

# 中国陆相白垩纪科学钻探松科一井 (北井) 钻探工程技术配套

朱永宜, 王稳石(执笔)

**摘要:** 松科一井是中国政府“973计划”项目为获取陆相白垩系地质资料, 在中国松辽盆地布置的科学钻探工程, 由南井和北井两个子工程组成。北井采用水源钻探设备与地质岩心钻探工艺组合, 完成了井深1810m的钻探工作, 在要求连续取心的1630m井段中, 获取直径 $\Phi 96\text{mm}$ 的岩心1542m, 岩心采取率达95%。介绍了北井在钻探工程技术配套上取得的一系列技术成果。

**关键词:** 大陆科学钻探; 松科一井; 钻探技术配套

中图分类号: P634

文献标识码: A

文章编号: 1672-7428(2009)S1-0388-05

松科一井是中国政府重点基础发展研究计划(中国973计划)项目——“白垩系地球表层系统重大地质事件与温室气候变化”, 在中国东北部松辽盆地布置的环境科学钻探工程, 也是全球首例陆相白垩系科学钻探工程。松辽盆地是世界上最大的白垩纪湖盆之一, 发育有完整的白垩纪沉积, 在该区域实施科学钻探的主要目的, 是探究距今6千5百万年至1亿4千万年间的地球温室气候变化, 建立在全球范围内可对比的高分辨率的陆相白垩纪综合剖面。工程获取的钻孔资料, 将由中、美、德、加、日、奥等10多国科学家共同研究。

松科一井由南井与北井两个工程组成, 两井相距100余公里。北井设计完钻井深1810m, 于井深164.77~1792m内连续采取第三系泰康组至白垩系上统嫩江组二段的岩心; 南井设计完钻井深1915m, 接力北井完成嫩二段以深地层的岩心采取。两井均要求岩心直径不小于 $\Phi 90\text{mm}$ 、平均岩心采取率不低于90%。南井完井后可以转化为石油产井, 故采用配套的石油钻井装备与取心工具施工, 完钻井径 $\Phi 216\text{mm}$ 。北井所处区块无油气利用价值, 工程目的仅为采集地质资料, 则配置运行成本低廉的水源钻井装备, 应用地质岩心钻探工艺施工小口径钻井, 完钻井径 $\Phi 156\text{mm}$ 。本文仅介绍北

井的钻探技术配套。

## 1 工程设备与钻探管材——2000m水源钻探装备

### 1.1 钻机

TJS-2000水源钻机, 整机功率110kW, 配 $\Phi 89\text{mm}$ 钻杆钻深能力2000m。

### 1.2 泥浆泵

BW320型泥浆泵, 排量118~320L/min, 额定泵压6MPa, 功率30kW; BW1200型泥浆泵, 排量800L/min, 额定泵压4MPa, 功率90kW; 3NW-350型泥浆泵, 排量1200L/min, 额定泵压7MPa, 功率220kW。BW320用于砂层与极松软地层取心钻进。

### 1.3 钻杆

$\Phi 89\text{mm}$ 钻杆, 有细扣, 锁接头带扁槽。

### 1.4 优点

装备质量轻、体积小、功耗低, 占地面积小、运行与维护成本低; 提引器升降钻杆柱、钻机转盘拧卸扣, 操作简便、配套紧凑。

### 1.5 缺点

钻杆强度较低, 不似石油钻井可强力给进; 钻机转速较低, 硬岩钻进时钻速低; 钻塔提升高度有限, 提下钻辅助时间长。

### 1.6 平台高架

原钻机的钻井平台直接座于地面。为在井口安

收稿日期: 2009-08-30

**作者简介:** 朱永宜(1954-), 男(汉族), 安徽安庆人, 中国地质科学院勘探技术研究所教授级高工, 钻探工程专业, 从事钻探工程研究, 松科一井(主井)工程负责人, 河北省廊坊市市金光道77号, zyy@ccsd.cn; 王稳石(1982-), 男(汉族), 湖南益阳人, 中国地质科学院勘探技术研究所助理工程师, 勘查技术与工程专业, 从事钻探工程研究, wangwenshi05@163.com。

装防喷器, 自设计钢构架, 将平台高度提升 2.1m (图 1 与图 3)。完钻时构架承受了 200kN 的设备静载、400kN 悬重的钻柱提下钻动载以及 7 级以上的大风载荷, 未出现任何不安全迹象。



