

高速公路隧道改扩建施工技术与安全管理探讨

侯松¹ 张帅²

1. 浙江交投交通建设管理有限公司 浙江省杭州市 310000

2. 杭州恒则熙安全科技有限公司 浙江省杭州市 310000

摘要：隧道改扩建项目因其特殊性，对施工技术和安全管理提出了更高要求。本文基于高速公路隧道的改扩建工程实际案例，探讨了隧道改扩建过程中的关键技术问题和安全管理措施。研究发现，隧道改扩建主要面临结构支护、施工方法选择和环境保护等技术难点。文章提出了适用于隧道改扩建的新型支护结构和施工技术，如先进的盾构法和喷锚支护技术，有效提升了工程安全性和施工效率。同时，强调了安全管理在隧道工程中的重要性，特别是在施工期间通过科学的风险评估和严格的安全监控体系，确保施工人员的生命安全和工程质量。研究结果表明，通过技术创新和严格的安全管理，可以显著降低高速公路隧道改扩建项目的施工风险，对类似工程具有重要的借鉴意义。

关键词：隧道改扩建；施工技术；安全管理；结构支护；环境保护

引言

随着城市化的不断加速以及基础设施的老化，高速公路隧道的改扩建成为确保交通顺畅和车辆安全的重要措施。然而，这类工程由于工作环境的封闭性和复杂性，对施工技术和安全管理的要求极其严格。既往研究多集中于新建隧道的施工技术和安全措施，与改扩建项目的特殊需求存在一定差异，诸多传统方法难以直接适用。尤其是在结构支护、施工方法选择、以及环境保护方面，改扩建隧道面临一系列复杂的技术难题。本研究借鉴具体的高速公路隧道改扩建案例，通过探究改扩建过程中遇到的关键技术难点以及有效的安全管理策略，旨在提供一种更科学、有效的隧道工程改扩建方案。结合先进的盾构法和喷锚支护技术等新型施工技术，本文将深入分析这些技术如何增强工程的安全性和施工效率。同时，考虑到隧道工程的特殊性和危险性，安全管理的角色尤其关键，本研究也将提出一套严密的安全监控体系及风险评估机制，以确保施工过程中人员安全和工程质量。通过这一系列的研究和实践，本文意在为高速公路隧道的成功改扩建提供切实可行的技术支持和管理策略。

1. 高速公路隧道改扩建的技术难点

1.1 结构支护的技术挑战与创新

高速公路隧道改扩建过程中，结构支护技术面临着诸多挑战，其中如何确保新旧结构的完美结合是首要难题^[1]。在改扩建中，支护结构需要应对复杂的地质条件、荷载变化

及施工扰动，传统的支护方式常显得不足。为解决这一问题，技术创新成为关键。新型支护结构的应用如盾构法和喷锚支护技术大大提升了施工的效率与安全性。盾构法提供了更强的稳定性，能够有效应对隧道掘进中的不稳定土层状况，并减少对周围环境的影响。通过采用喷锚支护技术，能够快速建立临时支护，并在初期阶段实现较好的稳定效果，有效降低坍塌风险。除了上述技术，新材料的使用也显得尤为重要，如钢纤维混凝土在支护结构中展现出了出色的强度与耐久性。这些创新技术不仅增强了结构稳定性，还显著提高了施工效率。随着技术的不断进步，高速公路隧道改扩建在结构支护方面取得的突破，对于同类工程的安全及经济效益具有重要的借鉴意义。在持续的技术研究和实践中，解决结构支护挑战将为隧道施工开拓更广阔的发展空间。

1.2 施工方法的选择与优化

施工方法的选择与优化是高速公路隧道改扩建工程中至关重要的一环。针对隧道在改扩建过程中可能涉及的复杂地质条件和既有结构的保护要求，施工方法的选定直接影响施工安全和进度。传统的施工方法往往存在效率低下或对环境影响较大的问题，创新施工方法成为当前研究的热点。

对于复杂地质条件或高风险区域，精确的地质勘查与建模能够为施工方法的选择提供数据支持^[2]。结合实际工程案例，隧道改扩建项目中应用了系统化的分区施工策略，对不同区域采用适宜的技术方法，以确保施工稳定性。盾构法

因其具有高效和低扰动的特点，在隧道改扩建工程中得到了广泛应用^[3]。针对需要最大程度减少对既有设施影响的情况，分步开挖法可兼顾施工进度与结构稳定性。结合施工现场实时监测数据，通过施工流程的优化调整，减少施工中的突发状况、控制围岩变形，实现安全与高效并重。

