损和摩擦,下沟过程中产生磨损和摩擦,流动的油品导致管道磁化。

1.2 剩磁的危害

剩磁产生的磁偏吹能造成飞溅、焊缝珠状成型、孔隙和夹渣等问题。这些问题会导致焊接质量不合格,无法通过质量检验,需要修理或返工。电弧磁偏吹的危害具体表现在三方面^[13]:

1) 电弧磁偏吹会造成电弧燃烧不充分,使飞溅加大,尤其是在氩弧焊根焊时,焊接声音异常与纤维素焊条根焊声音类似,易产生夹渣、气孔等焊接缺陷。

2) 电弧磁偏吹会造成电弧不稳定偏移,再加上弧柱的作用力不强,出现熔滴过渡不规则,会对焊缝成形产生影响,造成断续性或者连续性的咬边、未熔合、未焊透缺陷。电弧磁偏吹现象见图 3。

3) 电弧磁偏吹会使电弧周围的保护气体也受到影响,空气可能混入到熔池中,引发夹渣、气孔等缺陷。

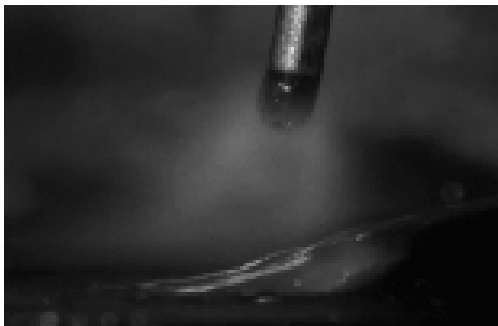


图3 电弧磁偏吹现象照片

Fig.3 Photo of phenomenon of electric arc magnetic blowing deviation

2 国内外管道剩磁强度指标与要求

由于影响钢管磁化强度的因素很多,所以从钢管产品中的测量到剩磁强度有较大的分布区间,目前还未能确立一个典型量值来代表普遍的钢管剩磁强度。管道剩磁的现场测量通常在 5~50 Gs 范围内,有时剩磁的测量可以达到非常高的值,远远超过 50 Gs。一些厚度较大的高屈服强度合金钢板(如造船业常用的钢板)中测得的剩磁可达到 350~650 Gs。图 4 显示钢管道的磁场强度强大到能把大锤吸附在管道上^[14]。



图4 现场管道剩磁照片

Fig.4 Photo of remanence on site pipeline

美国现行的焊接行业规范中还没有钢管剩余磁性的最大允许强度的规定,参照 API 标准 1104 和 AWS D1.1。由于管道剩磁在对焊接的影响仅体现在焊接过程中,对焊接后的焊缝以及施工完成后管道的使用与运行并没有影响,因此美国的行业标准没有要求管道消磁的规范^[15-17]。

尽管没有特殊规范,目前在国内外管道施工领域中

普遍认同在低于 10 Gs 的管道剩磁环境下,焊接过程完全可以正常进行。当遇到 10~20 Gs 磁场时,焊工可以采用一些简单实用的措施来防止电弧偏吹,把影响降至最低从而保证焊接质量;而当管道剩磁达到 20~50 Gs 时,它对焊接将有较明显的影响。剩磁会导致电弧不稳,并且频繁发生电弧偏吹;当磁场强度超过 50 Gs 时,焊工进行电弧焊会变得非常困难,焊接质量受到严重影响,必须采取措施来消除或减弱剩磁^[18-20]。

根据 GB/T 9711-2011《石油天然气工业管线输送系统用钢管》标准和 API Spec 5 L(44 版)/ISO 3183 2007《管线钢管规范》标准中附录 E.7.6 规定,钢管在出厂前应在管口一端沿周向大约相距 90°测量 4 个读数,当用霍尔效应高斯计测量时,4 个读数的平均值为 3 mT(30 Gs),且任一读数不应超过 3.5 mT(35 Gs)时,方达到合格标准。

