

隧道软弱围岩段支护设计与施工安全管理研究

毛海昆

云南交投公路建设第六工程有限公司 云南 昆明 650100

【摘要】：隧道软弱围岩段支护设计与施工安全管理是地下工程建设的核心难题。随着我国交通网络向复杂地质区域延伸，软弱围岩带来的大变形、突水突泥等风险日益凸显。本文简要分析了隧道软弱围岩段支护设计与施工安全管理意义，并针对隧道软弱围岩段支护设计与施工安全管理进行了深入探究，以期类似地质条件下的隧道建设提供理论依据和工程借鉴。

【关键词】：隧道；软弱围岩段；支护设计；施工安全管理

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.025

引言

随着我国经济的快速发展，隧道的建设规模和建设难度越来越大，截至2019年底，我国共建成高速铁路隧道3442座，累计长度约5515km，大型机械化全断面法是我国高速铁路隧道施工方法的发展方向。全断面开挖对围岩扰动次数少、工序简单、施工效率高，但开挖面积大，掌子面易失稳、塌方，因此目前主要应用于I~III级围岩，软弱围岩条件下，开展合理的隧道软弱围岩段支护设计与施工安全管理措施，能有效提高掌子面稳定性，是实现软弱围岩隧道机械化全断面开挖的技术保证。

1 隧道软弱围岩段支护设计与施工安全管理的意义

（1）保障工程建设顺利推进

隧道软弱围岩段因其地质条件复杂，岩体强度低、自稳能力差，在施工过程中极易出现坍塌、变形等问题。科学合理的支护设计可以根据围岩特性，采用锚杆、喷射混凝土、钢拱架等多种支护手段，形成稳定的支护体系，有效控制围岩变形，增强围岩的承载能力，确保隧道结构的稳定性。同时，完善的施工安全管理通过制定严格的施工方案、规范施工流程，对施工过程进行实时监测和动态调整，及时发现并处理潜在的安全隐患，避免因地质灾害导致工程停滞或返工，为隧道工程的顺利建设奠定坚实基础，保障项目按时、按质完成。

（2）保护施工人员生命安全

隧道施工环境封闭、作业空间有限，在软弱围岩段施工时，塌方、涌水、有害气体泄漏等风险显著增加，严重威胁施工人员的生命安全。先进的支护设计可以在危险发生时提供有效的防护屏障，减缓灾害对人员的伤害。例如，合理布置的钢拱架和锚杆能够在一定程度上抵御坍塌压力，为人员撤离争取宝贵时间。而严格的施工安全管理通过建立完善的安全防护制度、配备齐全的安全防护设备、开展定期的安全培训与应急演练，提高施工人员的安全意识和应急处置能力，规范施工人员的操作行为，减少人为因素导致的安全事故，最大程度地保障施工人员的生命安全，体现对生命的尊重与关怀。

（3）降低工程建设经济成本

尽管在隧道软弱围岩段进行科学的支护设计和严格的施工安全管理需要一定的前期投入，但从长远来看，这能够显著降低工程建设的总体经济成本。精准的支护设计避免了因支护不足导致的频繁塌方、大变形等问题，减少了后期修复和加固的费用。同时，合理的支护方案还能提高施工效率，缩短工期，降低施工过程中的设备租赁、人员薪酬等成本。施工安全管理通过预防安全事故的发生，避免了因事故造成的人员伤亡赔偿、工程停工损失、设备损坏维修等巨额费用，减少不必要的经济损失，保障工程建设的经济效益，实现资源的合理利用和优化配置。

（4）维护社会稳定与促进经济发展

隧道工程作为基础设施建设的重要组成部分，其建设质量和进度对区域经济社会发展和社会稳定有着深远影响。软弱围岩段支护设计与施工安全管理确保隧道工程的顺利建成，保障了交通网络的畅通，促进区域间的人员流动、物资运输和经济交流，带动沿线地区的经济发展，提升区域竞争力。同时，高质量、安全的隧道工程建设也增强了公众对基础设施建设的信心，维护了社会稳定，为国家和地区的可持续发展提供有力支撑，推动社会经济朝着更加繁荣、稳定的方向迈进。

2 隧道软弱围岩段支护设计

（1）遵循科学设计原则，筑牢支护根基

隧道软弱围岩段支护设计需以“安全可靠、经济合理、便于施工”为核心原则。软弱围岩常呈现破碎松散、强度低、自稳能力差的特点，如泥岩、页岩等遇水软化，极易引发塌方、变形等灾害。基于此，设计时需遵循“先支后挖，及时封闭”理念，通过现场地质勘查与超前地质预报，精准掌握围岩特性，为支护方案提供依据。例如：在富水软弱围岩区域，设计中会优先考虑排水降压措施，结合超前注浆加固技术，改善围岩力学性能，提升其承载能力。在浅埋软弱围岩段，则需加强地表沉降控制，采用地表注浆加固或增设抗滑桩等措施，确保施工过程中隧道结构稳定，为后续施工创造安全条件。

