

文章编号:1001-4888(2018)06-0862-07

砂粒对多相流弯管冲蚀的影响因素分析^{*}

白莉, 赵婷婷, 宋存德, 吴德君, 梅豆, 刘纷, 王通

(中国石油大学(华东), 山东青岛 266000)

摘要: 冲蚀是一个管壁材料受固相颗粒重复撞击而剥落,又伴随着腐蚀的复杂力学过程。冲蚀严重时可能引起管道失效或泄漏,从而产生经济损失和环境污染。为了研究多相流弯管冲蚀的基本规律和主要影响因素,本文基于自行设计的循环管路进行了水-砂两相流对弯管段碳钢贴片的冲蚀试验。基于弯道流动特征分析、扫描电镜观察和贴片的冲蚀速率估计,得到了弯管段壁面的主要损伤特征。弯管段壁面可分为四个区:外拱壁、内拱壁和左右两颊壁面。外拱壁处试验贴片的主要损伤特征为大量压痕、划痕和近圆形的蚀坑分布,其壁面减薄的主要机制为弯道流动中砂粒的多次高速冲击和切削作用;而内拱壁处的损伤特征主要是蚀坑周围包围着腐蚀产物,流动中的砂粒低速冲击和腐蚀氧化作用更为明显;两颊壁面处冲刷磨损与腐蚀增重作用相当。此外,分析了砂粒粒径、含砂量以及贴片材质对冲蚀速率的影响。大粒径及较高含砂量对冲蚀速率均起到增强作用;壁面的材料属性有差异,表面形貌的损伤特征亦有不同。

关键词: 砂粒; 多相流; 冲蚀; 影响因素; 碳钢贴片

中图分类号: TE832 **文献标识码:** A **DOI:** 10.7520/1001-4888-17-148

0 引言

随着海上油气开发的水深不断增加,多相混输工艺已成为海上油气集输的重要方式之一。尽管现场采用了各种防砂技术,但经过长时间运行后油田采出液的含砂量仍难以控制。由油气多相流携带的固相颗粒,容易对弯道、闸阀等局部管段产生冲蚀磨损和腐蚀减薄的交互作用,从而导致这些管段面临失效的威胁。冲蚀的基本机理包括三方面:气泡或微颗粒冲击产生重复载荷所致的疲劳;硬颗粒对脆性材料重复碰撞所致磨损,以及材料表面保护层被破坏从而被腐蚀增强的冲蚀^[1]。管道冲蚀的影响因素可分为四方面:流体及流场特征等;颗粒的粒度、硬度以及形状等;受冲蚀壁面的材料属性、颗粒对固壁的冲击速度、冲击角以及颗粒浓度等等^[2]。已经提出的许多冲蚀经验模型主要基于固相颗粒对固壁的冲击而构建,流体动力对冲蚀-腐蚀的影响则主要通过数值模拟来体现^[3-6]。许多学者^[7-10]从提高材料抗蚀能力的角度,通过试验分析了不同材料及涂层的冲蚀、空蚀以及腐蚀的性能。

Tandon 等^[11]分析了一个人工举升井在使用三年后弯管段因冲蚀而发生泄漏的现场案例,认为砂粒冲击碳钢壁面并不是唯一的原因,而是在砂粒冲击破坏了壁面保护层后腐蚀加剧了壁面减薄的过程。李明忠等^[12]借助自建的试验装置研究了油井出砂砂粒在流体中的沉降规律,并提出了井液携砂能力计算模型。李根生等^[13]研究了钻探作业时如何有效利用自激振荡空化射流强大的破坏力和振动冲击波来提高钻探速度。杨丽等^[14]等讨论了热障涂层的冲蚀机理。庞佑霞等^[15]分析了流体机械叶片冲蚀-空

^{*} 收稿日期: 2017-07-16; 修回日期: 2017-08-28

基金项目: 973 项目“海洋深水油气安全高效钻完井基础研究”课题六“深水钻完井工程设计理论与风险管控”(编号: 2015CB251206)