3 中俄东线天然气管道剩磁对焊接的影响

由于中俄东线工程所用管道采用的是 $\Phi 1422 \times 21.4$ mm、X 80 M 钢管,此类高钢级管道剩磁对焊接的影响目前尚不明确,因此开展试验验证对高钢级管道剩磁影响进行分析。

3.1 实验方法

1)在管口选择一点作为试验位置,使用高斯计测量并调整消磁机参数对管口处加磁至试验所需磁感应强度,此次试验位置定位管口 9 点钟位置。

2)使用焊条电弧焊在不用磁感应强度下进行焊接作业并记录对焊接的影响。

3.2 试验结果分析

通过观察实验过程发现,当焊口磁感应强度为 3 mT 和 5 mT 时,焊工可以正常进行焊接作业,管口对焊材没有明显的吸附现象,对焊接质量也没有影响;一旦磁感应强度逐渐增强超过 5 mT 时,试验位置管口逐渐开始吸附焊材,焊接作业越来越难以进行,当磁感应强度达到 25 mT 时,已经可以将整根 $\Phi 3.2$ mm J 507 H 焊条吸附在管口上,焊接作业无法进行。中俄东线天然管道剩磁焊接影响试验结果见表 1。

表1 中俄东线天然气管道剩磁焊接影响试验结果表

Tab.1 Results of the China-Russia Eastern Gas Pipeline remanence welding effect test

磁感应强度 /mT	管壁吸附焊材	引弧情况	磁偏吹	熔滴过渡	熔池成型	是否允许焊接
3	无吸附	引弧正常	微弱	正常过渡	良好	是
5	无吸附	引弧正常	微弱	正常过渡	良好	是
10	轻微吸附	引弧后有轻微摇摆	微弱	过渡轻微不规则	有轻微影响	否
15	轻微吸附	引弧后有轻微摇摆	较弱	过渡不规则	成型不规则	否
20	轻微吸附	引弧后有摇摆	较弱	过渡不规则	成型不规则	否
25	吸附	引弧后有摇摆	强烈	无法过渡	成型不规则	否

因此,长输油气管道管口焊接前磁场强度应当至少低于 5 mT,才能符合焊接的要求进行施焊,否则焊接质量将无法保证,易造成焊接缺陷。而对于中俄东线天然气管道应执行更严格的焊接要求,必须达到国家和国际标准要求的 3 mT 以下才允许施焊。

4 结论

目前,国内外对于焊接作业时管道的剩磁指标没有明确的标准要求,钢管的制造标准要求磁感应强度必须小于 3 mT 方可出厂。管道剩磁焊接影响试验结果表明,对于中俄东线天然气管道所采用的 X 80 高强度管道,磁场强度应当至少低于 5 mT,才能符合焊接的要求进行施焊,否则焊接质量将无法保证,而对于中俄东线天然气管道应执行更严格的焊接要求,必须达到国家和国际标准要求的 3 mT 以下才允许施焊。同时建议根据不同管径和管材的性质,尽快制定焊接剩磁标准。

参考文献:

