

# 螺杆马达复合钻进在川西南幸福 1 井的应用

孙传佳, 黎 波

(四川省金核地质勘查工程有限公司, 四川 成都 610051)

**摘要:** 本文主要论述了川西南片区沐川县实施一口温泉井钻探, 在钻进至软硬砂泥岩互层的须家河组时, 出现时效缓慢、孔内事故频发等问题, 采用了螺杆马达复合钻进工艺, 提高了钻进效率, 取得了良好的经济效益。对今后在该地区大口径深孔钻探施工具有一定的参考意义。

**关键词:** 温泉井; 深井钻探; 螺杆马达; 川西南片区

**中图分类号:** P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2018)11-0037-03

**Sliding and Rotary PDM Drilling of Well Xingfu - 1 in Southwest Sichuan/SUN Chuan-jia, LI Bo** (Sichuan Province Jinhe Geological Exploration Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610051, China)

**Abstract:** This paper mainly discusses some problems, such as low net drilling rate, frequent downhole incidents, encountered when drilling a hot spring well in alternate soft and hard sandstone/mudstone of the Xujiahe formation in Muchuan County, Southwest Sichuan. A drilling process with sliding and rotary PDM drilling was adopted to tackle the problems, leading to high drilling efficiency and economic benefits. It may provide some experience for large diameter deep hole drilling in the region in the future.

**Key words:** hot spring well; deep hole drilling; mud motor; Southwest Sichuan region

## 1 工程概况

### 1.1 地层结构

我公司于 2017 年底在四川省乐山市沐川县开展了幸福温泉 1 井勘探工作。该井设计井深 3500

m, 侏罗系上统遂宁组开孔, 钻遇沙溪庙组、自流井组、须家河组、雷口坡组、嘉陵江组、飞仙关组、宣威组、峨眉山玄武岩组等地层, 揭露茅口灰岩组取水, 各地层厚度及岩性如表 1 所示。

表 1 幸福 1 井钻遇地层厚度及岩性

| 系   | 统  | 组     | 代号                           | 井深/<br>m | 钻厚/<br>m | 岩 性 简 述   |
|-----|----|-------|------------------------------|----------|----------|---|
| 侏罗系 | 上统 | 遂宁组   | J <sub>3sn</sub>             | 70       | 70       | 灰色、灰紫色钙质泥岩与泥灰岩互层, 下部为棕红色钙质泥岩夹少量粉砂岩                      |
|     | 中统 | 上沙溪庙组 | J <sub>2s</sub> <sup>1</sup> | 140      | 70       | 紫红色粉砂岩、砂质泥岩夹细粒长石石英砂岩, 顶部夹泥灰岩                            |
|     |    | 下沙溪庙组 | J <sub>2s</sub> <sup>2</sup> | 430      | 290      | 浅灰色长石石英砂岩与暗紫色、灰绿色粉砂岩、钙质泥岩互层; 底部中粗粒长石石英砂岩                |
|     | 下统 | 自流井组  | J <sub>1-2z</sub>            | 748      | 318      | 紫红泥岩、粉砂岩夹灰白色石英砂岩和泥灰岩, 上部夹泥灰岩、介壳灰岩                       |
| 三叠系 | 上统 | 须家河组  | T <sub>3xj</sub>             | 1587     | 839      | 深灰色灰岩、泥灰岩夹黑色泥岩、页岩, 底部偶见砾岩                               |
|     | 中统 | 雷口坡组  | T <sub>2l</sub>              | 2050     | 463      | 上部为灰、深灰色白云岩、白云质灰岩夹石膏层; 下部为紫红色、灰绿色砂岩夹页岩、泥灰岩; 底部为一层水云母粘土岩 |
|     | 下统 | 嘉陵江组  | T <sub>1j</sub>              | 2550     | 500      | 灰色、浅灰色泥质灰岩、泥质白云质灰岩                                      |
|     |    | 飞仙关组  | T <sub>1f</sub>              | 3000     | 450      | 暗紫红色粉砂岩、细砂岩、砂质泥岩, 夹石灰岩薄层, 砂质泥岩与泥岩呈不等厚互层                 |
| 二叠系 | 上统 | 宣威组   | P <sub>2x</sub>              | 3150     | 150      | 黄灰、褐黄色砂岩、页岩夹薄煤层   |
|     | 下统 | 峨眉山组  | P <sub>2β</sub>              | 3281     | 131      | 蓝灰、深灰、黑绿色致密状玄武岩, 夹多层泥岩与下伏地层假整合接触                        |
|     |    | 茅口组   | P <sub>1m</sub>              | 3500     | 219      | 深灰色生物碎屑灰岩、生物灰岩、石灰岩                                      |