通讯作者: 白莉(1975-),女,副教授。研究方向:多相流、海洋油气流动保障。Email: baili@upc.edu.cn

蚀的交互磨损。Kesana 等^[16]用超声传感器测量了弯管段气液两相流中的冲蚀。Zeng 等^[17]通过阵列电极方法对纯侵蚀、纯腐蚀以及它们之间的促进作用进行了量化分析,指出磨损使材料表层形成新鲜表面,更容易被腐蚀;腐蚀导致材料的表层组织结构遭受破坏,致使材料的机械强度降低而加剧磨损。Vieira 等^[18]等设计并安装了双重无网格传感器,测量垂直管道气液两相流弯管段的壁面失重,并考虑了气液两相流流型、液体粘度等因素对侵蚀的影响。本文作者^[19]自制了一套含砂多相流管路循环装置,在弯管段布置碳钢贴片,然后通过多相流循环试验研究了含砂流动对弯管段金属贴片的冲蚀破坏规律;该文认为弯管段冲蚀的机制主要包括两方面:颗粒的法向冲击与磨削和腐蚀氧化过程,这两方面的作用在弯管段不同部位各有优势;冲蚀、腐蚀等作用受到砂粒粒径和两相流流动特征明显的影响。以上研究推进了多相流冲蚀的进展,但是如何在工程上避免或减少弯管、闸阀等局部构件处的冲蚀磨损,仍需要弄清多相流流动条件下固相颗粒与管道壁面相互作用的规律,以采取有针对性的措施。本文主要考虑砂粒粒径、含砂量以及不同贴片材料对冲蚀速率的影响。

1 弯管段多相流冲蚀模型试验

1.1 模型试验原理与主要参数

模型试验中液体流动携带砂粒做循环运动,布置在弯管段的贴片将受弯管段二次流动与固相粒子流的共同作用。试验研究的内容包括观测试验贴片的表面损伤、测量试验贴片的冲蚀速率、冲蚀强度以及分析砂粒粒径等因素对冲蚀效果的影响。冲蚀速率定义为单位面积单位时间内冲蚀掉的材料质量。冲蚀强度用冲蚀前后碳钢挂片的质量减少百分率即失重率来表征。失重率为正,表明碳钢贴片的质量较冲蚀试验前减少;失重率为负,表明贴片质量较试验前增大。考虑到贴片在冲蚀试验后经过干燥处理,因此贴片表面可能有腐蚀所致的金属氧化物生成,后面的电镜和能谱分析将验证这一推断。

1.2 试验装置

多相流循环管路布置如图 1 所示。其关键试验装置是挂片器,即可拆卸的弯管段。在室温下,将常规碳钢腐蚀挂片按相同长度切割成两种形状:方贴片和窄贴片。将贴片清洗干净并干燥,然后按图 1 中的顺序放入弯管段的挂片器凹槽内固定,每个贴片保持与内壁面持平。编号为窄 1-7 的贴片位于弯管段内壁面的内弯侧,即内拱壁;窄 8-14 位于弯管段内壁面的外弯侧,即外拱壁。编号为方 1-14 的贴片位于弯管段内壁面的两颊。