- [1] 张 勇. 天然气长输管道带磁原因及施工时的消磁方法[J]. 中国高新技术企业, 2016(22): 27-29.
Zhang Yong. Causes of Magnetization and Demagnetization Methods of Long-Distance Natural Gas Pipeline During Construction [J]. China High-Tech Enterprises, 2016 (22): 27-29.
- [2] 张 科, 贾春龙, 张 研, 等. 埋地输气管道消磁施焊方法讨论[J]. 石油工业技术监督, 2015, 31(5): 28-30.
Zhang Ke, Jia Chunlong, Zhang Yan, et al. Discussion on Demagnetization Welding Method for Buried Gas Pipeline [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2015, 31 (5): 28-30.
- [3] 宋满堂. 采用搭桥引磁法解决管道磁化焊接偏吹[J]. 石油和化工设备, 2015, 18(6): 51-53.
Song Mantang. Using Magnetic Bypass to Solve Pipeline Magnetization Welding Blow [J]. Petro & Chemical Equipment, 2015, 18 (6): 51-53.
- [4] 杨 磊, 刘新海, 钱 洪. 浅谈长输天然气管道绕线组法消磁方法[J]. 金属加工, 2015(6): 47-48.
Yang Lei, Liu Xinhai, Qian Hong. Discussion on Natural Gas Pipeline Winding Demagnetization Method [J]. MW Metal Forming, 2015 (6): 47-48.
- [5] 崔 嘉, 黄文俊, 杨安益, 等. 长输天然气管道焊口带磁的产生原因及消磁方法[J]. 天然气工业, 2011, 31(7): 74-76.
Cui Jia, Huang Wenjun, Yang Anyi, et al. Reasons for the Occurrence of Magnetic Field on Pipeline Craters and the Relevant Demagnetization Methods [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31 (7): 74-76.
- [6] 黄 强, 章 磊, 张城伟, 等. 基于 ANSYS 管道焊接中交流消磁法的磁场分析[J]. 石油化工设备, 2012, 41(1): 25-28.
Huang Qiang, Zhang Lei, Zhang Chengwei, et al. AC Demagnetizing Method in Pipeline Welding Based on ANSYS Analysis and Simulation of Magnetic Field [J]. Petro-Chemical Equipment, 2012, 41 (1): 25-28.
- [7] 林 猛, 牛迎战. 管道剩磁产生原因与解决方法[J]. 油气储运, 2011, 30(11): 878-879.
Lin Meng, Niu Yingzhan. Reasons Caused Residual Magnetic Flux and Solutions for Products Pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2011, 30 (11): 878-879.
- [8] 陈 鑫, 章 磊, 王晓诗, 等. 长输管道直流消磁法及其 ANSYS 数值模拟[J]. 当代化工, 2012, 41(11): 1255-1258.
Chen Xin, Zhang Lei, Wang Xiaoshi, et al. DC Degaussing Method for Long Distance Pipelines and Numerical Simulation with ANSYS [J]. Contemporary Chemical Industry, 2012, 41 (11): 1255-1258.
- [9] 张 博. 管道焊接中磁偏吹现象分析及解决方法[J]. 化工管理, 2013(5): 237.
Zhang Bo. Analysis and Solution of Magnetic Blowing Deviation in Pipeline Welding [J]. Chemical Enterprise Management, 2013 (5): 237.
- [10] 方晓东, 鞠平顺, 甘正红, 等. 基于均匀磁化的 SAWH 焊管无级直流在线两点消磁法[J]. 钢管, 2013, 42(4): 56-59.
Fang Xiaodong, Ju Pingshun, Gan Zhenghong, et al. Homogeneous Magnetization-Based Infinite DC On-Line 2-Point Demagnetization Process for SAWH Pipes [J]. Steel Pipe, 2013, 42 (4): 56-59.
- [11] 张延涛, 苗慧霞, 刘 磊. 电站强磁场干扰下管道消磁焊接工艺的研究[J]. 焊接技术, 2016, 45(9): 70-72.
Zhang Yantao, Miao Huixia, Liu Lei. Demagnetization Welding Process Research of Power Plant Pipes Under the Disturbance of Strong Magnetic Field [J]. Welding Technology, 2016, 45 (9): 70-72.
- [12] 金 娜, 陈保东, 韩 莉, 等. 管道焊接前消磁方法[J]. 管道技术与设备, 2009(5): 42-43.
Jin Na, Chen Baodong, Han Li, et al. Pipeline Welding Method of the Former Degaussing [J]. Pipeline Technique and Equipment, 2009 (5): 42-43.
- [13] 许贵芝. 俄罗斯管道焊接前的现代消磁方法[J]. 焊管, 2002, 25(5): 57-60.
Xu Guizhi. Modern Eliminating Magnetism Method Before Welding in Russian Pipeline [J]. Welded Pipe and Tube, 2002, 25 (5): 57-60.