 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.10005

Research on Construction Control Technology for Ballastless Track of High-speed Railway Bridge

Wenlin Wang

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

Abstract

Ballastless tracks, characterized by high stability, minimal maintenance requirements, and excellent ride comfort, have become the predominant track configuration for modern high-speed railway bridges. Construction quality directly impacts operational safety, service efficiency, and service life of high-speed rail systems. Drawing on practical experience in ballastless track construction for high-speed railway bridges, this study systematically identifies core construction control technologies, clarifies critical control parameters, and optimizes existing control strategies. By focusing on precision control during construction phases and deformation management, the research provides technical references for similar projects while establishing practical benchmarks for refined and standardized ballastless track construction practices, ultimately ensuring operational safety and stability in high-speed rail operations.

Keywords

high-speed railway bridge; ballastless track; construction control technology; precision control; deformation control

高速铁路桥梁无砟轨道施工控制技术研究

王文林

中铁十二局，中国 · 山西 忻州 034100

摘　要

无砟轨道具备高稳定性、维修量小、平顺性好的特点，是当前高速铁路桥梁采用的主流轨道形式，施工质量直接影响高速铁路的行车安全、运营效率与服役寿命。本文结合高速铁路桥梁无砟轨道施工实践，梳理施工控制核心技术，明确关键控制要点，优化现有控制方案，重点解决施工阶段精度控制、变形控制两类核心问题，可为同类工程施工提供技术参考，同时为无砟轨道施工的精细化、标准化改进提供实践依据，保障高速铁路运营阶段的安全稳定。

关键词

高速铁路桥梁；无砟轨道；施工控制技术；精度控制；变形控制

1 引言

我国高速铁路网络建设进程中，桥梁工程的占比持续提升，在平原、河谷及山区路段，桥梁是跨越地形障碍、缩短线路里程、保障线路平顺性的核心结构。无砟轨道是高速铁路的核心配套设施，与桥梁结构的协同适配性直接决定线路整体性能，其施工质量与控制水平是高速铁路建设品质的核心评价指标。与传统有砟轨道相比，无砟轨道对施工精度、结构稳定性的要求更高，施工过程中若出现控制偏差，不仅整改难度大，还可能在运营阶段引发轨道沉降、开裂、平顺性不达标等病害，直接影响列车运行的安全性与舒适性。

2 高速铁路桥梁无砟轨道施工控制核心原则

高速铁路桥梁无砟轨道施工控制的核心目标是保障轨道铺设精度、结构稳定性及与桥梁结构的协同性，平衡施工效率与工程质量，为列车安全平稳运行提供基础条件。施工控制需遵循精准性、系统性、动态性原则，精准性要求各施工环节误差严格控制在设计允许范围内，重点管控轨道高程、平面位置精度；系统性要求统筹考量桥梁结构特性、轨道材料性能、施工工艺参数、环境条件等多维度影响因素，覆盖施工全流程开展管控；动态性要求结合施工过程中的现场实际情况，实时调整控制参数，及时应对桥梁变形、环境突变等突发状况，保证控制措施的有效性 [1]。

3 高速铁路桥梁无砟轨道施工全流程控制技术

3.1 底座板施工控制

底座板是无砟轨道的基础构件，直接铺设于桥梁桥面，其施工质量直接决定轨道板的铺设精度与结构整体稳定性。施工前需先对桥面进行清理、打磨，彻底清除浮浆与杂物，将桥面高程误差控制在 3mm 以内，局部不平整区域采用铣刨机或打磨机处理，保证平整度符合施工要求。结合桥梁伸缩缝设置、桥面坡度等条件划分底座板施工段落，合理预留