施工方法的选择需全程贯穿技术经济性和工程安全性的原则，优化后的施工策略显著提高了施工精度与效率，为隧道改扩建项目提供了可靠保障。

1.3 环境保护措施的实施要点

隧道改扩建施工过程中，环境保护措施的实施是工程不可忽视的环节，直接关系到生态平衡与施工区域的可持续发展。针对隧道施工产生的大量废弃物和渣土，要求采取科学的分类处理与集中运输方式，避免对周边环境造成二次污染。施工噪声的管控则通过使用低噪声设备和优化施工时间实现，从而降低对居民及野生动物的影响。地下水资源保护方面，需要构建完善的截水与排水系统，防止施工过程中引发水体污染和水文环境变化。通过植被恢复和生态补偿措施，最大程度减少对生态系统的干扰并修复施工导致的环境损害。这些措施的全面执行能够有效实现与环境保护目标的协调，为隧道改扩建的可持续发展奠定基础。

2. 高速公路隧道改扩建施工技术创新

2.1 先进的盾构方法应用

盾构法是一种现代隧道施工技术，在高速公路隧道改扩建工程中具有广泛应用价值。盾构法通过机械化设备在隧道开挖过程中实现自动化操作，能够有效提高施工效率并减少对周围环境的扰动。隧道改扩建工程通常面临空间受限、施工条件复杂以及结构衔接难度较大的问题，盾构技术凭借其高精度控制和连续作业能力，可以克服传统施工方法的瓶颈，特别是在长距离隧道或地质状况较复杂的情况下具有显著优势^[4]。

此技术的应用明确了隧道改扩建过程中支护系统与掘进设备的联动机制。在施工中，通过盾构设备的切割和输送机制，减少了对土体稳定性的破坏，并保证施工区域的安全性。与实时监控技术结合，可随时调整盾构运行状态，进一步降低施工风险。使用盾构法进行隧道改扩建还意味着对施工人员的安全保障更加全面，有效降低了人工操作可能引发的事故风险。

盾构法的推广应用不仅在技术层面提升了隧道改扩建的

施工效率与工程精度，还为复杂地质环境下的施工积累了宝贵经验，已成为隧道改扩建领域技术创新的重要方向之一。

2.2 喷锚支护技术在隧道改扩建中的应用

喷锚支护技术作为一种先进的隧道支护方法，在高速公路隧道改扩建中得到了广泛应用。该技术通过在隧道开挖过程中向围岩喷射混凝土并搭配锚杆进行加固，以有效提高隧道结构的整体稳定性和承载能力。由于改扩建工程常涉及原有隧道的结构调整以及地质条件的复杂变化，喷锚支护技术凭借其施工灵活性和适应能力，在稳定围岩和控制变形方面表现出突出的优势。

喷锚支护技术的应用能够快速形成支护体系，显著减少围岩暴露时间，从而降低塌方及岩体松动的风险。通过锚杆的定点加固作用，可进一步提升隧道的抗剪切和抗压性能。在施工过程中，喷锚支护结合预应力锚杆的使用，可有效减少施工对周边区域的扰动，确保隧道扩建施工在复杂地质条件中的安全性。

为保证喷锚支护技术的效果，需要合理选择喷射混凝土材料成分，并严控施工参数，如喷射厚度与锚杆布置密度。对施工现场进行及时监测可帮助评估喷锚支护的性能，以实现对隧道结构稳定性的科学管控。此技术对提升隧道改扩建效率和安全性具有重要意义。

2.3 其他创新支护结构与施工技术

在高速公路隧道改扩建的施工过程中，除传统方法外，还开发并应用了其他创新支护结构与施工技术。这些技术包括在特定地质条件下的柔性支护结构，能够更好地适应地层变形，减少对原有结构的扰动。另外，模块化预制装配式构件的引入显著缩短了施工周期，提升了施工效率，并降低了施工过程中产生的噪音和振动对周边环境的影响。通过采用这些新技术，不仅提高了隧道改扩建工程的安全性与可靠性，还有效地控制了施工成本，对工程的顺利实施具有积极作用。

3. 安全管理在隧道改扩建中的应用

3.1 风险评估的重要性与执行方法

风险评估在高速公路隧道改扩建中的施工阶段是确保工程安全管理的重要环节。隧道施工环境复杂，涉及地质条件变化、机械设备操作和人力密集活动等多重因素，如不对可能存在的风险进行全面评估，极易引发安全事故，导致人员伤亡、工程延误乃至经济损失。风险评估具有基础性、前

