

阳山矿区严重漏失垮塌地层钻进工艺及工程实践

杨科, 罗龙*, 曹灶开, 廖麟祥, 涂晓彬

(中国地质调查局军民融合地质调查中心, 四川 成都 610036)

摘要:严重漏失、垮塌地层快速钻进工艺的研究与应用是当前固体矿产勘查地质岩心钻探亟需解决的问题之一。文章结合甘肃阳山金矿钻探工程实践, 针对长孔段的严重漏失、垮塌地层, 总结了一套适用于该矿区快速勘探的绳索取心钻进和全面钻进、顶漏钻进工艺, 采用水泥临时封堵、套管封堵、扩孔、跟管等方式进行封堵的钻进方法, 分析了其应用效果, 提出了在该地层钻进的认识与思考, 以期为同类型地层钻探提供参考。

关键词:顶漏钻进; 漏失地层; 垮塌地层; 全面钻进; 绳索取心钻进; 阳山矿区

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2024)02-0119-08

Drilling technology and engineering practice for seriously lost and collapsed formation in Yangshan Mining Area

YANG Ke, LUO Long*, CAO Zaokai, LIAO Linxiang, TU Xiaobin

(Civil-Military Integration Geological Survey Center of China Geological Survey, Chengdu Sichuan 610036, China)

Abstract: The research and application of rapid drilling techniques for drilling through severely permeable and collapsed formations is one of the urgent issues to be addressed in solid mineral exploration geological core drilling. Combined with the practice of drilling engineering in Yangshan gold mine in Gansu Province, in view of the serious leakage and collapse of the long hole section, this article summarizes a set of drilling techniques suitable for rapid exploration in this mining area, which includes wire-line core drilling and full-hole drilling blind drilling technology used to quickly passing through the formation, and cement temporary plugging, casing plugging, reaming, following pipe used to plug the formation, and analysis their application effects. At last, the understanding and thinking of drilling in the formation were proposed. This article is intended to provide a reference for drilling in similar formation.

Key words: blind drilling; lost formation; collapsed formation; full-hole drilling; wire-line core drilling; Yangshan Mining Area

0 引言

甘肃阳山金矿位于西秦岭造山带的陕甘川“金三角”地区, 是1997年由武警黄金第十二支队发现的超大型岩金矿床。经初步勘查控制, 阳山金矿目前已获金推断内蕴经济资源量超过400 t, 是亚洲第一、世界第四大岩金矿床^[1-2]。由于矿区内受安昌河-观音坝断裂带的强烈影响, 区内褶皱、断裂构造

遍布, 节理、片理、裂隙较发育, 断层面周围岩石形成强烈破碎, 加之部分岩层软硬不均, 交替变化频繁, 胶结性差, 施工过程中, 孔壁严重坍塌、掉块、漏失、涌砂、采心难等问题层出不穷, 尤其是长孔段的“孔壁坍塌+严重漏失”复杂地层的问题, 已经成为制约矿区钻探施工的“瓶颈”^[3-6]。

孔壁坍塌、漏失是岩心钻探过程中常见的复杂

收稿日期: 2023-10-08; 修回日期: 2023-11-19 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.02.016

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“甘肃阳山金矿岩金普查”(编号: DD20191028)

第一作者: 杨科, 男, 汉族, 1988年生, 高级工程师, 硕士, 从事钻探施工管理与技术研究工作, 四川省成都市金牛区茶店子路399号, 395241315@qq.com。

通信作者: 罗龙, 男, 汉族, 1983年生, 高级工程师, 勘查技术与工程专业, 硕士在读, 主要从事地质工程与钻探工程施工管理及技术研究工作, 四川省成都市金牛区茶店子路399号, 61937162@qq.com。

引用格式: 杨科, 罗龙, 曹灶开, 等. 阳山矿区严重漏失垮塌地层钻进工艺及工程实践[J]. 钻探工程, 2024, 51(2): 119-126.

YANG Ke, LUO Long, CAO Zaokai, et al. Drilling technology and engineering practice for seriously lost and collapsed formation in Yangshan Mining Area[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2): 119-126.