（2）运用多元技术手段，增强支护效能

多样化的支护技术是应对软弱围岩复杂状况的关键。锚杆

支护通过将锚杆深入稳定岩体,利用锚杆与岩体间的锚固力,将软弱围岩与稳定岩体连接为整体,提高围岩的抗剪强度和整体稳定性;喷射混凝土支护能快速封闭岩面,阻止围岩风化和地下水侵入(如图1),同时与锚杆、钢筋网协同作用,形成柔性支护结构,及时抑制围岩变形。钢拱架支护则凭借其高强度特性,在围岩压力较大时提供刚性支撑,控制隧道断面收敛变形。在实际设计中,常采用多种支护技术组合应用的方式。如在软弱围岩隧道项目中,初期支护可以采用“锚杆+钢筋网+喷射混凝土+钢拱架”联合支护体系,锚杆深入围岩内部提供锚固力,钢筋网增强喷射混凝土的整体性,钢拱架承担主要荷载,多种技术相互配合,有效控制了围岩变形,保障了隧道施工安全与质量。



图1 隧道喷射混凝土支护

(3) 实施动态优化策略,应对复杂变化

软弱围岩地质条件多变,施工过程中实际情况可能与设计预期存在差异,因此动态优化设计至关重要。通过建立完善的监控量测体系,对隧道拱顶下沉、周边收敛、锚杆轴力等参数进行实时监测,获取围岩变形和支护结构受力数据。基于监测数据,运用数值模拟分析等手段,评估支护结构的安全性和有效性,及时调整支护参数和施工方案。例如,当监测数据显示围岩变形速率加快、超出预警值时,可及时增设锁脚锚杆,增强拱架底部稳定性;或调整喷射混凝土厚度和强度等级,提高支护结构承载能力。若发现某段围岩地质条件比预期更差,可优化开挖方法,由全断面开挖调整为台阶法或环形开挖预留核心土法,减少对围岩的扰动,确保施工安全和隧道结构稳定。

(4) 强化设计施工协同,提升整体效益

支护设计与施工紧密相连,二者协同配合是保障隧道工程顺利实施的重要保障。在设计阶段,设计人员需充分考虑施工工艺和技术水平,使设计方案具有可操作性。针对软弱围岩隧道可采用的管棚超前支护技术,设计时要明确管棚的长度、直径、间距等参数,同时考虑施工设备的性能和施工人员的操作能力,确保施工能够顺利进行。在施工过程中,施工单位应及时向设计单位反馈现场实际情况,如遇到地质条件突变、支护结构异常受力等问题,设计单位需快速响应,及时调整设计方

案。此外,设计与施工团队应加强沟通协作,定期开展技术交流会,共同分析施工过程中出现的问题,优化设计和施工方案,减少因设计与施工脱节导致的工期延误和成本增加,实现支护设计与施工的高效协同,提升隧道工程的整体效益。

3 隧道软弱围岩段支护施工安全管理的有效策略

(1) 构建严密安全管理制度体系

完善的安全管理制度是施工安全的基石。在隧道软弱围岩段支护施工中,需搭建全方位的制度框架,涵盖责任体系、操作规范、监督考核等关键环节。明确划分项目管理人员、技术人员及一线工人的安全职责,形成“层层负责、人人有责”的管理格局,例如规定项目经理为安全第一责任人,对施工全过程安全负总责。制定精细化施工安全操作规程,细化钻孔、锚杆安装、钢拱架架设等工序的操作标准与安全注意事项,如要求锚杆安装时必须严格控制钻孔角度与深度,确保锚固质量。建立常态化安全检查与隐患排查机制,通过日常巡查、专项检查及定期安全大检查,及时发现并整改问题,如对钢拱架连接螺栓紧固程度、喷射混凝土厚度等进行严格检查。同时,将安全管理纳入绩效考核,设立奖惩机制,激励全员主动参与安全管理,保障施工安全有序推进。

(2) 强化人员安全培训与教育

施工人员的安全意识和操作技能直接关系施工安全。针对隧道软弱围岩段支护施工的高风险性与复杂性,需构建多层次、全覆盖的安全培训教育体系。新员工入职时,开展基础安全知识培训,使其掌握隧道施工安全常识、风险类型及应急逃生方法;针对不同岗位,实施专项技能培训,如对锚杆注浆作业人员进行注浆材料配比、压力控制等技术培训,确保其熟练掌握岗位操作要点。定期组织安全警示教育,通过剖析事故案例、模拟危险场景,让施工人员深刻认识违规操作的严重后果,提升安全防范意识。此外,鼓励员工分享安全经验,开展安全知识竞赛等活动,营造全员参与安全管理的良好氛围,并通过实操考核检验培训效果,切实提高施工人员安全素养与应急处置能力。

