

莱芜富铁矿区钻孔漏失特征及应对措施

于富安¹, 刘维平^{1*}, 孙健越¹, 王立志^{1*}, 张坤¹,
高金华¹, 闫昱昊¹, 朱应昌¹, 隗德祥¹, 党智财²

(1. 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 山东烟台 264001; 2. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170)

摘要: 山东莱芜富铁矿区区域地质构造发育, 地层岩性复杂多样, 由于地质构造运动、地下水活动等因素的影响, 形成了各种漏失通道, 区内钻孔漏失严重, 烧钻、卡钻、断钻等事故频发, 施工难度大、成本高。在3个钻孔岩心钻探施工中, 钻遇地下水过水通道性漏失、裂隙性漏失、溶洞性漏失等多种地层漏失问题, 现场开展堵漏对策研究, 通过采取随钻堵漏、停钻堵漏、顶漏钻进等方式, 顺利完成钻探任务, 为解决莱芜地区复杂地层漏失问题积累了经验。

关键词: 岩心钻探; 破碎地层; 岩溶地层; 漏失特征; 堵漏; 莱芜富铁矿区

中图分类号: P634.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2025)S1-0305-05

Characteristics and countermeasures for drilling leakage in Laiwu iron-rich mining area

YU Fu'an¹, LIU Weiping^{1*}, SUN Jianyue¹, WANG Lizhi^{1*}, ZHANG Kun¹, GAO Jinhua¹,
YAN Yuhao¹, ZHU Yingchang¹, WEI Dexiang¹, DANG Zhicai²

(1. Yantai Center of Coastal Zone Geological Survey, China Geological Survey, Yantai Shandong 264001, China;
2. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: The regional geological structure of the Laiwu iron-rich mining area in Shandong is well-developed, with complex and diverse stratigraphic lithology. Influenced by factors such as geological tectonic movements and groundwater activities, various leakage channels have formed. Severe drilling fluid leakage, frequent accidents such as drill burning, sticking, and breaking occur in the area, leading to high construction difficulty and costs. During the core drilling of three boreholes, multiple formation leakage issues were encountered, including groundwater flow channel leakage, fissure leakage, and karst cave leakage. On-site research on plugging countermeasures was carried out, and the drilling tasks were successfully completed by adopting methods such as simultaneous drilling and plugging, stop drilling for plugging, and drilling against leakage. This has accumulated experience for solving complex formation leakage problems in the Laiwu area.

Key words: core drilling; fractured formation; karst formation; leakage characteristics; plugging; Laiwu iron-rich mining area

0 引言

在正常钻探作业时, 冲洗液会在钻孔内形成一

个稳定的液柱, 以平衡地层压力、携带岩屑、冷却和
润滑钻头等。当地层存在裂隙、孔隙、溶洞等通道,

投稿日期: 2025-05-10; 修回日期: 2025-06-24 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.S1.048

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“胶东成矿带战略性矿产调查”(编号: DD20243399)、“东部地区战略性矿产靶区查证技术支撑(烟台中心)”(编号: DD20242961)

第一作者: 于富安, 男, 汉族, 1991年生, 工程师, 勘查技术与工程专业, 从事探矿工程相关技术工作, 山东省烟台市芝罘区机场路287号, yufuan2022@163.com。

通信作者: 刘维平, 男, 汉族, 1986年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事探矿工程相关技术和管理, 山东省烟台市芝罘区机场路287号, 563916176@qq.com。

王立志, 男, 汉族, 1981年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事探矿工程相关技术工作, 山东省烟台市芝罘区机场路287号, 49184690@qq.com。

引用格式: 于富安, 刘维平, 孙健越, 等. 莱芜富铁矿区钻孔漏失特征及应对措施[J]. 钻探工程, 2025, 52(S1): 305-309.

YU Fu'an, LIU Weiping, SUN Jianyue, et al. Characteristics and countermeasures for drilling leakage in Laiwu iron-rich mining area [J]. Drilling Engineering, 2025, 52(S1): 305-309.

