

# 隧道施工中围岩稳定性分析与加固技术研究

陈华兵

深圳市建安(集团)股份有限公司工程技术部

DOI:10.12238/pe.v2i4.8352

**[摘要]** 隧道施工中,围岩的稳定性对于施工安全及隧道质量至关重要。本文通过对隧道施工中的围岩稳定性进行深入分析,并探讨了相应的加固技术,旨在为隧道施工提供科学的理论指导和技术支持。文章首先介绍了隧道施工中影响围岩稳定性的主要因素,然后详细阐述了围岩稳定性的分析方法,接着对常见的加固技术进行了系统研究,最后通过实际工程案例验证了加固技术的有效性。

**[关键词]** 隧道施工; 围岩稳定性; 加固技术

**中图分类号:** U455 **文献标识码:** A

## Research on stability analysis and reinforcement technology of surrounding rock in tunnel construction

Huabing Chen

Engineering Technology Department of Shenzhen Jian'an (Group) Co., Ltd

**[Abstract]** In tunnel construction, the stability of the surrounding rock is very important for construction safety and tunnel quality. This paper analyzes the stability of the surrounding rock in tunnel construction and discusses the corresponding reinforcement technology, aiming to provide scientific theoretical guidance and technical support for tunnel construction. This paper first introduces the main factors affecting the stability of the surrounding rock in tunnel construction, then elaborates the analysis methods of the stability of the surrounding rock, then systematically studies the common reinforcement technologies, and finally verifies the effectiveness of the reinforcement technologies through practical engineering cases.

**[Key words]** tunnel construction; stability of surrounding rock; Reinforcement technology

### 引言

随着基础设施建设的不断推进,隧道工程在公路、铁路等交通领域的应用越来越广泛。隧道施工中的围岩稳定性问题,直接关系到隧道施工的安全和质量。因此,对隧道施工中围岩稳定性的分析与加固技术的研究显得尤为重要。本文旨在通过深入分析和研究,为隧道施工提供科学的理论指导和技术支持,以提高隧道施工的安全性和经济性。

### 1 隧道施工中影响围岩稳定性的主要因素

#### 1.1 地质条件

地质条件是决定隧道施工中围岩稳定性的核心因素。岩体的物理性质,如硬度、密度、吸水性等,直接关系到开挖后围岩的自稳能力。例如,在软弱岩层或破碎带进行隧道施工时,由于岩层的承载能力较低,容易出现塌方或变形。此外,岩体的节理、裂隙发育情况也是一个重要的影响因素。节理和裂隙多的岩体,其整体性较差,开挖后容易出现掉块、崩塌等现象,严重影响施工安全。地层构造的复杂性也会增加施工的难度和不确定性,如断层、褶皱等地质构造可能导致应力集中,进而引发围岩失稳。

#### 1.2 地下水

地下水是影响围岩稳定性的另一个关键因素。地下水的存在不仅会降低岩体的有效应力,还会通过溶解、冲刷等作用削弱岩体的结构强度。特别是在富水地区,高水压可能导致围岩开裂、剥落,甚至诱发突水、涌泥等地质灾害。此外,地下水的化学作用还可能改变岩体的物理性质,如使岩石软化、泥化,从而降低围岩的稳定性。因此,在隧道施工前,必须对地下水的情况进行详细的勘察和评估,以便采取相应的防水、排水措施。

#### 1.3 施工方法

施工方法的选择对围岩稳定性有着直接的影响。不同的开挖方式、支护结构类型和施工顺序都会产生不同的应力重分布和变形情况。例如,采用全断面开挖法可能会导致较大的围岩变形,而分步开挖法则可以减小这种变形。支护结构的及时性和有效性也是保证围岩稳定的重要因素。如果支护不及时或支护强度不足,都可能导致围岩失稳。因此,在选择施工方法时,必须充分考虑地质条件、隧道形状和尺寸等因素,以确保施工的安全和效率。

### 1.4 隧道形状

隧道的形状和尺寸对围岩稳定性也有重要影响。一般来说,圆形或椭圆形的隧道由于其均匀的应力分布和较好的自稳能力,相对较为稳定。而矩形或不规则形状的隧道则容易在角落或突变部位产生应力集中,导致围岩开裂或崩塌。此外,隧道的尺寸也会影响到围岩的稳定性。隧道断面越大,开挖过程中对围岩的扰动就越大,稳定性问题也就越突出。

## 2 围岩稳定性的分析方法

### 2.1 极限平衡法

极限平衡法是一种经典的岩土工程稳定性分析方法,广泛应用于隧道围岩稳定性评估。该方法主要基于土体或岩体在极限状态下的平衡条件进行分析。它假定岩体沿着某一潜在的滑动面发生滑动,通过计算滑动面上的抗滑力与下滑力的比值,即安全系数,来判断围岩的稳定性。在计算过程中,需要考虑岩体的重力、地下水压力、支护结构的反力等因素。这种方法简单易行,特别适用于初步设计阶段或地质条件相对简单的情况。然而,极限平衡法的局限性在于它假设滑动面是已知的,且无法考虑岩体的变形特性和施工过程中的动态变化。

