



复杂油气藏射孔技术

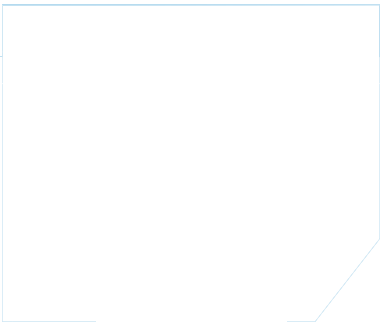
2011 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

愿把复杂油气藏射孔技术和成功经验与世界分享！





目 录

简介	3
特色技术	5
应用案例	11
科研装备	12
资质与标准	14
专家团队	15





中国石油

中国石油天然气集团公司是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，下设上游 17 家、下游 33 家、销售 36 家大型企业。作为中国境内最大的原油天然气生产、供应商和最大的炼油化工产品生产、供应商之一，中国石油天然气集团 2010 年国内生产原油 10500 万吨，生产天然气 725 亿立方米，加工原油 1.35 亿吨，全年实现营业收入 1.72 万亿元，实现利润 1727 亿元，实现利润在国内企业中位居榜首。

美国《财富》杂志 2010 年度全球 500 强

公司排名中，中国石油天然气集团公司居第 10 位，在全球 50 家大石油公司中位居第 5 位。中国石油天然气集团公司履行资源、市场和国际化战略，坚持推进科技进步，实施技术创新，以全面提升技术创新能力为主线，以解决制约主营业务发展的重大瓶颈技术为重点，不断完善技术创新体系，优化科技资源配置，强化科技人才队伍建设，技术创新能力大幅度提升，技术实力显著增强，取得了一大批高水平，具有自主知识产权的创新成果。