且这些通道的渗透性较好、地层压力低于冲洗液液柱压力时,冲洗液会沿着这些通道流入地层,导致钻孔内的冲洗液液面下降,甚至完全漏失。地层漏失会导致冲洗液的大量浪费,增加钻探成本。由于冲洗液液面下降,液柱压力降低,无法有效平衡地层压力,从而引发孔壁坍塌、卡钻等复杂情况,影响钻探工作的顺利进行,甚至造成钻孔报废等严重后果^[1-4]。

2024年,项目在莱芜富铁矿区施工3个钻孔2700 m机械岩心钻探任务,钻遇多种地层漏失问题,现场开展了堵漏对策研究。

1 地质概况

工作区位于山东省济南市莱芜区方下街道沈

家岭村西侧,地处华北板块鲁西隆起区,铁矿资源丰富,以与中基性侵入岩相关的接触交代型铁矿(即矽卡岩型)为主,矿体主要产于“高钙、低铝、低镁、低硅”的奥陶系灰岩地层和燕山晚期闪长岩体接触部位,发育在断裂构造的交汇部位及褶皱构造中背斜两翼的倾伏端^[5]。

1.1 地层结构

工作区内地层发育较全,从新太古代到第四系均有分布,发育中太古界、新太古界、新元古界、寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系及第四系。区内地层分布受区域构造控制,地层多呈北西—南东走向,不同地层的岩性和地质特征各异,对地层漏失有着重要影响^[6-7]。区内钻遇的地层见表1。

表1 工作区地层情况

地 层	岩 性	完 整 性	深度/m
第四系	疏松的坡积、冲积、残积层,主要为亚砂土、粗细砂、砾石等	破碎	0~20
古近系	上部为灰黄色细粒长石砂岩夹砖红色粉砂质泥岩,下部普遍分布碎石层	较完整-较破碎	20~330
奥陶系	灰-深灰色厚层微晶灰岩、结晶灰岩夹薄层白云质灰岩、砂屑灰岩	较破碎	330~690
燕山晚期	蚀变闪长岩,灰-灰绿色,斑状结构,块状构造	较完整-较破碎	690~950

1.2 地质构造

工作区大地构造位置位于华北板块(Ⅰ)鲁西隆起区(Ⅱ)鲁中隆起(Ⅲ)。区域断裂构造发育,岩浆活动强烈,地层发育齐全^[8]。区内岩浆活动主要为中生代中-基性侵入岩,分布在盆地的中西南部和北东部边缘,构成了矿山杂岩体。

1.3 地下水活动

工作区地下水类型主要分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水及岩浆岩变质岩类裂隙水。

工作区古近系地层中分布较厚碎石层(见图1),直接覆盖于含水岩组奥陶系灰岩之上。区内主要控盆断裂构造的次级断裂较为发育,以张性断裂为主,致使碳酸盐岩地层裂隙岩溶发育、透水性好。岩溶水接受大气降水、地表水直接补给,同时又接受北部大面积岩浆岩地区裂隙水渗漏径流补给及上层孔隙水下渗补给,致使岩溶水与孔隙水水力联系密切^[9]。



图1 碎石层

2 钻遇地层漏失统计分析

根据前期钻孔实践资料研究,工作区钻遇地层结构上部为砂泥岩,较软,可钻性Ⅱ级;中部为灰

岩,裂隙和溶洞发育,易出现严重漏失;下部为闪长岩,部分层位严重破碎,漏失频繁^[10]。

地层漏失可分为渗透性漏失、裂缝性漏失、溶洞性漏失和破裂性漏失 4 大类,前 3 种漏失,其漏失压力可能远小于地层破裂压力;第四种漏失,其漏失压力即地层破裂压力^[11-15]。在莱芜矿区钻探过程

中,主要表现为裂缝性漏失和溶洞性漏失形式。

对工作区内钻探过程中出现地层漏失的钻孔漏失层位、岩性、深度、漏失类型等情况进行统计分析。结果显示奥陶系主要为裂缝性漏失、溶洞性漏失,燕山晚期为裂缝性漏失(见表 2),钻遇的部分漏失地层见图 2。

表 2 工作区钻孔出现漏失情况统计

钻孔孔号	漏失层位	漏失岩性	漏失深度/m	漏失类型	裂缝或孔洞大小/mm	漏失速度/(m ³ ·h ⁻¹)
LW24ZK01	奥陶系	灰岩	416、579	溶洞性漏失	2~5	5~8
	奥陶系	灰岩	436	裂缝性漏失	0.5~2	2~7
	燕山晚期	闪长岩	719、787	裂缝性漏失	3~5	6~12
LW24ZK02	奥陶系	灰岩	331、408、450、534、615	裂缝性漏失	0.5~5	8~56
	奥陶系	灰岩	390	裂缝性漏失、溶洞性漏失	1~3	6~12
	燕山晚期	闪长岩	758、797、917、933	裂缝性漏失	0.8~2	7~39
LW24ZK03	奥陶系	灰岩空层	310.30	裂缝性漏失	20	>100
	奥陶系	灰岩空层	478.60	溶洞性漏失	1200	>100