### 1.2 井身结构

地表坡残积层 10 m, Ø405 mm 牙轮钻头无心钻进, 下 Ø339.7 mm×10 m 的井口管, 一开采用 Ø311 mm 钻头, 钻至井深 1587 m, 下入 Ø244.5 mm 套管。

二开采用 Ø215.9 mm 钻头, 钻至井深 3281 m, 下入 Ø177.8 mm 套管。三开采用 Ø152 mm 钻头自 3281 m 钻至井底, 此井段为裸孔。幸福 1 井固井施工全井段使用 J55 级防硫套管及油井水泥。

收稿日期: 2018-07-31

作者简介: 孙传佳, 男, 汉族, 1996 年生, 地质工程(岩土钻掘方向)专业, 从事钻探及岩土工程施工、地质灾害治理技术工作, 四川省成都市成华区龙潭工业园华冠路 35 号, 825927681@qq.com。

## 2 钻井设备及工艺参数

### 2.1 钻井设备及钻具组合

因该地区尚未有超深孔钻进资料,更无法参考钻具组合、钻头选型等对于钻井施工有显著影响的参数。在幸福1井钻井施工初始阶段采用了回转正循环无心钻进工艺。采用RG-30型石油钻机, QZ3NB-500/800/1300型泥浆泵各1台。常规的钻具组合见表2。

表2 幸福1井钻具组合

| 开钻次序 | 井段/m      | 井眼直径/mm | 钻具组合   |
|------|-----------|---------|--|
| 表层   | 0~10      | 405     | Ø405 mm 钻头+Ø108 mm 主动钻杆  |
| 一开   | 10~1587   | 311.2   | Ø311.2 mm 钻头+Ø203.2 mm DC+Ø177.8 mm DC+Ø159/165 mm DC+Ø127 mm DP |
| 二开   | 1587~3281 | 215.9   | Ø215.9 mm PDC+Ø159 mm DC+Ø89 mm DP+Ø127 mm DP                    |
| 三开   | 3281~3500 | 152.4   | Ø152.4 mm PDC+Ø121 mm DC+Ø89 mm DP+Ø127 mm DP                    |

### 2.2 钻井参数

正常情况下,钻进参数选取见表3。换层、换径、钻遇破碎带、憋钻、跳钻以及钻具组合发生变化时,合理调整钻进参数。

表3 钻井参数

| 钻头直径/mm | 钻压/kN | 转速/(r·min <sup>-1</sup> ) | 泵量/(L·s <sup>-1</sup> ) |
|---------|-------|---------------------------|-------------------------|
| 405     | 0~10  | 40~80                     | 全泵量                     |
| 311.2   | 1~180 | 40~160                    | >25                     |
| 215.9   | 1~120 | 60~120                    | >20                     |
| 152.4   | 1~50  | 30~60                     | >12                     |

### 2.3 钻井液性能

考虑工作目的为勘探热水层,针对井身结构、地层岩性(砂泥岩剖面与碳酸盐岩剖面共存)和地层流体性质配制不同类型和不同性能的钻井液钻进、保护热储层。非取水层井段采用低失水、高携粉护壁性能的钻井液,目的层钻进,采用清水或无固相钻井液。钻井液性能参数设计见表4。

