



分簇射孔技术

2016年



中国石油天然气集团公司科技管理部

A large industrial drilling rig is the central focus, featuring a tall, lattice-structured derrick with red and white sections. A crane with a long, dark boom is positioned to the right, extending towards the rig. The background shows a clear blue sky and a line of green trees. The foreground is filled with various pieces of industrial equipment, including a large white cylindrical tank, a blue-roofed structure, and other machinery. The overall scene depicts a busy oil field operation.

分簇射孔

——让非常规油气常规开采！

目 录

1

简 介 / 4

2

特色技术 / 6

3

典型案例 / 13

4

科研装备 / 16

5

资质与标准 / 18

6

专家团队 / 21

7

服务与培训 / 23



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。

分簇射孔技术就是具有代表的重大创新成果之一。

奉献能源 创造和谐

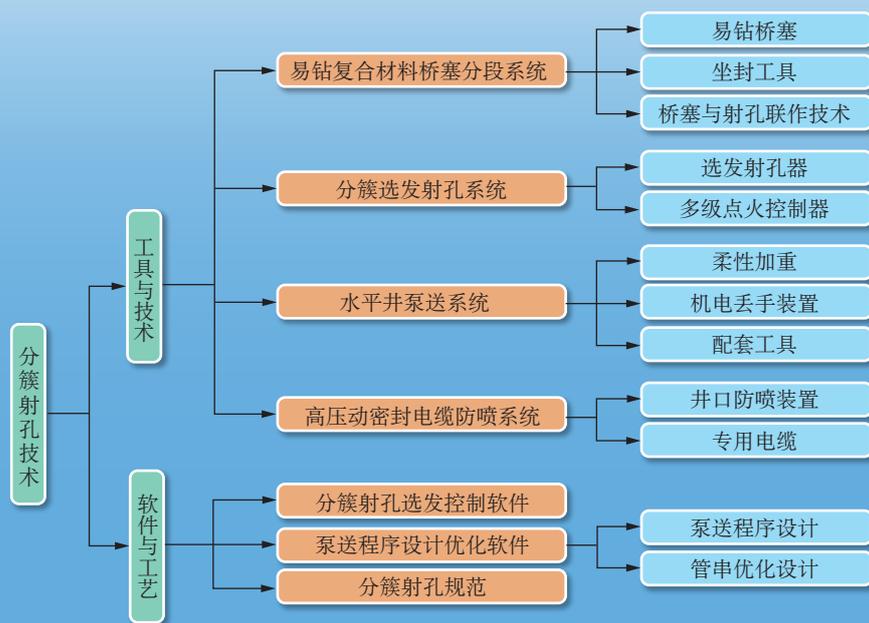
1

简介

分簇射孔技术是在井筒和地层有效沟通的前提下，采用电缆输送方式，按照泵送设计程序，将射孔管串和桥塞输送至目的层，一次下井可进行 20 级点火作业，实现桥塞坐封与多簇射孔联作，为分段压裂创造孔眼条件，是非常规油气资源开发的最优选择。

中国石油自主研发了分簇射孔技术，包含易钻复合材料桥塞分段系统、高压动密封电缆防喷系统等四项工具与技术，分簇射孔选发控制软件、泵送程序设计优化软件等三套软件与工艺，为非常规油气藏水力分段压裂创造清洁、高导流的射孔通道，并控制裂缝的起裂及延伸。整体技术属于国内首创，达到国际先进水平。

分簇射孔技术现已在威远—长宁、焦石坝和昭通三个国家级页岩气示范区，以及壳牌公司金秋—富顺区块、道达尔公司苏南区块等十多个油气区块推广应用 300 多井次，作业成功率 100%，成本降低 30%，效率提高两倍以上，创下国内多项射孔纪录。安全、高效、低成本的优势为非常规油气资源开发提供了强有力的技术支撑。