图 2 钻遇的漏失地层照片

3 应对技术措施

莱芜富铁矿区地层漏失的应对措施需要综合考虑地质条件、施工工艺和堵漏材料等多方面因素,采取科学合理的预防和处理措施,以确保钻探施工的顺利进行^[16-20]。

3.1 优化钻孔结构

在工作区超厚覆盖层与地层裂缝发育的复杂地质条件下,优化钻孔结构可从多级孔径设计、套管组合配置及孔深规划等方面系统实施。

原设计钻孔结构:Ø110 mm 口径开孔,下入 Ø

108 mm 套管作为孔口管,利用 Ø98 mm 绳索取心钻进,穿过覆盖层后,Ø91 mm 绳索取心钻杆作为第二级套管,换 Ø75 mm 绳索取心钻进至终孔。

优化后钻孔结构:采用三级孔径和两级套管,预留一级 Ø75 mm 孔径,以防下部出现异常情况。一开采用 Ø153 mm PDC 全面钻头钻至孔深 9 m 处,下入 Ø146 mm 孔口套管;二开阶段,选用 Ø122 mm 绳索取心钻进穿透超厚覆盖层、破碎灰岩层直至稳定灰岩地层,下入 Ø114 mm 钻杆作为套管稳固孔壁,隔绝上部漏失地层;三开采用 Ø98 mm 绳索取心钻头持续钻进,穿过灰岩、闪长岩等地层至终孔;预留 Ø75 mm 口径,以备钻遇大溶洞等严重漏失情况使用。

通过分级钻进、按需调整的孔径设计,配合套管组合与孔深规划,能有效应对复杂地质挑战,提升钻孔效率与施工安全性,为后续钻探作业筑牢基础。

3.2 现场堵漏技术方法

3.2.1 渗透漏失地层堵漏

若漏失速度不大,可继续钻进,穿过渗透漏层,利用钻屑在裂缝口堆积,辅助堵漏;若漏失速度较大,应立即停止钻进,冲洗液中加入细颗粒随钻堵漏剂(如碳酸钙粉,粒度<200 目,添加量为 3%~5%),以 40~52 L/min 的排量进行循环堵漏,循环时间为 2~3 h,使堵漏剂充分填充裂缝,达到堵漏目的。

3.2.2 裂缝漏失地层堵漏

若发生微漏失,可采用渗透漏失堵漏措施。若发生中等漏失或严重漏失时,需及时将孔内钻具安全提出,卸掉钻具,下钻至漏失层位以上3~5 m处,替入高黏冲洗液和桥堵剂的混合浆液,实施静止堵漏。具体步骤如下。

3.2.2.1 高黏冲洗液制备

膨润土添加:在基础冲洗液中按2%~3%比例(以基础液质量计)缓慢加入膨润土,持续搅拌30 min,促使膨润土充分水化分散,形成均匀悬浮液。

高黏纤维素溶解:加入0.5%~1%的高黏纤维素,持续搅拌25 min,期间观察浆液黏度变化,确保纤维素完全溶解无结块。

熟化静置:搅拌完成后,将浆液静置1~2 h进行熟化,使材料充分融合,形成具有高黏度、高悬浮性能的冲洗液。

3.2.2.2 桥堵剂混合

选用粒径0.5~2 mm的核桃壳颗粒作为桥堵剂,按5%~8%的质量比例缓慢加入已配制的高黏冲洗液中。采用低速搅拌(80~100 r/min)持续混合15 min,确保桥堵剂均匀分散,避免沉淀或团聚。

3.2.2.3 注浆堵漏作业

通过BW300型泥浆泵(排量40~300 L/min)以40 L/min的稳定流量将混合浆液泵送至孔内,持续注浆直至充满漏失层位以上环空。注浆完成后,立即关闭孔口阀门,保持孔内压力稳定,使混合浆液静置凝固4~6 h。利用高黏冲洗液的黏性和桥堵剂的架桥作用,在漏失通道内形成有效封堵层。

3.2.3 溶洞漏失地层堵漏

将钻具安全提出后,采用高强度复合堵漏材料,配合凝胶类堵漏剂,形成高强度堵漏层。若无效果,则可顶漏钻进至稳定地层,选用与井眼尺寸匹配的套管,采用常规套管下入工艺,下至漏失层底部,固井封隔漏失层。

