

高速公路隧道施工技术与质量控制分析

文 / 宗伟伟 中铁十一局集团第二工程有限公司

摘要: 高速公路隧道施工企业肩负着确保隧道工程建设质量与安全的重大责任,因此,必须采取一系列严格而有效的管理措施,不断优化和完善建设技术标准体系。这些企业应深入研究隧道施工的核心环节,对主要施工步骤进行科学规划与合理调整,确保每一步操作都符合最佳实践。在施工过程中,全方位、多角度地加强质量与安全监管,不仅是对施工过程的严格把控,更是对最终工程成果负责责任的体现。鉴于此,主要分析高速公路隧道施工技术

与质量控制。

关键词: 高速公路隧道; 施工技术; 质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.040

引言

鉴于公路隧道是一种难以察觉的工程项目,它容易受到外部环境的干扰,从而产生潜在的安全风险,这对驾驶的人员和车辆都会带来巨大的伤害。所以为了保证高速公路隧道工程施工质量,必须加强对隧道施工的研究力度。因此,在高速公路隧道工程建设的过程中,应根据隧道施工设计的基本原则,从隧道的开挖和支护等多个方面进行全面的优化,以便选择最适合的隧道施工技术。

一、高速公路隧道施工的特点

(一) 施工环境恶劣

高速公路隧道工程所面临的施工环境异常复杂和恶劣,无论是在地下还是在山体内,施工区域都受到了极大的限制,这不仅限制了材料的堆积,还限制了机械操作的空间,从而无疑增加了隧道工程施工的复杂性和难度。因此,在高速公路隧道工程项目的建设过程中,需要考虑其自身特点及施工现场的具体情况,制定合理的施工进度计划。

(二) 隐蔽工程较多

高速公路隧道工程通常位于山体的内侧或地下,因此具有一定的隐秘性。在这其中,多个子工程也被归类为隐蔽工程,包括但不限于防排水道的布局、预埋件的安装以及线路的布置和安装等。另外,一些特殊地质条件下,如岩溶地区及高地应力区等也容易出现复杂环境下的隐蔽性问题。隐蔽工程的品质与其施工方法、工作人员和使用的材料紧密相关。

(三) 安全风险较大

高速公路隧道施工所处的环境极为复杂,通常是在地面以下或是山体内部进行的。由于公路隧道具有较高的特殊性,因此在施工时需要使用到多种技术和方法进行工作。由于在隧道中进行施工作业时容易受到地形地貌以及地质条件等因素的影响。这样一个复杂的建设环境可能导致巨大的安全隐患,这不仅威胁到高速公路隧道的建设安全,而且在极端情况下,还可能引发隧道的坍塌。

(四) 不可预见因素较多

在高速公路隧道建设的过程当中,有一部分山体需

要进行挖掘作业。为了使开挖工程能够顺利进行,往往会进行一系列人工操作来完成挖洞工作。这类挖掘行为有可能破坏山体的基础结构和地质稳定性,并可能引入多种不可预测的风险因素,如围岩变形、地下水位走势以及溶洞等。

三、高速公路隧道施工技术

(一) 设备与材料选择

1. 开挖机械与工具

在高速公路隧道的建设过程中,选用合适的挖掘设备和工具对于提升施工的效率 and 品质是非常关键的。目前我国主要采用机械化方式进行公路隧道工程的建设,其中最常用的是盾构法。常见的挖掘设备有挖掘机、装载机和推土机等。这些设备都具有较高的自动化程度和机械化水平,可以完成不同类型的土石方作业任务。这批机械设备不仅能迅速且精确地对地下的土壤和岩石进行挖掘,还具有一定程度的操作适应性和灵活性。

2. 混凝土搅拌与输送设备

在隧道建设过程中,混凝土被视为不可缺少的关键材料之一。由于隧道工程所处的特殊环境以及地质条件复杂,导致其对混凝土的性能要求非常高。为确保混凝土的高质量和持续供应,需要挑选合适的混凝土混合和传输设备。混凝土搅拌设备由混凝土搅拌车和混凝土搅拌站组成。其中混凝土搅拌车主要用来完成对所需物料的运输任务。混凝土搅拌车是小型隧道建设中的常用工具,它能够混合水泥、骨料和其他混合材料,并在必要时将混凝土输送至施工地点。

