

大断面浅埋铁路隧道施工技术要点控制

赵国峰

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 大断面浅埋铁路隧道作为铁路建设中的重要工程类型之一, 其具有施工涉及空间大、结构复杂以及环境敏感等特征, 对施工技术提出更高要求。基于此, 本文围绕隧道工程特征, 总结设计方案优化、开挖方法规范、初期支护加强及监测管理完善等关键策略, 系统分析施工过程中的要点控制, 以期为保持围岩稳定、控制地表沉降、提高衬砌质量提供借鉴, 进而保障工程安全与长期耐久性。

关键词 大断面浅埋铁路隧道; 开挖方法; 超前支护; 初期支护

中图分类号: U25

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.31.014

0 引言

随着铁路建设规模的不断扩大, 大断面浅埋隧道逐渐被应用于多种复杂地质条件和不同地形区段的施工实践中。此类隧道由于断面宽、埋深浅, 施工过程中对地层扰动明显, 结构安全与质量控制要求较为严格。为适应铁路运输对安全性的高标准, 施工必须在设计优化、工序衔接以及监测管理等方面形成全面控制。针对这些环节展开讨论, 对于提升铁路隧道施工水平和工程效益具有重要意义。

1 大断面浅埋铁路隧道施工的主要技术要点

1.1 科学施工原则控制

大断面浅埋铁路隧道的施工必须以科学性为核心, 保证各环节协调统一。在施工过程中要根据地层条件、围岩稳定性以及环境特征制定合理的作业方案, 使每道工序都有明确的技术依据。科学施工原则的落实不仅体现在施工顺序的合理安排上, 还包括支护、开挖以及衬砌等环节的配合, 使结构受力保持平衡。经过全过程控制, 可以避免围岩扰动过大和地表沉降超限。施工中还应注重信息反馈与参数调整, 使设计方案和现场实践相互验证, 形成科学的闭环管理体系。

1.2 开挖方法与工序控制

开挖环节是大断面浅埋隧道施工的核心阶段, 方法和工序的合理性直接决定了整体质量与安全。施工时要依据围岩强度、断面形状和地层条件选择合适的开挖方式, 控制每次进尺和开挖顺序, 使应力释放均匀。工序安排要形成连贯链条, 从开挖、出渣到支护衔接紧密衔接, 保证围岩始终处于受控状态。各环节之间需要严格的时间与空间衔接, 防止出现暴露时间过长或支护滞后的问题。经过规范工序, 可以减少变形积累,

保证围岩结构的完整性。同时, 应加强施工现场组织协调, 保证各作业面同步推进, 使开挖效率与安全控制保持平衡。

1.3 超前支护与注浆加固控制

在浅埋隧道施工中, 要根据地层特性选择合适的支护形式和加固范围, 确保掌子面和周边地层具备足够的自稳能力。支护措施应在开挖前有序实施, 使加固区与未扰动地层形成过渡带, 减少变形集中。注浆过程中需控制压力、流量和扩散范围, 保证加固体密实连续, 从而提高围岩整体承载力。不同施工阶段要根据监测数据调整参数, 使加固过程与围岩变化保持同步。

1.4 初期支护与衬砌质量控制

初期支护与二次衬砌是隧道结构形成的关键环节, 直接影响工程的整体强度与耐久性。施工中应确保初期支护具有足够的刚度与粘结力, 使其与围岩共同承担荷载, 限制变形发展。支护厚度、材料强度和构造布置都需严格控制, 形成连续、均匀、稳定的支护体系。二次衬砌应在初期支护稳定后及时实施, 保证结构整体性。混凝土浇筑过程要注重密实度与厚度控制, 防止产生空鼓和渗水。支护与衬砌之间的衔接应平顺, 避免形成薄弱层。

