

SHIYOUGUANGONGCHENG ZHONGDIANSHIYANSHI
KEYAN CHENGGUO HUIBIAN

石油管工程重点实验室 科研成果汇编

(2009年)

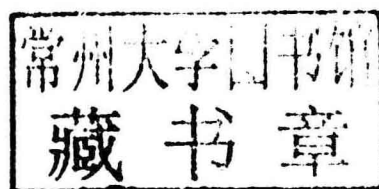
中国石油集团石油管工程技术研究院 编
石油管工程重点实验室



石油工业出版社

石油管工程重点实验室 科研成果汇编 (2009 年)

中国石油集团石油管工程技术研究院 编
石油管工程重点实验室



石油工业出版社

内 容 提 要

本书汇编了中国石油天然气集团公司石油管工程重点实验室和中国石油天然气集团公司管材研究所在 2009 年正式发表在国际国内刊物上的论文以及实验室研究论文、获得的专利、各类获奖成果等,分为论文篇和成果篇,内容涉及输送管与完整性评价、油井管与管柱、腐蚀与防护等方面。

本书内容丰富、专业性较强,对从事石油管工程的技术人员和大专院校相关专业师生具有一定的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

石油管工程重点实验室科研成果汇编. 2009 年/中国石油集团
石油管工程技术研究院, 石油管工程重点实验室编.

北京: 石油工业出版社, 2010. 11

ISBN 978-7-5021-8059-1

I. 石…

II. ①中…②石…

III. 石油管道-管道工程-文集

IV. TE973-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 196935 号

石油管工程重点实验室科研成果汇编 (2009 年)

中国石油集团石油管工程技术研究院 石油管工程重点实验室 编

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523541 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京晨旭印刷厂

2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 58

字数: 1476 千字

定价: 200.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

《石油管工程重点实验室科研成果汇编》(2009 年)

编 委 会

顾 问: 李鹤林 黄志潜 潘家华

名誉主任: 李鹤林

主 任: 杨 龙

副 主 任: 冯耀荣 高德利 施太和 霍春勇

委 员: (以姓氏笔画为序)

丁晓军	马秋荣	方朝亮	王茂棠	王晓香	冯耀荣
白真权	乔 立	刘文成	安文华	吴苏江	张建勋
张冠军	李鹤林	杨 龙	杨 果	杨祖佩	陈健峰
郑茂盛	郑新权	姜 放	施太和	赵文轸	赵业荣
赵新伟	钟树德	秦文贵	秦长毅	郭兴蓬	高泽涛
高惠临	高德利	霍春勇			

主 编: 赵新伟

副 主 编: 白真权 宋生印 林元华 覃成锦 姜 放

编 辑 组: 赵新伟 白真权 宋生印 林元华 吉玲康 罗金恒

姜 放 覃成锦 谢文江

前言

中国石油天然气集团公司石油管工程重点实验室前身为中国石油天然气集团公司石油管力学和环境行为重点实验室，成立于1999年12月6日，是集团公司最早建立的10个重点实验室之一，是中国石油天然气集团公司石油管工程的科技创新基地。实验室依托中国石油集团石油管工程技术研究院（原中国石油天然气集团公司管材研究所），主实验室下设三个研究室；另有三个研究室分别挂靠在石油大学（北京）、西南石油大学及中国石油工程设计有限公司西南分公司。

实验室按照“开放、流动、联合、竞争”的运行管理机制，围绕油井管与管柱失效预防、管柱力学与控制、输送管与管线力学、管道安全与完整性评价、石油管腐蚀与防护等几个方面开展研究工作。近期研究重点包括：（1）高强度管线钢及钢管应用基础和应用先导技术研究；（2）油气管道及储运设施完整性管理技术研究；（3）非API油井管应用关键技术及安全防控体系研究；（4）含 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 气田腐蚀预测预防与综合控制技术基础研究；（5）镍基合金复合管开发及应用技术研究等。

