

# 隧道工程关键工序质量检测技术研究

杨双强

陕煤集团铁路物流集团冯红铁路公司

DOI: 10.12238/ems.v6i10.9292

**[摘要]** 本文深入探讨了隧道工程关键工序质量检测技术的现状、问题与发展趋势。首先,对隧道工程进行了概述,并识别了开挖、支护、衬砌等关键工序,分析了这些工序的特点与影响因素。接着,详细研究了各关键工序的质量检测技术,包括开挖工序的平整度、超欠挖量检测,支护工序的支护材料性能、结构尺寸与位置检测,以及衬砌工序的厚度、强度、抗渗性检测等。此外,还对其他关键工序如防水与排水、通风与照明等的质量检测技术进行了阐述。基于这些研究,提出了隧道工程关键工序的质量控制策略,包括质量控制体系的构建、控制措施的制定以及质量监控与反馈机制的建立。最后,分析了现有检测技术的局限性与不足,并提出了改进建议,同时强调了人才培养与技术创新在隧道工程质量控制中的重要性。

**[关键词]** 隧道工程; 关键工序; 质量检测; 质量控制

## Research on Quality Inspection Technology for Key Processes in Tunnel Engineering

Yang Shuangqiang

Shaanxi Coal Group Railway Logistics Group Fenghong Railway Company

**[Abstract]** This article deeply explores the current situation, problems, and development trends of quality inspection technology for key processes in tunnel engineering. Firstly, an overview of tunnel engineering was provided, and key processes such as excavation, support, and lining were identified. The characteristics and influencing factors of these processes were analyzed. Subsequently, a detailed study was conducted on the quality inspection techniques for each key process, including the flatness and over excavation detection of the excavation process, the performance, structural dimensions, and position detection of the support materials in the support process, as well as the thickness, strength, and impermeability detection of the lining process. In addition, quality inspection techniques for other key processes such as waterproofing and drainage, ventilation and lighting were also elaborated. Based on these studies, quality control strategies for key processes in tunnel engineering have been proposed, including the construction of a quality control system, the development of control measures, and the establishment of quality monitoring and feedback mechanisms. Finally, the limitations and deficiencies of existing detection technologies were analyzed, and improvement suggestions were proposed. At the same time, the importance of talent cultivation and technological innovation in tunnel engineering quality control was emphasized.

**[Keywords]** tunnel engineering; Key processes; Quality inspection; Quality Control

### 一、引言

隧道工程作为现代交通建设的关键部分,对改善交通、促进经济有重要作用。然而,复杂地质与施工难度使得质量控制成为确保隧道安全、经济及耐用的核心。当前,隧道关键工序质量检测存在手段单一、精度低等问题,研发新技术迫在眉睫。本研究旨在深入探索隧道关键工序质量检测的现状、问题与发展趋势,识别关键工序并分析技术难点,研究检测技术原理、方法及应用,提出质量控制策略,为隧道工程质量控制提供科学依据和技术支持。

### 二、隧道工程关键工序识别与分析

#### (一) 隧道工程概述

隧道工程是指在地下或山体中开凿的通道工程,主要用于交通、排水、管线敷设等目的。根据用途和功能的不同,隧道工程可以分为交通隧道、水工隧道、市政隧道等类型。隧道工程的施工特点包括地质条件复杂、施工难度大、安全风险高等。在施工过程中,需要充分考虑地质条件、施工环境、材料性能等多种因素,确保工程的安全和质量。

#### (二) 关键工序识别

基于工程经验和理论分析,可以对隧道工程的关键工序进行初步筛选。一般来说,隧道工程的关键工序包括开挖工序、支护工序、衬砌工序等。这些工序在隧道工程的施工过程中占据重要地位,对工程的质量和安全性具有重要影响。通过进一步结合专家咨询和现场调研,可以确定隧道工程的关键工序列表,为后续的质量检测技术研究提供基础。

