

某金矿坑内钻探联合护壁技术的研究与应用

张仲鑫, 袁长金, 牟行波
(四川省第一地质大队, 四川 成都 610000)

摘要:在西部山区某金矿进行坑内钻探施工时,钻遇多层严重破碎地层,采用冲孔的方式处理事故时间较长,且后续施工发生了多次塌孔事故,导致无法顺利施工。套管护壁、水泥浆封固、冲洗液护壁等单一方式因经济性、工期、安全性等原因,均不能满足施工需求。为此,采用了套管、水泥浆与绿色防塌冲洗液联合护壁的方式进行施工。上段破碎地层采用套管进行护壁,中段破碎地层采用水泥浆进行封固,下段破碎地层采用绿色防塌冲洗液护壁。实践证明:该方法使本项目工期缩短了33.56%,成本降低了11.70%,为类似地层坑内钻探施工提供了有益经验。

关键词:坑内钻探;破碎地层;塌孔;联合护壁;套管;水泥浆;绿色防塌冲洗液

中图分类号:P634.8 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2025)S1-0310-05

Research and application of combined wall protection technology for drilling in a certain gold mine

ZHANG Shenxin, YUAN Changjin, MOU Xingbo
(The 1st Geological Brigade of Sichuan, Chengdu Sichuan 610000, China)

Abstract: During the drilling construction in a gold mine in the western mountainous area, multiple layers of severely fractured strata were encountered. Punching was used to deal with the accident, which took a long time and resulted in multiple collapse accidents during subsequent construction, making it difficult to proceed smoothly. The single method such as casing wall protection, cement slurry wall fixation, and flushing liquid wall protection, cannot meet the construction requirements due to economic, construction period, safety, and other reasons. For this purpose, a combination of casing, cement slurry, and green anti collapse flushing solution was used for wall protection during construction. The upper fractured formation was protected by casing, the middle fractured formation was reinforced with cement slurry, and the lower fractured formation was protected by green anti collapse flushing solution. Practice has proven that this method has shortened the project duration by 33.56% and saved 11.70% of the costs, providing valuable experience for drilling in similar geological pits.

Key words: drilling in pit; fractured formation; borehole collapse; combined borehole stabilization; casing; cement slurry; green anti-collapse drilling fluid

0 引言

绿色勘查作为国家提出的基本战略要求,是钻探行业必须遵守的工作底线。因此,在进行矿山勘探工作时,一定要做好相关的应对措施,减少对生态环境的影响,从而促进矿山行业的绿色发展^[1]。某金矿自21世纪初到现在已开采20多年,如今主

要通过地表钻孔与坑内钻孔施工的方式勘探金矿储量,但进行坑内钻孔施工时面临多层严重破碎地层,常发生孔壁坍塌事故,钻进效率低,给绿色勘查施工带来了极大的挑战。

本项目在进行坑内钻孔施工时,施工的钻孔基本都穿过了2~3层破碎地层。第一个孔设计孔深

收稿日期:2025-06-15; 修回日期:2025-07-21 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.S1.049

第一作者:张仲鑫,男,汉族,1998年生,助理工程师,地质资源与地质工程专业,硕士,主要从事岩土钻掘技术相关研究与施工工作,四川省成都市龙泉驿区长柏路108号,1006232374@qq.com。

引用格式:张仲鑫,袁长金,牟行波.某金矿坑内钻探联合护壁技术的研究与应用[J].钻探工程,2025,52(S1):310-314.

ZHANG Shenxin, YUAN Changjin, MOU Xingbo. Research and application of combined wall protection technology for drilling in a certain gold mine[J]. Drilling Engineering, 2025,52(S1):310-314.

100 m,方位角 340° ,倾角 35° ,采用 $\varnothing 75$ mm开孔,一径到底。在未采取护壁措施的情况下进行施工,钻遇2层破碎地层,期间发生4次塌孔事故,均在塌孔后采用冲孔的方式处理。而在最后一次塌孔后,冲孔效果难以达到继续钻进的要求,暂时停止施工。该孔的部分岩心照片如图1所示。

