

低冻胀的风险。在填筑过程中,应优先选择不易冻胀的材料,并通过精确的粒径级配,优化材料的密实度和稳定性。通过优化填料的组成,使其具有更好的水分排放能力,从而减轻冻胀现象的发生。此外,填筑材料的稳定性不仅关乎路基的抗冻能力,还影响整体路基结构的稳定性。通过选用合适的填料,能够提高路基的抗压强度和承载力,为长期运营提供可靠保障。合理选择填筑材料,可以确保在复杂环境下,路基能够在多种气候和土壤条件下保持稳定,为道路的长期安全提供保障。这种优化材料选择的做法有助于提高路基在极端气候条件下的适应能力,从而减少维护和修复的需要。

5 冻胀融沉防控施工与运营控制技术

5.1 施工阶段质量控制要点

施工阶段是冻胀融沉防控的关键环节,施工质量的好坏直接影响路基的稳定性和抗冻性能。在施工过程中,控制填筑材料的含水量是保证路基质量的基础。过高的含水量会增加水分在土层中的积聚,导致冻胀现象。合理安排填筑的分层厚度及压实质量,确保每一层土壤达到设计要求,避免由于压实不足或不均匀填筑造成的沉降与冻胀隐患。此外,施工时序的安排也至关重要,应避免在寒冷季节进行关键工序的施工,尤其是在气温极低的条件下进行冻胀易发的作业。合理的时序安排能够确保填筑层在施工期间有足够的时间进行稳定,防止冬季作业期间土体冻结导致的施工缺陷。通过这些施工阶段的质量控制措施,可以有效减少施工中的潜在隐患,提升路基整体的抗冻性能和稳定性,为防控冻胀融沉提供坚实基础。

5.2 排水系统与路基环境控制

排水系统的设计与建设对路基环境的稳定性至关重要。完善的排水系统能够有效降低路基中的水分含量,减少水分冻结和融化对土体的破坏。通过设置纵向和横向排水设施,可以有效地引导地表水和地下水排出路基,防止水分积聚造成的冻胀现象。排水系统不仅帮助保持路基内的湿度在合理范围内,还能减轻冻胀融沉对路基造成的负面影响。尤其在地表水流动性较强的区域,排水设施的设计应特别考虑水流的方向和速度,确保及时排出多余的水分。在路基的设计过程中,要充分考虑排水系统的布局和设施的完善性,确保水分能够迅速排出,保持路基内部环境的稳定,进而有效防控冻胀融沉问题。此外,定期检查和维护排水系统的功能,确

保其长期运行的有效性,也是保证路基安全性的重要措施。

5.3 运营期监测与维护管理

在运营阶段,持续的监测与维护管理是确保路基稳定性的必要手段。通过对沉降、温度和含水量等关键指标的长期监测,可以实时掌握路基变形的动态变化,及时发现潜在问题。温度和湿度的变化往往直接影响冻胀融沉的发生,监测设备可以帮助追踪这些环境因素,评估其对路基稳定性的影响。结合监测数据进行动态分析,能够预测路基可能出现的异常变化趋势,并为后续的维护和加固决策提供科学依据。当监测数据显示出路基的沉降速率或水分变化异常时,相关部门可以提前采取加固、排水或其他防护措施,避免出现严重的冻胀融沉问题。定期的运营期检查和数据分析不仅有助于提高道路安全性,也能延长路基的使用寿命,确保交通的畅通与安全。通过完善的监测与维护管理体系,可以实现对冻胀融沉的主动防控,最大程度地减少自然因素对路基的影响。

6 结语

严寒地区高速铁路路基冻胀融沉问题成因复杂、影响深远,是制约高速铁路安全稳定运行的重要技术难题。通过系统分析冻胀融沉的形成机理可以看出,温度变化、水分迁移及结构荷载的耦合作用是问题产生的根本原因。在工程实践中,应从设计、施工与运营管理全过程入手,构建以结构优化、材料控制和环境调节为核心的综合防控技术体系。通过多种措施协同作用,可有效减缓冻胀融沉变形,提升路基结构耐久性。未来,随着监测技术和新型材料的发展,严寒地区高速铁路路基冻胀融沉防控技术有望进一步完善,为高速铁路在严寒环境下的长期安全运营提供更加坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 高菲.严寒地区高速铁路路基冻胀特性和工程对策[D].兰州交通大学,2018.
- [2] 石刚强.严寒地区高速铁路路基冻胀和工程对策研究[D].兰州大学,2014.
- [3] 艾强.严寒地区高速铁路路基冻深试验研究[D].中国铁道科学研究院,2014.
- [4] 王伟浩.季冻区高速铁路路基改良粗颗粒填料力学特性和冻融特性研究[D].河北建筑工程学院,2021.
- [5] 甘海龙.季冻区高速铁路路基基床表层冻胀机理及冻胀控制研究[D].兰州理工大学,2022.

