

液动旋冲工具在徐深 1 - 平 3 井中的应用

王建艳

(大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院设计中心,黑龙江 大庆 163400)

摘要:为提高庆深气田水平井钻井速度,缩短钻井周期,降低钻井投资,在徐深 1 - 平 3 井三开进行了旋冲钻井试验。通过分析钻具组合强度,结合不同尺寸液动旋冲工具特点,制定提速技术方案,优选钻井参数并进行现场试验。经验证,液动钻井在徐家围子深层直井段提速效果明显。试验从分析新钻具组合强度是否满足钻进需求,防止应力集中造成钻具疲劳破坏入手。根据大庆 ZJ50D 型钻机一般泵压 ≥ 25 MPa 的实际情况,利用液动旋冲工具泵压 - 排量回推公式,优化钻井参数。基于参数优选结果制定针对性施工措施,确保 $\varnothing 279$ mm 型液动旋冲工具现场试验成功。

关键词:液动旋冲工具;钻具强度;钻井参数;徐深 1 - 平 3 井

中图分类号:P634;TE242 **文献标识码:**B **文章编号:**1672 - 7428(2015)04 - 0016 - 05

Application of Hydraulic Rotary Tool in Well of Xushen1 - Ping 3/WANG Jian-yan (Drilling Engineering Technology Research Institute of Daqing Drilling and Exploration Engineering Corporation, Daqing Heilongjiang 163400, China)

Abstract: In order to improve the drilling speed of the horizontal well to reduce drilling investment in Qingshen gas field, a rotary percussion drilling test was carried out in the 3rd opening interval of Xushen1 - Ping3. By the analysis on the strength of the BHA and according to the characteristics of hydraulic rotary tools with different dimensions, the acceleration technology scheme was formulated, the drilling parameters were optimized and the field tests were made. It was proved that there was obvious improvement in deep vertical section by hydraulic drilling. First of all, from the analysis on testing whether the new BHA strength meets the drilling requirements to prevent fatigue failure of drill caused by stress concentration. The drilling parameters were optimized by the pump pressure-displacement back-stepping formula of hydraulic rotary tools under the condition of the fact that the pump pressure of ZJ50D rig is generally no more than 25MPa in Daqing. Based on the parameter optimization result, the specific construction measures were formulated to ensure the successful field test of $\varnothing 279$ mm hydraulic rotary tool.

Key words: hydraulic rotary tool; strength of the new BHA; drilling parameters; Xushen 1 - Ping3

随着冲击钻井技术的不断进步,在克服了冲击器工作寿命短、稳定性不高等缺点后,冲击钻井比传统钻井或者金刚石钻井在提高机械钻速方面显现出越来越明显的优势,尤其在一些硬质地层,例如花岗岩、砂岩、石灰岩和白云岩等^[1-2]。在相同的转速和钻压下,在中等硬度的花岗岩中,旋冲钻井的机械钻速是传统旋转钻井方式的 7.3 倍,即使在两者都有利的操作条件下,旋冲钻井机械钻速也比旋转钻井高 2.3 倍^[3]。这是因为钻头齿对岩石的频繁冲击和高冲击强度的作用,以及钻头旋转时对岩屑清洗良好。

徐深 1 - 平 3 井为位于松辽盆地徐家围子断陷的一口深层水平井,开发目的层为埋深 > 3000 m 的

营城组一段,设计垂深 3625.29 m;斜深 4765.21 m,设计水平段长 1070.15 m。邻井实钻资料表明,泉二段及其以下地层多为砂砾岩、火山岩及变质岩等致密性岩石,可钻性差。在纵向上夹杂大段的砾石层,根据邻井统计资料显示常规牙轮钻头钻进时,单只钻头进尺少,需要多次起下钻且机械钻速较低,导致钻井周期较长;应用螺杆进行复合钻进时,由于深井中温度较高,螺杆寿命低、使用效果不理想;采用气体钻井技术钻进时,虽然可较大提高机械钻速,但还存在地层出水易引起的泥包卡钻和气液转换后井壁稳定问题等,且气体钻井设备复杂,成本相对较高。为此,在徐深 1 - 平 3 三开井段开展了液动旋冲工具提速现场试验。