3.3 顶漏钻进技术

顶漏钻进技术是有效突破漏失难题、保障钻探工作连续性的重要手段。以LW24ZK03钻孔施工为例,在施工过程中,钻孔遇到了0.20 m的地下水过水通道和1.20 m的溶洞空层,钻孔严重漏失,孔口冲洗液失返,无泵压。现场采取停钻堵漏、水泥球封堵等措施无果,考虑到钻遇地层相对稳定,孔内水位稳定在117 m处,孔内空层最大高度1.20 m

(远远小于单根长3 m),顶漏钻进安全风险相对较低,并且继续钻进还可能钻遇溶洞,不宜过早换径,综合考虑决定顶漏钻进。最终,历时47 d,安全顺利地完成了钻孔施工任务,终孔深度950.80 m。

在顶漏钻进过程中,需适当提高冲洗液黏度,提高悬浮携屑能力,有效延缓冲洗液的漏失速度;采用低钻压、低转速的“双低”模式,降低钻具对空层的扰动,从而减少漏失通道扩大以及钻杆断裂的风险;同时,钻进过程中应回灌冲洗液,以润滑水位以上的孔内钻杆,有效减弱钻杆与孔壁之间的摩擦。

顶漏钻进技术避免了反复堵漏作业,可直接跳过堵漏环节,节省大量非生产时间,节约人力和材料成本,并且连续钻进可避免因停钻导致的钻具黏卡、孔壁垮塌等次生问题,保持钻进的连贯性,具有重要的应用价值。

3.4 技术经济效益

在实施上述应对措施后,对钻探台月效率、漏失速度等方面进行了对比分析。在钻探台月效率方面,相较于未采取针对性措施前,实施后平均台月效率从之前的557.65 m/台月提升至638.67 m/台月,提升了14.53%。这主要得益于优化钻孔结构减少了因地层复杂导致的施工停滞时间,以及顶漏钻进技术保障了施工的连续性。

通过对比堵漏工艺前后冲洗液漏失量,也直观体现了措施的有效性。在采取堵漏措施前,如LW24ZK02钻孔,在奥陶系灰岩段漏失严重,漏失速度最高可达56 m³/h,经过实施裂缝性漏失和溶洞性漏失的对应堵漏措施后,漏失速度降低至7 m³/h以下,大大减少了冲洗液的浪费。

钻探质量方面,通过套管暂封、现场堵漏等措施,有效保障了孔壁稳定性,岩心采取率达到了99%以上,满足了地质勘查对岩心完整性和准确性的要求,为后续地质分析提供了可靠的样本。

4 冲洗液维护措施

以金刚石绳索取心钻进为主的钻孔,一般优先推荐低固相冲洗液。在冲洗液中加入细颗粒随钻堵漏剂或替入稠冲洗液和桥堵剂的混合浆液后,为保障孔内正常钻进,采取了一系列孔内冲洗液维护及应对相关影响的措施。

在恢复正常绳索取心钻进时,当加入细颗粒随钻堵漏剂后,会对孔内冲洗液性能产生一定影响。

为维持冲洗液的正常性能,定期对冲洗液进行检测,包括密度、黏度、含砂量等指标。根据检测结果,适时调整添加剂比例,以保证冲洗液的携屑、护壁等功能。当发现冲洗液黏度因堵漏剂的加入而过高时,加入适量降黏剂控制冲洗液黏度保持在25~40 s。

针对钻井参数的变化,尤其是泵压,在加入堵漏剂或混合浆液后,泵压通常会有所上升。密切关注泵压变化,若泵压上升幅度超过正常范围,则适当降低泵排量,防止因泵压过高损坏设备或导致孔壁失稳。同时在每次起钻时,对钻杆内壁进行检查和清理,采用专门的内壁清洗工具,清除因堵漏剂附着形成的泥皮结垢,控制钻杆内壁泥皮厚度,减少对绳索取心内管总成打捞的影响。

为提高内管总成打捞成功率,在加入堵漏剂等改变冲洗液性能的操作后,在下钻前对内管总成进行仔细检查和调试,确保其各部件灵活可靠。同时,根据孔内情况,适当调整内管总成的下放速度,避免因孔内冲洗液性能变化导致内管总成下放不畅或难以准确到位。在打捞过程中,若遇到阻力,避免强行提拉,而是通过上下活动钻具、适当调整冲洗液排量等方式,尝试顺利打捞内管总成。