重点实验室自正式成立以来，在石油管的力学行为、石油管的环境行为、石油管的失效诊断及预测预防、高性能石油管应用关键技术等方面均取得了较大的进展。

2009年，通过实验室全体人员潜心科研，取得了一批具有较高学术水平和重大工程应用价值的科研成果：10项研究成果通过集团公司验收，发表论文170余篇，获得省部级以上科技成果奖励9项，申报国家专利33项，受理专利32项，获得授权15项，其中发明专利7项，登记软件10项，其中8项获得著作权，制修订各类技术标准和规范43项，其中国家标准4项。研究成果在集团公司油气田勘探开发和重大工程中获得广泛应用，解决了一系列重大工程关键技术和瓶颈问题。围绕西气东输二线等重大管道工程，在高钢级管线钢及管线钢管应用关键技术方面获得了重要突破；围绕西部油气田石油管的腐蚀问题开展了系统研究，取得一系列创新性成果；开展非API油井管应用技术研究，为西部重点油气田勘探开发提供技术保障。针对西部油气田勘探开发技术需求及特殊工况，开展了特殊螺纹接头油套管、高抗挤套管和耐蚀合金管材等非API油井管关键技术的基础研究、检测评价和应用技术攻关，建立了我国非API产品标准和质量控制体系，形成了“三高”油气田管柱结构完整性和密封完整性技术以及腐蚀综合防治技术。在重点油气田勘探开发和重大管道工程技术支持与安全保障等方面发挥了重要作用。实验室正逐步成为石油管工程研发基地、人才培养基地和该领域学术交流基地，并力争在提高石油管服役的安全可靠性、延长使用寿命，最大限度地避免或减少失效事故，提高中国石油的整体效益方面取得更大的成就。

本成果汇编收集了石油管工程重点实验室和石油管工程技术研究院在2009年获得的专利及各类获奖等成果以及实验室正式发表和在重大国际国内有关石油工业大型会议宣读的相

关研究论文，包括油井管与管柱、输送管与完整性评价、腐蚀与防护等方面，从一个侧面反映了实验室近期所取得的研究成果，内容相当丰富，可以为从事油气管道工程、油气井工程、石油工程材料、安全工程等方面的工程技术人员、研究人员和管理人员提供参考。

由于我们水平有限，经验不足，加之时间仓促，错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2010. 10

目 录

第一篇 论 文 篇

输送管与完整性评价

管线钢表面裂纹体的三维断裂特性和断裂判据研究

..... 赵新伟 罗金恒 杨 政等 (4)

提高设计系数对天然气管道安全可靠影响及可行性分析

..... 赵新伟 张广利 罗金恒等 (14)

西气东输二线 X80 管材关键技术研究及产品质量状况

..... 吉玲康 霍春勇 冯耀荣等 (25)

大口径厚壁 X80 螺旋埋弧焊管的开发 李为卫 杨 扬 徐晓峰 (40)

大口径高钢级螺旋埋弧焊管强度测试影响因素分析..... 熊庆人 冯耀荣 张建勋等 (48)

Effects of Axial and Radial Distortion on Residual Stress of HSAW Pipe

..... Xiong Qingren Zhao Wenzhen Zheng Maosheng et al (55)

X100 管线钢的连续冷却转变 吉玲康 张伟卫 高惠临等 (64)

Tempering Microstructure and Mechanical Properties of Pipeline Steel X80

..... Niu Jing Qi Lihua Liu Yinglai et al (74)

奥氏体化温度对 X80 管线钢组织和力学性能的影响 牛 靖 刘迎来 齐丽华等 (83)

屈强比对 X80 焊管性能的影响 李 洋 张伟卫 吉玲康等 (90)

高钢级管线钢材料拉伸性能测试的影响因素分析..... 张伟卫 李 洋 吉玲康等 (98)

高强度抗 CO₂ 腐蚀管线钢试验研究 张伟卫 吉玲康 蔡庆伍等 (104)

