

承德闫营子地热勘探井钻井技术分析

景龙, 王彦静, 李伟, 廉欣, 刘超

(河北省地矿局第四水文工程地质大队, 河北 沧州 061000)

摘要:承德闫营子地热井钻遇地层坚硬、造斜、岩性复杂, 施工难度较大。施工期间, 采用了螺杆钻具完成事故处理、纠斜、复合钻进工作。分析了螺杆钻具在3种工况下的使用效果; 应用MD钻头解决了硬岩钻进常规钻头磨损严重的问题; 最后针对钻进中存在的钻速低、钻铤断裂问题, 提出了改进建议。

关键词:地热勘探井; 钻井技术; 螺杆钻具; 钻头

中图分类号: TE249; P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2015)10-0021-05

Analysis on Drilling Technology Used for Yanyingzi Geothermal Exploration Well in Chengde/JING Long, WANG Yan-jing, LI Wei, LIAN Xin, LIU Chao (The 4th Hydrogeology Group of Hebei Bureau of Geological Development, Cangzhou Hebei 061000, China)

Abstract: Hard formation was encountered in Yanyingzi geothermal well of Chengde where there were deviating force and complex lithology, the construction was difficult. Screw drill was adopted in accident treatment, deviation correction and compound drilling; the effects of screw drill application under these 3 working conditions are analyzed. Serious wear of conventional bit in hard rock drilling, low drilling speed and drilling collar fracture are solved by MD bit, and some improvement suggestions are put forward.

Key words: geothermal exploration well; drilling technology; screw drill; bit

承德闫营子地热勘查分区是承德市重点地热勘查区之一, 位于承德市郊。在勘查区内经多方论证, 确定了地热勘探井位(ZK04井), 施工任务由我队完成。施工设备选用RT30型钻机、3NB-1300型泥浆泵, 最终成井并深3005 m。该井地质条件复杂, 施工难度大, 通过多种钻进措施, 顺利终孔。本文就该井钻进技术进行分析。

1 钻井施工难题

(1) 地层坚硬。本井勘探深度内钻遇岩性主要为白云岩、砂岩、凝灰质砂砾岩、流纹岩、安山岩及花岗岩, 属中硬—硬岩, 可钻性级别高, 地层具有较强的研磨性。钻进中, 提高机械钻速而实现高效作业绝非易事。施工过程中极难发挥大功率钻机优势, 必须从钻头、钻进方法入手提高钻效。

(2) 地层造斜。根据出露地层分析, 工区内断层发育, 纵横交错, 切割深度差异大, 层内多期火成岩侵入, 各组地层厚度分布不均、产状不一, 地质条件极其复杂。其中地层造斜是一个十分突出的问

题。正常钻压钻进偏斜, 降低钻压钻速下降, 必须采取有效措施克服这种矛盾。

(3) 冲孔护壁难。开孔的砂卵砾石层、中部的涌漏水层、下部的坍塌破碎层钻进, 必须重视冲洗液技术, 充分发挥冲洗液排除岩粉、稳定井壁的功能, 否则极易出现卡埋钻事故。

2 钻井结构

针对地质条件, 参考广东东莞基岩地热井、武汉-1井地热井经验^[1-2], 完成井结构设计。实际成井结构: 一开井径444.5 mm, 下入 $\varnothing 339.7$ mm表层套管, 水泥全段封固; 二开井径311.2 mm, 下入 $\varnothing 244.5$ mm泵室管, 水泥“穿鞋戴帽”封固; 三开井径215.9 mm, 裸眼终孔。成井结构示意图见图1。

3 钻井技术分析

3.1 螺杆钻具的应用

螺杆钻具是以冲洗液为动力的一种井下动力钻具, 泥浆泵泵出的冲洗液流经旁通阀进入马达, 在

收稿日期: 2015-02-05; 修回日期: 2015-07-27

基金项目: 河北地勘基金项目“河北省承德市重点地热勘查”

作者简介: 景龙, 男, 汉族, 1978年生, 从事岩心钻探、地热钻井、水文地质等工程施工技术及管理工, 河北省沧州市新华区冷冻厂东街, jing_longd@163.com。