情况,孔壁坍塌、冲洗液漏失可能会导致卡钻、埋钻、烧钻等孔内事故的发生,极大影响钻探施工的正常进行^[7-10]。针对机械岩心钻探中地层坍塌、漏失问题,国内学者进行了大量研究和工程实践,各种类型(化学、凝胶、水泥)护壁堵漏冲洗液体系、套管封堵技术、跟管钻进技术等得到广泛的研究与应用^[11-20]。但这些研究和工程实践往往针对单一复杂工况,对于长孔段“孔壁坍塌+严重漏失”复杂地层的研究和工程实践较少。

本文依托“甘肃阳山金矿岩金普查”项目,基于XY-6B型立轴式钻机、CSD1800X型全液压钻机,针对阳山矿区ZK2216、ZK3024、ZK2616、ZK3416钻孔长孔段“孔壁坍塌+严重漏失”地层特点,采用绳索取心和全面钻进的组合钻进工艺,成功穿过上部漏失层,并最终顺利终孔。最后,结合钻孔施工情况,分析了其应用效果,总结了一套适用于该矿区快速勘探的钻探工艺,并提出了在该地层钻进的认识与思考,以期同类型地层钻探提供参考。

1 钻探工程概况

2020年,“甘肃阳山金矿岩金普查”项目在阳山矿区18~34勘探线布置了4个钻孔施工任务,其中,ZK2216孔设计孔深870 m、倾角90°,ZK3024孔设计孔深970 m、倾角90°,由Y01机台采用XY-6B型立轴式钻机施工;ZK2616孔设计孔深480 m,ZK3416孔设计孔深530 m,倾角均为90°,由Y02机台采用CSD1800X型全液压钻机施工。

该区域从地表至100~300 m孔深地层为第四系马兰黄土和残坡积物,马兰黄土为浅黄色粉砂质亚粘土,厚5~10 m,风积而成;残坡积物由灰岩和粘土等组成,破碎、裂缝大(图1),厚度为100~300 m。由于破碎灰岩层裂隙极度发育,且易垮塌,钻孔从孔深10 m以内开始全孔漏失,水位离孔底一般不超过5 m。

在施工过程中,上部0~300 m孔段钻遇长孔段的严重漏失、垮塌地层,常规取心钻进、扩孔钻进、跟管钻进或顶漏钻进方法在孔内安全性和施工效率上得不到保证。由于破碎、裂缝大,漏失严重,且漏失段长,堵漏材料和水泥浆封堵效果差,即使堵漏成功,揭开地层后再次失返性漏失,局部孔段有掉块,给钻探施工带来了极大的困难,卡钻、断钻等孔内事故频发。由于对地层复杂情况估计不足,且

受限于矿区原有材料设备,前期施工中发生大量孔内事故,直接影响了钻进效率、钻探质量和经济效益。后经过摸索,采用绳索取心顶漏钻进工艺、全面钻进顶漏钻进工艺成功穿过上部漏失层,最终全部顺利终孔。



图1 ZK2216孔孔深124.22~127.22 m岩心

Fig.1 ZK2216 core with the depth of 124.22~127.22m

2 施工难点

2.1 堵漏困难

由于地层破碎,裂隙极其发育,裂隙宽度不等,大多1~5 mm,局部形成有裂隙型空腔,施工中采用各类堵漏材料均效果不佳,即使偶尔成功,但随着钻进深入,新工作面出露,钻孔立即失返性漏失。

2.2 孔内岩粉排出不畅

由于严重漏失,冲洗液不能形成完整循环,部分岩粉随着裂隙和孔洞流失,但有时部分较大颗粒不能排出也不流失,轻则导致重复破碎降低钻进效率,重则导致卡钻、埋钻事故发生。

2.3 内管投放困难

采用绳索取心顶漏钻进时,由于孔内水位低,内管无法直接投放,用打捞器将内管送到位后,也不能直接投放脱卡器。

2.4 钻杆润滑减阻效果差

钻进时,漏失层以浅部位无冲洗液循环,钻杆与孔壁处于干摩擦状态。一方面由于钻杆直接敲击孔壁,影响孔壁稳定;另一方面钻杆磨损加剧,扭矩也增大,易导致孔内垮塌和断钻、脱扣事故发生。

