

高速铁路无砟轨道施工技术及质量控制研究

吴 江

中铁三局集团线桥工程有限公司 河北 廊坊 065200

【摘 要】：高速铁路无砟轨道以其高稳定性、高耐久性、高舒适性等优势得到广泛应用，但其施工质量控制面临诸多挑战。本文基于工程实践，从材料、工艺、环境、管理等维度系统分析了影响无砟轨道施工质量的关键因素。研究指出，材料质量的优劣是无砟轨道性能的决定性因素，而施工工艺水平则关系到轨道结构能否安全、平稳运营。复杂多变的建设环境也给质量控制带来严峻考验。文章提出，应从健全质量管理体系、强化过程质量检测、创新施工工艺技术等方面入手，建立全过程、全方位的质量控制机制。研究可为高速铁路无砟轨道工程建设提供借鉴，促进其实现更高质量、更可持续发展。

【关键词】：高速铁路；无砟轨道；施工技术；质量控制；影响因素

DOI:10.12417/2811-0528.25.08.062

引言

高速铁路作为一种先进、高效、环保的交通运输方式，在促进区域经济社会发展、缓解运输能力瓶颈等方面发挥着不可替代的作用。《中长期铁路网规划》明确提出，到2035年我国高速铁路网规模将达到7万公里。在高速铁路建设中，无砟轨道以其高稳定性、高耐久性、高舒适性等优势得到广泛应用。然而，无砟轨道施工对精度、环境等要求极高，其施工质量直接关系到高速列车的安全运行和旅客乘坐舒适度。2022年国务院发布的《“十四五”现代服务业发展规划》进一步指出加强高速铁路和城际铁路基础设施网络建设，提升铁路基础设施智能化水平。

1 高速铁路无砟轨道施工技术

1.1 无砟轨道的结构组成与技术特点

在高速铁路无砟轨道结构中，钢轨、扣件系统、轨道板（或道床板）、CA砂浆层、底座、路基等是其基本组成部分，各司其职，共同发挥作用。钢轨一般采用60kg/m高强度的贝卡尔特型钢轨，具有良好的抗磨耗性和抗疲劳性能。扣件系统主要由轨距挡板、弹条等组成，起到固定钢轨、调整轨距、传递荷载的作用^[1]。轨道板采用预制钢筋混凝土板，是无砟轨道的关键组成部分，也有采用现浇混凝土道床形式的。CA砂浆层位于轨道板（道床板）与底座间，用于调整轨道板的高度和横向位置，传递和分配列车荷载。底座一般由现浇钢筋混凝土制成，与路基层浇筑一体，支承轨道板并传递荷载，同时防止路基变形。路基部分与有砟轨道相同，为轨道结构提供连续稳定的支撑。

与传统有砟轨道相比，无砟轨道具有一系列技术优势和特点。它能够保证列车高速平稳运行，具有良好的刚度均匀性和几何形位稳定性，沉降小，基本无需养护维修。无砟轨道采用高强度钢筋混凝土结构，抗压、抗拉强度高，结构耐久，使用寿命可达60年以上。由于取消了碎石道床，免去了道砟清筛、捣固等大修工作，大大减少了线路维修养护费用，提高了轨道利用率。无砟轨道的应用还减少了碎石污染和飞溅问题，避免了碎石对列车和轨道部件的损坏。此外，无砟轨道通过设置CA砂浆层，能方便地进行轨道板的高度微调，简化了施工和养护程序。无砟轨道混凝土板质量大，可有效减少振动，降低噪声，改善线路沿线环境，具有良好的减振降噪效果。

2 高速铁路无砟轨道施工技术

2.1 路基施工技术

路基是无砟轨道赖以建立的基础，其施工质量直接影响到轨道结构的安全和稳定。高速铁路对路基强度、刚度、平整度等指标要求很高，因此需要采用加筋土工格栅、水泥粉煤灰碎石搅拌桩等加固措施，提高路基的承载力和稳定性。路基层一般铺设水泥混凝土面层，以防止路基塑性变形和不均匀沉降。

2.2 轨道板预制及安装技术

轨道板是无砟轨道的关键组成部分，采用工厂化预制现场拼装的方式。预制轨道板混凝土强度等级高，一般在C60及以上，钢筋密布，对混凝土拌合物性能、振捣工艺、养护条件等要求非常严格。板底预埋止水螺栓，用于现场固定和微调。轨道板运至现场后，通过专用吊机就位，利用板下调高调距装置

进行精调,满足线路平纵断面要求。

2.3 道床板施工技术

采用道床板式无砟轨道时一般采用滑模摊铺机一次性连续浇筑成型。混凝土下面设置防水层,并预埋管线槽、锚固钢筋等。浇筑过程中要严格控制混凝土配合比、入仓温度、振捣时间等工艺参数,并及时进行表面抹平、塑料薄膜覆盖、洒水养护等,确保混凝土道床板成型质量。