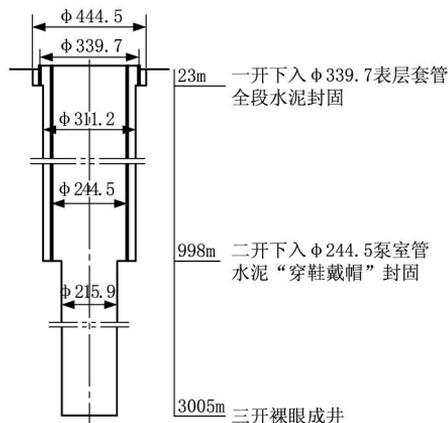


图1 成井结构示意图

马达进出口处形成一定压差推动马达的转子旋转,并将扭矩和转速通过万向轴和传动轴传递给钻头^[3],只要达到排量、压降的要求,即可成功使用。螺杆钻具再配合定向接头、无磁钻铤、随钻测斜仪器等可以实现定向钻进,目前很多钻井施工中成功利用了螺杆

技术^[4-10]。在本工程中,我们利用螺杆钻具及时完成了事故处理、钻进纠斜、复合钻进3项工作。

3.1.1 事故处理

二开开始采用 $\varnothing 311$ mm钻头钻进至1098 m,划眼至799 m时,钻头脱落,采用多种方法打捞失败。多番论证,最终采用侧钻绕障并进行钻进纠斜。

首先采用水泥将“落鱼”上部井段封固至450 m,完成井眼准备,后采用螺杆侧钻。

侧钻钻具组合: $\varnothing 311$ mm牙轮钻头+ $\varnothing 245$ mm螺杆+固定弯接头+ $\varnothing 196$ mm \times 8.76 m无磁钻铤+ $\varnothing 165$ mm \times 109.20 m普通钻铤+ $\varnothing 114$ mm钻杆。首先完成地面定向,锁转盘开泵钻进。由于地层坚硬,侧钻具有一定难度,必须控制钻压、控制进尺,通过分析上返岩屑与水泥屑含量及时调整钻进参数。现场经3次才侧钻成功,历时13天,各次定向钻进基本数据见表1。侧钻顺利绕过事故段,简化了打捞难度,为后续施工节省了时间。

表1 侧钻基本数据

定向井段/m	长度/m	定向钻具结构	纯钻时间/h	钻进参数	评价
450.09~473.13	23.04	弯螺杆(1.5°)	185	钻压0~2 kN,排量41 L/s,泵压5.2 MPa	侧钻失败
473.13		直螺杆+弯接头(1.75°)	3	钻压2 kN,排量41 L/s,泵压5.0 MPa	侧钻失败
473.13~491.44	18.31	弯螺杆(1°)+弯接头1°	39	钻压0~2~40 kN,排量41 L/s,泵压5.0 MPa	侧钻成功
491.44~565.92	74.48	弯螺杆(1.25°)	17	钻压<80 kN,转数43 r/min(钻盘),排量41 L/s,泵压6.5 MPa	复合钻进稳斜

3.1.2 钻进纠斜

施工区地层倾角较大,具有明显的造斜特性。据统计,地层造斜情况在500~1850 m段最为严重。在正常钻压条件下,顶角偏斜持续增加,给深部钻进带来巨大风险。为此,进行井斜监测的同时,及时采用螺杆定向技术进行纠斜处理。强造斜段中累计纠斜9次,各段效果见表2,数据说明,造斜层内纠斜效果是良好的。由于上部井斜及时有效地控制,为深部安全钻进创造了条件。

表2 定向纠斜效果统计

定向井段/m	定向效果						定向纠斜次数
	纠斜前			纠斜后			
	井深/m	顶角/(°)	方位角/(°)	井深/m	顶角/(°)	方位角/(°)	
815~965	810	4.2	276	980	1.4	162	4
1311~1337	1300	5.2	36	1350	2.7	356	2
1597~1713	1590	5.0	7	1740	3.4	49	2
1818~1838	1810	3.8	52	1860	3.1	45	1

