

公路工程小半径曲线隧道形体控制

何国栋

中国水利水电第十二工程局有限公司 浙江 杭州 310030

摘要：本文深入探讨了公路工程中应用日益广泛的小半径曲线隧道的形体控制建造技术。通过理论分析和现场试验相结合的研究方法，对曲线段测量控制技术、超欠挖控制技术以及曲线段衬砌控制技术进行了系统研究。研究表明，采用高精度全站仪、GPS测量系统和三维激光扫描技术等先进设备，结合测量流程优化策略和测量精度提高措施，能有效提升测量效率和准确性。同时，爆破参数优化和超前支护技术的应用，显著提高了隧道开挖形状的控制能力，减少了超欠挖现象。此外，旋转衬砌技术、预制衬砌块标准化生产方法和模板支撑系统的创新设计，提升了衬砌施工的精度和效率。本研究预期形成的小半径曲线隧道形体控制技术体系，对提升施工质量和保障工程安全具有重要的理论价值和实践意义。

关键词：小半径曲线隧道；形体控制；测量技术；衬砌控制

引言

随着近年来城市化进程的持续加速，公路工程建设领域对于设计复杂、技术挑战性较高的小半径曲线隧道的需求呈现出日益增长的趋势。这类隧道，由于其采用了独特的结构特点，如特定的几何形状和材料分布，对形体控制技术的实施提出了更为严格和细致的要求。小半径曲线隧道的形体控制不仅紧密关联着工程施工质量的多个方面，包括结构稳定性与材料强度等，还直接且显著地影响着隧道的整体安全性及长期使用寿命。本研究致力于借助全面的综合分析手段和技术创新策略，构建一套详细且系统化的小半径曲线隧道形体控制技术体系，旨在为同类工程项目提供可靠的技术指导与支持。

1 曲线段测量控制技术

1.1 研究方法 with 先进设备

在曲线段测量控制技术的研究领域，我们全面且深入地探索了将精密的理论分析与实际的现场试验紧密结合的有效方法。通过构建精细的理论模型，我们对曲线段隧道的各项测量需求进行了全面且精确的计算分析，从而为现场的实际操作提供了坚实的理论支撑与指导^[1]。为确保测量精度，引入了具备超高精度且表现卓越的高精度全站仪，该设备凭借其无与伦比的稳定性和极高的测量精度，极大地增强了曲线段隧道测量结果的准确性。GPS测量系统的应用，使得对隧道施工位置的追踪得以实时进行，从而极大地提升了测量的即时反馈能力，并确保了测量结果的高可靠性。还采用了先进的三维激光扫描技术，该技术凭借其高精度和高效能，能够全面且迅速地捕获隧道内部详细的三维数据信息，为隧道的形体精准控制提供了坚实而详实的数据支撑，从而有效

地协助施工团队及时发现并精确纠正施工过程中的任何偏差。

1.2 测量流程优化策略

在公路工程领域，针对小半径曲线隧道的形体控制问题，优化测量流程的策略显得尤为关键，对于确保工程的精确度和安全性具有重要作用。通过详细规划并细化测量步骤，清晰地界定出每个阶段的具体任务与预期目标，从而能够大幅度地提高测量工作的效率。在初步测量阶段采用具备高精密度的全站仪设备来进行基础数据的全面采集工作，以此确保所采集到的数据既准确无误又完整无缺。随后，在数据处理的关键阶段，借助功能强大的先进软件系统，对收集到的数据进行深入的分析与精细化处理，从而能够迅速且准确地生成测量结果。隧道内部环境错综复杂，通过运用三维激光扫描技术，能够以全方位、高精度的方式详细地获取隧道的形体数据，这一技术手段显著地填补了传统测量方法在精度和全面性上的不足。针对隧道曲线段的独特几何特性，通过精心调整测量点的布局，增加关键位置的测量密度，我们能够更有效地提升测量的精确度和信赖度。

1.3 测量精度提高措施

在公路工程中的小半径曲线隧道形体控制环节，确保测量精度的显著提升是至关重要的，它直接关系到隧道的稳定性和安全性。在分析影响测量精度的诸多因素时，我们需重点考虑设备精度、测量环境及操作方法等几个方面。针对设备精度，提出的具体措施是定期校准测量设备，确保其各项参数处于最佳工作状态，以保证测量结果的准确性；针对测量环境，则需优化环境条件，减少温度、湿度等外界因素的干扰，为测量提供稳