图 1 钻机与底架



图 2 泥浆泵房

## 2 取心钻进——岩心钻探工艺

### 2.1 钻具规格与结构

北井如用石油钻井标准的取心钻具, 采取近似

设计直径的岩心需钻  $\Phi 216\text{mm}$  直径的井眼, 如此不仅钻具、钻头与钻井液的费用将非常之高, 且需要更高排量、更大功率的泥浆泵。经专门设计, 钻具的技术参数确定为:

钻头外径:  $\Phi 156\text{mm}$ ;

普通双管钻具岩心直径:  $\Phi 96\text{mm}$ ;

保真钻具 (三层管) 岩心直径:  $\Phi 82\text{mm}$ ;

最大岩心容纳长度: 9m。

普通钻具结构如图 4 所示。保真钻具单动结构同此, 但钻头内径减小, 在内总成中加入透明 PC 衬管容纳心样。

### 2.2 流砂层隔液保真取样

井深 162 ~ 211m 地层是泰康组流砂层, 钻进时钻具内腔与流动的钻井液必须完全隔绝, 否则进入钻头的砂样将被部分或完全冲蚀掉。图 5 所示为隔水保真钻具结构示意。钻头与外管联接, 中间管上端与钻具单动机构联接, 下端插入钻头隔水槽中; 透明 PC 衬管座于中间管短接上。钻进时, 钻头伸出的外圈首先切入砂层封闭钻井液进入钻具内腔的通道, 钻井液从外管与中间管短接间经钻头卸压水槽流出。该钻具在砂层中钻进近 50m, 采样率达 82%。

### 2.3 粘软~中硬地层嵌块式合金钻头

本井在 245 ~ 950m 井段, 为长段软泥岩及其与酥松或较致密的泥岩、砂岩互层。本井所用钻头壁厚相对较大, 如用常规的结构形式, 不仅在软泥岩中易泥包糊钻, 在较致密的岩层中钻速低下, 还因地层软硬互层, 合金刀具抗崩耐磨性均较差需频繁更换钻头。本井钻头刚体价格昂贵, 如直接在刚体上更换刀具必致刚体寿命短暂增加成本。图 6a

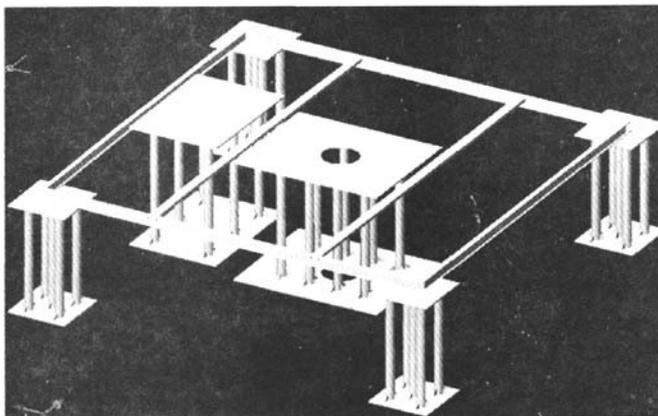
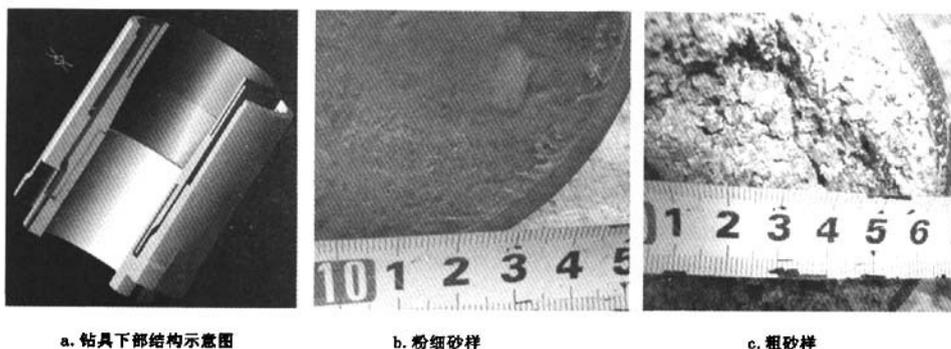