2.4 无缝线路施工技术

无砟轨道多采用100m及以上的长钢轨,施工时一般采用焊前不固定、焊后固定工艺。钢轨焊接采用闪光对焊,焊接工艺参数要优化控制。焊接完成后,利用拉伸器进行恒温、恒力拉伸,使钢轨处于适宜张力。在设置伸缩调节器、锚固段等长大钢轨特殊部位时,施工工艺尤为关键。

2.5 轨道精测精调技术

无砟轨道对线路平顺性要求高,需要在初步铺轨后,利用大型轨道精调车,在钢轨受力状态下进行精调,建立高精度线路几何形位数据库。这就要求轨道要有足够的刚度和稳定性,轨下结构强度、支承层厚度等满足动态荷载要求。同时还需采用高精度、快速检测设备,对轨距、水平、高低、方向等几何参数实施多轮动态检测,为轨道精调提供依据。

3 高速铁路无砟轨道施工质量影响因素

3.1 材料特性:质量溯源、性能匹配的基石

无砟轨道所用的材料如钢轨、预制轨道板混凝土、道床板混凝土、水泥砂浆等,其固有的理化性能直接决定了轨道结构的强度、刚度、耐久性。以预制轨道板为例,混凝土的抗压强度、抗折强度、弹性模量、干缩性能等指标,对轨道板的受力性能、变形特性、开裂风险有着决定性影响。一旦材料品质不过关,再精良的施工工艺也无法弥补^[2]。因此材料质量溯源控制,从源头把好材料入口关,是确保无砟轨道施工质量的基石。同时,还要注重不同材料之间的性能匹配,如钢轨与扣件的匹配、预制板混凝土与钢筋的配合、道床板与底座的贴合等,材料体系的兼容性直接关系到轨道结构的完整性和使用性能。

3.2 工艺水平:质量品质、安全可靠的关键

无砟轨道施工涉及路基处理、轨排架设、钢轨焊接、精调测量等一系列专项工艺,每个环节的施工质量都关系到轨道结构能否安全、可靠、平顺的运营。例如,路基是无砟轨道赖以建立的基础,基床压实度、支承层均匀性等直接影响轨道的承载力和变形控制;轨道板与调高垫板的接触面处理,关系到板底应力的传递和分布;钢轨焊接的电压、时间、冷却参数控制,

决定了焊缝的抗疲劳性能。可见,任何一道工序、一个参数的施工偏差,都可能埋下质量隐患。因此施工单位必须全面提升工艺水平,加强工艺参数控制减少人因干扰,才能确保工程施工的精度、精度。

3.3 环境适应性:优化设计、动态施工的难点

高速铁路建设环境复杂多变,跨越不同地质、气候、地形区,这对无砟轨道的施工质量控制提出严峻挑战。例如,在膨胀土、岩溶塌陷区,地基变形风险大;在风沙侵蚀区,基床被风化;在干湿交替频繁区,混凝土易开裂;在高寒区,材料易冻胀,施工易受阻。可见,不同环境条件会带来材料、结构、施工等一系列适应性问题。设计和施工必须充分考虑环境的差异性影响,才能保障轨道使用功能。这就要求在设计阶段,深入调查了解沿线环境特点,进行工程适应性分析,优化材料配置和结构方案。在施工阶段,要及时获取气象、水文等动态信息,灵活调整施工方案,避免环境突变引发的施工质量事故。

4 高速铁路无砟轨道施工质量控制有效措施

4.1 健全质量管理体系,夯实控制基础

高速铁路无砟轨道施工质量控制的基础在于构建一套全面、系统、规范的质量管理体系。这是保障施工全过程处于受控状态的根本举措。具体而言,需要从质量管理组织、制度建设、操作规范等方面着手,形成责权明晰、执行有力、监管到位的质量管理架构。通过体系化的制度设计和流程再造,强化各参建方的质量主体责任,健全质量问题预防、识别、处置、反馈机制,做到质量行为有据可依,质量问题有人负责,质量管控有章可循。

在质量管理组织方面,应成立以项目经理为首的质量管理领导机构,下设质量控制、质量保证、质量改进等专业化团队,各司其职、协同发力。领导机构要明确质量管理的目标、方针和重点,统筹质量管理的人、财、物等资源配置。质量控制团队要做好施工现场的把关人,严格工序检验、严控关键节点、严查重大缺陷,切实做到事前预防、事中控制、事后检查。质量保证团队要发挥监督员的作用,客观公正地审核质量过程文件和质量记录,确保其完整、规范、可追溯。质量改进团队则要做好参谋员,收集汇总质量问题与改进需求,挖掘质量管理的薄弱环节,制定整改措施,优化管理流程,持续改进质量管理体系的充分性和有效性。三个团队分工协作、有机联动,共同构筑起高速铁路无砟轨道施工质量控制的铜墙铁壁。

