

广东东莞 1900 m 深大口径基岩地热勘探孔钻探工艺

申云飞^{1,2}

(1. 河南省地热能开发利用有限公司, 河南 郑州 450053; 2. 河南省深部探矿工程技术研究中心, 河南 郑州 450053)

摘 要: RK2 孔为广东某大口径基岩地热勘探孔, 孔深 1900 m, 常规地热钻探工艺已不能满足施工要求, 为解决问题, 采用了大排量、高压、PDC + 螺杆复合钻进、川式系列石油取心工具等石油与水文水井工艺联合的施工方法, 取得了良好效果。介绍了该孔的钻探工艺, 并分析研究了在不同情况下, 排量、螺杆钻进等对钻进效率的影响。

关键词: 大口径地热井; 基岩; 地热; 钻探

中图分类号: TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2012)S2-0257-04

0 引言

大口径深孔基岩地热钻探, 由于其钻进口径大, 回转扭矩大, 地层坚硬可钻性差等特点, 不同于小口径岩心钻探与石油行业的石油钻井。石油钻井依靠先进理论, 并结合诸多新工艺在石油钻探领域取得了较好的成果, 但钻遇地层多为较软的沉积地层。而水文水井钻探, 长期以来则发展缓慢, 虽钻井工艺在不断改进, 诸如空气钻进、潜孔锤等逐步被应用到中深孔施工中, 并取得了明显成效, 但绝大多数深孔钻探主要还是依靠常规泥浆正循环牙轮全面钻进, 这种方法在松散地层有较好效果, 但在硬岩地层, 则因诸多原因, 效率低下。

RK2 地热勘探孔属广东省财政厅公益项目, 目的是为了探明广东省珠江三角洲深部地热的分布、

埋藏情况, 为广东的深部地热开发奠定基础。

RK2 孔设计深度 1900 m, 位于广东省东莞市高埗镇芦村黄屋洲全鑫混凝土厂东侧, 紧邻东莞环城路, 交通便利。在 RK2 孔钻探过程中, 我们将石油与水文水井钻探工艺相结合, 在大口径硬岩施工条件下取得了较好效果。

1 地质与地层情况

据区域地质资料, 东莞盆地在燕山-喜马拉雅期断裂作用下, 形成了具有两凹两凸基本构造格局的断陷盆地, 盆地主要构造单元自东而西为: 铁场凹陷、塘厦凸起、中堂凹陷、观龙凸起。RK2 孔位于塘厦凸起与中堂凹陷的交界部位。地层情况详见表 1。

表 1 地层情况

地层名称	地层代号	垂深/m	岩 性 描 述
第四系	Q	0 ~ 25	以冲积为主的海陆混合沉积。岩性为淤泥、砂层、粘性土等
下第三系始新统布心组	Eb	25 ~ 805.8	粉砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩等互层, 以粉砂质泥岩为主, 底部见细砾岩
下第三系古新统莘庄组	Ex	805.8 ~ 1101.6	粉砂质泥岩、粉砂岩, 以粉砂质泥岩为主
上白垩统大塍山组	Kdl	1101.6 ~ 1880	粉砂岩、中砂岩、砂砾岩
下古生界	Pz ₁	1880 ~ 1900	花岗片麻岩

2 钻探特性及难点

(1) 本项目为探采结合井, 大口径施工, 开孔直径 445 mm, 终孔直径 152 mm。

(2) 广东省珠江三角洲地区在此之前从未施工过此种深度的地热井, 无任何经验可借鉴。

(3) 25 m 以浅为第四系覆盖层, 且伴有流砂。25 m 以深为基岩地层, 地层坚硬, 研磨性强。

(4) 除全面钻进之外, 要求间隔取心。800 m 以浅遇到变层取心, 800 m 以深每 100 m 取心一次, 回次取心长度 ≥ 3 m, 岩心采取率 $\geq 75\%$ 。

