



腐蚀性气田材料应用 工程及腐蚀控制技术

2016年



中国石油天然气集团公司科技管理部



**材料应用工程及腐蚀控制技术，
——气田安全开发金钥匙！**

目 录

1

简 介 / 4

2

特色技术 / 6

3

典型案例 / 10

4

科研装备 / 15

5

资质与标准 / 19

6

专家团队 / 23

7

服务与培训 / 26



中国石油天然气集团公司（简称“中国石油”，英文缩写：CNPC）系国家授权投资的机构和国家控股公司，是实行上下游、内外贸、产销一体化、按照现代企业制度运作，跨地区、跨行业、跨国经营的综合性石油公司，主要业务包括油气业务、石油工程技术服务、石油工程建设、石油装备制造、金融服务、新能源开发等。中国石油天然气集团公司 2015 年国内外油气产量当量 2.6 亿吨，原油加工量 1.96 亿吨，成品油销售量 1.74 亿吨，天然气销售量 1290 亿立方米。

2015 年，中国石油在美国《石油情报周刊》世界 50 家大石油公司综合排名中位居第 3 位，在《财富》杂志全球 500 家大公司排名中位居第 4 位。

中国石油天然气集团公司履行资源、市场和国际化战略，坚持“主营业务战略驱动，发展目标导向，顶层设计”科技发展理念和“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”的指导方针，以国家科技重大专项为龙头、公司重大科技专项为核心、重大现场试验为抓手、重大装备、软件、产品、标准为载体，持续推进科技进步，提升科技创新能力，取得一大批具有自主知识产权的先进实用技术。

