



自动垂直钻井系统

2013 年



中国石油天然气集团公司 科技管理部

中国石油 AVDS 技术——不偏不倚，正中中的！



目 录

1 简介	3
2 特色技术	5
3 典型案例	8
4 科研装备	10
5 资质与标准	11
6 专家团队	12





中国石油

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2012年国内生产原油1.1亿吨，生产天然气798.6亿立方米，加工原油1.91亿吨，全年实现营业收入2.69亿元，实现利润1391亿元。

2012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4位，在《财富》杂志全球500家大公司排名中位居第6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。

自动垂直钻井系统（AVDS）就是中国石油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

中国石油紧盯世界石油钻井工程技术难题，历时七年，成功研发出具有自主知识产权的“自动垂直钻井系统”，打造了新一代高端钻井利器。

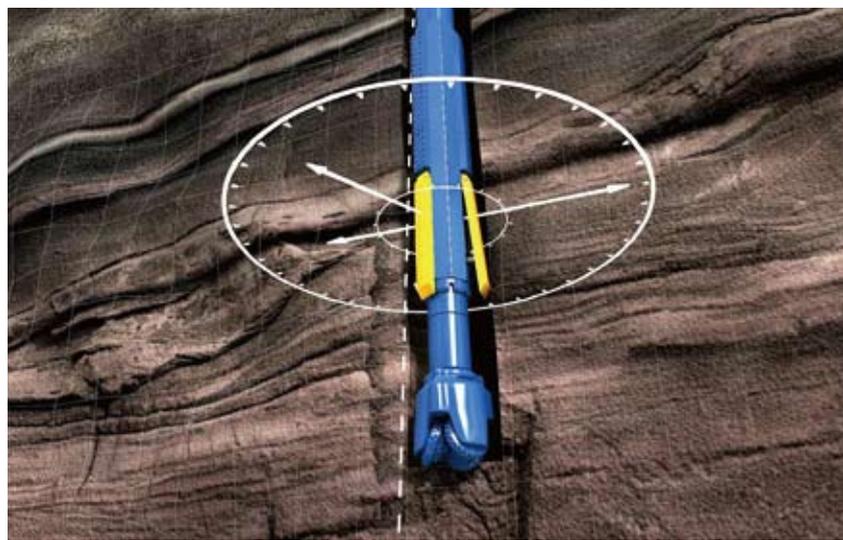
系统由电源子系统、测量控制子系统、液压执行子系统三大部分组成。采用模块化设计，性能稳定可靠，操作维护简便。具有井下闭环自动控制、矢量控制纠斜力、泥浆涡轮发电、电能无接触传输等特点。

自动垂直钻井系统的成功研发为解决山前高陡构造、大倾角地层、逆掩推覆体地层等易斜井段钻井技术难题，有效地解放钻压、提高钻井速度，提供了经济、高效的技术手段。

自动垂直钻井系统在实际钻井过程中，涡轮发电机通过非接触式旋转变压系统为测控系统提供电源，当井眼发生偏斜时，井下测控系统经过分析判断，然后向执行系统发出命令，使相应的柱塞导向块在驱动泵的作用下沿井眼高边方向伸出，这样在井壁反方向力的作用下，钻头将产生一个横向的纠斜力，使工具沿纠斜方向钻进，从而使井眼回到垂直轨道上来。当井眼回到垂直轨道上后，井下测控系统经过分析判断，再向执行系统发出指令，驱动泵停止



