

# 松科一井(主井)钻探工程技术配套

张秋冬<sup>1,2</sup>, 朱永宜<sup>3</sup>, 李旭东<sup>4</sup>, 毕建国<sup>2</sup>, 王稳石<sup>3</sup>(执笔)

(1. 中国地质大学(武汉)研究生院, 湖北 武汉 430074; 2. 河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质队, 河南 郑州 450053; 3. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 4. 江苏省地勘局地质六队, 江苏 东海 222300)

**摘要:**设计井深 1810 m、完钻井径 157 mm、需在松辽湖盆穿透一层含油气构造的松科一井(主井)科学钻探工程, 采取自制底架提升平台高度安装井口防喷设施、改造 TJS-2000E 型水井钻机升降系统提高设备起重能力、研制水力出心装置克服加长加重口径钻具出心困难、引进石油钻井高速离心除泥机控制泥浆固相含量、根据工程条件无附件焊接套管表层固井等配套技术, 成功地完成了国家“973 计划”项目“白垩纪地球表层系统重大地质事件与温室气候变化”对工程的规定任务, 为高质量、低成本实施大陆环境科学钻探工程探索出了一条可行之路。

**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(2008)12-0001-05

**Matching Technique for Drilling Engineering in Well - 1 of Songliao Scientific Drilling/ZHANG Qiu-dong<sup>1,2</sup>, ZHU Yong-yi<sup>3</sup>, LI Xu-dong<sup>4</sup>, BI Jian-guo<sup>2</sup>, WANG Wen-shi<sup>3</sup>** (1. China University of Geoscience, Wuhan Hubei 430074, China; 2. 2nd Hydrogeology and Engineering Geology Team under Henan Geology and Resources Survey Bureau, Zhengzhou Henan 450053, China; 3. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 4. 6th Geological Team under Jiangsu Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Donghai Jiangsu 222300, China)

**Abstract:** Well - 1 of Songliao scientific drilling was designed with depth of 1810 m and finishing drilling in diameter of 157 mm. In this engineering, blowout-preventing facilities were equipped at wellhead by raising platform with self-made under-carrier; lifting capacity was improved by reforming lifting system of TJS-2000E water well rig; coring difficulty was overcome by the development of hydraulic coring equipment; mud solid was controlled by introduced high-speed centrifugation deslimmer. Certain tasks in “major geological events in the earth surface system during the Cretaceous and greenhouse climate change” of “973 program” were performed and a feasible way was explored for continental environment scientific drilling with top quality and low cost.

**Key words:** continental scientific drilling; Well - 1 of Songliao scientific drilling; assembly drilling technique

设计井深 1810 m、取心进尺 1630 m、完钻井径 157 mm 的松科一井(主井), 以 TJS-2000E 型水井钻机与岩心钻探工艺为主, 成功完成了国家“973 计划”项目“白垩纪地球表层系统重大地质事件与温室气候变化”对工程的规定任务。本文将介绍工程项目部为低成本实施这一全球首口白垩纪大陆环境科学探井所做的钻探技术配套工作。

## 1 问题与对策

主井如投入石油钻井配套设备、采用石油钻井的井控、固井及取心工艺, 工程周期无疑可以大大缩短。但主井工程经费远远低于石油取心钻井的费

用, 如大庆油田承担的松科一井(南井)工程, 设计井深 1915 m, 完井井径 216 mm, 取心进尺 950 m, 完井井深略深于主井, 取心进尺不足主井 60%, 而工程经费则是主井的 3 倍。因此, 选择可钻进相当井深的水井钻机, 采用岩心钻探薄壁钻头取心技术, 是在满足科研进度前提下降低工程成本的惟一选择。由此产生了以下必须解决的基本问题:

(1) 井身需穿透松辽湖盆沉积的一层含油气构造, 为防钻进中发生井喷, 根据最小规格的井口防喷器安装尺寸, 钻井平台至少应高出地面 1.8 m。

(2) 2000、3000 m 水井钻机均可用于主井钻进。张家口探矿机械厂 3000 m 钻机配一层平台底架, 提

收稿日期: 2008-10-08

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目“白垩纪地球表层系统重大地质事件与温室气候变化”(编号: 2006CB01400)

