

广西环江县才秀矿区严重漏失地层 护壁堵漏技术

陈 帅¹, 尹 欣^{2*}

(1. 广西壮族自治区地球物理勘察院, 广西 柳州 545005; 2. 广西壮族自治区第四地质队, 广西 南宁 530031)

摘要:广西环江县才秀矿区地层主要岩性为碳质泥岩、灰岩、泥岩与灰岩互层, 岩层裂隙、溶洞普遍发育, 钻孔穿过断层, 断层接触面为松散泥质充填, 施工时单孔遇多层漏失层, 冲洗液漏失严重, 有微小裂隙漏失、大裂隙漏失、溶洞漏失、松散地层压裂压穿性漏失等。矿区设计钻孔孔深超过千米, 施工难度大。根据漏失层位的特点, 采取了套管隔离, 随钻堵漏剂堵漏, 大裂隙堵漏材料堵漏, 水泥封堵, 导管法间歇注浆堵漏, 玄武岩纤维堵漏, 顶漏钻进等综合措施, 顺利完成了钻探施工任务。此次施工经验对类似地层的钻探施工具有重要的参考意义。

关键词: 溶洞漏失; 裂隙漏失; 压裂压穿性漏失; 大裂隙堵漏材料; 水泥封堵; 导管法间歇注浆堵漏; 玄武岩纤维堵漏
中图分类号: P634.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2025)S1-0300-05

The wall protection and leakage plugging technology for severely lost strata in Caixiu Mining Area, Huanjiang County, Guangxi

CHEN Shuai¹, YIN Xin^{2*}

(1. Geophysical Exploration Institute of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Liuzhou Guangxi 545005, China;
2. No.4 Geology Team of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning Guangxi 530031, China)

Abstract: The main rock types of the Caixiu mining area in Huanjiang County, Guangxi are carbonaceous mudstone, limestone, and interbedded mudstone and limestone. Rock fractures and caves are commonly developed, and drilling passes through faults. The contact surface of the fault is filled with loose mud. During construction, a single hole encounters multiple layers of leakage, and the leakage of flushing fluid is severe, including small and micro cracks, large cracks, caves, high-pressure differential fracturing of loose formations, and pressure penetration leakage. The designed drilling depth of the mining area exceeds one kilometer, making construction difficult. Based on the characteristics of the leakage layer, the mining area adopted comprehensive measures such as casing isolation, plugging with drilling plugging agent, plugging with large crack plugging material, cement plugging, intermittent grouting plugging with conduit method, basalt fiber plugging, and top leakage drilling, and successfully completed the drilling construction task. This construction experience has important reference significance for drilling construction in similar formations.

Key words: cave leakage; fracture leakage; fracture-induced lost circulation; large fracture plugging materials; cement sealing; intermittent grouting and plugging by conduit method; basalt fiber plugging

0 引言

在固体矿产钻探工程中, 钻孔冲洗液漏失极难

处理, 特别是在严重漏失的地层, 严重影响钻进施工效率, 甚至引发钻探事故, 对安全施工提出严重

收稿日期: 2025-03-11; 修回日期: 2025-05-20 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.S1.047

基金项目: 广西壮族自治区地质矿产勘查开发局人才小高地建设项目“广西矿产资源深部勘查钻探技术人才小高地”

第一作者: 陈帅, 男, 汉族, 1992年生, 工程师, 探矿工程专业, 从事钻探技术相关工作, 广西柳州市鱼峰区荣军路317号, 450278327@qq.com。

通信作者: 尹欣, 男, 汉族, 1971年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事钻探技术和岩土工程等相关工作, 广西南宁市江南区沙井大道33号, 466291931@qq.com。

引用格式: 陈帅, 尹欣. 广西环江县才秀矿区严重漏失地层护壁堵漏技术[J]. 钻探工程, 2025, 52(S1): 300-304.

CHEN Shuai, YIN Xin. The wall protection and leakage plugging technology for severely lost strata in Caixiu Mining Area, Huanjiang County, Guangxi[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(S1): 300-304.