【作者简介】王文林（1987–），男，中国河南周口人，助理工程师，从事桥梁无砟轨道施工研究。

伸缩缝与假缝，减少温度变化、桥梁变形引发的底座板开裂风险。钢筋绑扎阶段需严格控制钢筋间距与保护层厚度，保证钢筋绑扎牢固，避免出现移位、松动问题，其中钢筋保护层厚度误差需控制在 5mm 以内。混凝土浇筑采用分层连续施工工艺，浇筑速度控制在 2~3m/h，采用插入式振捣器充分振捣，保证混凝土密实，避免蜂窝、麻面、空洞等质量缺陷。浇筑完成后第一时间覆盖养护，养护周期不少于 14 天[2]，养护过程中需管控混凝土表面温度差，防止温度裂缝产生，保证底座板强度稳定增长。整个施工过程需同步监测桥面高程与底座板变形情况，根据监测数据动态调整施工参数，降低桥梁徐变、温度波动引发的底座板沉降、开裂风险，通过工艺优化与精度管控保障底座板施工质量符合设计要求（图 1）。

3.2 轨道板铺设与精调控制

轨道板铺设是无砟轨道施工的核心环节，铺设精度直接决定轨道平顺性，施工时需严格遵循操作流程，重点管控轨道板的定位精度与铺设质量。铺设前需清理底座板表面并铺设隔离层，保证隔离层平整无破损，防止其破损后降低轨道板与底座板的粘结性能。依托 CP 控制网完成精确放样，明确轨道板铺设位置并做好标记，为后续铺设作业提供基准。轨道板铺设需使用专用吊装设备，吊装过程中轻起轻落，避免轨道板碰撞受损，保证铺设后板面平整，与底座板贴合严密。铺设完成后采用精调设备对轨道板进行调整，精调阶段通过全站仪采集三维坐标数据，调节轨道板调整器螺杆，实现轨道板平面位置与高程的精准管控。要求平面位置误差不超过 0.5mm，高程误差不超过 0.3mm，相邻轨道板高差控制在 0.3mm 以内[3]，满足轨道平顺性与精度要求。精调达标后及时锁定轨道板，避免后续施工过程中轨道板发生位移。精调全程需实时监测环境温度，规避温度变化引发的轨道板变形对精度的干扰，可通过优化精调工装与控制方法，缓解大跨度结构竖向位移对轨道平顺性的影响（图 2）。