收稿日期:2014 - 09 - 26; 修回日期:2015 - 01 - 26

基金项目:国家科技重大专项“钻井工程和工艺软件”课题(编号:2011ZX05021 - 006)部分研究成果

作者简介:王建艳,女,汉族,1981 年生,工程师,从事钻井工程设计及相关科技研发工作,黑龙江省大庆市红岗区八百垅, wangjianyan@cnpc.com.cn。

1 液动旋冲工具原理与技术特点

1.1 旋冲钻井工作原理

旋冲钻井原理是在普通旋转钻进的基础上,再加上一个冲击器。冲击器是一种井底动力机械,一般接在井底钻头或岩心管的上端,依靠高压气体或钻井液推动其活塞冲锤上下运动,撞击钻头,钻头在冲击动载和静压旋转的联合作用下破碎岩石。冲击动载使得岩石中裂隙扩张,并形成大体积的破碎,提高了破碎岩石的速度。

大庆钻探钻井技术研究院自主研发的 $\varnothing 279$ 、178 mm 型液动旋冲工具通过钻井液提供动力,在周向产生高频冲击,在轴向产生水力脉冲,使钻头的破岩方式由普通的刮削转变为机械冲击与水力脉冲相结合的破岩方式,使得岩石中裂隙扩张,并形成大体积的破碎,提高了破碎岩石的速度,可有效提高 PDC 钻头在深井硬地层中的剪切岩层效率。龙深、高台子等区块 4 口深井成功应用了 $\varnothing 178$ mm 型液动旋冲工具单支工具最高总进尺 577.27 m,平均机械钻速最高达 6.92 m/h,为邻井同层位 7.13 倍,平均机械钻速最低为 2.33 m/h,为邻井相同井段的 2.40 倍。

1.2 液动旋冲工具技术特点

(1) 提供额外的周向高频冲击力,消除粘滑现象,辅助 PDC 钻头剪切岩层。液动旋冲工具内部的高频冲击机构带动 PDC 钻头在圆周方向实现高频冲击运动,有效减少了粘滑现象,提高破岩效率,减少反冲扭力;这种高频冲击力能够在较硬地层钻进时预先形成岩石裂纹和预破碎,改善了 PDC 钻头的切削环境,达到辅助 PDC 钻头剪切岩层的作用。

(2) 提高 PDC 钻头的适用性和耐久性。针对液动冲击采用优质抗冲击 PDC 复合片,并设计了适合冲击钻进的冠部曲线及翼型,配合液动旋冲工具使用,使原来只能用牙轮钻头钻进的深部地层实现了 PDC 钻头钻进,提高了机械钻速、使用寿命和安全性。

(3) 液动脉冲辅助破岩。液动旋冲工具内部独特的液力冲击转化机构,改变了钻井液水力流场,形成了高频的水力脉冲波动,提高了井底岩屑的清洗和运移,减少岩石重复切削,进一步提高钻速。

(4) 纯机械适用温度高。工具内部为纯机械零件构造,适用温度高,可满足深层高温钻井的工况要求。

(5) 现场操作简单可行、安全可靠。液动旋冲工具配合特殊高效 PDC 钻头现场应用简单,使用工艺安全可靠。

2 试验技术方案

2.1 优选试验井段

针对徐家围子深层致密地层和砂砾岩地层,研磨性强,普通螺杆与 PDC 钻头配合提速空间小,易堵水眼,决定在三开 $\varnothing 311.2$ mm 井眼试验液动旋冲钻井工具(试验井段如表 1 所示)。2500.0 ~ 3140.5 m 直井段,优选 $\varnothing 279$ mm 型液动旋冲工具进行试验;3659.0 ~ 4765.2 m 水平段,使用较成熟的 $\varnothing 178$ mm 型液动旋冲工具进行提速作业。

表 1 优选液动旋冲工具试验井段

工具编号	井段/m	层位及岩性	进尺/ m	机械钻速/ ($m \cdot h^{-1}$)
1	2500.0 ~ 3140.5	泉头组—登娄库组, 泥岩	640.5	6.0
2	3659.0 ~ 4000.0		341.0	3.0
3	4000.0 ~ 4250.0	营城组一段 I 组上段	250.0	3.0
4	4250.0 ~ 4500.0	火山岩	250.0	3.0
5	4500.0 ~ 4765.2		265.2	3.0