定可靠的环境；而对于操作方法，也应不断优化，确保操作规范，从而提高测量精度。

2 超欠挖控制技术

2.1 深入研究方向

超欠挖控制技术的研究方向主要聚焦于两大核心领域：一是爆破参数的精细化优化，二是超前支护技术的创新与应用。爆破参数优化是一个复杂的过程，它需要通过精细地调整装药量的大小、炮孔之间的合理间距等一系列关键参数，来最大限度地减少超挖和欠挖现象的发生，从而确保最终隧道开挖的轮廓能够严格符合设计时的各项要求。超前支护技术着重于隧道掘进前的准备阶段，通过巧妙地运用钢架、锚杆等一系列支护结构，对围岩进行预先的加固处理，从而能够高效地控制围岩的变形情况，并大幅度降低超欠挖现象的出现频率。超欠挖现象不仅会延缓隧道的施工进度，影响整体施工效率，而且与隧道的结构安全及能否维持长期稳定性息息相关，因此，对超欠挖控制技术进行深入的研究和探索，对提高隧道的施工质量有很大的作用。

2.2 爆破参数优化方法

爆破参数优化作为一种精确调控手段，在控制小半径曲线隧道施工过程中的超挖与欠挖现象方面，扮演着至关重要的角色，是关键技术之一。通过结合理论计算与详细的现场试验，我们可以精确地确定出最佳的爆破参数，这些参数包括了炸药的具体类型、精确的装药量以及科学的炮孔布置方案等关键要素。这些关键参数，如土壤硬度、地下水位等，直接影响隧道开挖的形状以及超挖和欠挖的具体程度，因此在施工过程中需要进行严格且精确的控制。通过精细调整爆破参数，能够有效降低对围岩产生的扰动程度，进而提升开挖面的平整度，并增强其整体稳定性。合理的爆破参数能够有效减少材料消耗和人力成本，同时减轻对周边环境的负面影响，比如减少噪音、震动和粉尘污染，并确保施工过程中的安全无虞。

2.3 超前支护技术应用策略

超前支护技术在小半径曲线隧道施工中占据着举足轻重的地位，特别是在考虑到隧道复杂的地质条件、多变的施工环境以及严格的设计要求时，其应用策略的制定必须与之紧密契合。在隧道开挖前的准备阶段，通过精心设计和预先安装诸如超前小导管、超前锚杆等类型的超前支护结构，可以提升隧道掌子面的整体稳定性，从而有效预防围岩的失稳现象，并降低坍塌事故发生的可能性^[2]。对于具有软弱围岩特性或地质构造极为复杂的隧道工程，应当选择那些强度显著提升、稳定性表现更

为出色的支护结构类型，同时，根据实际需要适度增加支护构件的布置密度，以此来全方位保障隧道施工过程中的安全性。超前支护的施工时机极为关键，它需要在隧道开挖工序正式启动之前被及时且妥善地完成，以此来确保支护结构能够充分发挥其应有的支撑与保护作用。

2.4 实时监测系统开发思路

实时监测系统在小半径曲线隧道施工这一复杂且精细的过程中，起着重要且不可或缺的作用。该系统具备实时监测功能，能够全面收集并记录隧道施工过程中的各类数据，包括围岩位移量、支护结构的应力状态等至关重要的关键参数信息，从而为隧道施工的安全管理提供强有力的数据支持。系统的设计应当严格遵循模块化和集成化两大核心原则，确保能够在各个施工阶段实现快速且灵活的部署与调整。系统需拥有极高的自动化及智能化程度，能够自主解析并深入监测数据，迅速识别并预警任何潜在的安全隐患，从而为施工决策过程提供坚实且科学的依据。实时监测系统应具备出色的数据存储和处理功能，能够有效地确保数据的精确无误与全面完整，从而为后续的深入工程分析和科学研究提供坚实有力的支持。

3 曲线段衬砌控制技术

3.1 探索方向与旋转衬砌技术

在曲线段衬砌控制技术的研究进程中，探索的主要方向集中在了如何以高精度控制衬砌的具体形状及其精确定位，从而确保能够完美适应小半径曲线隧道所特有的复杂几何构造要求。旋转衬砌技术，作为施工过程中的核心手段，通过精确调整衬砌块的安装角度，成功解决了曲线段衬砌施工中经常出现的错位以及难以避免的不平整问题。该技术在应用过程中，不仅大幅度地提升了衬砌的施工精确度，确保了施工质量的稳步提升，而且还有效地加速了施工进度，缩短了工期，通过优化资源配置与流程管理，显著地降低了整体的工程成本。旋转衬砌技术的应用，标志着在曲线段衬砌控制技术领域取得了进步，迈入了更为先进的发展阶段，从而为应对复杂多变的地质条件，特别是在隧道建设方面，提供了更为坚实和有力的技术支持。

