

# 岩心钻探漏失地层水泥堵漏技术的实例分析与研究

隗德祥<sup>1,2,3</sup>, 高金华<sup>1,2,3</sup>, 刘维平<sup>1,2,3</sup>, 孙健越<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 山东烟台 264000;

2. 海陆一体化钻探工程技术创新中心, 山东烟台 264000;

3. 自然资源部黄河入海口陆海交互作用野外科学观测研究站, 山东烟台 264000)

**摘要:**本研究以山东招平带南段及外围金多金属资源调查评价项目中的 ZK407 孔 1000 m 岩心钻探为例, 分析了胶东地区断裂构造发育背景下, 深部金矿床的钻探技术难题。钻孔位于招平断裂带南端南墅镇青山村, 以破碎带蚀变岩型和石英脉型金矿床为主。在钻探过程中, 遇到了地下水压力失衡、孔内坍塌掉块夹钻、严重漏失和烧钻等事故。为了解决这些技术难题, 采取了套管隔离、调整冲洗液性能护壁、复合材料堵漏、顶漏钻进和水泥堵漏等措施。这些措施有效地解决了技术难题, 实现了预期目标, 为该区深部矿产成矿理论研究及资源勘查提供了合格的地质钻孔和实物岩心资料。本研究结果对于类似地质条件的钻探工程具有重要的参考价值。

**关键词:**漏失地层; 堵漏技术; 水泥堵漏

**中图分类号:** P634.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0327-05

## Case study and analysis of cement plugging technology for core drilling in lost circulation formation

WEI Dexiang<sup>1,2,3</sup>, GAO Jinhua<sup>1,2,3</sup>, LIU Weiping<sup>1,2,3</sup>, SUN Jianyue<sup>1,2,3</sup>

(1. Yantai Center of Coastal Zone Geological Survey, China Geological Survey, Yantai Shandong 264000, China;

2. Marine and Land Integrated Drilling Engineering Technology Innovation Center, Yantai Shandong 264000, China;

3. Ministry of Natural Resources Observation and Research Station of Land-Sea Interaction Field in the Yellow River Estuary, Yantai Shandong 264000, China)

**Abstract:** In this study, the 1000m core drilling of hole ZK407 in the southern and peripheral gold polymetallic resources investigation and evaluation project in Shandong Zhaoping Belt is taken as an example to analyze the technical difficulties of deep gold deposit drilling in Jiaodong area under the background of fault development. The borehole is located in Qingshan village, Nanshu Town, southern end of Zhaoping fault zone. The gold deposit is mainly altered rock type and quartz vein type located in the fracture zone. In the process of drilling, some accidents occurred, such as groundwater pressure imbalance, hole collapse and block clamping, serious leakage and drilling burning. In order to solve these technical problems, some measures have been taken, such as casing isolation, adjusting mud performance, composite material plugging, top leak drilling and cement plugging. These measures have effectively solved the technical problems, achieved the expected goals, and provided qualified geological drilling and physical core data for the research of deep mineral mineralization theory and resource exploration in this area. The results of this study have important reference value for drilling engineering under similar geological conditions.

**Key words:** leakage formation; plugging technology; cement plugging

收稿日期: 2024-07-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.052

第一作者: 隗德祥, 男, 汉族, 1987 年生, 二级技师, 助理工程师, 主要从事中深孔岩心钻探、工程钻探等方面工作, 山东省烟台市芝罘区机场路 287 号, 739550448@qq.com。

引用格式: 隗德祥, 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.

WEI Dexiang, GAO Jinhua, LIU Weiping, et al. Case study and analysis of cement plugging technology for core drilling in lost circulation formation[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 327-331.

## 1 钻孔基本情况

### 1.1 任务情况

本研究为山东招平带南段及外围金多金属资源调查评价项目钻探技术支持任务,核心任务是完成1000 m的岩心钻探工作,以深入理解研究区域的地质特征。研究区域位于山东半岛西(中)北部的青岛莱西围子山,如图1所示。区域交通便利,多条高速公路和国道贯穿,此外,区域内所有村庄的道路均已实现路面硬化,为钻探作业提供了极大的便利。



图1 招平带南段项目工作区范围及交通位置

### 1.2 设备情况

为确保项目钻探施工的顺利进行,选择合适的钻探设备至关重要<sup>[1]</sup>。本研究通过明确项目需求、了解不同设备类型及其性能,制定了详细的设备配置计划。配备一套XY-6B型钻机及相关附属设备,以满足钻探施工的需求。此外,考虑到钻孔地盘修复的难度,将根据实际情况调整设备配置。

