

水平分支注浆孔卡埋钻事故处理实践

石 逊¹, 刘 江¹, 李红梅¹, 伍晓龙², 王雷浩¹

(1.河北省地矿局第九地质大队,河北 邢台 054000; 2.中国地质科学院勘探技术研究所,河北 廊坊 065000)

摘要:近年来煤矿奥灰治水注浆定向钻进技术发展迅速,多分支超深水平注浆孔数量激增。在水平注浆孔施工过程中,普遍存在地层漏失量大,泥浆突然失返,小径钻孔裸孔段长,水平段孔眼轨迹复杂,控制难度大,靶点技术误差要求严,定向仪器、工具等价格昂贵,施工风险相对较高,极易发生埋钻卡钻事故。一旦发生卡钻事故,就会面临着处理周期长、处理难度大等问题,传统的卡埋钻处理方法在水平注浆孔中应用效果不明显。通过采用空压机输送压缩空气,破坏水平孔着床的沉砂结构,将着床的沉砂吹出孔外或吹入地层裂隙,成功地实现了解卡。总结了水平注浆孔施工中卡埋钻事故的预防措施。

关键词:水平注浆孔;空压机;卡埋钻

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)09-0033-06

Treatment of drilling sticking and burial in horizontal grouting laterals

SHI Xun¹, LIU Jiang¹, LI Hongmei¹, WU Xiaolong², WANG Leihao¹

(1.No.9 Geological Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xingtai Hebei 054000, China;

2.Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: In recent years, the directional drilling technology for Ordovician limestone water control grouting has developed rapidly, leading to sharp increase in the number of multi-lateral ultra deep horizontal grouting holes. In drilling of horizontal grouting holes, there are many common problems, such as large amount of formation leakage, sudden mud loss, long open hole sections at small-diameter, complex hole trajectories of the horizontal section; great difficulty in control, strict error allowance, expensive directional instruments and tools, etc.; and relatively high drilling risk due to proneness to drill pipe sticking incidents. Once the sticking incident occurs, it will take a long period to deal with it with great difficulty. The traditional sticking treatment method doesn't work well for such incidents in horizontal grouting holes. With use of the air compressor, compressed air was supplied to destroy the sand settling structure in the horizontal hole, and blew the settled sand out of the hole or into the formation fractures; thus realizing successful treatment of sticking and burial in drilling of horizontal grouting holes. The preventive measures for sticking and burial incidents in drilling of horizontal grouting holes are summarized.

Key words: horizontal grouting hole; air compressor; sticking and burial incidents

我国煤炭储量与产量丰富,但不少煤矿的水文地质条件复杂,随着近年煤炭工业的迅速发展,煤矿安全生产中遇到的水害问题更加突出。近年来,多分支超深水平孔钻探技术已成为注浆填充加固改造、注浆堵水、疏水降压、大排量直接排水、快速救援、水文地质异常体探查等煤矿水害防治技术实施

的重要途径和手段,已成为煤矿水害防治工作的重要支撑。现在水平分支孔水平段越来越长(≥ 1500 m 的分支孔越来越多)、钻孔直径越来越小(一般为 $\Phi 152.4$ mm)等特点,在小孔眼长段水平孔事故处理过程中存在钻具强度低、摩擦阻力大、钻孔轨迹复杂、孔底定向仪器为自锁结构无法打捞、部分钻孔轨

收稿日期:2019-11-01; 修回日期:2020-08-18 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.09.006

作者简介:石逊,男,汉族,1988年生,工程师,探矿工程专业,从事固体矿产勘探、分支定向钻进技术和管理工,河北省邢台市钢铁北路416号,shixun2000@126.com。

引用格式:石逊,刘江,李红梅,等.水平分支注浆孔卡埋钻事故处理实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):33-38.

SHI Xun, LIU Jiang, LI Hongmei, et al. Treatment of drilling sticking and burial in horizontal grouting laterals[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(9):33-38.