2.5 护壁困难

顶漏钻进时,一方面由于没有冲洗液平衡地层应力,另一方面由于钻杆与孔壁干摩擦,导致孔壁失稳,易发生因孔壁坍塌掉块而引发的卡钻、埋钻事故。

2.6 易发生烧钻事故

顶漏钻进时,钻柱内冲洗液大多处于不满管状态,通过钻头的冲洗液流量不均匀,加之孔口不返水,操作人员不能通过孔口返水情况判断钻进情况,易发生烧钻事故。

3 施工技术措施

3.1 处理思路

针对该地层,解决问题的主要思路是快速穿过、安全封堵,难点是保持孔壁稳定。破碎不稳定地层裸露时间越长、受冲洗液冲刷时间越长以及受钻杆敲击时间越长,越不稳定。操作上,一方面要

减小地层扰动、提高地层岩石间胶结力;另一方面要用最快速度穿过该地层,下入套管安全封堵。实际施工中,结合矿区已有设备(立轴式和全液压钻机)和施工工艺,采用绳索取心钻进和全面钻进顶漏钻进工艺快速穿过,采用水泥临时封堵、套管封堵、扩孔、跟管等方式进行封堵^[21-26]。

3.2 全面钻进工艺

全面钻进具有辅助时间少、机械钻速高、冲洗液可调范围广等特点,广泛应用于油气钻进领域。适用于无矿化矿脉地层,且经地质同意,放宽部分孔段取心要求或采取其他方式补心的孔段。

3.2.1 钻具组合

(1) $\varnothing 152.4$ mm 牙轮钻头(或复合片全面钻头)+双母变丝接头+ $\varnothing 149$ mm 稳定器+ $\varnothing 120.7$ mm $\times$ $\varnothing 50.8$ mm 钻铤+变丝接头+PQ 钻杆(见图2),达到设计位置后,下入 $\varnothing 146$ mm 套管封隔坍塌、掉块。

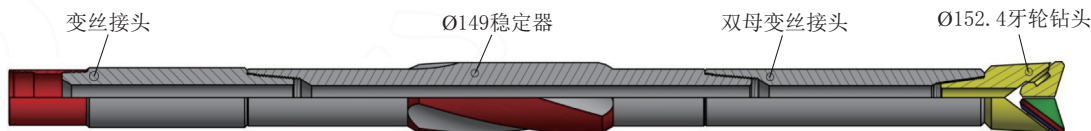


图2 $\varnothing 152.4$ mm 牙轮钻头全面钻进钻具组合

Fig.2 Full-hole drilling BHA of $\varnothing 152.4$ mm roller bit

(2) $\varnothing 133.4$ mm 牙轮钻头+双母变丝接头+ $\varnothing 130$ mm 稳定器+ $\varnothing 104.8\times\varnothing 50.8$ mm 钻铤+变丝接头+PQ 钻杆,达到设计位置后,下入 $\varnothing 114$ mm 套管。

3.2.2 全面钻进钻头

选用PDC(复合片)全面钻头和镶齿型三牙轮钻头(见图3、图4)。



图3 $\varnothing 152.4$ mm PDC 全面钻头

Fig.3 $\varnothing 152.4$ mm PDC rock bit



图4 $\varnothing 152.4$ mm 镶齿三牙轮钻头(S537G)

Fig.4 $\varnothing 152.4$ mm toothed three-wheel roller bit(S537G)

PDC 全面钻头适用于钻进软—中硬地层,钻进效率较高,但在软硬互层时钻具憋、跳严重。牙轮钻头通过牙轮滚动带动其上切削齿冲击、压碎和剪切破碎岩石,能适应软—中硬的多种地层钻进,钻进相对平稳,钻机加压12~15 kN 能维持较正常的钻进效率。

3.2.3 钻进参数

理论钻压 $0.4\sim 0.95\text{ kN/mm}$ (钻头直径) (施工中钻压实际只加到 $30\sim 40\text{ kN}$, 超过 50 kN 将憋、跳频繁), 转速 $60\sim 150\text{ r/min}$, 选用高钻压时用低转速, 选用高转速时用低钻压, 二者不能同时使用上限。泵量较大, $120\sim 150\text{ L/min}$ 。

3.2.4 其他技术措施

3.2.4.1 冲洗液选择

采用聚丙烯酰胺无固相冲洗液, 润滑性更好、携带岩粉能力强, 能将岩粉运送至漏失层, 孔底更干净; 相对常规冲洗液用量小、配制方便、成本低。

3.2.4.2 润滑减阻处理

通过从孔口钻柱与孔壁间注入润滑减阻材料 (浓度 $15\sim 20\text{ g/L}$ 聚丙烯酰胺水溶液, 每 1 h 注入 $50\sim 100\text{ L}$) 或者在钻杆表面直接涂抹润滑材料的方法, 降低钻杆与孔壁的干摩擦、减轻对孔壁的扰动、降低钻杆扭矩和钻机负荷, 减少事故发生的概率。