3. 衬砌材料的选用

选择适当的隧道衬砌材料对于确保隧道的稳定和长久耐用是非常关键的。目前,我国大部分地区使用的是以普通硅酸盐水泥为主的混合砂浆或水泥浆体作为衬砌材料。常用的衬砌材料有混凝土、钢筋混凝土以及预制板等几种。其中钢筋混凝土衬砌是目前最常用的一种。在选择衬砌材料的过程中,必须综合考虑多个因素,包括地质状况、设计规范、施工周期以及成本等。

(二) 施工方法和工艺流程

1. 土方开挖与支护

土方挖掘是隧道建设的初始阶段,这一过程需要利

用各种机械工具和设备来挖掘地下的土壤和岩石，从而为隧道的形成提供必要的条件。因此，对隧道工程而言，必须做好相关的土方开挖工序。在进行土方挖掘时，必须确保隧道的稳定和安全，以避免地面下沉和隧道的坍塌等潜在风险。为了保证基坑周围土体不被扰动，可以采用人工挖土法进行基坑内土石方量的调配，从而满足隧道建设所需。常用的支撑技术有喷射混凝土、钢架支撑以及爆破法等几种。其中，喷射混凝土技术被广泛运用于隧道工程中。

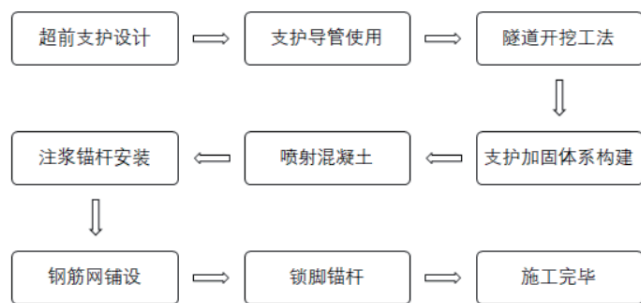


图1 高速公路隧道开挖与支护施工流程图

2. 混凝土浇筑与固化

在隧道建设过程中，混凝土的浇筑被视为核心环节之一。因此，需要对其进行养护，保证混凝土内部水分含量适中，从而防止出现干缩裂缝问题。在进行隧道建设时，有必要将混凝土注入到隧道的模具里，并利用振动和压实技术确保混凝土分布均匀且结实。

3. 隧道衬砌施工

隧道衬砌施工的主要目的是提高隧道的稳定性和持久性，以防止地下水和土壤受到侵蚀。目前我国大部分地区都采用了盾构法修建隧道。隧道衬砌常用的材料有混凝土、钢筋混凝土以及预制板等几种。其中，采用预制式隧道衬砌可以有效提高施工效率，并且降低了工程成本。在隧道衬砌的施工阶段，首要任务是构建衬砌模具，接着把衬砌的材料放入该模具，并对其进行振动和压实等操作，确保衬砌的品质和紧密度达标。

4. 排水与防渗设施

在进行隧道建设时，必须重视地下水和雨水的排放以及防止渗透的措施。如果不能及时排水，会对衬砌结构造成损害，甚至导致塌方事故发生。为了实现这一目标，一种普遍的方法是安装如排水管道和防渗层这样的设备。

排水管道的主要功能是收集地下水和雨水，并将这些水资源导向适当的排水系统中。在地下排水过程中，衬砌与围岩之间形成一个防水帷幕。另外，防渗层作为一种保护层，起到了阻止水分渗入隧道结构的作用。

(三) 施工注意事项

1) 必须严格按照新奥法的核心理念行事，施工前首先要进行实验，只有在收集到所有技术数据之后，才能进一步推广这一方法。2) 在施工过程中，必须始终遵循如下准则：强化围岩、管理排水、确保基底的安全、优化变形、从柔软到坚硬、从预防到抵抗、确保变

形足够、底部得到加强，并分阶段进行施工。3) 在隧道开挖施工过程中，基本原则是最大限度地减少对围岩的扰动，采用小导管注浆技术来加固围岩，确保在各个开挖阶段都能保持稳定。4) 在施工过程中，为了避免坍塌或产生较大的形变，必须严格按照快速挖掘和封闭、及时的支撑和监控的核心准则来操作。