迹井斜 $>90^\circ$ 、定向仪器价格昂贵、测卡、爆炸松扣、强力起拔成功率极低等因素。本文结合邯邢地区东庞矿 DB3 水平分支注浆孔卡埋钻事故处理过程中,空压机压缩空气破坏水平孔着床的沉砂结构,把着床的沉砂吹入孔外或地层裂隙,总结处理经验,探讨事故的预防措施,对水平注浆孔卡埋钻处理、保证安全施工具有一定的参考价值^[1-2]。

1 地质概况

1.1 构造特征

本分支孔位于邯邢地区东庞矿,区域内断层构造体系主要属新华夏系,类型以高角度正断层为主,褶曲构造相对发育。断层总体走向为北东方向的断层几乎都倾向北西;北西方向的断层几乎都倾向南西。断层倾角大多为 $50^\circ\sim 70^\circ$,断距基本在 $3^\circ\sim 50^\circ$ 之间。自上而下钻遇第四系平原组、二叠系山西组、石炭系太原组和本溪组、奥陶系峰峰组。山西组、太原组、本溪组以砂岩泥岩互层为主,稳定性差、渗透性较好、易缩径垮塌。奥陶系地层以灰岩为主,存在大量裂隙、溶洞、断层,漏失量大,经常出现泥浆失返的情况。

1.2 地层岩性

第四系地层以灰黄色、棕黄色粘土、粉质粘土夹粉、细砂层为主,疏松不成岩,层厚在 $120\sim 150\text{ m}$

之间,含不等厚砾石层,易塌,易卡钻;山西组、太原组、本溪组地层以灰色、深灰色砂岩、泥岩、煤层为主,稳定性差、易缩径、扩径、垮塌,部分含煤矿采空区,穿过采空区时需要格外注意埋卡钻等;奥陶系以灰色、深灰色灰岩为主,充在大量裂隙、溶洞,漏失量大,经常出现泥浆失返的情况。本次施工的水平注浆孔钻孔轨迹就在这层灰岩里,由于本层灰岩中存在大量的断层,导致钻孔轨迹极其不平滑,成波状,最大井斜为 99° ,最小井斜 80° 。

2 工程设计

2.1 井深结构

一开采用 $\varnothing 445\text{ mm}$ 钻头开孔进入基岩层段 10 m ,下入 $\varnothing 339.7\text{ mm}\times 9.65\text{ mm}$ 石油套管,用水泥做永久性固管;二开采用 $\varnothing 311\text{ mm}$ 钻头开孔施工至2号煤采空区下 20 m ,下入 $\varnothing 244.5\text{ mm}\times 8.89\text{ mm}$ 石油套管,用水泥做永久性固管;三开进入造斜段,采用 $\varnothing 215.9\text{ mm}$ 钻头依据造斜段轨迹控制点设计施工至奥陶系灰岩顶界面以下 2 m ,下入 $\varnothing 177.8\text{ mm}\times 8.05\text{ mm}$ 石油套管,用水泥做永久性固管;四开采用 $\varnothing 152.4\text{ mm}$ 钻头,进入奥陶系灰岩顶面下着陆点后依据分支孔控制点设计的轨迹裸孔钻进。

2.2 水平段轨迹设计

水平段轨迹设计见表1、图1~图3。

表1 水平井轨迹设计明细表

Table 1 Spreadsheet of the horizontal well trajectory design

井深/m	井斜/ $(^\circ)$	方位/ $(^\circ)$	垂深/m	视位移/m	南/北/m	东/西/m	“狗腿”度/ $[(^\circ)\cdot(30\text{ m})^{-1}]$
550.00	78.83	24.57	446.64	184.66	94.34	207.37	7.50
654.69	82.74	27.35	453.50	276.81	143.15	311.62	7.50
1159.32	79.38	27.34	533.20	719.27	371.97	809.75	7.50
1269.60	86.75	27.34	553.50	815.43	421.69	918.00	6.00
1340.00	86.93	26.99	559.12	982.14	878.12	452.79	0.00
1360.43	88.32	22.87	559.97	1002.50	896.63	461.39	6.38
1448.81	94.06	357.26	558.11	1088.50	982.87	476.72	8.90
1456.62	94.06	357.26	557.55	1095.62	990.65	476.35	0.00
1470.98	97.02	0	556.17	1108.83	1004.93	476.01	8.41
1705.35	97.02	0	527.54	1325.94	1237.55	476.01	0.00