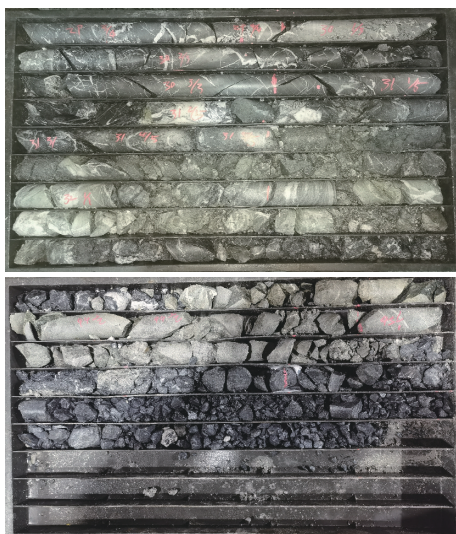


图1 钻孔部分岩心照片

目前针对破碎地层的护壁方式主要有套管护壁、投放水泥球水泥浆封固、冲洗液护壁等3种方式^[2]。而面对多层段破碎地层时,以上3种护壁方式单独应用效果均不理想。为确保钻探的施工效率和质量,降低对环境的影响,针对此种多孔段破碎地层的情况,研究并应用一种坑内钻探绿色护壁技术迫在眉睫。

1 矿区概况

1.1 矿区基本情况

四川省凉山彝族自治州某金矿,矿区交通以公路为主,较为方便。矿区11月至翌年3月为霜雪冰冻期,平均气温 5°C 以下;4—10月气温较温和,平均气温 $5.2\sim 10.8^{\circ}\text{C}$,适宜开展野外工作。主要灾害性天气有大雪、霜冻和冰雹。

矿区属构造侵蚀深切河谷高原区,自西向东横跨三山二沟(依次为大海子山、梭罗、绒干山、如米沟和吉真山),山脉及主要干流均呈近南北向展布。最高海拔4147 m,最低海拔3760 m,相对高差387 m,属典型的深切高原地貌。

1.2 地层

区内地层出露不全,仅有三叠系上统曲嘎寺组,矿区地层细化视组段内的特征厘定。受第四系掩盖影响,其形态往往呈孤岛状、团块状或窄条状。

根据地层岩性组合及沉积建造特点,矿区三叠系上统曲嘎寺组分为3段,由下至上依次为灰岩段(T_3q^1)、碎屑岩段(T_3q^2)、基性火山岩段(T_3q^3)。其中,碎屑岩段(T_3q^2)划为4个亚段,基性火山岩段(T_3q^3)划为5个亚段,该组与上下地层的接触关系区内未见,但段与段之间的接触关系较为明确,由新到老如表1所示。

纵观上述曲嘎寺组各段、亚段的接触关系,除曲嘎寺组二段第四亚段(T_3q^{2-4})与曲嘎寺组三段第一亚段(T_3q^{3-1})间为断层接触外,其他段、亚段之间均呈渐变过渡的整合接触。

2 工程概况

2.1 工程基本情况

本项目主要在某金矿东采区平硐进行坑内钻探施工。钻孔设计孔深最浅70 m,最深190 m,均为浅孔。钻进穿过的地层为曲嘎寺组二段与三段。使用的钻机为ZDY1900型矿用全液压坑道钻机,最大钻进深度1000 m,最大起拔力150 kN。

2.2 施工难点

通过对以往钻探资料和地质资料的调研,发现该区域施工的钻孔几乎都要穿过2~3层极度破碎的地层,第一层破碎段厚约1.10 m,第二层破碎段厚约3.20 m,第三层破碎段厚约0.90 m。

因多层破碎地层的存在,若全孔采用套管进行护壁,会有大量套管无法起拔,造成较大的经济损失。因施工区域高寒湿冷的气候环境,若每段破碎地层均使用水泥浆进行封固,会因水泥浆极长的凝固时间而延误工期。因地层破碎严重,若全孔采用绿色防塌冲洗液进行护壁,会有较大可能因冲洗液和钻杆的扰动导致孔壁失稳,发生塌孔事故。

