

# Problems and Countermeasures in Permafrost Drilling Construction at Ha'erdaban Mining Area

Xu Zhang

Survey and Monitoring Institute of Hydrogeological and Environmental Geological of Hunan Province, Changsha, Hunan, 412007, China

## Abstract

The Haldaban Mining Area is located in the area of the Biezhentao Mountains in the Western Tianshan Mountains. Its unique geographical environment and complex geological conditions, especially the existence of the permafrost layer, have brought unprecedented challenges to the drilling construction. This paper aims to deeply explore the specific problems in the drilling construction of the permafrost layer in the Haldaban Mining Area and propose targeted solutions. Through a detailed analysis of the characteristics of the permafrost layer, the foundation of drilling technology, the general situation of the mining area and the current situation of drilling, this paper reveals the core problems faced in the construction, such as frozen drilling, unstable performance of the flushing fluid, frequent downhole and mechanical accidents, etc. Accordingly, a series of multi-dimensional countermeasures are proposed, including optimizing the drilling process, improving the preparation of the flushing fluid, strengthening equipment management, enhancing the quality of personnel and strengthening on-site management. The research of this paper not only provides practical guidance for the drilling construction in the Haldaban Mining Area, but also provides valuable references for drilling operations under similar geological conditions.

## Keywords

Haldaban Mining Area; Permafrost Layer; Drilling Construction; Frozen Drilling Accident; Performance of Flushing Fluid

## 哈尔达坂矿区永冻层钻探施工中存在的问题及对策

张旭

湖南省水文地质环境地质调查所, 中国·湖南长沙 410100

## 摘 要

哈尔达坂矿区位于西天山别珍套山一带, 其独特的地理环境和复杂的地质条件, 特别是永冻层的存在, 给钻探施工带来了前所未有的挑战。本文旨在深入探讨哈尔达坂矿区永冻层钻探施工中的具体问题, 并提出针对性的解决策略。通过对永冻层特性、钻探技术基础、矿区概况及钻探现状的详细分析, 本文揭示了施工中面临的冻钻、冲洗液性能不稳定、孔内及机械事故频发等核心问题, 并据此提出了一系列优化钻进工艺、改进冲洗液配制、加强设备管理、提升人员素质及强化现场管理等多维度对策。本文的研究不仅为哈尔达坂矿区的钻探施工提供了实践指导, 也为类似地质条件下的钻探作业提供了宝贵的参考。

## 关键词

哈尔达坂矿区; 永冻层; 钻探施工; 冻钻事故; 冲洗液性能

## 1 引言

哈尔达坂矿区作为重要的矿产资源开发区, 其地质条件复杂多变, 特别是永冻层的存在给钻探施工带来了极大的困难。永冻层的地质特性使得钻探过程中孔壁间隙小、热融性缩径和坍塌、冲洗液性能不稳定等问题频发, 严重影响了钻探施工的效率和质量。因此, 深入研究哈尔达坂矿区永冻层钻探施工中存在的问题, 并提出有效的对策, 对于提高钻探施工效率、保障施工安全具有重要意义。

【作者简介】张旭(1987-), 男, 中国湖南宁乡人, 本科, 工程师, 从事钻探研究。

## 2 相关基础概述

### 2.1 永冻层

永冻层, 作为地下土壤或岩石中持续多年保持冻结状态的部分, 在哈尔达坂矿区的高海拔山区广泛分布, 其厚度惊人, 可达百米以上, 且地层温度普遍低于  $-5^{\circ}\text{C}$ 。这一特殊的地质条件给钻探施工带来了诸多前所未有的挑战。首先, 永冻层中的土壤或岩石因长期冻结而呈现出紧密的孔隙结构, 孔壁间隙极小, 这无疑增加了钻探过程中钻杆和冲洗液流动的难度<sup>[1]</sup>。其次, 钻探作业中的热量传递可能引发永冻层土壤或岩石的热融现象, 导致孔壁缩径和坍塌, 进而对钻探效率和施工质量构成严重威胁。再者, 永冻层的低温环