2.2 钻具组合强度校核

深层水平井由于摩阻、扭矩较大,钻压加压效率相对较低,为了获得较好的破岩效率,需要适当增加钻压,但却易发生钻具屈曲,严重时甚至发生断钻具事故^[6]。为防止设计钻具组合存在应力集中点,钻进施工时出现疲劳破坏,在该工具入井前开展了强度校核分析,并做好工具探伤和运行记录。运用 Landmark 软件分别对直井段和水平段钻具组合进行强度校核以及摩阻扭矩分析发现(如图 1 所示),在液动旋冲工具钻具组合中加入 2 只 $\varnothing 308$ mm 螺旋稳定器,可形成钟摆钻具(如表 2 所示),在钻压 ≥ 120 kN 时具有很好的稳斜效果,并且钻具强度及扭矩均能满足施工要求。

2.3 钻井参数及泥浆性能优化

钻进时大排量将提高环空返速,有利于携带岩屑,但是排量增大的同时会导致泵压的增加,使现场设备无法满足钻井需求。徐深 1-平 3 井施工时根据大庆常规钻井泵泵压一般 ≥ 25 MPa 的情况,考虑 1 ~ 2 MPa 安全余量,因此控制泵压在 24 MPa 以内,并运用 Landmark 软件计算,当排量 > 32 L/s(直井段 $\varnothing 311.2$ mm 井眼)、15 L/s(水平段 $\varnothing 215.9$ mm