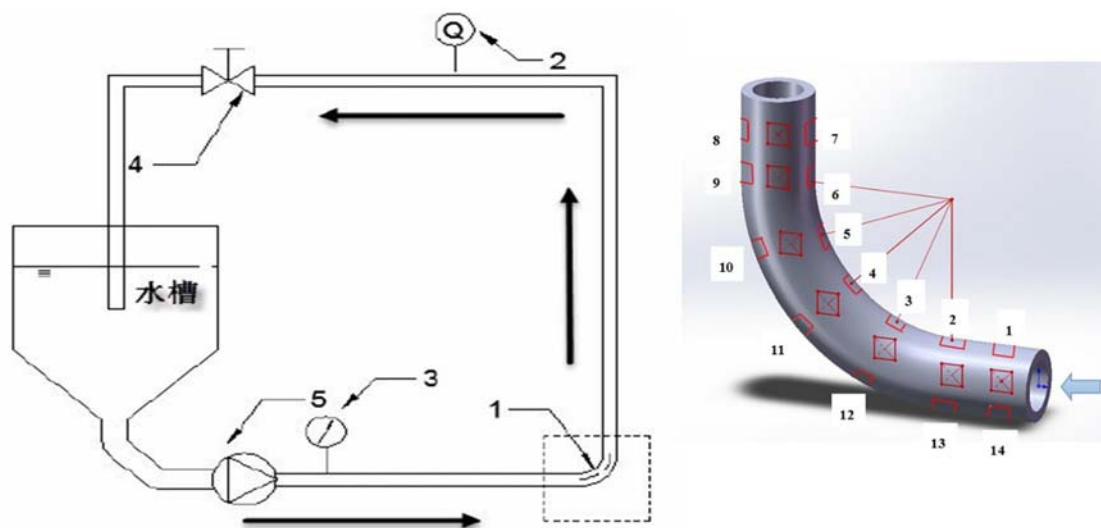


图 1 多相流冲蚀弯管段贴片的布置(箭头表示流动方向)

1-挂片器,2-流量计,3-压力表,4-控制阀,5-水泵

Fig. 1 Multiphase-flow erosion experimental setup

1-hanging slicer, 2-flowmeter, 3-pressure gauge, 4-control valve, 5-pump

将自来水+普通石英砂5%(按粒径分组)混合后放置于圆形漏斗状水槽中,开泵使固液两相流循环流动运行2~3小时,取出贴片清洗干燥后再次称重,计算金属贴片的冲蚀速率和失重率。根据石英砂粒径将试验分为四组,另外一组为对照试验组。主要试验参数见表1。表中目数即筛分粒度,表示颗粒可以通过筛网的筛孔尺寸,以宽25.4mm筛网内的筛孔数表示。循环管路内径为2.5mm。

表1 试验组与参数表

Tab.1 Test group & parameter group

石英砂粒径 /目	粒径范围 / μm	贴片材料	试验时间 /h	流量 / $(10^{-3}\text{m}^3/\text{s})$	流速 /(m/s)	含砂量	
						/%	/%
20~40目	420~840	20号碳钢	2	1.23	2.5	5	2.5
40~60目	250~420	20号碳钢	2	1.23	2.5	5	/
60~80目	178~250	20号碳钢	2	1.23	2.5	5	/
80~120目	124~178	20号碳钢	2	1.23	2.5	5	2.5
X80-20~40目	420~840	X80管线钢	2	1.23	2.5	5	2.5
X80-80~120目	124~178	X80管线钢	2	1.23	2.5	5	2.5
自来水	<50	20号碳钢	2	1.23	2.5	0	/

2 模型试验观测与分析

2.1 试验贴片损伤形貌的特征分析

用型号为Hitachi S-3400的扫描电镜观察冲蚀后贴片表面的损伤形貌,选取部分典型损伤形貌如图2~5所示。贴片表面的损伤形貌基本特征为:所有贴片在冲蚀后具有明显被颗粒划压及磨损的损伤形貌。布置在弯管段不同位置的贴片都存在大量压痕,并且贴片的原生纹理和沟槽基本被磨平;贴于弯管段外拱壁侧的贴片上不均匀地分布着单个或连成串状的圆形蚀坑,且呈现较多的铲削坑和犁沟型划痕。两类处方贴片中常见的冲蚀形貌为砂粒多次撞击形成的凹坑,凹坑中和凹坑外都有明显的腐蚀。蚀坑大都清晰可辨,以点坑、铲削、划痕为主,大部分都存在腐蚀的情况。图2~4为含大粒径砂粒流动冲蚀的结果,蚀坑普遍较大。

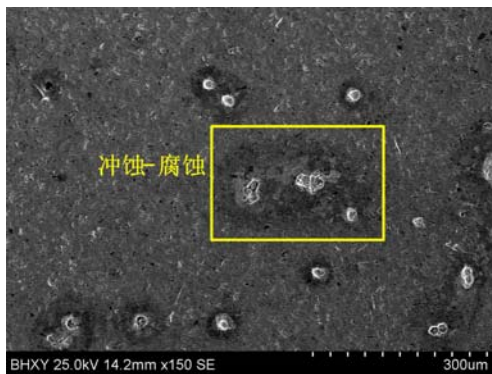


图2 20号碳钢窄10的冲蚀形貌(20~40目砂)
Fig.2 Erosion morphology of No.20 carbon steel 10 narrow gauge (20~40 mesh)

