

## 隧道暗挖施工技术及其在复杂地质条件中的应用研究

何华平

和天(湖南)国际工程管理有限公司, 湖南 长沙 410006

**[摘要]** 在城市化进程日益加速的背景下, 城市地下工程, 尤其是隧道建设的重要性, 逐渐得到了广泛的关注。作为现代地下工程中的关键技术, 隧道暗挖施工因其小占地面积、轻微的环境影响以及在复杂地质条件下的良好适应能力, 受到了重视。然而, 复杂地质条件下的隧道施工常常带来了安全与效率方面的重大挑战。对隧道暗挖施工技术在不同地质环境中的应用进行深入研究, 探索有效的施工安全与风险控制措施, 显得尤为重要。此文分析隧道暗挖施工技术, 提出相关的优化方案, 以期为未来的隧道施工提供切实的指导。

**[关键词]** 隧道暗挖施工技术; 复杂地质条件; 软弱围岩; 风险控制

DOI: 10.33142/aem.v6i10.14396 中图分类号: U455.3 文献标识码: A

### Research on Tunnel Underground Excavation Construction Technology and Its Application in Complex Geological Conditions

HE Huaping

Hetian (Hunan) International Engineering Management Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410006, China

**Abstract:** Against the backdrop of accelerating urbanization, the importance of urban underground engineering, especially tunnel construction, has gradually gained widespread attention. As a key technology in modern underground engineering, tunnel excavation construction has received attention due to its small footprint, slight environmental impact, and good adaptability in complex geological conditions. However, tunnel construction under complex geological conditions often presents significant challenges in terms of safety and efficiency. It is particularly important to conduct in-depth research on the application of tunnel excavation construction technology in different geological environments and explore effective construction safety and risk control measures. This article analyzes the construction technology of tunnel excavation and proposes relevant optimization plans, in order to provide practical guidance for future tunnel construction.

**Keywords:** tunnel excavation construction technology; complex geological conditions; weak surrounding rock; risk management

#### 引言

随着城市基础设施的不断发展, 隧道暗挖施工技术在城市建设中愈加显得重要。复杂的地质条件却为隧道施工带来了极大的挑战。软弱围岩、含水层、断层破碎带以及高应力岩体等不利地质因素, 显著增加了施工过程中的潜在风险, 因此施工事故发生的频率也有所上升。在保障施工安全与提升效率方面, 成为当前亟待解决的研究方向。近年来, 在隧道暗挖施工技术领域, 国内外进行了大量的探索与研究, 逐步形成了一定的理论与实践体系。然而, 对于特定地质条件的施工技术及安全控制措施的研究依然显不足。

#### 1 隧道暗挖施工技术概述

##### 1.1 隧道暗挖施工技术的定义与原理

隧道暗挖施工技术, 是指通过在地下空间中实施隧道建设, 避免或大幅减少地表开挖的技术, 核心在于依靠围岩的自稳能力, 同时结合支护措施和机械设备, 确保隧道结构的稳定和顺利成型。施工过程中, 围岩自稳能力的进一步加强通常依赖于喷射混凝土、锚杆支护等手段, 随着支护体系的完善, 隧道结构逐步成型。由于暗挖施工对地

表的影响极小, 特别适用于地表建筑密集或交通繁忙的地区, 减少了对地表环境的干扰。

##### 1.2 常见的隧道暗挖施工方法

在隧道暗挖施工中, 新奥法(NATM)是其中一种应用较广泛的技术, 围岩的自承能力得到充分利用, 并结合分步开挖和及时支护, 适用于地质条件较为稳定的区域。矿山法适用于复杂地质条件或隧道断面较大的施工场景, 通过分区、分块开挖, 施工风险可以有效降低。盾构法广泛应用于软弱地质和含水层的施工中, 盾构机的同步开挖与支护功能确保了施工的安全性与效率。冻结法在应对软弱地层或含水层时也常被采用, 通过临时冻结地层, 施工中的稳定性得以保证。针对不同的施工条件, 方法的选择需综合考虑技术适用性和经济性, 确保施工进度和质量。

##### 1.3 隧道暗挖施工技术的优缺点分析

相较于传统的明挖法, 隧道暗挖施工技术减少了对地表环境的破坏, 尤其是在建筑物密集的城市区域中, 暗挖施工能够降低噪声和振动, 避免对地表建筑物和交通的影响, 地表景观和生态环境也因此得以保护。然而, 隧道暗挖施工对地质条件的依赖性较高, 在地质复杂的地区, 施

