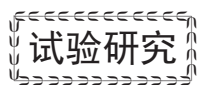


doi: 10.3969/j.issn.1001-4837.2025.01.003



## X80 管线钢半自动焊环焊缝强度匹配特征分析

车荣杰<sup>1</sup>, 吕加华<sup>1</sup>, 刘宏业<sup>1</sup>, 万一鸣<sup>1</sup>, 宋卫臣<sup>1</sup>, 姚登樽<sup>2,3</sup>

(1. 中石化石油工程设计有限公司, 山东东营 257026; 2. 中国特种设备检测研究院, 北京 100029;

3. 国家市场监督管理总局技术创新中心(油气管道与储存设备安全), 北京 100029)

**摘要:**为探究 X80 管线钢半自动焊环焊缝强度匹配特性, 采用压痕试验、微剪切试验及数字图像相关法(Digital image correlation, DIC)进行研究。试验结果表明, 焊缝根焊层与热影响区呈现显著强度软化现象, 其强度值低于母材, 构成环焊缝系统的强度薄弱区域。基于 DIC 试验结果, 在低强匹配工况下, 初始塑性变形集中于根焊与盖面焊趾的应力集中区, 随后沿最大剪应力方向(45°)形成贯通壁厚的应变带扩展路径, 与 PRCI(Pipeline research council international)提出的环焊缝软化模型预测结果高度吻合, 验证了该模型在工程失效分析中的适用性。研究建议环焊缝设计应遵循等强或高强匹配原则, 并在现有焊接工艺评定体系中增补压痕硬度测试、微剪切强度评估及 DIC 等先进表征方法, 以提升高钢级管道环焊缝的强度控制精度。

**关键词:** X80 管线钢; 环焊缝; 半自动焊; 强度匹配

中图分类号: TH142; TG142.1; TG457.6

文献标志码: A

## Strength matching analysis of semi-automatic circumferential welds in X80 pipeline steel

CHE Rongjie<sup>1</sup>, LYU Jiahua<sup>1</sup>, LIU Hongye<sup>1</sup>, WAN Yiming<sup>1</sup>, SONG Weichen<sup>1</sup>, YAO Dengzun<sup>2,3</sup>

(1. Sinopec Petroleum Engineering Design Co., Ltd., Dongying 257026, China; 2. China Special Equipment Inspection &amp; Research Institute, Beijing 100029, China; 3. Technology Innovation Center of Oil and Gas Pipeline and Storage Equipment Safety, State Administration for Market Regulation, Beijing 100029, China)

**Abstract:** To investigate the strength matching characteristics of semi-automatic welded circumferential joints in X80 pipeline steel, this study employs indentation testing, micro-shear testing, and digital image correlation (DIC). The test results indicate significant strength softening in the root weld layer and heat-affected zone (HAZ), where strength values are lower than the base metal, forming weak regions in the circumferential weld system. Based on DIC analysis, under undermatching conditions, initial plastic deformation concentrates in stress concentration zones at the root weld and cap weld toe, followed by strain band propagation along the maximum shear stress direction (45°) which fully penetrates the wall thickness. These findings align closely with the circumferential weld softening model proposed by the pipeline research council international (PRCI), validating its applicability in engineering failure analysis. The study recommends designing circumferential welds with equal or overmatching strength principles and supplementing existing welding procedure qualification systems with advanced characterization methods such as indentation hardness testing, micro-shear strength evaluation, and DIC to enhance strength control accuracy in high-grade pipeline circumferential welds.

**Key words:** X80 pipeline steel; circumferential weld; semi-automatic welding; strength matching

收稿日期: 2024-11-11 修回日期: 2025-01-08

基金项目: 中国特种设备检测研究院 2022 重点 13“城镇燃气管道安全风险防控关键技术与装备”

## 0 引言

随着油气长输管道建设的不断发展,高钢级管道凭借其优异的性能,逐渐成为了该领域的建设主流。尽管国内外针对高钢级管道开展了广泛且深入的研究,但这一领域仍然存在诸多问题。其中,高钢级管道环焊缝的质量问题尤为突出,“6.10”“7.2”等油气管道事故<sup>[1-3]</sup>就是环焊缝质量问题导致严重后果的典型案列。