5 结论

通过对莱芜富铁矿区地质条件深入剖析,系统总结了区域地层漏失特征,针对性提出系列应对措施,为复杂地层钻探施工提供了重要支撑。

(1)莱芜富铁矿区因地质构造发育、岩性复杂,形成多种类型地层漏失通道。奥陶系灰岩以裂缝性、溶蚀性、溶洞性及过水通道性漏失为主,燕山晚期闪长岩则主要表现为裂缝性漏失,钻探施工时应提前加入随钻堵漏材料,同时做好大型漏失或钻遇溶洞的物资准备。

(2)针对不同漏失类型,提出了套管暂封、优化钻孔结构、现场堵漏技术及顶漏钻进等技术措施。套管暂封技术有效隔绝上部破碎地层,保障钻孔稳定;优化钻孔结构通过多级孔径设计,降低复杂地质条件下的施工风险;现场堵漏技术可有效解决不同漏失问题,减少地层漏失;顶漏钻进技术在小溶洞等特定漏失地层中,通过调整钻进参数与冲洗液体系,显著提升了钻探效率与经济性。

(3)莱芜地区地质条件复杂多样,现有应对措

施仍存在一定局限性。应进一步深化对漏失机理的认识,研发更高效的堵漏材料与智能监测技术,实现对地层漏失的精准预测与控制,为莱芜地区及类似地质条件区域的地质钻探工作提供更完善的技术支撑,推动绿色、高效钻探技术发展。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 易旺,李凯,赵凌云,等.黔西地区钻遇地层漏失分析与堵漏措施探讨[J].石油化工应用,2019,38(6):13-16,35.
- [3] 臧艳彬,王瑞和,张锐.川东北地区钻井漏失及堵漏措施现状分析[J].石油钻探技术,2011,39(2):60-64.
- [4] 聂芬意,姜宁宁,李敏,等.大港油田滨海地区钻井地质风险分析及应对措施[J].录井工程,2024,35(2):147-152.
- [5] 宋波,初晶晶.山东省富铁矿资源特征及远景评价分析[J].中国金属通报,2022(11):65-67.
- [6] 王怀洪,李秀章,沈立军,等.山东齐河-禹城地区“禹城式”富铁矿地质特征与成矿模式[J].山东国土资源,2021,37(9):27-35.
- [7] 陈应华,蓝廷广,王洪,等.莱芜张家洼铁矿磁铁矿LA-ICP-MS微量元素特征及其对成矿过程的制约[J].地质前缘,2018,25(4):32-49.
- [8] 宋明春,徐军祥,王沛成.山东省大地构造格局和地质构造演化[M].北京:地质出版社:2009.
- [9] 李波,于大璐,王楠,等.莱芜盆地岩溶地下水富集规律[J].地质力学学报,2024,30(4):691-702.
- [10] 范杰,尹飞,李泽群,等.山东莱芜富铁矿区LW23ZK01深孔钻探技术研究[J].地质与勘探,2024,60(6):1228-1236.
- [11] 吕开河,王晨烨,雷少飞,等.裂缝性地层钻井液漏失规律及堵漏对策[J].中国石油大学学报(自然科学版),2022,46(2):85-93.
- [12] 隋小兵,田丰,赵岷,等.碳酸盐岩地层漏失规律研究[J].石油工业技术监督,2024,40(2):43-49,55.
- [13] 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.
- [14] 邓津辉,谭忠健,袁亚东,等.渤海海域古近系一新近系裂缝性漏失断缝体系特征及力学机理研究[J].中国石油勘探,2023,28(5):84-98.
- [15] 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.
- [16] 刘占魁,田林海,吴波,等.沙湾凹陷西斜坡砂砾岩地层井壁失稳机理及复杂处理[J].西部探矿工程,2021,33(6):51-53.
- [17] 王孝山,毛祖臣,方华良,等.南黄海海域钻井地质风险分析及应对措施[J].海洋石油,2019,39(3):75-79.
- [18] 巫建彰.强烈破碎漏失地层的钻探工艺探讨[J].西部探矿工程,2018(1):86-87,98.
- [19] 张衍君,曾会,陶秀娟,等.致密储层体积压裂缝漏失及控制综述[J].科学技术与工程,2022,22(26):11277-11286.
- [20] 王新新,朱永峰,杨鹏飞,等.塔里木盆地哈拉哈塘油田A-B区块二叠系火成岩漏失原因与应对措施[J].地质科技情报,2019,38(2):130-136.

(编辑 王文)