境对冲洗液的性能提出了更为严苛的要求。在低温条件下，冲洗液易发生絮凝、凝固等不利变化，致使其性能变得不稳定，甚至无法正常发挥作用。

## 2.2 钻探施工技术

在哈尔达坂矿区，永冻层地质条件特殊，使得钻探施工技术的每个环节都需精细设计与严格把控。钻机作为核心设备，需具备低温适应能力、强大钻进力与高稳定性；钻杆要高强度、耐腐蚀耐磨，以应对永冻层的摩擦与挤压。钻进方法应依地层特性和目标，选用绳索取心钻进等高效方式。冲洗液在低温下需兼顾冷却、润滑和携屑功能，必须精心配制，从而保障钻探作业高效、安全开展，确保施工质量。

## 3 哈尔达坂矿区永冻层钻探施工的现状

### 3.1 哈尔达坂矿区概况

哈尔达坂矿区位于西天山别珍套山一带，其独特的地理位置赋予了矿区复杂而多变的自然环境。矿区海拔高度介于 2876 米至 4112 米之间，属于典型的高海拔半干旱高寒山区。这里的气候条件极为严苛，夏季最高气温仅能达到 20℃，而冬季最低气温则可降至 -40℃，温差巨大，霜冻期漫长，钻探最佳施工期仅 7-8 月份。

矿区的地质结构同样复杂，地表以下约 1.5 米为季节融冻层，之下则是厚度超过百米的永冻层。永冻层的存在对钻探施工提出了极高的挑战，因为地层温度大多低于 -5℃，年平均气温更是在 0℃ 以下。此外，矿区第四系松散堆积层的岩性主要为碎石土和块碎石土，基岩则包括灰岩、白云岩、大理岩、板岩等多种类型，褶皱断裂构造发育，进一步增加了钻探的难度。

### 3.2 哈尔达坂矿区永冻层钻探施工现状分析

#### 3.2.1 永冻层地质特征及其对钻探的影响

哈尔达坂矿区永冻层厚度超过百米，地层温度大多低于 -5℃。这种特殊的地质条件对钻探施工带来了极大的挑战。永冻层中孔壁间隙小，停钻取芯时极易发生冻钻事故；同时，软岩层在泥浆循环后容易发生热融性缩径和坍塌，形成埋钻事故。此外，冲洗液在地温环境中容易发生絮凝现象，导致泥浆性能不稳定甚至被破坏，地表循环系统易冻结和流凌淤积，送水困难。

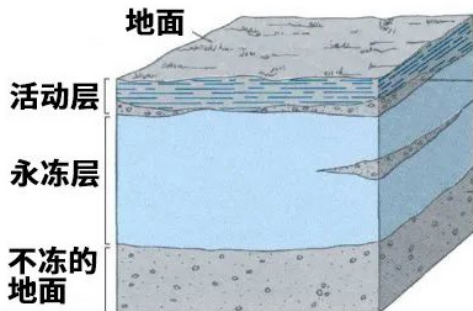


图 2-1 永冻层地质剖面图

#### 3.2.2 钻探施工方法与技术难点

针对哈尔达坂矿区永冻层的地质特征，钻探施工采用了一系列特殊方法和技术手段<sup>[2]</sup>。首先，在钻机选择上，由于施工难度大、孔深打撈停钻时间长，钻孔设计孔深一般不超过 500 米，并选用全液履带钻机或模块式钻机以减少机械事故。其次，使用新钻杆甚至加厚墩粗钻杆，以提高钻杆的抗冻性和耐用性。钻进过程中，采用绳索取心钻具，通过两级相配套的钻具系列，先钻进易融、易塌的冻土层和风化碎石层，然后用套管封闭，再换用较小直径的钻具钻进至终孔。这种方法可以减少孔段裸露时间，保持孔壁的完整稳定性，提高钻进效率，防止钻孔偏斜。

然而，在实际施工过程中，仍面临诸多技术难点。例如，在冻结的松散冻土中及基岩上部松散破碎且裂隙发育地段，容易发生坍塌掉块和漏失现象。此外，由于永冻层不断被融解，导致卡钻、埋钻事故频发，且提钻后孔内迅速结冰，钻探的扫孔时间大多超过了正常钻进时间，容易形成复杂的孔内事故甚至钻孔报废。