在对高钢级管道环焊缝的研究中,冯庆善<sup>[4]</sup>针对高钢级管道环焊接头强度匹配进行探讨,并指出“6.10”“7.2”事故是由于低强匹配的环焊缝在复杂的地层作用下发生了断裂。戴联双<sup>[5]</sup>也指出高钢级管道焊缝和母材的强度匹配是影响焊接结构承载能力的重要因素。姜昌亮<sup>[6]</sup>通过研究发现X65, X70及X80钢现场抽检环焊缝低强匹配的比例分别为1.9%, 38.3%, 10.5%,反映出低强匹配问题的严重性和普遍性。马来西亚Petronas公司的一条X70钢级管道分别在2014年和2018年发生2次环焊缝开裂事故<sup>[7]</sup>,事故原因也与环焊缝低强匹配相关。2020年,加拿大能源局(CER)发布公告,行业内要高度关注高钢级管线环焊缝的强度问题,避免因环焊缝低匹配而导致的强度失效<sup>[8-9]</sup>。高钢级环焊缝低强匹配成为国内外油气管道本质安全的一大痛点<sup>[10-12]</sup>,因此,研究高钢级环焊缝强度匹配特征对于揭示其失效机理,提升油气管道的安全性和可靠性,具有重要意义。

目前,焊接工艺评定中所采用的焊缝强度匹配评估主要依赖焊缝拉伸试验和硬度试验。由于环焊缝具有非均质特征,传统的焊缝拉伸试验和硬度试验难以全面、有效地表征焊缝结构的不均匀习性,无法精准地反映环焊缝在实际工况下的力学性能和强度匹配情况。因此,探索基于微试样测试的焊缝局部力学性能表征方法,以实现环焊缝多尺度、多维度的强度匹配表征,已成为该领域的研究热点。MIDAWI等<sup>[13-14]</sup>采用压痕法对X80管线钢焊接屈服强度的不匹配度进行了评估;宋明等<sup>[15-16]</sup>运用DIC对X70, X80环焊缝的强度匹配情况进行了深入研究。

为进一步深入了解高钢级管道环焊缝的强度匹配特征,本文以X80管线钢半自动焊环焊缝为研究对象,采用焊缝压痕试验、微剪切试验和DIC试验手段,对其强度匹配特征进行系统研究,分析焊缝强度性能分布特征,揭示环焊缝强度薄弱点,为提高高钢级管道环焊缝的质量和安全性提供更可靠的理论依据和技术支持。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 试验材料

试验用管材为X80,管径为1 016 mm,壁厚为18.4 mm。焊接工艺为GMAW(根焊)+FCAW-S(Flux-cored Arc Welding with Self Shielding)(填充、盖面),坡口角度 $22^{\circ} \pm 1^{\circ}$ ,具体工艺参数见表1。

表1 X80半自动焊环焊缝焊接工艺

Tab.1 Welding process of X80 FCAW-S girth weld

焊接方法	焊材	焊道	焊接方向	极性	电流/A	电压/V	送丝速度/(cm·min <sup>-1</sup> )	焊接速度/(cm·min <sup>-1</sup> )
GMAW	伯乐SG3-P $\varnothing$ 0.9 mm	根焊	下向	DCEP	380~430	55~65	130~160	18~35
FCAW-S	HOBART FABSHIELD X80 $\varnothing$ 2.0 mm	填充	下向	DCEP	200~280	18~22	85~120	15~28
		盖面	下向	DCEP	180~240	18~20	80~95	12~26

注:DCEP表示焊丝与焊接电源正输出端关联。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 焊缝拉伸试验

根据GB/T 31032—2023《钢质管道焊接及验收》要求,进行环焊缝拉伸取样和性能测试。试件数量6个,测试方法按照GB/T 228.1—2021《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》执行。

