 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.10004

Key Technologies and Quality Control for Ballastless Track Construction in High-Speed Railway Tunnel

Yuxuan Jiang

China Railway 12th Bureau Group, Xinzhou, Shanxi, 034100, China

Abstract

This study focuses on key technologies and quality control in ballastless track construction for high-speed railway tunnels. First, it defines core concepts of tunnel ballastless tracks and analyzes the impact mechanisms of core material properties and tunnel environments on construction processes, establishing theoretical foundations. Second, it systematically examines critical technologies throughout the entire workflow, including pre-construction preparation, construction methods for different ballastless track types, waterproofing and drainage systems, rail laying and locking mechanisms, equipment selection, and seasonal construction practices. Third, a comprehensive quality control system covering pre-construction, construction, and post-construction phases is developed, with clear management priorities for each stage. The study also analyzes causes, prevention measures, and remediation methods for common quality defects, providing practical references for tunnel ballastless track construction and quality management.

Keywords

high-speed railway; tunnel; ballastless track

高速铁路隧道无砟轨道施工关键技术与质量控制

姜宇轩

中铁十二局，中国 • 山西 忻州 034100

摘　要

本文围绕高速铁路隧道无砟轨道施工关键技术与质量控制展开研究，首先界定了隧道无砟轨道的核心概念，分析了核心材料特性与隧道环境对施工的影响机制，夯实了研究的理论基础；其次系统梳理了施工前期准备、不同类型无砟轨道施工、防排水、钢轨铺设与锁定、机械设备选型及季节性施工等全流程关键技术；再次构建了涵盖施工前、施工中、施工后的全周期质量控制体系，明确各阶段管控要点；并分析了常见质量缺陷的成因、预防与处理方法，可为隧道无砟轨道施工与质量管控提供实践参考。

关键词

高速铁路；隧道；无砟轨道

1 引言

我国高速铁路建设快速推进，隧道无砟轨道是保障线路平顺安全的核心结构，隧道封闭空间、复杂地质水文等条件对施工技术与质量控制提出严苛要求。为解决隧道无砟轨道施工的技术与质控难题，本文开展系统研究，为实际工程施工提供理论与技术支撑。

2 相关理论与技术基础

2.1 高速铁路隧道无砟轨道核心概念界定

高速铁路隧道无砟轨道是指在隧道内铺设、无需碎石道床，直接将轨道板固定于基底的轨道结构，主要分为板式、轨枕埋入式等类型，其核心特征是整体性强、稳定性高、维护工作量少，适配高速铁路高速度、高平顺性的运营需求。相较于普通轨道及地面无砟轨道，高速铁路隧道无砟轨道受隧道封闭环境约束，具有抗渗要求高、抗变形能力强、对施工精度要求严苛等特点，主要适用于时速 200 公里及以上高速铁路隧道，尤其适用于地质条件复杂、水文活动频繁、维护作业空间受限的长大隧道。

2.2 高速铁路隧道无砟轨道核心材料特性

高速铁路隧道无砟轨道施工的质量保障，离不开各类核心材料的性能支撑。轨道板作为核心承载构件，须具备高强度、高平整度、抗裂性及耐久性，能长期承受列车荷载的反复作用而不发生明显变形；填充层材料须具备良好的流动性、黏结性和体积稳定性，确保轨道板与基底的紧密贴合，同时具备一定的抗冻融、抗渗性能；扣件系统材料须具备足够的强度、弹性和耐磨性，能有效传递列车荷载，兼顾轨道的平顺性和稳定性；防排水材料则须具备优异的防水、防渗

【作者简介】姜宇轩（1999–），男，中国吉林长春人，本科，助理工程师，从事隧道无砟轨道施工研究。

及抗老化性能，杜绝隧道内地下水渗透对轨道结构造成侵蚀破坏[1]。

2.3 隧道环境对无砟轨道施工的影响机制

隧道自身环境是影响无砟轨道施工质量的关键因素，其影响机制贯穿施工全过程。地质条件方面，隧道围岩的稳定性、风化程度及岩层性质，直接影响轨道基底的承载力和施工安全性，易引发基底沉降、围岩变形等问题；水文条件方面，地下水的水位、水压及水质，会影响轨道材料的性能和施工进度，严重时会导致填充层空鼓、轨道板开裂；温湿度环境方面，隧道内封闭空间的温湿度波动，会使轨道材料产生热胀冷缩，进而引发轨道板翘曲、填充层开裂等病害；施工空间限制方面，隧道断面有限，会制约大型施工设备的作业范围和效率，增加轨道铺设、材料运输及精度控制的难度。