图 2-2 钻探施工图

#### 3.2.3 冲洗液配制与性能优化

永冻层钻探中冲洗液的配制至关重要。目前，主要使用盐类饱和溶液作为冲洗液，以提升低温条件下泥浆的流变性。在泥浆配制过程中，应在掺加完其他添加剂后，再加入食盐和纯碱，以提升泥浆的抗冻性和稳定性。然而，随着盐量的增加，泥浆的冰点降低，但也可能导致复杂地层孔壁融解坍塌。因此，需要严格控制冲洗液的成分和配比，以保证正常钻进和孔壁稳定<sup>[3]</sup>。

在实际施工过程中，发现冲洗液在地温环境中容易发生絮凝现象，导致泥浆性能不稳定。为了解决这个问题，采用了加热冲洗液的方法，使其在正常温度下循环。然而，在复杂地层中，泥浆循环热交换后易发生热融性缩径和坍塌。因此，需要进一步优化冲洗液的组成成分和配比，以提高其适应性和稳定性。

#### 3.2.4 人员选择与高原适应性

哈尔达坂矿区海拔高、高原反应大，对施工人员的身体素质和适应能力提出了极高要求。首先，所有进场施工人员必须经过严格的医疗体检，确保身体适应高原地区低气压、缺氧的特殊自然环境。其次，施工人员应具有高度的责

任心和前瞻性分析能力，对钻孔质量安全隐患进行预测和防范。此外，还需要选择专业知识过硬、业务能力强、施工经验丰富的技术人员和技术工人，并经过高原地区卫生、保健及施工技术培训。

为了保障施工人员的身体健康，现场应配备充足的备用药品和制氧机等吸氧设备。同时，应搭建加厚保暖效果好的帐篷作为临时住所，并架设火炉取暖。然而，由于高原地区自然环境恶劣，氧气含量低、紫外线辐射大、空气干燥，对人体各项机体功能影响很大。因此，需要密切关注施工人员的身体状况，及时采取措施进行防范和治疗。

表 2-3 施工人员高原适应性评估指标

评估指标	评估标准
身体状况	无心、肺、脑、肝、肾等疾病，无严重贫血、高血压病和视网膜疾病
心理素质	具有高度的责任心和前瞻性分析能力，对事物有准确的判断
专业知识与技能	专业知识过硬，业务能力强，施工经验丰富，经过相关培训
高原适应性培训	接受过高原地区卫生、保健及施工技术培训
高原反应应对措	配备高原反应药品，配置制氧机等吸氧设备，密切关注身体状况

表 2-4 矿区部分钻孔施工情况

钻孔编号	设计孔深 (m)	机型	施工情况	结果
ZK601	320	加拿大 HC-600	Φ110mm 口径钻至 6.7 米垮孔埋钻。	废孔后重开
ZK603	340	天河众邦 YDX-3	φ75mm 口径钻进至 250.2 米时，210 米处断钻杆，钻具、钻杆冻结。	废孔后重开
ZK702	280	加拿大 HC-600	Φ75mm 口径钻进至 280.2m。	终孔
ZK706	310	天河众邦 YDX-3	Φ75mm 口径钻进至 120.5 米时，柴油机突然熄火，维修 20 分钟后重启，钻杆转不动已冻结。管内逐步下入镀锌管，饱和盐水加热后循环，连续施工 3 天，钻杆转动。钻进至 310.1 米。	终孔
ZK902	420	天河众邦 YDX-3	Φ75mm 口径 406 米处打捞岩芯时，耽误时间过长，钻杆能轻微转动，但上提不动，连续循环热泥浆，逐步往上扫，5 天后钻杆可提出。	406m 协调终孔
ZK1009	360	黄海 HYDX-5	Φ75mm 口径钻进至 180 米卡钻，钻杆无法转动后冻结。	废孔后重开
ZK1204	300	天河众邦 YDX-3	Φ75mm 口径 273 米处打捞岩芯，内管拉不动，脱卡失败，处理 25 分钟后，钻杆冻结。	废孔后重开
ZK1302	290	加拿大 HC-600	φ95mm 口径 72m 卡钻，作为套管，变 φ75mm 施工钻进至 290.3m。	终孔