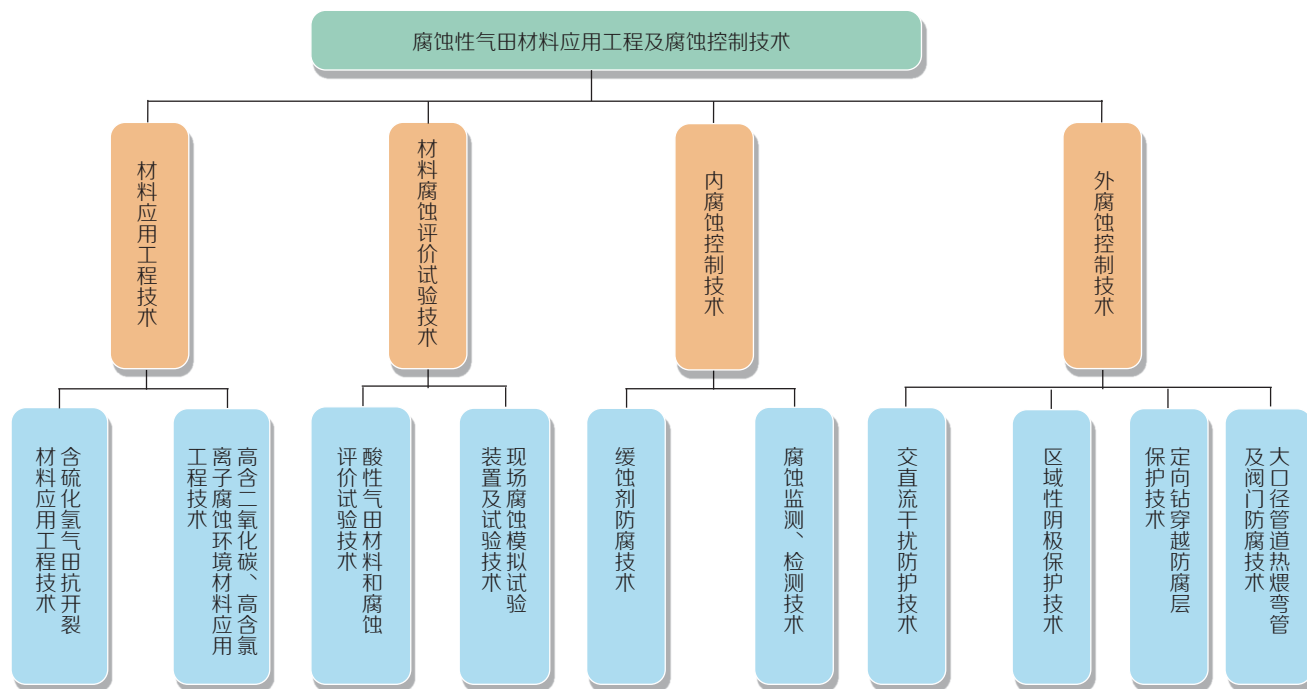
腐蚀性气田材料应用工程及腐蚀控制技术就是具有代表性的重大创新成果之一。

奉献能源 创造和谐

1

简介

实现腐蚀性气田安全、经济、有效开发，必须解决含硫化氢、二氧化碳、高矿化度地层水等腐蚀性气田材料选择与防腐问题，中国石油腐蚀性气田材料应用工程及腐蚀控制技术包括材料应用工程技术，材料腐蚀评价试验技术及内、外腐蚀控制技术，该技术通过国内外大量气田实践证明，技术水平先进，安全可靠。



腐蚀性气田材料应用工程及腐蚀控制技术已在中国四川气田、塔里木气田，中亚、非洲等国内外气田成功应用。



市场应用分布图

2

特色技术

2.1

材料应用工程技术

材料应用工程技术提供从井下管材到地面集输、净化处理系统，防止材料发生腐蚀及开裂的系统解决方案。建立了酸性气田地面工程材料应用标准体系，包括材料选择、订货技术条件、出厂及施工检验要求等全部材料标准，能提供包括破钢、耐蚀合金材料（镍基合金、双相不锈钢、奥氏体不锈钢等）、复合双金属材料、非金属材料的工程应用技术。

中国石油已拥有《高含 Cl^- 、 CO_2 湿气输送管材选择技术》、《高含硫化氢气田材料腐蚀评价与工程应用技术》等专有技术，能够解决硫化氢高达 18%（体积分数），二氧化碳高达 30%（体积分数）的气田开发的材料应用问题。



—— 龙岗气田抗硫钢管应用 ——



—— 土库曼斯坦气田 DN700 抗硫化氢开裂钢管应用 ——

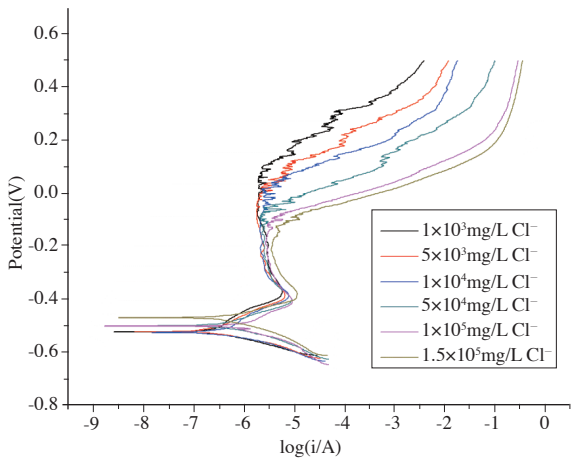
2.2

材料腐蚀评价试验技术

中国石油拥有含硫化氢环境材料腐蚀试验评价及现场模拟高压流动腐蚀系统。建立了高流速、高温、高压腐蚀研究测试和评价实验平台，采用了系统的国际腐蚀试验标准的试验方法，包括：NACE TM0284、ASTM G39、NACE TM0177、ASTM G48、NACE TM0187、ASTM G170 等共 40 项。能够为酸性气田开发中的材料应用、腐蚀控制和工程设计提供基础腐蚀数据和评判依据，达到了国际先进水平。



材料应力腐蚀评价试验



电化学极化试验

2.3

内腐蚀控制技术

中国石油拥有缓蚀剂防腐、腐蚀监测、检测等内腐蚀控制特色技术，包括具体工况腐蚀性分析、缓蚀剂筛选评价、缓蚀剂加注工艺、在线内腐蚀监测与检测成套工艺技术。

自主研发了各类环保型缓蚀剂产品，可适用于高温、高压，单独或同时含有硫化氢、二氧化碳和氯离子气田水等各类腐蚀工况的地面集输管道系统，如 CPI-5，产品防腐性能优良，环保性能出色 ($LD_{50} > 5000\text{mg/Kg}$, $LC_{50} > 2000\text{mg/m}^3$, $BOD_5/COD_{Cr}=0.376$)，已成功应用于酸性油气田项目。