综上所述,无论单独采用哪种护壁方法,都很难高效地对存在多段破碎地层的钻孔施工起到降本增效的效果。

3 护壁措施

针对多层极度破碎的地层,从经济效益和施工效率两方面考虑,采用3种护壁方法联合进行破碎

表1 地层岩性一览

地 层	岩 性 特 征	厚度/m
曲嘎寺组三段(T_3q^3) 第四亚段(T_3q^{3-4})	灰绿色块状玄武岩	46.9
曲嘎寺组三段(T_3q^3) 第三亚段(T_3q^{3-3})	下部基性凝灰岩、基性凝灰角砾岩;中部沉凝灰岩、变质砂岩、板岩、透镜状生物碎屑灰岩,三者往往构成韵律;上部基性凝灰岩	135
曲嘎寺组三段(T_3q^3) 第二亚段(T_3q^{3-2})	灰绿色块状玄武岩、球粒(杏仁)玄武岩、局部为橄榄玄武岩。如米沟以东4082.38 m高点西侧斜坡处球粒玄武岩中之球粒粒径通常在0.4 cm左右。同层位的某一带玄武岩中之球粒粒径则较小,一般在0.2 cm左右。某之东3992.58 m高点附近,具中粗粒结构的橄榄玄武岩具黄铁矿化	85.7
曲嘎寺组三段(T_3q^3) 第一亚段(T_3q^{3-1})	基性凝灰岩,分布于与(T_3q^{3-1})过渡地带者,因受构造应力作用常变为绿泥次闪石片岩、绿泥绢云千枚岩	37.11
曲嘎寺组二段(T_3q^2) 第四亚段(T_3q^{2-4})	灰至深灰色砂质板岩,板岩夹变质细粒岩屑石英砂岩,局部为绿黄色凝灰质板岩,与(T_3q^{2-4})接触地带片理化发育。如米沟东侧山脊一带变质变形强,可见绢云母钠长微晶片岩、绿泥黑云微晶片岩	>31.3
曲嘎寺组二段(T_3q^2) 第三亚段(T_3q^{2-3})	青灰色变质中细粒岩屑石英砂岩夹砂质板岩、板岩	114.5
曲嘎寺组二段(T_3q^2) 第二亚段(T_3q^{2-2})	下部绢云母板岩夹变质中细粒岩屑石英砂岩;中部变质细粒岩屑石英砂岩、变质细粒岩屑砂岩夹板岩;上部凝灰质板岩绢云母板岩夹变质砂岩;与(T_3q^{2-1})接触处为薄至中层状砂屑灰岩	216
曲嘎寺组二段(T_3q^2) 第一亚段(T_3q^{2-1})	风化面紫红色,新鲜面紫灰色变质细粒岩屑石英砂岩夹青灰色变质岩屑石英砂岩、板岩	195
曲嘎寺组一段(T_3q^1)	灰白色中厚层状至厚块状微晶灰岩、微晶灰岩夹白云质结晶灰岩、白云岩,局部为灰岩与白云岩不等厚互层	未见底

层段护壁:至穿过第一层破碎地层采用套管进行护壁,第二层破碎地层采用早强水泥进行封固,第三层采用添加了专用绿色防塌剂的冲洗液进行护壁。若只穿过2层破碎地层,则第二层使用绿色防塌冲洗液进行护壁。

3.1 套管护壁

本项目使用的坑道钻机起拔力强,上段破碎层的深度相对较浅,若套管被上段破碎层卡住也能通过强力起拔的方式将其拔出,即使无法拔出也能通过反向回转将绝大部分的套管回收,造成的经济损失较小。

因此,第一层破碎段采用跟管钻进的方式进行施工。采用 $\varnothing 89$ mm口径开孔,钻进至穿过第一层破碎段底板下方0.5 m处,之后变径至 $\varnothing 75$ mm口径继续进行后续施工。

3.2 水泥浆护壁

施工的部分钻孔会穿过3层极度破碎的地层,若在第二层破碎段也下入套管进行护壁,就会导致大量套管无法起拔造成较大的经济损失,而为了确

保后续的顺利施工,在第二层破碎段压入水泥浆进行封固,能起到很好的护壁效果。本项目施工区域处于高寒湿冷环境,普通水泥浆难以快速凝固,无法用于破碎层段封固。因此,需要使用一种能在较短时间内达到足够支持继续施工强度的低温早强水泥浆。

通过调研,提高水泥浆早期强度的方法主要有:(1)利用速凝早强剂;(2)采用超细水泥和颗粒级配技术^[3];(3)高铝早强水泥^[4];(4)硫铝酸盐水泥^[5]。除此之外减水剂的分散作用与早期激发效应也能显著改善水泥工作性能,保证强度快速发展,实现早强与高强的性能要求^[6]。

