

公路隧道施工技术与质量控制探讨

郑 辉

山西晋通公路工程监理有限公司 山西 晋城 048000

摘 要：公路隧道施工面临地下水位控制、岩层稳定性及地下压力等多重挑战。为确保隧道安全与稳定，必须精准把握施工技术，并加强质量控制。本文探讨了爆破技术、洞身开挖、二次衬砌及混凝土喷射等关键施工技术，并提出了根据围岩类型选择施工方法、建立完善的施工质量管理体系等质量控制措施，旨在为公路隧道施工提供技术参考，确保施工质量和安全性。

关键词：公路隧道；施工技术；质量控制

引言：公路隧道作为交通基础设施的重要组成部分，其施工技术和质量控制直接关系到隧道的通行能力和安全性。随着公路建设的不断发展，隧道施工面临的地质条件日益复杂，施工技术与管理要求也越来越高。本文旨在深入探讨公路隧道施工的关键技术和质量控制要点，通过总结施工准备、洞身开挖、支护与衬砌、防排水等阶段的实践经验，提出优化措施，以期同类工程提供借鉴，促进公路隧道建设的高质量发展。

1 公路隧道施工技术概述

1.1 隧道施工的基本流程

(1) 施工准备阶段。该阶段是隧道施工的基础，需完成多项工作。要全面勘察地质水文条件，为施工方案制定提供依据；合理规划施工场地，搭建临时设施，如材料仓库、办公区等；同时，需完成机械设备调试与人员培训，确保施工人员熟悉操作流程和安全规范，为后续施工奠定良好基础。(2) 洞身开挖阶段。此阶段是隧道成型的关键环节，需根据地质情况选择合适开挖方法，如全断面法、台阶法等。开挖过程中要严格控制进尺，避免超挖或欠挖，同时借助监测设备实时监控围岩变形，保障施工安全。(3) 支护与衬砌阶段。开挖后需及时进行初期支护，如喷射混凝土、锚杆、钢拱架等组合支护，防止围岩坍塌。待围岩稳定后，进行二次衬砌施工，采用模板台车浇筑混凝土，确保衬砌强度和尺寸符合设计要求。(4) 防排水施工阶段。需在初期支护与二次衬砌间铺设防水板，采用热熔焊接工艺保证接缝严密。对于施工缝、变形缝等特殊部位，设置止水带、止水条等，形成完整防排水体系，避免隧道渗水。(5) 竣工验收阶段。施工完成后，对隧道的结构尺寸、强度、防排水效果等进行全面检测，通过第三方评估后，方可交付使用^[1]。

1.2 关键施工技术分析

(1) 洞身开挖技术。激光导向系统能精准控制开挖方向和轮廓，提高开挖精度；光面爆破技术通过合理布置炮孔和控制装药量，使开挖面平整，减少对围岩的扰动，保护周边岩体稳定性。(2) 支护技术。初期支护材料需具备高强度和及时性，如早强混凝土、中空注浆锚杆等，施工时确保支护与围岩紧密接触。二次衬砌采用耐久性材料，施工中严格控制混凝土配合比和浇筑振捣工艺，保证结构整体性。(3) 防排水技术。防水板铺设前要检查基面平整度，铺设时拉紧固定，焊接采用双缝热熔焊接，确保焊缝强度和密封性。特殊部位如阴阳角处增设加强层，施工缝设置遇水膨胀止水条与钢边止水带组合防水，有效阻止水渗透。

2 公路隧道施工质量控制要点

2.1 施工前质量控制

(1) 地质勘察与施工图纸会审。地质勘察需组织专业团队，采用钻探、物探等综合手段，全面探明隧道沿线的岩性、断层、地下水分布等地质条件，形成详细的勘察报告，为施工方案设计提供精准依据。施工图纸会审由建设、设计、施工、监理等多方共同参与，重点审核图纸的完整性、准确性以及与现场地质条件的匹配度，对设计中的不合理之处及时提出修改意见，确保施工图纸具备可操作性。(2) 材料采购与进场检验。材料采购需选择具备资质、信誉良好的供应商，签订明确的质量协议，要求提供材料出厂合格证、质保单等证明文件。材料进场时，严格按照规范进行抽样检验，如钢材需检测力学性能，水泥需检验强度、安定性等指标，砂石料需控制级配、含泥量等，经检验合格后方可入库使用，严禁不合格材料进入施工现场。(3) 技术交底与工人培训。技术交底由技术负责人向施工班组进行，详细讲解施工工艺、质量标准、安全注意事项等内容，确保施工人员明确各环节的技术要求。工人培训针对不同岗

