



加氢反应器 成套制造技术

2016年



中国石油天然气集团公司科技管理部

银鲛牌加氢反应器，清洁油品升级利器！



目 录

1

简 介 / 4

2

特色技术 / 7

3

典型案例 / 12

4

科研装备 / 15

5

资质与标准 / 19

6

专家团队 / 22

7

服务与培训 / 25



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。

加氢反应器成套制造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

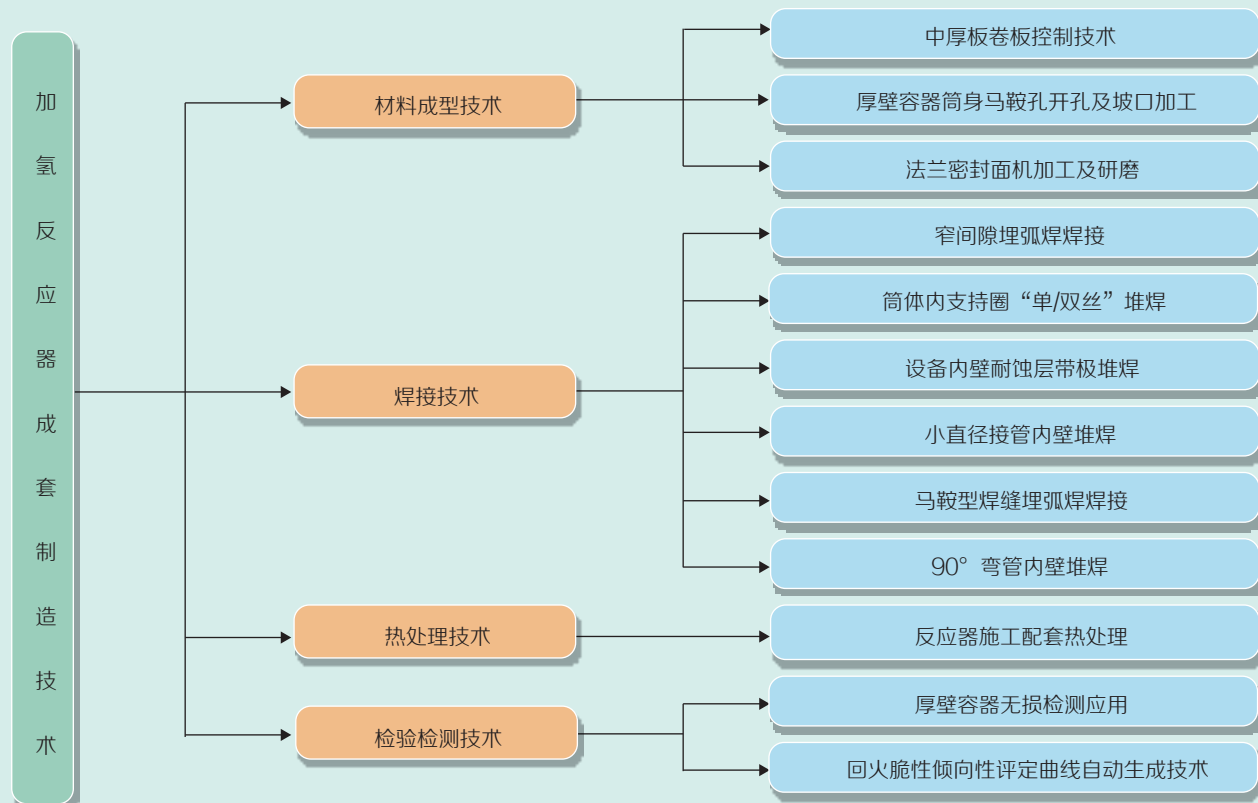
加氢反应器是石油石化行业用于油品加氢精制、重油深加工、油品升级等工艺的重要装备。随着环保优先理念的普及，清洁油品加工规模的发展，市场对加氢反应器设备的需求潜力巨大。