2.3 施工难点

(1)控制点多要求精度高,且分布复杂,钻孔轨迹设计复杂,施工轨迹控制难。

(2)水平分支孔在奥陶系灰岩中,此地层溶洞、裂隙发育,施工中泥浆经常出现失返现象,易发生卡埋钻事故。

(3)钻孔水垂比 >2.6 ,井斜超过 90° ,最大井斜

97° 多,致孔内摩阻大,定向时钻具工具面难以控制。

3 施工情况

该分支孔从2019年5月开始施工,在主水平孔 1340 m 处开始侧钻钻进,钻进至孔深 1705.35 m 终孔,中途因为造斜效果不佳,提钻换螺杆2次,提钻过程中未发现明显的卡钻现象,但孔内摩擦阻力偏

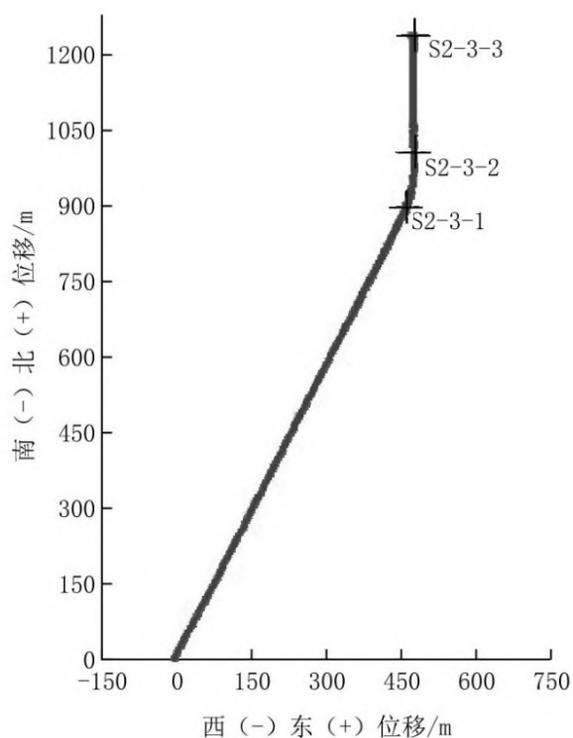


图 1 平面投影图

Fig.1 Plan projection

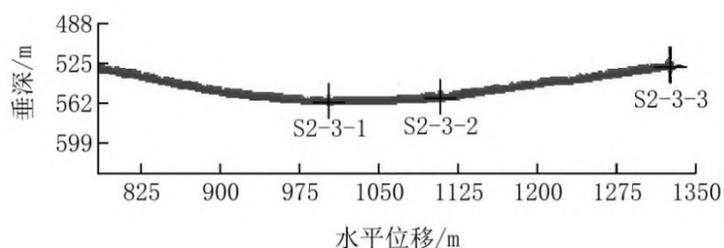


图 2 垂直投影图

Fig.2 Vertical projection

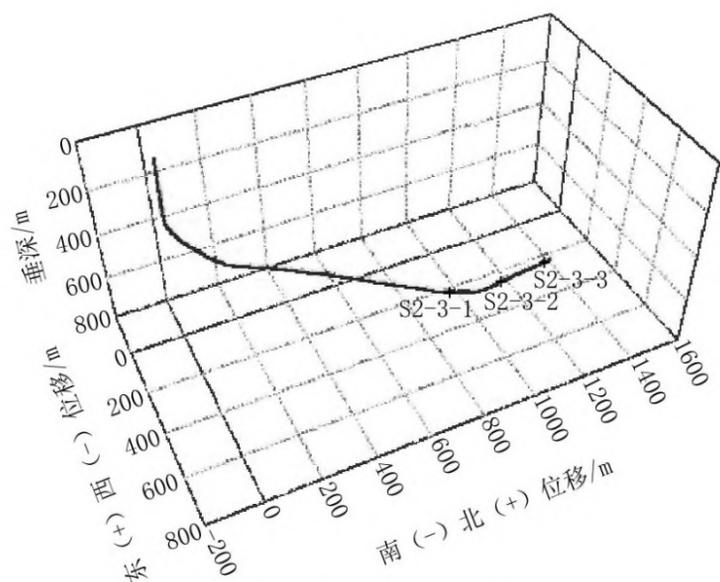


图 3 三维立体投影图

Fig.3 Three dimensional projection

大,泥浆失返 2 次,每次泥浆失返后或漏失量 $> 5 \text{ m}^3/\text{h}$ 均提钻注浆,孔口起压至 5.5 MPa 后继续扫孔钻进。施工期间根据岩屑判断,钻孔轨迹一直在奥陶系灰岩中,满足设计要求。