### 2.2 有限元法

数值模拟方法是随着计算机技术的发展而兴起的一种现代分析方法,它在隧道围岩稳定性分析中发挥着越来越重要的作用。数值模拟方法包括有限元法、离散元法、边界元法等,这些方法可以模拟复杂的工程实际问题,如岩体的断裂、破坏过程、地下水流动等。通过数值模拟,可以直观地展示隧道施工过程中的应力分布、变形情况和破坏模式,为加固设计和施工方案的优化提供有力支持。与极限平衡法和有限元法相比,数值模拟方法具有更高的精度和灵活性,能更真实地反映岩体的实际行为。然而,数值模拟方法也需要更高的计算成本和专业知识,因此在应用时需要综合考虑其优缺点。

### 2.3 数值模拟

数值模拟是分析围岩稳定性的关键技术手段。通过计算机模拟,我们能够精确地预测隧道施工和运营过程中围岩的变形与破坏情况,从而全面评估其稳定性。该方法首先依据岩石力学实验数据构建材料和边界模型,接着对隧道进行精确建模,并施加各种负荷以模拟实际工况。数值模拟的优势在于其综合考虑了地质、岩性、地下水等多重因素,为施工方案的选择提供科学依据,确保隧道工程的安全性和持久性。

## 3 常见的加固技术及其研究

### 3.1 锚杆支护

锚杆支护技术,作为地下工程中一种重要的加固手段,已经得到了广泛的应用和深入的研究。该技术以其经济、高效、灵活的特点,在隧道、矿山巷道以及其他地下结构的稳定性维护中扮演着至关重要的角色。锚杆支护的基本原理在于利用锚杆将不稳定或松动的岩土体与稳定的岩土体连接起来,形成一个整体,从而提高整体的稳定性。这一技术的作用机制涵盖了悬吊作用、组合梁作用、补强作用以及挤压加固拱作用等多个方面,

这些机制共同作用,显著提升了岩土体的承载能力,有效防止了裂纹的扩展和岩土体的滑移。

在应用效果上,锚杆支护技术已被证明是一种高效且经济的加固方法。它不仅能显著提高隧道和地下结构的稳定性,还能有效减少维护成本,延长工程使用寿命。更重要的是,锚杆支护技术对施工空间的占用较小,有利于保持隧道的通行能力和工程的整体美观。然而,锚杆支护技术也面临着一些挑战和限制。例如,在极其软弱或破碎的岩土体中,锚杆的锚固效果可能会受到限制。此外,锚杆支护的设计和施工也需要根据具体的地质条件和工程要求进行精确的计算和严格的施工质量控制。综上所述,锚杆支护技术作为一种重要的地下工程加固手段,其在提高工程稳定性和安全性方面的作用不容忽视。未来,随着新材料、新技术的不断涌现,锚杆支护技术将继续发展完善,为地下工程的建设提供更加坚实的保障。

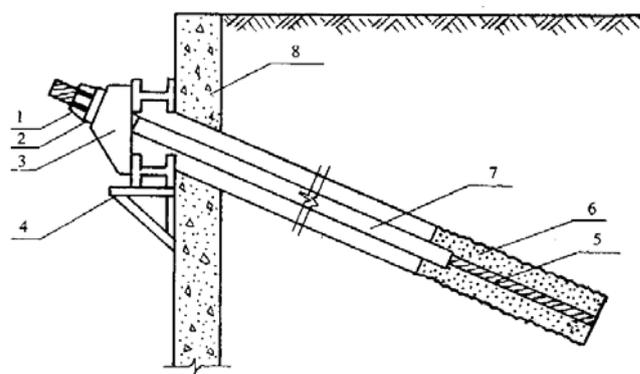


图 3-70 锚杆构造

1—锚具; 2—垫板; 3—台座; 4—托架; 5—拉杆; 6—锚固体; 7—套管; 8—围护挡墙

图3-1 锚杆施工方法

### 3.2 注浆加固

注浆加固技术是土木工程和岩土工程领域常用的一种加固方法,其核心在于通过注入特定的浆液材料来改善岩土体的性质,增强其整体性和稳定性。注浆加固的基本原理是利用液压、气压等方式,通过注浆管将特定的浆液(如水泥浆、化学浆液等)注入到岩土体的裂隙或孔隙中。浆液在岩土体中渗透、扩散,填充裂隙,将松散的岩土颗粒或裂隙粘成一个整体。经过注浆加固处理后的岩土体,其物理性能(如强度、硬度)和水理性能会得到显著提升,从而形成一个新的、结构强度高、防水性能好的地质体。常用的注浆材料包括水泥浆、水泥砂浆等,这些材料具有较好的流动性和粘结性,能有效地填充裂隙并增强岩土体的稳定性。随着材料科学的发展,新型注浆材料如高分子材料、纳米材料等也逐渐被应用于注浆加固工程中。这些新型材料具有更高的粘结强度和耐久性,能进一步提高加固效果。根据工程需求和地质条件选择合适的注浆方式,如静压注浆、高压喷射注浆等。不同的注浆方式具有不同的特点和适用范围。注浆加固过程中需要严格控制施工质量,包括浆液的配比、注浆压力、注浆量等参数的设置和调整。