3.2.4.3 岩粉捞取

采用全面钻进工艺时, 对于部分孔内残留岩粉, 采用取粉管捞取。施工中采用自制取粉工具 (见图5), 取粉管下端的左旋螺纹母扣连接在变径接头上端, 取粉管上端开口呈马蹄形, 收集岩渣。取粉管直径与岩心管相同, 取粉管长度 1.00 m 左右。变径接头上端中部为小直径钻杆螺纹 (与小直径钻杆相连)、上端外部加工左旋螺纹公扣 (与取粉管相连), 变径接头下端为右旋螺纹公扣 (与岩心管相连)。利用冲洗液悬浮岩渣, 关泵后岩渣沉淀到取粉管内。

3.2.4.4 钻孔护壁

采用灌水泥和下套管进行封堵。灌水泥用于

钻遇破碎带、裂隙层, 套管因层级孔深不能下入时短时间性维护孔壁稳定及堵漏的临时性封堵。封堵效果不稳定, 孔壁可能再次垮塌、漏失。下套管用于破碎带、裂隙层水泥封堵无效、钻孔形成大空腔或已达设计层级孔深时长期性封堵。封堵效果好, 且安全稳定。

3.3 绳索取心钻进

绳索取心钻进具有劳动强度低、地质效果好、生产效率高、钻探成本低等优点, 可显著提高钻进效率, 保证岩心质量, 岩心采取率一般较高。广泛适用于岩心钻探领域。

3.3.1 $\varnothing 150\text{ mm}$ 金刚石/硬质合金单管钻具组合

$\varnothing 150\text{ mm}$ 金刚石/硬质合金钻头 + $\varnothing 146\text{ mm}$ 套管钻具 + 变丝接头 + PQ 钻杆, 达到设计位置后, 下入 $\varnothing 146\text{ mm}$ 套管封隔坍塌、掉块。

硬质合金单管钻进选用八角柱状硬质合金。钻压 $1\sim 5\text{ kN}$, 转速 $100\sim 200\text{ r/min}$, 泵量 70 L/min 。

金刚石单管钻进钻头参数: 粒度 $60\sim 80$ 目, 胎体硬度 (HRC) $35\sim 40$, 金刚石浓度 100% 。钻压 $1\sim 3\text{ kN}$, 转速 300 r/min , 泵量 56 L/min 。

3.3.2 PQ 绳索取心钻具组合

$\varnothing 122\text{ mm}$ 金刚石钻头 + 下扩孔器 + 钻具 + 上扩孔器 + $\varnothing 114\text{ mm}$ 钻杆, 达到设计位置后, 换上套管鞋, 直接以 $\varnothing 114\text{ mm}$ 钻杆为套管封隔坍塌、掉块孔段。

钻进规程参数: 钻压 $10\sim 14\text{ kN}$, 转速 $170\sim 350\text{ r/min}$, 泵量 90 L/min 。

3.3.3 HQ 绳索取心钻具组合

$\varnothing 98\text{ mm}$ 金刚石钻头 + 下扩孔器 + 钻具 + 上扩孔器 + $\varnothing 91\text{ mm}$ 钻杆, 达到设计位置后, 下入 $\varnothing 96\text{ mm}$ 套管封隔坍塌、掉块孔段。

选用普通孕镶金刚石钻头, 粒度 $40\sim 80$ 目, 胎体硬度 (HRC) $35\sim 40$, 金刚石浓度 100% 。扩孔器选择孕镶金刚石扩孔器。钻进规程参数: 钻压 $8\sim 12\text{ kN}$, 最大不超过 15 kN , 转速 $220\sim 450\text{ r/min}$, 泵量 $60\sim 90\text{ L/min}$ 。

3.3.4 其他技术措施

采用绳索取心钻进投放内管时, 需采取特殊处理。实践中, 一是将脱卡器截断成两截, 减轻对内管上部冲击力的同时, 也可以当 2 根使用; 二是每次投放脱卡器之前, 往钻杆内灌入 $10\sim 20\text{ L}$ 较浓的聚丙烯酰胺溶液, 再泵入冲洗液, 防止钻柱内冲洗液