— 腐蚀探针场数据采集 —



— 现场流动态腐蚀试验橇装置 —



— 缓蚀剂预膜 —



— CPI-5 缓蚀剂 —

2.4 外腐蚀控制技术

中国石油拥有交直流干扰防护、区域性阴极保护、定向钻穿越管道防腐层保护、大口径管道热煨弯管、阀门涂层防腐、管道强制阴极保护及牺牲阳极保护为主的复杂环境外腐蚀控制特色技术。能够解决外部环境对气田埋地金属设施造成的包括土壤腐蚀、交直流干扰腐蚀等腐蚀问题。



—— 直流干扰锌带防护技术 ——



—— 定向钻穿越管道防腐层保护 ——

3

典型案例

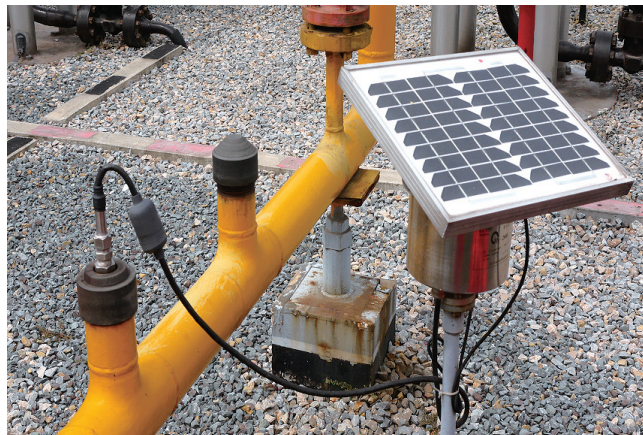
3.1

含硫化氢腐蚀性气田的安全开发

腐蚀性气田材料应用工程及腐蚀控制技术应用于四川中坝气田、罗家寨气田、龙岗气田、土库曼加尔金内什气田等酸性气田，硫化氢最高为 18%（体积分数）、二氧化碳最高 10%（体积分数）、氯离子含量最大 126000mg/L、井口压力最高 50MPa、井口温度最高 120℃。对管道等地面设施，采用抗硫化物应力开裂（SSC）和抗氢致开裂（HIC）的材料和相关焊接技术，实现自 20 世纪 70 年代至今酸性气田的安全开发。



现场腐蚀试验



在线腐蚀监测



清管系统



镍基合金管

3.2 双相不锈钢在“三高”气田的应用

克拉 2 气田二氧化碳含量为 0.8% ~ 2%，集输系统的设计压力为 14MPa，井口长期处于 60℃ ~ 85℃ 温度范围内，氯离子含量为 100667mg/L，属典型的高产、高含二氧化碳和高含氯离子的三高气田。该技术提出了双相不锈钢管道焊接以及腐蚀性能检测的技术要求，解决了双相不锈钢材料在国内大型气田首次使用的技术瓶颈，为该大气田的开发提供了技术基础，荣获中国石油天然气集团公司 2007 年技术创新奖二等奖。



双相不锈钢管件焊接



双相不锈钢在处理厂的应用

3.3

双金属复合管在高含二氧化碳气田开发的应用

长岭 1 号气田营城组二氧化碳含量 31.91%（体积分数），分压高达 5.1MPa，地面工程管道采用内衬 316L 不锈钢双金属复合管，突破了双金属复合管的焊接技术瓶颈，解决了该气田严重的二氧化碳腐蚀，保障了气田的安全开发，并取得了显著的经济效益。



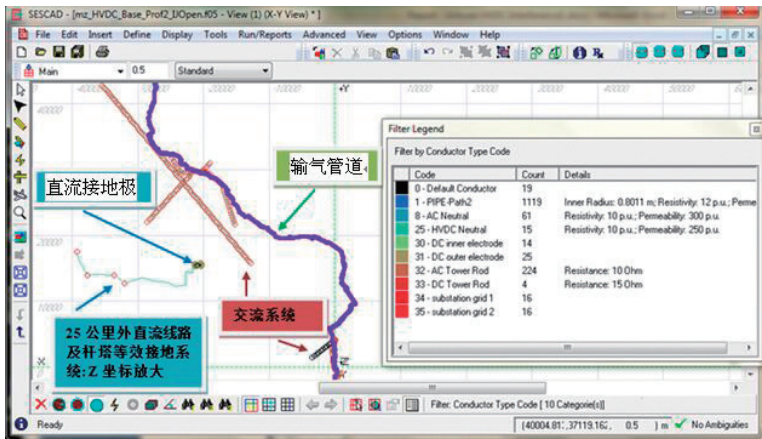
内衬 316L 复合管



内衬 316L 复合管现场施工

3.4 高压直流干扰综合防护技术在长输管道的应用

高压直流干扰综合防护技术首次应用在广东省天然气管道一期工程，大幅降低了 $\pm 500\text{kV}$ 高压直流输电线路换流站对管道的干扰电压，保证了人员及设备安全，并降低了管道腐蚀风险。