#### 1.2.2 焊缝硬度试验

根据标准要求,进行环焊缝硬度试样取样和

性能测试,试件数量3个,试验载荷为10 kg,测试方法按照GB/T 4340.1—2024《金属材料 维氏硬度试验 第1部分:试验方法》执行。

#### 1.2.3 压痕试验

压痕试验设备如图1所示。压痕试验最早于1989年提出,1999年通过理论证明了压入测试获得的材料应力-应变关系具有唯一性<sup>[17]</sup>。本文采用球形压头进行压痕试验,并按照GB/T 37782—2019

《金属材料 压入试验 强度、硬度和应力-应变曲线的测定》执行,设备载荷量程为2 kN,精度为0.5级。

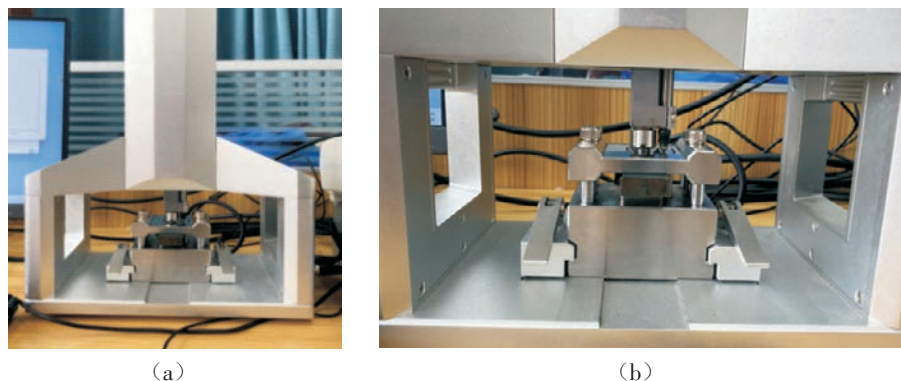


图1 压痕试验设备

Fig.1 Equipment of indentation test

### 1.2.4 微剪切试验

微剪切试验由柏林工业大学 Lutz Dorn 等在 20 世纪 80 年代提出<sup>[18]</sup>,该方法适用于焊接接头等非均匀材料的微区性能研究。微剪切试样横跨整个焊缝区,尺寸为 1.5 mm×1.5 mm×40 mm,制备

完成后,对焊缝区域依次进行抛光与腐蚀处理。随后,将处理好的试样置于微剪切试验机上开展剪切试验,试验装置示意如图 2 所示,设定剪切间距为 1 mm。

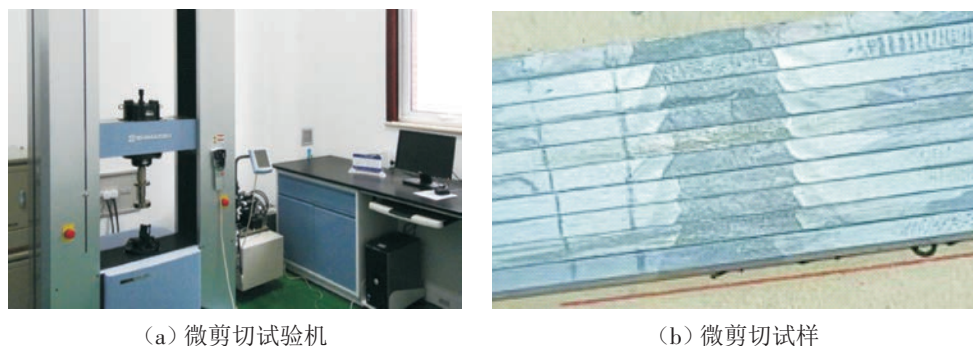


图2 微剪切试验

Fig.2 Microshear testing

### 1.2.5 DIC 试验

DIC 借助光学测量方法,试验设备由照明光源、数字 CCD 相机、镜头等组成,如图 3 所示,可实现全程应变跟踪测量<sup>[19-20]</sup>。

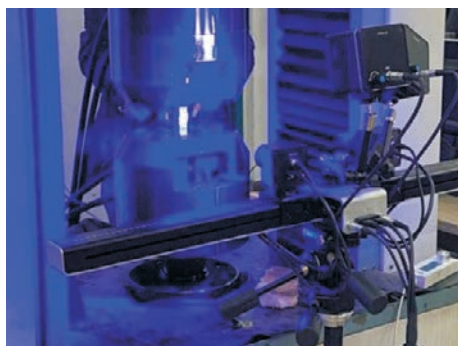


图3 DIC 试验设备

Fig.3 DIC test equipment

## 2 试验结果

### 2.1 组织分析

X80 半自动焊焊缝环焊缝组织的金相组织如图 4 所示。根焊层组织主要以粒状贝氏体为主,同时含少量的珠光体;填充层组织以粒状贝氏体和板条贝氏体为主;盖面层的原奥氏体晶界清晰可见,其组织以板条贝氏体为主,并含有少量粒状贝氏体。