四、高速公路隧道施工质量控制

(一) 建立质量管理体系

第一，需要明确质量管理的目标与基本原则。质量管理目标可分为设计质量指标、工程建设的质量标准和运营的质量标准。质量管理的核心目标在于确保隧道工程在其设计、施工以及验收的每一个环节都严格遵循已设定的标准和规范，从而确保隧道的安全运行和功能的完整性。质量管理的基本原则涵盖了明确的责任划分、全体员工的积极参与、持续的优化改进、基于科学的决策制定以及创新的思维方式等方面。

第二，需要制订对应的管理文档和操作流程。构建并执行一个高效的管理架构。这些文件可以作为组织进行持续改进的基础。管理文档包括了质量手册、质量控制方案、操作指南等内容，并且需要清晰地列出质量管理的标准和方法。管理流程包括了质量检查和验收、不合格产品的控制和质量问题的处理等多个环节，目的是确保每个环节的工作流程和质量控制手段都是规范的。

第三，需要明确质量管理的职责以及任务的具体分工。从实际情况来看，我国目前还没有专门针对隧道工程质量管理法律法规。在进行隧道建设的各个阶段，包括设计团队、施工团队以及监理团队在内，都应当承担相应的质量管理责任。

第四，强化对质量的检查与评价。定期对质量管理进行检查和评价，确保管理文件和流程得到恰当的执行，并对质量管理的成果和持续性进行评估。同时，也会不断地汇总和分享的经验，并加强与各个单位之间的沟通与合作，目的是持续提升质量管理标准。

(二) 加强对高速公路隧道设计图纸质量的审核

高速公路隧道的施工图纸设计被视为工程施工的首要步骤，它是施工过程中的关键参考。设计的品质会直接决定整体的施工效果，因此，对设计图纸的质量进行严格审核显得尤为关键。从目前来看，我国公路隧道建设还处于初级阶段，部分工程设计方案不合理、不科学现象普遍存在。在开始高速公路隧道的施工之前，负责工程质量的监管人员应当对隧道的设计图纸进行严格、仔细和全方位的审查。设计图纸审核工作贯穿于整个施工阶段，包括设计变更、工程测量、材料供应以及安全管理等方面。

(三) 加强对高速公路隧道施工技术的监测

为了确保高速公路隧道施工技术监测工作的高质量进行，有必要建立一个专门负责监督和检测的部门，以加强对所有施工活动的实时监控。在具体的建设过程中，应该严格按照相关规定，建立完善的管理体系。与此同时，需要主动地采纳前沿的监测和测量方法，以确

保对每一个施工步骤都进行恰当且高效的监督，保障每一个施工步骤的品质都能满足既定标准。

（四）加强施工材料与现场质量控制

在高速公路隧道施工过程中，针对材料的质量管理问题，施工单位需要加强进场施工材料的质量验收。这可以通过查阅施工材料的出厂证明文件来实现，同时还可以利用现场抽检等手段来严格控制进场材料的质量。在此基础上，施工人员还应重视施工现场的环境保护措施，做好各项环保设施的安装以及维护保养，确保施工环境符合相关标准要求。尤其是在项目施工过程中使用的所有原材料，都必须经过严格的质量评估，以确保这些材料在品质、特性和尺寸上都能达到施工的标准和要求。

（五）开挖支护质量保证措施

（1）为了确保隧道开挖的支护施工达到高质量标准，在施工过程中应根据围岩的实际情况来调整施工和支护的参数，加强支护结构的稳定性，并努力缩短施工的进尺。在挖掘过程中，必须严格地管理“超挖”的潜在风险。及时做好超前地质预报工作，并根据不同地层条件采取合理有效的措施进行预加固处理，降低不良地质体发生坍塌等地质灾害的可能性。

（2）在进行喷锚操作时，可以选择混凝土的湿喷方法，并在混凝土材料中加入适当的高效减水剂和硅粉，这样可以降低回弹现象，从而确保喷射施工的高质量完成；在钻入锚杆的过程中，需要确保其与岩石表面垂直，并确保注浆充分，以满足设计标准。

（3）为了充分利用钢架的支撑功能，应该确保钢架的连接部位被牢固地固定。当在墙角或拱脚位置安装钢架结构时，建议使用混凝土块来作为垫实材料，并确保垫块背面不被任何片石填充。