作者简介: 张秋冬(1972-), 男(汉族), 河南新安人, 河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质队工程师, 中国地质大学(武汉)在读工程硕士生, 地质工程专业, 从事钻探工程技术与管理工作, 河南省郑州市南阳路 56 号; 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级工程师, 钻探工程专业, 从事钻探工程研究工作, 松科一井(主井)工程负责人, 河北省廊坊市金光道 77 号, zyy@ccsd.cn; 李旭东(1951-), 男(汉族), 江苏南京人, 江苏省地勘局地质六队, 从事钻探工程技术与管理工作, 松科一井(主井)钻井监督, 江苏省东海县。

升能力强,提升高度大,但能耗与运行成本较高,平台高度也显不足;2000 m 钻机运行成本相对低,但无平台底架,提升能力相对弱。

(3)为保证深部钻进的井内安全,提高回次进尺,减少提下钻辅助时间,钻具必须高强度、长钻程设计,大口径加重加长钻具出心劳动强度大,强塑性地层的岩心出管非常困难。

(4)钻机只配置 ZQJ-300×2 型旋流振动除砂器,该设备勉强可清除泥浆中粒度较大的钻屑,但无法控制取心钻进时地层中大量造浆组分与细粒度无用固相对泥浆的侵害。

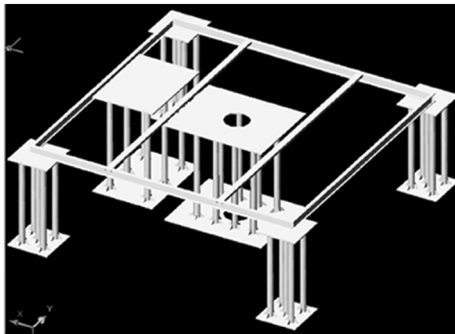
针对此,工程项目部制定了系列的技术配套对策:自制钢构架提升平台高度安装井口防喷设施;改造 TJS-2000E 型水井钻机升降系统,提高设备起重能力;研制水力出心装置,克服加长加重大口径钻具出心困难;引进石油钻井高速离心除泥机,控制泥浆固相含量;并在一开完钻后,根据井内条件采用无井内附件焊接管串固井方法,进一步降低工程成本。

## 2 钻机技术配套

### 2.1 平台基础钢构架

#### 2.1.1 构架研制

底架的效果设计与现场实物如图 1 所示。



(a) 效果设计



(b) 施工现场

图 1 平台构架

构架由钻塔构架与转盘支架、立根支架组成。

构架立柱选用  $\text{Ø}154 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  合金无缝钢管,上、下受力面分别选用厚度为 30 mm 与 25 mm 的优质钢板,立柱与钢板焊缝均用 4 块三角筋加强。

钻塔构架与基础:4 根立柱上平面分别为  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 、下平面分别为  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ ,上、下平面均用工字钢周向焊接成整体,并有无缝钢管斜撑。立柱坐于 4 个  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$  的 C25 素砼基础墩上,墩间有钢筋砼横梁联接。

转盘支架、钻杆支架与基础:转盘支架上平面  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 、下平面  $2.0 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$ ,上下面中心割  $\text{Ø}660 \text{ mm}$  圆孔;钻杆支架上、下平面均为  $1.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 。两支架独立摆放在深 1.5 m 的 C25 钢筋砼基础上。

#### 2.1.2 使用效果

第 372 回次提钻至 1450 m 时遇卡,净拉 250 kN 并持压 1 h;1810 m 完钻时承受 200 kN 设备静载、400 kN 悬重的钻柱提下钻动载以及塞外 7 级以上的大风载荷,构架未发现任何不安全迹象。

平台加高不仅储备了防喷器的安装位置,解除了井喷隐患,还发挥了以下方面的作用:(1)有利于紧急情况下平台与各岗位的相互沟通;(2)便于布置、更改泥浆槽,安装录井监控设备;(3)井场整洁,便于整理,体现文明施工。

### 2.2 钻机升降系统改造

TJS-2000E 型钻机为石家庄煤矿机械厂生产的轻型 2000 m 水井钻机,设计提升能力为  $\text{Ø}89 \text{ mm}$  钻杆 1350 m, $\text{Ø}73 \text{ mm}$  钻杆 2000 m,慢速单绳起重力 80 kN。施工单位因装备条件限制只能配  $\text{Ø}89 \text{ mm}$  钻杆,因此用该钻机施工主井需对升降系统进行改造。