工难度与风险都显著增加。软弱围岩或含水层的地质条件下, 支护体系的设计与施工要求更为严苛, 设备复杂、施工成本也较高。此外, 暗挖技术对施工人员技术水平与管理能力的要求较高, 若管理不当或经验不足, 容易引发安全事故或延误工期。尽管具备多项优势, 但在实际应用中需根据具体地质条件和施工要求进行细致规划, 确保施工的顺利实施。

## 2 复杂地质条件下的挑战

### 2.1 复杂地质条件的分类与特点

复杂地质条件的出现, 常常会对隧道工程的安全、进度与成本产生显著影响。软弱围岩的特点在于其强度低、稳定性差, 掘进过程中容易发生大变形或塌方现象。含水层则因其高渗透性, 在施工过程中常会出现涌水问题, 给隧道防水系统带来极大的挑战。断层破碎带由于地质结构破碎, 围岩稳定性极差, 施工中的风险骤增<sup>[1]</sup>。而高应力岩体, 通常出现在深埋隧道中, 因地应力集中, 极有可能在施工过程中发生岩爆等现象。

### 2.2 复杂地质条件对隧道施工的影响

复杂地质条件对隧道施工的影响深远, 施工安全、进度和成本都在很大程度上受到影响。软弱围岩因其自稳能力较差, 需通过加强支护措施, 确保隧道结构的稳定, 否则可能会发生严重的变形或坍塌。含水层的渗透性极强, 若不采取有效的排水与防水措施, 隧道内部环境将无法保持干燥, 严重时甚至导致隧道结构的损坏。断层破碎带的施工风险更为突出, 围岩破碎, 支护系统设计要求高, 稍有不慎便可能出现坍塌, 安全性面临极大挑战。高应力岩体因应力集中, 常伴随岩爆现象, 给施工人员和设备带来直接威胁。

### 2.3 不同地质条件下的施工难点

围岩自稳能力较差, 掘进过程中极易发生坍塌, 支护设计需格外精细, 施工进度也应加以控制, 避免因过快掘进导致不稳定。含水层的施工难点主要集中在水源控制方面, 若无法妥善处理涌水问题, 不仅会延误施工, 还可能对隧道的安全使用产生长期影响。断层破碎带是另一个典型的复杂地质条件, 掘进过程中极易发生坍塌, 支护设计要求更高, 施工中的每一步都需谨慎操作<sup>[2]</sup>。高应力岩体下施工时, 岩爆现象是最大的挑战, 应采取有效的应力控制措施, 以确保施工人员的安全和施工设备的完好。

## 3 隧道暗挖施工技术在复杂地质条件中的应用

### 3.1 应用于软弱围岩条件下的暗挖施工技术

在隧道暗挖施工中, 新奥法(NATM)作为一种有效的施工策略, 被广泛应用, 旨在最大限度地利用围岩的自承载能力。开挖阶段中, 分步开挖与适时支护技术被采用, 以适应围岩的变形特性。施工初期, 喷射混凝土通常用作临时支护结构, 其主要目的是增强围岩的整体强度。此外, 锚杆的应用显著提升了围岩的稳定性。在针对软弱围岩特

性的施工设计中, 合理的支护方案至关重要。在施工之前, 围岩的物理力学性质必须经过详细勘察, 以便制定出相应的支护计划。施工过程中, 通过对围岩变形的实时监测, 能够及时发现潜在风险, 降低施工过程中的风险, 确保隧道的安全与稳定。

### 3.2 应用于含水地层中的暗挖施工技术

在隧道暗挖施工中, 施工方案需经过精心设计, 以有效控制水流并采取适当的排水措施。在施工之前, 充分的水文地质勘察被视为必要步骤。通过了解地下水的埋藏深度、流动方向及流量, 选择合适的降水方案, 有助于降低地下水位。常用的降水措施包括井点降水、深井降水与自然排水等<sup>[3]</sup>。在施工阶段, 确保临时支护结构的稳固, 是应对可能涌水现象的关键。喷射混凝土不仅作为支护材料, 其形成的防水层同样帮助减缓水的渗入。强化施工现场的排水系统时, 水位变化的定期检查与涌水情况的及时处理, 对于保障工程安全至关重要。

### 3.3 应用于断层破碎带的暗挖施工技术

在隧道暗挖施工中, 施工前, 必须对断层的具体情况详尽勘察, 包括断层的走向、规模及破碎程度。基于这些信息, 施工方案应相应调整, 通常采用小断面分段施工的方法, 通过逐段开挖与支护, 有效降低单次开挖的风险。同时, 高强度的锚杆与喷射混凝土被选用于支护设计, 以增强支护结构的强度, 防止岩石的滑动与坍塌。在施工过程中, 监测工作不可忽视, 围岩的应力变化与位移的实时监测能够确保异常情况的及时发现与应对。