1.5 监测量测与信息化控制

监测量测与信息化管理是大断面浅埋隧道施工控制的技术支撑。通过建立系统的监测体系, 可以实时掌握地表沉降、拱顶下沉及围岩变形等关键参数, 为施工调整提供依据。监测数据应及时分析, 形成可追溯的动态记录, 使施工过程始终处于受控状态。信息化技术的应用能将监测、分析与决策相结合, 实现数

据的快速传输与多维展示。施工管理人员可以通过信息平台判断风险趋势,及时优化支护和开挖方案。

2 大断面浅埋铁路隧道施工技术要点控制策略

2.1 优化设计方案,强化施工准备

在大断面浅埋铁路隧道的建设中,优化设计需要综合考虑地质条件、结构受力甚至环境因素,形成能够适应复杂情况的整体布局。施工准备必须紧密结合设计要求,涵盖技术文件、工艺安排以及资源配置,保持各环节协调统一^[1]。设计环节的前瞻性能够使施工阶段的组织更为清晰,而充分准备工作能够使各环节衔接更加顺畅。只有在设计与准备形成有机配合时,施工风险才会被有效降低,工程进展才会更为稳定。由此可见,优化设计与强化准备成为施工顺利开展的重要保障。

在大断面浅埋铁路隧道施工中,勘察阶段是确保后续设计与施工顺利开展的重要基础。应通过合理布设钻孔和探槽,系统获取围岩分级、地下水位及土层分布等关键数据,为后续设计决策提供依据。当围岩为Ⅲ类或Ⅳ类软弱围岩时,由于其承载力低且易发生塌方,设计阶段应采取加强支护或超前预加固措施以增强稳定性;当浅埋段覆土厚度不足 10 m 且地表建筑密集时,则需增设临时支护,以分散地表荷载,降低施工扰动带来的风险。在施工准备过程中,应依据设计参数建立标准化样板段,对衬砌厚度、钢筋配筋及喷射混凝土强度等关键指标进行实测校核,确保实际施工与设计要求一致。若检测结果偏离标准,应及时调整混凝土配比或喷射工艺,保证初期支护的密实度与承载力。喷射混凝土强度一般需达到 C25 以上,厚度控制在 20 cm 左右,以保证结构整体稳定。设备选型应符合大断面施工的规模与特性,采用台阶法开挖配合湿喷机械臂作业的模式,不仅能提升喷射效率,还能保证喷层均匀性,减少空鼓和脱落等质量隐患。施工材料进场应严格按照设计用量进行计划与储备,钢拱架间距通常控制在 0.8 m 至 1 m 之间,需根据施工进度动态调整物资供应,防止因储备不足造成工序延误。在施工组织管理方面,要科学编制进度计划,将开挖、支护以及衬砌等关键工序明确到具体日程,确保流程衔接合理。利用 BIM 技术对施工现场进行模拟分析,可以提前识别不同工序间的空间冲突,优化作业顺序,从而减少返工风险,提升整体施工效率。人员安排也应根据施工强度合理分配,实行多班轮换制度,保持 24 小时连续作业状态,以保障施工周期的稳定性和工期节点的如期完成。例如:若单班开挖循环进尺设定为 1.2 m,每日需完成两次循环作业,才能维持计划进度。

2.2 规范开挖方法,严格控制工序

断面浅埋铁路隧道开挖涉及空间范围广、扰动影响大的特点,因此必须科学规范方法和工序。开挖方法的合理性直接关系到围岩受力是否均衡,而工序控制的严谨性则决定了整体结构能否保持稳定^[2]。为减少不必要的扰动,工序安排需要具备清晰的逻辑顺序,使各步骤之间衔接紧密。若在任何一个环节出现随意操作,就会逐步累积风险,进而影响施工安全。相反,当施工方法统一、步骤管理精细时,整体过程才能保持有序推进,从而使工程质量处于稳定状态。