The Application of Strain-based Design to Pipelines and the Requirements on Pipe Materials

..... Chen Hongyuan Ji Linggang Xie Wenjiang et al (109)

Test Research on Cold Bend of $\phi 1219\text{mm} \times 22\text{mm}$ X80 Longitudinally Submerged-arc Welded Line Pipes Chi Qiang Ji Linggang Liu Yinglai et al (120)

Study on the Heating Process and Properties of X80 Induction Heated Bending Pipe

..... Chi Qiang Liu Yinglai Ji Linggang et al (127)

不锈钢的瞬间液相扩散焊研究 宫少涛 李为卫 仝都喜等 (136)

Strain Aging Effects on Mechanical Properties of X80 High Strength Line Pipe

..... Chen Hongyuan Ji Linggang Feng Yaorong et al (140)

X100 级管线钢的动态塑性变形行为研究	齐丽华 牛 靖 杨 龙等	(152)
Correlation of Microstructure and Low-temperature Toughness Characteristics of X100 Pipeline Steels	Qi Lihua Niu Jing Yang Long et al	(157)
大型储罐底板腐蚀缺陷安全评价	董保胜 赵新伟 罗金恒等	(165)
Nonlinear Stability Analysis of The Vaulted Roofs with Corrosion Defects of Oil Storage Tank	Dong Baosheng Zhao Xinwei Chen Hongda et al	(171)
X80 管线钢断裂韧性及失效评估图研究	张 华 赵新伟 罗金恒等	(180)
我国在役油气老管道运行现状	王 珂 罗金恒 董保胜等	(185)
在役管道内涂层失效行为及与附着力的关系研究	马卫锋 罗金恒 陈志昕等	(191)
含体积型缺陷输气管道改输油管道安全评价方法研究	张 良 罗金恒 赵新伟等	(196)
X80 管线钢断裂韧性与夏比冲击功经验关系研究	张广利 赵新伟 罗金恒等	(201)
盐穴地下储气库失效分析与预防措施	李丽锋 赵新伟 罗金恒等	(209)
Risk Assessment of Underground Natural Gas Storage Station	Wang Ke Luo Jinheng Zhao Xinwei et al	(214)
高钢级管线钢微观组织特征与强韧性能关系研究及展望	全 珂 庄传晶 朱丽霞等	(223)
φ60mm×3.5mm 埋地排污管泄漏失效分析	李金凤 路彩虹 何小东	(230)
高强度管线钢焊接接头不同缺口位置的断裂韧性研究	何小东 马秋荣 王长安等	(236)
基于小波重构的输油管线压力信号降噪分析	白小亮 韩新利 卫尊义等	(242)
基于软件方法的天然气泄漏检测方法	白小亮 卫尊义 吴 健等	(250)
Microstructure and Properties of Heat-affected Zones in X100 Steel Grade Line Pipes	Zhuang Chuanjing Li Na Wang Shipeng et al	(257)
Influence of Different Strikers on Charpy Impact Absorbed Energies of High Strength Pipeline Steels	Lin Weiping Zhuang Chuanjing Li Na et al	(266)
酸性服役条件油气输送管线用钢研究进展	邵晓东 庄传晶 韩新利等	(273)
X80 钢管热弯及热处理工艺参数的确定	许晓锋 屈忆欣 马小芳编译	(281)
用通用焊接检验尺测量埋弧焊管焊缝余高的修正	许晓锋 李为卫 徐 婷	(288)
一种高钢级管线钢管材的质量评价体系	马小芳编译	(293)
管材焊缝超声检测缺陷定位问题	巨西民 莫润阳 姚 欢等	(301)
国产 X80 管线钢应变时效试验研究	高建忠 马秋荣 王长安等	(306)

卷板制造 JCOE 直缝埋弧焊接钢管质量状况 杨专钊 田 伟 李云龙等 (313)

高钢级管线钢应变时效行为分析 高建忠 王春芳 王长安等 (321)

