

软弱围岩隧道施工变形控制技术研究

王 敏

四川路桥盛通建筑工程有限公司, 四川 成都 610000

[摘要] 软弱围岩隧道施工中, 围岩变形控制是确保施工安全与隧道稳定的关键。采用科学的变形监测方法、支护设计优化和施工工艺改进能够有效控制围岩变形。通过对软弱围岩特性的分析, 结合现场数据, 提出了合理的支护结构及施工方法, 以减少围岩变形对施工安全的影响。实践表明, 合理的变形控制技术能够显著提高隧道施工的顺利性和工程质量。

[关键词] 软弱围岩; 隧道施工; 变形控制; 支护设计; 施工工艺

DOI: 10.33142/sca.v8i3.15775

中图分类号: U455.4

文献标识码: A

Research on Deformation Control Technology for Tunnel Construction in Soft Surrounding Rock

WANG Min

Sichuan Road and Bridge Shengtong Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: In the construction of weak surrounding rock tunnels, the control of surrounding rock deformation is the key to ensuring construction safety and tunnel stability. The use of scientific deformation monitoring methods, optimization of support design, and improvement of construction technology can effectively control the deformation of surrounding rock. By analyzing the characteristics of weak surrounding rock and combining with on-site data, reasonable support structures and construction methods are proposed to reduce the impact of rock deformation on construction safety. Practice has shown that reasonable deformation control techniques can significantly improve the smoothness and engineering quality of tunnel construction.

Keywords: soft surrounding rock; tunnel construction; deformation control; support design; construction technology

引言

软弱围岩是隧道施工中的常见难题, 其特殊的地质条件易引发围岩变形, 影响施工进度与安全。如何有效控制围岩变形, 确保隧道结构的稳定性, 成为了隧道工程中的重要研究课题。随着科技的进步, 变形监测与支护技术的不断优化, 为解决这一问题提供了新的思路与方法。通过深入探讨软弱围岩的变形控制技术, 能够为隧道施工提供更为科学、可靠的指导, 提升隧道工程的安全性及经济性。

1 软弱围岩特性及其对隧道施工的影响

软弱围岩是隧道施工中常见的地质条件, 其独特的物理与力学特性使得施工过程中面临较大的挑战。研究软弱围岩的特性及其影响对于有效控制施工变形至关重要。

1.1 软弱围岩的基本特性

软弱围岩通常由黏土、砂岩、泥岩等组成, 其力学性质较差, 抗压强度低, 容易在施工过程中发生变形。软弱围岩在水文地质条件变化的影响下, 其孔隙率大、结构松散, 容易产生软化现象, 导致围岩稳定性差。此外, 围岩在受力后容易发生塌方或坍塌, 给隧道施工带来巨大风险。因此, 深入了解软弱围岩的物理和力学性质对于预判施工过程中可能出现的问题具有重要意义。

1.2 软弱围岩对隧道施工的影响

软弱围岩的主要特性直接影响隧道施工的稳定性和安全性。由于围岩强度低, 施工过程中往往出现围岩变形和支护结构的过度变形, 甚至导致支护失效, 严重影响施

工进度和隧道结构的长期稳定。此外, 软弱围岩在水文条件不利的情况下, 易发生涌水、泥水渗漏等问题, 进一步加剧施工难度。围岩变形不仅影响施工安全, 还可能导致工期延误、施工成本增加等问题。因此, 软弱围岩的影响不能忽视, 必须采取有效的措施来应对^[1]。

1.3 软弱围岩引发的施工风险与防控措施

软弱围岩引发的施工风险主要体现在围岩变形、施工事故以及工期和成本的控制等方面。为了减少围岩对施工的影响, 需要采用科学的变形监测技术、支护设计以及施工工艺改进措施。在变形监测方面, 可以通过安装多点位监测设备, 对围岩的变形进行实时跟踪, 及时发现潜在风险。在支护设计上, 针对软弱围岩的特性, 优化支护结构, 如采用分级支护和自适应支护技术, 确保隧道在施工过程中的稳定性。此外, 通过合理的施工工艺调整, 可以有效控制围岩变形, 减少施工中可能出现的风险。采取多重防控措施的综合管理方式, 是应对软弱围岩影响、保证隧道施工安全的有效途径。

2 变形监测技术在软弱围岩隧道施工中的应用

变形监测技术是软弱围岩隧道施工中的关键环节, 通过实时监测围岩变形, 可以及时发现风险并采取相应措施, 确保施工的安全与顺利进行。

2.1 变形监测技术的基本原理与方法

变形监测技术主要通过通过对隧道围岩的变形、位移、应力等参数的实时监控, 了解围岩的变形趋势和动态变化。

常见的变形监测技术包括地质雷达、全站仪、光纤传感器、位移计、应变计等。这些设备能够在隧道施工过程中实时获取数据，提供围岩变形的准确分析。在实际应用中，选择合适的监测设备与方法，根据不同的地质条件和施工阶段进行针对性的监测，确保能够有效反映围岩的变形情况。尤其在软弱围岩环境中，变形监测技术发挥着至关重要的作用，帮助工程人员及时获取围岩变形的变化趋势，进而调整施工方案或加强支护结构。