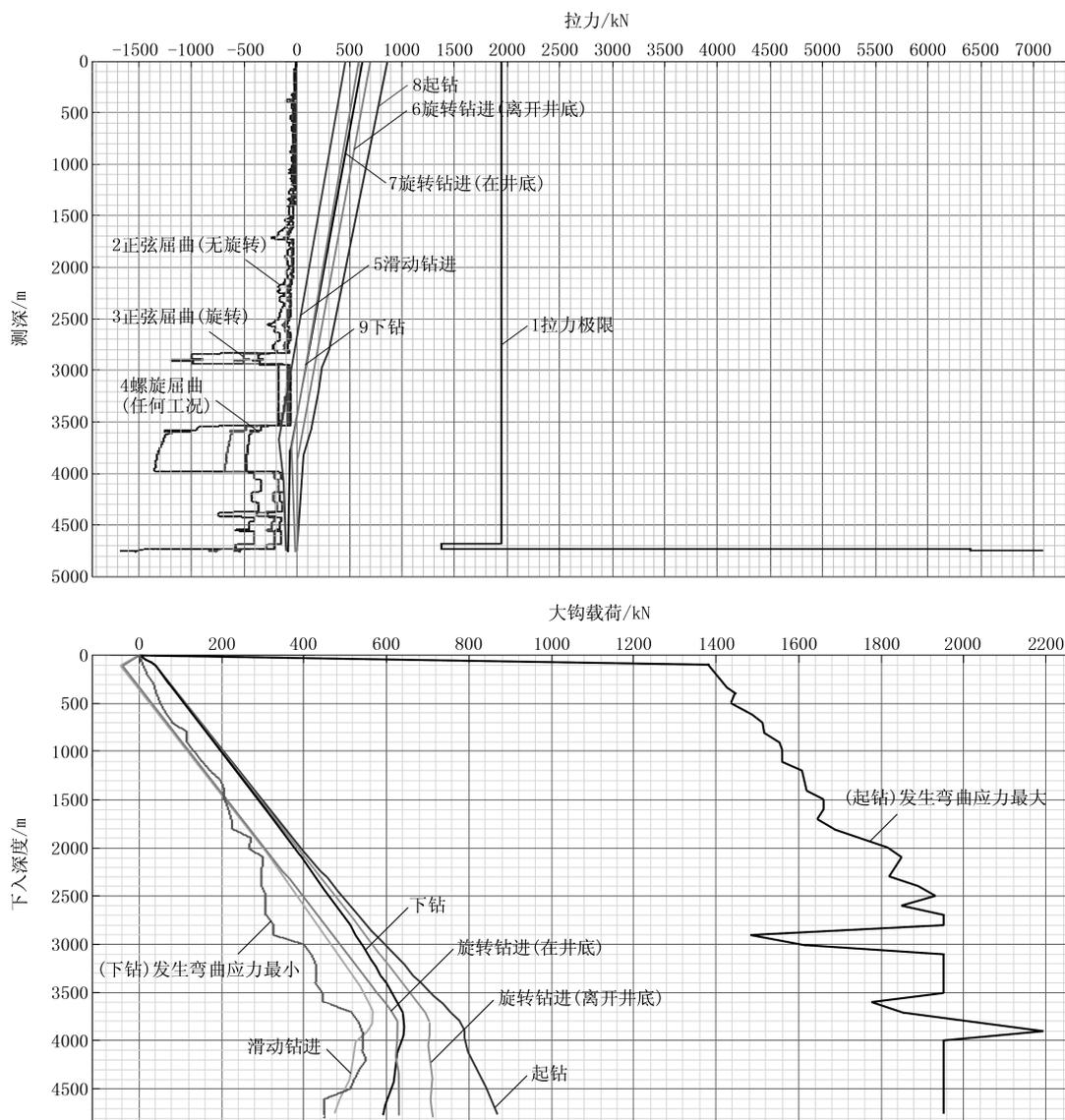


图1 钻具组合强度分析

表2 徐深1-3井造斜段、水平段钻具组合

井段	钻具组合
Ø311.2 mm 井眼钻具组合	Ø311.2 mm 钻头 + Ø279 mm 液动旋冲工具 + Ø228.6 mm 箭式浮阀 + Ø228.6 mm 托盘接头 + Ø228.6 mm 钻铤 × 2 根 + Ø308 mm 螺扶 + Ø228.6 mm 钻铤 × 1 根 + Ø308 mm 螺扶 + 旁通阀 + Ø228.6 mm 钻铤 × 6 根 + 变径接头 + Ø203.2 mm 钻铤 × 6 根 + 变径接头 + Ø177.8 mm 钻铤 × 6 根 + Ø165 mm 钻铤 × 3 根 + Ø127 mm 钻杆
Ø215.9 mm 水平段钻具组合	Ø215.9 mm PDC 钻头 × 0.24 m + Ø182 mm 液动旋冲工具 × 1.58 m + Ø172 mm 螺杆 × 7.80 m (0.75°) + Ø172 mm LWD × 13.34 m + Ø172 mm 止回阀 × 0.70 m + Ø139.7 mm 无磁加重钻杆 × 9.00 m + Ø139.7 mm 18° 斜坡钻杆 × 1615.00 m + Ø139.7 mm 加重钻杆 × 334.80 m + Ø139.7 mm G105 钻杆 × 2774.00 m

井眼), 泵压 > 24 MPa, 钻井泵将难以长期负荷。

利用大庆肇深 17、徐深 442 等直井 (Ø215.9 mm 井眼) 液动旋冲工具井口测试时压降与排量关系图, 回归出压降 - 排量关系式为:

$$y = 0.0011x^{2.3661} \quad (1)$$

$$R^2 = 0.9932$$

为了快速携岩, 并保证液动旋冲工具处于理想工作状态, 所需排量为 28 ~ 34 L/s (直井段)、12 ~ 15 L/s (水平段), 由式(1) 计算出液动旋冲工具压耗为 2.5 ~ 3 MPa。并根据本井 Ø311.2 mm 直井段前几趟钻 30 L 排量情况下, 泵压为 17.51 MPa, Ø215.9 mm 水平段前几趟钻 13 L/s 排量情况下, 泵

压为 22.96 MPa。因此,需要控制泥浆密度 $\geq 1.30 \text{ g/cm}^3$,漏斗粘度 70 s 以内,含砂量控制在 0.3% 以内(详见表 3);钻井泵上水平稳,确保达到设计规定的排量;钻井液添加一定的润滑剂,下钻到井底后充分循环,确保钻头不泥包;振动筛筛布选择 80 目以

上;除砂器、振动筛使用率 100%;离心机每个班使用 1~2 个循环周;并准备相应尺寸的钻杆滤子两支;必须使用全新、质量好的螺杆,防止因螺杆出现问题造成工具的堵塞、损坏及井下复杂。