复杂油气藏射孔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

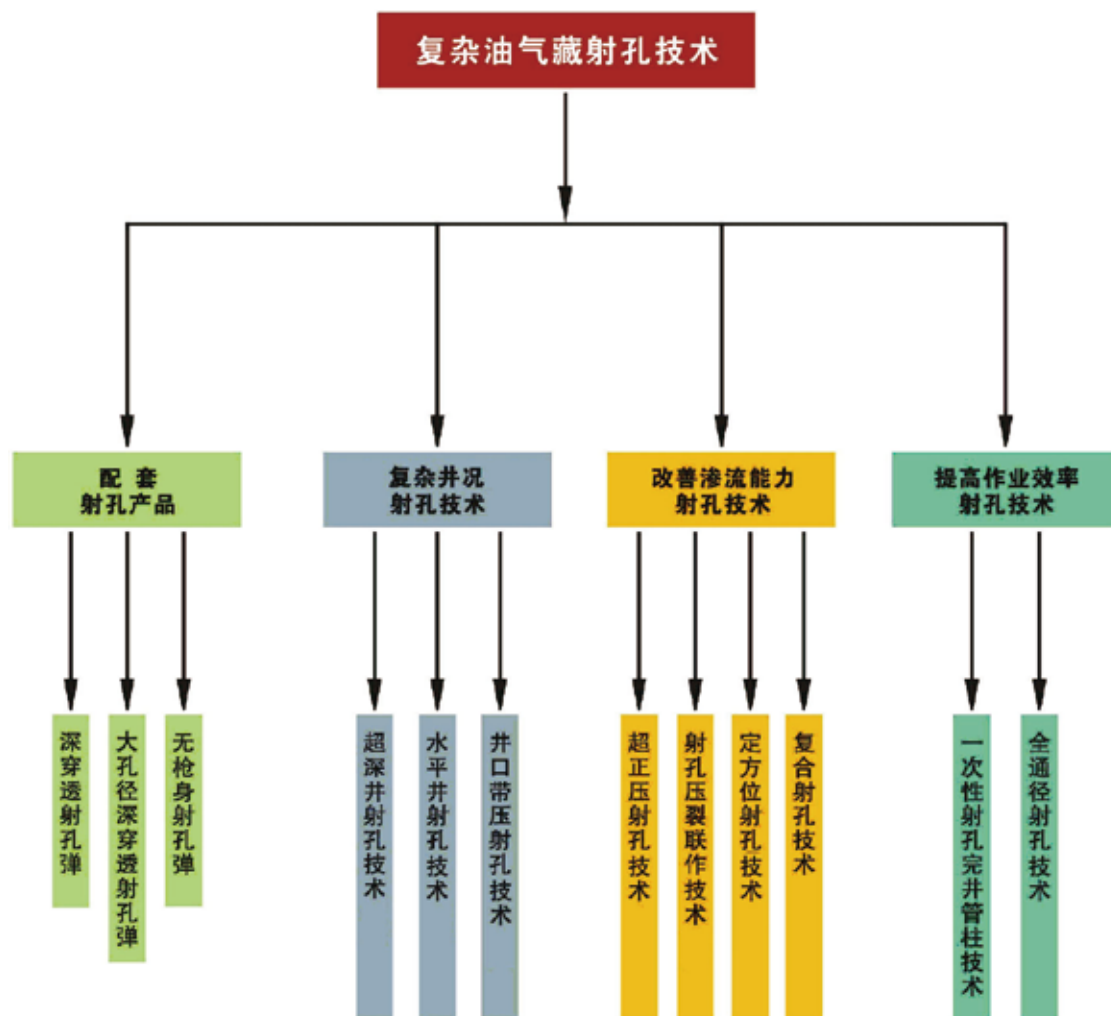
1

简介

中国石油一直致力于射孔产品的研发和射孔工艺技术的研究。建立了从射孔弹生产、射孔器材设计与制造、射孔工艺技术研究到射孔服务作业的专业化机构，拥有国际先进的射孔弹制造设备和技术。射孔施工服务和器材销售于印度、泰国、伊朗、哈萨克斯坦、土库曼斯坦、苏丹、澳大利亚以及东南亚等国家和地区。

中国石油在复杂油气藏射孔方面自主研发了四大系列共 12 项特色技术和配套产品。这四大系列分别是配套射孔产品、复杂井况下的射孔技术、改善渗流能力的射孔技术和提高作业效率的射孔技术。





● **4**大技术系列 ● **12**项特色技术和配套产品

2

特色技术

1. 配套射孔产品系列

(1) 射孔弹制造技术

被誉为打开油藏大门“金钥匙”的射孔弹，其穿孔性能的优劣是影响油气井产能的重要因素之一。面对勘探开发对象复杂、油藏类型多样化的今天，中国石油加强了射孔弹技术的研究与开发，已形成了深穿透射孔弹技术、大孔径深穿透射孔弹技术、无枪身射孔弹技术等为特色技术的百余种规格的射孔弹，形成的孔道深且规则、无杵堵、地层伤害小，为复杂油气藏的高效开发提供了器材保障。

(2) 深穿透射孔弹（专利技术）

深穿透射孔弹是追求最高穿孔深度为目标的射孔弹。通过独特的结构设计使射孔弹爆炸后，产生一股稳定性能的、紧凑的、能拉得很长的射流，并在岩层中形成较高的穿孔深度。深穿透射孔弹显著特点是具有穿孔深度深，最

高穿透深度1539mm(60.58")、形成的孔道规则、对地层伤害小，能够最大程度地穿透地层污染带，为后续的压裂酸化等增产措施创造良好的井筒条件。适用于低孔隙度、低渗透率、低丰度、高致密油气层的射孔作业。

(3) 大孔径深穿透射孔弹（专利技术）

大孔径深穿透射孔弹是指射孔弹爆炸后，即在套管上形成孔径大于14mm(0.55")，并在岩层中形成较好的穿孔深度。其显著特点是增大了射孔孔道的渗流面积，降低地层的破裂压力，对常规油气层解除钻井污染带、提高单井油气产量效果明显，而且对低孔低渗油气藏提高单井产量，特别是实施充填防砂技术措施创造良好的井筒条件。适用于稠油层、疏