(3) 严格把控施工技术安全要点

施工技术的规范应用是保障安全的核心。在软弱围岩段支护施工中,需依据围岩特性科学选择施工技术,并严格管控施工全过程。采用超前预支护技术时,无论是管棚支护还是超前小导管注浆支护,均需精准控制导管参数与注浆工艺,确保预支护效果,为后续开挖创造稳定条件。开挖过程遵循“短进尺、弱爆破、强支护、勤量测”原则,针对稳定性差的围岩采用环形开挖预留核心土法(如图2)、CRD法等合理开挖方式,减少对围岩的扰动。在支护结构施工中,严格保证锚杆锚固长度与拉拔力达标,喷射混凝土配合比、厚度及喷射工艺符合质量要求,钢拱架安装位置、垂直度及连接强度满足规范标准,通

过对每个技术环节的严格把控,确保支护结构安全可靠。



图2 上台阶环形开挖预留

(4) 建立健全风险防控机制

软弱围岩段施工风险因素复杂多样,建立完善的风险防控机制势在必行。首先,结合地质勘察资料与类似工程经验,全面识别和评估潜在风险,如塌方、涌水、有害气体泄漏等,并确定风险等级与影响程度。针对不同风险制定专项防控措施,例如:针对塌方风险,采取加强超前支护、优化开挖方法、及时施作初期支护等手段。针对涌水风险,提前规划排水系统,运用超前注浆堵水技术。同时,构建智能化风险预警系统,通过实时监测拱顶下沉、周边收敛、地下水位等数据,设置科学合理的预警阈值,一旦监测数据超标,立即发出预警信号,并启动应急响应程序,如暂停施工、加强支护等,将风险消除在萌芽状态。

(5) 完善应急管理与救援体系

即便采取充分预防措施,施工过程中仍可能遭遇突发状况,因此完善的应急管理与救援体系不可或缺。制定详细且具有针对性的应急预案,明确应急组织机构及人员职责,针对塌方、涌水、火灾等不同事故类型,制定清晰的应急处置流程与救援方案。定期组织应急演练,模拟真实事故场景,如开展隧

道塌方后的人员疏散、伤员救治、塌方处理等演练活动,提升施工人员应急响应与协同作战能力。储备充足的应急物资与设备,包括应急照明、逃生通道、救援工具、医疗急救用品等,并建立物资设备定期检查维护制度,确保其处于良好备用状态。此外,与周边医院、消防、应急管理部门建立紧密的应急联动机制,确保事故发生时能迅速获得外部支援,最大程度降低事故损失。

(6) 加强施工设备安全管理

施工设备的安全稳定运行是保障施工安全的重要支撑。在隧道软弱围岩段支护施工中,需对各类设备实施全生命周期管理。设备采购环节,严格筛选质量可靠、符合安全标准的设备,确保设备性能满足施工需求;设备进场时,进行全面验收检查,重点核查设备安全装置、技术参数等是否达标。施工过程中,建立设备日常点检与定期维护制度,例如对锚杆钻机的液压系统、钢拱架安装设备的吊装装置等关键部位进行每日检查,对设备进行定期保养与维修,及时更换磨损部件。同时,加强设备操作人员管理,要求操作人员必须持证上岗,并定期开展设备操作技能与安全知识培训,规范操作流程,严禁设备带病作业,确保设备始终处于安全运行状态,为施工安全提供坚实保障。

总而言之,隧道软弱围岩段支护设计与施工安全管理,既是对现有技术体系的完善,更是推动隧道工程向更安全、更经济、更环保方向发展的关键突破,因此必须坚持设计施工协同强化、运用多元技术手段、现场监控量测等综合手段,对工程地质和水文条件、围岩在开挖过程中的动态、支护结构的稳定状态作全面、准确的判断,提供相关隧道施工的全面、系统信息资料,以便及时调整支护参数,并据此制定相应的施工安全管理措施,以确保洞室周边岩体的稳定、支护结构及开挖安全。

参考文献:

- [1] 李道红,杨志刚.软弱围岩条件下隧道开挖支护施工研究[J].运输经理世界,2023,(19):83-85.
- [2] 焦开全.软弱围岩隧道进洞施工支护参数优化设计研究[J].中国高科技,2022,(14):67-70.
- [3] 岳纪强,李剑锋.浅埋富水软弱围岩隧道支护方案设计及优化[J].交通世界,2022,(Z1):150-151.
- [4] 王明年,张霄,赵思光,等.软弱围岩隧道机械化全断面施工超前支护体系设计方法研究[J].铁道学报,2020,42(08):146-154.
- [5] 潘威.软弱围岩隧道支护设计优化研究[J].河南科学,2020,33(08):1397-1401.