2.2 变形监测在软弱围岩隧道施工中的应用现状

在软弱围岩隧道施工中，变形监测技术已广泛应用于围岩稳定性分析、支护设计优化、施工过程监控等多个方面。通过对隧道周围的岩层和围岩的监测，可以实时获取围岩的应力、位移和变形量，帮助工程人员判断围岩的稳定性，预测施工中可能出现的风险。例如，利用全站仪进行隧道周围地表的变形监测，结合数值模拟与实际监测数据，可以提前发现围岩的潜在破坏区域，避免意外事故发生。此外，光纤传感器在软弱围岩隧道施工中的应用也逐渐普及，它可以精准地反映围岩的应变分布，为施工提供详细数据支持^[2]。监测数据的实时传输与处理，也使得施工人员能够快速反应并采取有效措施，保障隧道施工的安全。

2.3 变形监测技术的优化与发展趋势

随着科技的进步，变形监测技术在软弱围岩隧道施工中的应用不断优化。未来，智能化与自动化的变形监测技术将成为趋势。例如，结合物联网技术，构建全自动化、智能化的监测系统，可以实现对围岩变形的精准监控，并通过大数据分析对施工安全进行预测与评估。传感器的智能化与网络化发展，将进一步提高监测的效率与准确性。除了传统的设备监测，近年来基于无人机和地质雷达等新型技术的监测方式也逐渐获得关注，这些技术能够在复杂环境下进行非接触式监测，极大地提高了施工的安全性和监测数据的可靠性。通过这些技术的结合与发展，变形监测将在软弱围岩隧道施工中发挥更大的作用，保障隧道工程的安全与稳定。

3 支护设计优化在围岩变形控制中的作用

支护设计优化是软弱围岩隧道施工中控制围岩变形的核心措施之一。科学合理的支护设计能够有效降低变形风险，保证隧道施工的安全与稳定。

3.1 支护设计优化的基本原则与方法

支护设计优化旨在根据围岩特性与施工条件，合理选择支护结构及施工工艺，从而有效防止围岩变形。优化设计的基本原则包括：根据围岩的力学性质选择合适的支护材料与支护方式；根据地质条件、地下水情况及施工阶段进行分层支护；实施动态调整，以应对施工过程中围岩的不同变化。常见的支护方式有喷射混凝土支护、钢拱架支护、锚杆锚索支护等，这些支护方式可根据实际情况组合使用。在软弱围岩环境下，采用适应性强的支护设计，不

仅能增强隧道结构的稳定性，还能最大限度地减少围岩变形，确保隧道施工的顺利进行。

3.2 支护设计优化对围岩变形控制的关键作用

支护设计优化对围岩变形控制起着至关重要的作用。通过对支护结构的科学设计，可以有效分散和转移围岩的应力，减少围岩变形。在软弱围岩条件下，由于围岩强度较低、变形量较大，采用适合的支护结构可以提高支护系统的承载能力，抵抗外部压力，避免出现塌方或滑坡等风险。优化的支护设计能够确保支护结构与围岩的良好配合，使支护系统能在围岩变形过程中提供足够的支撑力。此外，合理的支护设计还能够通过减少支护材料的浪费、降低施工难度，从而达到节约成本的目的，保证工程的经济性^[3]。

3.3 支护设计优化的实际应用与未来发展方向

在实际工程中，支护设计优化已广泛应用于软弱围岩隧道的施工。随着技术的进步，支护设计的优化不仅限于传统支护方法的改进，还包括智能化支护设计的应用。例如，结合数字化建模与数值模拟技术，可以更加精确地预测围岩的变形趋势，为支护设计提供数据支持。此外，智能支护技术的逐步引入，使得支护设计在施工过程中能够根据实时监测数据进行动态调整，提高了支护结构的适应性和可靠性。未来，支护设计优化将朝着更高效、环保、智能化的方向发展，尤其是在软弱围岩环境下，优化设计将不仅关注结构安全，还将充分考虑对环境的影响，推动隧道工程向可持续发展方向迈进。通过不断创新和改进支护设计技术，能够进一步提升隧道施工的安全性与经济性。

4 施工工艺改进对围岩变形的有效控制

施工工艺改进在软弱围岩隧道施工中具有重要作用，通过精细化施工管理和技术创新，有效减少围岩变形，保障隧道结构稳定与施工安全。

4.1 施工工艺改进的基本理念与技术手段

施工工艺改进的核心理念是通过优化施工过程，降低对围岩的扰动，减少变形，提升施工效率。在软弱围岩条件下，传统的施工工艺往往会造成围岩大范围的变形，影响隧道稳定。为此，可以采用分段施工、逐步开挖、轻量化作业等技术手段，减少对围岩的破坏。例如，在开挖过程中采用“先支护后开挖”的方式，即先在开挖面进行支护，确保周围围岩得到有效支撑，避免出现不必要的变形。此外，采用机械化作业和现代化施工设备，不仅能提高施工效率，也能有效控制施工对围岩的扰动，从而降低变形风险。