#### 4.2 冲洗液性能不稳定

在永冻层钻探施工中，冲洗液的性能扮演着至关重要的角色，直接关系到钻进效率和施工质量的优劣<sup>[4]</sup>。然而，面对地层极低的温度环境，冲洗液面临着一系列严峻挑战。具体而言，低温条件容易诱发冲洗液中的某些成分发生絮凝现象，导致泥浆材料溶解度下降，固相颗粒易于聚结，进而造成冲洗液性能的不稳定乃至失效。这一变化不仅削弱了冲洗液的有效功能，还可能引发地表循环系统的冻结和流凌淤积问题，使得冲洗液无法正常循环，给钻探过程的顺畅进行设置了障碍。更为严重的是，低温还导致冲洗液易于凝固和冻结，使得送水过程变得异常艰难，冲洗液供应难以保证充足。这一系列连锁反应，不仅降低了钻进效率，更对施工质量构成了潜在威胁，要求我们在永冻层钻探作业中，必须高度重视冲洗液的性能维护与调控，以确保钻探施工的顺利进行和工程质量的可靠保障。

## 4 哈尔达坂矿区永冻层钻探施工中存在的问题

### 4.1 冻钻事故频发

在永冻层钻进作业中，孔壁间隙狭窄的风险尤为突出。极低的地层温度使钻杆与孔壁间水分极易结冰，大幅增加摩擦力，导致钻杆冻结，引发冻钻事故。而当钻探至软岩层时，泥浆循环带来的热量会使永冻层土壤或岩石热融，致使孔壁结构失稳，出现缩径、坍塌现象。一旦情况恶化，钻杆易被掩埋，造成埋钻事故，不仅中断钻探作业，还严重威胁钻探设备安全与人员生命安全。

### 4.3 孔内事故和机械事故频发

在哈尔达坂矿区的永冻层钻探作业中，孔内事故与机械故障频繁出现，这对施工进度与作业安全构成了严峻挑战。这一现象的背后，深藏着永冻层地质特性的复杂性与钻探技术的局限性。永冻层的地层温度极低，使得钻杆与孔壁间的摩擦系数显著增加。在持续的钻进过程中，这种增大的摩擦力极易导致钻杆出现断裂或弯曲，从而引发孔内事故。此外，永冻层的地层结构复杂多变，常常伴随着孤石、探头石等坚硬障碍物的出现。这些障碍物在钻探过程中，会对钻杆产生巨大的阻力，进而造成钻杆卡钻或偏斜，进一步加剧了孔内事故的风险。与此同时，钻探设备的老化问题也不容忽视。随着使用时间的增长，设备性能逐渐下降，难以应对复杂多变的钻探环境。加之操作人员的技术水平参差不齐，操作不当也时有发生，这无疑为机械故障的发生埋下了隐患。

## 5 完善哈尔达坂矿区永冻层钻探施工的对策

### 5.1 优化钻进工艺

为应对哈尔达坂矿区永冻层冻钻事故频发,优化钻进工艺是关键。可采用干钻或低泵量钻进,干钻不使用冲洗液,能避免孔壁因冲洗液降温、强度减弱,降低冻钻风险;低泵量钻进减少冲洗液流量,兼顾冷却排屑,适用于冲洗液需求低的工况。同时,需严格把控转速和钻压,过高转速会加剧钻杆与孔壁摩擦,过大钻压易致孔壁失稳,应依据地层与设备合理设定参数。此外,选用带刃钻头可减少钻杆与岩石摩擦,振动钻进能破碎岩石、降低卡钻偏斜风险,特殊钻具和方法的选择需综合考虑地层条件与钻探需求。

