

# 复杂地质条件下水利隧洞施工技术创新研究

谢曙明

新疆伊犁哈萨克自治州奎屯河流域灌溉管理处 新疆伊犁 833200

**摘要:** 奎屯河引水工程作为新疆生产建设兵团在建的最大单体水利工程, 面临复杂多变的地质条件, 施工过程中涉及多种地质构造和较大施工难度。本文针对水利隧洞在复杂地质条件下的施工挑战, 结合奎屯河引水工程的案例, 分析了传统施工技术的局限性, 并探讨了创新的施工方法和技术。通过聚能水压爆破技术、超前地质预报以及信息化管理系统的应用, 有效提高了施工效率和安全性, 保障了工程质量。研究结果为复杂地质条件下水利隧洞施工提供了技术支持和参考, 推动水利工程领域的技术进步。

**关键词:** 复杂地质; 水利隧洞; 施工创新

## 引言

水利工程在保障区域供水、防洪安全和农业灌溉、发电中具有重要作用, 而隧洞施工则是水利工程的关键环节之一。在复杂的地质条件下, 隧洞施工常常面临岩层不稳定、渗水、坍塌等问题, 给工程的质量和带来挑战。随着现代工程需求的增加, 传统的隧洞施工技术已无法完全满足复杂地质环境的要求, 施工技术的创新与发展成为必然趋势。

## 一、复杂地质条件下水利隧洞施工的挑战分析

### (一) 奎屯河引水工程的地质环境与工程背景

奎屯河引水工程是新疆生产建设兵团在建的最大单体水利工程, 旨在解决七师胡杨河市、“奎独乌”地区城乡生活用水、工业用水和农业灌溉的供水问题。该工程隧洞全长11.5公里, 贯穿山区和多种地质构造, 面临着复杂的地质环境和高风险的施工条件。工程建设过程中需要克服多种地质难题, 如岩层不稳定、渗水及河流穿越带来的施工挑战, 施工环境复杂多变, 对技术和管理提出了更高的要求。

### (二) 隧洞施工中面临的主要地质问题及风险

隧洞施工过程中常遇到多种地质问题, 包括软弱岩层、断层破碎带、高地应力区和突水突泥等。这些问题可能引发坍塌、变形、渗水等风险, 威胁施工安全和工程稳定性。此外, 工程区域内存在多种不连续构造和高水位渗透层, 使得隧洞掘进面临更大的难度。对于奎屯河引水工程而言, 这些地质问题不仅增加了施工技术的

复杂性, 也提高了施工安全管理的难度。

### (三) 复杂地质对施工安全与工程质量的影响

复杂地质条件对施工安全和工程质量有显著影响。软弱岩层和断层破碎带可能导致隧洞坍塌和变形, 危及施工人员的安全, 同时增加了支护和防护的成本。高水位渗透层和河流穿越带的存在, 则会带来渗水和突泥问题, 导致施工进度延误并影响隧洞的稳定性。因此, 在奎屯河引水工程的建设中, 需要采用先进的施工技术和科学的管理手段, 以有效应对复杂地质条件带来的挑战, 确保工程的顺利推进和质量达标。

## 二、传统施工技术的局限性与改进需求

### (一) 奎屯河引水工程传统施工技术的应用现状

在奎屯河引水工程中, 传统的隧洞施工技术仍然占据一定的主导地位, 如钻爆法和传统支护技术。这些技术在普通地质条件下具有成本低、操作简单的优点, 但在应对复杂地质环境时显得力不从心。例如, 钻爆法在软弱岩层和高水位区域的使用过程中, 易引发围岩不稳定和过量渗水问题。此外, 传统的支护手段, 如钢筋网喷混凝土, 难以在断层破碎带和高地应力区等复杂地质条件下提供足够的支撑力和稳定性。这些技术的应用, 限制了工程的施工进度和质量控制。

### (二) 在复杂地质条件下的施工风险与常见问题

在复杂地质条件下, 传统施工技术容易遇到一些典型的风险和问题。首先, 岩层破碎和断层带的存在会导致隧洞坍塌和围岩变形, 增加支护难度和施工安全隐患。其次, 高水位渗透层使得传统防水措施效果有限, 可能引发渗水、突泥等问题, 甚至造成隧洞内洪水泛滥。此外, 在地应力集中区域, 钻爆法容易引发超挖现象, 导致围岩进一步不稳定, 同时增加了开挖和支护的工作量。

**作者简介:** 谢曙明, 男, 1968.3, 四川成都人, 本科学历, 水利水电工程方向, 水利水电工程。

这些风险和问题严重影响了施工的安全性和效率。为应对复杂地质条件作为试验段。

### （三）提高施工质量和效率的必要性

为解决传统施工技术在复杂地质条件下的局限性，奎屯河引水工程亟需对施工方法进行创新和改进。提高施工质量和效率不仅有助于降低工程风险和保障安全，还能缩短工期、节约成本。在该工程中，引入聚能水压爆破技术、超前地质预报等新技术，不仅显著提升了施工精度和效率，还增强了对复杂地质条件的适应性。此外，应用信息化管理系统可实现实时监控与动态调整，提高施工管理水平。因此，推动施工技术的创新与优化是应对复杂地质挑战的关键举措。

