

PCDS™ 精细控压钻井系统

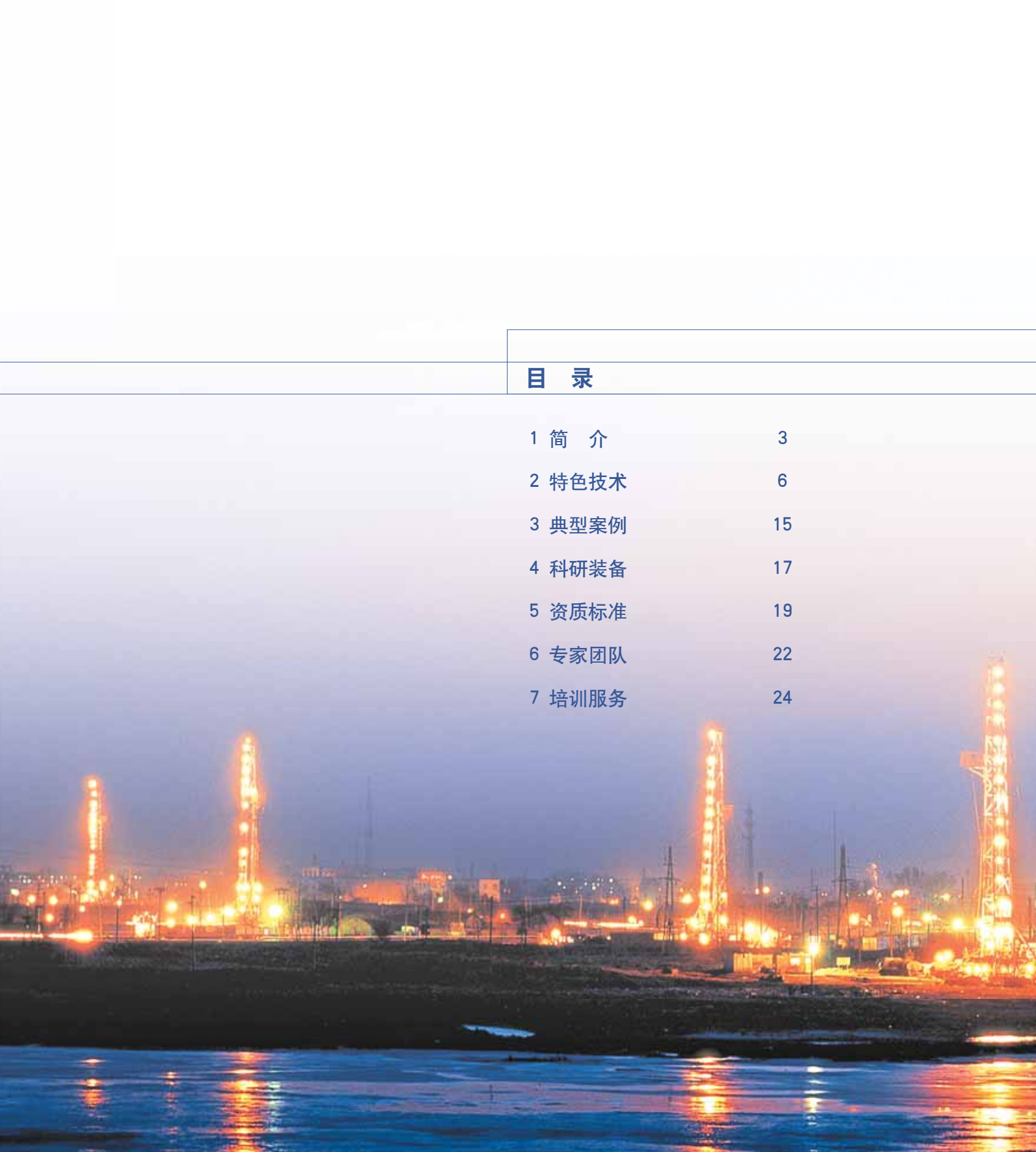
■ 2014 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

精细控压钻井系统，复杂敏感地层钻井利器！





目 录

1 简 介	3
2 特色技术	6
3 典型案例	15
4 科研装备	17
5 资质标准	19
6 专家团队	22
7 培训服务	24



中国石油天然气集团公司（简称“中国石油集团”，英文缩写：CNPC）是根据国务院机构改革方案，于1998年7月在原中国石油天然气总公司的基础上组建的特大型石油石化企业集团，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2013年国内生产原油1.13亿吨，生产天然气888.4亿立方米，加工原油1.46亿吨，全年实现营业收入2.76万亿元，实现利润1880亿元。

2013年，中国石油在世界50家大石油公司综合排名中位居第4位，在全球500家大公司排名中位居第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“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。