### 2.2 焊缝拉伸试验

焊缝拉伸试验结果如表 2 所示。其中,有 50% 的试样断裂发生在近缝区,其余试样断裂发生在母材上。拉伸强度最小值为 620 MPa,最大值为 639 MPa。

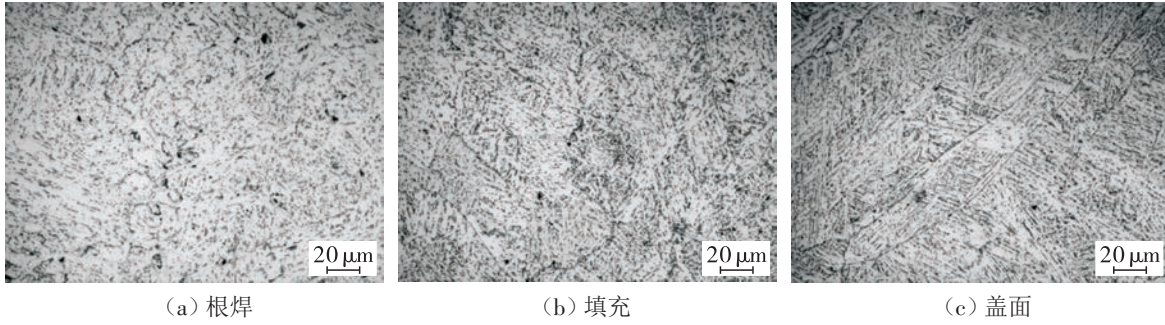


图4 X80半自动焊焊缝组织

Fig.4 Microstructure of X80 FCAW-S girth weld

表2 X80半自动焊环焊缝拉伸试验结果

Tal.2 Tensile test results of X80 FCAW-S girth weld

试样编号	抗拉强度/MPa	断裂位置
T1	620	母材
T2	631	母材
T3	625	近缝区
T4	635	近缝区
T5	639	母材
T6	633	近缝区

根据GB/T 31032—2023,焊缝强度满足要求,但由于焊缝拉伸试样未去除焊缝余高,导致其结果不能有效反应焊缝的强度匹配情况。然而,由于有一半试样断裂发生在近缝区,从结果中也能反映出实际焊缝热影响区强度与母材相比存在一定的低强匹配倾向。

2.3 焊缝硬度试验

焊缝硬度试验结果如图5所示,可以看出,根焊位置的硬度约为190 HV10,盖面位置的硬度约为240 HV10,根焊的强度明显低于盖面。此外,通过盖面层的硬度分布曲线可以看出,盖面层热影响区硬度存在明显的降低趋势,热影响区硬度为200 HV10。

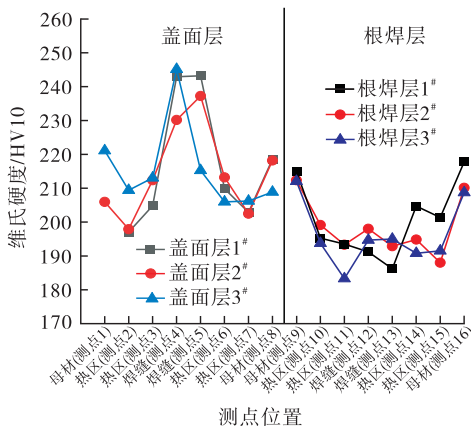
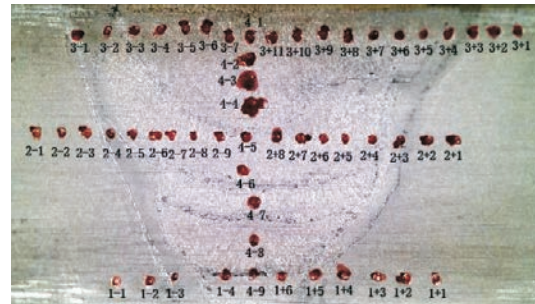