的挑战,也对环境保护产生不良影响。广西环江县才秀矿区进行钻探作业时存在冲洗液严重漏失现象,在施工过程中针对不同的漏失类型,采取了套管隔离,随钻堵漏剂堵漏,大裂隙堵漏材料堵漏,水泥封堵,导管法间歇注浆堵漏,玄武岩纤维堵漏,配合顶漏钻进等综合措施,取得了较好的效果,最终顺利完成了此次钻探施工任务。

1 项目概况和地质背景

广西环江县才秀矿区以硫铁铅锌矿为主,本次钻探工作主要在北山新发矿区23、24号线部署,对矿带是否向本区延伸进行验证和准确评价,为下一步开展勘查工作提供依据。矿区设计2个钻孔,斜孔ZK2401孔设计孔深1020 m,钻孔倾角85°,直孔ZK2703孔设计孔深1000 m,终孔孔径 $\phi 75$ mm。

矿区设计钻孔穿过的地层为泥盆系中统东岗岭组(D₂d)沉积岩:灰岩、泥岩、泥灰岩、白云岩和灰岩泥岩互层。矿区区域上有走向北西约20°的莫家压扭性断裂穿过,破碎岩呈角砾状,充填方解石石脉,上盘北端下降,南端上升。矿区属岩溶低山丘陵地貌区,山体多连绵不断,山头常呈塔状及单面山状。区域上为碳酸盐岩与碎屑岩呈小片相间或互层岩组分布区,抗压强度高,属坚硬岩石类。岩溶发育较强烈,短小的岩溶管道、伏流也较发育。其中灰岩岩层裂隙、溶洞普遍发育,裂隙宽度3~5 mm不等,溶洞内充填物少,多为空洞且与裂隙联通,施工过程中冲洗液漏失现象严重。在断裂接触带中,岩层为松散泥质填充,极易引起压裂压穿性漏失,钻探施工难度大。

2 漏失地层特性分析

2.1 地质构造

矿区设计钻孔穿过的地层岩性主要为灰岩、泥岩、泥灰岩、灰岩泥岩互层、白云岩,其中在灰岩岩层的裂隙、溶洞发育强烈,经分析主要集中在以下2个孔段:

105.26~112.81 m灰岩破碎带:局部呈浅灰、浅褐红色,主要由角砾、铁泥质及方解石组成。角砾呈浅灰—灰色,由灰岩、含生物碎屑灰岩组成,呈棱角状、次棱角状,无序状分布,大小多在0.5~5 cm;由浅褐红色铁质泥岩及白色方解石胶结,胶结致密,带内局部见小溶洞发育、裂隙发育、地下水溶蚀

现象,方解石脉呈网格状分布,大小约3 cm×5 cm(见图1)。此层破碎带中角砾为断裂构造的明显标志。



图1 钻孔105.26~112.81 m的岩心

573.69~582.36 m泥灰岩夹灰岩:泥灰岩呈灰色,泥晶结构,中薄层状构造;灰岩呈灰色,微晶结构,中—薄层状构造。两者之比约5:1,岩石中局部有方解石细脉发育,呈无序状分布。其中573.69~574.56 m岩心较破碎,578~582 m岩心风化强,破碎严重(见图2)。局部有大裂隙发育,与附近溶洞连通。



图2 钻孔573.69~582.36 m的岩心

2.2 漏失类型及漏失原因

根据以上地层特性分析,第一孔段漏失主要为裂隙性漏失,第二孔段主要为裂隙性漏失、溶洞性漏失、松散地层压裂、压穿性漏失等。导致漏失的主要原因是地层存在裂隙发育和溶洞发育,松散地层容易被压垮压穿等^[1-2]。

3 护壁堵漏措施

3.1 裂隙、溶洞的堵漏措施

根据地层情况,在钻孔施工前泥浆池容积要尽量大,最低要求是钻孔容积的5倍以上,以防冲洗液消耗过快补给不及时影响生产进度。钻进中遇到小微裂隙漏失、孔口有返浆,在冲洗液中添加随钻堵漏剂,一般1 m³中使用量为10~15 kg,防塌型随钻堵漏剂在水及其他处理剂中分散性很好,在补充新浆时按比例添加,搅拌均匀即可。遇到大裂隙或

溶洞漏失、孔口没有返浆、泥浆泵无压力显示,则需停钻及时进行堵漏,堵漏方法如下^[3-4]。

3.1.1 大裂隙材料堵漏

可利用大裂隙堵漏剂遇水膨胀形成凝胶的特性进行堵漏。使用钻具把装有3~5 kg大裂隙膨胀型堵漏剂的塑料袋送至漏失位置,然后使用钻具压破塑料袋,最后使用泥浆泵压入100~150 L黏稠的聚丙烯酰胺溶液配木屑或者花生壳等惰性材料,浸泡大裂隙堵漏剂1 h以上,使堵漏剂完全膨胀,然后泵入冲洗液,采用小排量、低泵压、低转速转动钻具,看孔口是否有返浆,检验是否封堵成功,如不成功可重复上述步骤。堵漏成功开始钻进时采用低转速、小泵量钻进一个回次后方可用正常参数钻进。