—— 直直接地极干扰模型模拟计算 ——



—— 直流干扰综合防护措施（锌带敷设） ——

3.5

区域阴极保护技术在土库曼斯坦南约洛坦处理厂的应用

土库曼斯坦南约洛坦处理厂工程存在多种金属材料对埋地管道带来的外壁腐蚀风险。采用区域阴极保护电隔离等多项专利技术，成功解决了复杂结构区域的电位分布不均和区域内外相互干扰等问题，节约运行成本费用 240 万元 / 年。



户外型阴极保护电源设备



φ 1420 管道热煨弯管外防腐保护技术

4

科研装备

4.1

特色科研设备

1. 高含硫化氢、二氧化碳油气田现场腐蚀试验装置

二氧化碳现场腐蚀试验装置具备以下特点：

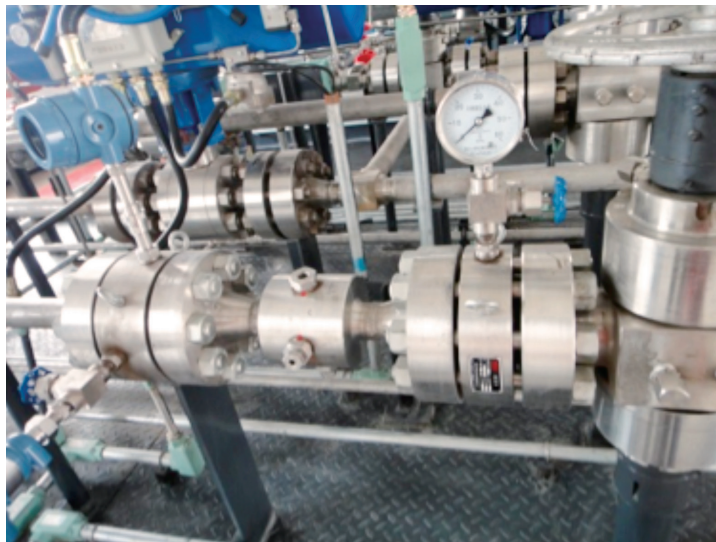
- (1) 35MPa 内试验压力任意切换；
- (2) $-20^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 温度逐度控制；
- (3) 流动管路高压二氧化碳相变可视窗。

该装置由 8 项专利技术和新工艺组成，填补了国内空白，达到国际领先水平，已成功完成了在吉林油田的先导性试验，为现场生产提供宝贵的实验数据，对含二氧化碳天然气田开发和二氧化碳埋存及提高二氧化碳驱油采收率具有重要意义。

高含硫化氢现场腐蚀试验装置具有以下特点：

- (1) 可在现场实际工况下进行高含硫化氢气田井下、地面集输高压（35MPa）高温（ 80°C ）流动态腐蚀试验；
- (2) 可在现场实际工况下进行高含硫化氢气田的应力腐蚀开裂试验；
- (3) 可移动用于多口单井。