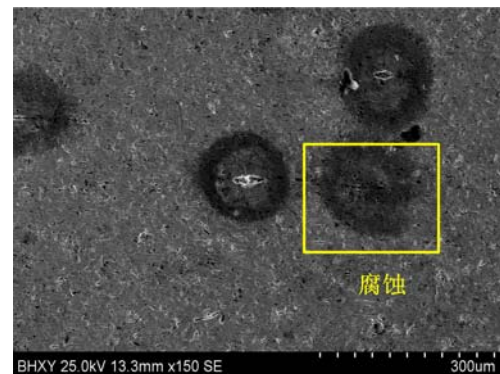


图3 X80管线钢窄10的冲蚀形貌(20~40目砂)
Fig.3 Erosion morphology of X80 pipeline strip steel 10 narrow gauge (20~40 mesh)

对比图2和图3,分别为碳钢20号和X80管线钢且位于外拱壁的窄10贴片被20~40目砂粒含砂流冲蚀2小时后的形貌特征。图2中可见有较多的串状凹坑和压痕,偶见犁沟型损伤。结合之前的研究^[19],本文认为含砂流循环流动在弯管段形成某些特定的流场分布,被流场携带的固相颗粒多次冲击贴片某些位置,从而形成一些花生形状的串坑。窄10贴片的蚀坑较深,坑缘发亮,坑的分布较均匀,经

能谱分析其主要成分为铁元素,这是由于流动携带砂粒频繁冲击壁面,导致腐蚀产物来不及形成,从而磨损减薄十分明显。图3中可见到大量均匀分布的压痕,串坑反而较少,且周围有大片黑色氧化物,为腐蚀所致。根据失重率分析,其外拱壁处的磨损减薄总体上仍大于腐蚀增重,其减重主要源于普遍密集的压痕和划痕。X80管线钢(屈服强度550MPa)较20号碳钢(屈服强度235MPa)具有更高的强度^[20],故认为X80贴片经固相颗粒多次撞击后形成蚀坑的规模虽小,但总体上失重减薄趋势大,更接近脆性破坏。

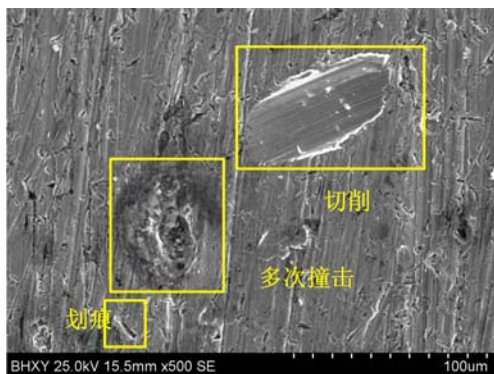


图4 20号碳钢窄5的冲蚀形貌(60~80目砂)

Fig. 4 Erosion morphology of No. 20 carbon steel 5 narrow gauge (60~80 mesh)

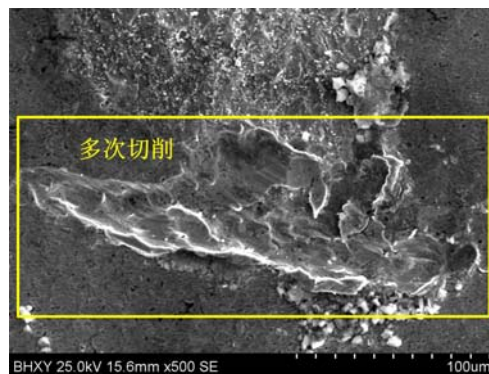


图5 20号碳钢窄9的冲蚀形貌(60~80目砂)

Fig. 5 Erosion morphology of No. 20 carbon steel 9 narrow gauge (60~80 mesh)

图4、图5为不同粒径砂粒及含砂流对窄5贴片(内拱壁处)和窄9贴片(外拱壁处)冲蚀后的损伤形貌。图4中内拱壁处由于粒子的法向撞击导致材料剥落,腐蚀又加剧了壁面受损伤的范围和深度;除了大量微小的压痕和划痕,偶见有大颗粒切削壁面导致的损伤。由图5可看出60~80目砂粒冲蚀后的外拱壁窄9贴片上有多次切削的痕迹,痕迹周围还有堆积起的碎屑,这一现象比较符合Levy所提的锻造挤压理论^[3],即砂粒冲击时对管道壁面施加挤压力,使材料表面出现凹坑和凸起的唇片,之后沙粒对唇片进行“锻打”,在发生严重的塑性变形之后,靶材呈片屑状,随后从材料表面流失。