PCDS™ 精细控压钻井系统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

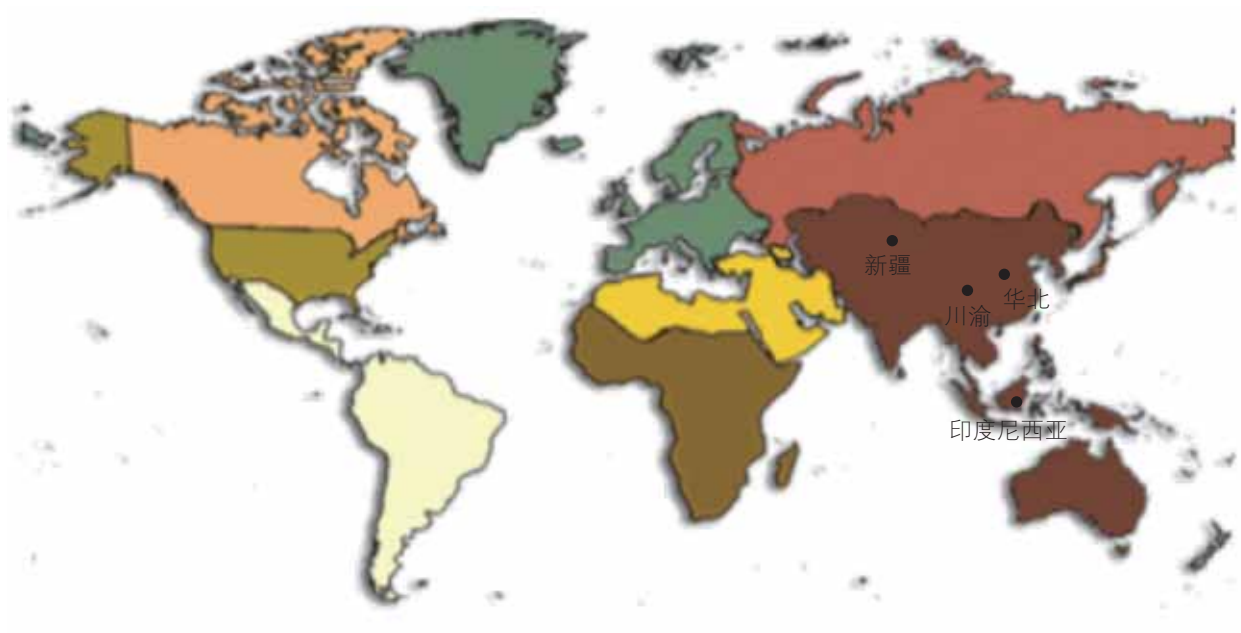
随着油气勘探开发逐渐向深井、复杂井、高温高压井的不断推进，窄密度窗口问题日益突出，采用常规钻探技术，易出现井涌、井漏、卡钻等一系列钻井复杂问题，已成为严重影响和制约油气勘探开发进程的技术瓶颈。

控压钻井技术是当今世界钻井工程前沿技术之一。精细控压钻井系统集成机、电、液、气一体化系统和随钻压力测量、设备在线智能监控、应急处理功能于一体，具有环空压力闭环监控、多策略、自适应的特点。通过对井筒环空压力的闭环实时监测与精确控制，能有效预防和控制溢流和井漏、避免井下复杂、大幅度降低非生产时间；能够保护油气层、提高水平段延伸能力、有利于提高单井产能，是当前解决深井压力敏感地层、高温高压地层、窄密度窗口等钻井难题最有效的手段。

PCDS™ 精细控压钻井系统是中国石油具有自主知识产权的钻井装备，实现了“看着井底压力来打井”，集恒定井底压力与微流量控制功能于一体，可进行近平衡、欠平衡精细控压钻井作业，井底压力控制精度可达 $\pm 0.35\text{MPa}$ ，已成为安全高效钻井技术装备新利器。



PCDS™ 精细控压钻井系统先后在我国川渝、塔里木、华北、冀东以及海外等控压钻井服务热点和难点地区提供优质控压钻井技术服务，有效解决了“溢漏共存”钻井难题，储层发现和保护效果显著，实现了碳酸盐岩地层、窄密度窗口地层、深井高温高压复杂地层的安全高效钻井作业。