该装置已在重庆气矿开展了现场流动态环境下材料耐腐蚀评价试验，取得了大量的宝贵实验数据，为高含硫化氢气田实现高效、安全的开发提供强有力的支持。



相变可视窗



高含硫化氢现场腐蚀试验装置



高含二氧化碳现场腐蚀试验装置

2. 模拟高压流动腐蚀实验系统

流动腐蚀实验系统由高压釜组及高压循环泵构成，实验溶液通过喷嘴喷射至试件表面，模拟了现场介质的流动及冲击腐蚀。

条件：工作温度：200℃；工作压力：15MPa。

参数：喷嘴直径：0.08in（2.032mm）；模拟流速：20m/s。

适用环境：可用于高含硫化氢、二氧化碳、高含氯离子溶液环境。



模拟高压流动腐蚀试验系统

4.2

根据国际通用标准建立腐蚀评价系统

1. 高压釜设备

最高工作压力：70MPa。

最高工作温度：350℃。

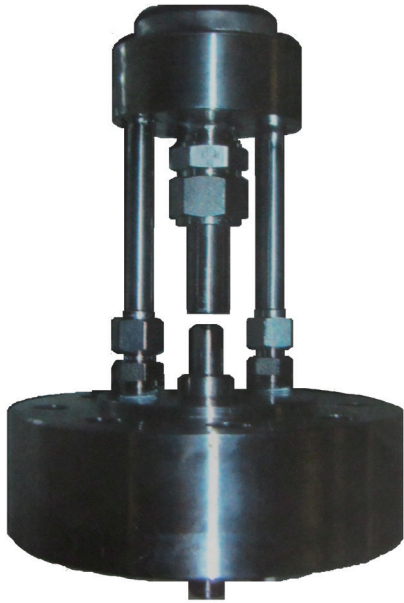
功能：按照 NACE G31 进行模拟环境腐蚀试验；

按照 ASTM G170 进行缓蚀剂评价试验及喷射电极试验；

按照 NACE TM0177 进行模拟环境硫化物应力腐蚀开裂试验。



高压釜



喷射电极

2. 慢应变腐蚀试验设备

最高工作压力：35MPa。

最高工作温度：350℃。

功能：按照 NACE TM0187、ISO 7539-7 进行材料慢应变速率的应力腐蚀开裂评价试验，且可进行低周腐蚀疲劳试验。



慢应变速率材料试验机

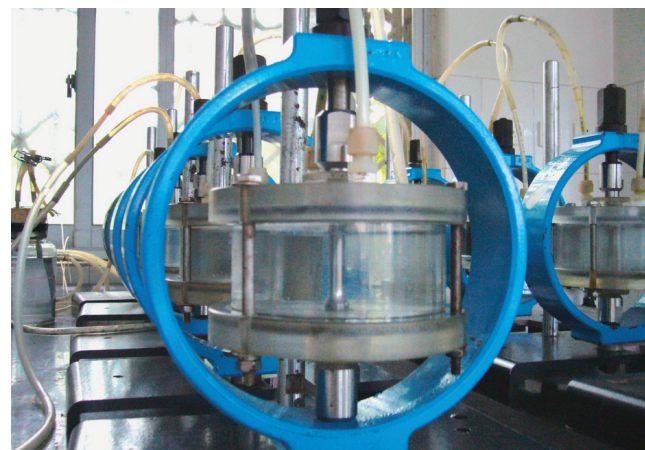
3. 环状应力仪

载荷范围： $(0 \sim 2.0) \times 10^4 \text{N}$

功能：按照 NACE TM0177 进行标准环境和高温高压恒定载荷应力腐蚀试验。



腐蚀评价试验（SSC、HIC）



环状应力仪

5

资质与标准

5.1

资质

拥有中国石油天然气集团公司石油管工程重点实验室酸性油气田管材腐蚀与防护研究室的资质。同时实验室具有国家认证认可监督管理委员会认证资质（CMA）和中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认可资质，获得签署互认协议方国家和地区认可机构的承认（ILAC MRA）。