### (三) 关键工序特点与影响因素分析

1. 开挖工序是隧道工程的首要工序,其质量直接影响到后续工序的施工和整个工程的安全。开挖工序的技术特点包括开挖方法的选择、开挖参数的确定等。在开挖过程中,需要充分考虑地质条件、开挖设备的性能、施工环境等多种因素。开挖质量的主要评价指标包括平整度、超欠挖量、岩石破碎程度等。这些指标直接反映了开挖工序的施工质量和对后续工序的影响。

2. 支护工序是隧道工程施工过程中的重要环节,其主要目的是确保隧道在施工过程中的稳定和安全。支护工序的技术特点包括支护类型的选择、支护结构的设计等。在支护过程中,需要充分考虑地质条件、支护材料的性能、施工环境等多种因素。支护质量的主要评价指标包括支护材料性能、支护结构尺寸与位置、支护效果等。这些指标直接反映了支护工序的施工质量和对隧道稳定性的影响。

3. 衬砌工序是隧道工程的最后一道工序,也是确保隧道使用功能和安全性的重要环节。衬砌工序的技术特点包括衬砌材料的选择、衬砌结构的设计等。在衬砌过程中,需要充分考虑地质条件、衬砌材料的性能、施工环境等多种因素<sup>[1]</sup>。衬砌质量的主要评价指标包括衬砌厚度、强度、抗渗性、背后空洞等。这些指标直接反映了衬砌工序的施工质量和对隧道使用功能的影响。

此外,防水与排水工序、通风与照明工序等也是隧道工程中的重要环节。防水与排水工序的质量直接影响到隧道的防渗性能和排水效果;通风与照明工序的质量则直接关系到隧道内的空气质量和照明效果。因此,在隧道工程的施工过程中,需要充分考虑这些关键工序的特点和影响因素,确保工程的质量和安全性。

## 三、隧道工程关键工序质量检测技术研究

### (一) 开挖工序质量检测

1. 开挖方法与技术特点方面,钻爆法常见的开挖方法。钻爆法适用于岩石地层,通过钻孔、装药、爆破等步骤进行开挖;不同的开挖方法具有不同的技术特点和适用条件,需要根据具体工程情况进行选择。

2. 开挖质量评价指标方面,平整度、超欠挖量、岩石破碎程度等是主要的评价指标。平整度反映了开挖断面的平整程度,对于后续工序的施工和隧道的稳定性具有重要影响;超欠挖量则反映了开挖过程中对设计断面的偏离程度,过大的超欠挖量会增加施工难度和成本;岩石破碎程度则反映了开挖过程中岩石的破碎情况,对于后续支护和衬砌工序的施工具有重要影响。

3. 检测技术应用方面,激光断面仪和全站仪是常用的断面平整度检测仪器。激光断面仪通过激光扫描技术获取开挖

断面的三维坐标数据,进而计算平整度指标;全站仪则通过测量开挖断面上各点的坐标数据,计算平整度指标。超声波探测和地质雷达则常用于超欠挖检测。超声波探测通过发射超声波并接收反射波来探测开挖断面的位置和形状;地质雷达则通过发射电磁波并接收反射波来探测地下物体的位置和形状<sup>[2]</sup>。这些检测技术的应用可以提高了开挖工序的质量检测精度和效率。

### (二) 支护工序质量检测

1. 支护类型与结构特点方面,岩石锚杆、喷射混凝土、拱形钢架等是常见的支护结构。岩石锚杆通过锚入岩石中的锚杆提供支护力,适用于岩石地层;喷射混凝土则通过喷射混凝土浆液形成支护层,适用于软土地层和岩石地层;拱形钢架则通过钢架的支撑作用提供支护力,适用于大跨度隧道和软弱地层。不同的支护结构具有不同的技术特点和适用条件,需要根据具体工程情况进行选择。

2. 支护质量评价指标方面,支护材料性能、支护结构尺寸与位置、支护效果等是主要的评价指标。支护材料性能反映了支护材料的力学性能和化学性能,对于支护结构的稳定性和耐久性具有重要影响;支护结构尺寸与位置则反映了支护结构的实际尺寸和位置与设计要求的符合程度,对于支护效果具有重要影响;支护效果则通过位移监测、应力监测等手段进行评估,反映了支护结构在实际工作状态下的性能和效果。