自 2010 年起，中国石油开始致力于加氢反应器制造技术的研发，在加氢反应器等高压厚壁设备的制造领域积累了丰富的经验，具备制造单台重量 700T、厚度 200mm 的板焊结构加氢反应器造能力，形成了国内领先、独具特色的加氢反应器成套制造技术。

中国石油独立研发的加氢反应器成套制造技术包含四大系列、12 项特色技术，突破了行业内原有的制造技术壁垒，跻身国内八大制造厂商之列。

运用该技术制造的银鲛牌加氢反应器，产品设计结构先进，制造工艺领先，满足工艺过程各种运作方案的需要；产品制造周期短，使用可靠性高，便于维护检修，投资费用较低。

银鲛牌加氢反应器现已在广西、大港、大庆、山东等多处石油炼厂成功应用，广受客户好评。





—— 市场应用分布图 ——

2

特色技术

2.1

材料成型技术

1. 中厚板卷板控制

利用大型卷板机，采用数控动态调整滚轴轧制力的大小、自动纠偏、精准的冷热卷温度控制等先进的卷板控制技术，达到了卷圆精度高、两端无错口的高水平。

技术指标：冷卷最大板厚：200mm；热卷最大板厚：300mm；卷板最大板宽：3500mm；卷圆圆度偏差：≤ 5mm。



钢板温卷

2. 法兰密封面机加工及研磨技术

可有效保证法兰密封面的几何尺寸和粗糙度，从而确保加氢反应器在长周期运行中的密封性能。



反应器法兰密封面加工研磨

2.2 焊接技术



窄间隙埋弧焊接

1. 窄间隙埋弧焊接技术

与常规的坡口埋弧焊相比，具有焊缝金属填充量少、热输入量较低、焊接效率高、焊接热影响区小等优势。可节省焊材 25%，缩短施工周期 30%，焊接合格率高。可以实现厚度范围为 50 ~ 300mm 的焊接，焊缝成形宽度小于 24mm。

2. 设备内壁耐蚀层带极堆焊技术

与传统的堆焊技术相比具有效率高、稀释率低、结合强度高、堆焊层化学成分和组织均匀、热裂纹和晶间腐蚀倾向低，堆焊层表面更加平整光滑等优势。堆焊层厚度控制在 6.8 ~ 7.5mm 之间，堆焊层的铁素体含量控制在 3 ~ 8FN 之间，提高了堆焊层质量和焊接效率，确保产品顺利运行。



设备内壁耐蚀层带级堆焊



90° 弯管内壁整体堆焊

3. 90° 弯管内壁整体堆焊技术

开发的 90° 弯管内壁整体堆焊专用设备，实现 90° 弯管的内壁不锈钢耐蚀层一次整体堆焊成型，堆焊过程全部自动化，达到目前国内弯管堆焊的最高水平。

2.3

热处理技术

反应器施工配套热处理技术

加氢反应器的主体材质为 CrMo 耐热钢，易在焊接后产生裂纹，必须在焊接后进行热处理。精湛的热处理技术及相关设备确保了工艺参数控制范围 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，回火参数控制在 20.0 ~ 20.6 之间，实现了产品质量最优化。



产品部件中间热处理试验



钢板复验模拟热处理试验



产品最终热处理

2.4 检验检测技术

1. 厚壁容器无损检测应用技术

在常规检测方法基础上，增加了新型无损检测技术的应用——TOFD（超声衍射时差法）技术。通过射线、超声、磁粉、渗透、TOFD 检测技术在厚壁容器制造过程中的交叉应用及检测时机的合理选择，确保加氢反应器内部缺陷的检出效果，提高了检测效率。

