

隧道施工质量控制措施

杨含东

中交二公局华西建设有限公司 四川 成都 610000

摘要：本文围绕隧道施工质量控制措施展开。阐述施工前需审查设计文件、编制施工组织设计、培训审核人员、准备材料设备。施工过程把控开挖、初期支护、二次衬砌、防水排水及监控量测质量。针对软弱围岩、富水、岩溶等特殊地质，提出相应质量控制措施，为隧道施工质量控制提供参考。

关键词：隧道施工；质量控制；特殊地质；施工组织设计；监控量测

引言：隧道作为交通工程重要构成，其施工质量关乎运营安全与寿命。施工涉及多环节，地质条件复杂多变，任一环节疏忽都可能引发质量隐患。从设计文件审查到施工组织安排，从常规施工流程把控到特殊地质应对，都需严格质量管控，为隧道工程奠定坚实基础。

1 隧道施工前质量控制准备

1.1 隧道设计文件审查

在施工开始前，必须对隧道的设计文件进行全面、细致的审查。设计图纸是施工的基础，应逐项核对其内容，确保各部分尺寸标注清晰、结构形式表达准确。任何细微的误差都可能在施工中引发严重问题，因此需反复比对，确认无误后方可进入后续环节。围岩级别划分与支护类型的选择是影响施工安全和结构稳定的重要因素，应结合现场地质勘察资料进行验证，判断其是否符合实际工程条件。施工工艺与工序安排也应作为重点审查对象，评估其逻辑顺序是否合理，能否适应施工进度和现场环境要求。通过这一系列审查工作，为后续施工提供可靠的技术依据。

1.2 隧道施工组织设计编制

编制隧道施工组织设计，需依据工程特点、地质条件和工期要求。针对隧道长度、断面大小、埋深等特点，结合复杂地质状况，制定施工方案。在软弱围岩地段，采用超前小导管注浆加固与短台阶法开挖；在硬岩地段，选择光面爆破配合全断面开挖法，以此提升施工效率与质量。明确施工各阶段质量目标，将整体质量要求细化到每个环节^[1]。从开挖阶段的轮廓精度，到支护阶段的强度与稳定性，再到衬砌阶段的尺寸与密实度，都设定清晰质量指标。确定超欠挖控制、初期支护及时性、防水层密封性等关键质量控制要点，并制定详细控制措施，确保施工质量可控。制定覆盖所有分项工程和工序的质量检验标准。对隧道开挖，规定超挖范围和欠挖限值；对支护工程，明确锚杆抗拔力、钢架安装误

差、喷射混凝土厚度与强度等指标；对衬砌工程，设定混凝土坍落度、钢筋间距与保护层厚度等标准，使施工操作有章可循。

1.3 人员培训与资质审核

人员培训聚焦隧道施工关键技术环节。爆破技术培训中，教导施工人员根据围岩性质选炸药品种，定装药量和炮眼布置，确保爆破效果同时减少围岩扰动。支护技术培训讲解锚杆施工、钢拱架安装、喷射混凝土工艺要点。防水施工培训传授防水层基层处理、搭接与焊接工艺，让施工人员掌握规范操作。安全教育培训不可或缺。通过案例分析，向施工人员展示坍塌、涌水、有害气体泄漏等危险，讲解应急逃生与救援方法，强化安全意识，提升应急能力。对关键岗位人员进行严格资质审核。审核项目经理类似工程管理经验，考察其组织协调与决策能力；审查技术负责人专业技术水平，了解其对新技术、新工艺的掌握；检查质检员质量检验知识和工作经验，确保其能准确判断施工质量。

1.4 材料与设备准备

原材料的质量直接影响隧道结构的安全性能与使用寿命。施工前应对水泥、钢材、砂石骨料等主要材料进行严格的质量检测和试验，确保其物理力学性能和化学成分符合相关标准。未经检验或检验不合格的材料不得投入使用。施工设备的选型与配置也是前期准备的重要内容，应根据工程规模和施工工艺要求，检查设备的性能、规格和数量是否满足实际需要。为保证设备在施工过程中运行稳定，应在进场前完成调试工作，并制定维护保养计划，及时排查隐患，避免因设备故障影响施工进度或造成质量问题。通过充分的材料与设备准备工作，为隧道施工的顺利推进提供坚实保障。

2 隧道施工过程中质量控制要点

2.1 隧道开挖质量控制

隧道开挖方法的选择以围岩级别和地质条件为依

据。在坚硬完整的围岩地段,采用全断面法一次性开挖成型,可提高施工效率;遇到软弱破碎围岩时,台阶法或分部开挖法更合适,通过分步开挖、及时支护来控制围岩变形。开挖进尺的严格把控直接影响开挖质量^[2]。每循环进尺深度根据围岩稳定性确定,软弱围岩单次进尺短,防止因开挖过长引发坍塌;坚硬围岩进尺可适当增加。施工中使用测量仪器实时校准开挖轮廓,确保隧道断面尺寸与设计相符,减少超挖造成的材料浪费,避免欠挖导致的二次处理。开挖过程中,对开挖面和围岩变化的监测不间断。观察围岩裂隙发展、岩块掉落等现象,借助地质雷达等设备探测前方围岩情况。一旦发现围岩松动加剧、渗水异常等不稳定迹象,立即暂停施工,采取超前支护、加强监测等措施后再继续开挖。

