

公路隧道施工技术及其质量控制措施

吕萍

中国葛洲坝集团路桥工程有限公司

摘要：隧道建设作为现代道路交通基础设施的重要组成部分，在提高道路运输效率、改善交通瓶颈、促进经济发展方面发挥着关键作用，但隧道工程的复杂性和风险性也使其成为工程管理和质量控制的重难点。本文依托公司在建项目宜昌市南路及改线段工程、宜昌市五龙三路工程等项目，针对不同类型的隧道进行施工技术、质量控制、设备及材料配置等相关问题的研究，为类似工程项目提供参考。

关键词：公路；隧道；施工技术；质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.038

引言

公路隧道的建设旨在提供高效、安全和可持续的交通通道，以满足不断增长的交通需求。然而，隧道工程的复杂性包括地质条件、环境因素、施工方法、材料选用和质量控制等多方面因素，这些都需要精心管理和有效控制，以确保工程成功完成。因此，有必要深入研究并应用施工技术和质量控制措施，以确保隧道的高质量、高效率 and 可持续性。

一、公路隧道施工技术方案

（一）传统开挖法

传统开挖法是一种常见的公路隧道施工技术，通过机械设备、爆破工程和手工挖掘等手段逐渐开凿地下通道，这一方法具有多功能性，适用于各种地质条件，包括软土、岩石和复杂地层，灵活性使其适用于不同规模的项目，从小型到大型隧道工程都可以采用^[1]。传统开挖法的技术成熟，有着丰富的实践经验和标准化的操作程序，确保施工可靠性和高质量，还允许工程师根据地质条件和具体需求进行调整和改进，因此适应性强。传统开挖法常见于地质条件多变的地区，它可以应对不同的地下地质情况，包括岩石、泥土、沙土等，它同样适用于长隧道工程，如公路、铁路、地铁和水利工程，当隧道深度在施工过程中变化较大或项目对环境要求严格时，传统开挖法可以根据需要进行调整，以应对不同挑战。

（二）盾构法

盾构法是一种高度专业化的公路隧道施工技术，采用高度机械化的方式，用于软土或岩石地质条件下的隧道开挖，核心设备是盾构机。这种机械设备能够在地下进行推进，同时对隧道壁进行支撑和加固，盾构机通常包括盾构头、切割器、输送系统和控制系统，具备自动化操作能力。这种方法特别适用于软土和岩石地质条

件下的隧道施工，软土中盾构机可以通过控制土壤的压力来稳定隧道壁，而在岩石中可以使用切割器来破碎岩石。与传统开挖法不同，盾构法几乎不会引起地面沉降和振动，因此适用于需要减少对周围建筑物和地表交通干扰的项目，如城市地下隧道。盾构机具有高度精确的定位和控制系统，确保隧道的尺寸和施工质量满足设计要求，常用于城市地下隧道的建设，如地铁、交通隧道和给排水管道，由于其能够减少地面干扰，可以在密集居民区域中安全施工。盾构法也适用于水下隧道，如用于跨越河流、湖泊或海洋的隧道，可以避免水体对施工的影响，确保施工的安全性。盾构法还可用于大直径隧道，如供水和排水隧道、天然气和石油管道等，地下地质条件复杂的情况下，包括软土、泥沙和岩石层时，盾构法通过选择适当的切割工具来应对不同地质情况。

（三）顶管法

顶管法的核心概念是从地下顶部开始挖隧道逐步向下推进，与传统从地面开挖的方法不同，这种技术可以减少地表干扰和交通中断，特别适用于需要保持地表完整性的地区。顶管法在各种地质条件下都能够发挥作用，包括岩石、软土和淤泥等，这种适应性使其成为应对不同地质挑战的可行选择。由于减少了地表挖掘和爆破的需求，顶管法在城市和敏感环境中的使用可降低噪音、振动、尘埃等环境影响，有利于保护周围生态和居民的生活质量，它还允许工程师实时监测和调整施工过程，确保隧道的尺寸和质量符合设计要求。顶管法常用于城市地下隧道建设，如地铁、给排水系统以及电力和通信基础设施的隧道施工，其能够减少对城市地表的干扰，因此在城市核心区域进行地下隧道工程时成为首选。顶管法也可用于跨越河流、湖泊或海洋的水下隧道施工，它能够在水下进行施工，降低对水体生态和航道的干扰。此外，顶管法还可以用于管道、电缆和其他地下管线的安装，这确保了管线的安全埋设，减少对地表交通和城市生活的干扰。当需要挖掘深度较大的隧道时，顶管法也可以灵活应对，适应不同深度的地下工程需求。