市场应用分布图（国内）

2

特色技术

2.1 易钻复合材料桥塞分段系统

易钻复合材料桥塞分段系统是由易钻复合材料桥塞和桥塞坐封工具组成，通过桥塞工具坐封复合桥塞，暂时封堵油气层为后续压裂提供有利条件。压裂完成后，通常采用连续油管或油管钻除易钻复合材料桥塞。



易钻复合材料桥塞分段系统结构示意图

1. 易钻桥塞

采用特殊结构设计，由复合材料制成，具有良好可钻性，可带生产通道或不带生产通道；耐压差 70MPa、耐温 150℃，可对每一段地层进行暂时分隔封堵。

2. 桥塞坐封工具

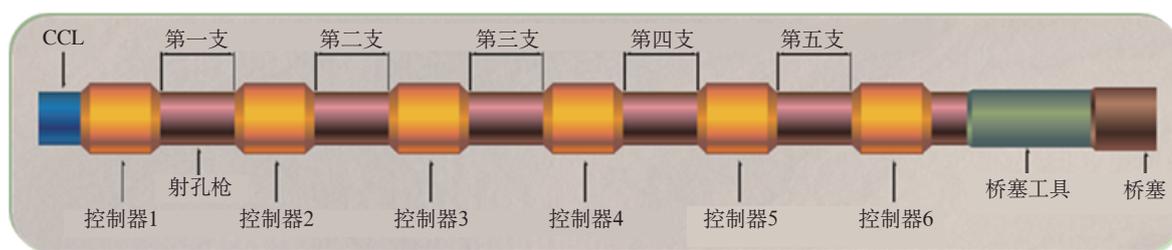
通过内部活塞和芯轴相对运动，促使复合桥塞在井下预定位置坐封；适用于各型套管和深井作业，坐封成功率高，时效快。

3. 桥塞与射孔联作技术

电缆一次输送管串入井可完成 1 次桥塞坐封和 19 簇以内射孔作业，施工简单、成功率高。

2.2 分簇选发射孔系统

分簇选发射孔系统主要由选发射孔器和多级点火控制器构成，是一种能够在多级点火控制器控制下实现一次下井多次射孔的作业系统；采用数字编码、井下寻址及全过程监控技术，能在选发软件的控制下实现实时检测及智能发射。



分簇选发射孔系统结构示意图

1. 选发射孔器

选发射孔器采用特殊的枪体结构、布线及连接方式，通过地面控制系统实现选发射孔器智能发射。

1) 常规选发射孔器

每级射孔器具有独立密封性，由独立点火控制器控制，可实现选发射孔。

2) 定向选发射孔器

采用弹架旋转的特殊内定向方式，实现定向选发射孔，定向可靠、精度高，能够实现 360° 全方位射孔。

3) 定面选发射孔器

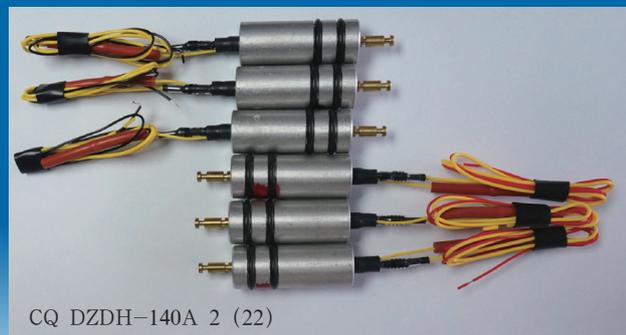
采用特殊的布弹方式，可在垂直于套管轴向同一横截面的内壁圆周上形成 3 个射孔孔眼，改变井筒内同一横截面的地应力分布，诱导射孔孔眼的应力集中带生成，有效控制压裂裂缝走向，达到最佳改造效果。

2. 多级点火控制器

多级点火控制器用于控制每级射孔器，是具有选择性和对应性的检测和起爆控制装置。

1) 机械式多级点火控制器

采用正、负电交替点火技术，实现依次激发射孔器；最高耐温 204°C、耐压 140MPa。



CQ DZDH-140A 2 (22)