四川蓬莱 9 井控压服务



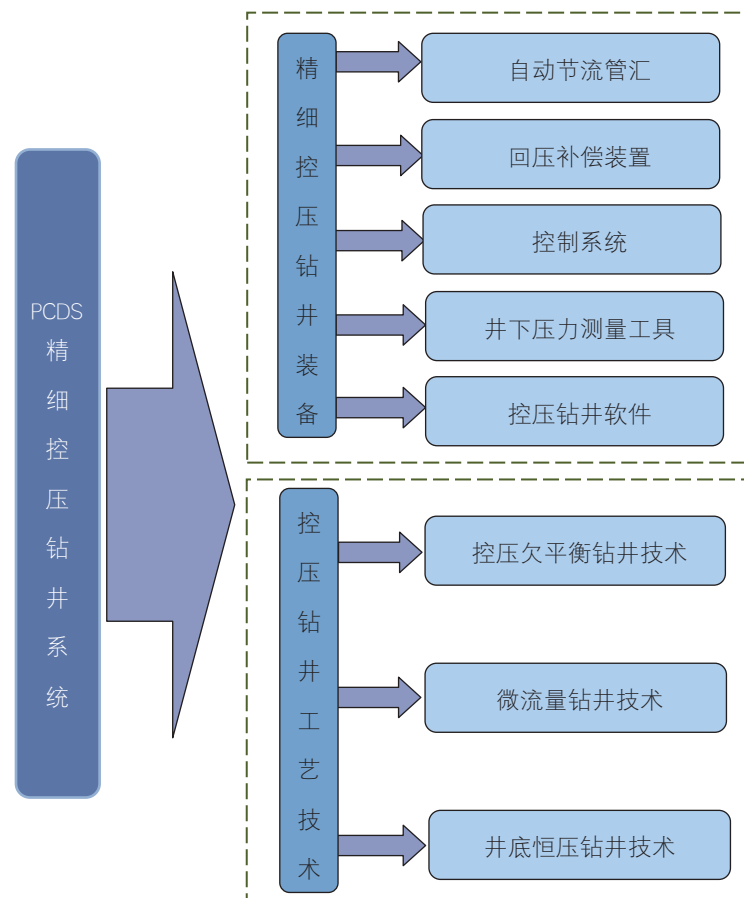
塔里木 ZG5-H2 井控压服务



南堡 23- 平 2003 井控压服务



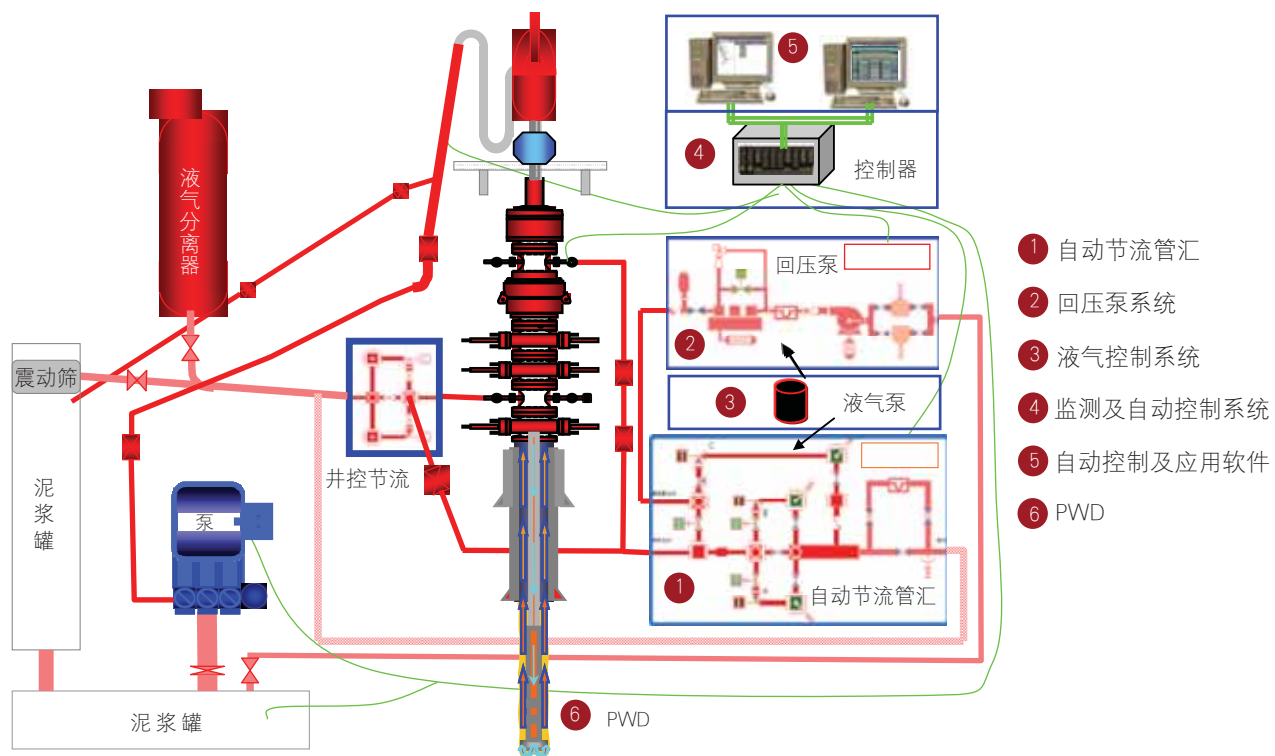
印尼 Basement-I 井控压服务



2 特色技术

2.1 精细控压钻井装备

PCDS™ 精细控压钻井系统主要由自动节流管汇、回压补偿装置、控制系统、控压钻井软件及井下压力测量工具等部分组成。



PCDS™ 精细控压钻井系统装备组成图

PCDS™ 精细控压钻井系统主要技术参数

型号	额定压力 (MPa)	工作压力 (MPa)	节流精度 (MPa)	适应井眼尺寸 (mm)	钻井液密度 (g/cm ³)
PCDS™	35	7	±0.35	<311	<2.4