图5 自制取粉工具

Fig.5 Homemade Sediment Tube

快速漏失。

冲洗液配置、润滑减阻处理、钻孔护壁处理与全面钻进相同。

4 现场应用效果

4.1 全面钻进现场应用效果

Y01机台施工2个孔,ZK2216孔设计孔深870

m,ZK3024孔设计孔深970 m。前期施工的ZK2216孔由于对施工难度预料不足,采用常规“绳索取心钻进+扩孔工艺+跟管工艺”,投入大量人力物力情况下,发生多次卡钻、断钻并埋钻事故,处理无效,挪孔2次。后经地质部门同意,在2个钻孔上部漏失层采用全面钻进工艺进行施工,施工效果如表1、表2所示。

表1 全面钻进漏失层位封隔效果

Table 1 The sealing effect/average speed statistics of full-hole drilling leakage layer

孔号	封隔段		封隔方法	封隔段施工时间/h	平均封隔效率/(m·h ⁻¹)	封隔效果	备 注
	孔段/m	长度/m					
ZK2216-1	8.61~120.33	111.72	取心钻进、扩孔钻进、跟管	400.0	0.28	未完全封隔	发生断钻事故6次,事故处理无果挪孔
ZK2216-2	8.46~102.98	94.52	取心钻进、扩孔钻进	308.5	0.31	未完全封隔	发生断钻事故5次,事故处理无果挪孔
ZK2216-3	8.59~135.75	127.16	全面钻进为主,取心钻进、跟管为辅	232.0	0.55	成功封隔	发生脱扣1次,不能取心
ZK3024-1	8.46~243.14	234.68	全面钻进,套管封堵	367	0.64	未能封堵	不能取心,因遇3.9 m空腔,蹩断钻杆导斜
ZK3024-2	74.0~313.47	239.47	全面钻进,套管封堵	171	1.40	成功封堵	每30 m取心观测岩心

表2 全面钻进技术指标

Table 2 The full-hole drilling technical indicators

孔号	钻进方法	孔深/m	进尺/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)	备注
ZK2216-3	Ø152.4 mm 牙轮钻头	4.49~17.89	13.40	4.50	2.98	旧钻头
	Ø152.4 mm PDC 全面钻头	17.89~75.56	57.67	36.50	1.58	旧钻头
	Ø152.4 mm 牙轮钻头	75.56~121.22	45.66	33.50	1.36	新钻头
	合计		116.73	74.50	1.57	
ZK3024-1	Ø152.4 mm 牙轮钻头	8.46~92.73	84.27	37.50	2.24	新钻头
	Ø133.4 mm 牙轮钻头	92.73~243.14	150.41	54.33	2.77	新钻头
	合计		234.68	91.83	2.56	
ZK3024-2	Ø133.4 mm 牙轮钻头	74~313.47	239.47	48.00	4.99	新钻头

4.2 绳索取心钻进现场应用效果

Y02机台施工2个孔,ZK2616孔设计孔深480 m,ZK3416孔设计孔深530 m,采用“绳索取心钻进+套管封堵”和“绳索取心+水泥浆封堵+套管封堵”的方式进行施工。施工效果如表3、表4所示。

通过2种方式漏失层位封隔效果和钻进技术指标统计可以看出:

(1)采用传统取心钻进、扩孔钻进、套管跟进方法,施工效率低,封隔效果差,断钻等事故频发,特

别是在扩孔过程中,钻杆柱受力不均,且震动频繁,断钻事故发生更加频繁。

(2)采用传统取心钻进+水泥临时封堵+套管封堵的方法虽然封堵效果较好,但由于封水泥和待凝固时间长,封堵效率很低。

(3)全面钻进方法,施工效率高,其成功封堵漏失层的效率和穿过漏失层的平均速度是传统方法的2倍以上。

(4)全面钻进方法在漏失层施工机械钻速高,达到1.5~5 m/h,而取心钻进只有0.5~0.7 m/h。

表 3 绳索取心钻进漏失层位封隔效果

Table 3 The sealing effect/average speed statistics of rope core drilling leakage layer