在大断面浅埋铁路隧道开挖过程中,必须精细化规范方法,以减少围岩扰动并保持整体稳定。例如:当隧道断面宽度超过 12 m 时,采用三台阶七步法能有效分散应力集中,避免一次性开挖造成围岩大范围松动。台阶高度通常控制在 2.5 m 至 3 m 之间,开挖循环进尺则稳定在 1.2 m 至 1.5 m,以减少对围岩结构的破坏。在工序控制方面,浅埋隧道位于地表敏感区,控制爆破技术就显得较为重要。施工单位采用光面爆破工艺,孔距与装药量必须严格按照设计参数执行,例如炮孔间距保持在 30 cm 至 40 cm,装药集中在切口孔和掏槽孔,以降低对拱顶和周边岩体的冲击。爆破后立即由装载机和扒渣机清理弃渣,保持工作面干净,为支护创造条件。若工序衔接延误,围岩暴露时间过长,极易引发裂隙扩展或坍塌风险,因此缩短开挖与初支之间的时间间隔成为控制要点。工序安排的合理性体现在爆破和出渣,还涉及通风、排水、支护等多个环节。浅埋段通风条件差,开挖时需要配备大功率轴流风机,风速保持在每秒 0.25 m 以上,以排出有害气体,保障作业环境。在排水措施方面,开挖区必须布设纵向排水沟和集水井,保证渗水及时排出,避免软弱围岩因浸水而失稳。若排水系统不畅,施工面会出现泥化和塌陷,严重影响工序衔接。经过这一系列工序的严密衔接,可以保持施工环境的稳定性,降低事故发生概率。

2.3 加强初期支护,确保衬砌质量

初期支护在大断面浅埋铁路隧道中的性能直接关系到隧道结构的安全,支护强度不足容易扩大围岩变形,导致衬砌承载压力加重,从而影响整体耐久性。初期支护需要保持足够刚度,才能在早期施工阶段形成稳定条件^[3]。同时,衬砌质量的优劣反映在材料强度上,还体现在厚度控制、施工时间以及结构密实度等多个方面。若支护环节处理不当,衬砌效果会受到限制,最终使整体结构稳定性下降。因此,加强初期支护并保障衬砌质量,成为大断面浅埋铁路隧道施工中必须重视的要点。

在大断面浅埋铁路隧道开挖完成后,初期支护需要及时形成稳定结构,以控制围岩变形并为后续衬砌创造条件。喷射混凝土强度等级多设计为 C25,初期厚度一般控制在 18 cm 至 22 cm 之间,若围岩级别较差,则加厚至 26 cm 以上。混凝土在喷射后 2 小时内强度需达到 1.2 MPa,才能保证初期支护具备足够承载力,否则围岩可能出现持续变形,增加衬砌压力。钢拱架间距常保持在 0.8 m 至 1 m,采用工字钢或 H 型钢与喷射混凝土形成整体,提升支护刚度。若拱架布置过稀或强度不足,就会出现受力不均,导致拱顶沉降加大甚至局部破坏,因此精确控制拱架间距是保持隧道稳定的关键。锚杆长度通常为 3 m 至 4 m,间距为 1 m 至 1.2 m,以形成连续受力网络。锚固浆液强度等级不低于 M20,保证与围岩紧密结合。若锚杆质量不达标,支护整体性减弱,极易造成喷层开裂。施工中还需配合设置钢筋网,常用钢筋直径为 $\phi 8$ mm,间距 150 mm,经过与混凝土共同作用,显著提高抗拉性能。实践表明,当系统锚杆数量和钢筋网布设符合设计要求时,围岩变形速率明显降低,拱顶沉降控制在 15 mm 以内,比未设加密锚杆时降低近 40%。在初支完成后,衬砌施工必须紧跟,才能有效分担荷载。隧道二次衬砌常采用 C30 现浇混凝土,厚度根据不同部位控制在 40 cm 至 50 cm,拱顶厚度更大以抵抗上覆土体压力。混凝土浇筑过程中需严格控制坍落度在 160 mm 至 180 mm 之间,以保证密实性。若衬砌厚度不足或密实性不良易出现渗水,从而削弱耐久性。例如:某铁路隧道工程在施工中采用衬砌同步跟进的方式,使得初支与二次衬砌间隔不超过 25 m,结果拱顶沉降峰值控制在 12 mm 以内,衬砌裂缝率低于 0.5%,比传统间隔大于 50 m 的施工方式安全性显著提高。