3. 检测技术应用方面,力学性能试验和化学成分分析是常用的支护材料性能检测方法。力学性能试验包括拉伸试验、压缩试验等,用于评估支护材料的力学性能;化学成分分析则用于评估支护材料的化学性能和耐腐蚀性。超声波检测和回弹仪则是常用的支护结构尺寸与强度检测方法。超声波检测通过发射超声波并接收反射波来探测支护结构的尺寸和强度;回弹仪则通过测量支护结构表面的回弹值来评估其强度。位移监测和应力监测则是常用的支护效果评估方法,通过监测支护结构的位移和应力变化来评估其工作状态和效果。

### (三) 衬砌工序质量检测

1. 衬砌材料与结构特点方面,混凝土是常用的衬砌材料,具有强度高、耐久性好等优点。衬砌结构的形式包括整体式衬砌和分段式衬砌等,需要根据具体工程情况进行选择。整体式衬砌适用于较小的隧道断面和较短的隧道长度;分段式衬砌则适用于较大的隧道断面和较长的隧道长度。

2. 衬砌质量评价指标方面,衬砌厚度、强度、抗渗性、背后空洞等是主要的评价指标。衬砌厚度反映了衬砌结构的实际厚度与设计要求的符合程度,对于衬砌结构的承载力和耐久性具有重要影响;强度则反映了衬砌结构的力学性能,对于衬砌结构的稳定性和安全性具有重要影响;抗渗性则反映了衬砌结构的防渗性能,对于隧道的防渗效果和使用寿命具有重要影响;背后空洞则反映了衬砌结构与围岩之间的接触情况,对于衬砌结构的稳定性和安全性具有重要影响。

### (四) 其他关键工序质量检测

1. 防水材料性能是防水与排水工序质量检测的重要指标之一,包括材料的抗拉强度、延伸率、耐老化性能等。防水

层施工质量则通过检查防水层的完整性、搭接宽度、粘结强度等来评估。排水系统效率则通过测量排水系统的流量、流速等参数来评估其排水能力。

2. 渗透试验同样适用于防水与排水工序的质量检测, 通过模拟水在防水层中的渗透过程, 来评估防水层的抗渗性能。流量监测则是通过测量排水系统的流量变化, 来评估排水系统的运行效率和排水能力。这两种方法相结合, 可以全面评估防水与排水工序的质量。

3. 通风系统效率是通风与照明工序质量检测的重要指标之一, 通过测量通风系统的风量、风速等参数来评估其通风效果。照明设施性能则通过检查照明灯具的亮度、均匀性、色温等来评估。空气质量则通过测量隧道内的氧气含量、有害气体浓度等来评估通风系统的换气效果。

4. 风速测量是评估通风系统效率的重要手段, 通过测量隧道内的风速分布, 可以了解通风系统的运行状况。照度计则是用于测量照明设施的亮度, 通过比较实际亮度与设计的要求, 可以评估照明设施的性能<sup>[3]</sup>。气体分析仪则用于测量隧道内的空气质量, 通过检测有害气体浓度和氧气含量, 可以评估通风系统的换气效果。

#### 四、隧道工程关键工序质量控制策略

##### (一) 质量控制体系构建

针对隧道工程的关键工序, 建立以关键工序为核心的质量控制体系框架。该框架应明确各关键工序的质量控制目标、控制要点、检测方法和验收标准, 确保关键工序的质量得到有效控制。

##### (二) 质量控制措施制定

1. 针对开挖、支护、衬砌等关键工序, 制定具体的质量控制措施。包括材料质量控制、施工过程监控、成品检验与验收等。确保施工过程中各项操作符合规范要求, 材料质量满足设计要求, 成品质量达到验收标准。