图5 X80半自动焊环焊缝硬度试验结果

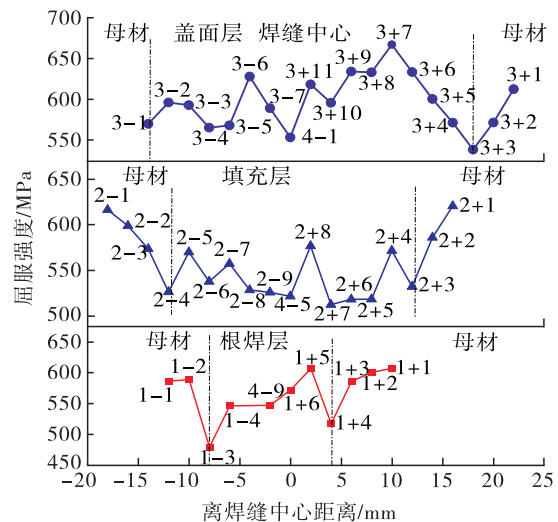
Fig.5 Hardness test results of X80 FCAW-S girth weld

2.4 压痕试验结果

图6示出了压痕法得到的焊缝根焊、填充层和盖面层的强度匹配情况。可以看出,焊缝根焊位置,除了个别点(点1+5)外,热影响区和焊缝中心强度均低于母材;填充层与根焊层的情况基本一致,热影响区和焊缝中心强度均低于母材;盖面层的热影响区强度低于母材,焊缝中心强度与母材基本相当。



(a) 测点



(b) 焊缝强度

图6 压痕试验焊缝强度匹配情况

Fig.6 Indentation test for girth weld strength matching situation

## 2.5 微剪切试验结果

分别从根焊层、填充层和盖面层取试样进行剪切性能测试,每层取3个平行试样,试验结果见图7。

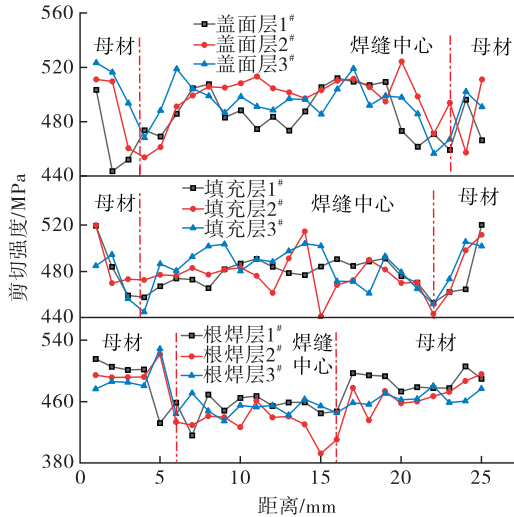


图7 环焊缝微剪切试验焊缝强度匹配情况  
Fig.7 Microshear test for girth weld strength matching situation

从图7可以看出,微剪切试验结果与压痕硬度结果基本一致。焊缝热影响区和焊缝中心强度普遍低于母材,且热影响区的低强匹配情况更加明显;盖面层的焊热影响区强度明显低于母材,焊缝中心强度与母材基本相当。此外,根焊的强度比填充层的强度更低。

## 2.6 DIC 试验结果

采用DIC对焊缝的拉伸变形情况进行测试分析,试验结果如图8所示。当引伸计应变达到0.6%时,侧盖面焊趾位置率先出现变形集中现象。这主要是由于盖面焊趾位置的结构存在不连续性,导致应力在此处集中。在后续的拉伸过程中,变形以45°角沿壁厚方向逐渐扩展,并延伸至焊缝下侧根焊焊趾处。此后,变形持续在该45°条带上积累,且在下侧根焊焊趾处的集中趋势更为显著,引发此现象的主要原因是根焊层的强度低于填充层和盖面层。当引伸计应变达到5%时,焊缝变形从焊缝上侧热影响区的45°条带处,逐步扩展至整个焊缝区域,且贯穿整个壁厚。变形沿热影响区扩展与热影响区强度低于焊缝中心的情况相契合,也符合材料变形的第三强度理论<sup>[21]</sup>,即韧性材料的断裂和应变集中通常出现在45°剪切方向(剪切带)。本试验中焊缝的变形行为,与文献[15-16]中的相关研究结果基本一致。