瞻性和指导性的重要意义。

在具体执行中，风险评估需以系统化的方法展开。通过对施工现场的地质勘查和环境数据收集，采用定量与定性相结合的评估方式，从工程设计阶段到施工进程各阶段，分析可能面临的安全隐患。评估内容包括隧道内塌方风险、机械设备的操作安全性、材料运输与堆放的稳定性等^[5]。为提高评估准确性，应引入先进评估工具，例如有限元分析软件和风险矩阵模型，对影响因素进行模拟和预测。

风险评估的结果应形成详尽的施工安全指导文件，如事故预警方案及应对措施，指导施工团队遵循标准化程序施工。应建立动态更新机制，根据现场实际施工情况对评估结果进行调整与优化，以确保风险评估的有效性和实施价值。这一科学系统的评估方式从源头上降低了施工事故发生概率，为隧道改扩建的顺利推进提供了良好的安全保障。

3.2 安全监控体系的建立与优化

安全监控体系的建立与优化是确保高速公路隧道改扩建施工安全的重要环节。在隧道施工过程中，复杂的地质条件和施工环境使得风险因素显著增加，建立科学、完整的安全监控体系成为关键。安全监控体系的核心在于实现施工过程的实时监测，包括对隧道结构应力、地质变形及地下水渗透等数据的精准采集与分析，通过自动化监测设备与智能化监控平台的结合，实时反馈施工状态，以便及时预估潜在风险。

优化监控体系需综合考虑人员、设备和技术的协调性，应用高精度传感器与智能分析算法，提高监测数据的有效性和可靠性。统一的监控平台能够实现不同监测系统的数据整合，并通过可视化技术向施工管理层提供警示及决策依据。将监控体系与风险预警机制相结合，依据以往工程数据建立动态评估模型，对施工环节中的安全隐患进行量化分析，进一步降低应急响应时间。这种科学系统性的优化能够有效保障施工人员的生命安全，提升工程质量，为隧道改扩建项目的顺利实施奠定坚实基础。

3.3 施工人员安全培训与应急措施

施工人员安全培训与应急措施在隧道改扩建工程中至关重要。通过开展系统性的安全培训，提升施工人员的风险

意识和应急能力，有助于减少因操作不当引发的安全事故。培训内容涵盖施工规范、安全设备使用、突发事件处理等关键领域。应急措施则包括制定完善的应急预案、配备专业化的救援设备、组织定期应急演练，以确保施工过程中突发情况能够得到迅速有效应对。安全培训与应急措施的实施能够最大化降低安全风险，保障施工人员生命安全和工程质量。

4. 结束语

本文围绕高速公路隧道改扩建项目的施工技术与安全管理进行了系统的探讨，通过实际案例分析，对隧道改扩建过程中遇到的关键技术问题及安全管理措施进行了深入研究。研究显示，引入新型支护结构与先进施工技术，例如盾构法与喷锚支护技术，不仅提升了工程的施工效率，而且强化了工程的安全性。此外，文章强调了科学风险评估与严格安全监控体系的重要性，这对确保施工人员安全以及工程质量的提升具有不可忽视的作用。尽管本研究在高速公路隧道改扩建的技术和安全管理方面取得了一些积极成果，但仍存在一些局限性，如隧道工程的特殊性及复杂性带来的不可预见风险，这需要在未来的工程实践中持续优化技术方案和管理对策。未来研究可以进一步探索如何更有效地整合和应用机器学习和人工智能技术，以实现施工风险的实时预测和管理，从而更好地服务于类似复杂的基础设施工程项目。

参考文献：

- [1] 李峰. 改扩建高速公路路基拼接施工技术 [J]. 名城绘, 2020, 0(07):0405–0406.
- [2] 杨震薛嘉诚. 论高速公路路基改扩建施工与安全技术 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021, (07).
- [3] 王敏华. 高速公路改扩建桥梁施工技术要点分析 [J]. 西部交通科技, 2020, (11):137–139.
- [4] 周中书. 贵州高速公路改扩建项目施工技术探讨 [J]. 交通世界, 2020, (24):31–32.
- [5] 靳博元. 高速公路改扩建路基加宽施工技术 [J]. 自动化应用, 2023, 64(12):155–157.

作者简介：侯松（1990.10-），男，汉族，安徽蚌埠，硕士研究生，工程师，研究方向：公路工程。