注：工作压力由现场旋转防喷器动压密封级别决定。

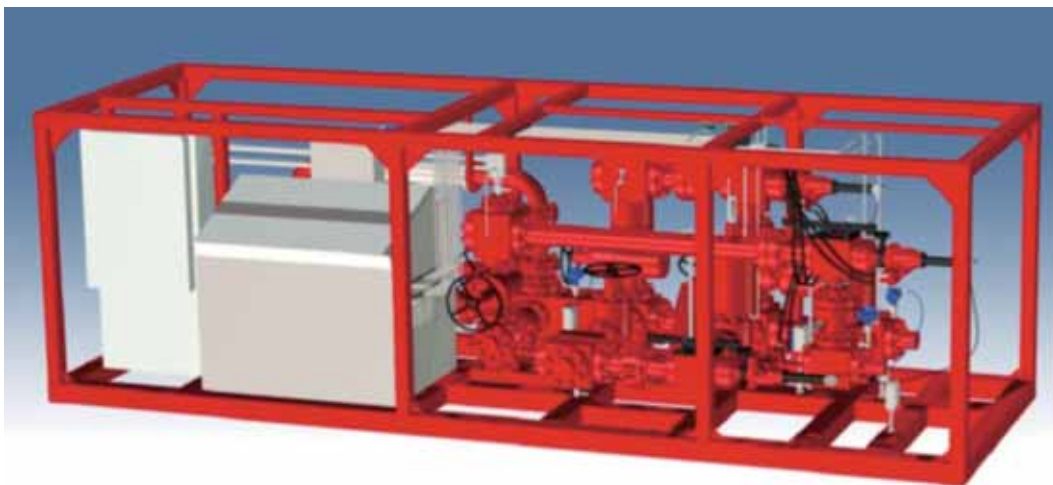
技术特点及优势

PCDS™ 精细控压钻井系统集恒定井底压力控制和微流量控制钻井功能于一体，可实现各种钻井工况的控压钻进作业。

- (1) 远程 / 本地的手动 / 自动四种操作模式，控压精度高；
- (2) 不同钻井工况下，节流通道快速切换；
- (3) 高强度、耐冲蚀节流阀适于极端环境，可在线维护；
- (4) 出、入口流量高精度监测；
- (5) 闭环监控系统，多策略、自适应；
- (6) 可实现过平衡、近平衡和欠平衡控压钻井；
- (7) 系统采用模块化设计，可以进行灵活多变组合；
- (8) 集水力学模型、设备在线智能监控与应急处理的精细控压自动控制软件；
- (9) 适用于各种钻井工况。

2.1.1 自动节流管汇

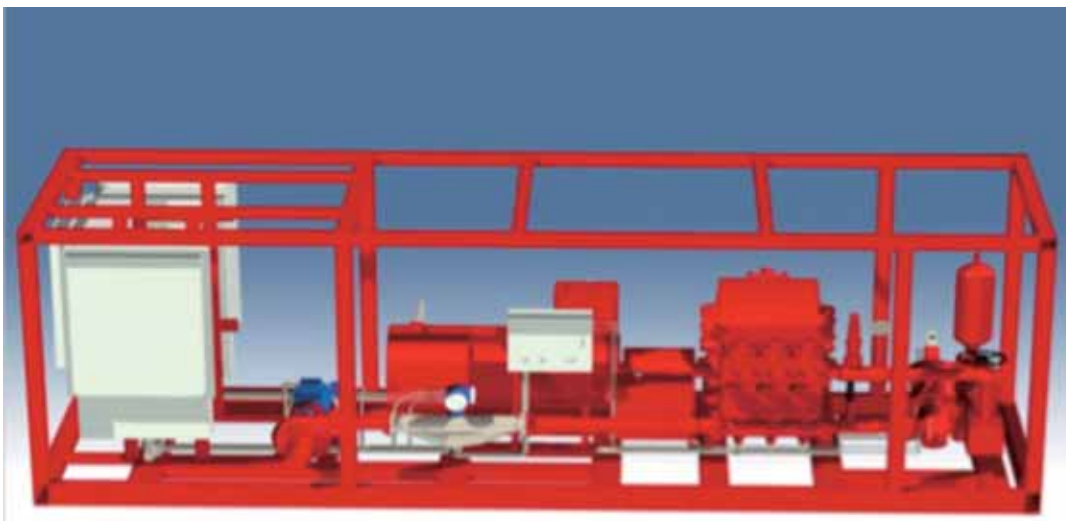
自动节流管汇由各种阀件、主节流管汇和辅助节流管汇、高精度液控节流控制操作台以及控制箱组成。三个节流通道的，具备自动节流、冗余节流切换，安全报警、出口流量监测等功能，有远程 / 本地的手动 / 自动四种操作模式。通过产生可调的节流来控制井口压力，从而在静态和动态条件下保持井底压力的相对稳定。



自动节流管汇

2.1.2 回压补偿装置

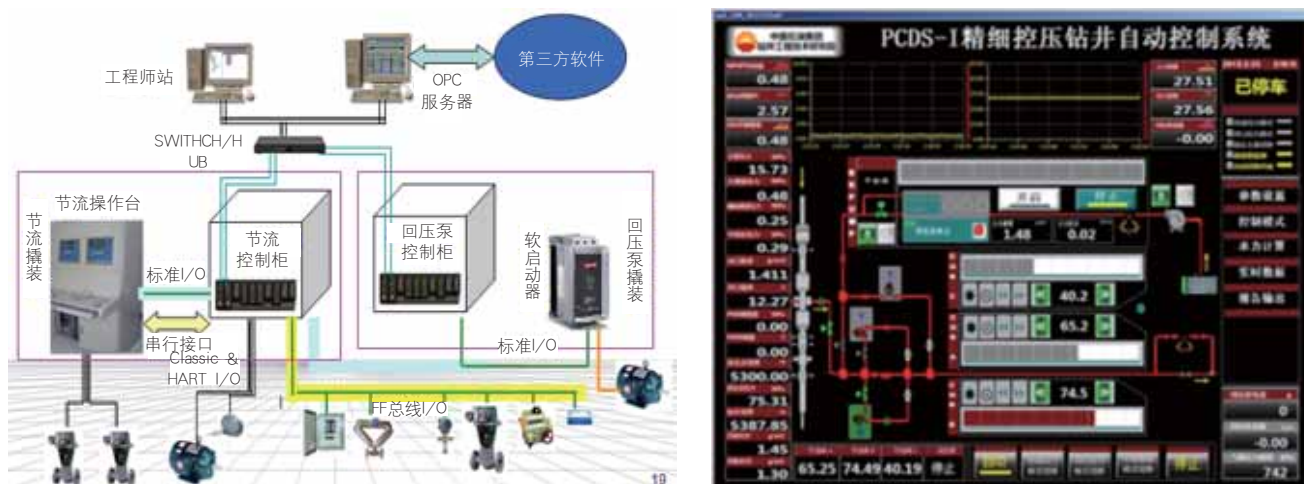
回压补偿装置主要由电动三缸柱塞泵、交流电机、上水管线、排水管线以及高精度质量流量计等部分组成。能够在循环或停泵的作业过程中进行流量补偿，提供节流阀工作必要的流量。能在控压作业期间长时间循环，对系统进行流量补偿，维持井口节流所需要的流量，维持节流阀最佳节流功能。