## 三、水利隧洞施工技术的创新方法

### （一）奎屯河引水隧洞工程的新技术应用（如聚能水压爆破技术）

在奎屯河引水工程中，为应对复杂地质条件作为试验段，施工团队引入了聚能水压爆破技术。这种技术通过在岩体内施加定向水压，形成聚能爆破效应，能够更精准地控制岩层开挖，减少传统钻爆法中常见的超挖现象。相比于传统的钻爆方法，聚能水压爆破能够有效降低开挖过程中岩体的扰动，减少围岩的二次破碎，提高施工安全性和效率。此外，该技术在高地应力区和软弱岩层的应用中，表现出较强的适应性，显著改善了岩体的破碎程度和稳定性，为后续支护工作提供了更好的基础条件。

### （二）针对复杂地质的超前地质预报技术及信息化管理

奎屯河引水工程施工中，复杂多变的地质条件对施工安全带来较大挑战。因此，超前地质预报技术的应用至关重要。通过地质雷达、钻孔探测和超前地震反射等技术手段，施工团队能够在开挖前预测前方地质条件的变化，及时调整施工方案，有效规避风险。同时，工程引入了信息化管理系统，实现了施工过程中的动态监测和数据管理。该系统能够实时采集隧洞开挖过程中的地质参数和支护状态，并根据预警信息及时调整施工方法。这种信息化管理模式不仅提高了施工的安全性，还优化了施工进度安排，减少了因地质问题引发的工期延误。

### （三）先进的支护与防水技术（如面板表层止水和聚脲涂层）

针对奎屯河引水隧洞复杂的地质条件，工程中采用了多种先进的支护和防水技术。首先，在支护方面，结合围岩条件选择适宜的支护结构，如钢拱架支护和喷混凝土加锚杆的组合支护方式，以增强围岩的稳定性。其次，在防水方面，采用了面板表层止水和聚脲涂层等技

术。这些技术不仅提高了隧洞的防水性能，还有效防止了地下水的渗漏。聚脲涂层由于其优异的弹性和抗腐蚀性能，能够适应隧洞内的复杂环境，为隧洞长期运行提供可靠的防护。此外，在高压区域，采用多层次的防水措施，有效降低了隧洞内部的渗水风险，保证了隧洞的结构安全和耐久性。

## 四、施工过程中的动态监测与风险管理

### （一）奎屯河引水工程的监测系统和安全管理模式

在奎屯河引水工程中，复杂的地质条件和多变的环境因素对施工安全提出了严峻挑战。为有效应对这些风险，工程项目建立了完善的监测系统和安全管理模式。该监测系统采用地质雷达、钻孔探测、地应力监测等多种技术手段，实时采集隧洞施工中的关键地质参数，如围岩稳定性、渗水量和岩层变形等。这些数据通过传感器网络和无线通信技术传输至监控中心，进行实时分析和预警。同时，工程建立了多层次的安全管理模式，包括日常检查、专项监测和应急响应等。项目团队还通过开展安全培训和模拟演练，提高施工人员的风险意识和应急处理能力。这种全方位的监测和管理手段为保障施工安全提供了有力支持。

### （二）复杂条件下风险控制的策略与调整措施

奎屯河引水工程隧洞施工中，面临着岩层破碎、断层穿越和高水位渗透等多种风险。因此，针对不同的风险源，工程团队制定了针对性的风险控制策略，并在施工过程中进行动态调整。首先，对于岩层破碎和断层穿越等高风险区域，采用超前支护和局部加固的方式，以防止围岩变形和坍塌。其次，针对渗水和突泥问题，在高水位区域实施多级防水设计，包括注浆堵水、排水沟设置和聚脲涂层等措施，减小渗水量并防止突泥。此外，施工过程中实时监测地质条件的变化，一旦出现异常，及时调整施工方案，如改变掘进方向或加固支护结构。这些灵活的调整措施在保障施工安全的同时，也提高了施工效率。

### （三）信息化综合管理系统的效果

奎屯河引水工程引入的信息化综合管理系统，极大地提升了施工的科学性和管理水平。该系统通过对施工过程中的各类数据进行实时监测和动态分析，使项目管理团队能够及时掌握施工进展和潜在风险。系统包括数据采集、处理、分析和反馈四个模块，能自动生成风险预警报告，帮助管理人员快速决策。例如，当监测到围岩变形速度超出安全阈值时，系统会发出预警信号，并建议采取相应的加固措施。此外，系统还能够通过大数据分析，对不同地质区域的施工风险进行预测，为制定更为科学的施工方案提供依据。

在具体应用中,信息化管理系统的效果显著。首先,系统的实时监测功能提高了风险预警的精度,提前发现潜在问题,避免了多次险情发生。其次,数据分析功能优化了资源配置,使各类人力、物力的使用更加合理,降低了施工成本。再次,系统集成施工进度、设备运行状态等多项指标,便于进行多方面的综合管理和协调,进一步提升了施工的整体效率和安全水平。