位制定专项培训计划,涵盖操作技能、质量意识、应急处理等方面,培训后进行考核,考核合格者方可上岗作业,尤其对特殊工种人员,必须持有效证件上岗。

2.2 施工过程质量控制

(1) 洞身开挖质量控制。超欠挖控制需根据不同地质条件选择合适的开挖方法和爆破参数,光面爆破时严格控制炮孔间距、装药量,采用激光导向系统实时监测开挖轮廓,确保超挖量不超过规范要求,欠挖部分及时处理。围岩观察与量测需安排专人进行,每日记录围岩的岩性、裂隙发育情况、渗水状态等,定期量测围岩收敛、拱顶下沉等数据,根据量测结果判断围岩稳定性,及时调整施工参数。(2) 支护作业质量控制。锚杆安装前检查孔位、孔深、孔径是否符合设计要求,安装时确保锚杆与围岩垂直,注浆饱满,锚固力达到设计标准。钢筋网连接采用绑扎或焊接方式,搭接长度满足规范要求,网格间距均匀,与锚杆或钢架连接牢固。钢架安装严格控制中线、高程和间距,接头处采用螺栓连接紧密,安装后及时与围岩固定,确保钢架的整体稳定性^[2]。

(3) 二次衬砌质量控制。原材料质量需持续跟踪,水泥、砂石、外加剂等进场后再次抽检,确保性能稳定。配合比设计根据衬砌强度等级和施工工艺要求,通过试验确定最佳配合比,严格控制水灰比、坍落度等指标。浇筑过程中采用分层振捣,确保混凝土密实,避免出现蜂窝、麻面等缺陷,同时做好温度控制,防止产生温度裂缝。(4) 防排水质量控制。防水板铺设前清理基面,确保平整无尖锐物,铺设时保持松紧适度,采用无钉铺设工艺固定,避免防水板破损。焊接质量采用双缝热熔焊接,焊接后进行气压检测,确保焊缝无渗漏。特殊部位如施工缝、变形缝,设置止水带、止水条等,安装时保证位置准确、固定牢固,与混凝土结合紧密,形成有效的防水屏障。

2.3 施工后质量控制与验收

(1) 结构安全评估与检测。结构安全评估邀请专业机构进行,采用无损检测、荷载试验等方法,对隧道的衬砌强度、厚度、内部缺陷等进行全面检测,评估结构的承载能力和稳定性。同时检查隧道的净空尺寸、轴线偏差等是否符合设计要求,确保隧道的使用功能安全。

(2) 质量通病防治与整改措施。针对施工中可能出现的渗漏、衬砌裂缝、支护变形等质量通病,制定专项防治方案。对已出现的问题,组织技术人员分析原因,采取有效的整改措施,如裂缝修补采用压力注浆,渗漏处增设排水孔和防水层等,确保整改后的质量符合规范要求。(3) 竣工验收流程与标准。竣工验收按照先分部工

程验收,再单位工程验收的流程进行。分部工程验收由监理单位组织,检查各分项工程的质量是否合格;单位工程验收由建设单位组织,邀请相关主管部门、设计、施工、监理等单位参与,对照设计文件和验收标准,对隧道的整体质量、使用功能、安全性能等进行全面检验,验收合格后出具竣工验收报告,方可交付使用^[3]。

3 公路隧道施工中常见质量问题及应对措施

3.1 超欠挖问题及其处理

(1) 超挖增加支护成本与衬砌厚度的问题。超挖会导致隧道开挖断面大于设计尺寸,使得围岩暴露面积增大,为保证施工安全和结构稳定性,需要额外增加支护材料的用量,从而直接提高了支护成本。同时,超挖部分需要用更多的衬砌材料填充,导致衬砌厚度超出设计标准,不仅浪费材料,还可能因衬砌重量增加对围岩产生额外压力,影响隧道整体结构的受力平衡。(2) 欠挖影响隧道净空与结构安全的问题。欠挖则是开挖断面小于设计要求,这会直接侵占隧道的净空,影响后续施工设备的通行和运营阶段车辆的行驶安全。此外,欠挖部位的围岩未能按设计要求开挖,会导致隧道结构受力不均,薄弱部位容易出现应力集中,长期使用可能引发结构开裂、坍塌等安全隐患,严重威胁隧道的结构安全。

(3) 应对措施。优化爆破设计是解决超欠挖问题的关键。根据不同的围岩地质条件,合理选择爆破参数,如炸药用量、炮孔布置、起爆方式等,减少爆破对围岩的过度扰动和开挖轮廓的不规则性。同时,加强围岩观察与量测,安排专业人员定期对开挖面及周边围岩进行观察,记录围岩的变形、裂缝等情况,并通过量测数据及时调整开挖和支护方案,确保开挖断面符合设计要求。