孔号	封隔段		封隔方法	封隔段施工时间/h	平均封隔效率/(m·h ⁻¹)	封隔效果	备 注
	孔段/m	长度/m					
ZK2616	13.57~106.03	92.46	取心钻进、套管封堵	408	0.23	成功封隔	发生钻具脱扣事故2次,其中停机待水时间100 h
ZK3416	13.50~159.41	145.91	取心钻进、水泥、套管封堵	896	0.16	成功封隔	发生钻具脱扣事故1次,其中停机待水时间78 h,灌水泥3次,耗时247 h

表 4 绳索取心钻进技术指标

Table 4 The rope core drilling technical indicators

孔号	钻进方法	孔段/m	进尺/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)
ZK2616	PQ绳索取心钻进	13.57~106.03	92.46	169	0.55
	PQ绳索取心钻进	13.50~81.64	68.14	137.83	0.49
ZK3416	HQ绳索取心钻进	81.64~159.41	77.77	116.67	0.67
合计			145.91	254.5	0.57

(5)全面钻进方法在穿过漏失层时不能取心,岩心采取率得不到保证,只能在特殊层位采用并需得到地质部门同意,必要时需补采岩心。

5 认识与思考

(1)慎重选择跟管工艺、扩孔工艺。在干孔(水位基本在孔底)情况下,跟管(或扩孔)的钻头因在上部的干孔中,虽然有清水的泵入,但大量的清水直接越过钻头进入下部的干孔中,钻头的冷却变差,岩渣、碎块掉落在孔底。加之扩孔时钻杆受力不稳定,施工中扩孔跟管钻进时极易发生断钻、脱扣事故。

(2)全面钻进时,在施工过程中,泵量要大,并时刻关注泥浆池水量的消耗;PDC全面钻头没有活动部件,总体上孔内安全性好于牙轮钻头,但对地层的适应性比牙轮钻头差;需用钻铤加压,传力更稳定,钻机抖动小,且钻孔弯曲度更易控制。

(3)绳索取心钻进时,要严格控制钻进速度,防止在高转速下岩粉排出不及时引发烧钻事故。

(4)尽量采用较粗钻杆,能有效减小卡钻事故发生。

(5)虽然通过采用几种技术措施,能有效减小事故的发生,但是卡钻、断钻事故仍不能避免,偶有发生。故施工现场要备好事故处理工具,及时处理,防止处理时间长孔壁垮塌导致问题复杂化。

(6)继续探索全面钻进工艺在岩心钻探事故处

理的“万能”属性。全面钻进工艺不能取心,这大大限制其在岩心钻探中的实用性,但与取心钻进结合,理论上在复杂地层(如严重漏失、垮塌,水敏性、水溶性地层等)事故处理能取得较好的效果。采用常规取心方式施工复杂地层,当出现孔内事故难以处理或者套管层级不能支持继续施工时,采用捞孔后用全面钻进工艺快速施工至原孔深,既可避免处理事故的费时费力和不确定性,也可以保留足够孔径用于下部地层施工。

(7)随着技术的发展,在不影响地质成果的前提下,建议地质部门变更部分现有标准和要求。如,设计时对终孔取心直径进行约束而不是要求终孔口径;随着检测技术的发展,降低岩心采取直径的要求;在钻探施工极其困难而地质意义不大的部分孔段降低岩心采取率的要求。这将极大降低钻探施工难度,达到高效、节约、绿色环保的效果。

6 结论

(1)在严重漏失、垮塌地层施工,解决问题的关键是稳而快,快速穿过下入套管封堵。

(2)聚丙烯酰胺水溶液用于钻头冷却润滑,钻杆柱与孔壁润滑减阻,为孔壁间岩石提供一定胶结力,虽然其价格较贵,但使用方便、用量较小,综合成本较低。

(3)绳索取心钻进+扩孔/跟管钻进+套管/水泥封堵的方法能保证岩心采取率,但在坍塌、漏失

地层施工效率低。

(4)全面钻进工艺钻进效率高,能快速穿过漏失垮塌地层。在特殊地层(地层已悉知、对地质评价无影响、已取得该层岩心),且经地质部门同意的情况下,尽量考虑采用全面钻进快速通过,提高施工效率,减少不稳定地层裸孔时间。

(5)继续探索全面钻进工艺在岩心钻探事故处理的适用性和适用范围(如严重漏失、垮塌,严重水敏性地层等),将对实际施工生产有重要帮助。

参考文献(References):