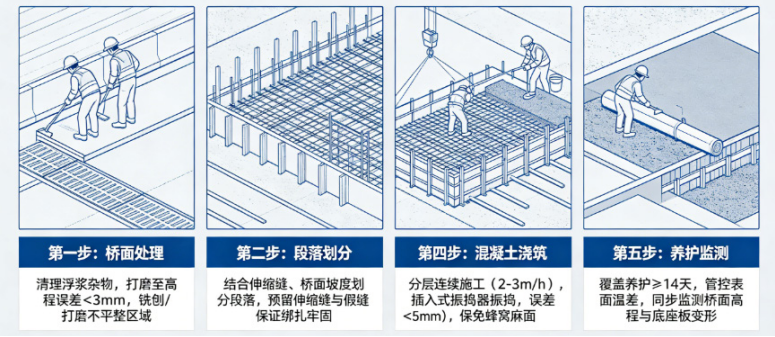


图 1 底座板施工控制流程

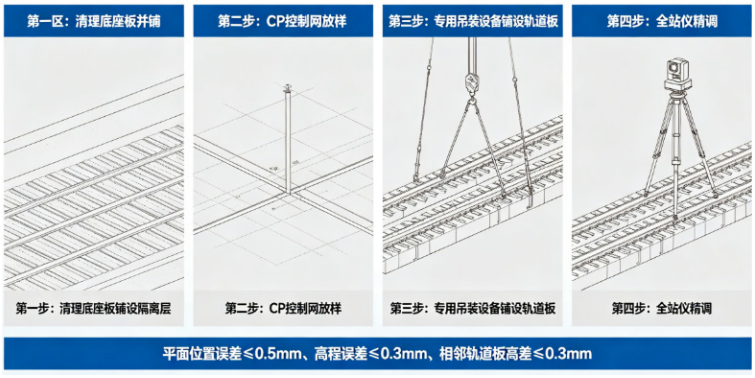


图 2 轨道板铺设与精调控制

3.3 自密实混凝土浇筑控制

自密实混凝土浇筑是轨道板与底座板之间的关键连接工序，浇筑质量直接决定无砟轨道的整体稳定性，施工阶段需严格管控浇筑工艺，保证混凝土填充饱满密实。浇筑前需清理轨道板与底座板的间隙，清除杂物、灰尘，保证接触面洁净，同时检查轨道板锁定状态，防止浇筑过程中轨道板位移。自密实混凝土采用泵送工艺浇筑，浇筑口设置在轨道板预留孔位置，通过布料管将混凝土均匀送入间隙，浇筑速度控制在 1~2m/h[4]，防止速度过快引发混凝土离析、泌水，或速度过慢导致混凝土提前凝结。浇筑过程中需实时观测混凝土填充状态，保证填充饱满，无空洞、离析等缺陷，发现填充不足时及时补浇。浇筑完成后第一时间做表面收面处理，保证表面平整，与轨道板顶面齐平。浇筑完成后及时覆盖养护，养护时长不少于 7 天，养护期间管控混凝土的温湿度，避免温度裂缝产生，保证混凝土强度与粘结力符合设计要求。养护结束后采用超声波检测、地质雷达检测等无损检测方法，检验混凝土的填充质量与密实度，检测频率满足现行规范要求，不合格部位及时返工整改。

3.4 防水层施工控制

防水层施工是提升无砟轨道耐久性的核心工序，主要作用是阻隔地下水、雨水渗透，避免轨道结构与桥梁结构被腐蚀，需严格把控施工质量，保证防水效果。施工前需清理底座板表面，保证表面平整、干燥、无杂物，避免表面凸起、凹陷影响防水层铺设质量。防水层采用防水卷材铺设，铺设时保证卷材平整、无破损、无褶皱，卷材间搭接宽度不小于10cm，搭接部位采用专用粘结剂粘贴牢固，防止搭接不紧密引发渗漏。铺设完成后采用充气检测、蓄水检测等方法检验防水层密封性，确认无渗漏点，检测合格后方可进入下一道工序。 防水层验收合格后及时铺设细石混凝土保护层，浇筑厚度控制在 5~10cm，浇筑过程中避免破坏防水层，保证保护层平整密实，与防水层贴合紧密。保护层浇筑完成后及时养护，避免出现开裂，保证其有效防护防水层，进一步提升无砟轨道的耐久性 [5]。

4 高速铁路桥梁无砟轨道施工控制难点及优化措施

4.1 桥梁徐变变形控制难点及优化措施

桥梁徐变是影响无砟轨道施工精度的主要因素之一，大跨度混凝土桥梁在施工及运营阶段，会受混凝土收缩、持续荷载作用产生徐变变形，引发桥面高程波动，直接降低无砟轨道铺设精度。若变形超出控制阈值，还会诱发轨道沉降、开裂等病害，增加测量及施工管控难度。针对该问题，首先可从材料与工艺层面管控徐变：优化混凝土配合比，在满足强度要求的前提下降低水泥用量，选用级配良好的骨料与低收缩外加剂，从材料端减少收缩徐变潜质；施工中合理排布工序工期，保证混凝土养护时长与养护条件达标，提升结构早期强度，抑制早期徐变发展。其次需完善徐变动态管控机制：建立徐变监测系统，持续采集梁体变形数据，基于监测结果拟合徐变发展规律，选择变形速率稳定的时段铺设无砟轨道，避开徐变集中发展期。针对已产生的徐变偏差，可通过轨道精调技术调整轨道板高程，抵消梁体变形带来的轨道平顺度偏差；也可结合恒载分布特征搭建实时修正模型，同步优化施工工艺与控制网测量精度，降低徐变对施工控制的干扰。