4 事故发生经过

2019 年 6 月 6 日下午 15:00,该水平分支井在钻进至 1701.50 m 时,泥浆失返。汇报至甲方后,经甲

方指令,顶漏钻进至 1705.35 m 终孔,然后活动钻具,等待甲方人员进行现场验收,期间活动钻具 2 次。

甲方人员于 16:00 到达井场,至 17:00 验收工作完成后,同意起钻。我队随即安排钻机起钻,起钻第一根时,悬重显示正常,拉力 600 kN(摩擦阻力在 100~150 kN 之间);起钻第二根钻杆时,拉力到 750 kN,钻杆上提至下接箍位置时,钻杆上提不动,上下活动范围在 50 cm 左右,最后活动钻具,经过上提拉力 1300 kN、下压钻具 250 kN、转动钻具 9.5 圈,扭矩 13 kN·m,震击器震击等方法均无法活动钻具后判断下部钻具被卡死。

钻具组合: $\text{O}152.4 \text{ mm}$ PDC 钻头 + $1.5^\circ \text{O}121 \text{ mm}$ 螺杆 + $\text{O}121 \text{ mm}$ 定向接头 + $\text{O}121 \text{ mm}$ 无磁钻铤 + $\text{O}89 \text{ mm}$ 钻杆 + $\text{O}89 \text{ mm}$ 加重钻杆 + $\text{O}89 \text{ mm}$ 钻杆。

选用无固相泥浆作为冲洗液。冲洗液性能指标:粘度 18~40 s,密度 1.01~1.05 g/cm³,pH 值 7~9。

5 卡钻原因分析

5.1 砂桥形成的最主要的原因

首先是泥浆突然间失返,大量岩屑未来得及排出孔内,水平孔段内存在着大量岩屑沉淀^[3-10]。S2-3 孔钻进至 1705.35 m 时终孔,终孔后要对钻孔轨迹进行复测,由于 MWD 仪器信号不稳定,反复开泵测斜,造成钻具在孔内停留时间长,泥浆密度 1.01~1.05 g/cm³ 之间,岩屑运移效果差,导致岩屑沉淀过多。

其次是钻孔轨迹从 550 m 的井斜 79° 到 1360 m 的井斜 88° 再到 1700 m 的井斜 97° 。整条轨迹在 800~1200 m 之间形成一个波谷型轨迹(图 2、图 3 的 S2-3-1 孔段附近),此处极易堆集岩屑。

5.2 不排除粘卡的可能性

施工过程中,岩屑上返受钻孔轨迹的影响自我磨损,形成大量固相成分,造成泥饼质量差,但其他泥浆性能指标符合设计技术要求。

其次就是复测时,钻具在孔底不能活动,开泵后等待数据稳定大概 7 min,再加上卡钻前仪器信号不稳定,造成了钻具静止时间 $> 10 \text{ min}$ 。

6 事故处理过程

卡钻事故发生后,不间断地活动钻具,正循环从钻杆里注入解卡剂,没有明显效果,分析原因:泥浆泵可以打开,环空内灌水无法灌满,判断下部钻具未被埋死,卡点上部与下部漏点存在通道。漏失情况

下,解卡剂再多也无明显效果^[7,11-17]。

6月8日,早晨8:00,用5 m³/h抽水泵从环空向孔内灌水。灌水后发现依旧漏失,下部存在连通通道,研究后决定使用空压机向孔内注入压缩空气,目的是使用压缩空气破坏水平孔着床的沉砂结构,或者把着床的沉砂吹入地层裂隙。

中午12:00,再次向环空灌水,观察埋钻情况。但此次灌水15 min内即灌满井筒,停泵后水位逐渐下降。反复几次后,井筒内依旧能灌满水,但水位一直在有规律的下降。此时,分析下部通道很可能已被堵,但没有堵死,同时也证明着床的沉砂在移动。

晚上21:00,空压机、增压机连接管道等(见图4)准备就绪,向环空注入压缩空气,风量30 m³/min,额定工作压力3.4 MPa,效果不明显。分析原因:单个空压机风量偏小,压力不够(计算孔内静水压力约6 MPa)。持续注入至6月9日8:00,然后再次使用5 m³抽水泵向环空灌水,此次所灌水全漏失,无法灌满井筒。证明空压机压缩空气对清理孔内沉砂有一定的效果。

