

双块式无砟轨道施工质量控制要点

冯 超

中铁九局集团第三建设有限公司 广东 佛山 528000

摘 要：高铁无砟轨道结构与普通轨道结构一样，由钢轨、轨枕、扣件、道床、道岔等部分组成，这些力学性质截然不同的材料承受来自列车车轮的作用力，各部件之间紧密相关，任何一个轨道部件性能、强度和结构的变化都会影响其他部件的工作条件，并对列车运行安全与质量产生直接影响。

关键词：高速铁路；无砟轨道；施工工序；质量控制

中国高速铁路无砟轨道技术已逐步实现系列化、现代化和标准化，无砟轨道施工工序多、质量控制难。为解决无砟轨道施工质量控制难题，加强现场工序质量控制，提高无砟轨道施工实体和外观质量，确保施工质量创优。

1 双块式无砟轨道定义

(1) 定义。采用工厂预制的双块式轨枕与现场浇筑的钢筋混凝土道床板结合形成的整体式轨道结构。钢轨通过扣件固定在双块式轨枕上，轨枕下半部嵌入混凝土道床板内形成刚性承载体系，实现轨道的高平顺性与高稳定性。

(2) 核心特征。结构组成，双块式轨枕：工厂预制，通过桁架钢筋连接两个混凝土块，保证精度与强度。道床板：现场连续浇注混凝土包裹轨枕下部，与底座/支承层分层设计，形成单元分块结构。功能特性，高平顺性：工厂化生产的轨枕精度高，结合现场精调确保轨道几何形位达标。横向稳定性：道床板与底座间设置隔离层和凹槽限位，约束结构位移。经济性：仅含道床板与底座/支承层两层结构，建设维护成本较低。

(3) 技术定位。无砟轨道类型：属于CRTS I型双块式无砟轨道（中国高铁主流类型之一），适应ZPW-2000轨道电路要求。适用场景：广泛用于设计速度120km/h以上的高速铁路，尤其适应桥梁、路基等不同线下基础。区别于板式轨道（如CRTS II型），双块式轨道通过嵌入轨枕形成整体道床，而非铺设预制轨道板。

2 双块式无砟轨道优势

(1) 结构性能优势。高稳定性与整体性，工厂预制的双块式轨枕通过桁架钢筋连接，嵌入现浇混凝土道床板形成刚性整体，轨道几何形位长期保持稳定。分层设计（道床板+底座/支承层）结合限位凹槽，有效约束结构位移，抗横向变形能力突出。高平顺性，轨枕工厂化生产精度达 $\pm 0.5\text{mm}$ ，配合现场轨排精调（误差 $\leq$

$\pm 0.5\text{mm}$ ），保障轨道超高顺坡与线形平顺。耐久性强，混凝土道床板采用双层配筋（配筋率 $0.8 \sim 0.9\%$ ），抗裂性优于板式轨道，设计寿命达60年。

(2) 经济性与维护优势。建设成本低，仅含道床板与底座/支承层两层结构，材料用量少，造价显著低于板式轨道（如CRTS II型）。维修量少，整体结构避免道砟飞溅，日常维护仅需扣件涂油调整，维修工作量比有砟轨道减少50%以上。施工灵活性高，支持成套设备机械化施工，也可人工配合小型机具作业，适应山区隧道等复杂环境。

(3) 环境适应性优势。多场景兼容，通过调整道床板结构（平板型/框架型/减振型），适配桥梁、隧道、路基及跨海大桥等不同线下基础。减振降噪，弹性支承块式变体可应用于减振区段，通过块下弹性垫层吸收振动，降低噪声影响。气候耐受性，混凝土结构内无易老化的沥青材料，耐高低温及冻融循环性能优异。虽存在现浇道床板裂缝控制难度大、外观平整度略逊于板式轨道等问题，但通过优化配筋与养护工艺可有效缓解。