备注:测斜数据来源于终孔实测值。

3.1.3 复合钻进

复合钻进主要用于造斜层段和强研磨性层段的施工中。在造斜层段内采用常规钻压顶角偏斜持续增大,降低钻压控斜,钻进效率却急剧下降。为此采用螺杆复合钻进技术,以低钻压、高转数的方法提速。通过490~1005 m段强造斜地层2次不同钻进方法钻速对比可见,采用复合钻进,单只钻头最高钻速3.97 m/h,平均3.03 m/h,普通钻进单只钻头最高钻速2.81 m/h,平均2.49 m/h,相关数据见表3。该段内复合钻进钻速有了明显提高,同时通过适时定向,钻井垂直度也可以保证。

表3 复合钻进与常规钻进钻进效果对比

钻进方法	对比井段/m	段长/m	纯钻时间/h	平均钻速/(m h ⁻¹)	顶角偏斜(孔深)/(°)(m)
常规钻进	494.53~1005.07	510.54	205	2.49	1.2(450),6.4(1000)
复合钻进	491.44~998.61	469.56	155	3.03	1.2(450),1.6(990)

注:(1)对比段为二开施工,井径311.2 mm;(2)地层岩性以灰质白云岩为主;(3)常规转盘回转钻进是在事故前进行,钻进参数:钻压120 kN,转速43~85 r/min;复合钻进是在定向绕障处理事故后进行,钻进参数:钻压40~80 kN,转盘转速43 r/min;(4)复合钻进段未计定向纠斜时间及进尺数;(5)两次钻进均采用HJT537GK型三牙轮钻头。

在1340~1520 m段钻遇以石英砂岩为主的坚硬层,机械钻速极低,钻头磨损严重。在进行钻头选型的同时也试验性地采用了复合钻进方法,使用效果见表4。通过对比发现,采用复合钻进效果不佳,这与一些钻井工程的应用结论相仿^[1,9],加之配套螺杆的耗费,复合钻进综合效益低。因此在1864 m以深钻进时,地层不再造斜,只采用了普通转盘回转钻进工艺。

表4 硬岩段钻进效率对比

对比井段/m	段长/m	钻进方法	纯钻时间/h	钻速/(m·h ⁻¹)	使用钻头数量/只
1368.77~1391.83	23.06	普通	23	1.00	1
1391.83~1467.64	75.81	复合	85	0.89	5
1467.64~1485.42	17.78	普通	23	0.77	1
1485.42~1654.95	169.53	复合	246	0.69	4
1654.95~1684.27	29.32	普通	30	0.97	1
1684.27~1753.71	69.44	复合	78	0.89	2
1753.71~1815.61	61.90	普通	82	0.75	1

注:(1)对比段为三开施工,井径215.9 mm;(2)地层岩性以砂岩为主,白云岩少量;(3)普通钻进方法为常规转盘回转钻进;(4)1485 m上部采用HJT537、HJT637型牙轮钻头为主,下部以MD537、MD637型牙轮钻头为主。

在不同岩层内,复合钻进效果各异。一般认为:软—中硬地层中,牙轮钻头碎岩是冲击、压碎、剪切作用的综合结果,转数增加,3种作用的频次增加,碎岩效率自然会提高,表现为钻速增快。强研磨的硬地层中,剪切作用效果很弱,以冲击、压碎作用碎岩为主,在螺杆200~300 r/min的高速旋转下,不但减弱了冲击、压碎作用,同时使钻头磨损加剧,致使机械钻速提升不明显,有时综合钻效反而降低。因此,采用牙轮钻头在硬岩内钻进,以增加转速来提高钻速是不可取的。

3.2 MD钻头的应用

本井钻进中,地层极强的研磨性使得钻头频频损坏,局部井段内采用的常规HTJ537、HTJ637钻头纯钻20~30 h时即面目全非,牙齿几乎全部掉落、磨平,甚至有掉轮危险,见图2,同时还存在“井瘦”问题。继续钻进,不但提高了风险,且起下钻辅助时间增加。为此,借鉴松南钻井技术^[9],在1485 m以深使用了MD牙轮钻头。

MD型钻头是为井下动力钻具开发的高速钻头系列,适应高转速钻进,具有保径能力强、稳定性好、寿命长等特点。较HJT系列钻头更换了新型轴承密封结构;采用了螺旋式或倾斜式牙掌体,有效减少