回压补偿装置

2.1.3 控制系统

控制系统由远程自动控制系统和液气控制系统两部分构成，是 PCDS™ 精细控压钻井系统的总控中心。可根据井下 PWD、钻井参数采集与监测系统、实时水力学计算信息进行合理分析与逻辑判断，完成与其他系统之间的通讯及数据交互，向液气控制系统下达相应的调整指令，实现实时决策的功能。



PCDS™ 精细控压钻井系统远程控制系统

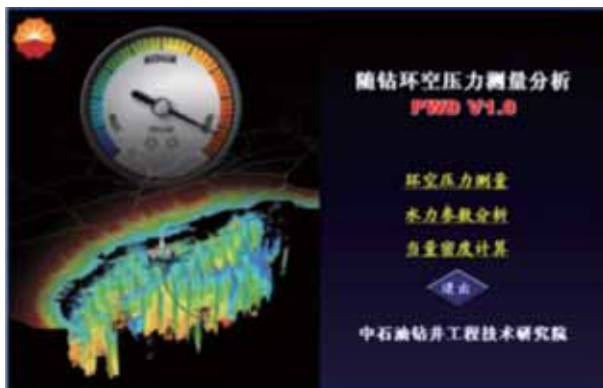
2.1.4 井下压力测量工具

井下压力测量工具（PWD）是控压钻井系统中一个重要组成部分。它可以随钻测量井下压力并传输给实时水力计算软件，从而校正控压钻井系统的水力计算模型。CGPWD 是中国石油集团钻井工程技术研究院自主研发的井底环空压力随钻测量系统，该工具可单独使用，随钻数据实时测量存储、地面回放；也可与 MWD 系统对接使用，随钻数据实时测量并上传。

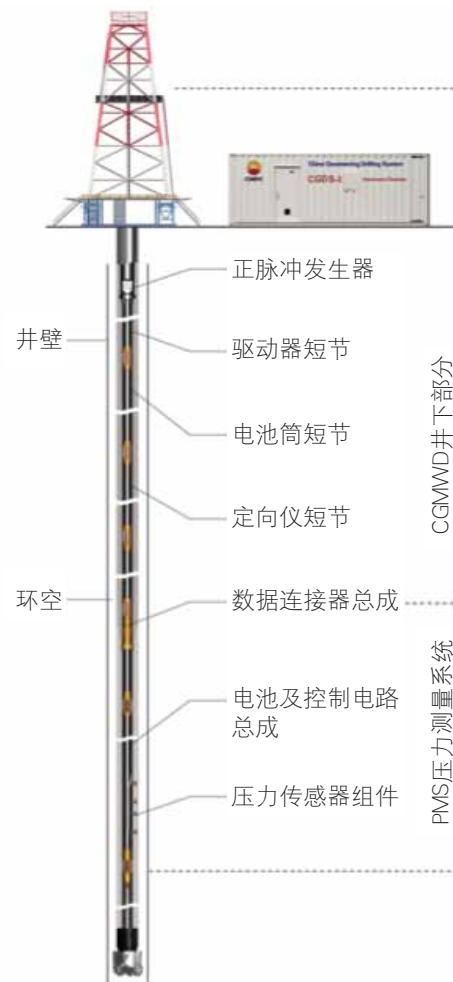
井下压力测量工具性能参数

- 适用井眼：6in, $8\frac{1}{2}$ in $\sim$ $9\frac{5}{8}$ in
- 可测参数：
 - 柱内 / 环空压力，0 $\sim$ 140MPa $\pm$ 1%FS；
 - 温度，-50℃ $\sim$ +160℃ $\pm$ 1%FS
 - 井斜、方位、工具面角，同 CGMWD

- 数据传输速率：5bits/s
- 最高工作温度：150℃
- 连续工作时间：500h
- 采样间隔：1 ~ 6 点 /min

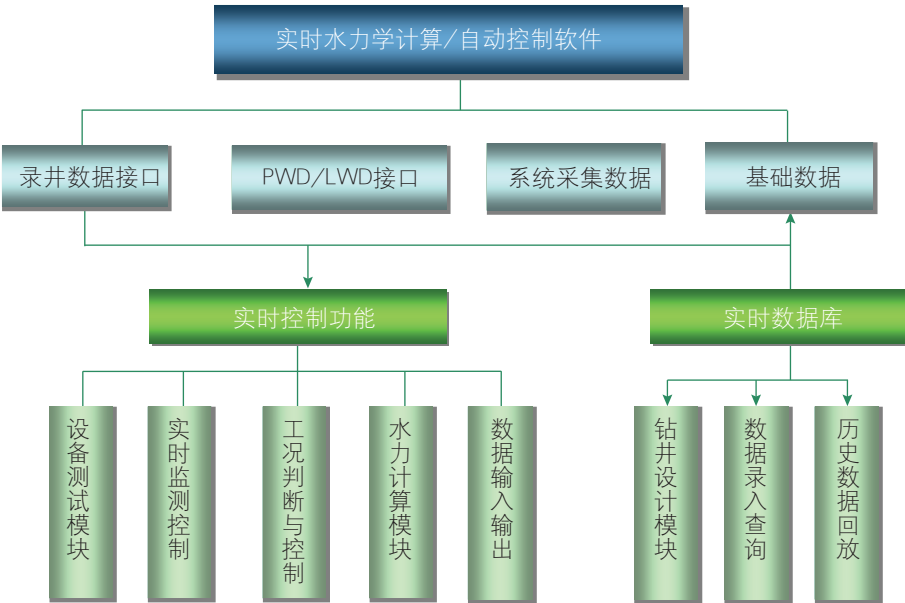


CGPWD 井下压力测量工具



2.1.5 控压钻井软件

PCDS™ 精细控压钻井软件是控压钻井系统的核心。系统利用实时采集的井底压力值，通过水力学计算模型计算井口所需施加的回压值，并通过闭环压力自动控制软件自动实时调节井口补偿压力，从而实现控制井底压力在最佳的预定范围内，确保井下的安全、可靠。