6月10日,同时使用2台空压机(①DWQ1070XHH,额定流量30.3 m³/min;②XRYS1150CD7,额定流量32 m³/min)和1台增压机(增压机型号:B7-41-1000,额定流量69 m³/min),向钻孔环空注入压缩空气,开始时压力上升至5.1 MPa然后逐渐下降至4.6 MPa后保持稳定,增压机转速一直保持在1800 r/min左右。2 h后停止注入压缩空气,打开泄压阀和井口装置,开始活动钻具,依旧无法上提出来。钻具悬重下压至20 t旋转钻具10圈,扭矩增大至5 kN·m左右稳定,停止后,2 min内扭矩释放,钻具未倒转,不断上提下放钻具,上提至60 t旋转钻具时,扭矩急剧上升,同时运转泥浆泵,泵量20 m³/h逐渐上涨至60 m³/h。期间孔口间歇返浆,返浆时有气体上返。再次转提活动钻具,扭矩初始较大,最大达10 kN·m,钻具上提到120 t,悬重回落至正常吨位,之后上提正常,钻具解卡,事故处理现场见图4。

7 卡钻的性质及分析

分析认为,该孔卡钻是单弯螺杆卡钻或是岩屑着床卡钻为主,可能也有粘卡的成分。岩屑床的形成是泥浆突然失返后,泥浆内的岩屑沉淀及开泵试仪器时产生的泵压激荡引起裂隙中岩屑返回孔内所



空压机



钻机

图4 卡埋钻事故处理现场

(北京天合众帮勘探技术股份有限公司研制的CMD180T模块化钻机)

Fig.4 Site for stick and burial incidents

(CMD180T modular drilling rig developed by

Beijing Tianhe Zhongbang Exploration Technology Co., Ltd.)

形成的,理由有下面几点^[12-14,16,18-25]:

- (1)卡钻发生前,泥浆失返,大量岩屑没有及时排出孔外。
- (2)在事故处理过程中,孔内出现了循环通道不通,井筒内灌满水的现象。
- (3)循环槽里的岩屑比正常少将近2/3。
- (4)在孔口间歇返浆时,泥浆中含有大量岩粉及岩屑。
- (5)解卡后,940~1100 m段的钻杆相对通常磨损发亮,部分接箍上沾有岩屑。

8 水平井复杂事故预防措施

针对本次卡钻事故,结合近年来水平注浆孔的施工经验,总结出以下几条水平孔事故的预防措施^[1,3,14,16,23-25]。

(1)保证水平孔内的干净,由于水平注浆孔一般都是大位移、井斜基本在80°~100°之间,钻进产生的岩屑在自重作用下,运移困难,容易在井壁下沉淀堆集,形成岩屑床,使孔内复杂化,加大施工难度。鉴于水平注浆孔的特殊要求,可采用以下一些措施:

①在仪器设备允许的情况下,尽可能提高泥浆泵泵量,保证泥浆的上返速度,进而减少岩屑着床堆集,达到净化孔壁的作用。据所查资料显示,在各种定向孔施工中,不管使用层流还是紊流,提高泥浆的

上返速度都能使得携岩能力增大。

②由于此类注浆孔一般情况下都会限制泥浆性能中的部分技术指标,如粘度、密度等。加强泥浆的润滑性,减少岩屑与孔壁之间的摩擦力也可以提高岩屑上返速度。

③在水平孔钻进施工时有计划地进行钻杆短起,以破坏岩屑着床,起到清洗孔壁的作用。在水平段中,钻杆紧贴下孔壁,钻具的上下活动,钻杆的接箍部位能够破坏刮开沉积的岩屑,破坏岩屑着床,使岩屑分散在泥浆中,随着泥浆排出孔口,达到孔内净化的效果。

