

无砟轨道道床板混凝土性能试验与检测分析

乔凤武

(中铁十二局集团第三工程有限公司, 陕西 太原 030024)

摘 要 针对铁路无砟轨道道床板混凝土性能管控的核心需求, 本文系统构建了覆盖材料性能、试验室标准试验、现场实体检测的全流程分析体系, 明确了道床板混凝土工作性能、力学性能、耐久性能的核心控制指标与检测评定方法, 厘清了各施工环节对混凝土性能的影响机制, 提出了全流程质量优化路径。结果表明, 通过源头配合比精细化设计、生产过程精准化管控、现场施工标准化作业与闭环式检测评定, 可有效保障道床板混凝土各项性能满足高速铁路建设标准, 该试验检测体系可为同类无砟轨道工程的混凝土质量管控提供技术支撑。

关键词 无砟轨道; 道床板; 混凝土性能; 性能试验; 实体检测

中图分类号: U214.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.20.024

0 引言

无砟轨道道床板是轨道结构中直接承受并传递列车动荷载的核心上部构件, 其混凝土性能的稳定性与合规性直接决定轨道几何形位的保持能力、结构耐久性与列车运营安全性。本文围绕无砟轨道道床板混凝土的核心性能要求, 系统阐述其质量控制的技术基准, 构建试验室标准性能试验与现场实体检测相结合的完整分析体系, 明确各检测项目的技术方法与评定规则, 分析混凝土性能的关键影响因素并提出全流程优化措施, 为铁路无砟轨道道床板混凝土工程的性能管控与质量验收提供系统性的技术依据。

1 无砟轨道道床板混凝土的核心性能要求与控制基准

1.1 核心性能技术指标

道床板混凝土需同时满足力学性能、工作性能、耐久性能与施工适配性四大核心维度的技术要求。在力学性能方面, 设计强度等级不应低于 C40, 需同时满足规范规定的抗压强度、抗折强度与弹性模量指标, 保障结构的承载能力与抗变形能力; 在工作性能方面, 需具备高流动性、高黏聚性与良好的保水性, 无离析、无泌水, 满足长距离泵送与现场振捣密实的施工要求; 在耐久性能方面, 需具备优异的抗渗、抗冻、抗碳化、抗氯离子侵蚀性能, 同时具备低收缩、高抗裂特性, 满足高速铁路结构长期服役的设计要求; 在施工适配性方面, 需适配长距离运输、连续浇筑的施工工况, 保证早期强度增长稳定, 养护工艺具备现场可操作性^[1]。

1.2 质量控制的规范依据

道床板混凝土的施工、试验与检测工作需严格执行现行铁路行业标准与规范, 核心依据包括《高速铁路无砟轨道工程施工质量验收标准》《铁路混凝土工程施工质量验收标准》《铁路混凝土结构耐久性设计标准》等, 所有技术指标需以规范强制性条文为底线, 以精细化管控为目标, 确保各项性能指标满足设计与规范的双重要求。

1.3 全流程管控的核心原则

道床板混凝土的性能管控需坚持“源头控制、过程管控、检测闭环”的三位一体核心原则。源头控制以原材料优选与配合比精细化设计为核心, 从根本上保障混凝土的基础性能; 过程管控覆盖工厂化搅拌生产、运输、现场浇筑、振捣与养护全施工环节, 确保混凝土性能的稳定性; 检测闭环以试验室标准试验与现场实体检测为依据, 实现质量的科学评定、问题溯源与持续优化, 形成全流程的质量管控闭环^[2]。

2 道床板混凝土性能的试验室标准试验体系

试验室标准试验是混凝土配合比选定、性能评定与质量溯源的核心依据, 需构建覆盖工作性能、力学性能、耐久性能与变形性能的完整试验体系。

2.1 试验试件制备基准

试验试件的制备必须严格执行铁路行业现行混凝土试验规程, 所用原材料应与现场实际施工用料完全一致, 配合比采用经监理单位审批通过的生产基准配合比。试件采用标准振动台振捣成型, 标准养护试件

作者简介: 乔凤武 (1988-), 男, 专科, 工程师, 研究方向: 铁路轨道。

应置于温度 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不低于 95% 的标准养护室内养护；同条件养护试件需与现场结构同环境放置、同制度养护，以此保证试验数据能够准确反映实体结构的真实性能状态。

2.2 工作性能试验

混凝土工作性能试验主要用于评价其施工适配性，核心检测指标涵盖坍落度、扩展度、含气量、凝结时间及泌水率五项。其中，坍落度与扩展度用于评价混凝土的流动性能，其控制区间应根据泵送距离、现场施工环境温度综合确定；含气量需严格控制在规范规定的范围内，以保证混凝土的抗冻性能与和易性；凝结时间用于匹配现场浇筑与收光作业的时间窗口；泌水率用于评价混凝土的保水性能，混凝土拌合物严禁出现泌水、离析等影响工程质量的现象^[3]。工作性能试验应分别在混凝土出机口和浇筑入模前两个节点进行，以此验证混凝土在运输过程中的性能稳定性。