为满足施工需求,需要早强水泥的12 h抗压强度达到20 MPa。因此,选择了早期强度表现优异的DWC-2早强水泥,同时添加早强剂和少量聚羧酸系高性能减水剂来配制水泥浆。在原最优水泥浆配方(水灰比0.44的DWC-2早强水泥基浆+3%早强剂)的基础上添加减水剂^[7],加强其早期强度以达到施工要求。减水剂添加量设置0%、2.0%、2.4%、

2.8%、3.2% 5个水平,通过实验优选出最优添加量,不同减水剂添加量下水泥浆在4℃环境下12 h抗压强度如图2所示。

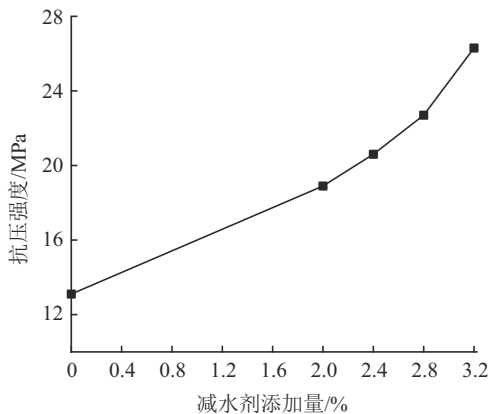


图2 4℃环境下不同加量减水剂水泥12 h抗压强度

由图2可知,在不添加减水剂的情况下,水泥浆12 h抗压强度最低,为13.1 MPa。随着减水剂的添加,水泥浆的12 h抗压强度有了较大提高:添加2%减水剂抗压强度达到了18.9 MPa,比未添加减水剂提高了44.27%;添加2.4%减水剂抗压强度达到了20.6 MPa,已达到施工要求;添加2.8%减水剂抗压强度达到了22.7 MPa,能较好地满足施工要求;在添加3.2%减水剂时,抗压强度最大,为26.3 MPa,约为未添加减水剂的2倍,能极好地满足施工要求。

通过数据分析可知,减水剂的加入能极大提高

水泥浆在4℃环境下12 h的抗压强度,添加2.4%及以上减水剂都能满足施工要求,但在实验时发现:添加3.2%减水剂的水泥浆流动度较差,不便于注浆。最终选择添加2.8%减水剂,水泥浆最优配方为:水灰比0.44的DWC-2早强水泥基浆+3%早强剂+2.8%减水剂。

施工时,当钻进至第二段破碎层即开始准备配制水泥浆,当穿过破碎层10 cm之后立刻使用注浆泵将水泥浆压入破碎地层,最终使水泥浆液面高于破碎层顶板1 m左右,即完成注浆作业,等待12 h,水泥浆凝固之后再继续进行施工。

3.3 绿色防塌冲洗液护壁

冲洗液护壁的效果相较套管护壁和水泥浆护壁要差一些,施工过程中在冲洗液和钻杆的扰动下仍有塌孔的风险。因此,将其作为最下层破碎段的护壁方案。本项目施工的均为浅孔,最下层破碎段使用绿色防塌冲洗液护壁,在终孔前受扰动时间短,极大地减小了发生塌孔的风险。相比套管护壁和水泥浆护壁能缩短工期,提高经济效益。

根据以往施工经验,在原有冲洗液配方(2% PVA+0.5% MC-9+0.1% 纳米 SiO₂+0.8% KCl)的基础上进行适当调整^[8],添加绿色防塌剂 WF-1,强化冲洗液的防塌护壁性能。绿色防塌剂 WF-1 的加量设置为0%、5%、6%、7%、8%、9%,对比分析添加 WF-1 后的冲洗液性能,以确定最优添加量。冲洗液的流变性能数据见如表2。

表2 冲洗液流变性能数据

WF-1加量/%	密度/(g·cm ⁻³)	漏斗粘度/s	表观粘度/(mPa·s)	塑性粘度/(mPa·s)	动切力/(Pa)	动塑比
0	1.10	31.2	15.4	9.8	3.62	0.37
5	1.15	42.6	22.1	15.4	5.53	0.36
6	1.16	46.5	24.3	16.9	6.42	0.38
7	1.17	50.9	25.9	18.8	7.71	0.41
8	1.18	54.7	28.2	21.6	9.72	0.45
9	1.19	59.8	32.5	24.7	12.60	0.51