控压钻井软件功能架构

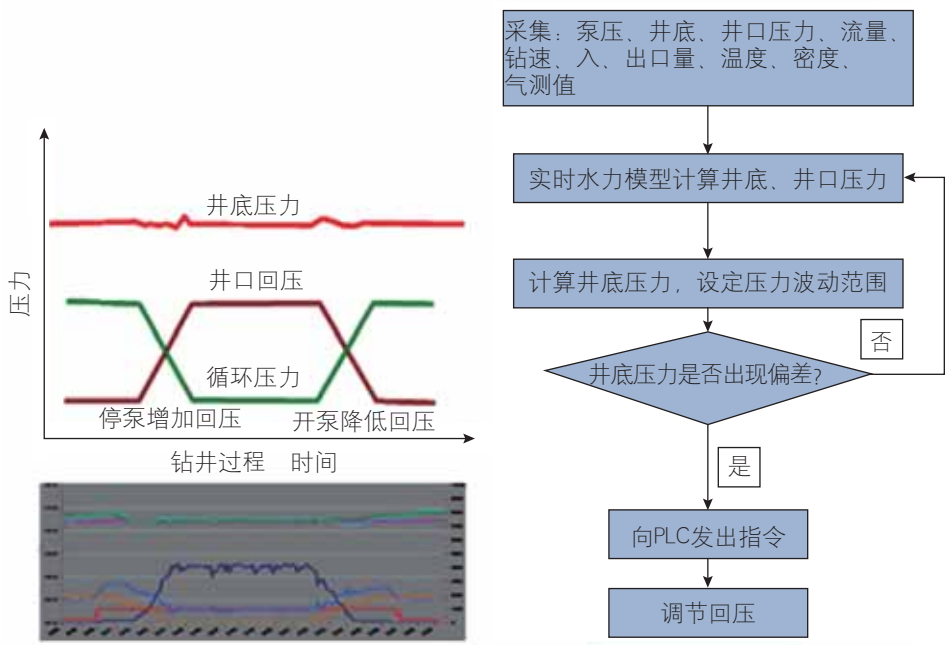


控压钻井水力计算软件界面

2.2 控压钻井工艺技术

2.2.1 井底恒压钻井技术

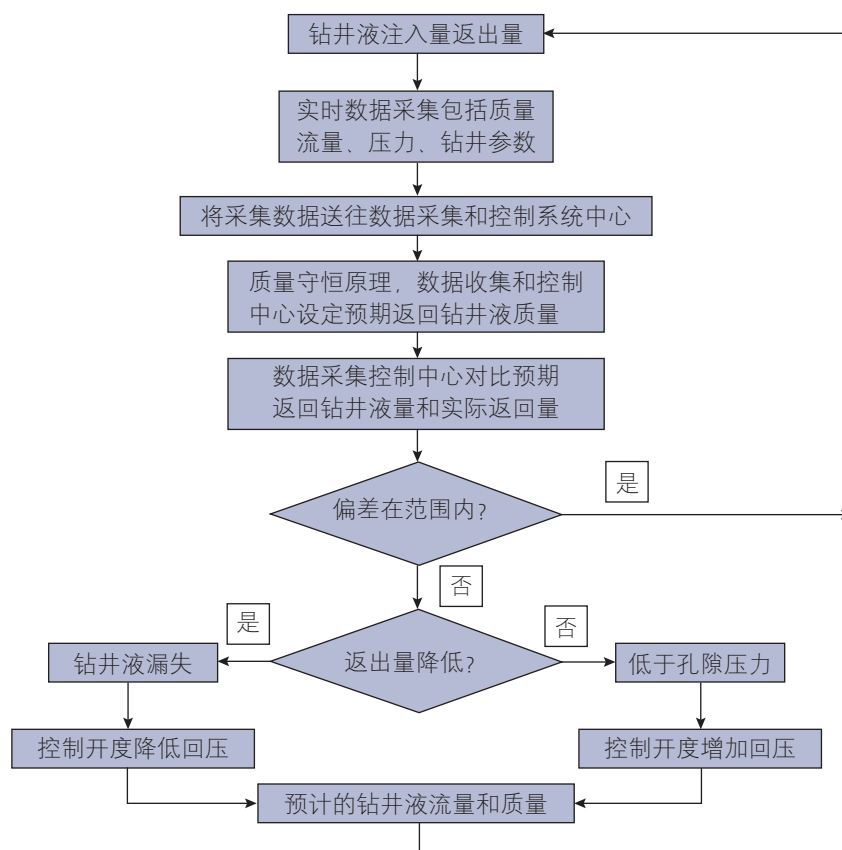
井底恒压的控压钻井技术 (Constant Bottom Hole Pressure, CBHP), 是一种通过环空循环摩阻、节流压力和钻井液静液压力来精确控制井眼压力的方法。它根据 PWD 实时采集的井底压力值, 通过全自动闭环压力控制软件实时调节井口回压, 从而达到井底压力的精确控制。井底恒压的控压钻井作业中, 无论是在钻进、接单根, 还是起下钻过程中均可控制井底压力在预定的范围内, 提供不同工况下连续恒定的井底压力控制, 确保深井、窄密度窗口地层的钻井作业更加安全、可靠。