图 3 钻机底架效果设计



图4 普通取心钻具结构示意图



a. 钻具下部结构示意图

b. 粉细砂样

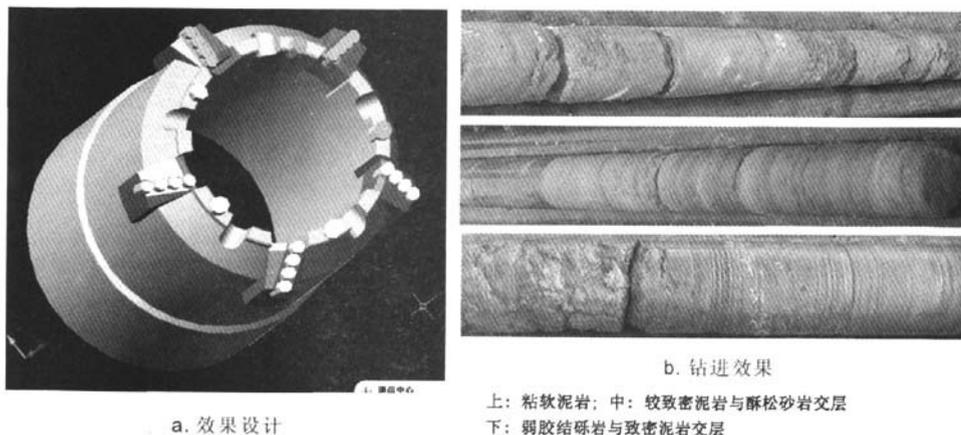
c. 粗砂样

图5 隔液保真钻具及其取样效果

所示的大排水、排屑空间的嵌块式钻头结构，不仅杜绝了软泥岩中的糊钻现象，且适应地层的软硬变化。在900余米进尺中，5只钻头刚体入井190回次、纯钻进近700h后仍可继续使用。钻头所钻的岩层及其取心效果如图6b所示。

#### 2.4 致密泥岩中螺杆钻复合回转钻进

井深1250m后进入黑色致密泥岩层，无论是合金钻头还是PDC钻头，钻压加到45kN、泵量开到950L/min，但钻速均只在0.2~0.3m/h，孕镶金刚石钻头的转盘单回转钻进，钻速也只在



a. 效果设计

b. 钻进效果

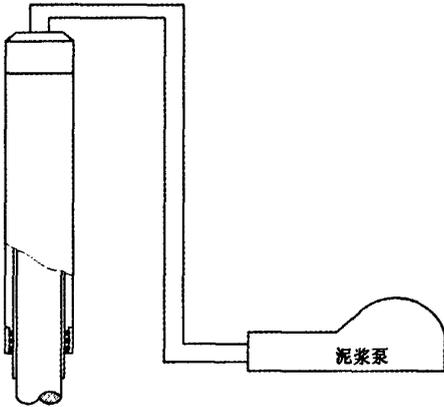
上：粘软泥岩；中：较致密泥岩与酥松砂岩交层  
下：弱胶结砾岩与致密泥岩交层

图6 嵌块式合金钻头及其钻进效果

0.5m/h 左右。孕镶钻头依赖高速回转磨削碎岩,但因设备和井内原因,作业时转盘最高转速只允许开至 90 r/min。为提高钻头转速,启用螺杆马达实施井底驱动,同时低速开动转盘(37 r/min)消除钻柱与井壁的静摩擦以求钻压均匀传递。这一措施的钻进效果由表 1 和表 2 可对比。

表 1 不同驱动方式钻进效果对比表

钻头	驱动方式	总进尺 /m	回 次数	回次进尺 /m	机械钻速 /(m·h <sup>-1</sup> )
人造金刚	转盘单回转	129.26	17	7.60	0.55
石孕镶	螺杆钻复合回转	262.44	35	7.95	0.81



a. 工作原理

## 2.5 水力出心装置

常规钻具的岩心需从内管中直接取出,对于大口径钻具,传统的出心方法不仅劳动强度大、出心时间长,还因管内堵卡、机械振动以及岩心自由下落等原因,造成塑性与酥性心样变形、脆性岩心伤害,地层的原始信息被人为破坏。研制的水力出心装置,出心时只要在钻具上接头联接送浆管,再封住内、外管下端环隙,利用水压将岩心整体推出内管,减去了传统出心方法的各个环节,真正做到了常规钻具的岩心无损出管。装置原理与现场工作情况如图 7 所示。