（四）冻土法

冻土法的主要应用方法是将水注入地下冷却地下环境，使土壤冻结成坚硬的冰，这种方法特别适用于气温极低的地区，如北极地区或高山寒冷地带，这些地方土壤冻结更容易实现，有助于减少隧道施工中的地下水和泥浆流问题。实施冻土法需要严格控制土壤冻结的温度

和速度，以确保隧道周围的土壤变得坚硬和稳定，包括冷冻液的注入和监测系统的使用，需要高度专业化的技术和设备。一旦土壤冻结，施工团队可以使用传统的挖掘机械和支护结构来进行隧道开挖，冻结土壤提供了稳定的工作环境，使施工能够安全进行。冻土法有时也用于高山地区的隧道工程，尤其是在寒冷季节，高山环境温度较低，土壤会在施工期间冻结，因此需要采用冻土法来处理。此外，冻土法还可用于处理地下基础工程，如桥梁支柱或建筑物的基础，在极寒地区确保基础的稳定性。需要注意的是，冻土法的应用需要严格的温度控制和施工技术，以确保隧道的质量和安全性，而且随着气候变化和环境保护意识的增强，冻土法的使用可能受到一定的限制，因为它会消耗大量能源和冷冻液，对环境造成一定的影响。

（五）钻孔爆破法

钻孔爆破法的核心原理是通过在岩石内部钻孔并注入爆破药物，然后引爆药物以破碎岩石，其特点特别适用于坚硬的岩石地质条件，如花岗岩、片岩和石灰岩等，这些情况下传统的挖掘机械往往无法高效工作，而钻孔爆破法能够快速破碎岩石。钻孔爆破法需要精确的计划和控制，以确保爆破不会对隧道结构造成损害或产生过多的振动和飞石，需要专业工程师和爆破专家进行设计和监督，相对于传统的手工或机械挖掘，钻孔爆破法通常能够实现更高的生产效率，从而加快隧道施工进度。钻孔爆破法常用于岩石地质条件下的隧道工程，如山区道路和铁路隧道，这些项目中岩石通常需要被破碎和移除，以创造足够的通行空间。钻孔爆破法还可以用于新建隧道或隧道的扩建，包括进口、出口和通风孔等不同部分的掘进，以及挖掘岩石坡道、采石场和矿山开采等工程。在采用钻孔爆破法时，需要谨慎考虑环境和安全因素，合适的爆破设计和监测可以减少爆破对周围环境和居民的不良影响。

二、公路隧道施工设备与机械

公路隧道施工技术涉及各种先进的施工设备与机械，它们在隧道建设中起着至关重要的作用，这些设备和机械的选择与使用对隧道施工的效率、质量和安全性都具有深远影响。钻掘设备是公路隧道施工的重要工具之一，钻掘机常用于岩石地质条件下，能够高效地挖掘隧道的基础结构，钻掘机配备不同类型的钻头，可适应不同硬度和类型的岩石，从而提高了灵活性和适应性，一些高性能钻掘机还配备了自动控制系统，能够提高施工精度和安全性^[2]。其次，盾构机和隧道掘进机是常见的掘进设备，特别适用于软土或泥岩地质条件下的隧道施工，它们通过旋转的刀盘或盾构壳体来开挖地下空间，并立即进行支护，这种方法不仅可以提高施工速度，还减少了地表扰动，适用于城市地区等有限空间的工程。此外，搅拌车、运石车、隧道运输带等设备用于