松油层、出砂油层和注聚合物井的射孔作业。

(4) 无枪身射孔弹

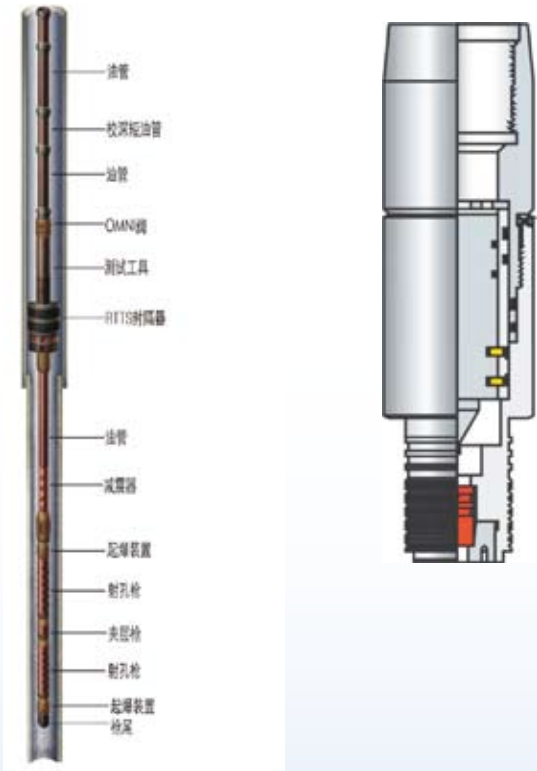
无枪身射孔弹是指射孔弹不用射孔枪，只用长条形弹架固定及导爆索编联，由雷管引爆的射孔弹。无枪身射孔弹采用单个密封结构，具有耐压强度高，起爆率高，满足高温高压条件下的射孔施工作业；采用深穿透射孔弹技术，射孔弹的穿透能力强，爆炸后，对套管、弹架等爆炸作用小，具有体积、装配简便、操作安全等特点，适用于过油管射孔及小通径老井的补孔作业。

2. 复杂井况射孔技术系列

针对复杂井况下的射孔完井技术，研发了超深井、水平井、欠平衡井等射孔工艺技术，该技术具有安全、可靠、高效等特点，满足了产层保护和勘探开发的需要，这些技术已经在中国石油的各大油气田得到广泛应用，取得了良好的效果。

(1) 超深井射孔技术

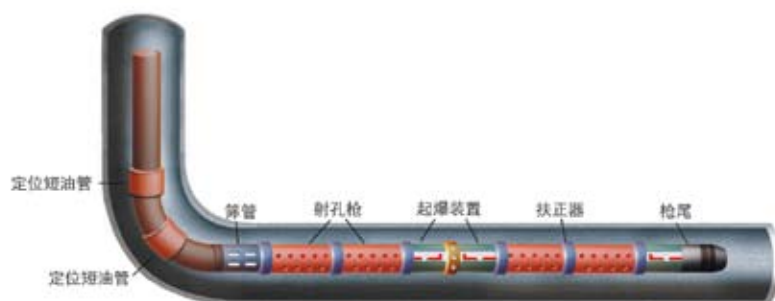
超深井射孔技术适用于井深超过 5500m (18045ft) 的油气井，该技术克服了超深井的高温、高压、小井眼等恶劣井况条件，射孔同时可与酸化、测试等工艺配合，缩短试油周期，降低



生产成本和劳动强度。主要应用于 6000m (19685ft) 以上的油气井，成功应用 200 井次。

(2) 水平井射孔技术

水平井射孔工艺技术，作业 300 余井次，成功率 100%，满足了水平井射孔完井作业需



求，为水平井的工业化推广应用提供了强有力的技术支持。

(3) 井口带压射孔技术

适用于欠平衡施工作业，满足目前欠平衡射孔完井的要求。施工中需在井口安装电缆防喷系统，电缆在井口动密封条件下将射孔器材输送到目的层，实现带压（负压）射孔作业，该技术避免了正压射孔对油气层的伤害，提高了油气产率。



3. 改善渗流能力射孔技术系列

低孔、低渗油气藏的开采常需要进行压裂酸化等增产措施才能见到效果。围绕改善渗流能力的射孔技术开发形成了超正压射孔、射孔压裂联作、定方位射孔以及复合射孔四大特色技术，为提高低孔低渗储层的勘探开发提供了技术支撑。

(1) 超正压射孔技术（专利技术）

超正压射孔技术是当今射孔完井技术的新突破，在中国各大油田广泛应用。该技术克服了聚能射孔所带来的压实污染，并能延伸裂缝，改善了初始完井效果，缩短试油周期，节约试油成本。