油气输送钢管焊缝接触溢水法 AUT 方法研究 李 杰 黄 磊 袁华丽 (327)

海上油气输送管道对接环焊缝的相控阵检测技术 蒋承君 巨西民 (332)

JCOE 制管前后力学性能变化分析 杜 伟 娄 琦 黄 磊等 (338)

川气东送 $\phi 1016\text{mm}\times 26.2\text{mm}$ 感应加热弯管性能分析
..... 杜 伟 王长安 王文嘉等 (343)

螺旋埋弧焊接钢管壁厚与取样位置变化对拉伸性能的影响
..... 吴金辉 张鸿博 王卓力等 (348)

无缝管接触式超声波探伤方法讨论 姚 欢 冯 挺 赵仁顺等 (351)

油井管与管柱

高性能油井管的需求与发展 李鹤林 韩礼红 张文利 (356)

刍议我国油井管产业的发展方向 李鹤林 韩礼红 (367)

Limit Analysis of Extended Reach Drilling in South China Sea
..... Gao Deli Tan Chengjin Tang Haixiong (383)

Risk Analysis of Extended Reach Wells in the Liuhua Oilfield, South China Sea, Based on
Comprehensive Fuzzy Evaluation Method ... Zhang Hui Gao Deli Hao Zhiwei (393)

影响钻杆腐蚀疲劳寿命的材料因素研究 王新虎 邝献任 吕拴录等 (400)

马氏体/贝氏体复相组织钻杆力学行为研究..... 韩礼红 姜新越 王青林等 (407)

$\phi 127\text{mm}$ G105 钻杆失效分析 李方坡 刘永刚 林凯等 (420)

硫化氢腐蚀环境下的钻具失效研究 刘永刚 罗琼英 李三昌等 (425)

基于流场分析的钻杆内加厚过渡带管体刺漏失效机理
..... 刘文红 林 凯 王新虎等 (430)

Pressure Drop for Oil-Water Two-phase Flow in Horizontal Pipe
..... Liu Wenhong Guo Liejin (446)

某 $\phi 244.5\text{mm}$ 套管断裂试验分析研究 刘永刚 黄 伟 路彩虹 (461)

两起震击器花键心轴断裂原因分析及改进措施 潘志勇 刘永刚 王新虎等 (466)

一种提高复杂井况下管柱设计系数的三轴应力方法
..... Jan A Aasen, Bernt S Aadnoy (挪威) 王建军等 (471)

$\phi 127\text{mm}$ S135 钻杆内螺纹接头胀扣失效分析 李方坡 刘永刚 林 凯等 (478)

新型绿色高效螺纹脂在油套管连接中的应用 田 峰 王耀光 林 凯等 (483)

一起加重钻杆疲劳断裂分析 潘志勇 林 凯 王新虎等 (487)