- [1] 代堰铭,朱玉娣,王根厚,等.甘肃阳山金矿区安昌河—观音坝断裂带显微构造特征及地质意义[J].中国地质,2012(3):175-185.
DAI Yanpei, ZHU Yudi, WANG Genhou, et al. Microstructural characteristics of Anchanghe-Guanyinba fault zone in the Yangshan gold deposit of Gansu Province and their geological significance[J]. Geology in China, 2012(3):175-185.
- [2] 李建忠,余金元,胡琴霞,等.甘肃阳山金矿带地质勘查进展与找矿远景[J].矿产勘查,2011,19(6):1-6.
LI Jianzhong, YU Jinyuan, HU Qinxia, et al. Exploration progress and prospecting potential of Yangshan Gold Belt, Gansu Province[J]. Mineral Exploration, 2011,19(6):1-6.
- [3] 陈勇敢,刘桂阁,王美娟,等.甘肃阳山金矿区遥感地质特征及成矿预测[J].黄金科学技术,2009,17(1):7-11.
CHEN Yonggan, LIU Guige, WANG Meijuan, et al. The remote sensing geological characteristics and metallogenic prognosis of Yangshan Gold Deposit, Gansu Province[J]. Gold Science and Technology, 2009,17(1):7-11.
- [4] 孙宗席.甘肃文县阳山矿区复杂地层用冲洗液研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):37-40.
SUN Zongxi. Study on washing fluids for complex formation in Yangshan Mining Area of Gansu[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(12):37-40.
- [5] 方国庆,杨涛,蔡隽,等.甘肃阳山金矿复杂地层钻探施工工艺探索[J].资源信息与工程,2021,36(4):79-82.
FANG Guoqing, YANG Tao, CAI Jun, et al. Exploration of drilling technology for complex stratum of Yangshan gold mine in Gansu Province[J]. Resource Information and Engineering, 2021,36(4):79-82.
- [6] 石立明,曹灶开.凝胶堵漏技术在阳山矿区漏失地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(9):22-24,29.
SHI Liming, CAO Zaokai. Gel plugging leakage technology application in the stratum in Yangshan Mining Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(9):22-24,29.
- [7] 孙金声,白英睿,程荣超,等.裂缝性恶性井漏地层堵漏技术研究进展与展望[J].石油勘探与开发,2021,48(3):630-638.
SUN Jinsheng, BAI Yingrui, CHENG Rongchao, et al. Research progress and prospect of plugging technologies for fractured formation with severe lost circulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021,48(3):630-638.
- [8] Feng Y C, Gray K E. Review of fundamental studies on lost circulation and well bore strengthening[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2017,152:511-522.
- [9] 翟育峰,赵辉,王鲁朝,等.湘南3000 m科学深钻孔内事故处理及对策[J].钻探工程,2023,50(4):32-40.
ZHAI Yufeng, ZHAO Hui, WANG Luzhao, et al. Down-hole incident treatment and prevention for the 3000m scientific deep borehole in southern Hunan[J]. Drilling Engineering, 2023,50(4):32-40.
- [10] 刘兵.四川尔坪地吉铅锌矿区复杂地层钻探施工技术[J].钻探工程,2022,49(4):87-92.
LIU Bing. Drilling technology for complex formation in the Ergadiji lead-zinc mine area in Sichuan[J]. Drilling Engineering, 2022,49(4):87-92.
- [11] 迟焕鹏,胡志方,王胜建,等.黔西地区表层易漏地层钻井工程技术[J].钻探工程,2021,48(4):70-76.
CHI Huanpeng, HU Zhifang, WANG Shengjian, et al. Drilling techniques for thief zones in surface formations in Western Guizhou[J]. Drilling Engineering, 2021,48(4):70-76.
- [12] 赵志涛,蒋睿,卢彤,等.下扬子页岩气地质调查井的溶洞识别与处理[J].钻探工程,2022,49(5):22-29.
ZHAO Zhitao, JIANG Rui, LU Tong, et al. Karst cave identification and treatment for a Lower Yangtze shale gas geological survey well[J]. Drilling Engineering, 2022,49(5):22-29.
- [13] 李锦峰.恶性漏失地层堵漏技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(5):26-34.
LI Jinfeng. The status and development direction of plugging technology for severe circulation loss formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(5):26-34.
- [14] 赵巍,李波,高云文,等.诱导性裂缝防漏堵漏钻井液研究[J].油田化学,2013,30(1):1-4.
ZHAO Wei, LI Bo, GAO Yunwen, et al. Study of circulation protection and control drilling fluid for induce cracks[J]. Oil-field Chemistry, 2013,30(1):1-4.
- [15] 李田周,陶士先,熊正强.磷石膏地层用钙基成膜环保冲洗液研究与应用[J].钻探工程,2023,50(1):49-54.
LI Tianzhou, TAO Shixian, XIONG Zhengqiang. Development and application of calcium-based film-forming environment-friendly drilling fluid for phosphogypsum formation[J]. Drilling Engineering, 2023,50(1):49-54.
- [16] 龚美鑫,汪成勇,陈擎,等.柴达木盆地石圈滩地区铀矿钻探冲洗液研究与应用[J].钻探工程,2023,50(4):57-63.
GONG Meixin, WANG Chengyong, CHEN Qing, et al. Research and application of flushing fluid for uranium deposits