图6 20号碳钢窄8的形貌(60~80目)

Fig. 6 Erosion morphology of No. 20 carbon steel 8 narrow gauge (60~80 mesh)

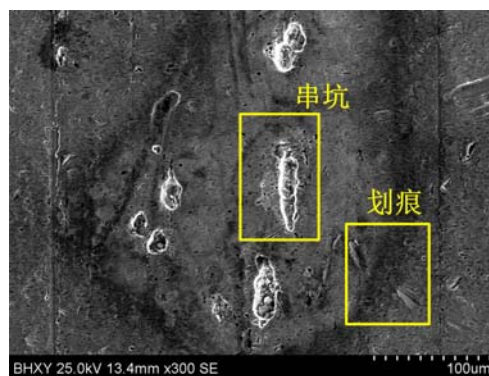


图7 20号碳钢窄10的形貌(80~120目)

Fig. 7 Erosion morphology of No. 20 carbon steel 10 narrow gauge (80~120 mesh)

图6、图7分别为含砂流对窄8贴片(外拱壁处)和窄10贴片(外拱壁处)冲蚀后的损伤形貌。图6中可观察到若干条较长的犁沟型划痕,图7中既有犁沟型划痕,也有较多的串坑。外拱壁处附近的流场为高压区,流动在弯管横断面处呈对称的旋涡流,沿着流向呈螺旋流动^[17,19],故外拱壁附近流场中的固相颗粒携带着较高的动量多次撞击和切削外拱壁,导致其具有较严重的疲劳损伤和质量损失。

布置于弯管侧壁面的贴片(方1~14)损伤形貌特征主要表现为:除了串坑外,砂粒冲击的坑明显直

径较小,分布密集,这是因为弯管段冲蚀和腐蚀并存并交互影响,但又有不同的优势区。当流动携带的砂粒与贴片接触时间较长且法向冲击速度较小时,管道壁面上容易产生划痕;当接触时间较短且冲击力较大时,材料表面上主要产生压痕。材料大部分的质量损失都是条状划痕和三角状压痕引起的,压痕和划痕是砂粒冲蚀的主要破坏形式。结合弯管流场分析可知,弯管外拱壁处流动在较高压强和离心力作用下,固相颗粒具有较大的动量,颗粒频繁、多次冲击壁面,致使金属表层材料的剥落十分严重。

2.2 试验贴片表面蚀坑的化学成分

根据电镜观察,贴在弯管段不同试验贴片的表面蚀坑具有不同形态特征。用扫描电镜自带的能谱分析软件对试验贴片的化学元素做了定性分析,受20~40目粒径的砂粒冲蚀后,20号碳钢贴片表面氧元素含量较高,有明显的腐蚀增强作用。对其他粒径冲蚀的贴片进行能谱分析亦发现:20~40目砂粒冲蚀后的X80管线钢表面的氧元素与冲蚀试验之前相比有所减少,说明含砂水流在冲蚀过程中冲掉了部分腐蚀产物,此时冲蚀大于腐蚀。

依据电镜分析和能谱分析,弯管段不同部位的损伤特征有所不同:窄片内拱壁的蚀坑数量较多,但大都直径较小、深度较浅,以点坑、串坑为主;外拱壁的蚀坑数量较少,但大都直径较大、深度较深,以铲削、划痕为主;出口处和入口处的窄片的冲蚀形貌比中间部位明显。

2.3 粒径、浓度等对弯管贴片失重的影响分析

在冲蚀试验前后用电子天平称量贴片的质量,估算的贴片失重率如图8所示。由图8可见,较大粒径(20~40目、40~60目、60~80目)含砂流冲蚀后的外拱壁冲蚀效果明显,失重率较高;小粒径(80~120目)含砂流对试验贴片的冲蚀减薄效应较不明显,反而个别区域有增重的趋势。出现增重的原因在于颗粒冲刷破坏了贴片表面的保护层,加速了铁金属的腐蚀氧化过程。结合弯管段流场的分布特征可知,砂粒在进入弯管段时由于重力作用,导致外侧壁面受到的冲蚀破坏更明显,进入弯管段之后由于惯性作用,砂粒击打在外拱壁的几率更大。由于多相流在弯管的入口处和出口处这两个部位流动状态为紊流,且有强烈的二次流动,故砂粒冲蚀外拱壁出口和入口几率会较大,冲蚀破坏比其他部位更明显。