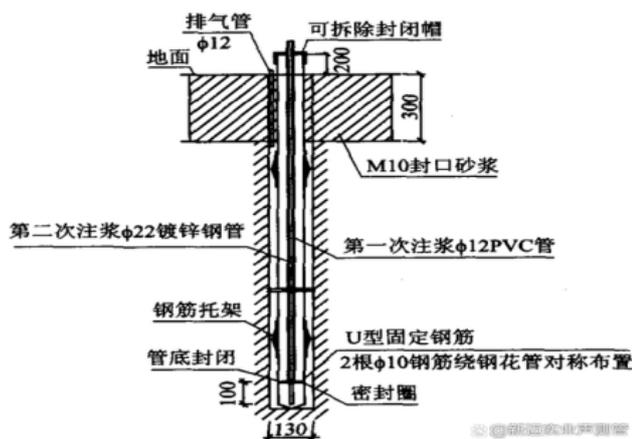


图3-2 注浆加固施工演示图

### 3.3 预应力锚索

预应力锚索是一种在岩土工程中广泛应用的加固技术,它通过张拉高强度钢丝束或锚杆,在被加固的岩土体中产生预压应力,从而显著提高其稳定性。这种加固方法主要由内锚固段、张拉段和外锚固段三大部分构成,每一部分都承担着重要的功能。内锚固段位于钻孔底部,通过楔缝式、胀壳式或粘结式等方法,为整个锚索系统提供稳固而可靠的锚固力;张拉段则连接着内外锚头,这段由高强度钢丝或钢绞线制成的部分,承受着来自外锚的强大张拉力;而外锚固段,包括外锚头、混凝土基座等构件,是实现锚索张拉和锁定的关键部分。

预应力锚索技术不仅具有高强度加固的特点,还展现出了极大的灵活性和可调性。在实际应用中,工程师可以根据具体的工程需求和复杂多变的地质条件,灵活调整锚索的长度、直径以及张拉力等关键参数,以达到最佳的加固效果。这种灵活性使得预应力锚索技术能轻松应对各种复杂的工程环境和地质挑战。除了灵活性,预应力锚索还以其长期稳定性而著称。通过精确施加预应力,锚索能深入到岩土体的内部,与其形成紧密而牢固的结合,从而为工程结构提供持久而稳定的支撑力。这种长期稳定

性对于需要长期保持稳定的工程项目来说至关重要,它能有效延长工程的使用寿命,减少后期的维护和修复成本。

在施工方面,预应力锚索技术的精确性和可控性也是其显著的优势。每一个施工步骤,从钻孔的深度和直径控制,到锚索的精确制作和张拉力的准确施加,都需要严格控制和管理。这种精确性确保了加固效果的可靠性和稳定性,从而大大提高了工程的安全性。

### 4 结论

隧道施工中的围岩稳定性分析与加固技术研究至关重要,关系到工程的安全与质量。本文深入探讨了地质条件、地下水、施工方法等因素对围岩稳定性的影响,并介绍了极限平衡法、有限元法和数值模拟等科学评估方法。同时,详细研究了锚杆支护、注浆加固和预应力锚索等加固技术,这些技术能显著提升围岩的稳定性,降低施工风险。在选择加固技术时,应综合考虑具体工程条件和需求,选取最合适的方案。展望未来,随着新材料、新工艺和数值模拟技术的进步,隧道施工中的围岩稳定性分析与加固将迎来更多创新和发展,为隧道工程的安全和质量提供更为坚实的保障。

### [参考文献]

- [1]于杰绪.岩溶隧道突水涌泥风险评估及围岩稳定性的影响研究[D].长安大学,2018.
- [2]郭健.基于变形稳定的隧道结构可靠度分析[D].兰州交通大学,2018.
- [3]王云青.卵砾石层隧道围岩稳定性分析及施工技术研究[D].西安科技大学,2020.
- [4]程崇国,江星宏.公路隧道施工坍塌预防技术研究[J].公路交通技术,2018,34(06):97-104.

### 作者简介:

陈华兵(1979--),男,汉族,湖北蕲春人,本科,一级建造师,研究方向:道路与桥梁有关的施工技术、施工质量、施工安全。