### 五、工程案例分析与技术应用效果评估

#### (一) 奎屯河引水工程隧洞施工的成果与创新点总结

奎屯河引水工程作为新疆生产建设兵团目前在建的最大单体水利工程,其隧洞施工克服了复杂多变的地质条件,取得了显著成果和技术创新。全长11.5公里的引水隧洞成功穿越多种地质构造和一条河流,为区域供水和防洪提供了重要保障。工程中应用的聚能水压爆破技术显著提高了岩层开挖的精度和效率,减少了传统钻爆法带来的围岩扰动和超挖问题。此外,工程还采用了超前地质预报技术和信息化综合管理系统,强化了施工过程中的动态监测和风险控制,确保了施工的安全性和科学性。这些技术创新不仅使隧洞施工在复杂地质条件下顺利推进,还大幅提升了工程质量。奎屯河引水工程的成功实施为水利隧洞施工提供了宝贵的技术借鉴,展示了在应对复杂地质条件时技术创新的关键作用。

#### (二) 创新技术在克服多种地质构造中的表现

奎屯河引水工程隧洞施工过程中遇到了多种地质构造,包括软弱岩层、高地应力区、断层破碎带以及高水位渗透层。这些地质条件为施工带来了很大的技术挑战,但通过创新技术的综合应用,项目团队成功克服了这些困难。聚能水压爆破技术在软弱岩层和高地应力区的应用中效果显著。这种技术通过精确控制爆破能量,使岩层的开挖更加稳定,减少了破碎岩体的二次破碎风险,有效防止了围岩坍塌。在断层破碎带的施工中,采用了超前支护和局部加固措施,配合超前地质预报技术,提前识别高风险区域并进行必要的支护加固,降低了施工中的坍塌风险。

工程在高水位渗透层的施工中,采用了面板表层止水与聚脲涂层等多层次防水措施。这些防水技术有效降低了隧洞内的渗水风险,防止了突泥现象的发生,保障了施工进度和隧洞的长期稳定性。通过这些技术的创新应用,奎屯河引水工程在多种复杂地质条件下实现了高效、安全的施工,充分体现了新技术在水利隧洞工程中的重要作用。

#### (三) 工程对区域供水和防洪安全的实际效益

奎屯河引水工程不仅在施工技术上取得了重大突破,还对区域供水和防洪安全产生了显著的实际效益。工程

建成后,隧洞将承担七师胡杨河市、奎屯市、克拉玛依市独山子区以及乌苏市等地的生活供水、工业用水和农业灌溉任务,惠及70万人口和近200万亩农田。工程的建成将显著提高区域内农业用水灌溉的保证率,从现有的不足70%提高到75%以上,同时将工业用水的保证率提高到97%。这些改进大大缓解了“奎独乌”地区长期以来的工农业用水压力,特别是在农业季节性缺水问题上的成效尤为显著,为区域经济的可持续发展提供了重要支撑。

在防洪安全方面,奎屯河引水工程同样发挥了关键作用。作为奎屯河流域防洪体系的重要组成部分,工程有效增加了河道的调蓄能力,减轻了洪水高峰时的下游压力。隧洞引水能够在洪水期间分流部分水量,降低河道水位,从而减少洪水对下游城市和农田的威胁。特别是在极端天气频发的背景下,该工程的防洪调蓄功能显得尤为重要,为区域内抗洪减灾工作提供了有力支持。

通过奎屯河引水工程的实施,不仅解决了“奎独乌”地区的供水紧张问题,同时显著提升了区域防洪减灾的能力,为进一步推动当地经济发展和生态保护提供了坚实的基础。工程的成功经验表明,创新施工技术不仅能在复杂地质条件下确保水利隧洞的顺利建设,还能为区域水资源管理和防洪安全做出重要贡献。奎屯河引水工程的实施和经验,为未来类似项目提供了有价值的参考。

### 总结

奎屯河引水工程作为新疆生产建设兵团在建的重大水利项目,在复杂地质条件下成功应用了聚能水压爆破、超前地质预报和信息化管理等创新技术,实现了高效、安全的隧洞施工,克服了软弱岩层、断层破碎带和高水位渗透层等多种地质挑战。先进的支护和防水技术进一步提升了隧洞的稳定性和质量。工程不仅在施工技术上取得突破,还显著改善了“奎独乌”地区的供水和防洪状况,保障了70万人口的用水需求,并提高了防洪能力,为未来类似项目提供了宝贵经验和参考。

### 参考文献

- [1] 刘建军, 王晓东, 李海峰. 聚能水压爆破技术在隧洞施工中的应用研究[J]. 水利科技, 2018, 34(5): 34-38.
- [2] 张伟, 李刚, 王磊. 超前地质预报技术在复杂地质条件下隧洞施工中的应用[J]. 岩土工程学报, 2019, 41(2): 123-129.
- [3] 陈斌, 刘杰, 赵春. 水利工程信息化管理系统的设计与应用[J]. 水利信息化, 2020, 47(3): 54-58.