4.2 施工工艺改进对围岩变形控制的作用

在软弱围岩隧道施工中，施工工艺改进能够显著减少围岩的变形。通过优化开挖顺序、支护方式和施工设备的选择，能够有效分散围岩的应力，减小施工过程中围岩的变形量。比如，在施工过程中采用逆向开挖或顺层开挖的方式，有助于减少围岩应力集中，降低围岩变形的几率。

同时，通过控制施工的步幅、速率和环境条件，避免过快开挖或过度扰动围岩，从而达到减小围岩变形的目的。施工过程中，精确的控制施工参数和及时的调整施工方案，是减少围岩变形的关键。此外，优化的施工工艺还可以减少支护结构的负担，降低施工成本，提高施工效率^[4]。

4.3 施工工艺改进的未来发展与挑战

随着技术的不断进步，施工工艺的改进将进一步提高围岩变形控制的效果。未来，更多智能化、自动化的施工工艺将得到应用，例如，利用无人机进行地质勘察和实时监控，通过数据传输和智能分析系统，动态调整施工方案，从而更精确地控制围岩变形。此外，基于大数据和人工智能技术的施工管理系统将能够实时处理监测数据，分析围岩的变形趋势，为施工人员提供更加科学的决策支持。这些新兴技术的引入，将使施工工艺更加精准、灵活和高效，进一步提升围岩变形控制能力。然而，这也带来了新的挑战，如技术的高成本、技术人员的培训以及对设备的依赖等。如何平衡技术创新与经济可行性，仍然是施工工艺改进中的一项重要任务。

5 软弱围岩隧道施工变形控制技术的实践与经验总结

软弱围岩隧道施工过程中，变形控制是保障隧道稳定性和施工安全的关键。实践经验和技术积累为有效控制围岩变形提供了宝贵的参考和指导。

5.1 变形控制技术的实践应用

在软弱围岩隧道施工中，变形控制技术通过实时监测、支护设计优化和施工工艺改进等手段得到广泛应用。在实际工程中，采用了如全站仪、地质雷达等设备进行变形监测，并结合实时数据调整施工方案。例如，利用光纤传感器监测围岩应力和位移，可以提供精确的围岩变形数据，及时发现潜在问题，从而采取必要的加固措施。在支护设计方面，采用了分级支护和自适应支护结构，显著提升了围岩的稳定性。通过不断积累的监测数据，施工人员能够随时调整开挖进度和支护结构，确保施工过程中围岩变形保持在可控范围内^[5]。

5.2 支护与施工工艺的优化实践

支护设计和施工工艺的优化在软弱围岩隧道施工中至关重要。在多次实际施工过程中，优化的支护设计和工艺被证明有效减少了围岩变形的风险。针对软弱围岩的低强度特性，选择了分段支护的方式，逐步加固围岩，减少

施工过程中围岩的破坏。同时，采用了先支护后开挖的工艺，即在开挖前先进行支护作业，确保围岩稳定性。在施工中，控制开挖速率、步幅等参数，避免过快的开挖对围岩造成过大扰动，减轻围岩的变形压力。此外，科学安排施工阶段，逐步实施，以避免一次性扰动过大，导致围岩突发性变形。

5.3 实践中的经验与未来发展

在软弱围岩隧道施工的实际应用中，变形控制技术不断完善，积累了宝贵的经验。通过持续优化监测技术、支护设计和施工工艺，施工中的围岩变形得到了有效控制，隧道施工的安全性大幅提升。未来，随着智能化监测技术和施工工艺的不断发展，围岩变形控制将更加精准和高效。例如，利用人工智能和大数据分析，实时评估围岩的稳定性并自动调整施工方案，将使隧道施工管理更加智能化和精细化。然而，技术的进步还需要与经济性和可操作性相结合，在确保施工安全的前提下，控制成本并提升施工效率。这些将成为未来隧道施工变形控制技术研究的重点方向。

6 结语

软弱围岩隧道施工中，围岩变形控制技术的不断创新与优化对于确保施工安全和隧道结构稳定具有重要意义。通过合理的变形监测、支护设计优化和施工工艺改进，已有效减少了围岩变形，提升了施工的顺利性与安全性。随着智能化技术的应用和施工经验的积累，未来的隧道施工将更加精准、科学，推动软弱围岩隧道工程向更高效、安全的方向发展，为工程建设提供更强有力的技术支持。

【参考文献】

- [1]曾友平. 软弱围岩隧道变形控制技术研究[J]. 江西建材, 2016(17): 151-152.
 - [2]高艳花. 软弱围岩隧道大变形系统控制技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2018(7): 65-68.
 - [3]张海勇. 铁路软弱围岩大变形隧道施工控制技术[J]. 交通世界, 2018(32): 39-40.
 - [4]刘印平. 软弱围岩隧道施工过程的变形分析与控制技术研究[J]. 散装水泥, 2024(1): 39-41.
 - [5]刘佳诚. 软弱围岩浅埋大断面隧道施工工法与变形控制技术分析[J]. 河南科技, 2024, 51(19): 48-53.
- 作者简介：王敏（1996.9—），男，毕业院校：长沙理工大学城南学院，土木工程。