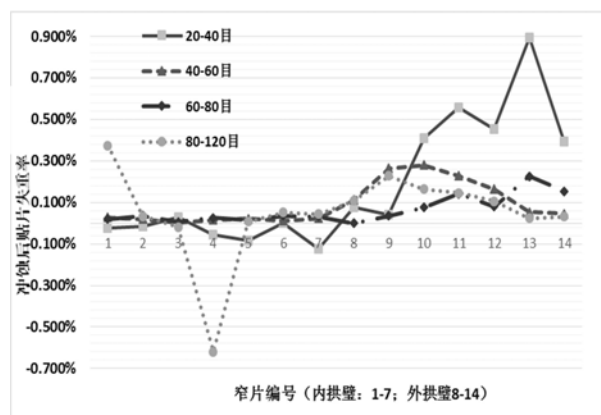


图8 粒径对20号碳钢窄贴片失重变化的影响

Fig. 8 Effect of particle size on the No. 20 carbon steel narrow patches of weightlessness changes

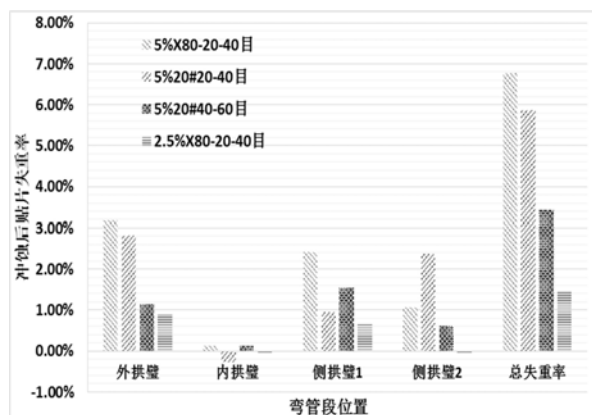


图9 弯管不同分区处贴片的冲蚀失重对比

Fig. 9 Patches erosion weightlessness contrast at different elbow locations

根据试验组的分析,可见多相流流速、含砂量、粒径和贴片材料对贴片的冲蚀-腐蚀均有不同程度的影响。由图9可知,含砂量的增加、粒径的增大对贴片的冲蚀失重起到了强化作用。当含砂量从2.5%增加到5%时,由于固体粒子与管道壁面碰撞的几率增大,冲蚀破坏更为明显,含砂水流会带走更多的靶面材料。贴片材料的影响规律为:X80管线钢的硬度虽大,试验得到的总失重率却高于20号碳钢。对比图9中20#碳钢贴片失重率与X80管线钢的失重率,在内外拱壁处,X80管线钢贴片的失重率均高于20#碳钢贴片的失重率;在弯管两侧壁面,二者的失重率相当。结合电镜图和能谱分析得出,20号碳钢贴片和X80管线钢贴片受固粒冲击的损伤机制有明显区别,前者在固液两相流冲击下发生塑性变形,而后者更接近脆性变形和破坏。换言之,X80管线钢的抗疲劳破坏性能较20号碳钢弱。

2.4 含砂流弯管段贴片的冲蚀-腐蚀基本规律

本文对比了弯管段外拱壁、内拱壁、两颊壁面共四个位置碳钢贴片的冲蚀磨损程度,其中外拱壁处贴片的失重率最高,被冲刷磨损的最严重,且失重百分比随粒径的增大而增大;内拱壁处贴片的失重率最小,个别贴片失重率为负值,可能是由于腐蚀氧化增重所致;两颊侧拱壁处贴片的失重率相当,没有明显的冲蚀规律。位于弯管段不同位置处的贴片有不同的冲蚀速率和失重率,原因在于弯管段处流体受到离心力的作用,将携带砂粒对外拱壁的贴片进行多次强烈的直接冲击,造成外拱壁贴片的失重率大大高于其余三个壁面;而内拱壁由于受到反射后的砂粒冲击,其速度较弱,流场为低压区,贴片因氧化腐蚀增重的趋势较明显;两侧的壁面由于流场较为对称的关系,颗粒多为单次撞击,冲蚀减薄的程度在内外拱壁之间。