井底恒压控压钻井控制流程简图

2.2.2 微流量钻井技术

微流量控压钻井技术 (Microflux Control) 是利用 PCDS™ 精细控压钻井自动控制系统特殊功能, 通过高精度质量流量计实时监测并精确测量钻井液出、入口流量, 判断井筒溢流及漏失情况, 结合控压钻井实时水利分析软件, 实现溢流及漏失的及时发现与控制。该技术不受地层压力及温度等井下条件的限制, 能够实现早期微溢流与微漏失的探测, 精确计量溢漏量。溢漏最小累计流量监测值可达 $\pm 0.1\text{m}^3$, 预见和控制复杂事故的发生, 提高钻井作业的井控安全性。



微流量钻井技术控制流程图

2.2.3 控压欠平衡钻井技术

PCDS™ 精细控压钻井系统将欠平衡钻井理念引入控压钻井作业中，采用精细控压钻井装备及井筒闭环压力自动控制技术，在深井窄密度窗口地层实现精细压力控制的欠平衡钻井作业，“有控制”地边喷边钻，实现了“点着火炬来钻井”。针对“溢漏共存”地层和储层发现及保护需求提供一体化解决方案，让窄密度窗口井底压力控制变得更加安全、高效。



3

典型案例

(1) 华北地区控压钻井提速 95%

渤海湾盆地霸县凹陷牛东潜山构造储层裂缝发育、密度窗口窄、井控风险大，严重阻碍了勘探开发进程。2012 年 2 月～3 月，在牛东 102 井四开井段采用了精细控压钻井技术服务，机械钻速提高 95%，目的层“零漏失”和“零复杂”，成功地解决了牛东潜山漏失、井壁垮塌等钻井复杂问题，有效降低钻井液密度，钻井提速效果显著。



牛东 102 井控压钻井现场应用

(2) 塔中精细控压钻井应用创水平段进尺 1561m 新纪录

塔中 721-8H 井是塔里木油田塔中 I 号断裂坡折带上的一口重点井，该地层情况复杂，油气层活跃，属典型窄压力窗口地层，易漏易喷，且存在多套压力层系，普遍含 H_2S ，施工安全风险大。采用常规控压钻井技术井底压力波动大，钻遇复杂情况频繁发生，一旦钻遇大段漏失层，则很难继续钻进下去。2013 年 6 月 13 日至 7 月 11 日，PCDSTM 精细控压钻井系统在（井段 5144～6705m）进行现场服务，全程“零漏失”、“零复杂”，一举创下了国产精细控压钻井多项纪录：成功实现了长水平段穿越多套缝洞发育单元的塔里木油田新纪录，水平段进尺 1561m，打破了由

TZ26—H7 保持的 1345m 的油田纪录, 并且突破性的应用了“控压欠平衡”理念, 发现油气层 42 个, 创造水平段日进尺 150m 的新纪录, 目的层钻井提速效果明显和储层保护和发现成效显著。



(3) 印尼控压钻井作业实现全程“点着火炬钻井”

Basement—1 井位于印尼苏门答腊岛的加邦区块, Betara 油田的东北部。该井为加邦区块的第一口预探井, 目的层 BASEMENT 基底属花岗岩, 地层可钻性差、机械钻速低、地层压力系数低, 具有破碎断面特征, 浅层气发育, 气层对井底压力极为敏感, 施工安全风险较大。2013 年 7 月 18 日至 9 月 4 日, PCDS™ 精细控压钻井系统在该井开展了精细控压钻井作业取得了圆满成功, 控压进尺 999m, 平均机械钻速 3.30m/h, 油气显示良好, 全井段零漏失、零复杂。钻进期间实现全过程“点着火炬来钻井”, 点火总时间占控压钻进总时间的 79.5%, 点火总时长达 240h, 火焰高度 1 ~ 5m, 最高达 15m, 确保井下安全的同时, 最大限度地减少了钻井液对储层的污染。



4

科研装备

PCDS™ 精细控压钻井系统研发环境高端，设备条件先进，2008 年国家钻井工程实验室落户中国石油钻井工程技术研究院。其下设的控压钻井实验室是国内唯一能够进行控压钻井各种工况全尺寸模拟实验和设备测试的实验室，能够对现场各种工况、工艺进行模拟实验，可以进行单元测试、整机性能测试与评价。

拥有多功能试验机、岩石三轴试验仪、UBDMI 欠平衡 / 气体钻井多功能评价仪、高温高压稠化仪、液相色谱仪、拉伸试验机等各类大型钻井科研实验仪器设备 300 余台套，新度系数达到 0.8，具备较强的科研实验能力。



控压钻井全尺寸模拟实验室



控压钻井实验室



控压钻井实验室



岩石力学实验室



欠平衡钻井实验室



TerraTek 4010 型岩石三轴实验机

5 资质标准

资质

通过了 ISO9001 质量体系认证，持续获 ISO9001 质量管理体系认证证书，并获得塔里木油田公司一级市场准入证，具备从事石油天然气钻井工程技术研究及产品提供的技术服务资格。