检测方法有：手工 UT、RT- γ 、RT-X、TOFD。缺陷检出率分别为：40% ~ 60%、55% ~ 60%、55% ~ 65%、75% ~ 85%。



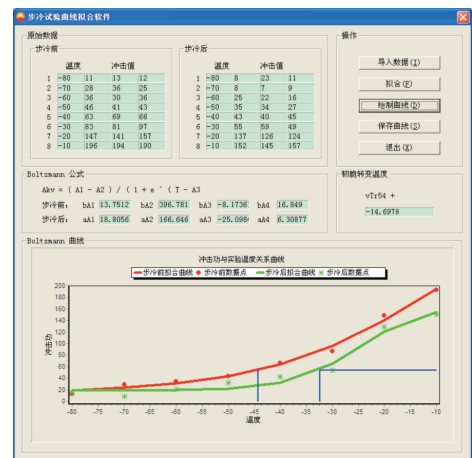
直线加速器检测焊缝



TOFD 无损检测

2. 回火脆化倾向性评定曲线自动生成技术

通过对采用多种不同函数作为数学模型拟合回火脆性曲线进行比较，在综合考虑曲线拟合精度和计算机编程等因素的基础上，选择最合理的数学模型，有效地对试验数据进行优化和拟合，自动绘制生成回火脆化倾向性评定曲线，最大程度地避免人为干扰因素引起的误差，使试验结果能够更准确、真实地反映材料的回火脆化倾向性。



回火曲线自动耦合技术

3

典型案例

截至 2015 年，中国石油采用加氢反应器成套制造技术生产银鲛牌反应器 59 台，加工重量超过 6000t。

3.1

银鲛牌加氢反应器在山东天弘加氢升级项目中成功应用

2013 年，为山东天弘化学工程有限公司制作了 $180 \times 10^4 \text{t/a}$ 中芳香烃加氢精制装置 2 台核心设备。其中，加氢精制反应器规格为 $3000\text{mm} \times 25286\text{mm} \times (98+6.5)\text{mm}$ （直径 $\times$ 长度 $\times$ 壁厚 + 堆焊层厚度），加氢降凝反应器规格为 $3400\text{mm} \times 26519\text{mm} \times (110+6.5)\text{mm}$ ，材质为 12Cr2Mo1+E309L+E347。产品质量和交货周期均超出客户预期，投产 30 个月运行良好。



— 数控镗床加工接管坡口 —



产品制作完毕整体吊装发运



产品现场安装

3.2 银鲛牌加氢反应器在大港石化升级项目创多项纪录

2014年，大港石化公司油品质量升级改造项目中 $220 \times 10^4 \text{t/a}$ 柴油加氢精制反应器。其规格为 $3800 \text{mm} \times 27280 \text{mm} \times (108+6.5) \text{mm}$ ，材质为 $12\text{Cr}2\text{Mo}1+\text{E}309\text{L}+\text{E}347$ ，单台重量超过 300t 。