将挖掘出来的土石材料或其他建筑材料从隧道内部输送到外部的处理区域，这些设备能够确保施工进程的连贯性。

三、公路隧道施工材料的选择

隧道衬砌材料是隧道施工中的关键组成部分，它们用于内部隧道壁的覆盖和支护，以增强隧道的结构强度和稳定性。常见的隧道衬砌材料包括混凝土、钢筋混凝土、砖块和聚合物材料，这些材料通常具有耐久性、抗水性和抗化学腐蚀性等特性，以满足隧道内部的各种环境要求。其次，爆破是用于岩石挖掘的主要方法之一，需要使用爆炸材料如炸药或发射药，这些材料能够有效地破坏和分离岩石，以便后续清理和支护，在选择和使用爆破材料时，必须严格遵守安全标准和环保规定，以确保施工过程的安全性和可持续性^[3]。隧道施工还需要其他各种建筑材料，如地基材料、排水材料、隔离材料和涂料等。这些材料在隧道的建设、排水、维护和美观方面起着重要作用，它们的选择通常受到地质条件、气候、交通量和预算等因素的影响。最后，施工团队必须严格遵守相关的质量标准和规范，对材料进行检验和测试，以确保其符合项目要求。质量控制措施还包括材料的储存、运输和施工过程中的监测和记录，以确保隧道的结构质量和安全性。

四、公路隧道安全和环保措施

安全措施在公路隧道施工中占据首要地位，隧道施工是高风险的工作，涉及高压岩层、地下水位、火灾等潜在危险，施工人员必须接受专业的培训，遵守严格的安全标准和程序。安全设备如安全帽、护目镜、呼吸器和防护服等必须随时佩戴，施工现场应设置紧急撤离通道、灭火器材和急救设施，以应对紧急情况。环保措施对于减少施工对周围环境的不良影响至关重要，隧道施工可能会引发土壤侵蚀、空气污染和水质污染等问题，施工团队必须采取一系列措施来降低这些影响，包括合理管理废弃物，确保废弃物的安全处置和回收，减少施工噪音和震动，控制施工区域的扬尘，以及采取措施防止地下水受到污染^[4]。安全和环保的监测与评估也是重要的环节，施工现场应建立监测系统，定期监测空气质量、地下水位、土壤侵蚀和施工噪音等因素，这些数据用于评估施工的影响，并采取必要的纠正措施，以确保施工符合相关法规和规定。

五、公路隧道质量控制措施

（一）施工监测

公路隧道的质量控制是确保隧道工程安全和可持续性的关键部分，这个过程中施工监测是不可或缺的，它需要严格按照施工方案和施工流程来进行，施工监测的目的是监测隧道工程的各个阶段，确保其按照规范和计划进行，以防止潜在的质量问题和安全风险^[5]。施工监测的关键作用之一是确保施工过程的合规，根据施工方

案和施工流程进行监测可以确保施工人员按照既定的规定和程序进行工作，这有助于防止施工人员的不当行为或错误操作，从而减少了质量问题和事故的发生。施工监测还有助于及时发现和解决潜在问题，通过实时监测施工过程，可以快速识别任何不正常的情况或偏差，使得问题可以在其恶化之前得到及时纠正，从而降低了修复成本，并减少了工程延误的风险。此外，施工监测还有助于确保质量标准得到满足，隧道工程的质量要求通常非常高，包括地质条件、结构稳定性、排水系统等各个方面，通过持续监测，可以确保这些标准得到遵守，并且工程的最终质量符合预期。施工监测提供的数据支持可以用于工程决策和验证，监测数据可以用于验证设计假设、优化施工过程，并为工程决策提供可靠的依据，确保工程的可持续性和长期性能。最后，施工监测还有助于满足监管要求和合同义务，许多情况下监管机构和合同中规定了必须进行的监测活动，遵守这些要求可以避免法律纠纷，并确保工程按照法规和协议完成。