④在施工中尽可能的采用复合钻进,保证钻具的转动,来搅动着床岩屑及泥浆,形成紊流,在大泵量的配合下将岩屑排出孔口。

⑤有意识地控制钻效,避免进尺太快,短时间内产生大量岩屑,无法及时排出孔外。

⑥避免钻进过程中泥浆和钻具的长时间静置。

⑦科学有效地使用泥浆固控系统,保证泥浆的性能指标。

(2)井壁稳定性也是水平孔施工安全的重要指标,井壁失稳,极易造成卡、埋、粘钻事故。

①提高泥浆性能,特别是泥饼性能、失水性、润滑性等指标。

②加快钻进速度,缩短钻进工期,减少井壁裸露时间。

(3)优选钻头,坚决杜绝钻头事故的发生。钻头应选用质量好,高寿命的钻头。

(4)螺杆应选用使用寿命长、强度高的。在水平孔施工中,螺杆断落,打捞极其困难。

(5)在保证造斜率的情况下,尽可能地采用复合钻进的方法钻进,这样既可以保证钻孔轨迹的平滑性,又可保证岩屑的排出,保证孔内的干净。

(6)加强钻孔轨迹的设计和控制,尽量减少轨迹曲率的互增互降,减少局部曲率过大的现象。保证钻孔轨迹的平滑性、曲率的合理性。

(7)在设备允许的情况下,倒划起钻,破坏着床岩屑避免卡埋钻事故的发生。

(8)加强设备维修保养,保证施工的连续性。

9 结语

水平分支注浆孔技术要求高,施工工艺复杂,仪器设备费用昂贵,出了孔内事故难以处理,为了保证

孔内安全,必须确保井壁稳定、泥浆性能良好、钻孔轨迹优化平滑。

通过本次事故处理实践,对现行的技术措施进行了改良(包括增加泥浆性能的润滑性、钻进工艺参数的优化、钻具级配的优化调整),增进了事故处理方面的管理与预案,加强对技术人员进行培训,让现场作业人员熟悉工作要领,明确关键点的把控,对事故的预防措施进行交流总结,减少孔内事故的发生。

参考文献(References):

- [1] 耿书肖,张永青,奚国银,等.水平井卡钻事故处理实践及预防措施探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(2):9-13.
GENG Shuxiao, ZHANG Yongqing, XI Guoyin, et al. Treatment practice for sticking failure in horizontal well and discussion on the prevention measures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(2):9-13.
- [2] 李光宏.东庞煤矿 DB2-E5 井侧钻水平钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):52-55,69.
LI Guanghong. Sidetracking horizontal drilling technology in Well DB2-E5 of Dongpang Coal Mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(7):52-55,69.
- [3] 胡茂焱,程金霞,郑秀华,等.钻井液优化设计系统[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(8):53-55.
HU Maoyan, CHENG Jinxia, ZHENG Xiuhua, et al. Drilling fluid optimization design system[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2004,31(8):53-55.
- [4] 曹主军.随钻测量定向钻进技术在矿井顶板水患治理中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):23-27.
CAO Zhujun. Application research on directional drilling with MWD in roof water control [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(2):23-27.
- [5] 石智军,李泉新,姚克.煤矿井下水平定向钻进技术与装备的新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):12-16.
SHI Zhijun, LI Quanxin, YAO Ke. Latest developments of horizontal directional drilling technology and the equipments for underground coal mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(1):12-16.
- [6] 郭益辉,王斌,桑鹏.随钻测量钻进技术在煤矿井下瓦斯抽放中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(1):32-34.
GUO Yihui, WANG Bin, SANG Peng. Application of measurement while drilling for gas drainage in underground coalmine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(1):32-34.
- [7] 赵殿河.空压机清理孔底沉渣在桩基础施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(2):29,42.
ZHAO Dianhe. Application of air compressor removing hole bottom settling residue in pile foundation project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2005,32(2):29,42.
- [8] 陈伟武.介休鑫峪沟煤矿地面 2 号注浆孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):63-68.
CHEN Weiwu. Drilling technology for the No.2 grouting hole in Jiexiu Xinyugou Coal Mine[J]. Exploration Engineering