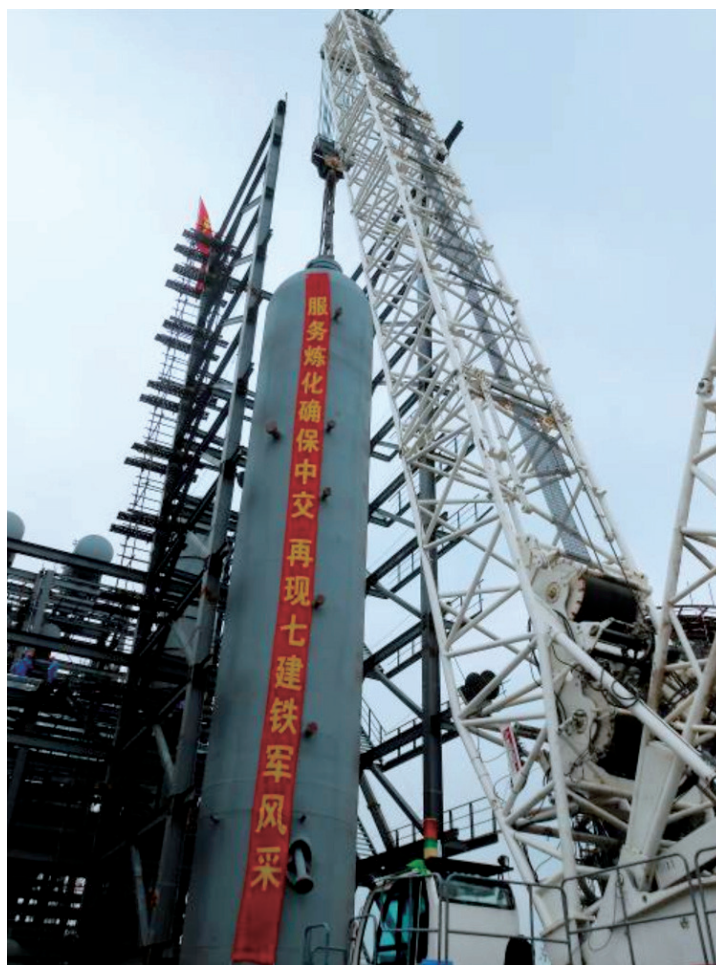
双带极内壁堆焊



筒身小直径接管马鞍形开口埋弧焊

产品制作过程中应用了双带极堆焊、90°弯管整体内壁堆焊、马鞍型窄间隙细丝埋弧焊等新技术，在提高产品质量的同时大幅缩短了产品制造周期。产品主体焊缝焊接一次合格率达到100%，力学、化学成分检验均一次合格，耐压试验一次通过。

2014年10月16日，该产品获得中国焊接协会颁发的“全国优秀焊接工程奖”。



产品现场安装

4

科研装备

中国石油拥有专业的石油化工装备制造公司，生产厂区占地面积 250000m²，厂房面积 80000m²，配备了先进的卷板机、数控立式车床、大吨位桥式吊车、窄间隙埋弧自动焊机、带极堆焊机、马鞍形埋弧自动焊机、焊缝磨锉机、密封槽加工研磨装置、直线加速器、TOFD 检测仪、化学分析仪等主要设备，具有行业领先水平的生产能力。



— 生产厂区 —



— HDS-350W 单丝窄间隙埋弧焊机 —



— SD6060 双带极堆焊机 100 吨变位机 —



— HZU-350S 小直径直管内壁 TIG/CO₂ 堆焊机 —



— DVT630X40 / 80Q-NC 数控双柱立式车床 —



— FBC200r 数控落地式镗铣床 —



— 36mX7mX7m 台车式燃气热处理炉 —

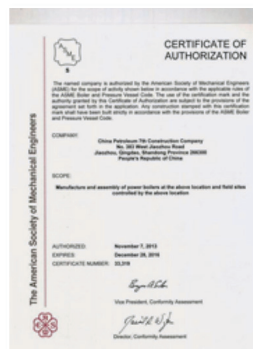
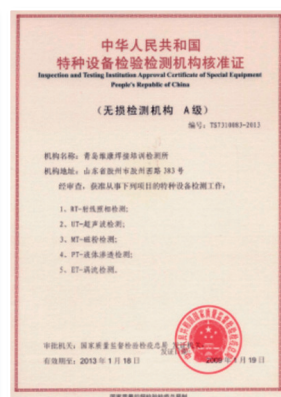
5

资质与标准

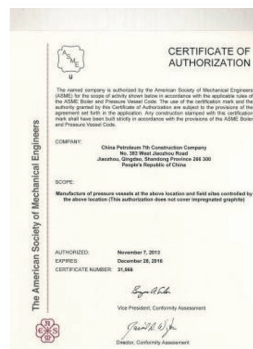
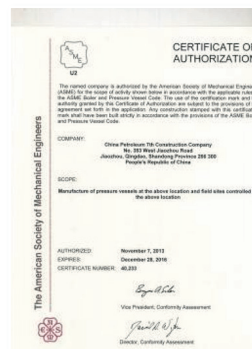
5.1

资质

拥有国家质量监督检验检疫总局颁发设计和制造 A1、A2、A3 类压力容器的设计制造许可证书；
美国机械工程师协会颁发的 ASME S、U、U2、NB—锅炉设计、压力容器设计、制造许可证书等相关
配套资质。