超正压射孔技术适用于以下 3 种情况：

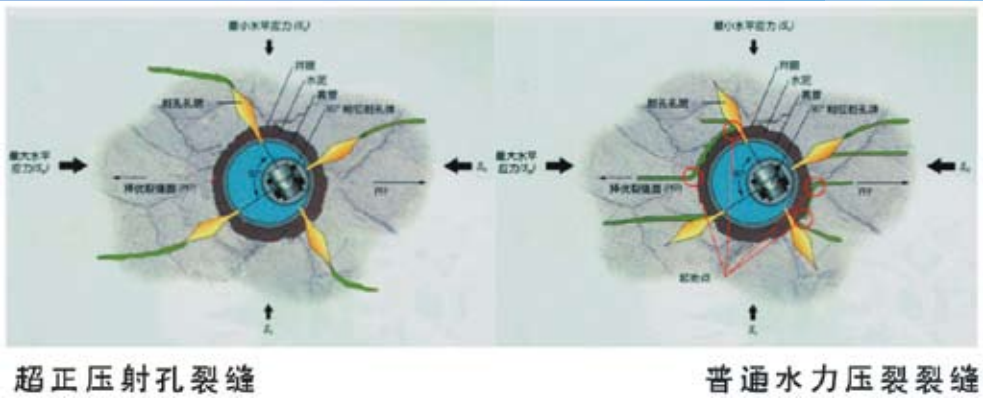
- 低孔隙度、低渗透率的碳酸岩、砂岩等

储层；

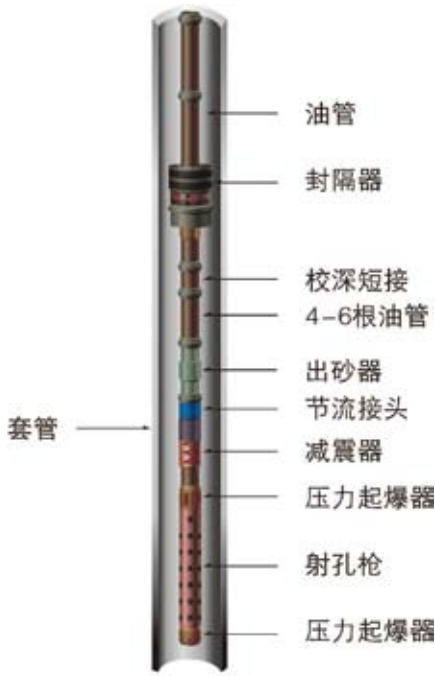
- 储层压力低；
 - 钻井污染半径大的储层；
 - 该技术拥有 2 项专利技术；
- 一种剪销可方便装卸的压力起爆器；
- 一种油气井用高孔密射孔枪。

(2) 射孔压裂联作技术

射孔压裂联作技术实现了一趟管柱完成射孔、压裂联作工艺，该技术能较好地解决封隔器坐封、解封以及畅通的出酸、出砂通道等问题，消除作业过程中酸化不畅、砂堵或砂卡等事故隐患。目前，中国石油在各大油田广泛推广该技术，以缩短试油周期，节约试油费用。



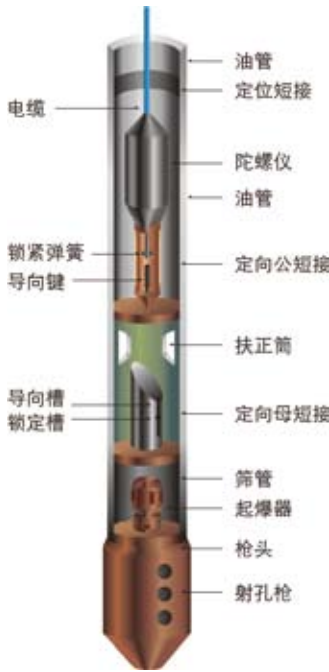
该技术拥有一项专利：《一种油气井用射孔枪的点火自动丢枪装置》。该专利技术确保在高压条件下完成自动丢枪作业，实现了射孔、丢枪、压裂的不间断作业，节省时间，节约了作业费用，同时对产层有一定的保护作用。