### 1.3 地质情况

本研究的工作区位于胶东半岛西部,其大地构

造位置隶属于华北陆块(I级构造单元)的东南缘。该区域属于鲁东隆起(II级构造单元),并进一步细分为胶莱—胶北断隆(III级构造单元)和胶北断隆(IV级构造单元)。研究区位于胶北凸起、南墅—云山凸起、栖霞—马连庄凸起(V级构造单元)的交汇处,这一区域是著名的招平成矿带中南段的核心区域(详见图2)。在地质学研究中,招平断裂带被认为是对该区域成矿作用具有显著控制作用的构造特征<sup>[2-4]</sup>。

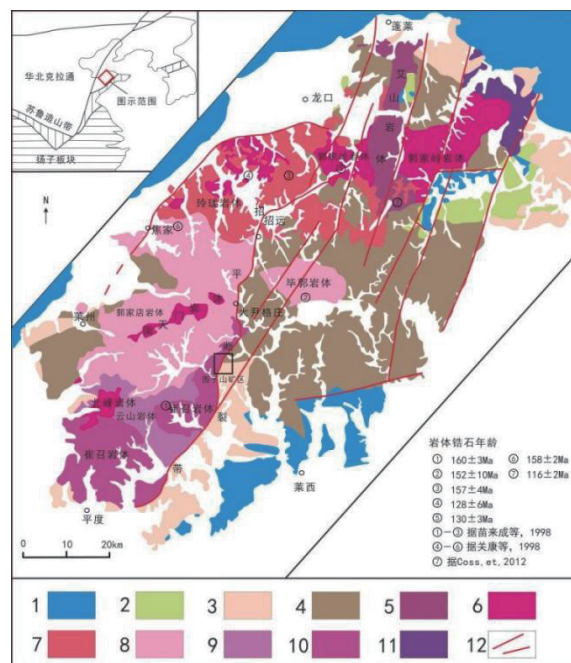


图2 胶西北地区地质简图

在本研究中的围子山矿区内,主要出露的岩性包括斜长角闪岩、黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩和大理岩等(详见表1)。

表1 矿区主要地层的物理力学特征

位置	岩性	厚度/m	硬度	完整程度	研磨性	可钻性	涌、漏水
上盘	黑云变粒岩、黑云斜长岩、斜长角闪岩	100~400	中硬	完整	中—强	6~8	漏水
	大理岩	400~600	中硬	较破碎	中—强	5~6	漏水
下盘	黄铁绢英岩化碎裂岩、黄铁绢英岩	600~700	中硬	破碎	中—强	5~6	漏水
	弱片麻状二长花岗岩	700~1000	中硬	较完整	中—强	6~8	

### 1.4 施工情况

ZK407钻孔设计孔深1000 m,开孔日期为2024年5月10日,钻孔过程中遇到了不同程度的漏水

层,表现为不返水且无泵压。特别是钻进至67.7 m时,漏水现象加剧。通过采用锯末混合堵漏剂等传统堵漏方法,漏水情况得到了一定程度的控制,返

水能够到达孔口套管,使得顶漏钻进得以正常进行。

钻进至134.4 m时,钻进速度显著加快,钻机动头快速下降30 cm,泵压消失,孔内不返水。在这种情况下,立即停钻并取心,但由于岩心采取不足(见图3),表明存在漏水层。尽管尝试了膨胀堵漏剂、锯末、锯花、混合堵漏剂、杂草、塑料袋等混合物进行堵漏,效果并不明显。最终,通过顶漏钻进的方式穿过了漏水层,钻进至142.1 m。在地层相对稳定之后,选择水泥封堵方法,并在封堵前测量了当时的水位为34 m。



图3 134.4 m漏水部位岩心

钻进至423.3 m时,泵压从4 MPa降至2 MPa,随后迅速变为无泵压,孔内仅有少量返水。尽管将泵量增加到100 L/min(原泵量为50 L/min),泵压仍未恢复,孔内不返水现象持续,再次出现了大的漏失。取心后,使用100 m测绳未能测到水位(见图4),表明漏水严重。尽管尝试了混合堵漏剂、膨胀堵漏剂、锯末、黄豆、聚丙烯酰胺、纤维素等多种堵漏方法,均未见效。提钻后,投入石子、沙子混合堵漏剂(装矿泉水瓶下钻压入),成功获得了0.5 MPa的泵压,并顶漏钻进1.2 m至424.5 m,穿过了漏水位置。最终,使用水泥浆加速凝剂进行了堵漏处理<sup>[5-11]</sup>。