图2 HJT537GH牙轮钻头使用前后对比

钻头在井底的震动;在保径上采用了全掌背布齿结构,有效增强钻头抗缩径能力。实际在普通的低转速钻进中,该类钻头也具有好的抗磨优越性。

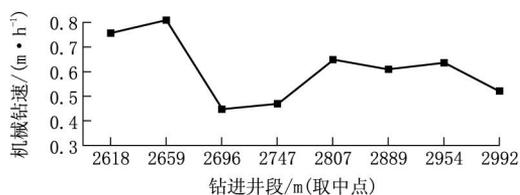
在钻进条件相同的情况下,对比1485 m上下各4个回次单只钻头纯钻时间,具体数据见表5。通过MD钻头的使用,纯钻时间明显增加,进尺也明显增长,且磨损程度也大为改观,亦未出现“井瘦”问题。

表5 MD钻头应用效果对比

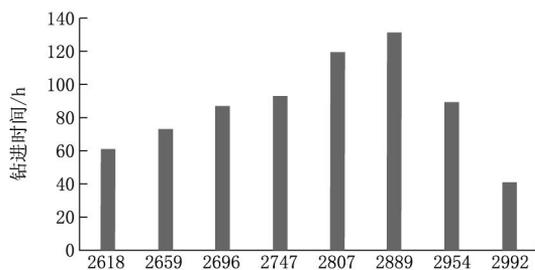
钻进井段/m	段长/m	钻进方法	钻头型号	纯钻时间/h	钻速/(m·h ⁻¹)
1422.15~1432.22	10.07	复合	HJT537GK	15	0.67
1432.22~1444.53	12.31	复合	HJT537L	18	0.68
1444.53~1467.64	23.11	复合	HJT637GH	28	0.82
1467.64~1485.42	17.78	普通	HJT737G	23	0.77
1485.42~1510.52	25.10	复合	MD537HX	31	0.81
1510.52~1560.45	49.93	复合	MD637	88	0.57
1560.45~1593.29	32.84	复合	MD537	56	0.58
1593.29~1654.95	61.66	复合	MD637	71	0.87

由于MD钻头的抗磨优势,在深部地层一直坚持使用。后期改用转盘回转方法钻进安山岩、花岗岩层,在统计2593~3005 m段的8只钻头中,单只钻头纯钻时间均可达到60 h以上,且机械钻速也比较稳定,见图3。由此可见,硬岩地层采用MD型钻头是可行的,抗磨性能是良好的。

3.3 冲洗液技术



(a) 机械钻速分布



(b) 纯钻时间

注:(1)分析段为三开施工,孔径 215.9 mm;(2)地层岩性为安山岩、花岗岩;(3)钻进方法为常规转盘回转钻进,钻进参数:钻压 80 kN,转速 43 r/min,泵量 28 L/s,泥浆密度 1.19 g/cm³,粘度 36 s;(4)钻头均采用 MD637 牙轮钻头;(5)最后回次钻头磨损轻微,仍然可以钻进。

图3 2593~3005 m 段钻进情况

针对地层情况,本井在各开施工段采用了不同的冲洗液技术,各开施工泥浆参数见表6。

表6 泥浆性能参数统计

开次	井段/m	冲洗液类型	主要冲洗液性能			环空流速/(m·s ⁻¹)
			密度/(g·cm ⁻³)	粘度/s	泵量/(L·s ⁻¹)	
一开	0~23	细分散高粘度	1.15	≥45	28	0.21
二开	23~998	清水	1.03		41	0.96~0.74
三开	998~3005	细分散低粘度	1.17	36	28	1.83~0.95

注:(1)泵室管内径 225 mm,钻杆外径 114 mm;(2)环空流速最大者为钻铤处环空,最小者为钻杆处环空;(3)二开段钻进期间平均涌水量 30 m³/h;(4)冲洗液各参数取平均值。