在试验的最后阶段,焊缝热影响区位置出现缩颈现象,并最终在近缝区发生断裂。

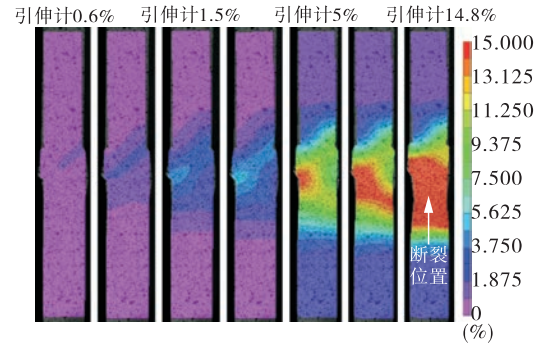


图8 X80半自动焊环焊缝DIC应变测试结果  
Fig.8 DIC results of X80 FCAW-S girth weld

## 3 讨论分析

国际管道研究协会(PRCI)曾对高钢级管道环焊缝的软化行为进行研究<sup>[22]</sup>,并给出了环焊缝软化行为的预测模型,如图9所示。

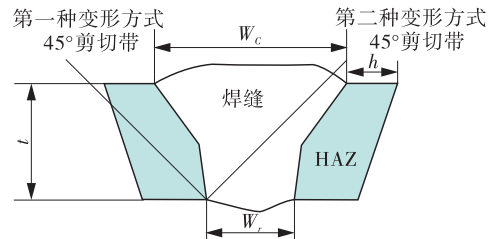


图9 环焊缝软化行为预测模型

Fig.9 Prediction model of softening behavior of girth welds

文献[22]指出热影响区软化的环焊缝塑性变形行为有两种情况,第一种变形方式为焊缝同侧沿热影响区变形;第二种为从根焊焊趾向对侧盖面焊趾的跨焊缝变形。这两种塑性变形模式的预测方法如下:

$$\begin{cases} t < \frac{W_C}{2} - \frac{W_r}{2} + h \\ t > \frac{W_C}{2} - \frac{W_r}{2} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} t < \frac{W_C}{2} + \frac{W_r}{2} + h \\ t > \frac{W_C}{2} + \frac{W_r}{2} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $t$ 为钢管壁厚,mm; $W_C$ 为焊缝盖面宽度,mm; $W_r$ 为根焊宽度,mm; $h$ 为热影响区宽度,mm。

根据测试分析结果,钢管壁厚为18.4 mm, $W_C$ 约为24 mm, $W_r$ 约为8 mm, $h$ 约为3 mm。依据以上模型,可以确定该环焊缝开始的塑性变形模式为第二种模式,与DIC试验结果吻合,表明该模型

对环焊缝软化的变形行为具有较好的预测能力。

## 4 结论

(1)压痕硬度试验、微剪切试验和DIC试验能够有效实现焊缝不同微区强度匹配情况的特征分析,有效弥补当前焊缝拉伸试验对焊缝强度匹配评价不足的短板。

(2)研究表明,填充层与根焊层热影响区和焊缝中心强度普遍低于母材,热影响区的低强匹配更加明显;盖面层焊缝中心强度与母材基本相当,但热影响区强度也明显低于母材。综合结果表明,焊缝的热影响区普遍出现了低强匹配情况,根焊的强度较填充层和盖面层更低,因此,根焊位置和焊缝的热影响区是X80钢级半自动焊环焊缝的强度低匹配区域,即强度的薄弱位置。

(3)焊缝在拉伸载荷作用下会从根焊和盖面焊趾应力集中位置首先发生变形集中,然后变形呈 $45^\circ$ 方向扩展,最终贯穿整个壁厚。拉伸过程中,焊缝变形易发生在根焊和热影响区等强度低匹配区,并易在近缝区发生断裂。