2.3 力学性能试验

力学性能试验是评定混凝土结构承载能力的核心依据，核心检测项目包括抗压强度、抗折强度与弹性模量。抗压强度试验需分别检测 7 d、28 d 标准养护试件与同条件养护试件的强度值，其中 28 d 标养强度为混凝土强度合格评定的核心依据，同条件养护试件强度用于判定结构实体拆模、张拉等工序的强度条件。强度评定需采用方差未知统计方法，按规范要求进行批量统计与合格判定。抗折强度与弹性模量试验需同步开展，用于验证混凝土的抗变形能力与结构受力适配性，确保满足轨道结构的设计受力要求。

2.4 耐久性能与变形性能试验

耐久性能是保障道床板混凝土长期服役性能的核心指标，核心试验项目包括抗渗等级、抗冻等级、碳化性能、氯离子渗透性能检测。其中，抗渗等级需满足设计要求，评定混凝土的防水渗透能力；抗冻等级需根据项目所处环境类别确定，保障混凝土在温度循环作用下的性能稳定性；碳化性能与氯离子渗透性能试验，用于评定混凝土对钢筋的保护能力，避免钢筋锈蚀引发的结构耐久性失效。变形性能试验主要包括水化热、干缩与温缩试验，用于明确混凝土的体积变形规律，为现场防裂管控提供数据支撑，从源头控制早期裂缝的产生^[4]。

3 道床板混凝土现场实体检测技术与评定方法

道床板混凝土现场实体检测是核验结构实体质量、评定施工实施效果的关键环节，必须建立涵盖外观质量、几何尺寸、实体强度、内部完整性的全维度检测评价体系。

3.1 外观与几何尺寸检测

外观质量检测采用全数目测结合尺量的方法，重点检查表面裂缝、蜂窝、麻面、露筋、错台、棱角缺损等常见缺陷，其中需重点复核表面裂缝的长度、宽度及分布特征，绝对禁止出现影响结构受力性能的有害裂缝。几何尺寸检测采用高精度测量仪器实施，主要检测项目包括道床板宽度、厚度、顶面高程、中线偏移量及预埋件安装位置，所有检测项目的偏差值必须控制在现行规范允许范围内，以满足轨道结构的线形精度及后续轨道部件安装要求。

3.2 强度无损检测与验证性检测

混凝土实体强度无损检测优先选用回弹法，按照批量抽样的原则组织实施，主要用于评价结构实体强度的均匀性及设计符合性。回弹检测必须严格执行《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》的相关规定，按规范要求布置测区，检测数据需经角度、浇筑面等修正后进行计算，最终出具批量强度评定报告。对于回弹检测结果存疑的区域，应采用钻芯取样法进行验证性检测，钻取的芯样试件需进行抗压强度试验，芯样强度值作为该区域实体强度判定的最终依据，以此保证强度评定结果的准确可靠。

3.3 内部密实度与完整性检测

道床板混凝土内部密实度及完整性检测采用超声波检测技术，通过分析超声波在混凝土内部传播的声速、波幅及频率变化特征，判断混凝土内部是否存在空洞、不密实区域、裂缝等内部缺陷。检测时应按网格状布置测线，对钢筋密集区域、混凝土浇筑下料口、施工缝等质量薄弱部位进行重点检测，精准确定缺陷的位置、范围及严重程度，为后续质量问题的处置提供科学依据。

3.4 不合格项的处置流程

对于检测发现的实体强度不足、裂缝宽度超限、内部密实度不达标等不合格项，必须立即启动质量问题闭环处置程序：首先，依据检测数据开展成因分析，明确质量问题发生的具体环节及根本原因；其次，组织专业技术人员制定专项处置方案，经审批通过后实施返工或修补处理；最后，处置完成后进行二次复检，复检合格后方可办理闭环销号手续，严禁不合格工序流转至下一施工环节。

4 道床板混凝土性能的影响因素与全流程优化路径

4.1 核心性能的关键影响因素

道床板混凝土的性能受全流程各环节的协同影响，核心影响因素可分为四大类：一是原材料与配合比因

素,原材料的质量波动、配合比参数的不合理设计,是影响混凝土基础性能的核心源头,水胶比偏高、胶凝材料体系适配性差、外加剂与水泥相容性不足,会直接导致混凝土强度不足、抗裂性能下降、工作性能不稳定。二是搅拌生产与运输因素,计量系统偏差、搅拌时间不合理、运输过程中性能管控不当,会导致混凝土均匀性差、坍落度损失过快,甚至出现离析、泌水等问题。三是现场施工工艺因素,浇筑下料方式不合理、振捣作业不规范、收光时机不当、早期养护不及时,是引发外观缺陷、内部不密实、早期裂缝的主要诱因。四是环境因素,环境温度、湿度、风速的剧烈变化,会加剧混凝土的温缩与干缩变形,提升早期开裂风险^[5]。