采用下移式出砂器的联作管柱

(3) 定方位射孔技术

定方位射孔技术是沿着裂缝方位和地层最



大主应力的方向射孔，能够解决常规射孔方位随机性的问题，提高裂缝性油气层射孔孔眼有效率。现场应用 50 井次，提高了油气采收率。

(4) 复合射孔技术

利用射流引燃外套的推进剂筒，利用炸药的爆速和推进剂的燃速差来实现先射孔后气体压裂，使近井区域的地层导流能力得到改善，达到增产的目的。该技术在中国应用了 120 井次，成功率 100%，增产效果显著。



(1) 一次性射孔完井管柱技术

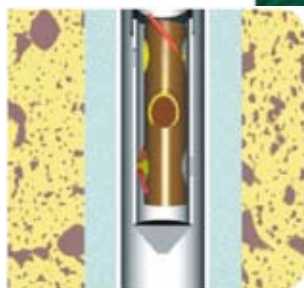
一次性射孔完井管柱技术用油管将射孔枪输送到目的层位起爆射孔后，采用丢枪工艺使射孔枪串落入井底口袋，从而使整个完井管柱保持畅通状态，不须提出管柱就可完成压裂以及生产测井等后续作业。该技术适用于有足够长口袋丢枪，一次性投产的高产油气井。

(2) 全通径射孔技术

该技术是用油管将射孔枪输送到目的层位起爆射孔后，整个完井管柱保持畅通状态，不需要提出管柱或丢枪作业就可完成压裂酸化以及后续的生产测井作业。

4. 提高作业效率射孔技术系列

一次性射孔完井管柱技术和全通径射孔工艺技术是针对提高作业效率而研发的，它能减少起下管柱的次数、提高完井作业效率、节约试油时间和费用，还能减少产层污染、提高产能，是安全、高效的完井射孔技术，这些技术已经在中国石油的各大油气田得到广泛的推广应用，创造了良好的经济效益和社会效益。



适用于套管直径 $\geq 127\text{mm}$ (5") 的直井和斜井，也可应用于欠平衡钻井条件下的直井和斜井。拥有 2 项专利技术：《油气井用双管式射孔枪》、《一种油气井用全通径射孔枪总成》。



3

应用案例

1. 剑门 1 井超深井射孔

剑门 1 井位于四川龙岗区块，井深 6970m (22867.18ft)，井底压力 120MPa (17391.3 psi)，井底温度高达 175℃ (347°F)，2008 年 7 月中国石油采用超深井射孔工艺技术成功完成射孔施工作业。

2. 高含硫气田水平井射孔

罗家 11 井位于重庆开县罗家寨构造区块，该井井深 4143m (13592.35ft)，射孔跨度 433.3m (1421.6ft)，有效射厚 371.8m (1219.8ft)，H₂S 含量高达 130.425g/m³，采用 89 型水平井射孔枪，射孔相位由水平、水平及向上 30°、水平及向下 30° 等 9 种方式组合，采用分段起爆方式确保了施工安全可靠，5442 发射孔弹全部发射，发射率 100%。

3. 遂 54 井定方位射孔

根据遂 54 井井筒测井资料以及区域地应力分析研究，确定该井射孔层位最大地应力方向为 NE100°，地层破裂压力梯度在 3.5 左右。根据设计，进行定方位射孔，孔密 16 孔/m。施工过程中，通过地面仪器监测射孔枪的方位，射孔采用加砂压裂，井口降低了施工压裂，并达到了油气增产效果。

LG27 井复合射孔作业

LG27 井井深 5260m (17257ft)，2008 年该进在飞仙关组采用复合射孔酸化测试联作，取得了较好的施工效果，在油气增产方面起到了显著的效果。

4

科研装备

高温高压实验室

高温超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）、二个辅助系统（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°C (410°F)，最高工作压力 200MPa (28985.5psi)。