(5) 由于岩层特性及钻探工艺, 岩屑呈大颗粒、片状, 钻井液面临螺杆钻进严格固控与排渣等多方面问题。

(6) 为研究地层破碎、含水等情况, 要求在钻探工程中进行水文地质抽水试验等内容, 从而影响了

收稿日期: 2012-07-31

作者简介: 申云飞(1986-), 男(汉族), 河南安阳人, 河南省地热能开发利用有限公司技术负责, 勘查技术与工程专业, 从事深部钻探、地热资源勘查等技术与研究工作, 河南省郑州市南阳路 56 号, 46345450@qq.com。

钻孔孔壁的稳定性。

3 钻探设备与钻孔结构设计

3.1 钻探设备选择

钻探设备选用情况见表2。

表2 主要钻探设备表

设备名称	型号	产地	备
钻机	GZ-3000	石家庄	钻深能力3000 m
钻塔	AP31-35 A型	石家庄	
泥浆泵	TBW-1200	张家口	700 m以浅
泥浆泵	3NB-800	兰州	700 m以深

3.2 钻孔结构

根据地层情况、地热勘探成井要求等,钻孔及套管结构见表3。

表3 钻孔及套管结构表

序号	深度/m	钻孔口径/mm	套管口径/mm	备注
一开	0~30	445	340	水泥固井
二开	30~570	311	裸眼	
三开	570~1500	216	裸眼	
四开	1500~1900	152	裸眼	

4 钻探工艺

4.1 钻进方法及钻具组合

一开、二开采用三牙轮钻头泥浆正循环全面钻进,三开、四开引入螺杆马达,采用井底动力、交叉使用球齿合金三牙轮钻头与PDC钻头复合钻进。取心工具为 $\varnothing 127$ mm岩心管与川式取心工具。

钻具组合:

一开: $\varnothing 445$ mm三牙轮钻头+ $\varnothing 159$ mm钻铤+ $\varnothing 89$ mm钻杆+方钻杆(0~30 m)。

二开: $\varnothing 245$ mm三牙轮钻头+ $\varnothing 159$ mm钻铤+ $\varnothing 89$ mm钻杆+方钻杆(30~570 m)。

三开: $\varnothing 216$ mm三牙轮(PDC)钻头+ $\varnothing 172$ mm螺杆+ $\varnothing 159$ mm钻铤+ $\varnothing 89$ mm钻杆+方钻杆(570~1500 m)。

四开: $\varnothing 152$ mm PDC钻头+ $\varnothing 121$ mm螺杆+ $\varnothing 121$ mm钻铤+ $\varnothing 89$ mm钻杆+方钻杆(1500~1900 m)。

取心钻具组合:

$\varnothing 127$ mm岩心管+ $\varnothing 89$ mm钻杆+方钻杆(800 m以浅);

$\varnothing 216$ mm PDC取心钻头+川83岩心管+ $\varnothing 89$ mm钻杆+方钻杆(800~1500 m);

$\varnothing 152$ mm PDC取心钻头+川63岩心管+ $\varnothing 89$ mm钻杆+方钻杆(1500~1900 m)。

4.2 不同排量钻进对比试验

石油钻井一般采用高压、大排量钻进,提倡“大马拉小车”,其好处是提高了钻井液上返流速,更好地将大颗粒岩屑冲携出来,使孔底基本处于干净无岩屑状态,避免了重复破碎,从而提高钻进效率。在施工过程中,我们分别采用了TBW1200型、3NB-800型两种泥浆泵,在同样地层、钻进参数条件下进行试验(见表4)。

表4 两种泵量下钻速统计表

序号	钻井方式	井段/m	钻头进尺/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)	泥浆泵
1	$\varnothing 245$ mm 牙轮	0~570	570	1090	0.52	TBW-1200
2	螺杆+216 mm PDC	570~636.5	66.5	65.17	1.02	TBW-1200
3	螺杆+216 mm 三牙轮	637.5~733.4	95.9	85.67	1.12	3NB-800
4	螺杆+216 mm PDC	733.4~855	121.6	82.33	1.48	3NB-800

根据公式: $V_a = \frac{1273Q}{d_h^2 - d_p^2}$

式中: V_a ——钻井液环空上返速度, m/s; Q ——流量, L/s; d_h ——井眼直径, mm; d_p ——钻杆外径, mm。

计算结果:TBW-1200型,排量20 L/s,套管内径322.94 mm, $V_a = 0.26$ m/s; 3NB-800型,排量26.59 L/s,套管内径322.94 mm, $V_a = 0.35$ m/s。