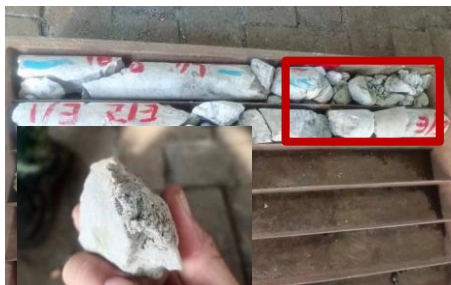


图4 423.3 m漏水部位岩心

## 2 水泥堵漏情况分析与研究

### 2.1 先前工作的经验

2023年,在招平断裂带北端进行钻探作业的ZK2003孔,在穿透第一层强变质破碎和漏失带后,采用S76绳索取心钻头钻进至1851.8 m深度时,遭遇了裂隙破碎漏失地层。这一地层特征导致冲洗液全部漏失,水位骤降至560 m,给钻探施工带来了显著的挑战。

为应对这一问题,研究团队尝试了多种堵漏方法,包括随钻堵漏剂、膨胀堵漏剂、混合堵漏剂,以及一些惰性堵漏材料,如麻绳、黄豆、海带等。然而,这些措施并未达到预期的堵漏效果,钻头多次出现微烧和卡钻等现象。尽管尝试了凝胶堵漏剂 and 水泥堵漏,但均未能成功。

最终,为完成钻探任务,研究团队选择了顶漏钻进的方式,直至钻孔终孔。这一决策反映了在复杂地层条件下,钻探技术的灵活调整和适应性。

### 2.2 原因分析

#### 2.2.1 水压影响

在探讨凝胶堵漏剂的作用机理时,我们发现该材料在两种组分混合后能够形成类似果冻的凝胶状结构。然而,在实际应用过程中,特别是在1850 m深度的孔隙内部,孔底区域受到水压的影响,该凝胶堵漏剂可能会被泥浆压碎或被压入地层,从而影响其堵漏效果。

#### 2.2.2 替浆水过度

在分析替浆过度的成因时,研究表明水位变化是主要影响因素之一。在实施凝胶堵漏和水泥堵漏的过程中,均需通过替浆水对钻杆内部进行灌注。然而,由于当时的水位高度为560 m,在堵漏材料尚未固化的情况下,水位的下降可能导致堵漏材料被压入周围地层,从而导致堵漏失败。

#### 2.2.3 密度差的影响

在水泥堵漏作业中,水泥浆液与地下水之间的密度差异是影响堵漏效果的关键因素之一。根据连通管原理,灌注水泥浆液时,孔内水泥浆液面与地下水液面之间的平衡状态对堵漏成功与否具有决定性影响。然而,实际操作中,由于孔内水泥浆液面与地下水液面之间的不平衡,可能导致堵漏失败。

### 2.3 灌注前的理论分析

基于上述分析,为了提高水泥堵漏的成功率,

在灌注水泥浆液前,对水泥用量、钻孔容积、钻杆容积以及水泥浆液与地下水之间的密度差进行精确计算,以确保灌注过程的顺利进行和堵漏效果的可靠性<sup>[12-17]</sup>。

### 2.3.1 计算水泥用量

在混凝土灌注工程中,常规的水灰比设定为0.5。然而,为了确保搅拌机和水泵的作业效率,本研究将水灰比优化调整至0.56。每袋水泥50 kg加水28 L,形成水泥浆57.6 L。在此过程中,水泥的用量根据灌注孔的深度和体积进行精确计算,同时应该注意根据孔内漏失的严重程度增加水泥用量。

### 2.3.2 计算钻杆容积

计算钻杆容积主要是为了计算水泥浆液达到灌注孔深的保障,根据钻杆容积和水泵的泵量计算出水泥浆到达孔底的时间。

### 2.3.3 计算水泥浆密度对液面平衡的影响

在本研究中,提出的核心问题基于连通管原理,该原理描述了钻孔与地层内地下水之间可能形成的连通管道。根据这一原理,水泥浆的密度显著高于地下水的密度。因此,根据连通管原理,密度较大的水泥浆液面应低于地下水的液面水平。本研究通过计算得出孔内水泥浆与地下水之间的液面差,旨在揭示这一液面差可能导致水泥浆液容易下沉至漏水孔位的外部,进而可能导致水泥堵漏作业的失败。

### 2.3.4 计算水位下降后替浆时间

水位对于灌注水泥的影响很大,应该充分考虑。钻孔内水位变化情况严重影响替浆水的计算量。

## 2.4 灌注实施

### 2.4.1 第一次水泥堵漏

在本项研究中,针对134.4 m深处的水泥封堵作业于5月19日16时进行。在5月20日18时,通过下钻穿透了该孔,并在106 m处遇到了水泥封堵层。在钻进3 m后,尝试打捞内管,但发现水泥凝固效果不佳,因此停止了穿透作业,并继续等待至5月21日早班。随后,再次下钻穿透该孔。在12时,成功穿透了漏水位置,孔内返水情况正常,表明堵漏作业成功。穿透孔的水泥封堵情况详见图5。