4.2 全流程质量优化措施

针对上述影响因素,需从源头到终端实施全流程的质量优化措施。一是配合比优化,遵循低水胶比、低水化热、低收缩、高密实、高耐久的设计原则,严格控制水胶比在0.35以内,采用粉煤灰与矿粉双掺的胶凝材料体系,优化外加剂保坍组分,提升混凝土的抗裂性能与工作性能稳定性。二是生产过程优化,强化搅拌站计量系统的定期校验与日常校核,严控各组分计量误差在规范允许范围内,优化投料顺序与搅拌时间,确保混凝土搅拌均匀,严控出机混凝土的工作性能与温度,严禁不合格混凝土出厂;原材料进场后实行分区储存、统一标识管理,水泥入罐温度严格控制在60℃以下,避免高温影响胶凝材料活性。夏季施工时骨料堆场搭设遮阳棚并定时喷淋降温,冬季对粗细骨料、拌和水采取覆盖保温与加热措施,从原料环节稳定混凝土初始温度。根据当日环境温度、运输距离及道路状况,动态调整外加剂掺量与保坍组分比例,每2小时测定一次混凝土出机坍落度,确保入模坍落度稳定在160mm~200mm区间。混凝土运输采用带保温层的专用罐车,运输途中保持2r/min~3r/min低速搅拌,严禁运输途中加水调整工作性,运输时间超过90min的混凝土一律做报废处理,不得进入道床板浇筑工序。三是施工工艺优化,推行标准化的浇筑、振捣、收光与养护作业,严格控制混凝土入模温度,采用分层连续匀速浇筑工艺,规范振捣作业参数,避免漏振、过振,初凝后及时开展多次收光作业,初凝后立即启动保湿养护,养护期不少于14d,采取温控措施降低混凝土内外温差,严控早期裂缝产生;道床板施工缝须按设计与规范要求位置留置,二次浇筑前对施工缝界面进行人工凿毛处理,凿毛深度不小于10mm,彻底清除浮浆、松动骨料与杂物,并用高压水枪冲洗干净。浇筑新混凝土前,先在界面均匀铺设一层10mm~

15mm厚同配合比无粗骨料水泥砂浆,再进行后续混凝土浇筑,保证新旧混凝土结合面密实无空隙。同时在钢筋密集区域、预埋件周边及模板转角位置增设辅助振捣点,采用小直径振捣器精细化振捣,避免漏振、欠振导致内部不密实,进一步提升道床板混凝土整体均匀性与结构耐久性。四是检测体系优化,增加关键工序的检测频次,推行试验室试验与现场实体检测的联动机制,通过检测数据反向优化施工参数,形成“施工—检测—反馈—优化”的动态提升机制。五是管理体系优化,落实班组质量责任制,推行样板引路制度与可视化技术交底,实现全过程施工影像留存,确保各工序作业的标准化与可追溯性。

5 结束语

无砟轨道道床板混凝土的性能管控是一项系统性工程,原材料优选与精细化配合比设计是保障混凝土性能的基础,工厂化精准生产与标准化现场施工是性能稳定的关键,闭环式的试验检测与数据反馈是质量持续优化的核心支撑。本文针对铁路无砟轨道道床板混凝土的性能管控需求,系统构建了试验室标准性能试验与现场实体检测相结合的完整分析体系,明确了道床板混凝土四大核心性能的控制指标,规范了各试验检测项目的方法与评定规则,厘清了全流程各环节对混凝土性能的影响机制,提出了针对性的全流程质量优化措施。通过全流程的协同管控,可有效保障道床板混凝土的力学性能、工作性能、耐久性能满足高速铁路无砟轨道的建设标准,有效控制早期裂缝、密实度不足等常见质量缺陷。本文研究的性能试验与检测分析体系,可为铁路无砟轨道道床板混凝土工程的质量管控、性能评定与验收工作提供系统性的技术参考,也可同类轨道交通工程的混凝土性能管控提供借鉴。

参考文献:

- [1] 刘佳.湿度影响下双块式无砟轨道道床板新旧混凝土界面力学特性研究[J].铁道标准设计,2023,67(01):115-112.
- [2] 刘栗军.无砟轨道结构横向温度裂缝成因与质量控制研究[J].中国品牌与防伪,2025(04):122-124.
- [3] 林祖东,毕瀚潇.基于CFD的双块式无砟轨道道床板混凝土浇筑模拟分析[J].四川建筑,2019,39(03):83-86.
- [4] 曾志平,申石文,涂勤明,等.桥上双块式无砟轨道道床板防裂优化设计研究[J].铁道工程学报,2019,36(07):19-26.
- [5] 李建伟.高原地区铁路无砟轨道道床板裂纹控制技术[J].山西建筑,2022,48(05):99-101,104.