3 结论

本文基于自制的循环管路装置进行了多相流对弯管段碳钢贴片的冲蚀试验。通过多组试验分析了弯管段受固液气多相流冲蚀后的主要特征和基本规律。依据弯管段二次流动的压力分布与壁面破坏特征,将被冲蚀的弯管段分为四个区:外拱壁、内拱壁和左右两颊壁面。其中外拱壁的壁面减薄程度最明显,以流体携带着颗粒多次冲击和磨削为主;内拱壁壁面受损但可能增重,以流体携带着颗粒切向摩擦和氧化腐蚀为主。根据试验研究,本文认为弯管段贴片被冲蚀损伤的主要机制包括冲击磨削、氧化腐蚀以及二者的协同效应;此外,冲蚀效果的影响因素还有多相流流速、颗粒粒径、含砂量以及贴片材料属性。粒径增大、含砂量增大都会增强对弯管段壁面的冲蚀-腐蚀交互作用,20号碳钢贴片主要体现为塑性变形和破坏,而X80管线钢贴片则以脆性变形和破坏为基本特征。

参考文献:

- [1] Salama M M, Venkatesh E S. Evaluation of API RP 14E erosional velocity limitations for offshore gas wells[C]. Offshore Technology Conference, 1983.
- [2] Parsi M, Najmi K, Najafifar F, et al. A comprehensive review of solid particle erosion modeling for oil and gas wells and pipelines applications[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2014, 21:850-873.
- [3] Levy A V. The platelet mechanism of erosion of ductile metals[J]. Wear, 1986, 108(1):1-21.
- [4] Haugen K, Kvernold O, Ronold A, et al. Sand erosion of wear-resistant materials: Erosion in choke valves[J]. Wear, 1995, 186:179-188.
- [5] Salama M M. An alternative to API 14E erosional velocity limits for sand laden fluids[J]. Transactions-American Society of Mechanical Engineers Journal of Energy Resources Technology, 2000, 122(2):71-77.
- [6] Wong C Y, Solnordal C B, Wu J. CFD modelling and experimental observations of changing surface profiles caused by solid particle erosion[J]. SPE Production & Operations, 2013, 29(1):61-74.
- [7] 赵会友, 陈华辉, 邵荷生, 等. 几种钢的腐蚀冲蚀磨损行为与机理研究[J]. 摩擦学学报, 1996, 16(2):112-119 (ZHAO Huiyou, CHEN Huahui, SHAO Hesheng, et al. The study on the corrosion-erosion wear behaviour and wear mechanism of several steels[J]. Tribology, 1996, 16(2):112-119 (in Chinese))
- [8] McLauri B S, Wang J, Shirazi S A, et al. Solid particle erosion in long radius elbows and straight pipes[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 1997.
- [9] 姜胜利, 郑玉贵, 姚治铭. 不同砂粒粒径多相流中 CrMnB 堆焊层的损伤行为[J]. 材料保护, 2004, 37(10):12-14 (JIANG Shengli, ZHENG Yugui, YAO Zhiming. Damage behavior of CrMnB coating in slurry of different particle size[J]. Journal of Materials Protection, 2004, 37(10):12-14 (in Chinese))
- [10] Li Y J, Chen H S, Chen D R, et al. Effect of micro/nano-particles in cavitation erosion[J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2009, 9(2):783-787.
- [11] Tandon S, Gao M, McNealy R. Erosion-corrosion failure of a carbon steel pipe elbow-a case study[C]//CORROSION 2009. NACE International, 2009.
- [12] 李明忠, 王卫阳, 赵国景. 垂直井筒井液携砂流动规律研究及其在油井生产中的应用[J]. 实验力学, 2002, 17(3):385-392 (LI Mingzhong, WANG Weiyang, ZHAO Guojing. The flowing rules of sand carrying well fluid in