3 高速铁路隧道无砟轨道施工关键技术

3.1 施工前期准备关键技术

施工前期准备是高速铁路隧道无砟轨道施工顺利开展的基础，其关键技术主要集中在三个核心环节。施工测量控制技术以高精度为核心，通过全站仪、水准仪等设备进行隧道轴线、高程及轨道铺设基准的精准测量，建立完善的测量控制网，全程控制测量误差，为后续施工提供精准基准；隧道基底处理技术重点解决基底承载力不足、沉降不均等问题，通过清淤、换填、夯实等工艺，确保基底平整、坚实，满足无砟轨道对基底稳定性的要求；材料准备与预处理技术则聚焦于核心材料的质量管控，对轨道板、填充材料、扣件等进行进场检验，同时根据隧道环境特点，对材料进行预养护、防潮湿等预处理，避免材料性能受环境影响而降低[2]。

3.2 不同类型无砟轨道施工关键技术

不同类型的高速铁路隧道无砟轨道，其施工关键技术存在显著差异，需结合轨道类型的特点针对性施工。CRTS Ⅰ型双块式无砟轨道施工核心是双块轨枕的精准安装与固定，通过模板定位、钢筋绑扎、混凝土浇筑等工序，确保轨枕间距、高程符合规范；CRTS Ⅱ型板式无砟轨道重点在于轨道板的运输、铺设与精调，采用专用吊装设备搬运轨道板，通过砂浆填充层实现轨道板与基底的紧密结合，全程控制轨道板的平顺性；CRTS Ⅲ型板式无砟轨道以自密实混凝土填充为核心，在简化施工工序的同时，重点控制填充层的密实度和强度；短枕埋入式无砟轨道则注重短枕的定位精度，通过整体浇筑工艺，使短枕与道床形成整体结构，提升轨道的整体性和稳定性[3]。

3.3 隧道无砟轨道防排水施工关键技术

防排水施工是保障高速铁路隧道无砟轨道长期稳定的关键，其核心技术围绕“防、排、堵、截”相结合展开。防水板铺设关键技术重点控制铺设平整度和搭接质量，采用热焊方式进行搭接，确保防水板无破损、无漏焊，形成完整的防水屏障；止水带（条）施工技术需保证止水带（条）安装位置准确、固定牢固，接头处衔接紧密，有效阻断地下水渗透路径；洞内外排水系统施工技术则注重排水管道的铺设坡度和连接密封性，确保隧道内地下水能够及时排出，避免积水浸泡轨道结构，防止轨道材料老化、损坏。如图 1 所示。

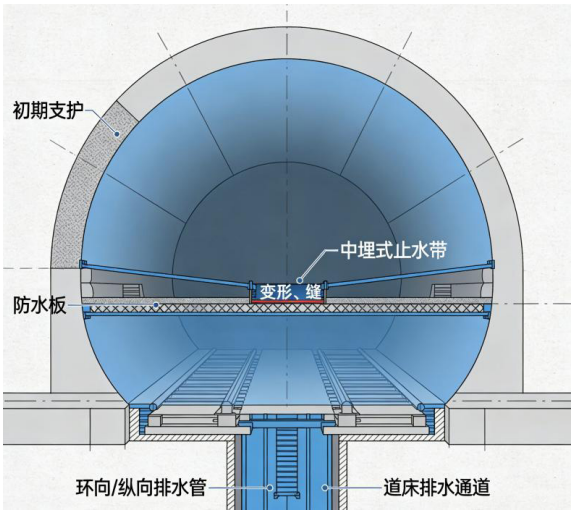


图 1 高速铁路隧道无砟轨道防排水体系构造示意图

3.4 隧道无砟轨道钢轨铺设与锁定关键技术

钢轨铺设与锁定是高速铁路隧道无砟轨道施工的核心工序，其关键技术涵盖四个核心环节。钢轨运输与铺设技术需采用专用运输设备，避免钢轨在运输和铺设过程中发生变形；扣件安装与紧固技术要求扣件安装位置准确，紧固力矩符合规范，确保扣件能够有效传递列车荷载，兼顾轨道的弹性和稳定性；钢轨精调技术通过专业精调设备，对钢轨的高程、轨距、水平等参数进行精准调整，满足高速铁路高平顺性要求；钢轨锁定技术需严格控制锁定温度，避免温度变化引发钢轨伸缩，确保锁定后钢轨的稳定性。

3.5 施工机械设备选型与操作关键技术

施工机械设备的选型与规范操作，是提升高速铁路隧道无砟轨道施工效率和质量的重要保障。精调设备选型需优先选用精度高、稳定性强的专用设备，操作过程中严格按照操作规程进行校准和使用，确保测量、精调数据准确；混凝土浇筑设备选型需结合隧道施工空间特点，选用体积适中、浇筑效率高的设备，操作时控制浇筑速度和振捣质量；防水施工设备需适配防水板铺设、止水带安装等工序，确保施工质量[4]。

3.6 季节性施工关键技术

季节性施工受气候条件影响较大，需结合不同季节的气候特点，采取针对性的施工关键技术，确保施工质量。冬期施工重点做好防冻、保温措施，对混凝土、砂浆等材料采取保温养护，避免材料受冻损坏，同时控制施工环境温度，确保施工工序正常开展；夏季施工需做好防晒、降温措施，避免材料因高温发生性能变化，合理安排施工时间，避开高