一开地层为山前砂卵石为主的松散层,钻进至 8 m 左右孔壁坍塌严重,同时伴有憋跳车现象,现场以控制泥浆性能为突破口,改用细分散高粘度冲洗液,通过提高粘度防止砂卵石坍塌,使用发现,粘度由 35 s 提高至 45 s(马氏漏斗)以上时,再无出现卵石坍塌问题,确保了一开表层套管的顺利下入。

二开钻进地层稳定,但出现涌水现象,冲洗液体系不能稳定,通过试用清水钻进,换用大缸套提高泵量以实现排屑。最终考虑地层涌水对泵量的贡献,核算冲洗液环空流速可达到 0.74~0.96 m/s,可以有效悬浮岩屑^[11]。施工中二开一直坚持低固相清

水钻进,在起下钻过程中检验,井内沉淀少,岩屑能及时排除。

三开钻进中,局部地层有破碎掉块现象,考虑泥浆泵能力,换用小排量钻进,现场采用了细分散低粘度冲洗液体系。该类冲洗液增加了悬浮能力,降低了循环流阻,同时可有效稳定井壁。施工期间采用了震动、旋流二级固控除砂,高效排除岩屑,确保了循环冲洗液的清洁。在钻铤脱落打捞过程中检验,泥浆性能良好,无岩屑埋卡及掉块卡阻问题。

综上,各段采用的泥浆体系符合地质条件,确保了安全钻进。

4 主要问题分析及建议

4.1 钻进效率低

本井钻遇硅质白云岩、砂岩、安山岩、花岗岩等硬岩层段较多,多数层段具有极强的研磨性,致使钻头耗费较大。二开累计使用 Ø311.2 mm 钻头 15 只,三开使用 Ø215.9 mm 钻头 43 只。通过钻头进尺情况统计,全井段内各次钻头平均钻速为 0.18~3.97 m/h,全井平均 0.90 m/h,总体分析全井的机械钻速不高,且向深部有逐步下降之势,见图4。钻进中虽然应用了螺杆复合钻进技术、MD 耐磨型钻头,但钻速仍未大幅提升。气动潜孔锤、液动潜孔锤钻进技术在硬岩中可取得良好效果^[10,12-15],今后我们应学习并应用先进的钻进技术,同时宜大力推广多工艺组合钻进技术^[16-17],以大幅提高深部硬岩钻进效率。

4.2 钻具断裂

施工至 2200 m 以深段,连续出现了 3 次钻铤断裂事故,同时出现粘损扣现象。三开钻进累计使用 Ø165 mm 钻铤 18 根,断裂 3 次,粘损扣 5 根次,见图5。经分析,3 次断裂位置相近,均为钻具组合的中和点附近。回顾以往工程也出现类似事故^[10,18-19],硬岩层内钻进,频繁震动、憋车现象,使钻具受力不均,疲劳破坏加剧,以致断裂。鉴于上述现象,在硬岩钻进中宜优化钻具组合,采取必要减震措施^[19-20],加强钻具管理^[21],以预防类似事故。

