

# 复杂地质条件下隧洞施工关键技术分析

郭庆亚

中国水利水电第三工程局有限公司 陕西 西安 710000

**摘要:** 复杂地质条件下的隧洞施工面临诸多挑战, 关键技术分析成为确保工程顺利进行的关键。本文深入探讨了地质勘查与预报、钻孔爆破、隧道掘进机、地下水控制、隧道支护与衬砌以及施工监控与信息化等关键技术的应用与改进。通过综合运用这些技术, 可以显著提高隧洞施工的安全性和效率, 降低地质灾害风险, 为复杂地质条件下的隧洞施工提供科学依据和技术支持。

**关键词:** 复杂地质条件; 隧洞施工; 关键技术

## 1 复杂地质条件下隧洞施工关键技术的必要性

在复杂地质条件下进行隧洞施工, 关键技术的运用显得尤为重要且必不可少。第一, 复杂地质条件可能导致隧洞开挖过程中遇到严重的围岩失稳问题。高地应力环境下, 围岩可能因开挖卸载而突然释放能量, 引发岩爆或大变形; 断层破碎带和软弱围岩则易于坍塌, 影响施工安全和进度。采用先进的地质超前预报技术、围岩稳定性评估方法及加固支护技术显得尤为重要。这些技术能够提前揭示前方地质情况, 为施工方案的制定提供科学依据, 同时通过合理的支护设计, 确保隧洞开挖过程中的围岩稳定。第二, 复杂地质条件下的地下水问题也不容忽视, 地下水丰富区域可能导致隧洞施工过程中涌水量大, 不仅增加了施工难度, 还可能威胁施工安全。必须采用有效的地下水控制技术, 如超前帷幕注浆、排水降压等措施, 以减少地下水对施工的影响, 确保施工顺利进行<sup>[1]</sup>。第三, 复杂地质条件下的隧洞施工还需要解决施工设备选型、施工工艺优化等问题。针对不同地质条件, 选择合适的掘进设备(如盾构机、TBM等)和施工工艺(如钻爆法、盾构法等), 可以显著提高施工效率和质量。通过施工过程中的实时监测与反馈调整, 不断优化施工方案, 确保施工安全和进度。

## 2 复杂地质条件下隧洞施工面临的挑战

### 2.1 支护结构设计与施工难度

在复杂地质条件下, 隧洞施工面临的首要挑战是支护结构的设计与施工难度。高地应力、断层破碎带和软弱围岩等地质条件, 使得隧洞开挖后的围岩稳定性难以保证。支护结构不仅需要承受来自围岩的巨大压力, 还要防止围岩因开挖而发生的变形和坍塌。设计合理的支护结构, 既要考虑其承载能力, 又要兼顾施工的可操作性和经济性。施工过程中的地质条件变化, 如遇到未预见的地质异常, 也可能导致支护结构的设计与施工难度

进一步增加。

### 2.2 地下水控制与排水问题

复杂地质条件下的隧洞施工, 地下水控制与排水问题同样是一大挑战。地下水丰富区域可能导致隧洞施工过程中涌水量大, 不仅增加了施工难度, 还可能引发隧道内积水, 影响施工进度和安全。地下水还可能对隧洞围岩的稳定性产生不利影响, 如软化围岩、降低围岩强度等。如何有效控制地下水, 确保隧洞施工过程中的排水顺畅, 成为了一个亟待解决的问题。

### 2.3 施工安全与质量控制

在复杂地质条件下进行隧洞施工, 施工安全与质量控制是另一个不可忽视的挑战。由于地质条件的复杂性和不确定性, 施工过程中可能遇到各种突发情况, 如围岩失稳、涌水、瓦斯爆炸等, 这些都给施工安全带来了极大的威胁。隧洞施工的质量也直接影响到隧道的稳定性和使用寿命。如何在复杂地质条件下确保施工安全, 同时保证施工质量, 成为了隧洞施工中的一大难题<sup>[2]</sup>。

## 3 复杂地质条件下隧洞施工关键技术分析

### 3.1 地质勘查与预报技术

在复杂地质条件下进行隧洞施工, 地质勘查与预报技术显得尤为重要。地质勘查技术能够全面揭示隧洞施工区域的地质构造、地层结构、岩石性质等信息, 为施工方案的制定提供科学依据。地质勘查主要包括地震勘探、钻探、地球物理探测等多种手段。地震勘探利用地震波的传播特性, 探测地下岩层的分布和性质; 钻探则通过直接取样分析, 了解地层的物理力学性质; 地球物理探测则利用电磁场、重力场等物理场的异常变化, 推断地下地质构造和岩石性质。在地质勘查的基础上, 超前地质预报技术成为隧洞施工安全管理的重要环节。超前地质预报是指在隧洞掘进过程中, 对隧洞施工前方可能遇到的各种不良地质情况进行推测、预测和预报。