### 3.4 针对高应力岩体的施工方案

在高应力岩体条件下, 隧道暗挖施工面临着显著的挑战, 尤其是岩体应力集中现象容易引发岩爆等突发性安全事故。在施工之前, 岩体的应力需经过详细分析, 以获取岩体的应力状态与分布情况。针对高应力岩体的施工策略, 通常采用分层分段开挖法, 以降低每次开挖所需承受的应力。在实际操作中, 微型钻孔技术的应用能够有效释放与监测岩体内的应力, 选择高强度的锚杆与适当厚度的喷射混凝土作支护结构, 是确保其高应力条件下的稳定性<sup>[4]</sup>。控制施工速率亦显得尤为重要, 以避免过快的掘进引起应力突变, 进而导致安全事故。

## 4 复杂地质条件中的施工安全与风险控制

### 4.1 施工中的潜在风险分析

在复杂地质环境下, 主要的风险因素源自地质条件、施工技术及外部环境的变化。围岩的物理及力学性质常常呈现不均匀性, 这可能导致开挖过程中出现塌方或滑坡等地质灾害。此类事故不仅会影响施工进度, 更可能对人员安全与设备造成严重损失。此外, 地下水位的波动与水文条件的复杂性同样构成显著威胁, 涌水现象的发生可能加剧土体流动性, 从而降低围岩强度, 增加施工风险。设备故障或操作失误直接影响施工的顺利进行, 提升事故发生

的可能性。同时,施工人员的安全意识与应急响应能力也是影响施工安全的关键因素。在复杂地质条件下,施工人员面临高强度的作业环境与压力,若缺乏足够的培训与防护措施,事故风险显著上升。

#### 4.2 风险防控措施

为应对复杂地质条件下的潜在风险,在施工之前,进行详尽的地质勘探,有助于明确施工区域的地质条件及其变化规律。该过程可通过钻探、地震反射及地质雷达等多种手段进行,以为合理的施工方案提供基础支持。同时,施工方案的制定应基于勘察结果与相关经验,科学安排施工顺序、开挖方法及支护结构,以便适应不同地质条件。在施工实施过程中,通过安装监测设备,可以实时对围岩的变形、位移及水位变化进行监控,及时发现潜在风险并采取相应措施。同时,安全培训与应急演练的开展是保障施工安全的重要环节。定期开展安全知识培训与应急处理演练,能够有效提升员工的安全意识及应对突发事件的能力,从而降低事故发生的概率。施工单位应根据潜在风险制定详尽的应急响应方案,包括应急组织机构的设立、救援设备的配置及人员分工等内容。

#### 4.3 地质灾害监测与预警系统

在复杂地质条件下,施工安全管理中地质灾害监测与预警系统的基本目标是通过实时监测地质变化,及时识别潜在的地质灾害风险,从而有效防止事故的发生。构建全面的地质监测网络为实现高效的预警机制奠定了基础。在施工现场,安装多种传感器与监测设备,使其能够持续监测地面沉降、岩体应力变化、地下水位及流速等信息,实时获取地质变化数据,从而为决策提供支持。建立基于监测数据的预警机制,通过对监测数据的分析与比对,合理的预警阈值应被设定。一旦监测到异常情况,系统将自动触发警报,并通知相关管理人员。这种自动化的预警系统不仅提高了应急响应的效率,还降低了人工作业中可能存在的延误。此外,为提高预警的准确性,应定期对监测系统进行检修与校正,以确保其在各类气候条件下的可靠性与稳定性。结合现代信息技术,地质灾害监测与预警系统的功能得以进一步增强。通过应用大数据分析及人工智能等技术,能够对地质灾害的发生规律进行深入研究,从而形成基于大数据的智能预警模型。该模型能够更准确地预测地质变化趋势,为施工单位提供科学的决策支持。

### 5 复杂地质隧道暗挖施工技术的优化措施

#### 5.1 工艺优化与技术创新

在隧道暗挖施工中,随着复杂地质条件的增加,工艺的持续改进已成为一种必然趋势。合理选择施工工艺,可以有效降低成本,提升工程的整体质量。在面对复杂的地质环境时,新技术的应用,如盾构法、气压法及分段开挖,为施工提供了更多选择。这些先进技术的采用使得施工过程变得更加灵活,能够针对不同地质条件制定相应策略。