Research on deformation control and support structure optimization of tunnel surrounding rock in high-speed railway

Fan Chen

China Railway 12th Bureau Group Fourth Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710024, China

Abstract

With the rapid development of China's high-speed rail network, high-speed rail tunnel construction has become a critical engineering challenge. The deformation of surrounding rock during tunnel construction and the optimization of support structures directly impact the safety and stability of the project. This paper focuses on the research of deformation control and support structure optimization for high-speed rail tunnels. By analyzing the deformation characteristics of different types of surrounding rock, the study explores design methods for support structures suitable for high-speed rail tunnel construction. Incorporating the latest domestic and international research findings, it proposes optimization strategies for support structures under various construction environments. The results demonstrate that reasonable deformation control and support structure design can effectively reduce deformation risks in high-speed rail tunnels, thereby enhancing construction safety and cost-effectiveness.

Keywords

high-speed railway tunnel; surrounding rock deformation; support structure; optimization design; construction safety

高铁隧道围岩变形控制与支护结构优化研究

陈璠

中铁十二局集团第四工程有限公司, 中国·陕西 西安 710024

摘要

随着中国高铁网络的迅速发展, 高铁隧道建设成为工程领域中的重要课题。隧道施工过程中的围岩变形及支护结构的优化设计, 直接影响到工程的安全性与稳定性。本文围绕高铁隧道围岩变形控制与支护结构优化问题展开研究。通过分析不同类型围岩的变形特性, 探讨了适合高铁隧道施工的支护结构设计方法, 并结合国内外最新的研究成果, 提出了一些针对不同施工环境下的支护结构优化策略。研究表明, 合理的围岩变形控制与支护结构设计能够有效减少高铁隧道的变形风险, 提高施工的安全性与经济性。

关键词

高铁隧道; 围岩变形; 支护结构; 优化设计; 施工安全

1 引言

高铁隧道的建设是现代交通运输中的一项重要工程, 它能够极大地提升铁路运输效率, 但同时由于其复杂的地质环境和施工条件, 给施工带来了诸多挑战。围岩变形问题一直是高铁隧道建设中的难点之一, 尤其是在一些软弱围岩区域, 隧道施工过程中围岩的变形往往会影响到隧道的稳定性, 甚至威胁到施工人员的安全。因此, 围岩变形控制与支护结构优化的研究, 成为了隧道工程中不可或缺的重要部分。目前, 国内外学者在围岩变形分析、支护结构优化等方面已经开展了大量的研究工作。通过地质勘察、数值模拟等手段, 针对不同的围岩条件提出了不同的支护方案。然而, 如何在保证隧道结构安全性的基础上, 进一步提高支护结构的经济

性与施工的可操作性, 仍然是当前高铁隧道建设中的重要问题。本文将在以下几个方面展开讨论: 首先, 分析高铁隧道围岩的变形特性, 探讨其与支护结构设计的关系; 其次, 讨论支护结构的优化设计方案, 包括支护方式、支护材料等方面; 最后, 通过案例分析, 探讨如何在具体的施工环境下选择最优的支护结构。

2 高铁隧道围岩变形特性分析

2.1 围岩变形的特点

围岩变形主要是指在隧道开挖过程中, 由于施工作用与外部环境的影响, 围绕隧道的岩体发生的形变。根据隧道的开挖方式、围岩的性质及地质条件的不同, 围岩变形的特点表现出较大的差异。一般来说, 围岩变形可以分为水平变形、垂直变形及围岩的塑性变形等类型。不同类型的围岩在变形过程中表现出不同的变形机理与规律, 需要根据具体情况采取不同的防治措施。高铁隧道一般位于地质条件复杂的

【作者简介】陈璠(1994-), 男, 中国甘肃庆阳人, 本科, 助理工程师, 从事土木工程、道路桥梁研究。

地区,施工时常面临软弱围岩、地下水丰富、岩石破碎等困难。因此,隧道的围岩变形通常较为复杂,容易产生过度变形现象,进而影响施工进度与施工质量。

2.2 围岩变形的影响因素

高铁隧道的围岩变形受到多种因素的影响,主要包括:围岩的力学性质、隧道开挖方法、施工过程中支护结构的作用、地下水情况以及外部地震等自然因素。围岩的力学性质是影响变形的主要因素,软弱围岩和破碎围岩的变形较为明显,需要采取更强有力的支护措施。隧道开挖方法的选择对围岩的变形程度也有重要影响。对于软弱围岩,采用小断面分段开挖方法可以有效地控制围岩的变形。而在硬岩区,使用全断面开挖可以较好地减小支护压力,从而控制围岩变形的幅度。