3.1.2 水泥堵漏

当遇到较大裂隙或者溶洞漏失,用大裂隙堵漏材料堵漏没有效果、顶漏钻进难度大时,可采用水泥护壁堵漏。方法如下:

(1)洗孔:用清水自下而上清洗孔壁,清洗时间不小于20 min。

(2)架桥:选择孔壁较完整处架桥。架桥材料选用直径比封孔段口径稍小、长1.0~1.50 m的杉木,外边钉上2~3排钢丝倒刺,下端削成较短的圆锥形,上端削成较长的圆锥形楔体,用铁丝将杉木的上端绑扎在钻杆下端,用钻杆送到预定位置,通过钻杆往杉木上部投入少量碎石、砂后,再投入砂质土,往上提拉钻杆,使杉木与孔壁楔紧,直至拉断铁丝。

(3)水泥浆搅制:采用42.5级通用硅酸盐水泥按0.5的水灰比配制水泥浆,当水泥浆搅拌均匀后,再按水泥质量的2%加入氯化钠早强剂。

(4)水泥浆灌注:用钻杆泵送。下钻杆至离架桥面0.5 m处,先用水试泵,设备运转正常后再泵送水泥浆。泵送过程中不要随意提动钻杆,当泵压升高应开动钻机慢慢回转。绳索取心钻杆内径比较大,供浆及替水时要采用比绳索取心钻杆内径稍大的塑料海绵球或预水化的聚丙烯酰胺球等隔水,防止水泥浆被稀释^[5]。

3.1.3 套管隔离

遇到大裂隙或溶洞漏失,在尝试多次大裂隙堵漏材料堵漏、水泥护壁堵漏的方法没有效果且顶漏钻进难度过大时,考虑使用套管隔离漏失层位。在

钻孔结构设计时,根据地层情况、设计孔深结合矿区其他钻孔的施工经验, $\Phi 114$ 、95 mm口径孔段可尽量深,为下技术套管预留足够空间^[6-7]。

3.1.4 玄武岩纤维堵漏

遇到大裂隙漏失,在尝试多次大裂隙堵漏材料堵漏、水泥护壁堵漏的方法没有效果且顶漏钻进难度过大,使用套管隔离施工周期过长和经济成本过高时,考虑使用玄武岩纤维堵漏。不同尺寸的玄武岩纤维混合使用的堵漏效果最好,在泥浆体系中添加0.3%玄武岩纤维可以提高堵漏效果,降低漏失量,或在水泥护壁堵漏时添加适量玄武岩纤维,可以提高封堵层的机械强度^[8]。

3.2 断裂接触带松散地层护壁堵漏措施

根据施工经验,此层处于断裂接触带,层间为断层泥填充,松散破碎,为典型的压裂、压穿性漏失地层,且易引起孔壁坍塌。如果采用常规泵送水泥浆液的堵漏方法,次数多,耗时长,且水泥护壁堵漏不成功的概率较大,可采用3次导管法间歇、待凝注入水泥浆的护壁堵漏方法。即需要灌注的水泥分3个序次,序次间歇的方式泵入,每序次泵入等量的水泥浆,灌注后间歇10~30 min,再注入下序次水泥浆。第1次、第3次注浆后替浆,中间序次注入水泥浆不替浆。冲洗钻杆用的清水在孔内形成的水头不得大于离断层地层压力的3倍。完成注浆后,候凝24 h即可扫水泥塞。根据水泥塞面深度、扫水泥塞后地下水位变化情况,确定下次的注浆压力、间歇时间等参数。此种灌注方法是利用水泥浆液的沉降稳定性和流变性,分段灌注,防止压裂地层,使水泥浆液慢慢渗透进入松散层,起到胶结地层、护壁堵漏的作用^[9-10]。