机械式多级点火控制器

2) 电子式多级点火控制器

通过软件控制实现实时监控，具有选择激发功能；可耐温 150°C、耐压 140MPa。



电子式多级点火控制器

2.3 水平井泵送系统

泵送系统配备柔性加重、机电丢手装置、配套工具等，提高管串在大斜度井、水平井内的通过能力和紧急情况下的处理能力。



1. 柔性加重

采用柔性连接方式，实现长加重连接下井管串，不阻碍井下管串自由旋转，提高管串在大斜度井、水平井造斜段的通过能力。

2. 机电丢手装置

当井下管串出现遇卡等紧急情况时，通过地面控制实现井下管串丢手释放；丢手快速、安全可靠，能有效地保护井下工具和电缆，丢手后留出落鱼打捞头便于后续打捞作业。

3. 配套工具

1) 专用打捞工具

具有特殊抓卡结构，配接连续油管或油管输送至落鱼顶部打捞头位置，打捞井下落鱼；操作简便，节约施工时间，打捞成功率高。

2) 泵送短节

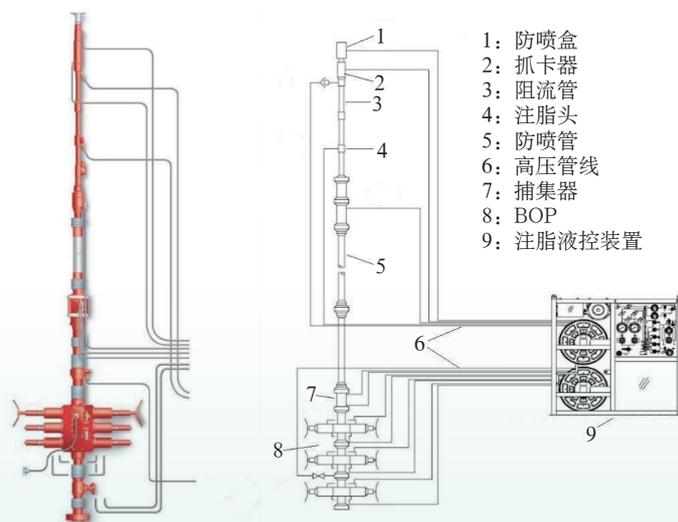
采用特殊导流槽设计和锥形倒角设计，增加泵送井液截面流量，以提高管串在井下的通过能力。

3) 降阻装置

采用滚珠或滚轮嵌入式设计，以降低管串在井内的摩擦阻力，提高管串在井下的通过能力。

2.4 高压动密封电缆防喷系统

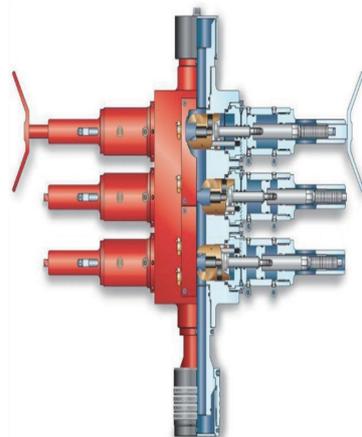
高压动密封电缆防喷系统是由专用电缆、电缆封井器、捕集器（防落器）、防喷管、抓卡器、电缆防喷控制头以及注脂液控装置等部分组成的一种动态密封防喷系统。



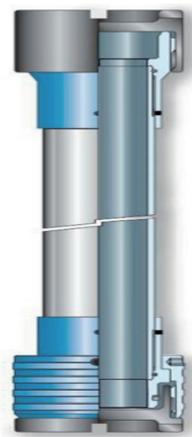
高压动密封电缆防喷系统结构示意图

1. 井口防喷装置

井口防喷装置具有电缆封井、盲板闸板封井及切断电缆的封井功能，能在高压情况下实现带压（负压）射孔作业和动密封，可有效地防止井喷事故发生；操作简便，紧急情况下能做出快速反应，适用范围76~160mm，耐压最高可达105MPa。