### 2.4.2 第二次水泥堵漏

在本研究中,针对地下423.3 m处的水泥封堵作业于6月3日12时进行。在6月4日8时,通过下



图5 134.4 m 透孔水泥

钻穿透了该孔,并在383 m处遇到了水泥封堵层。在钻进3 m后,尝试打捞内管,但发现水泥凝固效果不佳,且水泥中混有部分堵漏材料,导致卡簧座位置的水泥略为干燥。因此,停止透孔,并对打捞的水泥进行了详细的讨论与分析。分析结果表明,水泥在失去流动性后,能够达到堵漏的效果。基于此结论,继续透孔至孔底424.3 m。在完成透孔后,孔内返水情况正常,泵压稳定,表明堵漏作业成功。穿透孔的水泥封堵情况详见图6。



图6 423.3 m 透孔水泥

## 3 结果分析

通过对水泥灌注堵漏技术的应用,水泥浆在堵漏过程中表现出良好的效果,并且成本相对较低。然而,值得注意的是,水泥浆在凝固前处于流动状态,因此在进行堵漏作业时,必须充分考虑水泥浆的密度、水位、漏失速度以及漏失量等因素,并进行详细的计算。这一过程对于确保堵漏作业的成功至关重要。

### 3.1 等待凝固时间长

施工中观察到第一次灌浆过程中水泥的凝固时间过长,达到了40 h。为了解决这一问题,在第二次灌注时考虑了添加速凝剂。通过速凝剂的添加,

能够在水泥浆流失之前实现快速凝固,从而有效地达到了堵漏的目的。对于提高堵漏作业的效率具有重要意义。

### 3.2 聚丙烯酰胺影响水泥硬度

在第二次水泥堵漏作业中,探讨了采用无固相冲洗液对水泥凝固性能的影响。选择了聚丙烯酰胺作为主要冲洗液,辅以广谱护壁剂和高粘堵漏剂。发现当水泥与冲洗液混合时,水泥的凝固效果并不理想。尽管这种混合物能够实现堵漏效果,但透孔水泥呈现出松散状,并表现出一定的弹性和吸水性。此外,自由水的存在对水泥的硬度产生了负面影响。这些发现对于优化水泥堵漏作业的冲洗液选择和水泥凝固性能具有重要启示。

### 3.3 水位影响替浆

通过计算水与水泥浆的密度差以及在孔内的液面差,来确定合理的水泥浆用量和替浆水量。这一计算过程旨在确保水泥浆能够有效地保留在灌注堵漏的位置,从而提高堵漏作业的效率 and 成功率。通过精确控制水泥浆的用量和替浆水量,可以有效避免水泥浆在孔内的流失,确保堵漏作业的顺利进行。

## 4 结语

本文通过对水泥灌注堵漏的实践应用与分析总结,对水泥护壁堵漏技术实践操作中注意事项和影响因素进行分析,对钻探施工水泥护壁堵漏技术具有较好的指导意义和实际应用价值。

## 参考文献:

- [1] 汤凤林, A. T. 加里宁, 段隆臣. 岩心钻探学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2009.
- [2] 庄光军, 刘金友, 高梦江, 等. 山东省山后金矿区构造控矿分析[J]. 黄金科学技术, 2009(5): 30-35.
- [3] 刘述敏, 张建伟, 王帅, 等. 胶西北招平断裂带南段金矿勘查模型及找矿方向[J]. 地质与勘探, 2016, 52(3): 399-406.
- [4] 林少一, 孙亮亮, 魏绪峰, 等. 招平断裂带南段山旺矿区金矿地质特征及成矿远景[J]. 山东国土资源, 2017, 33(2): 1672-1679.
- [5] 吉孟瑞, 陈师逊, 张英传. S95绳索取心钻进技术应用及工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007(1): 83-87.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 陈焕基, 徐小德. 裂隙漏失岩层堵漏技术的实践[J]. 探矿工程, 1981(6): 48-52.
- [10] 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.
- [11] 王胜, 欧兴贵, 解程超, 等. 钻井利器故事之“护壁堵漏材料”[J]. 钻探工程, 2024, 51(3): 157-161.
- [12] 郑勇军, 胡晓斌, 刘宏韬. 长沙沟矿点水泥堵漏应用[J]. 西部探矿工程, 2017, 29(10): 80-81.
- [13] 陈博安, 郭中峰, 王学良, 等. 关井注水泥堵漏技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2001(5): 34-36.
- [14] 聂勋勇, 王平全, 张新民. 聚合物凝胶堵漏技术研究进展[J]. 钻井液与完井液, 2007, 24(1): 82-83.
- [15] 李洪治. 用U形管连通器测定不溶混液体的密度[J]. 物理实验, 1986(2): 20-21.
- [16] 杨仁树, 肖同社, 刘波, 等. 喷射混凝土速凝剂的应用与发展[J]. 中国矿业, 2005, 14(7): 34-40.
- [17] 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.

(编辑 王文)