4 顶漏钻进

在施工过程中,如尝试所有堵漏方法均不成功,在综合考量各种方案后,可尝试顶漏钻进^[11]。钻进过程中,因孔底严重漏水,甚至无水位,钻杆柱内会存在空气,导致冲洗液不连续,易引发烧钻事故。如岩层硬度不高,可采用金刚石复合片钻头钻进,严格控制钻进参数,低压慢转,可较好地预防烧钻事故。如果岩性变硬,必须采用孕镶金刚石钻头钻进时,为防止烧钻事故可配合绳索取心液动锤钻进。绳索取心液动锤在孔内正常工作时,在孔口能听到冲锤有规律的冲击声,证明冲洗液流动正常,

在控制好钻压转速的情况下不会烧钻。如液动锤工作不正常需要及时停钻,取出液动锤进行检查。

5 才秀矿区堵漏措施实际应用案例分析

5.1 ZK2401孔施工情况

ZK2401孔设计孔深1020 m,钻孔倾角 85° ,方位角 90° ,开孔时间为2024年7月30日,在施工过程中,泥浆材料主要有LG植物胶(在破碎岩层钻进可提高岩石的胶结能力)、GSP广谱护壁剂(起到维护孔壁稳定的作用,防止掉块)、GLUB特效润滑剂(保证润滑性能)、聚丙烯酰胺(提高絮凝和携粉能力)、聚丙烯腈铵盐(抑制泥岩地层水化,控制固相含量)等。钻至105.26~112.81 m孔段时,泥浆漏失严重,堵漏效果不佳。查看该孔段岩心,存在小溶洞发育、裂隙发育、地下水溶蚀现象,大小约 $3\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 。判断该孔段可能存在较大裂隙,考虑钻孔尚不算太深,为避免引发二次事故,采用套管隔漏,此措施成功解决该层裂隙漏失问题,有效地提高钻进效率。

钻进至孔深578.16 m时,回次钻进结束取心时发现水位骤降至约400 m,此前孔口正常返浆,加杆后开泵发现泵压由原来的1.5 MPa降至0 MPa,结合水位骤降判断孔底漏失,钻进阻力明显大幅增大。为快速解决此问题,第一次采用水泥封孔护壁堵漏,灌注水泥400 kg,水灰比0.5,待水泥终凝期过后扫孔未发现水泥心,孔底漏失未解决。

第二次堵漏,从孔口往钻杆内投入了50 kg黄豆加固相混合材料,再用捞矛头通扫至钻杆底部,钻杆底部距离孔底5 m,然后开始灌注水泥浆液,灌注水泥400 kg,水灰比0.5。早强期过后扫孔只发现有少量水泥心,堵漏效果不明显,孔底漏失仍未解决。分析认为:孔底漏失通道较大,且灌注的水泥浆液量不足,考虑到钻孔孔深已经较深,且上部105~113 m段为严重漏失层,扩孔下套管隔离较困难,继续采用水泥封孔堵漏措施。

第三次水泥堵漏采用水泥1200 kg,1~2 cm粒径的石渣200 kg(如图3),水灰比0.5。具体步骤:投放固相材料时从孔口往钻杆内依次投入,每次间隔10~15 s,投完固相材料后用捞矛头通扫,确保固相材料全部落入孔底,再泵入水泥浆。早强期过后扫孔,发现上部水泥心较多,但钻至孔深578 m时,孔口停止返浆,泵压骤降至0 MPa,孔底漏失仍未解

决。分析认为钻穿溶洞上部,溶洞内有松散泥土填充,钻进到此处时被泥浆压裂、压垮。



图3 粒径为1~2 cm的石渣

第四次采用导管法间歇灌浆堵漏的方式,注浆压力控制在2~4 MPa,间歇时间30 min。9月20日进行第一次封堵,9月23日探孔,在孔深554 m处遇水泥塞,扫孔至孔深574 m处,该段水泥心凝结较好,孔内返浆正常,待扫穿574 m后,孔内全漏失,574~582 m孔段没有水泥心,扫孔时该孔段蹩钻、卡钻的现象有所减弱。9月24日,依照上述方法进行第二次封堵,9月28日探孔,在564 m孔深处遇水泥塞,扫孔至574 m处,该段水泥心凝结较好,孔口返浆正常,扫通574 m后,574~578 m孔段没有水泥心,全漏失,无泵压。继续扫孔,578~孔底孔段取出较完整的水泥心,扫孔时虽全漏失,但扭矩平稳,未发生蹩钻卡钻,由此判断,574~578 m孔段未封堵成功,578~孔底孔段已被封堵。虽然没有完全解决漏失问题,但是取得了明显的堵漏效果。尝试多种堵漏方法不成功,在综合考量各种方案后,决定采用顶漏钻进,过程中严格控制钻进参数,时刻关注及合理判断孔内情况,注意预防烧钻事故,遇到并解决了脱卡器失效等问题,于2024年11月18日顺利完成此钻孔的施工,终孔孔深为1021.16 m。