BOP 结构



防喷管结构



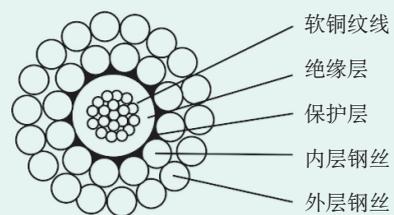
注脂液控制装置



注脂控制头结构

2. 专用电缆

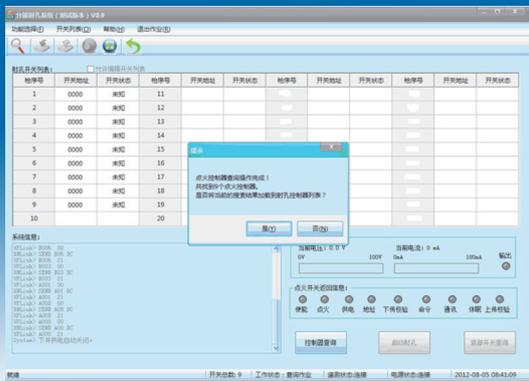
分簇射孔采用 $\phi 8\text{mm}$ 专用电缆，其抗拉强度高，弯曲性能强，具有良好的耐磨、防水和抗腐能力，高温、高压条件下电缆性能优良。



电缆结构示意图

2.5 分簇射孔选发控制软件

实现了射孔器的数字编码、井下寻址、智能选发及全过程监控；可通过微电流检测、独立寻址，供电选发每一级射孔枪或桥塞，操作完成整个分簇射孔作业过程。该软件功能性好，运行稳定，操作简便。



分簇射孔选发控制软件截图



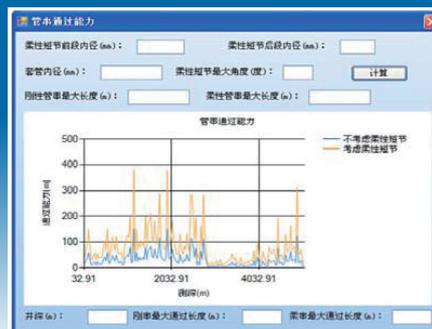
分簇射孔选发系统

2.6 泵送程序及设计优化软件

针对井内管串结构、长度设计、受力情况、井筒曲率、泵送液参数、摩擦阻力系数等相关影响因素研发出泵送程序设计和管串优化软件。计算模型建立科学合理，优化设计结果具有很强的作业指导性。



泵送程序设计软件截图



管串优化设计软件截图

3

典型案例

中国石油川庆钻探工程有限公司具备从施工设计、工具生产、施工服务、现场技术支撑一体化分簇射孔技术服务能力。现已在 4 种油气藏、3 个国家页岩气示范区、3 个合作区块、中国石化所属的 4 个油气田 5 个油气区块、中国石油所属的 4 个油气田 8 个油气区块现场应用 300 多井次。施工作业成功率达 100%，降低了作业成本，提高了作业效率。

分簇射孔技术应用区域表

使用范围	具体区域
4 种油气藏	页岩气、致密油、致密气、煤层气
3 个国家页岩气示范区	涪陵焦石坝、威远—长宁、昭通
3 个合作区块	壳牌金秋—富顺、道达尔苏南、EOG 八角场油气区
中国石化所属的 4 个油田 5 个油气区块	(1) 江汉油田：涪陵焦石坝油气区 (2) 华北油田：红河、泾河油气区 (3) 西南油田：新场油气区 (4) 江苏油田：张家垛油气区
中国石油所属的 4 个油田 8 个油气区块	(1) 西南油气田：威远—长宁、安岳、合川、公山庙和龙岗龙浅油气区 (2) 浙江油田：昭通油气区 (3) 长庆油田：苏里格油气区 (4) 吐哈油田：三塘湖油气区

