

SHIYOU GUANGONGCHENG ZHONGDIANSHIYANSHI
KEYAN CHENGGUO HUIBIAN

石油管工程重点实验室 科研成果汇编

(2008年)

中国石油天然气集团公司管材研究所 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2008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. 2008年/中国石油天然气集团公司管材研究所,石油管工程重点实验室编.

北京:石油工业出版社,2009.12

ISBN 978-7-5021-7558-0

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(2009)第229034号

石油管工程重点实验室科研成果汇编(2008年)

中国石油天然气集团公司管材研究所 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:石油工业出版社印刷厂

2009年12月第1版 2009年12月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:52.5

字数:1339千字 印数:1—800册

定价:180.00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》(2008 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	王茂棠	王晓香	方朝亮
白真权	冯耀荣	乔 立	刘文成	安文华
李鹤林	杨 龙	杨 果	杨祖佩	吴苏江
张冠军	张建勋	陈健峰	郑茂盛	郑新权
赵业荣	赵文轸	赵新伟	姜 放	施太和
钟树德	秦长毅	秦文贵	高惠临	高德利
高泽涛	郭兴莲	霍春勇		

主 编: 赵新伟

副 主 编: 白真权 林 凯 林元华 覃成锦 姜 放

编 辑 组: 赵新伟 白真权 林 凯 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（以下简称实验室）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，是中国石油天然气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。

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进展。

2008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：4项研究成果通过集团公司验收，6项在研项目通过中评估，出版专著1部，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32项，9项获得授权，6项软件获得著作权。研究成果在中国石油天然气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，提高中国石油天然气集团公司的整

体效益方面取得更大的成就。

本书收集了中国石油天然气集团公司管材研究所和石油管工程重点实验室在 2008 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

2009 年 7 月

目 录

第一篇 论 文 篇

输送管与完整性评价

中国石油油气管道技术发展展望	冯耀荣 陈 浩 张劲军等 (4)
几种油气输送管材料的疲劳特性与管道寿命预测	刁 顺 冯耀荣 庄传晶等 (14)
Research on Key Technology and Production Quality of X80 Linepipe for the 2nd West - East Gas Pipeline	Ji Linggang Huo Chunyong Feng Yaorong et al. (24)
Key Issues in the Specification of High Strain Line Pipe Used in Strain -based Designed Districts of the 2nd West to East Pipeline	Ji Linggang Chen Hongyuan Huo Chunyong et al. (42)
Several Problems in Strength Testing of High Grade HSAW Pipe	Xiong Qingren Li Weiwei Gong Shaotao et al. (55)
影响高钢级管线钢管强度测试因素分析	熊庆人 (64)
Effect of Different Cooling Rate on HAZ Microstructure of 2205 Duplex Stainless Steels	Xiong Qingren Feng Yaorong Zhao Wenzhen et al. (71)
Development and Study of the Large Diameter X80 Induction Heated Bending Pipe	Chi Qiang Liu Yinglai Ji Linggang et al. (79)
X80 感应加热弯管加热工艺及性能研究	池 强 刘迎来 吉玲康等 (88)
天然气管道工程用厚壁大口径 X70 弯头的研究	池 强 刘迎来 李为卫等 (95)
Deformation Behavior Prediction of X80 Steel Line Pipe and Implication on High Strain Pipe Specification	Chen Hongyuan Ji Linggang Gong Shaotao et al. (100)
受初始几何缺陷影响的管线管非线性屈曲分析	陈宏远 吉玲康 李为卫等 (109)
石油天然气生产中的不锈钢	官少涛 李为卫 张 奕等 (116)
油气输送管道用大口径双层埋弧焊管	李为卫 (120)
Structures and Properties of X80 Pipeline Girth Welds for Different Welding Procedures	He Xiaodong Zhuang Chuanjing Han Xinli et al. (125)
微观组织对 X80 管线钢断口分离的影响	李 洋 林冠发 吉玲康等 (133)
铌—钛复合微合金 CSP 流程生产 X60 管线钢的组织及性能	何小东 韩新利 杨红兵等 (141)
2205 双相不锈钢与 X80 异种钢焊接接头的组织与电偶腐蚀行为研究	