5.2 ZK2703孔施工情况

ZK2703孔设计孔深1000 m,钻孔倾角 90° ,方位角 0° ,开孔时间为2024年12月15日。在施工过程中,结合ZK2401孔施工经验,考虑到钻遇地层有溶洞、裂隙普遍发育的严重漏失地层,钻进至565 m时,在原泥浆材料中添加玄武岩纤维0.3%,添加的玄武岩纤维为 $2\sim 5\text{ mm}\times 12\text{ mm}$ (见图4),用搅拌器搅拌均匀后再混入泥浆中(见图5)。此措施解决了钻进施工中可能出现的漏失问题,全孔返浆,于2025年3月3日完成此钻孔的施工。此次实践表明,玄武岩纤维对该漏失地层的堵漏效果较好,安

全性较好,但是成本较高。



图4 玄武岩纤维



图5 经搅拌后的玄武岩纤维

6 堵漏措施技术总结

在深孔复杂漏失层位中钻进,首先应考虑矿区地层复杂多变性,在设计钻孔结构时,应储备口径,制订行之有效的堵漏技术措施,进一步加强简易水文观测记录。根据漏失类型,钻进中遇到小微裂隙漏失、孔口有返浆,可在冲洗液中添加随钻堵漏剂,并及时补充新浆,如果添加随钻堵漏剂没有堵漏效果则需专门堵漏。在使用大裂隙膨胀型堵漏剂堵漏时,可配合黄豆、木屑、花生壳等惰性材料,用浓稠的聚丙烯酰胺溶液一起泵送到漏失层位,浸泡大裂隙堵漏剂时间要超过1 h,使堵漏剂完全膨胀。恢复钻进后需要小排量、低泵压、低转速转动钻具,看孔口是否有返浆,检验是否封堵成功,如不成功可多重复几次。压裂、压穿性漏失地层,可采用3次导管法间歇、玄武岩纤维堵漏法、待凝注入水泥浆的护壁堵漏方法。具体操作时应注意替水的顺序和

时间,尤其灌浆结束后需要严格控制冲洗钻杆用的清水量,原则是在孔内形成的清水水头不得大于断层地层压力的3倍。

7 结语

该矿区钻探施工过程中,针对复杂漏失地层深孔施工,采用了随钻堵漏剂堵漏、套管隔离、大裂隙堵漏材料堵漏、水泥封堵、3次导管法间歇灌浆堵漏、玄武岩纤维堵漏法等综合堵漏方法,配合顶漏钻进等综合措施,顺利完成了施工任务。建议在复杂漏失地层深孔施工中应以预防为主、综合堵漏的方案开展堵漏工作,实施过程中要对孔内情况充分分析判断,对各种方法多试验多总结,不要寄希望于单一的堵漏办法。

参考文献:

- [1] 石立明.复杂地层岩心钻探综合治理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(2):12-14.
- [2] 汤凤林,A.Г.加里宁,段隆臣.岩心钻探学[M].武汉:中国地质大学出版社,2009.
- [3] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].东营:石油大学出版社,2001.
- [4] 胡茂焱.钻井液设计系统的研究[D].北京:中国地质大学(北京),2005.
- [5] 魏德祥,高金华,刘维平,等.岩心钻探漏失地层水泥堵漏技术的实例分析与研究[J].钻探工程,2024,51(S1):327-331.
- [6] 王志祥,许非,陈冲,等.地质钻探完全漏失地层处理方式探讨[J].钻探工程,2023,50(S1):218-222.
- [7] 王中华.复杂漏失地层堵漏技术现状及发展方向[J].中外能源,2014(1):39-48.
- [8] 周生伟,孙平贺,苏卫锋,等.玄武岩纤维堵漏体系在海拔非开挖钻进中的应用研究[J].钻探工程,2022,49(3):139-145.
- [9] 齐恭,李杨,齐晓凤,等.雄安新区基岩热储钻探施工技术探讨[J].钻探工程,2024,51(1):126-130.
- [10] 李伏虎,刘辉,马芹永.新型喷射混凝土速凝剂的研究进展[J].硅酸盐通报,2016,35(10):3203-3208.
- [11] 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.

(编辑 王跃伟)