（二）质量验收标准

质量验收标准在公路隧道建设中起着关键作用，它们用于确保工程的质量符合预定的标准和规范。明确质量验收标准是关键，这包括定义隧道结构的几何尺寸、强度要求、材料规格和施工质量要求等，标准应基于国家和地区的法规以及工程项目的具体要求，确保标准的明确性和一致性对于有效的质量控制至关重要^[6]。监测和测量是质量验收的核心，施工过程中必须使用准确的测量仪器和技术来检查隧道的几何尺寸、结构强度等参数，监测数据应与质量验收标准进行比较，以确保工程是否达到要求。例如某公路隧道项目，在施工过程中需要验证隧道壁的混凝土质量，质量验收标准规定混凝土的强度应满足每立方米标准混凝土强度不低于30MPa的要求，施工团队使用混凝土强度测试仪对多个样本进行了测试。从测试结果来看，其中有1个样本的强度低于30MPa，但其他样本均符合要求。根据质量验收标准，超过50%的样本强度低于要求，因此需要采取纠正措施，施工团队决定重新浇筑与低强度样本相关的区域，并在新的混凝土浇筑过程中采取额外的强化措施。

（三）质量管理体系

质量管理体系在公路隧道建设中是确保项目成功完成的重要环节之一，它有助于确保工程质量、安全性和可持续性。建立明确的质量管理计划是关键的一步，质量管理计划应包括详细的质量目标、标准和程序，计划应明确规定项目的质量验收标准、监测方法、质量控制的责任分工、文件管理和数据记录等，一个完善的计划将为整个施工过程提供了清晰的方向和框架。质量管理体系还需要确保适当的培训和资质，以确保相关人员了解和理解质量管理计划，并能有效执行相关任务，包括工程技术、质量控制方法、安全规程等培训内容。其

次，应建立有效的监测和审核程序，监测和审核用于评估工程进展，以确保其符合质量标准和规范，包括定期的质量检查、审查和验收程序，以及纠正措施的跟踪和实施，监测和审核有助于及时发现问题并采取纠正措施，以防止质量问题进一步扩大。另外，所有与质量控制相关的文件和记录，如施工日志、监测数据、检查报告和验收文件等，都应得到妥善管理和存档，这些文件不仅用于记录工程过程，还可用于质量控制的证据和跟踪，以便及时采取纠正措施和改进措施，提高工程质量和效率。

（四）质量文档与记录

公路隧道项目中，质量文档与记录主要用于记录工程过程、验证质量标准的符合性，并提供必要的数据支持，以确保工程的质量和安全性。例如某公路隧道项目中，项目团队在施工过程中记录了混凝土浇筑的质量数据，包括浇筑日期、混凝土强度测试结果、浇筑时的环境条件等，这些数据存储在电子文档中，并经过编号和版本控制。在某次混凝土浇筑后，项目团队发现一份测试报告中的混凝土强度结果异常，根据文档控制程序他们立即对该文档进行了审查，并与实际测量数据进行了核对。结果显示，混凝土强度测试结果被错误地输入为MPa而不是正确的N/mm²单位，这个错误导致了测试结果的不准确性。由于采用文档控制程序，项目团队很快发现了问题并采取了纠正措施，修复了测试报告中的错误，确保了工程的质量和可追溯性。

六、结语

隧道工程的成功与否直接影响着交通安全、城市发展和经济繁荣，通过合理的施工技术、质量材料的应用以及监测与质量控制的方法，可以确保隧道工程的高质量、高效率、安全性和可持续性。随着城市化进程的加速和交通需求的增长，继续深入研究和不断改进这些关键方面的技术和措施将对隧道工程的可持续发展起到至关重要的作用，满足未来交通基础设施的挑战。

参考文献

- [1] 王菊山. 公路隧道施工标准化管理探究[J]. 中国标准化, 2022(22): 196-198.
- [2] 许朝枝. 高速公路隧道施工技术 with 质量控制研究[J]. 运输经理世界, 2022(34): 95-97.
- [3] 李奎. 公路隧道工程不良地质段施工技术分析[J]. 科学技术创新, 2022(23): 128-131.
- [4] 张博. 公路隧道施工存在的问题及对策探讨[J]. 大众标准化, 2022(15): 111-113.
- [5] 樊庆文. 公路隧道施工安全风险管理体系构建[J]. 中华建设, 2022(08): 59-60.
- [6] 孔军. 公路隧道施工监理的措施优化[J]. 建筑技术开发, 2022, 49(12): 155-157.