3.2 支护与衬砌质量问题及其处理

(1) 支护强度不足、衬砌开裂等问题。支护强度不足可能是由于材料质量不合格、施工工艺不当等原因造成,无法有效抵抗围岩压力,导致隧道变形甚至坍塌。衬砌开裂则可能是因为混凝土配合比不合理、养护不到位,或者受到温度变化、围岩不均匀沉降等因素影响,裂缝的存在会降低衬砌的承载能力和防水性能,影响隧道的使用寿命。(2) 应对措施。加强材料质量控制是确保支护和衬砌质量的基础。严格审核材料供应商资质,对进入施工现场的钢材、水泥、混凝土等材料进行抽样检测,确保其性能符合设计标准。优化施工工艺也至关重要,如采用先进的支护施工技术,保证支护结构的安装精度和连接强度;在衬砌施工中,严格控制混凝土的搅拌、浇筑和养护过程,减少裂缝的产生。此外,加强施工过程中的质量检测,及时发现并处理支护和衬砌施

工中出现的问题^[4]。

3.3 防排水失效问题及其处理

(1) 防水板破损、焊接不牢固等问题。防水板在运输、铺设过程中可能因碰撞、拉扯等原因出现破损,导致防水功能失效。焊接不牢固则会使防水板之间存在缝隙,地下水会通过缝隙渗入隧道内部,影响隧道结构的稳定性,还可能对电气设备、轨道等造成腐蚀损坏。

(2) 应对措施。加强防水板铺设与焊接质量控制是解决防排水失效问题的核心。在防水板铺设前,对隧道基层进行处理,确保其平整、坚实,避免尖锐物体损坏防水板;铺设过程中,严格按照施工规范操作,保证防水板的铺设质量。焊接时,选择经验丰富的操作人员,采用合适的焊接设备和工艺,对焊接部位进行严格检测,确保焊接牢固、无渗漏。对于隧道的变形缝、施工缝等特殊部位,应采取加强防水措施,如设置止水带、止水条等,提高这些部位的防水性能,确保隧道防排水系统的整体有效性。

4 公路隧道施工质量控制体系的构建与完善

4.1 质量管理体系的构建

4.1.1 五级质量责任制、举牌验收制度等体系的构建

五级质量责任制需明确从企业总部到作业班组的责任层级,企业总经理、项目负责人、技术主管、施工队长、作业工人各负其责,形成“层层管控、责任到人”的管理链条,确保每个环节的质量责任可追溯。举牌验收制度要求关键工序施工前,由施工班组、质检员、监理工程师共同举牌确认,记录工序参数、负责人及验收时间,验收合格后方可进入下一道工序,通过可视化管理强化责任意识。同时,结合第三方检测机制,定期对施工质量进行独立评估,弥补内部监管的不足。

4.1.2 关键工序质量控制点的设置与监控

根据隧道施工流程,在洞身开挖、锚杆安装、防水板铺设、混凝土浇筑等关键工序设置控制点。开挖阶段重点监控超欠挖值、围岩变形速率;支护阶段跟踪锚杆锚固力、钢拱架间距;衬砌阶段监测混凝土坍落度、养护温度;防排水阶段检查防水板焊接质量、止水带安装精度。通过实时数据采集、影像记录和现场抽检,建立控制点质量台账,发现偏差立即下达整改单,形成“监

控—反馈—整改”的闭环管理。

4.2 质量管理体系的完善

4.2.1 持续改进机制的建立与运行

建立质量问题分析会制度,每周汇总各工序质量数据,对超差项、返工情况进行root原因分析,形成《质量改进报告》。结合PDCA循环(计划-执行-检查-处理),针对反复出现的问题制定专项改进方案,如针对衬砌裂缝优化配合比或养护工艺,并跟踪验证改进效果。引入信息化管理平台,将质量数据与施工进度、成本数据关联分析,为体系优化提供数据支撑,确保改进措施的科学性和有效性。

4.2.2 质量创新评比与激励措施的实施

定期开展“质量标兵”“优秀班组”评比活动,从工序合格率、创新建议采纳率等维度考核,获奖团队给予物质奖励和荣誉表彰。鼓励一线工人提出质量改进建议,对采用后显著提升质量的方案,给予提案人专项奖励。同时,将质量表现与绩效考核挂钩,对出现重大质量问题的责任方实施问责,通过正负激励结合,激发全员参与质量管理的积极性,推动质量控制体系持续升级。

结束语

综上所述,公路隧道施工技术和质量控制是一个系统而复杂的工程,涉及多个环节和关键技术。通过科学规划、精细施工和严格管理,可以显著提升隧道施工的质量和安全性。未来,随着科技的进步和施工技术的不断创新,公路隧道建设将迎来更多挑战与机遇。我们应继续深化技术研究,加强质量控制体系建设,推动公路隧道施工技术与质量控制水平迈上新台阶,为交通事业的发展贡献更大力量。

参考文献

- [1]王继彬.公路隧道施工工程质量控制关键技术[J].交通世界,2021,(20):146-148.
- [2]李小座.公路隧道主要施工技术及其质量控制[J].砖瓦,2020,(120):196-197.
- [3]化亚波.公路隧道施工技术质量的过程控制[J].黑龙江交通科技,2021,(12):138-139.
- [4]肖荣兵.公路隧道工程质量控制过程中的关键问题分析[J].低碳世界,2021,(11):129-130.