## 5 建议

(1)环焊缝应按照等抗拉强度或高抗拉强度匹配的原则设计。

(2)建议焊接工艺评定过程及相关标准中增加压痕、微剪切、DIC等强度表征手段,弥补当前评价方法的不足。

(3)可采用PRCI的环焊缝软化模型对环焊缝的塑性变形行为进行预测。

## 参考文献:

- [1] 王海涛,李仕力,陈杉,等.高钢级天然气管道环焊缝断裂问题探讨[J].石油管材与仪器,2020,6(2):49-52.  
WANG H T, LI S L, CHEN S, et al. Fracture of gas pipeline girth welds with high grade steel [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2020, 6(2): 49-52.
- [2] 冼国栋,吕游.油气管道环焊缝缺陷排查及处置措施研究[J].石油管材与仪器,2020,6(2):42-45.  
XIAN G D, LYU Y. Inspection and disposal of girth weld defects of oil and gas pipelines [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2020, 6(2): 42-45.
- [3] 王汉奎,商学欣,柳旺,等.高钢级油气管线环焊缝应变时效脆化研究[J].压力容器,2021,38(5):8-13.  
WANG H K, SHANG X X, LIU W, et al. Study on strain aging embrittlement of the girth weld of the high strength oil and gas pipeline [J]. Pressure Vessel Technology, 2021, 38(5): 8-13.
- [4] 冯庆善.高钢级管道环焊接头强度匹配的探讨与思考[J].油气储运,2022,41(11):1235-1249.  
FENG Q S. Discussion and thinking of high-grade pipeline girth weld strength matching [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2022, 41(11): 1235-1249.
- [5] 戴联双.高钢级管道环焊缝失效机理探讨与思考[J].中国安全生产科学技术,2023,19(增刊2):93-100.  
DAI L S. Discussion and thinking on failure mechanism of girth weld of high-grade steel pipeline [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2023, 19(Sup.2): 93-100.
- [6] 姜昌亮.高钢级管道可靠性影响因素探讨与思考[J].油气储运,2022,41(7):755-764.  
JIANG C L. Discussion and thinking on factors influencing reliability of high-grade steel pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2022, 41(7): 755-764.
- [7] 戴联双.马来西亚某山区X70管道环焊缝开裂原因及防控措施[EB/OL].(2021-01-21)[2024-11-11].  
[http://www.guandaobaohuchina.com/html/2021/20\\_3154.htm](http://www.guandaobaohuchina.com/html/2021/20_3154.htm).  
DAI L S. Causes and prevention measures of girth weld cracking of X70 pipeline in a mountainous area of Malaysia [EB/OL]. (2021-01-21) [2024-11-11].  
[http://www.guandaobaohuchina.com/html/2021/20\\_3154.htm](http://www.guandaobaohuchina.com/html/2021/20_3154.htm).
- [8] WATSON P. Safety advisory SA 2020-01-Girth weld area strain-induced failures: Pipeline design, construction, and operation considerations [R]. Canada Energy Regulator, 2020.
- [9] 王汉奎,李阳,姚呈祥,等.不同药芯焊丝工艺条件下X80管线钢焊缝组织与性能对比[J].压力容器,2024,41(1):12-17.  
WANG H K, LI Y, YAO C X, et al. Comparison of microstructure and properties of X80 girth weld joints welded by different flux-cored wire process conditions [J]. Pressure Vessel Technology, 2024, 41(1): 12-17.
- [10] 孟彤,孙超,王汉奎,等.X70管线钢残余塑性应变的背散射电子衍射表征方法研究[J].流体机械,2023,51(2):20-27.  
MENG T, SUN C, WANG H K, et al. Electron backscatter diffraction characterization of residual