φ139.7mm 钻杆内螺纹接头纵向开裂失效分析	李方坡	黄伟	路彩虹等	(493)
自喷井 N80 油管断裂分析	王建军	林凯	黄世财等	(499)
φ139.7mmS135 钻杆刺穿失效分析	路彩虹	刘永刚	王新虎等	(503)
钻铤横向开裂失效分析	路彩虹	刘永刚	王新虎等	(509)
6½in 钻铤断裂失效分析	刘强	上官丰收	林凯等	(516)
φ101.6mm×8.38mm IU X95 钻杆 Pb - Sn 致脆失效分析	李磊	刘文红	宋生印等	(521)
某井 φ73.02mm×5.51mm N80Q EUE 油管黏扣及脱扣原因分析	李磊	黄永章	刘文红等	(528)
S135 钻杆断裂原因分析	蔡锐	胡志兵	田伟等	(534)
链条夹持系统对黏扣性能的影响	李东风	韩新利	杨鹏等	(539)
全尺寸试验方法对特殊螺纹油套管的质量控制	李东风	韩新利	韩军等	(544)
非调质 N80 级油井管的力学性能：工艺和显微组织的影响	娄琦	韩新利	李东风等	(549)
G105 钻杆刺穿失效分析.....	艾裕丰	许晓锋	蔺卫平等	(554)
G105 钻杆管体刺漏失效分析.....	艾裕丰	李方坡	刘永刚等	(559)
110 钢级抗挤抗硫套管的性能分析及其适用性研究	娄琦	杜伟	韩新利等	(563)
N80 LC 套管脱扣原因分析	杨鹏	韩新利	李东风等	(569)
无磁钻铤的荧光渗透检测技术	巨西民	姚欢	罗华权等	(574)
钻铤用厚壁钢管超声波探伤方法研究	姚欢	冯挺	赵仁顺等	(582)
13Cr 转换接头开裂失效分析	刘强	上官丰收	宋生印等	(588)
新型螺纹脂密封性能测试程序研究	曹峰	杨力能	李记科等	(595)
油井管工程标准化发展战略	徐婷			(600)
Influence of Relevant Parameters on Hole Cleaning and Pipe String Erosion in Air Drilling	Zhu Hongjun	Lin Yuanhua	Meng Yingfeng et al	(607)
Casing and Tubing Design for Sour Oil & Gas Field*	Sun Yongxing	Lin Yuanhua	Wang Zhongsheng et al	(617)
油气井工程中地应力场反演研究的发展	练章华	曾久长	乐斌等	(627)
高含硫油气井套管安全系数的合理取值	涂君君	张智	付建红等	(632)
含裂纹油井管三维应力强度因子的有限元分析	张攀峰	林元华	李天雷等	(636)
井壁接触应力影响下的连续油管屈曲载荷计算方法	刘昕	练章华	罗宇灿等	(641)
套管破损修复新技术综述	韩中轩	练章华	贾春萍等	(647)

基于残余应力的热采井套管安全评价分析	陈 勇 练章华 陈若铭等 (652)
非均匀套管磨损对套管强度的影响	饶富培 付建红 张 智等 (656)

腐蚀与防护

G3 油管与 VM80SS 套管在 CO ₂ 环境中的电偶腐蚀行为研究	严密林 李鹤林 邓洪达等 (661)
P110 钢抗冲刷腐蚀行为研究	林冠发 朱世东 白真权等 (666)
Spectral Analysis of CO ₂ Corrosion Product Scales on 13Cr Tubing Steel	Lin Guanfa Xiang Jianmin Bai Zhenquan et al (673)
80SS 油管钢在塔里木气田中的腐蚀性能研究	宋绍富 尹成先 刘菊荣 (682)
一种油气田开发用新型双金属复合管	李为卫 秦长毅 贾君君等 (687)
带配重海管的内壁和管端的特殊防腐技术	严密林 梅 奇 冯耀荣等 (691)
Effect of Temperature on the Electrochemical Properties of Electroless Ni-P Coating in NaCl Solution	Miao Jian (695)
油套管在 CO ₂ 气侵完井液中的腐蚀行为研究	赵雪会 白真权 尹成先等 (700)
镍基合金在含 H ₂ S/ CO ₂ 环境下的电化学腐蚀行为研究	赵雪会 白真权 尹成先等 (705)
气井采油树腐蚀检测与分析	陈志昕 张明益 罗金恒等 (711)
在役管道涂层及阴极保护失效模式探讨	陈志昕 蔡 克 张 良等 (716)
Cl ⁻ 、CO ₂ 和微量 H ₂ S 共存时 13Cr 的腐蚀性能研究	韩 燕 李道德 林冠发等 (723)
双金属复合管技术经济性分析	李发根 魏 斌 邵晓东等 (731)
Fluorine Ion Influence on the Corrosion of P110 Steel in High-mineralized Solution	Timonin Alexey Kosterina Maryana Yin Chengxian et al (736)
高腐蚀性油气田用双金属复合管	李发根 魏 斌 邵晓东等 (741)
3 种 13Cr 材料在 CO ₂ 和 H ₂ S 共存时的腐蚀性能研究	韩 燕 李发根 路彩虹等 (747)
一种新型酸化缓蚀剂 TG320 的合成和应用	张娟涛 白真权 (753)
石油管外涂层抗阴极剥离性能研究	蔡 克 常大伟 陈志昕等 (757)
110SS 抗 H ₂ S 腐蚀套管合金设计方案研究	杜 伟 娄 琦 黄 磊 (762)
天然气集输管道缓蚀剂	杜 磊 曹晓燕 姜 放等 (767)
天然气集输系统腐蚀控制	曹晓燕 杜 磊 李天雷等 (779)
酸性油气田油套管抗腐蚀开裂设计新方法	李天雷 孙永兴 曹晓燕 (784)
酸性气田增压系统空冷机管束箱丝堵断裂失效原因分析	鲜 宁 王秦晋 吴知谦等 (789)