b. 现场出心

图 7 水力出心装置

表 2 不同钻进方法钻进效果对比表

分类	钻进方法	进尺 /m	岩心长 /m	回次数	纯钻时 /h	采取率 /%	回次进尺 /m	机械钻速 /(m·h <sup>-1</sup> )
钻具	保真(三层管)	61.51	50.11	69	49; 15	81.47	0.89	1.25
	常规	1568.90	1491.55	306	1576; 55	88.73	5.13	0.99
地层	砂层	46.67	38.30	58	28; 23	82.07	0.80	1.64
	岩层(含松软泥岩)	1583.74	1503.36	317	1597; 47	97.70	4.85	0.96
钻头	合金	1017.97	935.67	284	752; 16	91.92	3.58	1.35
	PDC	220.74	217.77	40	281; 58	98.65	5.52	0.78
	人造金刚石孕镶	391.70	388.22	50	561; 40	99.11	7.83	0.70
	其中:转盘单回转	129.26	131.24	17	235.55	101.53	7.60	0.55
	螺杆钻复合回转	262.44	256.98	33	325; 45	97.92	7.95	0.81
全井(164.77~1795.18m)		1630.41	1541.66	375	1626; 10	94.55	4.35	1.00

### 3 综合评述

#### (1) 取心钻进技术指标

#### (2) 待改进技术

① 在成岩地层中钻进, 还可加长钻具的岩心容纳度, 以提高回次进尺长度, 压缩提、下钻次数。

② 砂层取样钻具下部还需增加样品承托机构; 塑性到中硬以下地层中的卡簧配合参数还需进一步优化。

③ 致密泥岩中钻进, 天然表镶金刚石钻头成本太高, 且操作要求非常谨慎; 孕镶金刚石钻头也不是这类地层的最佳切削工具。本井曾试验尖齿 PDC 钻头钻进该层, 钻速较圆片 PDC 大大提高, 图 8 所示的井口返屑, 表明钻头产生了体积碎岩的效果。但尖齿 PDC 成型与钻头焊接工艺待提高。

#### (3) 两井技术经济比较

北井运用水源钻探设备与岩心钻探工艺, 历时 8 个工程月, 完钻井深 1811m, 取心进尺 1630m, 岩心采取率 95%; 南井使用石油钻井设备与工艺, 历时 3 个月, 完钻井深 1915m, 取心进尺 965m, 岩心采取率 98%。北井取心工作量大、取心难度大、钻遇地层复杂, 且存在 500 余米极致密的泥岩, 这些客观条件在一定程度上降低了北井的岩心



图 8 尖齿 PDC 碎岩效果

采取率与钻进效率。但由于北井采用了运行成本低廉的钻探技术, 工程总费用仅为北井的 1/3。故从全工程总体效果分析: ①两种方法的岩心采取率均满足科研工作要求; ②不容否认, 石油钻井装备钻进效率远高于水源钻探装备; ③同样不容否认, 石油钻井成本远大于水源钻探设备。

因此可得结论: 在工程进度满足科研进度的前提下, 选用组合钻探技术实施环境科学钻探工程, 是有效压缩科研费用的可行之路。

### (上接第 387 页)

验和应用, 单牙轮钻头的应用解决了该区多年以来的砂砾石层难以钻穿的“瓶颈”问题。

不同类型钻头钻进以燧石及石英砾岩为主, 砾径 > 110mm 的砂砾石层对比情况, 可以看出, 单牙轮钻头平均机械钻速是筒状钻头 15 倍; 是扫铁和无心钻头的 8 倍; 是肋骨钻头的 5 倍。

单牙轮钻头在勘探区的使用, 提高了钻探效率, 降低了生产成本, 促进了经济效益的增长。

#### 2.2 单牙轮钻头与其他类钻头应用效果比较

(1) 单牙轮钻头的优点主要在于提高了机械钻速, 缩短了钻井周期, 节约钻探成本, 每米成本只有 10~20 元。

(2) 单牙轮钻头与硬质合金钻头相比, 机械钻速成倍增加, 同时减少起下钻次数。同时可以防止孔斜。

(3) 单牙轮钻头与三牙轮钻头相比, 克服了三牙轮钻头轴承寿命短的缺点。单牙轮钻头的寿命是三牙轮钻头 3 倍以上。

(4) 单牙轮钻头对钻压的响应要比转速的响应更为敏感, 施加合理的钻压能够获得令人满意的机械钻速。

(5) 通过几年来我们在唐山勘探区的应用, 笔者认为, 单牙轮钻头是钻进新生界卵砾石层的首选钻头, 可以提高钻效, 降低成本。