ASME S 锅炉设计制造资质

ASME U 压力容器
设计制造资质ASME U2 压力容器
设计制造资质

ASME NB 注册

5.2 专利与技术秘密

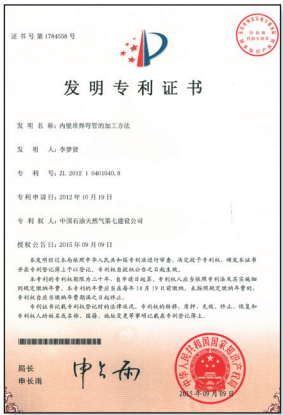
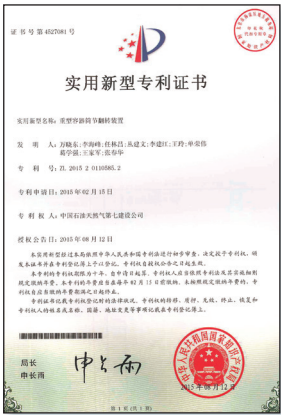
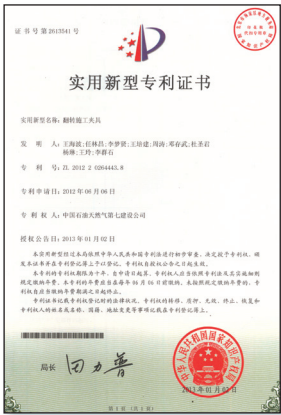
拥有专利 4 项，技术秘密 4 项。

加氢反应器成套制造技术专利表

编号	专利号	专利名称
1	ZL 2012 2 0264443.8	翻转施工夹具
2	ZL 2014 2 0053873.4	取样电钻
3	ZL 2015 2 0110585.2	重型容器筒节翻转装置
4	ZL 2012 1 0401040.8	内壁堆焊弯管的加工方法

加氢反应器成套制造技术技术秘密表

编号	技术秘密名称
1	球形封头、锥段带极堆焊焊接位置的确定
2	90° 弯管内壁整体堆焊技术
3	DN100 ~ 300 接管与筒体连接焊缝细丝埋弧焊接技术
4	回火脆化评定试验曲线偶合技术



5.3 标准

拥有21项相关标准。

加氢反应器成套制造技术标准表

序号	标准名称	标准号
1	压力容器	GB150
2	固定式压力容器安全技术监察规程	TSG R0004
3	钢制压力容器－分析设计标准	JB 4732
4	承压设备焊接工艺评定	NB/T47014
5	压力容器焊接规程	NB/T47015
6	压力容器设备产品焊接时间力学性能检验	NB/T47016
7	特种设备焊接操作人员考核细则	TSG Z6002-2010
8	承压设备无损检测	JB/T4730
9	锅炉和压力容器用钢板	GB713
10	承压设备用碳素钢和合金钢锻件	NB/T47008
11	钢铁及合金化学分析方法	GB/T223
12	金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法	GB/T228.1
13	金属材料高温拉伸试验方法	GB/T4338
14	金属材料 弯曲试验方法	GB/T232
15	金属材料 布氏硬度试验	GB/T231
16	金属材料维氏硬度试验	GB/T4340
17	钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法	GB/T10561
18	ASME 锅炉及压力容器规范	ASME V
19	ASME 锅炉及压力容器规范	ASME VIII Division I
20	ASME 锅炉及压力容器规范	ASME VIII Division II
21	ASME 锅炉及压力容器规范	ASME IX

6

专家团队



谢育辉

教授级高级工程师，集团公司高级技术专家。主要从事炼厂设备设计，在炼厂设备设计方面具有较深的造诣，在高压临氢设备工程设计领域取得多项重大科研成果；在加氢反应器和高压换热器的大型化设计、降低设备投资和长周期安全运行等方面起到了关键作用。先后获省部级及中国石油一等奖 2 项。发表论文 5 篇。获实用新型专利 6 项。

电话：0532-80950263

Email：xieyuhui@cnpccel.cn



聂颖新

教授级高级工程师，技术专家。主要从事国家石油化工重大设备的国产化研究和设备监造工作，完成了 14 万吨聚乙烯装置国产化、7 万吨聚丙烯装置国产化及 5 万吨丙烯腈装置国产化等可行性研究报告，研究成果在国家大型石化装置的建设中起到指导性的作用，先后获省部级二等奖 4 项。在《压力容器》等国家核心期刊上发表论文 4 篇。