实验室认可（CNAS）证书



检验检测机构资质认定证书（CMA）

5.2 标准

主编腐蚀性气田材料应用工程及腐蚀控制技术国家标准 9 项，行业标准 7 项，参编标准 10 项。

主编相关标准表

序号	标准号	标准名称
1	GB/T 20972.1—2007	石油天然气工业——油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第 1 部分：抗开裂材料选择的一般原则
2	GB/T 20972.2 .2—2008	石油天然气工业——油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第 2 部分：抗开裂碳钢、低合金钢和铸铁
3	GB/T 20972.3—2008	石油天然气工业——油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第 3 部分：抗开裂耐蚀合金和其它合金
4	GB/T 27866—2011	控制钢制管道和设备焊缝硬度防止硫化物应力开裂技术规范
5	GB/T 8650—2006	管线钢和压力容器钢抗氢诱导开裂评价
6	GB/T 4157—2006	金属在硫化氢环境中环境断裂试验方法
7	GB/T 50698—2011	埋地钢质管道交流干扰防护技术标准
8	GB/T 21246—2007	埋地钢质管道阴极保护参数测量方法
9	GB/T 23258—2009	钢质管道内腐蚀控制标准
10	SY/T 0029—2012	埋地钢质检查片应用技术规范
11	SY/T 0599—2006	天然气地面设施抗硫化物应力开裂和抗应力腐蚀开裂的金属材料要求
12	SY/T 0611—2008	高含硫化氢气田集输管道系统内腐蚀控制要求
13	SY/T 7025—2014	酸性油气田用缓蚀剂性能实验室评价方法
14	SY/T 6970—2013	高含硫化氢气田地面集输系统在线腐蚀监测技术规范
15	SY/T 7024—2014	高含硫化氢气田金属材料现场硬度检验技术规范
16	SY/T 6855—2012	含 H ₂ S/CO ₂ 天然气田集输管网用双金属复合管

5.3 专利及专有技术

拥有腐蚀性气田材料应用工程及腐蚀控制技术的发明专利及实用新型专利 16 项，专有技术 7 项。

专利及专有技术表（部分）

序号	知识产权名称	知识产权类别	授权号
1	一种用于酸性油气田的缓蚀剂	发明专利	201110067935.8
2	一种用于高含硫气田的溶硫剂	发明专利	201110056804.X
3	二氧化碳腐蚀试验橧	发明专利	201110233839.6
4	石油天然气工程定向钻穿越管道防腐层的保护方法	发明专利	201110130971.4
5	新型在线腐蚀监测辅助装置	实用新型专利	201120044018.3
6	多功能化学试剂加注系统	实用新型专利	201220054075.4
7	高含氯离子、二氧化碳湿气输送管材选择技术	专有技术	06zydm00206
8	高含硫化氢气田材料腐蚀评价与工程应用技术	专有技术	9512011Y0567
9	含硫化氢、二氧化碳气田开采设备、管道防止酸性环境腐蚀、防止硫化物应力开裂的检测、评价、分析技术	专有技术	03zydm001
10	高酸性气田在线腐蚀试验装置研制及现场材料评价试验	专有技术	9512011Y0565
11	缓蚀剂环境下焊缝腐蚀评价技术	专有技术	20130074
12	高矿化度气田水对缓蚀剂性能影响评估分析技术	专有技术	20130368
13	溶硫剂对非金属密封件的影响评价技术	专有技术	20150157



5.4 获奖

- (1) 《大型高含硫气田安全开采及硫磺回收技术》荣获 2011 年国家科技进步二等奖；
- (2) 《油套管 CO₂ 腐蚀机理、防护措施及油田应用研究》荣获 2003 年中国石油集团技术创新奖二等奖；
- (3) 《克拉 2 气田地面建设工程集成技术研究》荣获 2007 年中国石油集团技术创新奖二等奖；
- (4) 《高含 H₂S、CO₂ 天然气开发的防腐蚀工程新技术研究》荣获 2010 年度中国石油天然气集团公司科学技术进步奖二等奖；
- (5) 《特高含硫油气田抗硫材料和试验方法研究》荣获中国石油天然气总公司 1996 年 10 大科技成果奖；
- (6) 《高酸性气田在线腐蚀试验装置研制及现场材料评价试验》荣获 2009 年中国施工企业管理协会科学技术奖创新成果一等奖；
- (7) 《高酸性气田金属材料及焊接抗硫性能研究》荣获 2010 年中国施工企业管理协会科学技术奖创新成果一等奖；
- (8) 《酸性天然气集输管道环保缓蚀剂研发》荣获 2012 年中国施工企业管理协会科学技术奖一等奖。



6

专家团队



李鹤林

技术专家，中国工程院院士。长期从事石油机械用钢及石油管工程科技工作，是我国这一领域的开拓者和主要奠基者之一。获光华工程科技奖，中国科学技术发展基金会孙越崎能源大奖。

电话：029-81887908

Email: lihelin@cnpc.com.cn



姜放

教授级高级工程师，高级技术专家。长期从事油气田材料与腐蚀科研、设计工作，取得全国压力容器 A 类设计审批人、全国压力管道设计审批人资格。获中国石油科学技术进步奖、省部级优秀工程设计奖等 10 多项；获专利及专有技术 4 项；主编国家、行业标准 8 项。