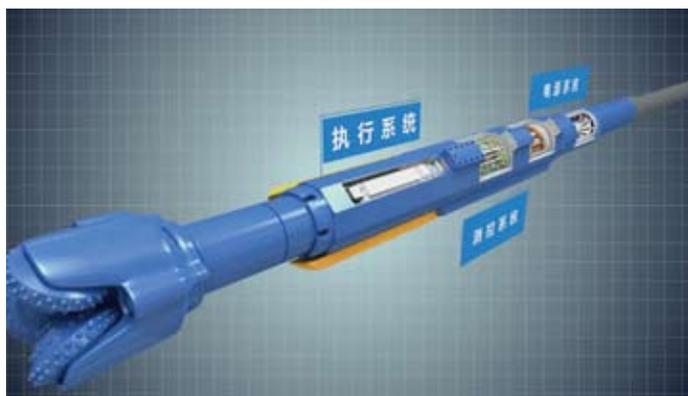
自动垂直钻井系统



自动垂直钻井系统原理

工作，纠斜力消失，保持钻头垂直钻进。在井下形成一种自动闭环控制，不仅提高了井眼轨道的控制精度，还节约了调整钻具所用的时间，达到了防斜打快的目的。

自动垂直钻井系统开展集机电液一体化的井下闭环钻井，其技术框架可分为三个部分：电源系统、测控系统、执行系统。



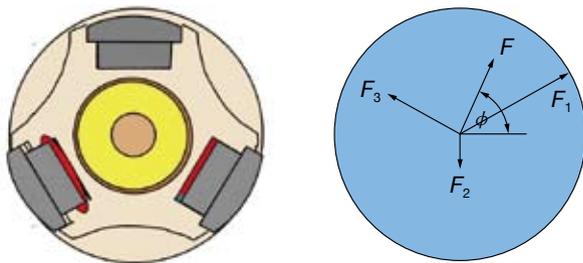
垂直钻井三大系统

2

特色技术

2.1 技术特点和优势

- (1) 机电液集合技术；
- (2) 连续测量偏离垂直方向偏斜；
- (3) 涡轮自主发电；
- (4) 井下闭环自动导向控制；
- (5) 可随钻监测井斜。



垂直钻井柱塞受力示意图

2.2 应用范围

自动垂直钻井系统主要应用在高陡地层、大倾角地层、山前逆掩推覆体地层等的防斜纠斜，可极大解放钻压，提高钻速，节约钻井成本。

$\Phi 311\text{mm}$ ($12\frac{1}{4}\text{in}$) / $\Phi 333\text{mm}$ ($13\frac{1}{8}\text{in}$) 自动垂直钻井系统

技术指标			
井眼尺寸	$\Phi 311\text{mm}/\Phi 333\text{mm}$	测向力	17.6 ~ 20.1kN
工具外径	$\Phi 308\text{mm}/\Phi 330\text{mm}$	最大抗拉强度	2100kN
工具内径	$\Phi 72\text{mm}$	最大抗扭强度	41000N·m
工具长度	5m	井斜控制范围	$< 1^\circ$
最大工作外径	$\Phi 335\text{mm}/\Phi 357\text{mm}$	井斜控制精度	0.1°
最大工作温度	125°C	最大工作压力	105MPa
最大全角变化率	$2^\circ / 30\text{m}$	纵向振动要求	$< 20\text{g}$
钻井液排量要求	40 ~ 70L/s	横向振动要求	$< 5\text{g}$

$\Phi 406\text{mm}$ (16in) / $\Phi 445\text{mm}$ ($17\frac{1}{2}\text{in}$) 自动垂直钻井系统

技术指标			
井眼尺寸	$\Phi 406\text{mm}/\Phi 444\text{mm}$	测向力	19 ~ 20.1kN
工具外径	$\Phi 404\text{mm}/\Phi 442\text{mm}$	最大抗拉强度	4000kN
工具内径	$\Phi 75\text{mm}$	最大抗扭强度	63000N·m
工具长度	5m	井斜控制范围	$< 1^\circ$
最大工作外径	$\Phi 438\text{mm}/\Phi 476\text{mm}$	井斜控制精度	0.1°
最大工作温度	125°C	最大工作压力	105MPa
最大全角变化率	$2^\circ / 30\text{m}$	纵向振动要求	$< 20\text{g}$
钻井液排量要求	40 ~ 70L/s	横向振动要求	$< 5\text{g}$



室内试验

2.3 电源系统

电源系统由泥浆涡轮发电机、镇流逆变短节、旋转非接触式功率传输系统组成，通过钻井泵送泥浆驱动发电机产生的电能经过整流、滤波后，再通过非接触式旋转功率传输系统传递给自动垂直钻井系统其他部分。可为整个系统提供持续、稳定的电源支持。

2.4 测控系统

测控系统位于导向套的上端，主要包括井



山前构造

斜角测量传感器和控制电路，控制电路既包括数字电路又包括模拟电路，既有控制信号又有驱动信号，主要可分为功率驱动电路、推力测量电路、人机界面接口电路。测控系统是自动垂直钻井系统的神经中枢，为执行系统发号指令。

自动垂直钻井系统工作时，井斜角测量传感器实时监测井斜角的变化，并将结果传递给控制电路，控制电路判断井斜角是否超标，当井斜角超标时，控制电路根据接收到的井斜角，计算出高边方向、推力大小、驱动功率等并将其指令发送到执行系统。