2.3 围岩变形的监测与评估

为了有效地控制高铁隧道的围岩变形,必须进行实时监测与评估。当前,常用的围岩变形监测方法包括光纤光谱监测、变形仪监测和GPS监测等。通过这些技术,可以实时掌握围岩的变形情况,并根据数据进行支护结构的调整。围岩变形的评估方法主要有两类:一种是基于数值模拟的评估方法,通过建立三维数值模型,模拟隧道施工过程中围岩的变形过程;另一种是基于现场测试的评估方法,直接根据现场的变形数据进行分析与判断。

3 高铁隧道支护结构设计优化

3.1 支护结构的基本类型

高铁隧道的支护结构设计必须综合考虑围岩的力学特性、施工环境、施工进度以及经济性等因素。目前,常见的支护结构类型包括钢支撑型、混凝土喷射型和锚喷支护型。钢支撑型支护结构具有较高的强度和良好的柔性,适用于硬岩或围岩稳定性较好的区域。其能够承受较大的外部荷载,且施工速度较快,但对于软弱围岩的适应性较差。混凝土喷射型支护结构具有优异的抗压能力,适合中等强度围岩的支护,能有效防止围岩破裂和渗水问题。相比之下,锚喷支护型支护结构综合了钢支撑和喷射混凝土的优点,既可以提供较强的承载力,又具备较好的柔性,尤其适用于软弱围岩和复杂的地质条件。根据不同的围岩条件和施工要求,选择合适的支护结构类型对于确保隧道施工的安全性与稳定性至关重要。

3.2 支护结构的优化设计策略

支护结构的优化设计必须考虑围岩的变形特性以及施工过程中的实际需求。在软弱围岩区域,采用分段开挖或小断面开挖方法可以有效减少围岩的扰动,从而减小围岩变形幅度,减轻支护结构的受力。支护结构的设计应当根据围岩的变形特点进行优化。例如,在围岩变形较大的区域,可以通过加密锚杆的布置,增加支护结构的抗变形能力。此外,选择高强度、高弹性的支护材料,如高性能混凝土、钢筋网

等,能够显著提高支护结构的稳定性与耐久性。这些优化设计方案不仅能增强支护结构的抗变形能力,还能提升施工过程中的安全性与效率。通过数值模拟技术,可以模拟围岩变形与支护结构的交互作用,从而优化支护设计参数,确保支护系统在施工过程中稳定可靠,并有效减少施工成本。

3.3 支护材料的选择与创新

支护材料的选择对隧道施工的安全性、经济性及耐久性起着决定性作用。传统的支护材料主要包括普通钢材和普通混凝土,虽然这些材料具备一定的强度和稳定性,但在高铁隧道的复杂地质环境中,其性能可能无法满足所有施工需求。因此,随着新材料技术的不断发展,高强度钢材、复合材料等新型材料逐渐被应用于隧道支护结构中。例如,碳纤维复合材料因其具有轻质、高强、抗腐蚀等优点,成为了一种理想的支护材料。它不仅能提高支护结构的强度和耐久性,而且可以有效减少支护结构的自重,降低施工难度和成本。此外,超高强度混凝土等新型支护材料具有优异的抗压能力和耐久性,可以提高隧道支护结构的长期稳定性,延长其使用寿命。这些创新材料的应用,不仅增强了支护结构的性能,还为隧道施工的经济性和可持续发展提供了保障。

4 高铁隧道施工中的围岩变形控制措施

4.1 施工工艺优化

施工工艺优化是确保高铁隧道施工安全性和稳定性的关键因素之一。在不同围岩条件下,选取适当的开挖工艺能够有效减少围岩变形。例如,在软弱围岩区域,采用分段开挖工艺可以有效减小开挖面的面积,从而减少对围岩的扰动,减轻围岩变形的风险。通过分阶段逐步开挖,可以将围岩的压力释放分散,减少了突发性地质变形的发生。在硬岩地区,由于围岩的稳定性较高,采用全断面开挖工艺能够提高开挖的效率,并确保施工的稳定性和安全性。此外,在施工过程中,实时监测围岩变形情况至关重要。通过使用现代化监测设备,如地表变形监测仪和应力应变传感器等,能够精确获得围岩的变形数据,施工团队可以根据这些数据动态调整施工方案,确保围岩变形控制在合理范围内,避免突发的地质灾害和安全隐患。

4.2 支护结构的提前施工与加固

在高铁隧道施工中,支护结构的及时施工和加固对于确保施工过程中的安全性至关重要。通过在开挖前设置预支护系统,可以提前对围岩进行加固,有效减小围岩的变形幅度,防止发生大规模的塌方或滑坡现象。这种预支护结构通常包括锚杆、喷射混凝土等支护材料,在施工初期即对围岩形成保护层。随着施工进度的推进,支护结构需要逐步加固以应对围岩可能发生的变形。一旦监测到围岩变形超过设定标准,施工团队应立即采取加固措施,如加强喷射混凝土的厚度、增加锚杆密度、加入钢支撑等。这些加固措施不仅能增强支护结构的稳定性,还能为后续施工提供更安全的作业