.....	王晓燕 张 雷 蔺卫平等	(147)
Effect of M/A Constituents on Mechanical Properties in X80 Pipeline Steel		
.....	Zhu Lixia Zhuang Chuanjing He Xiaodong et al.	(153)
Study on Dissimilar Metal Welding Between SAF2205 and X65 Pipes		
.....	Wang Xiaoyan Zhang Lei Wang Yalong et al.	(158)
Experimental Study on Girth Welds of X80 High Deformability Pipeline		
.....	He Xiaodong Huo Chunyong Han Xinli et al.	(165)
Study on Correlation of Orientation and Impact Properties in HTP Line-Pipe Steel		
.....	Zhu Lixia Wang Yalong Li Jinfeng et al.	(171)
X70 管线钢焊接热影响区冲击试验的研究		
	蔺卫平 李爱萍 王晓燕等	(177)
Structures and Properties of X80 Pipeline Girth Welds for Different Welding Procedures		
.....	He Xiaodong Zhuang Chuanjing Han Xinli et al.	(181)
Fracture Arrest Toughness Requirements for the Second West – East Gas Pipeline		
.....	Zhuang Chuanjing Huo Chunyong Feng Yaorong et al.	(189)
不同摆锤锤头对高钢级管线钢夏比冲击吸收能量的影响		
.....	蔺卫平 王晓燕 李 娜等	(199)
高强度管线钢焊接接头不同缺口位置的断裂韧性		
	何小东 霍春勇 韩新利等	(203)
Mechanical Properties of Longitudinal Submerged Arc Welded Steel Pipes Used for Gas Pipe –		
line of Offshore Oil	Yang Zhuanzhao	(209)
Low Temperature Toughness of X80 Grade HSAW Pipe		
.....	Yang Zhuanzhao Ma Qiurong Li Jike et al.	(218)
卷板制造 JCOE 直缝埋弧焊接钢管性能		
	杨延华 杨专钊 丁 毅等	(224)
油气输送钢管无损检测技术标准的比较与现状分析		
	余国民 张鸿博 马秋荣等	(230)
管线钢拉伸试验中异常屈服强度研究与分析		
	杨专钊 李云龙 邓 波等	(234)
油气长输管道对接焊缝缺陷检测国内外验收标准比较分析讨论		
.....	巨西民 姚 欢 张建勳等	(238)
论提高射线裂纹检出率的方法		
	罗华权 赵洪臣 李竹滨	(246)
油气管道检测技术发展和现状		
	蒋承君 巨西民	(250)
The Analysis for Relation of Fracture Toughness and Charpy Impact Energy of High Strength		
Pipeline Steel	Zhang Guangli Zhao Xinwei Luo Jinheng et al.	(256)
基于灰色关联度法的管道临界屈曲应变影响因素分析		
.....	张 华 赵新伟 罗金恒等	(265)
管道缺陷导波与超声波 C 扫描复合检测新技术		
	陈志昕 罗金恒 董保胜等	(272)

天然气加热炉盘管安全评价	董保胜	陈志昕	罗金恒等	(277)
基于量纲分析的管道临界屈曲应变准则研究	张 华	赵新伟	罗金恒等	(282)
X80 管线钢断裂韧性测试中试样厚度的影响	罗金恒	张 华	赵新伟等	(288)
储罐焊接缺陷安全评价	董保胜	陈宏达	赵新伟等	(293)
城市天然气管网用波纹管膨胀节开裂分析	董保胜	陈宏达	陈志昕等	(300)
统计分析理论在高钢级管线钢断裂韧性研究中的应用	张广利	赵新伟	罗金恒等	(306)
高钢级管材强度性能测试若干问题	李 晨	只建平		(312)
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	(322)