2.5 执行系统

执行系统布置于导向套的底端，是自动垂直钻井系统的终端，当井斜发生时它及时响应从测控系统传来的指令，将处于井眼高边的导向块伸出顶向井壁，从而在近钻头处产生一个

横向的纠斜力，当井斜消失时，它又及时响应测控系统发出的指令，导向块停止工作，纠斜力消失。执行系统采用机电液一体化模块设计，主要由三台直流电动机以及其对应的油泵、液压系统、柱塞导向块以及护板组成。



钻井现场

3

典型案例

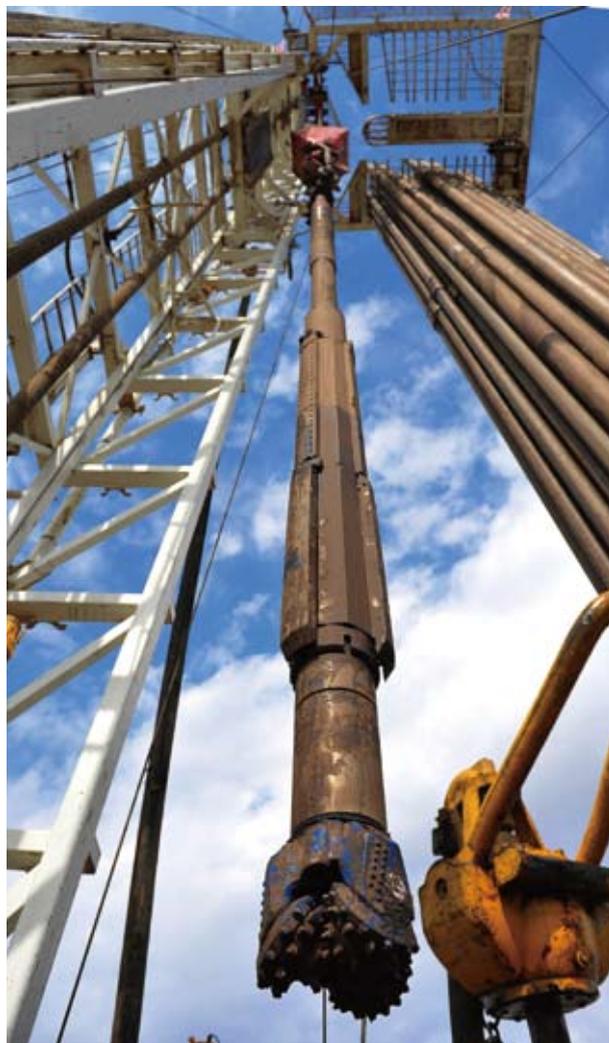
自动垂直钻井系统在新疆油田进行了6口井的现场试验和应用，累计进尺3489.14m，纯钻时间1225.19h，平均机械钻速提高2~3倍，井斜控制在0.5°以内。实现了钻进中对井斜的连续控制，其适应性、稳定性及井斜控制精度等方面已达到国际先进水平。

(1) 2012年5月， $\Phi 444.5\text{mm}$ 自动垂直钻井系统在呼图壁储气库项目HUK22井二开井段进行了现场试验。

钻具组合：

$\Phi 444.5\text{mm}$ PDC钻头 + $\Phi 445\text{mm}$ 垂直钻井工具 + $\Phi 228.6\text{mm}$ 短钻铤 + $\Phi 228.6\text{mm}$ 无磁短钻铤 + $\Phi 444\text{mm}$ 稳定器 + $\Phi 228.6\text{mm}$ 钻铤 × 6根 + $\Phi 203.2\text{mm}$ 钻铤 × 7根 + $\Phi 203.2\text{mm}$ 随钻震击器 + $\Phi 203.2\text{mm}$ 钻铤 × 2根 + $\Phi 139.7\text{mm}$ 钻杆。

自动垂直钻井系统工作井段1106~1910m，进尺804m，纯钻60.52h，井斜全部控制在 0.5° 内。使用钻井参数：钻压：80~120kN，转速：90r/min，排量：60L/s，密度：1.25~1.30g/cm³，泵压：15~18MPa，扭矩：10~20kN·m，黏度：45~55s。



自动垂直钻井现场应用

平均机械钻速达 13.28m/h，邻井同井段同类型 PDC 钻头施加钻压一般为 60kN，与之相比平均机械钻速提高了 1 倍以上。试验结果表明该系统结构设计合理，可实现钻进中对井斜的连续控制，其适应性、稳定性及井斜控制精度等方面已达到工业应用水平。