3.1

国内首次在中国第一口页岩气井——威 201 井成功应用

威 201 井是中国第一口页岩气井。该井为直井，于 2009 年底开钻，完钻井深 2840m，在国内首次采用了分簇射孔技术（两级射孔）对页岩气井进行射孔完井施工。威 201 井的成功开发，拉开了我国页岩气开发序幕。



中国第一口页岩气井——威 201 井

3.2

JY12-4HF 井创造了分簇射孔水平井段最长、射孔层数和单井簇数最多三项国内纪录

JY12-4HF 井位于重庆市涪陵区焦石镇的一口页岩气水平井，完钻井深 4720m。2014 年 1 月，该井运用分簇射孔技术，采用 89 型射孔枪、先锋射孔弹，在 2099m 水平井段内，进行 25 层电缆作业，完成“69 簇射孔+25 个桥塞”施工，创造了分簇射孔水平井段最长、射孔层数和单井簇数最多三项国内纪录。



JY12-4HF 井现场图

3.3

CNH2 井组实现了国内首次“同步拉链式”工厂化分簇射孔作业

CNH2 井组由 CNH2-1 井、CNH2-2 井、CNH2-3 井、CNH2-4 井 4 口井组成，4 口井平均井深约为 3710m，水平段长度范围 967~1360m。该井组施工采用每两口井“配对”模式，即两口井射孔作业的同时，另两口井实施压裂，两组井交替不间断进行射孔和压裂作业。连续十天内共计完成 48 层 141 簇的射孔作业，坐封桥塞 44 个，实现了国内首次“同步拉链式”工厂化分簇射孔作业。



CNH2 井组现场图

4

科研装备

4.1 高温高压实验室

高温高压试验装置由超高压容器、三个主系统（超高压系统、稳压系统和导热油加热循环系统）、两个辅助系统（冷却水系统、压缩空气系统）和测控系统组成，该系统最高工作温度 210℃，最高工作压力 200MPa。通过高温高压试验设备能够准确掌握射孔弹、射孔枪及配套下井工具在高温、高压状态下的性能变化规律，为开发高性能的射孔器材提供有效的试验手段。



高温高压实验室



高温高压控制台

4.2 理化分析室

拥有高精度激光粒度分析仪器，可检测金属粉末原料，大幅提高了粒度检测的自动化程度和精确性。拥有自主研发的“石油射孔弹数值仿真与评估系统——PerfJet V1.0”程序，能实现射孔弹试验仿真分析，预估试验结果和详细展现射孔弹爆炸及穿孔过程的数据和图像，实现射孔弹新产品开发和现有产品的技术改进；可缩短研制周期、减少试验数量、节约试验经费。



费氏粒度仪



马尔文激光粒度仪

5

资质与标准

5.1 资质

中国石油川庆钻探工程有限公司获得了美国石油协会颁发的 API Specification Q1 和 ISO 9001:2008 质量管理体系证书。本公司严格按 API Q1 质量体系要求管理生产与服务的全过程。产品全面满足 GB/T20489—2006《油气井聚能射孔器通用技术条件》标准的要求。



5.2 标准

编制分簇射孔技术标准一项——《页岩气藏加砂压裂技术规范 第5部分：分簇射孔工艺》(Q/SYCQZ 688.5-2013)。本标准规范分簇射孔作业时的作业条件、施工设计、现场施工及HSE要求等。

Q/SYCQZ
川庆钻探工程有限公司企业标准
Q/SYCQZ 688.5-2013

页岩气藏加砂压裂技术规范
第5部分：分簇射孔工艺

2013-12-22 发布 2014-01-22 实施

川庆钻探工程有限公司 发布

Q/SYCQZ 688.5-2013

页岩气藏加砂压裂技术规范 第5部分：分簇射孔工艺

1 范围

本标准规定了电缆输送分簇射孔作业的作业条件、施工设计、现场施工及HSE要求。本标准适用于直井和水平井电缆输送分簇射孔作业。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。
SY 5436 石油射孔和井筒取芯用爆炸物品储存、运输和使用的安全规定
SY/T 5587.3 常规钻井作业规程 第3部分：井下作业井筒准备
SY/T 6821 电缆输送射孔带压作业技术规范
Q/SYCQZ 594-2013 电缆传输射孔标准作业程序