预报内容主要包括不良地质体的位置、规模、性状及其对施工的影响程度，以及可能发生的施工地质灾害的类型、强度和可能性。超前地质预报技术依托于地质学和地球物理学，主要方法包括地质综合分析法和地球物理方法分析法。地质综合分析主要通过地质资料的收集、分析和研究，结合地表地质调查，编制宏观预测地质分析报告；地球物理方法则利用地质雷达、TSP探测技术、BEAM探测技术等手段，对隧洞前方的地质情况进行探测和分析。超前地质预报技术的应用，能够有效降低隧洞施工过程中的地质灾害风险，提高施工安全性。

### 3.2 钻孔爆破技术

钻孔爆破技术是隧洞施工中常用的开挖方法之一。地质条件对钻孔爆破技术的选择和应用具有重要影响。复杂地质条件下的隧洞施工，可能遇到岩溶地质、软弱地质、脆性地质等多种地质类型。这些地质类型对爆破施工过程中的岩体破裂和爆破效果会产生影响。例如，在岩溶地质中，溶洞和裂隙可能导致爆破能量的分散和损失，降低爆破效果；在软弱地质中，爆破可能引发围岩失稳和坍塌，增加施工风险。施工环境和安全要求对钻孔爆破技术的设计和实施了更高要求，在隧洞施工中，由于空间狭小、光线不足、空气流通不畅等不利条件，钻孔爆破作业需要严格控制装药量、孔位布置和爆破参数，确保爆破效果的同时，减少对周围环境和施工人员的影响。还需要加强安全防护措施，如设置爆破警戒区域、采取遮挡物和减震措施等，保障周围环境和人员的安全<sup>[3]</sup>。在钻孔爆破技术的应用中，精准钻孔技术和爆破参数实时调整技术是关键。精准钻孔技术能够确保爆破孔位的准确度和一致性，提高爆破效果；爆破参数实时调整技术则能够根据实际岩体情况和周围环境反馈信息，对爆破参数进行实时调整，确保施工过程中的安全性和效果。

### 3.3 隧道掘进机技术

隧道掘进机（TBM）技术是复杂地质条件下隧洞施工的重要技术手段之一。TBM技术具有高效、快速、安全等优点，适用于长距离、大断面的隧洞施工。在复杂地质条件下，TBM技术的应用需要充分考虑地质条件和设备适应性。不同地质条件下的TBM选型和定制是关键。还需要对TBM进行定期维护保养和故障排查，确保设备的高效稳定运行。在TBM技术的应用中，掘进参数的控制和调整也是关键。掘进参数包括推进速度、刀盘扭矩、刀具磨损等。通过合理控制掘进参数，可以确保TBM在复杂地质条件下的高效掘进，同时减少设备磨损和故障率。TBM技术还需要与支护和衬砌技术相结合，

确保隧洞施工的安全性和稳定性。在掘进过程中，需要及时支护和衬砌作业，防止围岩失稳和坍塌。还需要加强施工监控和信息化技术的应用，实时监测隧洞施工过程中的各项参数和地质变化，为施工决策提供科学依据。

### 3.4 地下水控制技术

地下水控制技术是复杂地质条件下隧洞施工中的关键技术之一。地下水对隧洞施工的安全性和稳定性具有重要影响。在隧洞施工过程中，地下水的存在可能导致围岩失稳、涌水、突泥等安全事故。采取有效的地下水控制技术对于确保隧洞施工的安全性和稳定性至关重要。地下水控制技术主要包括围岩密封、洞内排水、深层抽水等方法。围岩密封是通过注浆、喷浆等手段，将隧洞周围的围岩进行密封处理，防止地下水渗入隧洞。洞内排水则是在隧洞内部设置排水系统，将渗入隧洞的地下水及时排出。深层抽水则是利用抽水设备将地下水从深层抽出，降低地下水位。在地下水控制技术的应用中，需要根据地质条件和施工要求选择合适的控制方法。还需要建立完善的地下水位监测系统，及时掌握地下水位变化情况，以便及时调整施工进度和施工方案。地下水控制技术还需要与支护和衬砌技术相结合，确保隧洞施工的安全性和稳定性。在支护和衬砌作业中，需要采取防水措施，如设置防水层、使用防水材料等，防止地下水对隧洞结构的侵蚀和破坏。

### 3.5 隧道支护与衬砌技术

隧道支护与衬砌技术是复杂地质条件下隧洞施工中的关键技术之一。在复杂地质条件下，隧道支护与衬砌技术的选择和应用需要充分考虑地质条件、施工要求和经济性等因素。支护结构主要包括喷锚支护、钢架支护、超前支护等。喷锚支护是通过喷射混凝土和锚杆等支护材料对围岩进行加固处理；钢架支护则是利用钢架结构对围岩进行支撑和加固；超前支护则是在隧洞开挖前对掌子面前方进行支护，预防塌方等安全事故。衬砌结构主要包括复合式衬砌、连拱衬砌等。复合式衬砌是外层用锚喷作初期支护，内层用模筑混凝土或喷射混凝土作二次衬砌的永久结构；连拱衬砌则是洞室衬砌结构相连的一种特殊双洞结构形式<sup>[4]</sup>。在支护与衬砌技术的应用中，需要严格控制支护和衬砌材料的质量和技术要求。支护材料应具有良好的力学性能和耐久性；衬砌材料应满足强度、稳定性和防水等要求。还需要加强支护与衬砌结构的施工质量控制和监测工作，确保支护与衬砌结构的安全性和稳定性。