电话：0551-65335660，13865513421

Email：13865513421@163.com



王国超

教授级高级工程师，技术专家，中国石油公司跨世纪科技带头人，国家一级建造师。先后组织了数十项石油、石化、储运工程的施工并取得优良业绩，在石油炼化工程建设和油田地面工程建设方面具有很深的造诣，在引领和推动企业科技管理和科技攻关方面发挥了关键作用。

电话：0532-68728999

Email：wgc1191@cpscc.com.cn

**王荣青**

高级工程师，技术专家，国际高级项目经理（IPMP B 级）。先后从事石油、石化工程建设的技术、质量、科研、标准化和信息化管理等工作，在油田地面建设及石油石化关键装置大型非标设备现场组焊及热处理技术、特殊材质管道焊接技术、高压管道安装技术、油气田橇装设备制造技术、科研和标准化等领域取得多项重大科研成果，获省部级奖项 4 项。参与编订企业标准 1 项。发表论文 5 篇。获得实用新型专利 3 项。

电话：0532-68728017

Email：wrq0759@cpscc.com.cn

**杨建明**

高级工程师，技术专家。先后从事石油、石化工程的施工管理、安全管理及技术质量管理等工作，在油田地面工程建设和石油炼化工程建设的核心装置施工技术、大型机组安装技术、大型吊装技术及装备制造等领域取得多项科研成果，获中国石油二等奖 1 项、三等奖 1 项。

电话：0532-68728007

Email：yjm1284@cpscc.com.cn

**耿开**

高级工程师，技术专家。主要从事石油、化工特种设备制造、安装焊接技术和检验检测理化技术的研究，在关键技术的攻关和新技术的应用上起到了重要作用，所取得的科研成果在炼化工程建设中得到广泛应用，在保证焊接质量、提高焊接效率等方面起到了关键作用。先后获省部级、中国石油级科技奖多项。

电话：0532-68728123

Email：gk1435@cpscc.com.cn



任林昌

高级工程师，技术专家。主要从事压力容器制造和石油天然气集输及天然气净化处理工程施工管理，在重型压力容器制造、油气田橇装设备制造、非标石化设备制造等领域取得多项科研成果。发表学术论文 6 篇。获得实用新型专利 10 项。

电话：13969826885

Email：rlc0229@cpscc.com.cn



师娟

高级工程师，技术专家。主要从事国内外金属结构制造及压力容器制造技术研究，在球形储罐、厚壁压力容器及加热炉制造领域取得多项科研成果，在企业科技攻关和科研成果推广应用方面起到了重要作用，获省部级科技奖 2 项。获得实用新型专利 6 项。

电话：0532-68728125

Email：sj1427@cpscc.com.cn

7

服务与培训

中国石油拥有一批掌握加氢反应器材料成型、焊接、热处理、检验检测等核心技术的高素质、高技能的专业技术人才,配备有一系列完整的反应器制造与检验设备,可为客户提供全套优质的反应器制造服务。

建立了完善的售后服务体系,拥有及加氢反应器设计、制造、安装、检修于一体的专业技术人员,24小时竭诚服务,可提供远程技术支持,及时解决产品问题,并能为用户提供专业技术培训。



服务公司（部分）



中国石油大庆炼化分公司



中海石油炼化有限责任公司惠州炼油分公司



中国石油锦州石化分公司



中国石油广西石化分公司



陕西玉门石油化工有限公司



中国石油宁夏石化分公司



中国石油四川石化有限责任公司



山东天弘化学有限公司



山东垦利石化集团

联系人：殷蜀越 手机：18678619605 邮箱：ysy6711@cpscc.com.cn
联系人：师 娟 手机：18669789171 邮箱：sj1427@cpscc.com.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

中国石油天然气第七建设公司联系人：

殷蜀越 先生
电 话：18678619605
Email：ysy6711@cpscc.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 Seventh Construction Company：

Mr. Yin Shuyue
Tel: 18678619605
Email: ysy6711@cpscc.com.cn