更换天车与游动滑车,将大绳由原厂的 6 股变成 8 股,则钻机的最大提升力由设计的 480 kN 提高到 640 kN, $\text{Ø}89 \text{ mm}$  钻杆理论钻深可增加到 1850 m。实际施工中,按不同井深的大钩负重对大绳排布进行分挡,以求在不同井段获得经济的提升速度:600 m 以浅用 4 股绳,600~1200 m 间用 6 股绳,1200 m 以深用 8 股绳。同时,将刹车系统由原厂的单联水刹车替换成双联水刹车,提高深井下钻的制动能力,并在井深 1500 m 后定时更换刹车轴,防止断轴造成刹车失控。

改造的系统不仅完成了主井施工,且在河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质队承担的广东某盐矿建井工程中,完成 2 对 2000 m 水平对接井的施工。但系统也存在深井段提升辅助时间过

长的问题,今后用该钻机施工此类深井工程,还应组合部分  $\varnothing 73$  mm 钻杆,以降低钻柱总悬重。

### 3 水压出心装置

传统的钻具出心方法,是卸开内管倒悬,或卸开扩孔器与卡簧座正悬敲击出心。本井钻具外管用  $\varnothing 139.7$  mm  $\times 9.17$  mm 石油管材,内管用  $\varnothing 108$  mm  $\times 5$  mm 地质管材,容纳岩心长度 9.5 m,钻具总长近 11 m,总质量达 500 kg。若用传统方法出心,不仅劳动强度大、出心时间长、占用井口时间多、操作过程不安全,还因管内堵卡、机械振动以及岩心自由下落失控等原因,造成塑性与酥性心样破碎变形、脆性岩心伤害,使地层的原始信息被人为破坏。

所研制的水压出心装置,出心时钻具平放,卸开扩孔器后装上前封堵封住内、外管前端环隙,上接头联接送浆管,使钻具形成一个半密闭的循环系统。开泵后,泥浆或清水(在岩心胶结性好时使用)充满容腔,泵压上升到一定值时,水压即将岩心整体均匀地推出内管。该出心装置与传统出心方法相比具有以下优点:(1)真正做到了岩心的无损出管;(2)操作过程的安全度提高,劳动强度降低;(3)出心速度大大加快,同时因无平台上的操作程序而节省了大量井口时间。图 2 是该装置的原理示意图,图 3 为该装置的现场工作情况,图 4 为水压退心与传统退心方法对塑性与酥性岩心的出心效果对比。

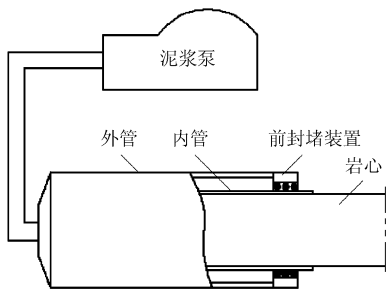


图 2 水压出心装置出心原理示意图



图 3 工作现场



(a) 传统方法敲出的塑性岩心



(b) 水压方法退出的塑性岩心

图 4 水压出心装置与工作效果

### 4 高速离心除泥机的应用<sup>[2,3]</sup>

二开钻遇地层主要为泥岩和砂岩,其中嫩江组一段及其以上的泥岩为强造浆地层。被地层中大量造浆组分侵入的泥浆,粘度与切力迅速上升,流动性变差、悬浮力增强,不仅导致钻头泥包、钻速下降,且因泥浆中细颗粒无用固相不能沉淀,使泥皮酥松增厚,失水量大幅度上升(最大时超过 20 mL),严重影响井内安全。

现场一度采用替浆稀释的方法控制泥浆粘度与切力,即每次抽出 10 ~ 20 m<sup>3</sup> 稠浆,再加入同体积的无固相胶液,通过 1 ~ 2 个回次的循环,泥浆可维持 10 ~ 12 个回次的稳定,表 1 反映了井深 500 ~ 600 m 间一次替浆 20 m<sup>3</sup> 前、后的泥浆技术参数与日进尺量变化。但替浆要占用大量的作业时间,替浆后一段时间泥浆性能也不稳定。稀浆对井壁泥皮有较强的稀释作用,易产生缩径、坍塌与掉快,留下井内安全隐患。且井筒容积随井深增加,一般量替浆所能维持的钻进时间越来越短。因此深井段不能依赖替浆方法调控泥浆性能。

表 1 替浆前、后钻进效率对比

日期	井深/m	日进尺/m	粘度/s	初切力/Pa	终切力/Pa	说明
4.29	491.33	11.16	54.00	7	27	
4.30	514.71	23.38	67.00	9	26	
5.01	519.60	4.89	48.00	7	13.5	替浆
5.02	531.61	12.01	21.48	1.25	5.5	
5.03	550.58	18.97	20.91	1.5	6	
5.04	581.10	30.52	20.70	2	5.75	
5.05	605.12	24.02	20.70	2.25	6.75	
5.06	625.30	20.18	21.90	3.5	8	
5.07	638.55	13.25	23.90	5	10	
5.08	656.10	17.55	28.60	4.75	10	