抗硫油管与镍铬合金钢材料的电偶腐蚀研究 殷名学 曹晓燕 罗泽斌等 (793)

其 他

油气钻探技术中耐磨材料的研究进展 刘宝林 彭 鹏 高德利等 (799)

Sialon - SiC 耐磨陶瓷的制备及液固冲蚀磨损性能研究
..... 刘宝林 高德利 杨景周等 (805)

石油管检测项目关键环节质量控制 韩新利 (810)

聚吡咯功能化环氧树脂基防腐材料制备研究 戚东涛 杨庆浩 (813)

Failure Analysis of RTP for Natural Gas Transportation in Changqing Oilfield
..... Cai Xuehua Qi Dongtao DingNan et al (817)

油气田用复合材料管材的水压试验 丁 楠 戚东涛 蔡雪华等 (822)

油田用防腐增强热塑性塑料复合管性能研究 蔡雪华 戚东涛 (826)

Compound Pipes in Oil and Gas Engineering
..... Liu Yangqin Shao Xiaodong Yang Hongbing et al (830)

Failure Types of FRP Pipe in Oil and Gas Engineering
..... Liu Yangqin Shao Xiaodong Han Xinli et al (840)

落锤撕裂试验标准与设备的研究与探讨 李 娜 庄传晶 朱丽霞等 (848)

Determination of Cefetamet Pivoxil in Human Urine and Serum Using Flow Injection
Chemiluminescence Procedure Shao Xiaodong Li Xin Liu Bei et al (851)

增强型 UNS N08028'合金的析出相及固溶处理工艺研究
..... 李 亮 蔡 锐 李云龙等 (857)

增强型 13Cr 合金的热处理工艺及组织和性能研究 李 亮 李云龙 杨力能 (863)

筒类锻件缺陷超声检测方法探讨 罗华权 巨西民 王高峰 (868)

主蒸汽管道寿命预测方法综述 高 锋 王高峰 景军军等 (871)

第二篇 成 果 篇

省部级以上获奖成果简介

高含 H₂S/CO₂ 气田油套管腐蚀机理及腐蚀防治技术研究 (878)

新疆油田稠油热采注汽管道安全可靠性评估技术..... (880)

西部油田高温高压含 CO₂ 气井油套管冲刷腐蚀预测预防技术研究 (882)

复杂气井油套管柱的安全性及优化设计与密封保障技术研究..... (884)

高性能钻杆材料、结构研究及适用性评价系统开发..... (886)

X80 管线钢管在大口径高压大输量长输天然气管线上的应用研究..... (888)

授权专利简介

连续膨胀管..... (891)

一种 13Cr 油井管试验实物制备方法 (892)

石油、天然气输送的双缝埋弧焊管的生产方法..... (893)

新型双金属复合管及制造方法..... (894)

螺旋缝埋弧焊管的残余应力计算方法..... (895)

薄壁不锈钢复层与碳钢基层的复合管环焊缝焊接方法..... (896)

22Cr 双相不锈钢管道焊接方法 (897)