油井管与管柱

油井管发展动向及高性能油井管国产化.....	李鹤林	张亚平	韩礼红	(331)
从 ISO 13679 标准的演化浅谈油、套管的质量控制	韩 军	韩新利	李东风等	(344)
套管抗挤强度计算理论研究	申昭熙	上官丰收	王建军	(348)
基于流场分析的 $\phi 127\text{mm}$ 钻杆内加厚过渡带刺漏机理 ...	刘文红	王青林	谷振乾等	(354)
深井超深井钻杆刺漏失效统计分析	刘文红	王新虎	林 凯等	(363)
$\phi 127\text{mm}$ API 钻杆内加厚过渡带管体冲蚀失效机理.....	刘文红	林 凯	王新虎等	(373)
钻杆内加厚过渡带管体刺穿的流体力学因素研究	刘文红	林 凯	王新虎等	(382)
用盲孔法测量 $\phi 158.8\text{mm}$ 钻铤内螺纹端残余应力	赵恩远	刘文红	王青林等	(393)
几何尺寸影响下的高钢级套管挤毁变形试验研究	王建军	林 凯	宋延鹏等	(398)
材料形变强化和摩擦系数对圆螺纹接头滑脱性能的影响	申昭熙			(403)
稠油井井下油管挤毁失效分析	王建军	林 凯	王新虎等	(407)
对现行钻杆技术条款的分析研究	刘永刚	叶顶鹏	赵新伟	(413)
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	(418)
Probe on the Drill Pipe Standard Revisions	Liu Yonggang	Xu Ting	Lin Kai et al.	(423)
套管强度余量在油气井固井中的应用	王建东	林 凯	赵克枫等	(429)
特殊螺纹油套管的预紧扭矩及密封性研究	王新虎	申照熙	王建东等	(435)
特殊螺纹接头密封结构对比分析	王建东	林 凯	王新虎等	(442)
钻杆材料冲击韧性指标研究	张亚平	韩礼红	徐 欣等	(449)
贝氏体/马氏体复相钢及其性能特点	齐承竺	韩礼红	徐 欣等	(456)
钻铤断裂失效分析及预防	李金凤	朱丽霞	韩新利等	(461)
API 圆螺纹套管外螺纹接头紧密距测量及判定	冯 娜	卫尊义	卫 栋等	(465)
非调质 N80 级油、套管典型缺陷组织及分析	朱丽霞	李金凤	韩新利等	(470)

扭矩试验机夹持系统对黏扣性能的影响	李东风 韩 军 杨 鹏等	(474)
特殊螺纹中径测量不确定度评定	艾裕丰 卫尊义 吴 健等	(479)
基于 COM 的有杆泵抽油井井眼轨迹描述技术	严长亮 彭 勇 郭 荆	(484)
钻杆生产中探伤要求及探伤方法	巨西民 莫润阳 王 峰	(492)
ISO 10400 油套管强度新模型	孙永兴 林元华 舒玉春等	(498)
基于有限元法的热采井套损机理研究	张 宇 况雨春 伍开松等	(503)
考虑残余应变的连续油管螺旋屈曲载荷新公式	刘 健 林铁军 练章华等	(508)
空气钻井中螺杆钻具输出性能研究	尚 立 付建红 施太和等	(514)
两种典型膨胀管膨胀工艺技术研究	杨 斌 练章华 叶顶鹏等	(518)
热采井中偏梯形套管螺纹有限元分析	陈 勇 洪少青 练章华等	(523)
深井套管磨损几何力学模型及计算分析	刘 飞 付建红 李真祥等	(527)
疏松砂岩层套管受力的有限元分析	肖 洲 练章华 陈 勇等	(532)
水泥环周向缺失的热采井井筒热应力耦合分析	陈 勇 练章华 陈 敏等	(536)
套管钻井中套管柱的瞬态动力学分析与研究	郭 钢 张 宇 况雨春等	(540)
套管钻井中套管柱疲劳寿命分析方法	况雨春 张 宇 伍开松等	(544)
弯曲井眼中钻柱屈曲的非线性有限元分析	董永辉 况雨春 伍开松等	(548)
下部钻柱有限元动力学仿真研究	林元华 付建红 卢亚锋等	(553)
小波理论在钻柱振动谱分析中的应用	黄建林 罗 飞 付建红等	(559)
一界面存在微间隙的热采井井筒热应力分析	陈 勇 练章华 李 旭等	(563)
$\phi 149.3$ mm 钻杆高强度接头数值分析	兰洪波 高德利 张国辉	(568)
Study and Experiment on the Vibration Characters of BHA	Gao Deli Wang Degui Li Cheng	(571)
高温斜直热采井管柱热屈曲探讨	赵增新 高德利	(582)
$\phi 22$ mmD 级抽油杆失效原因分析	田伟 赵雪会 白真权等	(589)