注:粘度值为苏氏漏斗读数。

针对上述问题,我们向大庆油田租赁了石油钻井用高速离心除泥机,组成“振动除砂器 + 离心机 + 30 m 循环槽 + 沉淀池 + 送浆池”的循环系统(见图 5),彻底解决了泥浆定期降粘、降切、清除无用固

相的问题。图 6 给出了离心机除泥的直观效果,表 2 反映了离心机处理前、后的泥浆性能指标。施工时泥浆粘度达到 40 s 即开动离心机,开动时间根据离心机单位时间处理能力与泥浆总体积决定,井深 1200 m 后一般每次开动 45 ~ 60 min。

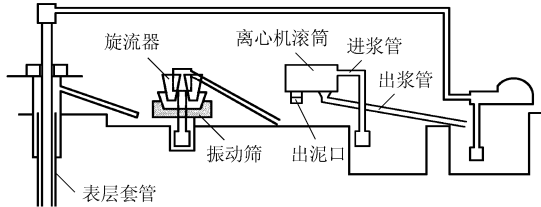


图 5 循环与固控系统示意图



图 6 离心机除泥的直观效果<sup>[2]</sup>

表 2 离心机处理前、后的泥浆性能

时间	密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	视粘度 /s	初切力 /Pa	终切力 /Pa	泥饼厚度 /mm	失水量 /mL
处理前	1.14	56.0	1	9	1.0	6.8
处理后	1.12	22.4	1	6	0.5	6.8

离心机工作时,泥浆中的部分处理剂与加重剂也随固相颗粒被甩出,使泥浆的失水、切力、密度等指标有所下降。因此处理后的泥浆,还需及时补充降滤失剂 DFD、提粘剂大分子量 CMC 与加重剂重晶石粉(防止发生井喷)予以维护。

## 5 无井内附件焊接管串表层固井

### 5.1 工程条件分析

一开完钻井深 245 m,井径由 157 mm 扩至 311 mm 后下  $\varnothing 244.5$  mm 表层套管,管柱在空气中悬重 128 kN。水泥浆密度 1.90 kg/L,注浆毕管内替清水至 220 m,则管线最大循环压力 4 MPa,管内、外静水压力差最大约 2 MPa。

油井固井中,为延长井筒寿命、保证固井质量,要求管串底部带浮鞋引导并起减轻管柱浮重、防水泥浆回流作用,在管内预留水泥塞位置带浮箍防水泥浆回流并起碰压指示作用(浮鞋与浮箍通称为管串井内附件)。为保证管串抗拉脱、抗滑扣、抗挤

压、抗泄漏等,对套管的联接螺纹与上扣扭矩也有严格规定<sup>[4]</sup>。但本井工程目的仅为获取地质资料,完钻后并筒即废弃,表层固井的目的只是护住明水组松散砂层,防止后续钻进时套管松脱或下行,因此对固井质量并无严格要求。根据工程条件分析,一开完钻深度小,管柱总重与管内、外压力差均不大。因此可以通过非常规措施达到固井目的。“973”项目部对此明确答复,只要能保证后续钻进安全,工程项目部可以自行决定应采取的工程措施。

### 5.2 固井工艺

#### 5.2.1 管线程序

管线自下而上的连接程序如下。

**管鞋:**  $\varnothing 244.5$  mm 短管,串接。一端割成锯齿形,烧红后向内敲击齿尖,使内径收拢至 210 mm,起引导管串顺利下行的作用。

**焊接管串:**一般材质光管,串接。两端打磨出焊接斜坡,端部直焊 4 根长 20 mm 的  $\varnothing 25$  mm 螺纹钢,对被联接管体轴向定位(图 7a)。

**弹性扶正器:**标准件,并接,每 3 根套管置放 1 个。扶正器的轴向定位,依赖于管体上周向焊接的  $\varnothing 25$  mm 螺纹钢。

**水泥头:**标准件,串接。向井内连续注入隔离液、水泥浆液与替浆液的转换接头。

**计量仪:**显示水泥浆液的密度、注入量与注入时间,并接。

**设备:**灰罐车 5 辆、泵车、替浆车、仪器车各 1 辆(图 7b)。



(a) 管体井口焊接



(b) 固井设备群

图 7 固井施工现场

### 5.2.2 固井程序

井口管线 10 MPa 试压(5 min),注隔离液(3.5 m<sup>3</sup>清水,2 MPa,3 min),送下胶塞,注水泥浆(20 m<sup>3</sup>,1 MPa,12 min 后井口返浆),送上胶塞,注替浆(9 m<sup>3</sup>清水,5 MPa,6 min),井口憋压(2 MPa,24 h)。