3 术语及定义

3.1

分簇射孔

分簇射孔是利用电缆传输射孔器和复合桥塞一次下井输送至目的层位，依次完成桥塞坐封和多簇点火射孔作业，为储层分段改造创造条件的一种射孔工艺技术。

3.2

电缆多级点火

单芯电缆一次下井可完成2层及以上射孔（桥塞）点火作业的控制技术。

3.3

复合桥塞

由易钻进的复合材料制成的桥塞。

3.4

电子选束控制器

多级点火作业中，实现井下寻址和射孔（桥塞）点火作业的电子控制器。

4 作业条件

4.1 井筒

4.1.1 水平段和大斜度段管壁内应无杂砂、无落物。

4.1.2 应在射孔层段附近（推荐30°井斜段和水平段）下入层替管或特殊短节。

1

5.3 专利

中国石油川庆钻探工程有限公司分簇射孔技术申请获得专利 20 项,其中发明专利 7 项,授权实用新型专利 13 项。标志着本公司的分簇射孔技术在非常规油气藏完井射孔领域的领先地位。



分簇射孔技术专利表

专利名称	专利号 / 申请号
井下点火控制装置	ZL201120211699.8
电缆射孔用柔性加重装置	ZL201120211689.4
井下两次点火射孔系统	ZL201120211687.0
一种多级点火射孔用中间接头装置	ZL201320578683.X
多级点火射孔用级间隔离装置	ZL201320578830.3
多级点火射孔用旁开接线装置	ZL201320578745.7
一种模块化弹托装置	ZL201320601066.7
油气井用定面射孔模块弹托	ZL201320583673.5
油气井用模块弹托定面射孔器	ZL201320583672.0
定向钢构	ZL201320600829.6
一种用于射孔的井下电雷管点火控制电路	ZL201320753463.6
一种用于射孔点火控制电路的信号检测处理电路	ZL201320753724.4
一种井下射孔点火控制电路的宽范围输入稳压电源电路	ZL201320753726.3
多级点火射孔用中间接头装置	201310426734.1 (发明)
用于射孔点火控制电路的信号检测处理电路	201310605350.6 (发明)
用于井下射孔点火控制电路的宽范围输入稳压电源电路	201310605550.1 (发明)
一种用于射孔的井下电雷管点火控制电路	201310605551.6 (发明)
一种油气井定面射孔模块弹托	201310431399.4 (发明)
一种油气井用模块弹托定面射孔器	201310431108.1 (发明)
模块化弹托装置	201310447859.2 (发明)

6

专家团队



吴铭德 教授级高级工程师，享受政府津贴专家。曾参与我国第一口 6000m 超深井射孔技术攻关，组织四川射孔弹厂全面技术改造、射孔弹制造技术引进和射孔作业技术全面提升。发表多篇射孔方面的技术文章，为推动分簇射孔技术的产业化作出了积极努力。

电话：13910183756

Email：claudewu@vip.163.com



陈 锋 技术专家，孙越崎能源科学技术青年奖获得者。主持完成“复合射孔新技术集成与应用研究”、“分段多级分簇射孔技术研究及成套设备工业化应用”等多项基础研究和实用新技术研究。负责编写了国家重大专项测井课题的射孔专题实施方案；获多项省部级奖励和专利。

电话：023-67352003

Email：chenfeng_sc@cnpc.com.cn



罗宏伟 技术专家。主持完成“超深穿透射孔弹研制”、“高温射孔弹研制”、“油气井射孔弹计算方法和计算机软件研究”、“高孔密大孔径射孔弹研制”等多项基础研究和产品开发项目。获多项省部级奖励和专利。