- drilling in Shiquantan area, Qaidam Basin[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(4): 57-63.
- [17] 苏力才, 谢健全, 李永卫, 等. PVA1788无固相冲洗液体系的研究与应用[J]. 钻探工程, 2022, 49(4): 68-73.
SU Licai, XIE Jianquan, LI Yongwei, et al. Research and application of PVA1788 solid-free drilling fluid system[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(4): 68-73.
- [18] 李中明, 肖尧, 罗婷. 复杂地层高压旋喷护壁堵漏技术的研究与应用[J]. 钻探工程, 2022, 49(4): 78-84.
LI Zhongming, XIAO Yao, LUO Ting. Research and application of high pressure rotary jet grouting technology for plugging in complex formation[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(4): 78-84.
- [19] 吴金生, 李俊萍, 张统得, 等. 一种用于钻孔护壁的高压喷射注浆组合钻具: 201520666584.6[P]. 2015-12-16.
WU Jinsheng, LI Junping, ZHANG Tongde, et al. High-pressure jet grouting combined drilling tool for borehole wall protection: 201520666584.6[P]. 2015-12-16.
- [20] 彭博一, 于培志. 破碎带地层钻探化学凝胶护壁堵漏技术的研究与应用[J]. 钻探工程, 2022, 49(1): 64-71.
PENG Boyi, YU Peizhi. Research and application of chemical gel wall protection and plugging technology in fractured zone formation drilling[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(1): 64-71.
- [21] 陈军, 王先兵, 刘松, 等. 恶性井漏治理现状与展望[J]. 石油化工应用, 2017, 36(6): 12-15.
CHEN Jun, WANG Xianbing, LIU Song, et al. Serious lost circulation current situation and disposing prospect[J]. Petrochemical Industry Application, 2017, 36(6): 12-15.
- [22] 杨丕祥, 童强, 吴博. 绳索取芯在顶漏钻进施工中的实践与认识[J]. 西部探矿工程, 2015(9): 83-85.
YANG Pixiang, TONG Qiang, WU Bo. Practice and understanding of rope coring in top leakage drilling construction[J]. West-China Exploration Engineering, 2015(9): 83-85.
- [23] 李宏. 福建煤田复杂钻孔漏失治理的实践与探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(11): 17-22.
LI Hong. Practice and discussion of leakage control of complicated drilling in Fujian coalfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(11): 17-22.
- [24] 蒙鸿飞. 荆山矿区深孔多段漏失破碎地层的综合治理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9): 13-15.
MENG Hongfei. Comprehensive treatment of leak and broken formations in deep hole of Jingshan Mining Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(9): 13-15.
- [25] 陶归成, 唐珂灵, 陈琛, 等. 陆相沉积地层绳索取心钻进所遇问题及解决办法[J]. 钻探工程, 2022, 49(4): 93-98.
TAO Guicheng, TANG Keling, CHEN Chen, et al. Wireline coring problems and solutions in continental sedimentary formation drilling[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(4): 93-98.
- [26] 王盛, 潘振泉, 秦正运. 小口径绳索取心钻进在杨山地区深厚泥岩地层中的施工技术[J]. 钻探工程, 2022, 49(2): 85-90.
WANG Sheng, PAN Zhenquan, QIN Zhengyun. Small diameter wireline core drilling for deep mudstone formation in Dangshan area[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(2): 85-90.

(编辑 荐华)