4.2 温度变化控制难点及优化措施

温度变化是无砟轨道施工控制的核心环境影响因素，昼夜及季节温差会引发桥梁结构、轨道材料的热胀冷缩形变，直接导致轨道偏移、接缝开裂等问题，最终降低施工精度与轨道长期稳定性。实际施工中可通过调整工序时间、严格管控混凝土入模温度两种方式，降低温度波动对施工质量的干扰。具体操作中，无砟轨道铺设、混凝土浇筑等关键工序需避开极端高温或严寒时段，高温作业时需配套遮阳、降温措施，将混凝土入模温度控制在规范允许区间内；低温作业时落实保温、防冻方案，保证混凝土强度达到设计增长要求。轨道板铺设与精调阶段需同步开展环境温度实时监测，根据实测温度调整精调参数，抵消温度形变引发的轨道板位置偏差。轨道结构设计阶段需合理布设伸缩缝与假缝，为结构热胀冷缩预留充足形变空间，避免温度应力集中导致的结构开裂。施工全过程需搭建全天候温度变形监测体系，动态掌握温度波动对桥梁及轨道的影响规律，配合动态坐标修正技术，可有效解决温度变化引发的梁长偏差问题。

4.3 施工工艺控制难点及优化措施

无砟轨道施工工序衔接紧密，工艺执行不规范极易引发施工质量偏差，削弱整体控制效果。当前部分施工单位存在轨道板精调操作不达标、混凝土浇筑振捣不充分、防水层铺设密贴度不足等问题，直接形成轨道精度不合格、混凝土密实度不达标、防水层渗漏等质量隐患。针对上述问题，首先需完善施工管理体系，细化各工序的技术要求与控制标准，明确施工流程的刚性规范，同时加强施工人员技术培训，强化人员操作能力与责任意识，保障各项工艺要求落地。施工现场需配备专业技术人员开展全工序旁站监督，第一时间纠正不规范操作行为，确保工艺执行符合设计及规范要求。可通过引入先进施工设备与技术提升工艺水平，例如采用自动化精调设备、智能化浇筑设备减少人工操作误差；推广新型施工工法实现底座与轨道板精调一次成型，在压缩工序流程、提升施工精度与效率的同时，控制施工成本投入。

5 结语

高速铁路桥梁无砟轨道施工控制技术是保障轨道施工质量、支撑线路安全稳定运营的核心技术，覆盖测量、材料、全流程施工管控等环节，需遵循精准、系统、动态的控制原则，依托完备的施工基础条件，针对性解决施工过程中的各类管控难点。合理应用施工控制技术、严格执行各项管控要求，可有效破解无砟轨道施工中的精度偏差、形变超标等问题，全面提升施工质量，保障轨道的平顺性、稳定性与耐久性。现有控制技术已通过多项工程实践验证，实用性与有效性均得到充分印证。当前施工控制技术仍存在人工监测效率偏低、复杂工况下动态调整滞后等局限，后续随着高速铁路建设逐步向大跨度结构、更高运行速度、智能化建造方向发展，可结合智能监测设备、大数据分析等技术优化现有控制体系，进一步提升管控精度与响应效率，推动高速铁路桥梁无砟轨道施工控制技术迭代升级。

参考文献

[1] 李晓东. 高速铁路桥梁及无砟轨道工程施工测量方法[J]. 中国高新科技,2021(7):104-105.

[2] 刘平均. 高速铁路某系杆拱桥无砟轨道施工技术研究[J]. 施工技术(中英文),2022,51(24):56-59,98.

[3] 邓非凡,王波,杨燕,等. 高速铁路桥梁地段双块式无砟轨道破损病害成因分析及治理工艺[J]. 中国铁路,2024(11):61-68.

[4] 孙洪斌,王品皓,渠述锋,等. 高速铁路千米长联桥铺设无砟轨道施工控制[J]. 铁道建筑,2024,64(9):1-5.

[5] 陈默. 高速铁路CRTS双块式无砟轨道施工注意事项[J]. 科学技术创新,2024(10):199-202.