### 5.2 改进冲洗液配制技术

冲洗液在钻探过程中起着冷却钻杆、携带岩屑、稳定孔壁等多重作用。针对永冻层钻探中冲洗液性能不稳定的问题,改进冲洗液配制技术显得尤为重要。首先,应选择适合永冻层钻探的冲洗液类型。盐类饱和溶液因其低温下不易结冰、具有较好的流动性和携屑能力而被广泛应用于永冻层钻探中。通过调整盐类的种类和浓度,可以进一步优化冲洗液的低温性能。其次,泥浆配制过程中添加剂的种类和用量对冲洗液的性能有着至关重要的影响。应严格控制添加剂的加入量,避免过量或不足导致的性能下降。同时,应根据地层特性和钻探需求选择合适的添加剂类型,如增稠剂、降滤失剂、润滑剂等,以提高泥浆的低温流变性和稳定性。此外,预先加热循环的方法也是解决冲洗液低温性能问题的一种有效手段。通过在泥浆循环系统中设置加热装置,使冲洗液在钻进过程中保持适当的温度,从而减少对孔壁的冷却作用。

### 5.3 加强设备管理和维护

设备是钻探作业的根基,针对孔内与机械事故频发问题,强化设备管理维护至关重要。一方面,需建立健全设备管理制度,明确检修周期、维护内容及责任人,定期检修,及时排除故障隐患。另一方面,加强操作人员培训,通过课程、讲座与实践提升其专业技能和安全意识,并建立激励考核制度激发积极性。此外,引入全液压履带钻机、模块式便携钻机等先进设备,凭借其灵活高效、便于运输安装等优势,可显著提升钻探效率与作业安全性。

### 5.4 提高人员素质和技能水平

在哈尔达坂矿区永冻层钻探施工中,人员素质与技能水平对施工质量至关重要。可通过组织培训课程和讲座,让

施工人员学习前沿钻探技术与方法,提升理论与实操能力;鼓励参与实践操作、演练及技能竞赛,在模拟场景中增强操作与应急能力。同时,建立健全激励考核制度,设立奖励基金、提供晋升机会,定期评估奖励,激发人员积极性,促进良性竞争,全方位提高施工人员素质与技能水平。

### 5.5 加强现场管理和监控

在哈尔达坂矿区永冻层钻探施工中,强化现场管理与监控是保障施工质量的关键。需建立完善管理制度,明确人员职责,制定详细施工计划,加强现场巡查,及时排除隐患。同时,运用无人机巡查、传感器监测等先进技术,全面掌握施工动态,快速响应异常情况。此外,完善安全管理制度和应急预案,保障人员安全;加强环境保护,减少施工对环境的破坏,多管齐下为钻探作业顺利开展筑牢保障。

## 6 结语

哈尔达坂矿区永冻层钻探施工是一项复杂而艰巨的任务。针对施工中存在的问题和挑战,本文通过深入分析并提出了相应的完善对策。通过优化钻进工艺、改进冲洗液配制技术、加强设备管理和维护、提高人员素质和技能水平以及加强现场管理和监控等措施的实施,可以有效提高钻探效率和施工质量,减少孔内事故和机械事故的发生<sup>[5]</sup>。未来,随着钻探技术的不断发展和创新,相信哈尔达坂矿区永冻层钻探施工将面临更多的机遇和挑战。因此,我们需要不断探索和实践新的钻探技术和方法,以适应复杂多变的地质条件和施工需求。同时,我们还需要加强对施工人员的培训和教育力度,提高他们的专业素质和安全意识水平。只有这样,我们才能在哈尔达坂矿区永冻层钻探施工中取得更加显著的成果和效益。

### 参考文献

- [1] 宁赞格;李大鹏;许红升;张骏;王金淮. 偃龙西部矿区钻探施工经验浅谈[J]. 西部探矿工程, 2019(12).
- [2] 徐日勇;杭程. 句容市大华山一西银坑矿区岩芯钻探施工技术[J]. 西部探矿工程, 2018(11).
- [3] 张小磊. 金山矿区钻探施工技术及其运用实践微探[J]. 世界有色金属, 2022(09).
- [4] 何为. 营坑矿区钻探施工现场危险源辨识及控制措施探讨[J]. 中国金属通报, 2022(09).
- [5] 高贵山;张延龙;纪楠;徐捷伟. 吉林省通化县新华矿区多金属矿钻探施工技术[J]. 吉林地质, 2013(03)