此装置是射孔弹、射孔枪以及配套下井工具在高温、高压状态下产品性能变化规律研究、高性能的射孔器材开发的试验手段。





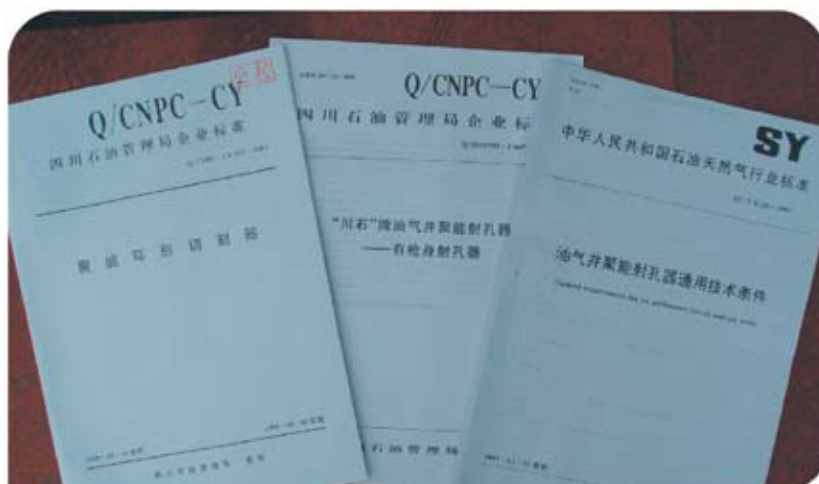
三坐标模具检测系统



多功能粉末理化分析仪

5

资质与标准



6

专家团队



陈 锋 射孔完井技术专家，孙越崎能源科学技术青年奖获得者。主持完成“井口带压射孔技术研究”、“水平井射孔技术研究”、“复合射孔新技术集成与应用研究”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。

E-mail: chenf023@163.com

联系电话: 023-67352033



刘方玉 射孔完井技术专家。参加了“八五”以来多项射孔方面的技攻关，获国家级重大成果奖 1 项。主持并参与研发的“定方位射孔”、“复合射孔”、“动态负压射孔”、“射孔方案优化”技术均达到国际先进水平，获多项省部级奖励。在核心期刊发表 10 余篇技术论文。获发明专利 1 项。

E-mail: liufangyu@petrochina.com.cn

联系电话: 013836787666



潘永新 爆轰理论研究、射孔器设计及制造工艺技术专家。先后主持或作为主研人员参与完成了“127 型射孔器研制”、“油气井射孔增产技术研究”和“89 型和 102 型耐高温高压射孔器配套技术研究”等多项科研项目，获多项省部级奖励。在核心期刊发表 10 余篇技术论文。获发明专利 1 项。

E-mail: panyx@cnpc.com.cn

联系电话: 013904596163



罗宏伟 射孔弹研制技术专家。主持完成“超深穿透射弹研制”、“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。获专利 5 项。
E-mail: lhwyc2003@126.com 联系电话: 023-67352003



唐 凯 射孔施工与工艺技术专家。主持或参与了“超正压射孔技术研究”等近 40 项科研项目，获多项省部级奖励。主持或参与了塔里木油田克拉 2 区块、四川龙岗区块等射孔方案设计和现场技术支撑。获得 14 项专利。
E-mail: tangkai023@sina.com 联系电话: 023-67352060



杜明章 射孔弹研制技术专家。深穿透射孔弹技术学科带头人，先后主持或参与了“深穿透射孔弹技术”、“大孔径射孔弹技术”等 20 余项技术攻关和科研项目。获得 2 项专利，获多项省部级奖励。
E-mail: dmz3964091@sina.com 联系电话: 0832-3964091



刘勇军 射孔施工与工艺技术专家。先后主持或参与了“全通径射孔工艺技术研究”等 30 余项科研项目研究，获多项省部级奖励。发表《欠平衡钻井条件配套的射孔工艺技术》等多篇科技论文，获得 2 项专利。

E-mail: yiyou144047@163.com

联系电话: 13650520114



付代轩 射孔弹研制技术专家。主持完成了 30 余项科研和技术攻关课题，研发了超深穿透、过油管无枪身、大孔径、等系列射孔器。发表学术论文 10 余篇，获得专利 5 项。

E-mail: fudaixuan001@163.com

联系电话: 13990561934



联系人: 刁顺 先生
电 话: 59986059
Email: sdiao@cnpc.com.cn

Contact: Mr. Diao Shun
Tel: 59986059
Email: sdiao@cnpc.com.cn