### 3.6 施工监控与信息化技术

施工监控与信息化技术是复杂地质条件下隧洞施工中的关键技术之一。施工监控能够实时监测隧洞施工过程中的各项参数和地质变化,为施工决策提供科学依据;信息化技术则能够实现隧洞施工过程中的信息化管理,提高施工效率和质量。在施工监控方面,需要利用传感器、物联网等技术手段对隧洞施工过程中的各项参数进行实时监测。这些监测数据能够为施工决策提供科学依据,及时调整施工进度和施工方案。在信息化技术方面,需要利用BIM(建筑信息模型)、GIS(地理信息系统)等信息技术手段实现隧洞施工过程中的信息化管理。通过BIM技术可以建立隧洞施工的三维模型,实现施工过程中的可视化管理和协同作业;通过GIS技术可以实现对隧洞施工区域的地质信息、施工信息等进行集成管理和分析。这些信息化技术的应用能够提高施工效率和质量,降低施工成本和安全风险。施工监控与信息化技术还需要与支护与衬砌技术、地下水控制技术相结合,形成完整的隧洞施工管理体系。通过实时监测和数据分析,可以及时发现施工过程中的问题和风险,采取相应的措施进行处理和应对,确保隧洞施工的安全性和稳定性。

#### 4 复杂地质条件下隧洞施工技术的改进与创新

在复杂地质条件下,隧洞施工技术的改进与创新成为提升工程效率、保障施工安全与质量的关键。面对诸如高地应力、断层破碎带、强涌水等不良地质条件,传统的施工方法往往难以满足高效、安全、环保的现代施工要求。首先,在地质勘查与预报技术方面,引入了更先进的地球物理探测技术和大数据分析手段,能够更准确地预测隧洞前方可能遇到的地质异常,为施工方案的调整提供及时、可靠的信息支持。这不仅减少了施工过程中的不确定性,还有效降低了地质灾害的风险<sup>[5]</sup>。其次,在钻孔爆破与隧道掘进技术方面,研发了智能钻孔系统与高效掘进设备。智能钻孔系统能够根据地质条件自动调节钻孔参数,提高钻孔精度和效率;而高效掘进设备,如全断面岩石掘进机(TBM),则能在复杂地质条件下实现快速、连续的掘进作业,大大提高了施工

速度。在地下水控制技术方面,创新性地采用了帷幕注浆、超前注浆等新型防水技术,有效阻断了地下水对隧洞施工的干扰。结合信息化监控系统,实时监测地下水位的动态变化,为施工过程中的地下水控制提供了科学依据。隧道支护与衬砌技术也得到了显著的改进,新型支护材料,如高性能混凝土、纤维增强复合材料等,不仅提高支护结构的强度和耐久性,还降低施工成本。而模块化衬砌技术的应用,则实现衬砌结构的快速安装和拆卸,提高施工效率。最后,施工监控与信息化技术的融合,为隧洞施工带来了革命性的变化,通过建立三维可视化施工管理系统,实现施工过程的实时监控和数据分析,为施工决策提供了强有力的支持。利用物联网、人工智能等先进技术,实现了施工设备的远程控制和智能调度,进一步提升了施工效率和管理水平。

#### 结束语

综上所述,复杂地质条件下的隧洞施工关键技术分析对于保障工程安全和质量具有重要意义。通过不断改进和创新这些技术,可以更好地应对复杂地质条件带来的挑战,提高施工效率,降低施工成本。未来,随着科技的不断进步和工程实践的深入,隧洞施工关键技术将进一步完善和发展,为隧洞工程的安全、高效、环保施工提供更有力的支持。

#### 参考文献

- [1] 郝俊锁.复杂地质特长深埋水工隧洞智能化施工关键技术研究[J].现代隧道技术,2021,58(6):188-196. DOI:10.13807/j.cnki.mtt.2021.06.022.
- [2] 李俊.复杂岩溶地区高速铁路隧道施工超前地质预报控制方法研究[J].工程技术研究,2020,4(7):20-22.
- [3] 潘俊.复杂地质条件下铁路隧道施工问题及应对措施[J].建筑工程技术与设计,2021(34):1646.
- [4] 马留闯.基于复杂地质条件下铁路隧道施工技术研究[J].大众标准化,2022(20):166-168.
- [5] 蒋泽斌.浅析复杂地质条件下的铁路隧道施工技术[J].中国设备工程,2021(21):207-208.