例如,在处理软弱围岩时,采用盾构法可有效控制围岩变形,减少对周围环境的影响。而在含水层施工中,气压法有助于防止涌水干扰,从而提升安全性与稳定性。随着信息技术的迅速发展,计算机模拟技术被广泛应用于施工方案设计。通过对复杂地质环境进行模拟分析,可以有效预测施工中可能遇到的风险,为科学决策提供强有力的依据。此外,自动化与智能化设备的引入,不仅提高了施工的精确度,也在一定程度上降低了因人为操作引发的安全隐患。

#### 5.2 设备的选择与改进

设备选择与改进在隧道暗挖施工中的重要性不言而喻,尤其是在面对复杂地质条件时,合理的设备选型能够直接影响施工效率与安全保障。在施工前期,依据不同地质条件与施工需求,合理选择设备类型与规格,以确保施工的顺利进行。在现代隧道施工中,盾构机与挖掘机等设备的选型应考虑具体的地质情况与施工环境。复杂地质条件下,设备的性能与适应性变得尤为重要。例如,在软弱土层中,选用推力强大、抓取能力突出的盾构机,可以有效控制土体变形,确保施工的稳定性。而在水文条件复杂的区域,选择防水性能优越的设备显得尤为重要,以避免在施工过程中因水的侵袭而导致设备故障。随着科技不断进步,许多传统设备经过技术升级,能够更好地满足现代隧道施工的需求。智能化设备的引入显著提高了施工过程中的数据采集与分析效率,使得实时监测施工参数的能力大幅提升,为施工团队提供了迅速调整策略的机会,从而提升效率与安全性。

#### 5.3 施工组织与管理策略的优化

隧道暗挖施工中,优化施工组织与管理策略尤为关键,尤其在复杂地质条件下,科学的组织与管理能够有效应对施工中的多种不确定因素。针对不同的地质条件,开展详细的前期评估,对施工现场的地质特征进行精确分析,合理配置人力、设备与资源,确保施工过程中的每个环节能够高效衔接。在复杂地质环境下,施工组织必须通过适当的工艺设计和监控措施,确保开挖过程中围岩不会发生大规模变形或坍塌。复杂地质环境对施工管理提出了更高要求。在地质结构较为松散、软弱的区域,必须采用适当的支护技术,以保证围岩的稳定性。而在地质条件变化较大的地段,施工方案需要灵活调整。例如,软弱围岩区域可能需要加强支护强度,而在富水地层中,则应着重解决涌水、渗水问题。应针对不同地质阶段制定相应的施工组织策略,并根据现场实时情况动态调整。此外,复杂地质条件的多变性要求施工团队具备高度的适应能力。施工管理不仅要合理分配人员与设备,还要建立完善的责任体系,确保每位参与者明确自身职责。定期开展现场安全检查和施工评估,通过科学的评估机制及时发现潜在问题并迅速调整。借助现代信息技术,施工团队可以实时监测复杂地

质环境中的施工进展,全面掌握资源配置、安全状况及作业效率。通过数据化管理,施工团队能够及时应对突发情况,迅速优化施工方案。

## 6 结语

尽管在复杂地质条件下,隧道暗挖施工技术面临着诸多挑战,但在这一领域也蕴含着丰富的机遇。通过对施工工艺的优化、技术的创新、设备的合理选择与改进,以及施工组织与管理策略的调整,有望显著提升隧道施工的安全性与效率。在未来的工程实践中,加强对复杂地质条件下施工技术的深入研究,应当成为关注的重点,以进一步完善相关理论与实践体系。随着信息技术的迅速发展,智能化施工手段的应用,将为隧道施工的安全监测与风险评估提供更加可靠的支持。

## [参考文献]

- [1]初月朗,聂晓凯,王潺.盾构遇地下锚索障碍竖井+暗挖隧道处理施工技术应用[J].建设机械技术与管理,2024,37(1):117-120.
  - [2]张振国.地铁车站暗挖隧道穿越既有线的施工技术研究[J].科技资讯,2024,22(17):165-167.
  - [3]任晨.大跨度地铁站下穿既有隧道施工风险控制技术[J].建筑机械化,2024,45(9):92-97.
  - [4]陈令强,周子涵,罗斐,等.支墩立柱法密贴下穿既有隧道暗挖施工变形及力学响应研究[J].铁道标准设计,2024(10):1-14.
- 作者简介:何华平(1978.5—),男,从事工程行业,中级,籍贯:湖北石首。