(2) 2013 年 1 月， $\Phi 311\text{mm}$ 垂直钻井系统在玉门油田鸭 K1-7 井进行了现场试验。



垂直钻井现场试验

钻具组合：

$\Phi 311\text{mm}$ 钻头 + $\Phi 311\text{mm}$ 垂直钻井工具 + $\Phi 203\text{mm}$ 井斜监测系统 + $\Phi 311\text{mm}$ 稳定器 + $\Phi 229\text{mm}$ 钻铤 (3 根) + $\Phi 203\text{mm}$ 钻铤 (8 根) + $\Phi 177.8\text{mm}$ 钻铤 (3 根) + $\Phi 127\text{mm}$ 钻杆。

垂钻工具入井井段 630m 至 701m，总进尺 71m，钻压 80 ~ 160kN，平均机械钻速 7.04m/h，最高机械钻速 9.66m/h，相比常规钻具组合平均机械钻速提高 2.35 倍，井斜由 2.1° 降至 0.2° ，应用效果显著。



垂直钻井在火北 2 井试验

4

科研装备

拥有多功能试验机、三轴无磁转台、垂钻综合测试系统、钻井流体分析化验仪器、拧扣拉伸机等各类钻井科研试验仪器设备 160 余台套，新度系数 0.8。



多功能井口试验机



垂直钻井室内试验



拧扣拉伸机

5

资质与标准

1999 年通过 ISO9001 体系认证，2002 年通过 HSE/OSH 体系认证，2011 年 11 月通过 API Q1 管理体系认证审核。



2012HSE 体系认证



2012HSE 体系认证



2012OHS



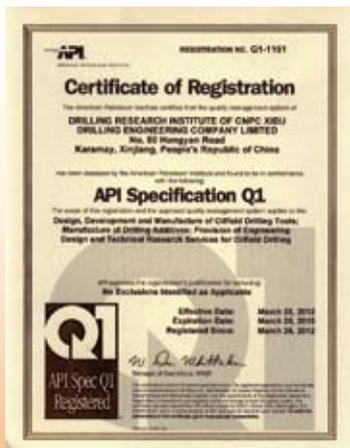
2012OHS



2012QMS



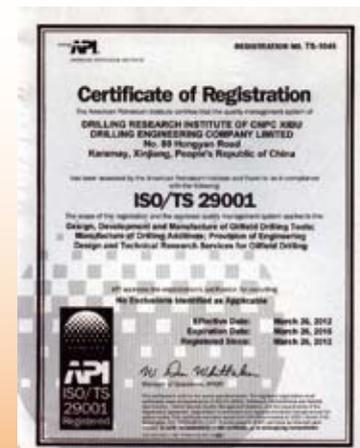
2012QMS



API Q1 证书



ISO 90012008 证书



ISO-TS29001 证书

6

专家团队



许树谦 高级钻井技术专家，从事油井固井水泥及配套外加剂的研究与应用、固井完井工艺技术、定向井水平井钻井工艺技术和欠平衡钻井工艺技术。曾多次主持完成 100 万吨级新油田钻井工程方案。获省部级以上科技成果 18 项。
电话：0991-7613296
Email：xushq2006@cnpc.com.cn



陈若铭 高级钻井技术专家，承担多项国家、集团公司项目，长期主持技术创新、新技术推广等工作。从事复杂深井钻完井工艺、定向井水平井、分支井及欠平衡钻井等相关专业。获省部级科技成果 10 项。
电话：0991-6523570
Email：chenrm@cnpc.com.cn



宋朝晖 高级钻井技术专家，从事定向井、水平井、分支井及欠平衡钻井等相关专业。承担多项科研和新技术推广课题。获省部级科技成果 6 项。
电话：0990-6881110
Email：songzh@cnpc.com.cn



张兴国 高级钻井技术专家，从事固井水泥浆及外加剂的研究。组织承担多项国家、集团公司攻关项目的研究工作。获省部级科技成果 2 项。
电话：0990-6882556
Email：zhangxg2007@cnpc.com.cn



艾才云 高级技术专家，从事钻井工具的研发、钻井装备和欠平衡钻井工艺。曾多次主持空气钻井设备的引进，负责组织几十口欠平衡井的现场施工，主持自动垂直钻井工具的研发。获省部级科技成果 2 项。
联系电话：0990-6883611
Email：aicy@cnpc.com.cn



王 新 高级钻井技术专家，从事定向井水平井工艺技术。组织并承担许多口深井复杂井特殊井的设计工作。获省部级科技成果 2 项。
电话：0990-6883835
Email：wangx2006@cnpc.com.cn



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