3.2 预制衬砌块标准化生产方法

预制衬砌块的标准化生产流程，包括原材料筛选、成型工艺控制及质量检测等多个精细步骤，是保障小半径曲线隧道衬砌施工质量不可或缺的关键环节。该方法通过精确调控原材料的配比比例、对生产工艺进行全面优化，并实施严格且系统的质量检测流程，从而确保了衬砌块的标准化生产。在原材料配比方面，我们精选了

高质量的水泥作为主要粘结材料，搭配经过严格筛选的骨料以增强结构稳定性，并加入了高效的外加剂，以全方位确保衬砌块的强度和耐久性满足高标准要求^[3]。生产工艺方面，我们引入了自动化生产线，该生产线能够精确控制拌合、成型以及养护的每一个细节过程，从而在显著提升生产效率的同时，也确保了产品质量的稳定与卓越。质量检测方面，我们实施了极为严格的出厂检验流程，包括了尺寸精确度、强度可靠性以及外观质量的细致检查等多个方面，以此来全方位确保每一块衬砌块均能达到并符合既定的设计要求。标准化的生产方法不仅显著提升了衬砌块的施工精确度，而且在很大程度上减轻了施工过程中的难度，并有效控制了施工成本。

3.3 模板支撑系统创新设计思路

在小半径曲线隧道的衬砌施工过程中，模板支撑系统的合理设计与精确实施，对于确保施工质量和安全起着至关重要的作用。创新设计思路主要体现在模板的高度适应性以及出色的稳定性方面，这两点均为其核心所在。模块化设计使得模板能够轻松适应各种半径的隧道曲线需求，在确保隧道施工过程中具备高度稳定性和足够承载力的同时，展现出其出色的灵活性。模板支撑系统的设计需充分兼顾施工过程中的微调需求，特别是在应对隧道曲线细微变动时，以确保衬砌能够实现高精度的成型。

模板支撑系统的设计原则包括了结构的强度，确保其能承受预期的荷载；刚度，以保持系统的稳定性和形状；以及耐久性，保证长期使用下的可靠性和安全性。在设计过程中，需全面考虑包括隧道的地质构造特性、具体的施工荷载大小以及周边环境因素等在内的多方面因素，以确保模板支撑系统能够在各种复杂的工况条件下均维持其稳定性。施工中的调整策略，包括针对各种潜在问题的应对措施和灵活调整方案，同样是设计时不可或缺的重点考量。这能够确保在实际施工过程中，一旦遇到突发情况或需要微调之处，能够迅速响应并做出

相应调整，从而最大限度地减少施工误差，并有效提升整体施工效率。

3.4 技术体系总结

曲线段衬砌控制技术体系是一个综合性的体系，它包括了旋转衬砌技术的运用、预制衬砌块标准化生产的流程优化以及模板支撑系统的创新设计思路等多个具体方面。关键在于旋转衬砌技术的应用，该技术凭借高精度的旋转定位系统，大幅度提高了衬砌施工的精确度和作业效率，从而有力保障了隧道结构形态的准确无误。预制衬砌块的标准化生产方法特别关注尺寸的精确控制以及严格的质量保证措施。它遵循着一套严谨的生产流程和检验标准，从而确保了为隧道衬砌所提供的每一个构件都具备卓越的质量。模板支撑系统在设计上的新颖思路，特别是其创新性的设计理念与方法，在实际应用中起到了至关重要的作用。它不仅对模板的支撑结构进行了优化，显著提升了衬砌的外观质量，更凭借灵活且可调的设计特性，成功适配了多种不同曲线段的施工要求，从而有力保障了整个施工过程的平稳与顺畅进行。

4 结语

本研究通过深入的理论分析、精确的数值模拟以及全面的现场试验，系统性地构建了针对小半径曲线隧道的形体控制技术体系，这一过程不仅彰显了跨学科合作在技术创新中的核心地位，还切实有效地提高了施工的整体质量和作业安全性，从而为同类工程项目的实施提供了极具价值的技术借鉴与参考。

参考文献

- [1]张海波.高速公路隧道工程二次衬砌脱空率控制措施[J].云南水力发电,2024(1):166-168.
- [2]蒙俞霖.公路工程施工阶段测量技术要点及控制措施[J].建材发展导向,2024(4):55-57.
- [3]元卫喜.公路工程检测技术在公路工程质量控制中的应用分析[J].大众标准化,2024(1):19-21.