- plastic strain of X70 pipeline steel [J]. Fluid Machinery, 2023, 51(2):20-27.
- [11] 曾和友,李铁钉,雷波,等.油气管道球阀结构设计改进及性能试验研究[J].流体机械,2023,51(10):18-23.  
ZENG H Y, LI T D, LEI B, et al. Structural design improvement and experimental study of oil and gas pipeline ball valve [J]. Fluid Machinery, 2023, 51(10):18-23.
- [12] 冯传智,罗雨,许耀波,等.管道全位置焊接机器人结构与运动学分析[J].机电工程,2024,41(8):1489-1499.  
FENG C Z, LUO Y, XU Y B, et al. Structural design and kinematics analysis of pipeline all-position welding robot [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2024, 41(8):1489-1499.
- [13] MIDAWI A R H, SIMHA C H M, GERLICH A P. Assessment of yield strength mismatch in X80 pipeline steel welds using instrumented indentation [J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2018, 168:258-268.
- [14] 孙永辉,尤景泽,刘凯,等.高钢级管线环焊缝强度匹配的仪器化压痕法测试研究[J].压力容器,2023,40(11):26-32.  
SUN Y H, YOU J Z, LIU K, et al. Study on indentation test for the strength of the girth welds of high-strength pipelines steels [J]. Pressure Vessel Technology, 2023, 40(11):26-32.
- [15] 宋明,王汉奎,刘昕宇,等.高钢级油气管道环焊缝断裂问题研究[J].化工机械,2022,49(2):350-355.  
SONG M, WANG H K, LIU X Y, et al. Research on the fracture problem of circumferential welds in high-grade oil and gas pipelines [J]. Chemical Engineering & Machinery, 2022, 49(2):350-355.
- [16] 范玉然,帅义,帅健,等.管道环焊缝根焊部位应变及微区力学性能对裂纹扩展的影响[J].油气储运,2024,43(2):171-179.  
FAN Y R, SHUAI Y, SHUAI J, et al. Influence of strain and micro-zone mechanical properties at root beads around girth welds on crack propagation [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2024, 43(2):171-179.
- [17] LEI B, DORN L. Weiterentwicklung der microscherprüfung zur prüfdicht und genauigkeitssteigerung [J]. Schweißen und Schneiden, 1994, 46(47):386-390.
- [18] 雷斌隆.微型剪切试验与常规试验之间的关系[J].西南交通大学学报,1992(3):67-73.  
LEI B L. Correlation between the micro shear test and conventional test [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1992(3):67-73.
- [19] 何武定.基于DIC技术的介观尺度热应变测量装置设计与研究[D].东莞:东莞理工学院,2024.  
HE W D. Design and research of mesoscale thermal strain measurement instrument based on digital image correlation technology [D]. Dongguan: Dongguan University of Technology, 2024.
- [20] 屈蓓,付小龙,何俊武,等.非接触式光学应变测量技术研究进展[J].计测技术,2013,33(5):10-15.  
QU B, FU X L, HE J W, et al. Research on optical non-contact strain measurement [J]. Metrology & Measurement Technology, 2013, 33(5):10-15.
- [21] 潘金生,仝健民,田民波.材料科学基础[M].修订版.北京:清华大学出版社,2011.  
PAN J S, GONG J M, TIAN M B. Fundamentals of materials science [M]. Revision. Beijing: Tsinghua University Press, 2011.
- [22] Pipeline Research Council International, Inc. Strain-based design: Strain concentration at girth welds[R]. PR-185-04506, 2007.

**作者简介:**车荣杰(1984),男,高级工程师,主要从事油气地面工程数智化研究、焊接智能管理及智能工地等工作,通信地址:257026山东省东营市东营区济南路49号中石化石油工程设计有限公司,E-mail:0619crj\_001@163.com。

**通信作者:**姚登樽(1982),男,高级工程师,主要从事压力管道检验测试、焊接、完整性评价、监测等工作,通信地址:100029北京市朝阳区和平西苑2号中国特种设备检测研究院,E-mail:yaodengzun@csei.org.cn。

#### 本文引用格式:

车荣杰,吕加华,刘宏业,等.X80管线钢半自动焊环焊缝强度匹配特征分析[J].压力容器,2025,42(1):19-25.

CHE Rongjie, LYU Jiahua, LIU Hongye, et al. Strength matching analysis of semi-automatic circumferential welds in X80 pipeline steel [J]. Pressure Vessel Technology, 2025, 42(1):19-25.