表 3 徐深 1-平 3 井直井段及造斜段、水平段各参数优化结果

钻进井段	工作扭矩/(kN·m)	钻井参数			钻井液性能					水力参数	
		钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/(L·s ⁻¹)	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/s	PV/(mPa·s)	YP/Pa	含砂量/%	泵压/MPa	钻头压降/MPa
直井段	8~17	80~120	60~80	40~60	1.20~1.25	55~65	10~25	5~20	0.3	16.63	2.35
造斜段及水平段	8~17	60~120	60~80	30~34	1.25~1.30	65~75	10~20	5~15	0.3	22.72	0.51

同时,随着钻压增大机械钻速会有一定的提高,但是随着钻压的增大,钻具组合就会发生弯曲。钻井时转速高,钻具在井底承受的反扭矩也更大,在加压过大时极易导致钻具扭断。所以在保证井身质量要求的情况下,运用 Landmark 软件对钻井参数进行优化设计,从而降低卡钻等复杂情况发生几率。

2.4 施工注意事项

(1)井口测试。将工具下入井口以下,连接水龙头,开泵循环,排量缓慢上升,直至能够听到启动时发出的高频冲击声响,记录启动排量以及排量为工作排量时的泵压。

(2)井口测试完成后进行下钻作业,下钻过程中避免长井段划眼;距离井底 10~20 m 开泵,避免钻头直接接触井底或井底沉砂,防止堵塞水眼;到底之后检查泵压、排量,看是否正常。如有异常现象,禁止低排量情况下接触井底;避免大排量开泵在套管中循环的现象,尽可能减少套管中开泵时间。

(3)钻进。确保排量、泵压正常,然后开始接触井底;修正井底参数转盘转速 60 r/min、钻压 20~40 kN、进尺 20 cm;正常钻进参数依据螺杆使用参数及定向要求调整;每个单根及时清理钻杆,钻井泵上水

过滤设备至少每班清理一次;使用液动旋冲工具井下扭矩比较平稳,如扭矩出现异常,应及时上提钻具,重新加压。

3 液动旋冲工具在徐深 1-平 3 井应用情况

现场钻进时,受施工条件限制,未按预计设计井段进行试验,仅在 2959.75~3122.74 m 井段进行了井口测试,进尺 162.99 m,现场工具动作正常,泵压 3 MPa,符合施工要求。测斜数据显示 2960 m 井斜 1.7°,3040 m 井斜 0.38°,优选后的钟摆钻具组合具有较好的稳斜效果,保证了垂直井段的钻井质量。

由表 4 数据可以看出,Ø279 mm 型液动旋冲工具施工井段为 2959.75~3122.74 m,进尺 162.99 m,纯钻时间 45.01 h,平均机械钻速 3.62 m/h;同井上趟钻施工井段为 2513~2960 m,进尺 447 m,纯钻时间 229 h,平均机械钻速 1.95 m/h;邻井徐深 1-平 1,采用瑞德 713PDC 钻头进行钻进,2500~3160 m 井段的平均机械钻速为 1.58 m/h。由此可得,使用液动旋冲工具施工井段的机械钻速为同井上趟钻机械钻速提高了 86%;与邻井徐深 1-平 1 井同层位机械钻速对比,机械钻速提高了 129%。

表 4 Ø279 型液动旋冲工具现场试验数据对比

序号	型号	尺寸/mm	井段/m	进尺/m	钻速/(m·h ⁻¹)	层位	钻进工具
1	122KM226	311.2	1970.00~2513.00	543.00	5.32	泉头组	直螺杆+PDC 钻头
2	MR616	311.2	2513.00~2960.00	447.00	1.95	登娄库组	直螺杆+PDC 钻头
3	Q736	311.2	2959.75~3122.74	162.99	3.62	登娄库组	液动旋冲工具+专用 PDC 钻头

由于直井段完钻,需要起钻更换钻具,液动旋冲工具及钻头均未达到使用寿命,经测试后仍可继续工作,钻头使用前后的图 2。该井若长井段采用液动旋冲工具,能够进一步缩短钻井周期。

4 结论及认识

(1)Ø311.2 mm 液动旋冲工具首次在大庆油田徐深区块试验并获得成功,液动旋冲工具与 PDC 钻头配合提速效果显著,机械钻速与同井上趟钻相比,机械钻速提高了 86%;与邻井徐深 1-平 1 井同层位