2.2 隧道初期支护质量控制

锚杆施工中,锚杆间距、深度和角度决定其锚固效果。按照设计要求精准定位锚杆孔位,钻孔深度保证锚杆能充分锚固在稳定岩层中,角度与岩层面垂直或呈合适角度。锚杆安装后,通过压力注浆填充孔道,确保浆液饱满,使锚杆与围岩紧密结合。钢架加工和安装需严格遵循标准。钢架按设计尺寸在工厂加工成型,运至现场后检查其几何尺寸和焊接质量。安装时,钢架要架设在稳固的基础上,控制垂直度和中线位置,各单元钢架之间通过螺栓或焊接牢固连接,使其能有效承担围岩压力。喷射混凝土施工从配合比控制入手。根据工程要求确定水泥、骨料、外加剂等材料比例,保证混凝土强度和耐久性。喷射时,分层喷射控制厚度,每层厚度适中,防止因一次喷射过厚导致混凝土下坠、脱落。喷枪与受喷面保持合理距离和角度,确保混凝土表面平整,避免出现蜂窝、麻面等缺陷。

2.3 隧道二次衬砌质量控制

模板安装质量直接影响二次衬砌外观和尺寸精度。安装前清理模板表面,涂刷脱模剂。安装时,使用测量仪器校准模板位置,通过支撑和加固系统保证模板稳定,防止浇筑混凝土时模板变形、移位,确保衬砌结构尺寸符合设计要求。钢筋加工与安装严格执行规范。钢筋按设计尺寸下料、弯曲成型,采用绑扎或机械连接方式固定钢筋骨架。控制钢筋间距和保护层厚度,通过垫块或支架保证钢筋位置准确,使钢筋在衬砌结构中有效发挥承载作用。混凝土浇筑采用合适方法确保密实。根据衬砌结构特点选择泵送或非泵送浇筑,浇筑过程中分层、对称进行,避免混凝土产生离析。振捣时控制振捣时间和深度,防止漏振或过振。浇筑完成后,及时覆盖养护,通过洒水、覆膜等方式保持混凝土表面湿润,控

制养护时间,防止混凝土因失水产生裂缝。

2.4 隧道防水排水质量控制

防水层施工时,先清理基面,保证基面平整、无尖锐物。铺设防水层时,避免防水层出现褶皱、破损,各幅防水层之间按规定宽度搭接,采用热熔焊接等方式保证搭接处密封性,使防水层形成连续、完整的防水屏障。排水系统施工注重排水设施安装坡度。排水盲管、排水管沿隧道纵向、环向按设计坡度铺设,确保排水通畅^[3]。各排水设施之间连接紧密,通过检查井、集水坑等节点构建完整排水网络,防止排水系统渗漏,保障隧道运营期间的干燥环境。

2.5 隧道监控量测

监控量测是指导施工决策、保障施工安全的重要手段。应根据隧道工程特点和地质条件制定详细的量测计划,明确量测项目、测点布置原则和测量频率。常用的量测内容包括拱顶下沉、周边收敛、地表沉降等,通过定期采集数据,可以掌握围岩变形发展趋势,判断支护结构的工作状态。量测数据应及时整理分析,并反馈至施工现场,为调整施工参数和优化支护方案提供依据。当监测结果显示围岩变形速率加快或累计变形值超过预警值时,应立即启动应急响应机制,采取加强支护、暂停掘进等措施,确保施工安全与工程质量始终处于可控状态。

3 特殊地质条件下隧道的质量控制措施

3.1 软弱围岩地段隧道

在软弱围岩地段进行隧道施工时,围岩自稳能力差、变形速度快,极易出现坍塌或大变形现象,给施工安全和工程质量带来较大挑战。在开挖前必须采取有效的超前支护措施,例如采用超前小导管、超前锚杆等方式对前方围岩进行预加固,提高其整体性和承载能力,减少围岩失稳风险。应根据地质条件合理选择开挖方法,优先采用短进尺、弱爆破或机械开挖方式,尽量减小对围岩的扰动,避免引发局部失稳或大面积变形。在完成开挖后,应及时施作初期支护,包括喷射混凝土、钢架支撑、系统锚杆等,确保支护结构尽快发挥作用,有效控制围岩变形发展。支护体系的设计应结合软弱围岩的特性,适当增加支护厚度和锚固深度,提升结构的整体刚度与稳定性。必要时可增设临时仰拱,使支护结构形成封闭受力体系,进一步增强抗变形能力。应加强现场监测,实时掌握围岩变形趋势,为后续工序调整提供依据,确保施工全过程处于可控状态。