标准

PCDS™ 精细控压钻井系统执行 API 钻井标准，并编制企业标准 3 项、行业标准 1 项。

专利

中国石油 PCDS™ 精细控压钻井系统拥有国家专利 20 项，其中发明专利 7 项。



专 利 情 况

序号	专利名称	申请号或批准号	备注
1	一种组合式多级压力控制方法与装置	专利号：ZL201010236362.2	发明专利
2	用于控压钻井实验与测试的井下工况模拟方法	专利号：ZL201010139484.X	发明专利
3	自动检测报警高压密闭过滤器严重堵塞的方法与装置	专利号：ZL201110418999.8	发明专利
4	一种全井段环空压力测量方法、装置及控制方法、装置	专利号：ZL201010570374.9	发明专利
5	一种利用流量监控实现井底压力控制的钻井装备与方法	申请号：201210226318.2	发明专利
6	一种适应大流量变化的单节流通道控压钻井方法与装备	申请号：201310114422.7	发明专利
7	精细控压钻井技术解决井壁稳定的方法	申请号：201310114285.7	发明专利
8	一种用于控压钻井的压力补偿装置	专利号：ZL200920277598.3	实用新型
9	用于控压钻井的新型节流管汇	专利号：ZL200920246846.8	实用新型
10	利用 FF 现场总线实现控压钻井的装置	专利号：ZL201020144452.4	实用新型
11	一种钻井环空压力精细控制系统	专利号：ZL201020108986.1	实用新型
12	用于控压钻井实验与测试的井下工况模拟装置	专利号：ZL201020149177.5	实用新型
13	一种组合式多级压力控制装置	专利号：ZL201020269954.X	实用新型
14	手动自动为一体的节流控制装置	专利号：ZL201020270433.6	实用新型
15	一种具有双级节流功能的控压钻井节流装置	专利号：ZL201020270446.3	实用新型
16	自动检测报警高压密闭过滤器严重堵塞的装置	专利号：ZL201120523962.7	实用新型
17	一种用于控压钻井的回压泵系统出口装置	专利号：ZL201220226805.4	实用新型
18	一种利用流量监控实现井底压力控制的钻井装备	专利号：ZL201220316400.X	实用新型
19	一种适应大流量变化的单节流通道控压钻井装置	专利号：ZL201320163014.6	实用新型
20	一种精细控压钻井稳定井壁的装置	专利号：ZL201320162860.6	实用新型

国家重点新产品证书



6

专家团队



石 林

高级技术专家，教授级高级工程师。曾主持研究了多项国家 863 项目和集团公司重大攻关项目。获国家科技进步二等奖 1 项，省部级科技进步奖 8 项。主要负责 PCDS™ 精细控压钻井系统总体设计。

电话：010-52781750

Email：shilindri@cnpc.com.cn



周英操

高级技术专家，博士生导师，教授级高级工程师。长期从事钻井科研与技术管理工作，先后主持或主研完成了 18 项科研成果，其中获国家发明三等奖 1 项、国家科技进步二等奖 1 项、省部级科技进步奖 7 项，获专利 15 项。负责 PCDS™ 精细控压钻井系统总体方案及总体技术审查。

电话：010-52781820

Email：zhouyingcaodri@cnpc.com.cn



方世良

钻井技术专家，高级工程师，长期从事钻井科研与技术管理工作，主要研究方向是控压钻井新技术。获集团公司科技进步奖 2 项，获专利 10 余项。负责 PCDS™ 精细控压钻井系统环空压力模拟和控制技术总体方案设计。

电话：010-52781859

Email：fslldri@cnpc.com.cn

**王 瑛**

钻井技术专家，高级工程师，长期从事钻井科研与管理工作，主要研究方向是控压钻井新技术。获专利 10 余项。主要负责 PCDS™ 精细控压钻井系统改进完善及现场推广试验。

电话：010-52781735

Email：wangyingdri@cnpc.com.cn

**刘 伟**

高级工程师，从事控压钻井装备与技术研究工作，作为技术骨干参加国家项目 2 项，部级项目 4 项，获省部级科技进步奖 2 项。负责精细控压钻井系统负责样机试制和现场试验。

电话：010-52781746

Email：liuweidri@cnpc.com.cn

**罗良波**

高级工程师，从事钻井科研与应用工作，研究方向是控压钻井新技术。获集团公司科技进步奖 2 项。负责精细控压钻井系统环空压力模拟及控制技术的工艺方案与现场试验。

电话：010-52781743

Email：luoliangbodri@cnpc.com.cn

7

培训服务

拥有专业化的培训服务团队和完善的软硬件培训设施。专有的控压钻井全尺寸模拟实验系统，仿真实际钻井工况，用于控压钻井工程师及操作人员的培训，贴近实际环境，直观易懂。针对不同层次客户需求，制定针对性的培训计划，实现在室内及作业现场等环境下的培训服务，内容涵盖控压钻井机械、自动化控制、液压、水力学计算软件及控压钻井工艺技术等各方面。



控压钻井试验模拟与培训中心



控压钻井模拟培训环境

培训后进行专业知识考核，全方位测试培训人员相关技能。培训内容生动多样，有装备现场的讲解、操作现场的示范、模拟系统的演示等，便于学员理解和掌握。

建立了完善的控压钻井现场技术服务与产品售后服务体系，组建了三支现场经验丰富、专业配置齐全的精微控压钻井技术现场服务队伍，拥有集机、电、液知识于一体的专业技术人员，全天候待命服务。可提供现场及远程技术支持和诊断，及时有效解决产品问题，为海内外客户提供优质控压钻井技术支持与服务。





联系人：刁顺 先生
电 话：86-10-5998-6059
Email: sdiao@cnpc.com.cn

Contact: Mr. Diao Shun
Tel: 86-10-5998-6059
Email: sdiao@cnpc.com.cn