图2 钻头使用前后对比

机械钻速对比,机械钻速提高了129%。

(2)液动旋冲工具配合PDC钻头钻进,使用钟摆钻具组合,在钻压 >120 kN时,具有很好的稳斜效果,本井2960 m测斜 1.7° ,3040 m测斜 0.38° 。

(3)应用液动旋冲工具与PDC钻头在钻进中,通过参数优化,控压控时钻进,钻速较快且工作稳定,充分发挥了PDC钻头中等钻压、转速低、扭矩平稳的优点,对控制井身质量、钻具防断以及携带岩屑起到了较好的作用。

参考文献:

[1] Whiteley M C, England W P. Air drilling operations improved by

percussion-bit/hammer-tool tandem [R]. SPE 13429, 1986.

- [2] Pratt C A. Modifications to and experience with percussion air drilling [M]. SPE/IADC 16166, 1987.
- [3] Melamed Y, Kiselev A, Gelfgat M, et al. Hydraulic hammer drilling technology: Developments and capabilities [J]. Journal of Energy Resources Technology, 2000, 122(1): 1-8.
- [4] 付加胜,李根生,田守增,等.液动冲击钻井技术发展与应用现状[J].石油机械,2014,42(6):1-6.
- [5] 王雷,郭志勤,张景柱,等.旋冲钻井技术在石油钻井中的应用[J].钻采工艺,2005,(1):17-19.
- [6] 汪海阁,王灵碧,纪国栋,等.国内外钻完井技术新进展[J].石油钻采工艺,2013,35(5):1-12.
- [7] 陶兴华.提高深井钻井速度的有效技术方法[J].石油钻采工艺,2001,(5):4-8,83.
- [8] 黄仁山.油气工业可借鉴的冲击回转钻进技术[J].石油钻探技术,1996,(4):18-20,64.
- [9] 殷琨,蒋荣庆,赖振宇,等.气动潜孔锤钻进技术[J].世界地质,1999,(2):104-107.
- [10] 张祖培,殷琨,等.岩土钻掘工程新技术[M].北京:地质出版社,2003.
- [11] 孟祥波,陈春雷,孙长青.徐深21-平1井轨迹控制技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):30-32.
- [12] 王建艳,李瑞营,孙妍,等.大庆葡萄花油层氮气专打技术实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):32-34.

(上接第15页)

表现为扭矩突然增大,然后又恢复正常值;换浆后,掉块现象明显减少,约为之前的1/3。

(3)钻井液无固相,钻进效率高。换浆后,每天进尺由原来的10 m左右提高至30 m左右,钻进效率提高了2倍。

(4)PHP的良好絮凝效果能充分清除孔底的微小颗粒,阻止了包钻事故的发生。

(5)泥浆配置容易,成本低廉。

4 结语

施工实践表明,低渗透成膜钻井液作为深部地热井的冲洗液,在溶洞、溶隙、裂隙发育的碳酸盐岩地层钻进中能减少孔内事故、提高钻进时效、降低钻探成本,有极大的推广和应用价值。

参考文献:

[1] 李平.聚合物无固相泥浆在广西资源县某矿区绳索取心钻进

中的应用[J].矿产与地质,2012,26(6):525-528.

- [2] 陈礼仪,李浩,袁学武,等.低渗透成膜钻探泥浆体系的研究与应用[J].成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(5):498-503.
- [3] 罗向东,陶为民,刘鹏,等.无渗透无侵害钻井液及其渗透性能评价方法的探讨[J].钻井液与完井液,2005,22(1):5-8.
- [4] 孙金生,刘雨晴,唐继平,等.超低渗透钻井液完井液技术研究[J].钻井液与完井液,2005,22(1):1-4.
- [5] 李智先.岩心钻探基础知识问答[M].北京:地质出版社,1984.
- [6] 李勇,陈怡,王虎,等.磺化沥青钻井液在贵州地热勘探井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):27-30.
- [7] 艾贵成.封堵成膜钻井液技术在昆2井的应用[J].石油钻采工艺,2007,29(1):89-91.
- [8] 李会娟,鲍卫和,马忠平.聚合物防塌钻井液在天津地热定向井的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(6):53-55.
- [9] 王虎,陈怡,段德培,等.贵州省深部地热钻井现状与发展建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):45-47,52.