可以看出,用3NB-800型泥浆泵,相对于TBW-1200型泵,在其排量高出32.9%情况下,钻井液上返速度高34.6%,钻速高出28%左右。可见,在

一定范围内,排量与钻速成正比。

岩石在孔底被破碎之后,在环形空间里,一方面钻井液携带岩屑颗粒向上运动,另一方面岩屑颗粒由于重力作用向下滑落。钻井液携带岩屑颗粒向上运动的速度取决于钻井液的上返速度与颗粒自身滑落速度二者之差。

环空返速越大,岩屑越容易上返,越不易形成重复破碎。否则,岩屑会沉聚在孔底,形成二次甚至多次重复破碎,降低钻进效率。当然,若环空返速过大,会冲蚀井壁,易使井壁坍塌,还会造成钻压的过量减少,钻具的振荡等。而该孔地层相对稳定,故不

会造成孔壁失稳现象。

此处 0.26 m/s 与 0.35 m/s 的上返速度与钻速对比,说明在 20 L/s 排量情况下,孔底岩屑未能完全排出,存在重复破碎的问题。3NB-800 型泥浆泵用于高压、大排量钻进,能更好地携带岩渣,使孔底一直处于干净状态,避免了重复破碎,故其钻进速度相对高出许多。

4.3 井底螺杆马达钻进

不同的岩石,钻速随转速增长均有一定的变化曲线和极限转速。通过提高一倍转速,试验牙轮钻头钻进不同级别的岩石,结果表明:岩石级别为 4 级的大理石,钻速增长率为 93%,岩石级别为 9 级的斑状花岗岩,钻速增长率仅为 28%,从 4 级到 9 级,钻速增长率呈递减曲线。

螺杆转速与泥浆排量成正比,扭矩与钻压成正比。排量一定的情况下,钻压增加,扭矩增大,螺杆钻具的压力降也随着增加(见图 1)。在此地砂岩、粉砂岩条件下,通过螺杆的高转速,可以更加快速有效地破碎岩石。

GZ-3000 型钻机,最高转速为 172 r/min,一般

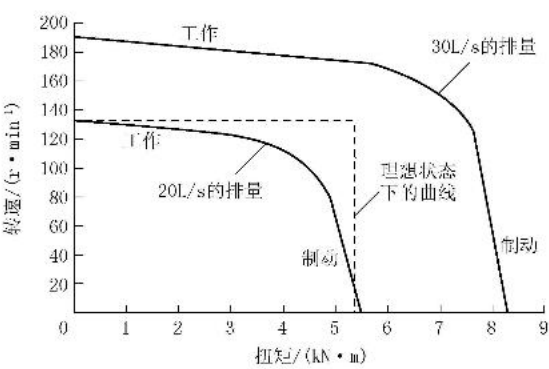


图 1 螺杆钻具扭矩-转速曲线图

情况下采用 43~72 r/min 的转速,远远达不到理想破碎岩石状态下的转速。故而钻速缓慢,钻进至 570 m,耗时 2 个月有余,平均机械钻速 0.5 m/h 左右。570 m 以深地层变得更加坚硬、研磨性变强,采用螺杆钻进,将螺杆复合钻进引入到水文水井钻探中来,螺杆型号为 5LZ172×7.0,孔底转速 77~141 r/min。根据表 5 对比情况,可见螺杆钻进机械钻速最低 0.8 m/h,最高 1.3~1.4 m/h,比常规技术钻进效率高 2~3 倍,极大地提高了钻进效率。