电话：028-86014051

Email: jiangfang@cnpc.com.cn



施岱艳

技术专家。长期从事酸性气田材料和腐蚀研究、地面工程设计相关研究。负责大中型油气集输和处理项目的材料设计 10 余项。获中国石油科学技术进步奖、省部级优秀工程设计奖等 6 项；获专利及专有技术 8 项；主编国家、行业标准 6 项。

电话：028-86014356

Email: shidaiyan@cnpc.com.cn



杜 磊

技术专家。长期从事酸性气田材料和腐蚀研究工作。获省部级科学技术进步奖和优秀工程设计奖等 3 项；获发明专利及专有技术 3 项；在国内外核心期刊发表 20 余篇文章。

电话：028-86014591

Email: dulei_sw@cnpc.com.cn



黄春蓉

技术专家。长期从事酸性气田腐蚀研究、地面工程设计工作，负责大中型油气集输和处理项目的防腐设计 30 余项。获省部级科学技术进步奖、省部级优秀工程设计奖 3 项；获专利及专有技术 6 项；主编国家、行业标准 6 项。

电话：028-86014913

Email: huangchunrong@cnpc.com.cn



李林辉

技术专家。长期从事酸性气田材料和腐蚀研究工作。获省部级科学技术进步奖和优秀工程设计奖等 3 项；获发明专利及专有技术 3 项；在国内外核心期刊发表文章 15 篇，被 SCI 收录 7 篇。

电话：028-82978206

Email: lilinh_sw@cnpc.com.cn



张 平

技术专家。长期从事酸性气田腐蚀研究工作，负责大中型油气集输和处理项目的防腐设计 30 余项。获省部级科学技术进步奖、省部级优秀工程设计奖 3 项，获省部级科学技术进步奖、省部级优秀工程设计奖 5 项。

电话：028-86014305

Email: zhangping_sw@cnpc.com.cn



曹晓燕

技术专家。长期从事酸性气田材料和腐蚀研究工作，负责大中型油气集输和处理项目的材料设计 10 余项。获中国石油科学技术进步奖、省部级优秀工程设计奖等 6 项；获专利及专有技术 8 项；主编国家、行业标准 6 项。

电话：028-82978202

Email: caoxiaoyan@cnpc.com.cn

7 服务与培训

中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司在 50 多年油气田开发过程中积累了丰富科研成果及工程设计经验，形成了腐蚀性气田材料应用工程及腐蚀控制技术，依托中国石油集团石油管工程重点实验室酸性油气田管材腐蚀与防护研究室提供材料评价与防腐措施方面的技术支持，能够为腐蚀性油气田的安全开采提供以下服务：

- (1) 含硫化氢 / 二氧化碳油气田管道、设备选材和腐蚀控制工艺设计。
- (2) 高温、高压、高含硫化氢 / 二氧化碳模拟环境腐蚀试验评价和基础研究。
- (3) 材料选择和腐蚀控制相关的技术咨询。
- (4) 现场材料的失效分析和评估。
- (5) 油气田化学剂评估。
- (6) 现场在线腐蚀试验。



联系方式：

部门	姓名	电话	邮箱
中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司技术质量部	李巧	028—86014354	liqiao@cnpccom.cn
中国石油集团石油管工程重点实验室酸性油气田管材腐蚀与防护研究室	施岱艳	028—86014356	shidaiyan@cnpccom.cn



中国石油科技管理部联系人：

刁 顺 先生
电 话：86-10-59986059
Email：sdiao@cnpc.com.cn
diaoshun@sohu.com

中国石油经济技术研究院联系人：

张 丽 女士
电 话：86-10-62065043
Email：zhangli024@cnpc.com.cn

中国石油集团工程设计有限责任公司联系人：

傅贺平 女士
电 话：028-86014419
Email：fuheping@cnpc.com.cn

Contact of Science & Technology Management Department,CNPC：

Mr. Diao Shun
Tel: 86-10-59986059
Email: sdiao@cnpc.com.cn
diaoshun@sohu.com

Contact of CNPC Economics & Technology Research Institute：

Ms. Zhang Li
Tel: 86-10-62065043
Email: zhangli024@cnpc.com.cn

Contact of China Petroleum Engineering Co., LTD：

Ms. Fu Heping
Tel: 028-86014419
Email: fuheping@cnpc.com.cn