通过冲洗液流变性能数据可以看出:相比原冲洗液,添加5% WF-1有效提高了冲洗液的流变性能,已能满足钻孔的正常施工;添加9% WF-1使冲洗液的动塑比过高,携岩性能下降,不利于施工。综合考虑,在原冲洗液的基础上添加5%~8%的 WF-1都能满足本项目钻探施工需求,为提高施工效益,以及方便后续处理冲洗液,最终冲洗液配方

为:5% WF-1+2% PVA+0.5% MC-9+0.1% 纳米 SiO₂+0.8% KCl。

4 联合护壁技术的现场应用

经过第一个孔的塌孔教训,及时采用联合护壁的方式进行钻孔施工:上段破碎层采用套管进行护壁,有效隔离了第一段破碎层,为后续施工提供了

稳定的上段孔壁环境;中段破碎层段采用水泥浆进行封固,水泥浆12 h抗压强度达到了22.7 MPa,满足施工需求,为后续施工提供了稳定的中段孔壁环境;下段破碎层采用绿色防塌冲洗液进行护壁,该冲洗液的增粘提切以及良好的护壁效果,保证了下段钻孔施工的顺利完成。采用联合护壁技术后,上中段破碎层再无塌孔事故发生,下段破碎层也仅因偶然出现的大粒径岩块掉块造成了一次卡钻事故。

从施工效率上进行分析,未采取联合护壁方案前,钻探施工的台月效率仅为335 m/台月,采取联合护壁方案后,钻探施工的台月效率提高到502.5 m/台月,提高了33.56%。从经济效益分析,采用联合护壁的方式进行钻孔施工后,累计丢失套管12 m,仅造成了约2000元的损失。再结合施工时间、材料成本等因素进行分析,综合效益提高了约11.70%。

综上,该联合护壁技术能满足西部山区高寒湿冷环境下多层破碎段的钻孔施工要求,在实际运用中表现出良好的护壁效果,提高了钻探施工效率和经济效益。

5 结论

针对存在多段破碎地层的钻孔施工,从工程效益和施工效率两个方面进行考虑,不同的破碎层段分别采取不同的护壁措施,进行联合护壁。最终,顺利高效地完成了西部山区高寒湿冷环境下的坑内多层破碎地层钻孔施工,并得出以下结论:

(1)利用套管对上段破碎层进行护壁,能起到极好的护壁效果,为后续施工提供了坚实的基础。

(2)使用早强水泥浆对中段破碎层进行封固,在4℃的环境下12 h抗压强度达到了22.7 MPa,强

度能满足正常钻进施工需求,护壁效果良好。水泥浆配方为:水灰比0.44的DWC-2早强水泥基浆+3%早强剂+2.8%减水剂。

(3)使用绿色防塌冲洗液对下段破碎层进行护壁,起到增粘提切和良好的护壁效果,给顺利终孔提供了有效保障。绿色防塌冲洗液配方为:5%WF-1+2%PVA+0.5%MC-9+0.1% 纳 米 SiO_2 +0.8%KCl。

(4)套管、早强水泥浆、绿色防塌冲洗液联合护壁技术能有效克服多层破碎段地层钻孔施工容易塌孔、延误工期、增加成本等问题。联合护壁技术在本项目的成功应用,使施工效率提高了33.56%,综合效益提高了11.70%。

参考文献:

- [1] 孙梦瑶.绿色勘查技术在矿山地质钻探施工中的应用分析[J].世界有色金属,2024,(23):154-156.
- [2] 王康,唐中恩,谭湘兵.湘南1号深钻复杂地层护壁技术[J].钻探工程,2023,50(S1):227-232.
- [3] Watson P, Kolstad E, Borstmayer R, et al. An innovative approach to development drilling in the deepwater Gulf of Mexico [J].World Oil, 2004,225(1)41-48.
- [4] 王建东,屈建省,高永会.国外深水固井水泥浆综述[J].钻井液与完井液,2005,22(6):54-56.
- [5] Griffith J E, Totten P L, King B L, et al. Well cementing methods and compositions for use in cold environments [P].US 5571318.1996.
- [6] 王琦.超早强高强混凝土力学性能试验研究[J].江西建材,2025,(3):84-86.
- [7] 席方柱,屈建省,吕光明,等.深水低温固井水泥浆的研究[J].石油钻采工艺,2010,32(1):40-44.
- [8] 李冰乐,王胜,袁长金,等.复杂山区水平绳索取心定向钻进聚醇绿色防塌冲洗液研究[J].钻探工程,2023,50(6):85-91.

(编辑 王跃伟)