腐蚀与防护

125 套管钢在气侵环空液中的腐蚀行为研究	赵雪会 魏 斌 田 伟等	(595)
高含 Cl^- 条件下 H_2S 分压对 P110 钢腐蚀速率的影响	朱世东 白真权 林冠发等	(601)
Corrosion Behavior of 13Cr Stainless Steel in Sodium Chloride Solution Containing CO_2	Yin Zhifu Bai Zhenquan Zhao Wenzhen et al.	(606)
热处理对 Ni-P 镀层抗 CO_2 腐蚀行为的影响	张星笃 严文 白真权等	(615)
油管用高磷化学镀 Ni-P 的工艺研究	张星笃 严文 白真权等	(622)

油套管 P110 钢的 CO ₂ 腐蚀行为研究	朱世东	林冠发	白真权等	(628)
13Cr 油套管钢 CO ₂ 腐蚀产物膜的能谱分析	林冠发	胥勳源	白真权等	(635)
塔里木油田腐蚀与防护的现状、趋势和建议	相建民	林冠发	常泽亮等	(643)
牙哈 YH301 井油管腐蚀失效研究	田 伟	杨专钊	林冠发等	(650)
影响油气田 CO ₂ 腐蚀速率的因素研究	朱世东	白真权	林冠发等	(656)
3 种 13Cr110 钢高温高压 CO ₂ 腐蚀行为对比研究	林冠发	相建民	常泽亮等	(664)
固溶处理对 2205 双相不锈钢点蚀性能的影响	魏 斌	白真权	尹成先等	(669)
Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 对 N80 钢腐蚀速率的影响	朱世东	白真权	刘 会等	(675)
Research and Application of 2205 Duplex Stainless Steel for Gathering Pipelines in Kela-2				
Gas Field	Wei Bin	Bai Zhenquan	Yin Chengxian et al.	(679)
Research and Application of Lined Pipe for Gathering Pipelines in Yaha Gas Condensate				
Field	Wei Bin	Bai Zhenquan	Yin Chengxian et al.	(691)
水泥石碳化腐蚀影响因素及抗腐蚀方法研究	牟春国	杨远光	施太和等	(700)
高含 H ₂ S/CO ₂ 环境中 N80SS 钢腐蚀行为的研究	严密林	李鹤林	李春福等	(705)
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	(711)
富锌涂层与阴极保护对不同强度级别管线钢应力腐蚀行为的影响				
鲜 宁	刘道新	白真权等	(719)	
弯曲加载评价管线钢 SCC 敏感性的有效性研究	鲜 宁	刘道新	任呈强等	(725)
一种天然气井油管防腐涂料	杜 磊	殷名学	周 玲	(731)
酸性油气井油套管及封隔器材料电偶腐蚀行为	赵华莱	姜 放	李 珣等	(736)
碳纤维环氧复合材料电化学腐蚀行为	杨专钊	刘道新	唐长斌等	(741)
X52 管材土壤腐蚀速率测试及结果分析	罗金恒	赵新伟	陈志昕等	(745)

其 他

川东飞仙关组气藏高含硫气井完井工艺设计研究	卢亚锋	林元华	杨江海等	(752)
方补心扭矩仪研制及应用	孙永兴	林元华	施太和等	(758)
基于模糊数学和灰色理论的多层次综合评价方法及其应用	张 辉	高德利		(763)
Failure Analysis of Fiber-Reinforced Composites Under Multiaxial Cyclic Stress				
Qi Dongtao	Cheng Guangxu			(769)

驻厂质量监督中保障质量的方法探析 李记科 李云龙 马秋荣 (783)

石油管螺纹检测人员技术资质培训的发展 吴 健 卫尊义 白小亮等 (788)