2.4 加强监测管理,控制地表变形

在大断面浅埋铁路隧道施工过程中,地表沉降问题极易影响工程安全,因此监测管理具有重要意义^[4]。监测需要布设合理的测点,还要求在数据采集、传输以及分析过程中保持高效。管理环节应当形成完整体系,使监测结果能够及时反映施工动态^[5]。沉降一旦超出控制范围,便会使地表环境和隧道结构受到威胁,因此数据的及时分析与反馈成为重点。通过综合管理监测数据,可以稳定施工节奏,减少不可控风险。

大断面浅埋铁路隧道因埋深有限,上覆土层较薄,地表沉降敏感性高,若监测管理不到位,极易影响施工和运营安全。常用的监测手段包括全站仪测量、光纤光栅传感器、静力水准仪以及多点位移计,监测精度要求一般控制在 ± 0.1 mm 至 ± 0.2 mm,以保证数据

能够真实反映沉降变化趋势。监测频率在开挖高峰期需保持每日一次,沉降速率超过 0.5 mm/天时必须立即加密观测,避免沉降累积到不可逆水平。数据一旦超过警戒值,例如累计沉降达到 20 mm 以上,就要立即调整施工参数,否则会使隧道拱顶受力失衡,进而引发裂缝和渗水等问题。现场采集的数据需实时上传至监测平台,结合 BIM 和 GIS 系统开展三维可视化分析。例如:某铁路隧道工程在浅埋段采用光纤光栅传感器与自动采集系统,沉降数据每 30 分钟更新一次,最终使沉降曲线保持平稳,累计沉降控制在 12 mm 以内,比传统人工观测方式减少近 40% 的偏差。除地表沉降,拱顶下沉和隧道周边收敛也是监测的重点,监测数据显示,拱顶下沉速率超过 0.3 mm/天往往预示围岩失稳加剧,周边收敛速率超过 0.4 mm/天则可能导致拱架和喷层受力异常。施工中若能通过实时监测系统,数据偏离正常值时立即预警,就能在衬砌施工前采取加固或调整工序的措施,防止风险扩大。例如:在某浅埋隧道工程中,监测平台曾在拱顶下沉达到 18 mm 时发出警报,项目部立即缩短开挖进尺并加密锚杆布置,最终使沉降控制在 22 mm 以内,避免地表建筑物出现开裂。

3 结束语

大断面浅埋铁路隧道的稳定性关系到铁路结构的长期安全,在复杂地质条件和高强度运输荷载的共同作用下,隧道施工正面临更高的技术要求。为降低风险,施工需从整体出发,综合考虑地质环境与结构要素,推动设计与工序的科学化。未来,施工单位应立足隧道区段特点,深化信息化应用,强化支护与衬砌的协同能力,建立监测预警与管理维护一体化机制,全面提升铁路隧道的运营安全水平。

参考文献:

- [1] 闫磊,姜渝,岳志良,等.大断面超浅埋偏压铁路隧道爆破施工控制与振动传播规律研究[J].振动与冲击,2024,43(22):81-95.
- [2] 祁子鹏,师康宁.大断面超浅埋偏压高速铁路隧道施工安全控制关键技术研究[J].西部交通科技,2024(09):121-124.
- [3] 景银丰.大断面铁路隧道下穿富水堰塘浅埋段施工技术研究[J].价值工程,2024,43(19):67-69.
- [4] 李泽钿.大断面浅埋高速铁路隧道施工关键技术研究[J].工程建设与设计,2024(06):106-108.
- [5] 王广波.大断面浅埋高速铁路隧道仰拱施工关键技术设计及应用[J].工程机械与维修,2023(03):72-74.