4.2 强化过程质量检测,严控关键环节

高速铁路无砟轨道施工质量控制须坚持过程管控与结果管控并重,将质量关口前移至施工过程中的每一个环节。基于

无砟轨道施工隐蔽工程多、工序交叉制约强的特点,单靠终验把关难以全面识别和有效遏制质量问题。必须树立全过程质量管理理念,制定精细的质量检验划分表,明确各工序的质量目标、检验项目和验收标准。尤其要加大对基床施工、轨排架设、精调精测等关键工序的检测力度,通过及时发现、快速反应、严格整改,将质量隐患消除在萌芽状态。只有对每个施工环节精雕细琢、环环紧扣,才能筑牢质量根基,实现高速铁路无砟轨道的优质高效建设。

具体到施工过程质量检测,应重点做好以下工作:制定施工质量检验划分表和施工质量检验项目表,细化分解每道工序的质量目标、检验项目、质量标准,使其可量化、可考核、可追溯。开展基床压实度检测,利用动态击实仪、静态载荷板等设备,严把路基入口关,加强无砟轨道混凝土力学性能检测,重点控制轨道板、道床板的抗压强度、弹性模量等指标;严格控制钢轨焊接质量,确保焊缝力学性能满足设计和运营要求;做好铺轨精度检测,控制轨距、水平、高低、方向等指标偏差;引进先进的检测设备和信息化管理系统,实现质量数据的自动采集、实时传输和智能分析,及时预警质量风险;坚持质量零容忍,对检出的质量缺陷必须真整改、真落实、真见效,防止问题遗留、错漏、反复。通过全过程、全方位、全天候的质量检测把关,方能为高速铁路无砟轨道工程奠定坚实的质量基础。

4.3 创新施工工艺技术,提高精细化水平

施工单位须立足工程实际,与科研机构密切合作,大力开展施工工艺优化和关键技术攻关。要着眼工程全寿命周期,围绕提质增效、绿色环保等目标,加强新材料、新工艺、新设备的研发和应用,打造一批拥有自主知识产权的核心技术。通过持续的工艺创新和技术积累,推动施工组织模式从粗放式向集

约化、精细化转型,为高速铁路无砟轨道的高质量建设提供有力的科技支撑。

在施工装备方面,可大力推广应用高精度铺轨机、轨道板快速运输车等成套设备,提高铺轨和构件运输效率;研制应用轨道板快速安装设备,实现轨道板水平与轨向一次性精确就位;开发钢轨焊接残余应力消除装置,提高钢轨焊接质量。在新材料应用方面,宜加强高性能混凝土配合比、聚合物混凝土等新材料的研究,优化轨道板、道床板力学性能与耐久性;研发高弹性减振材料,提升无砟轨道的减振降噪性能。在数字化应用方面,要积极引入 BIM、物联网、大数据等新一代信息技术,利用 BIM 实现设计、施工、监测等数据的集成共享;建立轨道板、扣件等关键构件的物联网监管平台,实现零部件溯源管理;建立施工过程大数据分析平台,为施工组织优化、工艺改进提供科学依据。同时,还要及时将成熟工艺、先进做法提炼为企业或行业标准,促进先进施工技术的推广应用。唯有坚持创新驱动,以先进工艺引领高质量建设,方能推动高速铁路无砟轨道的高质量发展。

5 结语

综上所述,高速铁路无砟轨道施工质量控制是一项复杂的系统工程,需要在质量管理体系、过程质量检测、工艺技术创新等方面持续发力、标本兼治。只有健全质量管理体系,强化过程质量检测,创新施工工艺技术,才能从体制机制、过程控制、技术支撑等维度为高速铁路无砟轨道工程的优质高效建设提供坚实保障。面向未来,高速铁路无砟轨道施工必将朝着工厂化、数字化、智能化方向发展。这对施工质量控制提出了更高要求,也带来了新机遇。施工企业要顺应新趋势、把握新动向,加快质量管理体系变革,推进关键技术创新,为高速铁路强国建设贡献更多的铁道方案和中国智慧。

参考文献:

- [1] 余振华.高速铁路无砟轨道施工技术 & 质量控制分析[J].科技创新导报,2022(007):019.
- [2] 王启好,蔡小培,鄢录朝,等.高速铁路站桥一体高架车站无砟轨道减振研究[J].铁道学报,2024,46(6):119-128.