3 双块式无砟轨道施工质量控制要点

(1) 双块式无砟轨道道床板与调平层施工要点。调平层（支承层/底座）施工要点，基面处理，梁面/路基表面需拉毛处理（纹理深度 $\geq 2\text{mm}$ ）或机械刨毛，清除浮浆并植筋锚固，增强层间粘结力。凹槽限位结构周边预留应力释放缝，四角增设防裂钢筋网片避免应力集中开裂。混凝土浇筑与收面，采用分段浇筑+机械振捣，分层厚度 $\leq 30\text{cm}$ ，避免离析；曲线段需用定型模具精准控制 $4\% \sim 6\%$ 排水坡。收面分三个阶段：初刮平整→精抹顺坡→终压光洁，严禁洒水润面，防止强度降低。终凝后及时切割伸缩缝（间距 $\leq 5\text{m}$ ），深度为层厚 $1/3$ ，并覆盖保湿养护 ≥ 7 天。道床板施工核心控制。轨排精调，采用轨排框架集成工具轨、轨枕与扣件，通过螺栓支腿调整高低、轨向锁定器控制横向位移。精调标准：

轨距 $\pm 1\text{mm}$ 、轨向偏差 $\leq 2\text{mm}/30\text{m}$ 、高程 $\pm 2\text{mm}$ 、中线位置 $\pm 2\text{mm}$ ，精调后2小时内需浇筑混凝土。钢筋与绝缘处理，纵向接地钢筋（通常3根）与横向钢筋交叉点用绝缘卡绑扎，节点间距 $\leq 600\text{mm}$ ，摇表检测绝缘电阻 $\geq 2\text{M}\Omega$ 。保护层垫块密度 $\geq 4\text{个}/\text{m}^2$ ，确保钢筋网定位准确。混凝土关键工艺，浇筑前：轨枕喷水湿润3~4次（禁止过湿），钢轨/扣件覆盖防污染。浇筑时：重点振捣轨枕四周及螺杆下方，采用插入式振捣器快插慢提，避免气泡集聚。终凝处理：松开扣件螺栓及支撑螺杆1圈，释放温度应力；抹面后清刷轨枕表面残渣。特殊场景控制。层间衔接，底座与道床板间设隔离层（土工布），接缝处用胶带密封防漏浆；凹槽内贴弹性缓冲垫层。桥梁地段底座预埋套筒连接桥面，隧道地段道床板直接浇筑于仰拱拉毛面上。裂缝预防，混凝土入模温度控制在 $5\sim 30^\circ\text{C}$ ，添加抗裂纤维；初凝后立即覆盖土工布保湿养护。单元道床板长度 $\leq 20\text{m}$ ，相邻板缝宽 10cm ，填塞聚乙烯泡沫板。

（2）双块式无砟轨道钢筋加工绑扎规范。钢筋加工标准，材料规格，采用HRB335级热轧带肋钢筋，抗拉强度 $\geq 455\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 335\text{MPa}$ ，符合《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》（GB 1499.2）要求。钢筋弯曲半径 ≥ 4 倍直径，弯钩角度偏差 $\leq 3^\circ$ 。加工精度，长度偏差 $\pm 10\text{mm}$ ，弯曲位置偏差 $\pm 5\text{mm}$ ；箍筋内净尺寸误差 $\pm 3\text{mm}$ 。钢筋绑扎工艺，底层钢筋铺设，纵向钢筋间距误差 $\pm 20\text{mm}$ ，横向钢筋搭接长度 $\geq 700\text{mm}$ （非接地筋）或 $\geq 600\text{mm}$ （接地筋），搭接点错开距离 $\geq 1000\text{mm}$ 。交叉点用专用绝缘卡固定，绝缘卡间距 $\leq 600\text{mm}$ ，塑料绑扎带双重加固防止脱落。绝缘与接地处理，道床板内设3根纵向接地钢筋，每 100m 设绝缘节点，搭接处焊接长度 $\geq 200\text{mm}$ 。全节点绝缘检测：用兆欧表逐点测试纵向钢筋交叉点，绝缘电阻 $> 2\text{M}\Omega$ ，接地电阻 $< 1\Omega$ 。绑扎规则，双向受力钢筋网外围两行满扎，中间部分可跳扎（隔一绑一），但轨道板边缘 30cm 范围内需满扎。保护层垫块密度 $\geq 4\text{个}/\text{m}^2$ ，厚度偏差 $0\sim +10\text{mm}$ ，采用高强度混凝土垫块。关键控制点，防移位措施，钢筋网与轨枕桁架间隙 $\leq 5\text{mm}$ ，采用U形定位筋固定轨枕桁架位置。桥梁地段底座预埋套筒平面偏差 $\leq 20\text{mm}$ ，高程误差 $+2\text{mm}/-5\text{mm}$ 。缺陷防控，接地焊接后立即更换烧损绝缘卡，避免漏电风险。钢筋绑扎全程防污染，焊接渣及时清除。特殊场景，隧道地段道床板双层双向配筋（配筋率 $0.8\sim 0.9\%$ ），连续浇筑单元长度 $\leq 20\text{m}$ 。桥梁底座凹槽四角增设 $\Phi 8$ 防裂钢筋网片（ $100\times 100\text{mm}$ ）。