第二篇 成 果 篇

省部级以上获奖成果简介

复杂工况下钻柱安全性关键因素研究 (796)

基于风险的油气管道完整性评价技术研究及应用 (797)

油气田地面集输管线腐蚀控制技术及应用 (798)

油气管道定量风险评估技术研究及应用 (801)

重点深探井管柱优化设计及管材适应性研究 (803)

22Cr 双相不锈钢关键技术研究及工程应用 (805)

中曲率弯曲井段套管柱设计和气体钻井钻具失效研究 (807)

复杂工况油气井套管柱设计及管材选用技术研究 (809)

大口径对接环焊缝检测技术研究 (811)

授权专利简介

一种含缺陷管道补强的方法 (813)

一种针对金属硫化物结垢的溶垢剂 (814)

大口径双层埋弧焊管 (815)

一种石油专用油、套管快速渗铝装置 (816)

一种在线腐蚀监测探针 (817)

一种连续管多轴复合载荷低周疲劳试验装置 (818)

一种连续管疲劳试验夹持装置 (819)

一种套管磨损保护短节 (820)

套管柱压应力释放接箍 (821)

计算机软件著作权简介

管柱检测分析软件 V1.0 (823)

高温高压注汽管道安全可靠评估软件 V1.0 (824)

第一篇

论 文 篇

输送管与完整性评价

中国石油油气管道技术发展展望

冯耀荣¹ 陈 浩² 张劲军³ 张可刚⁴

[1. 中国石油天然气集团公司管材研究所, 陕西西安 710065; 2. 中国石油天然气管道局, 河北廊坊 065000;
3. 中国石油大学(北京) 中国石油天然气集团公司石油管工程重点实验室, 北京昌平 102249;
4. 中国石油天然气集团公司科技发展部, 北京 100007]

摘 要: 本文叙述了中国石油重组改制以来及“十五”期间在油气管道工程技术, 包括管道勘察设计、施工技术与装备、高钢级管材及装备国产化、油气储运工艺、腐蚀与防腐、在役管道检测与安全评价、管道运行管理等方面取得的重要成果及形成的核心技术和创新成果。在对“十一五”管道建设发展及技术需求进行分析的基础上, 提出了油气输送管道工程技术的发展方向。

关键词: 油气输送管道; 技术进展; 展望

1 “十五”期间中国石油油气输送管道工程技术主要进展

1.1 油气输送管道工程发展概况

管道运输业是一个庞大的工业体系, 在石油天然气工业乃至世界经济中发挥着越来越重要的作用。经过 40 多年的努力奋斗, 我国油气管道建设有了较大发展。到目前为止, 长距离大口径输油气干线管道相继建成, 总长度超过 35000km, 其中原油管道超过 9200km, 天然气管道超过 20000km, 成品油管道超过 3800km, 海底管道超过 2100km。

中国石油已拥有陆上长输油气管道 23800km, 占全国的 70% 左右, 其中原油管道 6000km, 天然气管道 16000km, 成品油管道 1800km。

在 20 世纪末的 5 年到 21 世纪初的 5 年里, 中国石油在国内相继建设了陕京天然气管道、涩宁兰天然气管道、兰成渝成品油管道、忠武天然气管道等重大工程。举世瞩目的西气东输天然气管道, 西起新疆塔里木气田, 东至长江三角洲的上海, 全线经过荒漠戈壁、黄土高原、太行山脉、江南水网, 五次穿越长江、黄河天险, 绵延近 4000km, 地形地貌的复杂程度堪称世界之最。我国的管道建设者依靠科技创新, 勇敢面对前所未有的困难和挑战, 将西气东输工程建设成为世界一流水平的管道。

经过多年的发展与努力, 中国油气长输管道已逐步缩短了与世界发达国家技术水平的差距。陆上管道工程建设, 设计与施工接近国际先进水平; 海上管道工程, 具备了自行设计和施工能力, 并拥有了国产大型深海铺管船。

1.2 “十五”期间的主要科技活动、重大科研项目及研究成果

“十五”期间及重组改制以来, 中国石油在长输油气管道工程技术领域开展了一系列重大科研项目的攻关, 取得了“西气东输管道工程技术”等一大批重大科技成果, 提升了长输