- vertical wellbores and its application in oil production[J]. *Journal of Experimental Mechanics*, 2002, 17(3):385—392 (in Chinese))
- [13] 易灿, 李根生, 陈日吉. 围压下自振空化射流冲蚀性能实验研究[J]. *实验力学*, 2005, 20(2):291—296 (YI Can, LI Gensheng, CHEN Riji. Experimental study on self oscillating cavitating jet erosion ability under ambient pressure[J]. *Journal of Experimental Mechanics*, 2005, 20(2):291—296 (in Chinese))
- [14] 杨丽, 周益春, 齐莎莎. 热障涂层的冲蚀破坏机理研究进展[J]. *力学进展*, 2012, 42(6):704—721 (YANG Li, ZHOU Yichun, QI Shasha. Research progress in erosion mechanisms of thermal barrier coatings[J]. *Advances In Mechanics*, 2012, 42(6):704—721 (in Chinese))
- [15] 庞佑霞, 李彬, 刘厚才, 等. 流体机械叶轮常用材料冲蚀与空蚀交互磨损特性研究[J]. *润滑与密封*, 2013, 38(12):23—26 (PANG Youxia, LI Bin, LIU Houcai, et al. Study on abrasion properties of common materials for fluid mechanical impeller at interactive erosion and cavitation wear[J]. *Lubrication Engineering*, 2013, 38(12):23—26 (in Chinese))
- [16] Kesana N R, Grubb S A, McLaury B S, et al. Ultrasonic measurement of multiphase flow erosion patterns in a standard elbow[J]. *Journal of Energy Resources Technology*, 2013, 135(3):032905.
- [17] Zeng L, Zhang G A, Guo X P. Erosion-corrosion at different locations of X65 carbon steel elbow[J]. *Corrosion Science*, 2014, 85:318—330.
- [18] Vieira R E, Parsi M, Torres C F, et al. Experimental characterization of vertical gas-liquid pipe flow for annular and liquid loading conditions using dual wire-mesh sensor[J]. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2015, 64:81—93.
- [19] 白莉, 文潇, 李晓东, 等. 含砂流对弯管段冲蚀的机理分析[J]. *实验力学*, 2017, 32(2):209—215 (BAI Li, WEN Xiao, LI Xiaodong, et al. Sand flow to the elbow segment erosion mechanism analysis[J]. *Journal of Experimental Mechanics*, 2017, 32(2):209—215 (in Chinese))
- [20] 黄开文. 国外高钢级管线钢的研究与使用情况[J]. *焊管*, 2003, 26(3):1—10 (HUANG Kaiwen. Research and application of abroad high grade pipeline steel[J]. *Welded Pipe and Tube*, 2003, 26(3):1—10 (in Chinese))

Influence factor analysis of sand particles on erosion of multiphase flow bends

BAI Li, ZHAO Ting-ting, SONG Cun-de, WU De-jun, MEI Dou, LIU Fen, WANG Tong
(China University of Petroleum, Qingdao 266000, Shandong, China)

Abstract: Erosion is a complex mechanical process, in which the pipe wall material is peeled off by repeated impact of solid particles and then accompanied by corrosion. Serious erosion may cause pipeline failure or leakage, resulting in economic losses and environmental pollution. In order to study the basic pattern of erosion and main influence factors for multiphase flow bends, erosion experiment of carbon steel patches in pipe bends with water-sand two-phase flow was carried out based on self-designed circulating pipes. Based on the analysis of flow characteristics in bend, and the observation of scanning electron microscopy and the erosion rate of patches, the main damage characteristics of bend were obtained. The pipe elbow could be divided to four erosion section: outer arch wall, inter arch wall and two sides arch wall. Mass loss of carton patch was obvious due to impinging solid particles on outer arch wall while mass increase of carton patch was dominant due to oxygen corrosion on inter arch wall. Impinging solid particles and oxygen corrosion were also existing on two side arch walls. The parameters effect on the erosion such as solid particles sizes, sand percent and target material property are discussed based on the tests. The first two effects would enhance patch erosion rate. For different material property of patches, it was also different on the damage characteristics.

Keywords: sand particle; multiphase flow; erosion; influence factor; carton steel patch