表4 钻井液性能参数设计

| 钻井次序 | 密度 $\rho$ / (g·cm <sup>-3</sup> ) | 漏斗粘度 FV/s | 滤失量 FL/mL | 塑性粘度 PV / (mPa·s) | 动切力 YP / Pa | pH值   |
|------|-----------------------------------|-----------|-----------|-------------------|-------------|-------|
| 一开   | 1.08~1.15                         | 22~35     |           |                   |             | 8~8.5 |
| 二开   | 1.05~1.13                         | 22~30     | ≤5        | 8~12              | 5~8         | 8~11  |
| 三开   | 1.03~1.05                         | 18~25     | 5~8       | 8~12              | 5~8         | 8~9   |

(1)非取水段配浆材料:清水、羧甲基纤维素

(CMC)、烧碱、钠土、润滑剂(或可废机油代替)、腐植酸钾、聚丙烯酸钾(K-PAM)0.3%、硅酸钾、纯碱、重晶石。

(2)取水段配浆材料为:清水、L-CMC、水解聚丙烯酰胺(加量2%~4%)、水解聚丙烯腈 KPM(加量2%~3%)、烧碱。

## 3 幸福1井钻进情况

### 3.1 施工情况简述

前期施工,因井较浅,钻井液设计合理保证了孔内稳定,设备机能较好地承担正常施工负载,进度较顺利;一开采用Ø311 mm口径无心钻进至748 m后钻遇须家河组砂泥岩软硬交错地层时,钻进效率下降极为明显,施工进度远低于预期。

随着井深的增加,常规的钻具组合,钻进效率低,钻头磨损大。钻进时效低下,正常钻进速度为1.23~2.86 m/h,钻进至须家河组地层后降至0.5 m/h(见图1)。较大地影响了下一阶段施工安排,违背了钻探施工中高效、经济两大要素。

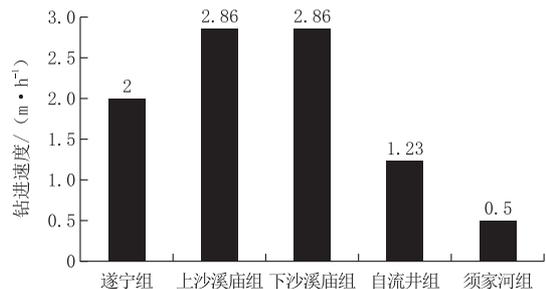


图1 钻进速度统计图

### 3.2 幸福1井钻进缓慢原因分析

(1)该地区须家河组地层(748~1587 m)分为须六一须一段砂泥岩互层,砂岩致密且含长石石英,砂岩段含中粒砂岩及细粒砂岩,可钻性等级差异变化较大,部分层段研磨性较高,更换为牙轮钻头在此段钻进时,钻机频繁跳车,钻头磨损较大。为保证井下安全,防止随着孔深增加,钻杆柱下部钻铤数量增加,造成下部钻铤与钻杆连接处在该段地层进尺缓慢且承受常规钻压(40 kN)及转速(75 r/min)的情况下存在甩动并承受集中应力过大,导致钻铤接头处断裂,此段常采用低钻压低钻速钻进,导致钻头切削岩石能力较弱,进尺缓慢。

(2)钻遇此层,地层造浆导致岩屑较多,钻井液中含砂量升高明显,使用的QZ3NB-800型泥浆泵

泵量不能及时排出孔内岩屑,较大地影响了钻头切削能力。增加固控设备,并将普通六刀 PDC 钻头更换为普通五刀 PDC 钻头后,钻进效率略微提高,情况略微好转,但钻进效率仍然缓慢。

经分析发现,该地区须家河组地层差异明显,工艺不当是钻进效率低下的主要原因。

#### 4 应用螺杆马达复合钻进工艺

幸福 1 井在进尺缓慢、频繁井下事故发生后,根据现场情况,项目组提出了更换螺杆马达复合钻进工艺以实现高效率钻进。

##### 4.1 螺杆马达工作设备及参数

(1)更换泥浆泵为 QZ3NB-1300 型,在原有钻具组合基础上,使用  $\varnothing 165$  mm 直螺杆和  $1.25^\circ$  单弯螺杆,钻井液循环槽处增加除泥器,自 870 m 后,全孔采用螺杆马达复合钻进工艺钻进。