4.4 石油与地质联合取心工艺

表 5 钻进情况对比表

序号	钻井方法	口径 /mm	井段 /m	机械钻速 /(m·h ⁻¹)	钻进参数		
					钻压/kN	转盘转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·s ⁻¹)
1	牙轮全面钻进	245	0~570	0.52	30~40	72	20
2	螺杆+PDC	216	570~636.5	1.07	20~40	43	20
3	螺杆+三牙轮	216	637.5~733.4	1.12	20~40	43	26.59
4	螺杆+PDC	216	733.4~855	1.37	20~40	43	26.59
5	螺杆+三牙轮	216	855.5~1071	0.8	20~40	43	26.59
9	螺杆+三牙轮	216	1003~1071	1.02	20~40	43	26.59
10	螺杆+三牙轮	216	1075~1165	1.12	20~40	43	26.59
11	螺杆+三牙轮	216	1169~1268	1.10	20~40	43	26.59
12	螺杆+三牙轮	216	1273~1310	1.20	20~40	43	26.59
13	螺杆+三牙轮	216	1315~1400	1.22	20~40	43	26.59
14	螺杆+三牙轮	216	1403~1500	1.16	20~40	43	26.59
15	螺杆+三牙轮	152	1500~1900	1.42	20~30	43	26.59

根据设计要求,800 m 以浅,遇到变层取心。800 m 以深每隔 100 m 取心一次,长度>3 m,取心率>75%。根据地层情况,分别采用了 Ø127 mm 单管地质取心,川 8-3 型、川 6-3 型取心管取心。

800 m 以浅采用 Ø127 mm 地质岩心管取心,钻完后投卡丝卡取岩心(见图 2)。800 m 以深,因深度、扭矩较大,采用川式双管单动取心管+PDC 取心钻头的方式取心(见图 3)。2 种方法的取心率都基本保持 100%,效果良好。



图 2 Ø127 mm 岩心管取心



图3 川8-3 PDC取心钻头

5 钻井液

大排量、高转速钻进一方面可以极大地提高钻进效率,但另一方面也对钻井液性能提出了较高的要求。良好的防塌润滑性和携砂能力,才能保证井壁稳定,安全快速钻进。

上部地层考虑到泥页岩及碎岩颗粒大、难以携带等原因,采用低固相细分散泥浆体系,并加入水解聚丙烯腈钾盐,以增强其抑制性能。

配方:水+膨润土+Na-HPAN+烧碱+CMC+水解聚丙烯腈钾盐。

性能:密度 $1.05 \sim 1.12 \text{ g/cm}^3$,粘度 $20 \sim 25 \text{ s}$,API失水量 $8 \sim 10 \text{ mL}$,泥饼厚度 $\leq 1 \text{ mm}$,pH值 $8 \sim 9$,含砂量 $\leq 0.5\%$ 。

采用PDC+螺杆复合钻进后,因岩屑磨的较细,钻井液的固相含量控制难度较大,故而增强了除砂器、振动筛等固控设备,并适当提高了钻井液的粘度,以保证钻井液携砂等能力。

6 结论

(1)在地层较为稳定情况下,宜采用大排量实现快速钻进,在一定范围内,排量与钻进速度成正比。

(2)螺杆钻进在基岩大口径钻探中,可以解决钻机转速低问题,从而提高机械钻速。

(3)川式取心工具在深孔大口径基岩条件下取心效果良好,能较好的保证岩心采取率。

(4)钻井液性能及其重要,尤其螺杆钻进,要注意好固相含量控制与钻井液性能稳定等问题。

(5)在大口径基岩钻探中,石油钻探与水文水井钻探等多学科联合,互相借鉴,能极大的提高钻进效率。

参考文献:

- [1] 卢予北.郑州市超深层地热资源科学钻探工程[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(7):43-47.
- [2] 卢予北,张古彬,陈莹.河南省地热资源开发利用现状与问题研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(10):35-39.
- [3] 赵金洲,张桂林.钻井工程手册[M].北京:中国石化出版社,2004.
- [4] 马立,付建红,罗飞,等.螺杆钻具输出特性分析[J].断块油气田,2008,15(4):101-104.
- [5] 张晓西,杨甘生,等.大口径硬岩钻探技术在中国大陆科学钻探中的应用[J].探矿工程,2003,(1).
- [6] 许刘万,曹福德,葛和旺.中国水文水井钻探技术及装备应用现状[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(1).

致谢:本文在编写过程中,得到了卢予北教授级高级工程师的精心指导和帮助,在此表示衷心的感谢。