3.2 富水地段隧道

地下水发育区域是隧道施工中的难点之一,若处理

不当,容易引发涌水、突泥等地质灾害,严重影响施工进度和结构质量。在进入富水地段前,应提前开展超前探水工作,通过钻孔或其他探测手段查明地下水的分布范围、水量大小及水压情况,为制定排水方案提供准确信息。针对富水围岩,宜采取注浆加固措施,通过向围岩裂隙中注入浆液填充空隙,提高围岩的整体性和抗渗性能,降低渗透压力,减少突涌水风险。注浆过程中应严格控制注浆压力和扩散范围,确保浆液充分填充裂隙,达到预期加固效果。应在洞内设置完善的排水系统,包括集水坑、排水沟、排水泵站等设施,确保施工过程中产生的渗水能够及时排出,避免积水浸泡围岩导致地层软化或基础下沉。排水设施应定期清理维护,保持排水畅通,防止因排水不畅影响施工进度或引发质量问题。在施工组织安排上,应尽量避免雨季或高水位期进行作业,减少外部水源补给带来的风险。施工人员也应熟悉应急排水流程,一旦发生突发性涌水,能迅速启动应急预案,保障人员安全并减少损失。只有将超前探水、围岩加固、排水设施建设等环节有机结合,才能有效应对富水地段带来的施工难题。

3.3 岩溶地段隧道

岩溶地质条件复杂多变,可能存在的溶洞、暗河、溶蚀裂隙等构造对隧道施工构成较大威胁。在进入该类地段前,必须对岩溶的分布位置、规模大小及发育程度进行全面勘察,结合地质资料制定科学合理的应对方案。对于已查明的岩溶洞穴,应根据其位置和影响范围采取相应处理措施,如采用回填混凝土、灌浆等方式进行加固,消除溶洞对隧道基础稳定性的不利影响。在穿越岩溶区段时,应加强支护体系,采用更高等级的支护参数,提高结构的安全储备。初期支护应紧跟开挖面,确保围岩暴露时间最短,并在关键部位增加钢架密度或加厚喷射混凝土层,增强结构抗变形能力^[4]。同时要建立严密的监测机制,对围岩变形、支护结构受力等情况进行实时跟踪,一旦发现异常变化,应立即启动应急处理程序,调整施工工艺并补充加固措施,防止岩溶区段出现局部破坏或整体失稳现象。针对岩溶区段可能出现的突发性涌水问题,还应提前布设排水通道,确保水流顺畅排出,避免水压积聚引发安全事故。施工过程中应加

强现场巡查,密切关注掌子面是否有渗水、掉块等异常现象,及时采取应对措施,确保施工过程持续可控。

3.4 其他特殊地质条件下的质量控制

除上述典型不良地质外,隧道工程还可能遇到高地应力、断层破碎带等复杂环境,这些地段同样需要针对性的质量控制措施。高地应力区段易发生岩爆或大变形,应提前进行地应力测试,优化开挖顺序和支护时机,采用柔性支护与刚性支护相结合的方式,适应围岩变形需求。在施工过程中应密切监测围岩动态,及时调整支护参数,防止结构失稳。在断层破碎带施工时,应遵循“先治水、短进尺、强支护、快封闭”的原则,采用注浆加固、超前管棚等方法提高围岩稳定性,并加强现场观测,合理安排工序衔接,减少围岩暴露时间,防止因地质突变造成施工事故。对于存在有害气体的地层,还应配备专业检测设备,定期检测空气质量,确保施工环境安全。各类特殊地质条件下,都应强化施工组织协调,完善应急预案,确保工程质量始终处于受控状态。通过科学合理的施工部署、严格的现场管理和灵活的技术调整,可以有效应对各种复杂地质挑战,保障隧道工程顺利推进。

结束语

隧道施工质量控制贯穿于工程始终,涉及多方面内容。从施工前准备到施工过程各环节,再到特殊地质条件应对,都需严格把控。通过采取科学合理的质量控制措施,能有效提高隧道施工质量,保障施工安全。未来,随着技术发展,应不断优化质量控制方法,以适应更复杂施工环境,推动隧道工程建设水平提升。

参考文献

- [1]唐于欣.浅议桥梁隧道工程施工质量控制难点及技术对策[J].城市建筑,2021(3):181-183.
- [2]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.
- [3]杨世政.道路桥梁隧道工程施工难点和质量控制措施分析[J].运输经理世界,2024(18):100-102.
- [4]封亚勇.道路桥梁隧道工程施工中的难点和质量控制措施分析[J].运输经理世界,2023(30):71-73.