（六）隧道衬砌质量保障措施

隧道的衬砌工作应当遵循“轻微爆破、短时间挖掘、加强支撑、衬砌紧密跟随”的原则。液压衬砌台车在单次浇筑过程中完成了衬砌作业。施工时应严格按工序组织进行，并注意及时检查质量和进度。在衬砌的设计过程中，应当依据各个级别的围岩来确定开挖的面积，并预先为围岩的变形预留空间。

在隧道衬砌施工中，“喷射混凝土工艺”被视为核心技术。喷射混凝土技术具有较高的强度和良好的耐久性，能保证结构安全。为了确保衬砌的高质量，应当对混凝土喷射的施工流程进行标准化，并对混凝土的原材料进行严格的质量控制，同时确保衬砌工作的前期准备得当。

（七）施工安全控制要点

第一，高速公路隧道构建和完善安全管理体制需要从多个方面入手，包括建立健全安全生产责任制、加强安全教育培训、定期开展安全检查与隐患排查、完善施工与运营管理、强化交通安全管理与宣传教育、采用现代化管理手段和先进技术、建立考核与激励机制以及加强监管与执法力度等。通过这些措施的实施，可以有效预防和减少高速公路隧道安全事故的发生，保障人民群

众生命财产安全。

第二，强化施工现场的安全防护措施，要全面检查并优化隧道洞口的排水系统，确保排水沟、集水井等设施畅通无阻，能够迅速有效地将雨水、地下水及施工废水排出洞外，防止积水对洞口工作面造成安全隐患。针对洞口围岩的实际情况，设计并实施科学合理的支护方案。对爆破施工的区域实施了严格的监督，以确保不会发生任何安全事故。通过采取一系列安全措施后，保证了整个隧道工程顺利地实施。需合理地配置照明和通风系统，采用防爆灯具，并定期检查空气质量，以确保氧气含量不低于20%；做好人员进出通道及设备出入口的防火工作。在进行爆破作业的区域，设立了警戒线和安全门，目的是严格监管火工品的分发和回收过程。

第三，加强对职工的安全教育和培训，定期组织全体员工参与安全教育活动，内容涵盖安全生产法律法规、岗位安全操作规程、事故案例分析等，旨在增强全员的安全意识和责任感。对于新入职的员工，严格执行“三级”（公司级、部门级、班组级）安全教育制度。通过逐级深入的安全知识传授和实践操作指导，使新员工快速掌握岗位安全要求，适应安全作业环境。针对爆破、电工等特殊工种人员，提供定制化的专业技能培训。

第四，为了从根本上预防和控制生产安全事故，需要构建一个结合风险分级管理与隐患排查的双层预防体系，确立施工安全风险的识别与评估机制，并制定针对性强的安全技术措施，同时及时排除可能的事故隐患。

结束语

在高速公路隧道的复杂建设过程中，多种高难度的施工技术交织并行，每一环节都伴随着精细的工艺流程，这些都对施工环境提出了极为具体且严格的要求。为了最大化地利用施工人员的专业技能及设备设施的性能力，深入研究和优化高速公路隧道施工技术显得尤为关键。因此，加强高速公路隧道施工技术与应用，不仅是提升工程建设效率与质量的必由之路，也是保障施工人员安全、促进项目顺利推进的重要举措。通过持续优化施工工艺，严格把控施工流程，我们能够更加高效地应对隧道建设中的种种挑战，为高速公路的安全与畅通奠定坚实的基础。

参考文献

- [1] 杨颖斐, 顾敏, 潘嵩崧. 高速公路隧道施工技术与质量控制研究[J]. 工程建设与设计, 2024(12): 218-220.
- [2] 肖大强. 高速公路隧道施工技术与质量控制研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(18): 138-140.
- [3] 林鑫隆. 高速公路隧道施工技术与质量控制研究[J]. 散装水泥, 2024(03): 136-138.
- [4] 谢模钊. 公路隧道施工质量控制技术研究[J]. 新城建科技, 2024, 33(03): 154-156.
- [5] 徐壬. 公路隧道施工技术及其质量控制措施[J]. 大众标准化, 2023(12): 25-27.