双金属复合管螺纹连接接头..... (898)

管道对接焊缝超声波检测装置..... (899)

一种复合材料内螺纹..... (900)

石油钻具螺纹量规紧密测量专用夹持装置..... (901)

测量钢管的管端钝边长度的量具..... (902)

钢管表面凸起或凹陷参量的测量尺..... (903)

膨胀套管单钩形螺纹加工刀具..... (904)

计算机软件著作权简介

天然气管道减压波计算软件 DecomWave V1.0 (906)

连续油管力学特性分析软件 V1.0 (907)

管材性能分析与评价报告生成系统 V1.0 (908)

气井套管柱安全可靠分析 V1.0 (909)

西气东输二线用管材性能数据库系统 V1.0 (910)

含缺陷钻柱构件适用性评价软件 V1.0 (911)

第一篇

论 文 篇

输送管与完整性评价

管线钢表面裂纹体的三维断裂特性和断裂判据研究*

赵新伟¹ 罗金恒¹ 杨 政² 张 华¹ 张广利¹

[1. 中国石油天然气集团公司管材研究所, 陕西西安 710065;

2. 西安交通大学航空航天学院, 陕西西安 710049]

摘 要:采用中心表面裂纹试样的三点弯曲试验,研究了 X70 管线钢表面裂纹体的断裂特性。结果表明,二维断裂力学参量 K_I 已不能客观描述和表征表面裂纹体断裂现象和裂端应力场强度。采用三维断裂力学参量 K_z ,能够很好地描述和表征表面裂纹体的试验现象和裂纹尖端应力场强度,三维断裂韧性 K_{zc} 与表面裂纹的几何尺寸和裂纹形态无关,是管线钢表面裂纹体的客观韧性指标。建立了穿透裂纹和表面裂纹的统一断裂准则,即三维断裂力学准则 $K_z = K \sqrt{F(T_z)} \leq K_{zc}$,将该准则和失效评估图(FAD)技术相结合,可以进行含表面裂纹管道的安全性评定。

关键词:管线钢;表面裂纹;断裂韧性;三维断裂力学

断裂是油气管道最重要的失效形式之一。在实际管道中,管子制造、焊接、施工、应力腐蚀、疲劳等引发的裂纹大多是非穿透裂纹。管道破裂前以表面裂纹扩展,而一旦破裂,就可能以穿透裂纹高速扩展。工程结构的安全评定都是依据现有材料试验标准,利用标准穿透裂纹试样获得的断裂韧性数据^[1],但是实际结构的断裂强度是随裂纹几何形态和壁厚的变化而变化^[2-4]。因此,如何将标准穿透裂纹试验数据用于非穿透裂纹的断裂评定是具有重要工程意义的研究课题,这也是目前断裂力学领域的前沿技术问题。

对三维弹塑性裂纹尖端应力场的研究表明,裂纹端部应力场不仅与应力强度因子 K 和面内约束有关,而且与三维应力约束密切相关。在三维裂纹体中,单一 K 参数的表征方法无论对裂尖应力场还是对损伤过程都已失效,必须建立新的更有效的断裂控制参量和断裂准则。

本文对含表面裂纹的 X70 管线钢进行了断裂韧性试验,分析了二维断裂力学参量描述和表征表面裂纹试验现象和裂尖应力场强度的局限性,提出了以三维断裂理论 $K-T_z$ 为基础的 K_{zc} 断裂控制参量,提出了含表面裂纹管道的三维断裂评估准则。

1 理论分析

1.1 应力强度因子的确定

受三点弯曲的表面裂纹体应力强度因子可由下式确定:

$$K_I = HS \sqrt{\pi \frac{a}{Q} F\left(\frac{a}{B}, \frac{a}{c}, \frac{c}{W}, \phi\right)} \quad (1)$$

式中 F ——与 $\frac{a}{B}$, $\frac{a}{c}$, $\frac{c}{W}$, ϕ 有关的尺寸函数;