### 5.2.3 井口憋压

由于未下浮箍、浮鞋,停灰替浆后,为克服管口内、外因管内、外浆液的不同密度形成的 2 MPa 压差,采用图 8 所示方法井口憋压 24 h,水泥固结后自平台上割除高出的套管。

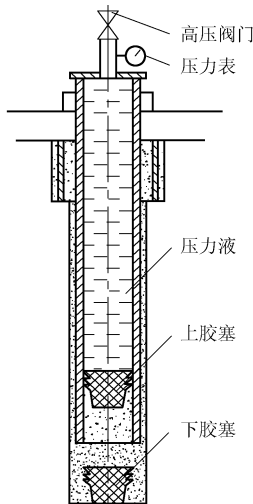


图 8 井口憋压示意图

### 5.3 技术效果

(1) 根据具体工程条件采取的无井内附件焊接

管串固井方法,有足够的管串抗拉强度和焊缝耐压强度,管串顺利下放到井底,固毕井口 24 h 憋压 2 MPa 无泄漏现象。48 h 后在管内 210 m 深探到水泥结石(共下管 245 m),后续施工 180 余天中套管未出现任何问题。

(2) 不下管串井内附件,不仅节约了固井成本,且减小了透孔难度,缩短了透孔时间。

(3) 较成品套管螺纹接箍联接成串,光管焊接成串的管材成本降低了 10% 以上。

## 6 结语

主井的工程目的是为地学研究获取地质资料,因此其时间效益不似一般的生产性工程突出。在满足地学研究进度的前提下,以低成本的“水井钻探装备 + 薄壁钻头岩心钻探工艺 + 技术配套”组合进行主井施工,经济可行、技术有效、成果可靠。主井的工程实施,为大口径环境科学钻探工程的设计、预算与施工,提供了可借鉴的实践依据。

### 参考文献:

- [1] 朱永宜,王稳石. 中国白垩纪科学钻探松科一井(主井)钻探工程概要[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(3).
- [2] 蔡记华,乌效鸣,朱永宜,等. 松科 1 井北孔防塌钻井液技术[J]. 石油钻探技术,2008,36(5).
- [3] 朱永宜,王稳石. 松科一井(主井)取心钻进工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(9).
- [4] 丁宝刚. 固井技术基础[M]. 北京:石油工业出版社,2006.

## “汶川地震断裂带科学钻探技术研讨会”在成都召开

中国地质调查局网站 2008-12-12 消息 2008 年 11 月 29 日~12 月 1 日,汶川地震科学钻探工程中心组织有关钻探专家在成都召开了“汶川地震断裂带科学钻探技术研讨会”。中国地质调查局副局长、汶川地震科学钻探工程中心主任王学龙介绍了“汶川地震断裂带科学钻探”项目的立项情况及意义。中国地质调查局科技外事处新技术处处长、汶川地震科学钻探工程中心总工程师张伟介绍了“科学钻探和科学测井课题设计”的基本情况。中国地质科学院勘探技术研究所张金昌副所长介绍了“2000 m 钻孔施工设计方案”。中国地质调查局王达教授级高级工程师介绍了“地壳探测工程 2000~4000 m 科学钻孔和 12000~15000 m 超深科学钻孔的总体施工方案”。四川省地质矿产勘查开发局四〇三地质

队项目经理刘祥汇报了 WFSD-1 孔钻探施工情况。

针对汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)的目前施工情况,与会专家就 WFSD-1 钻孔的钻孔结构、孔壁稳定、钻进效率、防斜、岩心采取、钻孔涌水、护壁堵漏、泥浆体系等进行了充分的讨论,提出了很多很好的意见和建议。

11 月 29 日,全体会议代表前往都江堰市虹口乡参观考察了汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)施工现场。12 月 1 日,与会代表前往德阳孝泉镇参观考察了川科一井(国产 12000 m 石油钻机)的施工现场。

国内主要从事钻探技术研究、生产和管理的专家 31 人出席会议,中国地质调查局基础部主任庄育勋、科技外事部副主任卢民杰出席会议。