(2)钻进参数:钻压 30~40 kN,转盘转速 45 r/min,泵量 30 L/s,泵压 10~15 MPa。

##### 4.2 幸福 1 井螺杆马达复合钻进使用效果

###### 4.2.1 进尺对比

自 870 m 开始,使用螺杆马达下入孔内 100 h 最长进尺可达 162.07 m,周进尺由最低 50 m 提升到 150 m 左右,前后井段对比见表 5。

表 5 使用螺杆马达复合钻进前后井段周进尺与周纯钻时间

| 钻进方法     | 井段/m        | 周进尺/m | 周纯钻时间/h |
|----------|-------------|-------|---------|
| 普通回转无心钻进 | 803~870     | 67.0  | 137.33  |
| 螺杆马达复合钻进 | 870~1015.19 | 145.9 | 141.50  |

###### 4.2.2 钻速对比

更换为螺杆马达复合钻进后,岩屑排出情况变得更好,表现为钻井液含砂量下降,密度稳定,未发生因钻井液维护不到位引发的孔内事故。孔内较使用该工艺前更干净,钻头切削能力受岩屑影响变小,钻进时效提升明显(如图 2 所示)。缩短了工期并降低了钻探成本,经济效益提升明显。

##### 4.3 应用螺杆马达复合钻进的优点

(1)将泥浆泵更换为 QZ3NB-1300 型后,携砂能力增强,没有出现憋泵等情况,孔内环境得到了改善。

(2)在使用低钻压低转速大泵量情况下,岩屑得以快速排出,钻头克取破碎岩石的能力大幅增强,

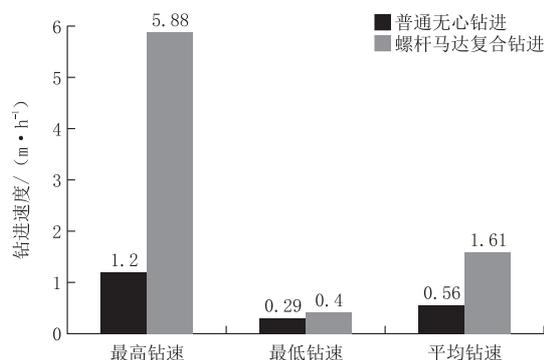


图 2 使用螺杆马达复合钻进前后钻速对比图

钻时提升明显,较好地解决了在须家河地层钻进效率低下的问题,并可应用于下部地层施工。

(3)井内安全得到改善。螺杆马达复合钻进时,转盘采用低转速(45 r/min)钻进,在增加钻速的同时,软硬互层地层或坚硬地层对钻进施工不能构成太大的影响,钻杆柱不必承受较大的扭矩,严格按照螺杆寿命控制时间及时起钻更换新螺杆,很大程度上保证了井内安全。

#### 5 结语

螺杆马达复合钻进工艺在一定程度上改善了井内施工环境,避免了断钻、垮塌等事故发生,提高了时效,创造了极大的经济价值,在深孔大口径钻探中有着极大的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 许刘万,伍晓龙,王艳丽.我国地热资源开发利用及钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):1-5.
- [2] 邵俊琪.天津市地热井钻进与成井工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2001,(S1):202-204.
- [3] 李世忠.钻探工艺学[M].北京:地质出版社,1980.
- [4] 刘重康,周易文.螺杆钻具的应用和发展[J].石油矿场机械,1992,21(4):35-40.
- [5] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].山东东营:中国石油大学出版社,2006.
- [6] 李绍虎,吴冲龙.四川须家河组层序地层格架与天然气成藏的关系[J].石油与天然气地质,1998,19(2):146-151.
- [7] 郝子文,姚冬生,谢贻谋,等.四川省区域地质志[M].北京:地质出版社,1991.
- [8] 蒋希文.钻井事故与复杂问题[M].北京:石油工业出版社,2006.
- [9] 陈廷根,管志川.钻井工程理论与技术[M].山东东营:中国石油大学出版社,2000.
- [10] 秦俊生,杨甘生,曹京瑞,等.包头地热资源钻井技术与评价[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):15-19.