油气管道建设水平、工程技术服务能力和核心竞争力。西气东输管道、陕京二线、冀宁支线、忠武管道、苏丹、利比亚管道等国内外重大工程的竣工和按期投产，集中体现了开展管道工程技术科学研究的重要作用，是实现“十五”期间管道技术发展计划目标的突出标志。

管道科研部门共承担国家级和中国石油科技项目（课题）百余项，开展项目研究 300 余项，同时结合国内外重点管道工程，加大了科研成果转化和推广应用的力度，推广应用率超过 80%。

通过不懈努力，取得了一大批高水平 and 拥有自主知识产权的科技创新成果，包括鉴定验收科研项目百余项，申请并获得国家专利 191 项，编制计算机软件 25 套，取得专有技术 210 项；建立国家级工法 10 项，集团公司级工法 25 项，创造 107 项中国企业新纪录；共发表技术论文 600 余篇；制定国家标准 8 部，行业标准 62 部，中国石油天然气集团公司企业标准 37 部，西气东输管道工程标准 17 部；获国家级科技进步二等奖 1 项，国家安全生产科技成果奖 5 项，集团公司技术创新奖 18 项，省级科技奖 5 项。

特别是在 2000—2005 年期间，中国石油天然气集团公司科技发展部组织直属院所（西安管材所、天津工程技术研究院）、中国石油天然气管道局（研究院、管道工程有限公司、管道局机械厂、管道局钢管厂、工程技术公司、各工程公司）、华北石油管理局（油建公司、钢管厂）、物资装备（集团）总公司（宝鸡石油钢管有限公司）、中国石油大学（北京、华东）、西南石油学院（现西南石油大学）、西安石油大学、清华大学、北京大学、华东工业大学、西安交通大学及宝山钢铁有限公司、武汉钢铁集团公司、鞍山钢铁集团公司等 30 多家科研院所、大专院校及相关企业技术中心，集结专业科研人员千余人，从中国石油天然气集团公司（以下简称集团公司）、国家发展和改革委员会（原国家经贸委）两大渠道和相关企业筹措资金 10 多亿人民币，分别在大口径管道工程施工新技术、施工装备、钢材、钢管和管道重型防腐技术及材料、数控技术、遥感技术、IT 技术等几大领域，以西气东输天然气管道工程为技术攻关目标，开展了 100 余项的项目科研，其中包括课题 300 余项，专题 600 余项，短期内便获得了一大批高新技术成果，研制的新产品实现了国产化。这些高新技术成果大规模推广应用于西气东输管道工程建设，高效快速地解决了施工中的一系列难题，满足了工程施工的需要，为实现高水平、高质量、加快工程施工进度提供了强有力的技术支撑。

1.3 油气管道工程主要科技进展

（1）油气管道勘察设计技术。“十五”期间，在管道勘察设计领域，掌握了长距离输气管道高压输送及高钢级管材应用技术、卫星遥感选线技术、站场三维设计技术、管道输送工艺优化技术、内涂层减阻技术、管道自动化与网络控制技术、特殊地区管道设计技术、水工保护技术、 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 储罐设计技术、地下储气库设计等 10 余项创新技术。结合西气东输工程、涩宁兰管道工程、忠武输气管道工程、兰成渝管道工程、国家储备库岢岚基地工程等国家重点工程项目，先后开展了“西气东输工程遥感技术的应用”、“具有多处高差起伏管段的顺序输送管道混油特性及控制方法研究”、“大口径天然气管道内涂减阻设计技术研究”、“长输管道 SCADA 系统软件研究与开发”、“数字管道技术研究”、“ $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 储罐技术研究”、“地下盐穴储气库技术研究”等课题的研究。通过技术创新，在管道及油气储存勘察设计技术方面有了长足的进步，例如，“西气东输管道工程遥感技术的应用”和“地下盐穴储气库技术研究”解决了西气东输管道工程线路优化以及大型天然气管道储气调峰问