温时段，同时加强混凝土的保湿养护，防止出现开裂；雨季施工重点做好排水和防坍塌措施，及时排出隧道内积水，加强隧道围岩防护，避免雨水浸泡基底，确保施工安全和质量。

4 高速铁路隧道无砟轨道施工质量控制体系

4.1 施工前质量控制

施工前质量控制是高速铁路隧道无砟轨道施工质量的前置保障，核心是从源头规避质量隐患。人员质量控制核查相关人员资质与专业能力，开展岗前培训，明确各岗位质量职责；材料质量控制严格执行进场检验制度，不合格材料严禁进场，同时规范材料存放保管；设备质量控制对施工所需设备进行校准调试，确保满足施工精度和效率要求；施工方案质量控制结合隧道实际情况审核方案，确保科学可行、贴合施工需求。

4.2 施工过程质量控制

施工过程质量控制是质量管控的核心，需贯穿施工全工序。测量放线坚持“复测复核”原则，及时纠正偏差，保障测量精度；基底处理重点检查平整度、承载力，验收合格后方可进入下一道工序；针对不同类型无砟轨道，管控关键施工工序，严格执行自检、互检、交接检制度；同时聚焦防排水、钢轨铺设与锁定、混凝土施工等重点环节，及时排查整改质量问题 [5]。

4.3 施工后质量检测与验收

施工后质量检测与验收是质量管控的闭环，确保施工质量符合规范要求。质量检测涵盖轨道几何参数、材料性能等，采用专业设备和科学方法，保证检测数据真实；验收遵循相关标准，按分项、分部、单位工程的流程开展，对不合格部位责令整改；验收资料需规范齐全，整理归档各类施工、检测、验收记录，确保可追溯性，为后续维护运营提供支撑。如图 2 所示。



图 2 高速铁路隧道无砟轨道质量检测与验收流程示意图

5 高速铁路隧道无砟轨道施工质量缺陷预防与处理

5.1 常见质量缺陷类型及成因分析

高速铁路隧道无砟轨道施工中存在多种常见质量缺陷，其成因与施工工序、材料性能、环境条件等密切相关。轨道几何形位偏差主要源于测量控制不精准、基底沉降不均或钢轨锁定温度控制不当；混凝土结构缺陷多由配合比不合理、振捣不密实、养护不到位导致，易出现裂缝、蜂窝等问题；填充层缺陷主要表现为空鼓、开裂，与材料流动性不足、浇筑工艺不规范或养护不及时有关；防排水缺陷多因防水材料破损、铺设搭接不严密或排水系统堵塞，导致地下水渗透；钢轨及扣件缺陷则多由安装偏差、紧固力矩不足或材料磨损引起，影响轨道稳定性。

5.2 质量缺陷预防措施

针对各类质量缺陷，需采取针对性的预防措施，从施工全流程规避缺陷产生。为预防轨道几何形位偏差，需完善测量控制网，加强全程复测复核，严格控制钢轨锁定温度；预防混凝土结构缺陷，需严格把控材料配比，规范振捣工艺，落实全过程养护措施；预防填充层缺陷，需选用合格填充材料，优化浇筑流程，确保填充密实，及时开展养护；预防防排水缺陷，需严格检验防水材料，规范铺设和搭接工艺，定期检查排水系统；预防钢轨及扣件缺陷，需精准安装、规范紧固，定期排查磨损和松动情况。

5.3 质量缺陷处理技术

对于已出现的质量缺陷，需采用科学合理的处理技术，确保整改后满足规范要求。轨道几何形位偏差可通过专业精调设备进行精准调整，调整后重新锁定钢轨，监测稳定性；混凝土结构缺陷需根据缺陷程度，采用表面修补、压力注浆或局部凿除重浇等技术，确保修补后结构强度和完整性；填充层出现空鼓、开裂等缺陷时，可通过钻孔注浆填充空鼓部位，对开裂严重的区域凿除后重新浇筑，保障填充层的承载能力和整体性。

6 结语

综上所述，高速铁路隧道无砟轨道施工是多技术、多环节的系统工程，成熟的施工工艺、闭环的质量控制、有效的缺陷防治是保障施工质量的关键。本文研究贴合工程实际，可为同类隧道无砟轨道工程提供参考，助力提升施工质量与运营稳定性。

参考文献

[1] 卢永刚.隧道内弹性支承块式无砟轨道施工技术研究[J].山西建筑,2026,52(05):144-147.

[2] 康伟.铁路隧道内无砟轨道施工技术应用与质量控制[J].散装水泥,2025,(01):130-132.

[3] 何大利.单线长隧道无砟轨道轨排框架法施工技术[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2024,23(03):54-58.

[4] 张宏龙.高速铁路无砟轨道施工工装设备研究[J].云南水力发电,2023,39(08):99-102.

[5] 赵国堂,李晨曦,宋慧来,等.铁路隧道内无砟轨道上拱变形模型及其应用研究[J].铁道学报,2025,47(01):101-111.