2. 材料质量控制是确保隧道工程质量的基础, 应加强对材料采购、验收、存储和使用等环节的管理。施工过程监控则是通过现场巡视、旁站监督等方式, 确保施工过程符合规范要求。成品检验与验收则是在施工完成后, 对成品进行质量检查和验收, 确保成品质量满足设计要求。

##### (三) 质量监控与反馈机制

1. 利用现代信息技术手段, 如物联网、大数据、云计算等, 建立质量监控与反馈系统。该系统应能够实时采集施工数据, 并进行处理和分析, 及时发现质量问题并采取措施进行整改。

2. 通过质量监控与反馈系统, 实现施工数据的实时采集、分析与处理。对施工过程中的关键参数进行实时监测, 如开挖断面的平整度、支护结构的位移和应力等。一旦发现异常情况, 及时采取措施进行整改, 确保施工质量得到有效控制。

#### 五、存在问题与改进建议

##### (一) 现有检测技术的局限性与不足

1. 分析当前隧道工程关键工序质量检测技术的局限性  
当前隧道工程关键工序质量检测技术还存在一些局限性, 如检测手段单一、检测精度不高、检测效率低等。这些

问题限制了质量检测技术在隧道工程中的广泛应用。

##### 2. 探讨技术改进的方向与途径

针对现有检测技术的局限性, 应积极探索技术改进的方向与途径。如研发新型检测仪器、优化检测方法、提高检测精度和效率等。同时, 还应加强质量检测技术的标准化和规范化建设, 推动质量检测技术的不断进步。

##### (二) 质量控制体系的完善与优化

针对质量控制体系中存在的问题, 如质量控制目标不明确、控制措施不具体、监控与反馈机制不健全等, 应提出完善与优化建议。如明确质量控制目标、细化控制措施、建立完善的监控与反馈机制等。通过不断完善和优化质量控制体系, 提高隧道工程的质量管理水平。

##### (三) 人才培养与技术创新

##### 1. 强调人才培养在隧道工程质量控制中的重要性

人才培养是隧道工程质量控制的重要保障。应加强对隧道工程质量控制人才的培养和引进, 提高人才的专业素质和技能水平。同时, 还应建立激励机制, 鼓励人才积极参与质量控制工作, 推动隧道工程质量控制水平的不断提高。

2. 鼓励技术创新, 推动检测技术与质量控制体系的不断发展

技术创新是推动隧道工程质量控制体系不断发展的动力。应鼓励企业、高校和科研机构加强合作, 开展技术创新和研发工作。通过研发新型检测仪器、优化检测方法、提高检测精度和效率等手段, 推动隧道工程质量控制体系的不断完善和发展<sup>[4]</sup>。

#### 六、结语

隧道工程作为现代交通建设的重要组成部分, 其质量控制对于确保工程安全、经济及耐用具有至关重要的意义。本文深入研究了隧道工程关键工序质量检测技术的现状与发展趋势, 提出了针对性的质量控制策略。然而, 隧道工程的质量控制是一个复杂而系统的工程, 需要综合考虑多种因素。因此, 在未来的研究中, 应继续加强关键工序质量检测技术的研发与创新, 完善质量控制体系, 提高检测精度和效率。同时, 还应加强人才培养和技术创新工作, 为隧道工程的质量控制提供更有力的支持。通过不断努力和完善的, 相信隧道工程的质量控制水平将得到进一步提升, 为现代交通建设的发展贡献更大的力量。

##### [参考文献]

[1] 曾轲. 盾构隧道管片修补及堵漏施工方法分析[J]. 中国住宅设施, 2024, (04): 172-174.

[2] 王建华, 董垠枫. 地质雷达在公路隧道仰拱检测中的应用研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (15): 160-162. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202415054.

[3] 高晓静, 崔丹怡, 李磊, 等. 绿色隧道建设和养护技术研究现状[J]. 公路交通科技, 2024, 41(04): 132-145.

[4] 黄俊, 张顶立, 梁文灏, 等. 服役期隧道结构安全控制技术研究综述[J]. 铁道标准设计, 2024, 68(04): 1-19. DOI: 10.13238/j.issn.1004-2954.202402020003.