题,具有重大的经济效益和社会效益;“具有多处高差起伏管段的顺序输送管道混油特性及控制方法的研究”对兰成渝成品油管道工程在特殊复杂工况和地形条件下管内混油规律和控制方法进行了研究,编制的软件成为具有处理复杂地形和工况下的通用成品油管道应用软件。这些研究成果在西气东输管道、兰成渝管道、忠武输气管道工程中得到了推广应用,进一步提高了油气管道勘察设计水平。

(2) 高性能管材国产化技术。调查与分析结果表明,近年来,全球油气管道特别是天然气管道呈现了明显的发展趋势,即高压输送及选用高钢级管材,以大幅度提高管道的经济效益。国际上新建天然气管道的输送压力多数在 10MPa 以上,管材基本上以 X70 为主, X80 也有少量应用,而 5 年以前我国陆上管道的最高输送压力为 6.4 MPa,最高钢级为 X60。在此之后,为满足高压输送的需求,我国石油工业与冶金工业紧密配合,开展了多项应用基础研究和技术开发工作,在管材选用、管道安全可靠、高性能管材国产化等方面取得了显著进步。

经过近几年的努力,集团公司直属院所、西气东输管道项目部、制管企业、施工单位与钢厂联合攻关,开展并完成了 X70 钢级、厚度 14.6 mm、17.5 mm 热轧卷板, 14.6 mm、17.5 mm、21.0 mm 热轧钢板, $\phi 1016\text{mm} \times 14.6$ (17.5) mm 螺旋埋弧焊管和 $\phi 1016\text{mm} \times 14.6$ (17.5, 21.0) mm 直缝埋弧焊管的研制工作。随后又研制成功了 X70 和 X80 $\phi 1016\text{mm} \times 15.3$ mm 两种规格的螺旋焊钢管和 $\phi 1016\text{mm} \times 18.4$ mm 的直缝焊管,在西气东输管道工程的使用量超过 $80 \times 10^4\text{t}$,并在其后建设的陕京二线和冀宁联络线管道工程中得到成功应用。X80 管道钢管开发成功并在冀宁联络线上批量应用。

西气东输工程用 X70 大口径感应加热弯管和三通的国产化研究, CYW-72、CYW-762、CYW-1219、CYW-508、CYW-913 等型号的垂直液压弯管机的研制,天然气管道减阻耐磨涂料的课题等研究成果在西气东输、陕京二线管道工程中大批量应用,使西气东输的“瓶颈”问题得到圆满解决。

(3) 油气管道施工技术。针对西气东输管道工程的建设特点,结合管道钢的等级、壁厚、管径,首先在管道焊接工艺上进行研究,制定了自动焊、半自动焊、手工焊、连头焊、返修焊等共 35 组不同组合的焊接工艺规程,及时有效地指导了全线管道的焊接,设定的各种焊接工艺参数均满足焊接工艺要求。自主开发的 PAW2000 全位置环焊缝自动焊机及相关的配套设备首次应用于西气东输管道工程,取得了较好的业绩。成功研发的 PAW3000 双焊炬全位置自动焊机和 PIW3640 内焊机,进一步提高了管道焊接效率。长输管道对接环焊缝相控阵全自动超声检测装置的研制,填补了国内管道环焊缝在线自动检测技术的空白。与此同时,根据西部管道建设的特点,就水网、沙漠、山区以及黄土塬等特殊地段的施工技术也展开了深入研究,研制了多种运管设备,创造了因地制宜的管道敷设方法,在现场应用中收到了好的效果。在河流穿越施工中,根据不同的地质条件,先后采用了定向钻、盾构和顶管穿越技术,各个穿越施工完全达到设计要求。为满足 HSE 的要求,管道的干燥采用干空气干燥新技术,既节约了原料,又保护了环境。储罐自动焊和储库施工技术也有了进一步发展。

(4) 油气管道输送工艺技术。近年来,随着西气东输管道、兰成渝等成品油管道的建设和运营,我国的油气管道迎来了一个空前的大发展时期。天然气、成品油输送技术上上了一个新台阶。尽管“九五”以来我国新建原油管道不多,但原油管道输送技术以库鄯原油管道、苏丹原油管道为标志,也跃上了一个新高度,并且在基础理论研究方面取得了新突破,