5 结语

通过承德闫营子地热井的施工,得到如下启示。

(1)通过螺杆在侧钻绕障、钻进纠斜中的应用,使处理钻井事故的途径增多,处理过程简化;采用

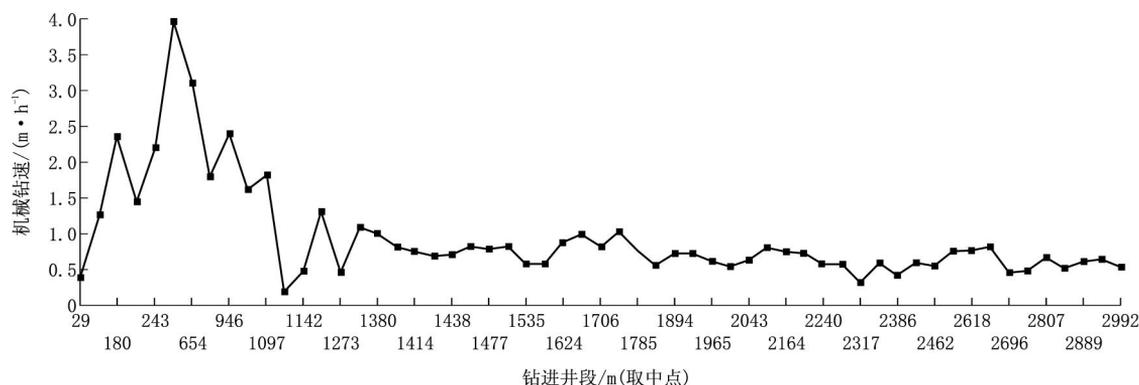


图 4 全井段机械钻速趋势

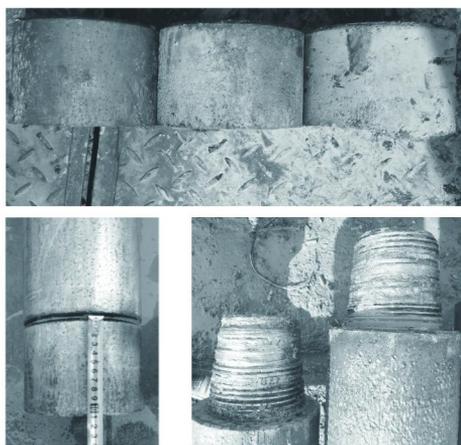


图 5 钻铤断裂及粘扣情况

螺杆复合钻进工艺,在弱研磨性地层中,对提高钻速具有明显效果,值得推广,对强研磨地层效果不佳。

(2)采用 MD 系列抗磨性钻头,对提高硬岩钻进效率效果显著,特别是在花岗岩、安山岩内钻进,效率稳定,寿命长,使用更安全。

(3)全井段钻进采用了不同的冲洗液技术,冲洗液性能与泵量的合理匹配,满足 3000 m 钻进排除岩屑的要求。

(4)按照目前的技术装备,硬岩层中钻进效率低、钻具断裂问题突出,配套技术仍需进一步提高,需要借鉴石油钻井的先进工艺。

参考文献:

[1] 申云飞. 广东东莞 1900 m 深大口径基岩地热勘探孔钻探工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S2): 257-260.

[2] 丁同领, 高嵩. 武汉-1 超深地热井钻井成井工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(8): 23-25.

[3] 魏学敬, 赵相泽. 定向钻井技术与作业指南[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012: 40-42.

[4] 孟祥波, 陈春雷, 松长青. 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.

[5] 杨富春. 超大口径钻孔施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(4): 25-30.

[6] 李得新, 首照兵, 章述. 螺杆马达在倾斜地层中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(2): 67-69.

[7] 李奇龙. 螺杆钻具在地热井钻探中的应用初探[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(3): 56-58.

[8] 赵岩, 仲玉芳. 贵州雷山县 CK1 地热勘探井施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(10): 32-35.

[9] 张建龙, 刘建华. 松南地区复合钻井技术分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(2): 15-17.

[10] 闫光庆, 张金茂, 赵全民. 普光气田超深井钻井技术的进步与思考[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(6): 38-42.

[11] 许刘万, 王艳丽. 牙轮钻头的应用领域及钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9): 60-64.

[12] 孙莉, 李瑞英, 孙义春. 古深 3 井非目的层井段气体钻井设计与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(6): 53-56.

[13] 唐传杰. 川东北元坝地区陆相深井钻井技术[J]. 西部探矿工程, 2014, 26(7): 49-54.

[14] 索忠伟, 尹慧博, 张海平, 等. 旋冲钻井技术在内蒙古意 1 井的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(3): 18-20.

[15] 王廷睿, 王少龙, 宋仁亮, 等. 液动潜孔锤钻进技术在地热深井施工中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(S1): 175-178.

[16] 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.

[17] 许刘万, 王艳丽, 刘江, 等. 影响水井钻探效率的因素及提高钻井速度的关键技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(4): 18-21.

[18] 张国旗, 何长江. 长南工区钻井提速难点认识与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(2): 31-35.

[19] 李广江, 刘永福, 李德宏. 对大 16 井断钻具事故的分析及预防措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2003, 31(6): 50-51.

[20] 王三牛, 王聪, 刘玮, 等. 科学深钻扩孔钻头及钻进技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(3): 8-13.

[21] 庞少青, 李国东, 姜彬霖. 钻探施工中钻杆折断事故原因分析及预防建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(6): 31-34.