- (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(9): 63-68.
- [9] 刘志强, 童军兵, 谢宏军, 等. 黑龙江金厂矿区定向分支孔施工实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(1): 17-20.
LIU Zhiqiang, TONG Junbing, XIE Hongjun, et al. Practice of directional branch hole construction in Jinchang Mining Area of Heilongjiang[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(1): 17-20.
- [10] 刘正斌, 王伟, 周青荔, 等. 定向钻探技术在大口径钻孔施工中的应用[J]. 探矿工程, 2004, 31(6): 49-51.
LIU Zhengbin, WANG Wei, ZHOU Qingli, et al. Application of directional drilling in large diameter borehole[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2004, 31(6): 49-51.
- [11] 梁贵和, 邓宏文, 曹光奇. 增压机在处理基岩地层压差卡钻事故中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(10): 50-53.
LIANG Guihe, DENG Hongwen, CAO Guangqi. Application of booster for differential pressure sticking disposing in bedrock stratum[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(10): 50-53.
- [12] 翟育峰. 汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD-4S 孔卡钻事故处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(1): 15-17.
ZHAI Yufeng. Treatment of sticking accident in WFSD-4S of Wenchuan Earthquake fault scientific drilling project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(1): 15-17.
- [13] 谭元铭, 段海波, 李若莹, 等. 川西地区水平井下套管复杂情况分析及其改进措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(12): 16-19, 23.
TAN Yuanming, DUAN Haibo, LI Ruoying, et al. Casing RIH difficulties and improvement measures for horizontal wells in Western Sichuan Province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(12): 16-19, 23.
- [14] 张建龙, 温伟, 刘卫东, 等. 顺北 14-H 井超深小井眼中短半径水平井 钻井难点及技术对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(4): 17-22.
ZHANG Jianlong, WEN Wei, LIU Weidong, et al. Drilling difficulties and technical countermeasures for medium-short radius horizontal well in super-deep slim hole Shunbei 1-4H[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(4): 17-22.
- [15] 边杰, 崔爱贞, 和鹏飞, 等. C6H 水平井三维轨迹优选与控制技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(5): 24-26.
BIAN Jie, CUI Aizhen, HE Pengfei, et al. Three dimension trajectory optimization and control technology for unconventional well construction in Bohai[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(5): 24-26.
- [16] 孙庆春, 赵利锋, 刘涛. 大牛地气田水平井通井卡钻处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(9): 34-37.
SUN Qingchun, ZHAO Lifeng, LIU Tao. Sticking treatment in drifting for a horizontal well of Daniudi Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(9): 34-37.
- [17] 李雪峰, 白玉鹏. 空气反循环连续取样施工中卡钻事故的预防与处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(8): 40-45.
LI Xuefeng, BAI Yupeng. Prevention and treatment of string sticking accidents in air reverse circulation continuous sampling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(8): 40-45.
- [18] 李振杰, 徐云鹏. 定向井处理粘吸卡钻事故的技术方法[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(6): 24-27.
LI Zhenjie, XUN Yunpeng. Treatment technology for drilling pipe sticking accident in directional well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(6): 24-27.
- [19] 于雷, 冯光通, 李海斌, 等. 桩西滩海中生界地层水平井钻井液技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(4): 23-26.
YU Lei, FENG Guangtong, LI Haibin, et al. Horizontal well drilling fluid technology at Mesozoic formation of Zhuangxi beach area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(4): 23-26.
- [20] 王松珍. 气举反循环钻进工艺高发钻铤折断事故分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(7): 34-40.
WANG Songzhen. Analysis of high incidence drill collar breakage in air lift reverse circulation drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(7): 34-40.
- [21] 魏纳, 李蜀涛, 陈亮, 等. AD401-7 井定向井卡钻复杂事故的处理及分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(4): 10-16.
WEI Na, LI Shutao, CHEN Liang, et al. AD 4017 directional well's processing and analysis of drilling complex accident[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(4): 10-16.
- [22] 李振杰, 徐云鹏, 王平, 等. SR-28 地热井坍塌卡钻事故的处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9): 49-51.
LI Zhenjie, XU Yunpeng, WANG Ping, et al. Treatment of drill pipe sticking in SR-28 geothermal well collapsing accident[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(9): 49-51.
- [23] 卢予北, 刘志国, 程存平, 等. 钻井过程中钻具吸附卡钻事故成因与处理技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(12): 33-35.
LU Yubei, LIU Zhiguo, CHENG Cunping, et al. Causes and treatment of adsorptive sticking while drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2004, 31(12): 33-35.
- [24] 张文哲, 李伟, 符喜德, 等. 延长油田罗庞塬区水平井钻井液防塌技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(7): 15-18.
ZHANG Wenzhe, LI Wei, FU Xide, et al. Research on anti collapse technology of horizontal well drilling fluid in Luopangyuan Block of Yanchang Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(7): 15-18.
- [25] 聂新明, 钱迪. 东庞矿奥灰含水层多分支水平孔卡埋钻事故处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(11): 38-42.
NIE Xinming, QIAN Di. Treatment of the drill rod sticking and burying incident in a multi-branch horizontal drilling in the Ordovician limestone aquifer of Dongpang Mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(11): 38-42.

(编辑 韩丽丽)