电话：023-67352033

Email：luohwei_sc@cnpc.com.cn



唐 凯 技术专家，孙越崎能源科学技术青年奖获得者。先后主持参与了“超正压射孔技术研究”、“页岩气分簇射孔技术”等近 40 余项科研项目研究，主持参与三个国家级页岩气示范区及反承包区等 10 多个油气区块等分簇射孔方案设计和现场技术支持。获多项省部级奖励和专利；负责编写了分簇射孔行业标准 1 项、企业标准 2 项。

电话：023-67352060

Email：tangkai_sc@cnpc.com.cn



王 海 技术专家。主持完成《水平井泵送射孔技术研究》等 23 项科研项目研究。获多项省部级奖励和专利；发表《电缆输送两次点火技术在页岩气井中的应用》等 10 余篇论文。

电话：0832-3919300

Email：haiwang_sc@cnpc.com.cn



孙 伟 技术专家。主持参与完成了《四川气体介质条件下欠平衡电缆测井技术研究》10 余项科研项目研究。获多项省部级奖励和专利；发表《HT-1 旋转式井壁取心仪通信原理及干扰抑制》等论文 10 余篇。

电话：023-67352007

Email：weisuen_sc@cnpc.com.cn

7

服务与培训

7.1 服务能力

中国石油川庆钻探工程有限公司专注于射孔技术研究与应用，推动分簇射孔非常规手段实现了常态化运作。建立分簇射孔工具产业制造中心，成立专业射孔服务队伍，配备全系列分簇射孔装备，提供优化设计、器材生产、施工作业“一体化”服务。

专业射孔工艺研发中心——研发出包括分簇射孔技术在内的一大批高新技术和产品，占据中国中高端射孔市场，在油田客户中享有盛名，是国内一流的射孔技术研发基地。

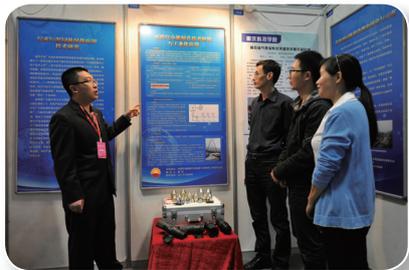
器材生产——现已建成具有国内先进水平的粉末冶金药型罩生产线和射孔弹生产线，同时还拥有先进的射孔枪及配套产品生产线，具备了年产 200 万发射孔弹和 20 万米射孔枪的配套生产能力。生产出的器材及工具在西南油气田、浙江油田、长庆油田、吐哈油田、壳牌金秋、道达尔苏南等各大油田市场获得好评。

施工小队——拥有数控射孔小队 32 支，其中甲级队 7 支，乙级队 25 支。主要服务于川渝、塔里木、塔河、青海、陕北、苏里格、山东临盘、冀东等油区市场，与中国石油、中国石化、壳牌、道达尔、EOG 等国内外大型石油公司保持长期合作关系。



7.2 培训

具备专业的专家技术团队，拥有实验测试技术、装备、现场施工、安全技术等手册及培训课件。针对用户的不同需求，制订详尽的培训计划，提供分簇射孔技术全程培训服务。



7.3 售后服务

建立了完善的售后服务体系，拥有专业技术人员，24小时待命服务，可提供远程技术支持，及时有效解决技术问题，对用户售后需求进行全程跟踪与记录，直到满足用户需求为止。

服务联系人：唐 凯

单 位：中国石油川庆钻探工程有限公司测井公司射孔工艺研究所

联系地址：重庆市渝北区红石路152号

联系电话：023-67352060

电子邮箱：tangkai_sc@cnpc.com.cn



CNPC
中国石油

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

中国石油川庆钻探工程有限公司联系人：

唐 凯 先生
电 话：023-67352060
Email：tangkai_sc@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 CNPC Chuangqing Drilling Engineering Company limited：

Mr. Tang Kai
Tel: 023-67352060
Email: tangkai_sc@cnpc.com.cn

