

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, 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, 以期能够为保持围岩稳定、控制地表沉降、提高衬砌质量提供有益参考, 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; 初期支护; 监测管理

中图分类号: U455.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.35.029

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的工程特征

大断面浅埋铁路隧道在施工中具有较为突出的工程特征, 其中在空间结构上断面较大, 需要满足列车运行的安全要求, 在施工过程中要考虑整体受力的均衡与围岩稳定。由于浅埋条件使得隧道顶部覆土厚度有限, 受地表环境和地下结构影响较为明显, 施工时需兼顾地层条件与隧道结构的相互作用。隧道断面大带来的受力范围广, 使围岩的稳定性以及承载能力直接决定施工是否顺利, 这一特点要求在技术控制上, 施工单位需更加注重合理的结构设计。与此同时, 大断面浅埋隧道还具有施工空间大、环境扰动范围广的特点, 要求施工人员在施工过程中加强监测结构变形, 以保证隧道整体稳定与地表安全。此外, 施工单位对材料和工艺的要求也应更加严格, 必须保持衬砌质量和支护效果, 以发挥长期运行中的耐久性。

2 大断面浅埋铁路隧道的施工难点

2.1 设计复杂多变, 施工准备要求高

大断面浅埋铁路隧道在设计阶段呈现多变性, 这种特征源于地质条件、地表环境以及隧道本身结构形

式的综合影响。设计内容涉及开挖断面、支护布置与衬砌结构等多个方面, 而这些参数之间相互牵制, 从而使设计环节面临高度复杂的协调关系。由于设计方案的变化直接决定了施工准备的深度, 因此一旦环节处理不当, 就会使后续工序衔接受到影响。同时, 施工准备的要求也因此被大幅度提升, 需要考虑设计中涵盖的多种条件, 还需全面统筹设备、材料以及现场组织。倘若准备工作存在任何薄弱环节, 就会使整体施工过程受到影响, 从而导致工程在初始阶段面临较高的不稳定性。

2.2 开挖扰动显著, 初期支护难度大

在大断面浅埋铁路隧道施工中, 明显扩大开挖作业对围岩和地表环境产生的扰动范围, 岩体原有的平衡状态容易被打破, 导致稳定性减弱。开挖断面越大受力集中越明显, 围岩失稳风险越高, 也随之加大影响范围。扰动效应表现在扩展围岩裂隙, 还反映在改变整体结构受力状态。与此同时, 初期支护面临巨大挑战, 因其需要在较短时间内承受较大荷载, 而大断面条件下荷载分布复杂多样, 使支护结构承载难度增加, 支护一旦不到位, 极易引发变形扩大甚至破坏, 造成施工局面复杂化。

2.3 地表沉降敏感, 监测控制压力大

在浅埋条件下, 大断面隧道施工使地表沉降表现出高度敏感性, 因为隧道上覆土层较薄, 地层应力释放容易传递至地表, 从而加速发生沉降。沉降变化反映在增大数值, 还表现为扩大范围和速率的不均衡, 使沉降规律难以把握。如果地表环境中存在建筑物、道路或其他设施, 就会进一步放大沉降的敏感性, 增加施工风险。与此同时, 监测任务的复杂性和频繁性

大大提升,监测系统需要覆盖的区域更广,数据量更为庞大,从而显著增加分析判断的难度。

3 大断面浅埋铁路隧道施工技术要点控制策略

3.1 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构成施工顺利开展的重要保障。

在大断面浅埋铁路隧道施工中,勘察人员布设一定密度的钻孔和探槽,获取围岩分级、地下水位以及土层分布等关键数据。例如:围岩若为Ⅲ类或Ⅳ类软弱围岩,承载力低且易塌方,则设计中需采用加强支护或超前预加固措施;若浅埋段覆土厚度不足10 m,地表建筑物密集,则需要增设临时支护以分散荷载。首先在施工现场,依据设计参数建立样板段,实测衬砌厚度、钢筋配筋以及喷射混凝土强度等关键环节。例如:喷射混凝土要求在初期支护中达到C25以上强度,厚度控制在20 cm左右,实测数据若偏离设计范围,则需立即调整配比或喷射工艺,从而保持支护效果。其次,设备选型需要满足断面规模较大的特点,采用断面适应性强的台阶法开挖配合湿喷机械臂施工,可以提高喷射效率,保证喷层均匀性。施工材料的进场也必须按照设计用量合理储备,如钢拱架间距常控制在0.8 m至1 m,数量与施工进度紧密挂钩,若储备不足则极易造成工序延误。同时,施工准备阶段要开展施工组织优化,编制详细的施工进度计划,把开挖、支护以及衬砌等关键环节明确到日程。并利用BIM技术模拟施工现场,可以提前发现不同工序之间的冲突,减少因空间不足或流程不顺带来的返工风险。在人员安排上,依据施工强度配备不同班组,保持24小时连续作业,以保证大断面隧道的施工周期不被拖延。例如:单班开挖循环进尺若设定为1.2 m,每日需完成2个循环,才能保持计划工期。这样可以提高施工效率,还能保障工程节点如期完成。

3.2 规范开挖方法,严格工序控制

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。

大断面浅埋铁路隧道在开挖过程中,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。

3.3 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。

大断面浅埋铁路隧道在开挖完成后,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。

3.4 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。经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。施工中若能依靠实时监测系统在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。

4 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,统筹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] 李泽钊.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与设计应用[J].工程机械与维修,2023(03):72-74.