（3）双块式无砟轨道轨枕埋设精度控制。轨枕定位

精度标准，平面位置，纵向布枕间距偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，横向中线偏移 $\leq 2\text{mm}$ 。相邻轨枕间距误差 $\pm 1\text{mm}$ ，连续三对轨枕累计偏差 $\leq 3\text{mm}$ 。高程控制，单根轨枕顶面高程误差 $\pm 2\text{mm}$ （相对设计标高）。轨排整体轨面高程偏差 $\pm 2\text{mm}/30\text{m}$ ，轨距公差 $\pm 1\text{mm}$ 。关键施工工艺流程，前期准备，基面处理：梁面/支承层机械拉毛（深度 $\geq 2\text{mm}$ ），弹出轨道中心线墨线（直线段间距 6.25m ，曲线加密至 5m ）。轨枕运输：堆码 ≤ 6 层，底部垫方木防桁架变形，覆盖防雨布防锈蚀。轨排组装与定位，散铺定位：散枕装置按墨线布枕，横向偏移 $\leq 5\text{mm}$ ，纵向间距按设计值 $\pm 1\text{mm}$ 调整。轨枕桁架与钢筋网间隙 $\leq 5\text{mm}$ ，避免混凝土包裹不密实。轨排精调：螺杆调节器每3根轨枕布设1对，粗调轨面高程及中线。防移位加固，U形定位筋卡紧轨枕桁架与底层钢筋，横向位移容差 $\leq 1\text{mm}$ 。扣件螺栓初始扭矩 $200\text{N}\cdot\text{m}$ ，初凝后松开释放温度应力。质量检测与纠偏，过程检测，每5根轨枕复测轨距、高程，轨向偏差 $\leq 2\text{mm}/30\text{m}$ 。绝缘电阻全数检测 $> 2\text{M}\Omega$ ，接地电阻 $< 1\Omega$ 。缺陷防控，模具精度 $\leq 0.25\text{mm}$ ，轨枕出厂尺寸误差 $\leq 1\text{mm}$ （营山智能化轨枕厂标准）。桁架钢筋锈蚀或变形轨枕禁止使用，外观裂纹全数筛选。

4 双块式无砟轨道常见质量问题及防控措施

（1）道床板裂缝控制。轨枕角部“八字裂纹”，成因：轨枕与混凝土收缩差异、温度应力集中。预控：优化混凝土配合比（添加抗裂纤维），控制入模温度 $5\sim 30^\circ\text{C}$ ；初凝后松开扣件螺栓1圈释放温度应力，凹槽四角增设 $\Phi 8$ 防裂钢筋网片（ $100\times 100\text{mm}$ ）。道床板横向开裂，成因：混凝土收缩受限、养护不足或基础沉降。预控：单元板长度 $\leq 20\text{m}$ ，相邻板缝填聚乙烯泡沫板（宽 10cm ）；终凝后覆盖土工布保湿养护 ≥ 14 天，高温时段遮阳降温。

（2）层间粘结缺陷防控。“两张皮”现象（道床板与调平层剥离），成因：基面处理不足、浮浆未清除。预控：基面机械拉毛（深度 $\geq 2\text{mm}$ ，新鲜面 $> 50\%$ ），植筋锚固增强粘结；浇筑前喷水湿润基面3~4次（禁止积水）。烂根与掉角，预控：侧模与基面缝隙用砂浆封堵，重点振捣轨枕四周及模板边缘。

（3）几何精度偏差防控。轨排定位超差，现象：轨距偏差 $> \pm 1\text{mm}$ ，中线偏移 $> 2\text{mm}$ 。预控：轨排精调采用轨检小车，每5根轨枕复测，精调后2小时内浇筑；挡块与承轨台需密贴无间隙，轨枕埋设偏差 $\leq 1\text{mm}$ 。表面平整度不足，预控：底座板收面分三阶段（刮平→精抹→压光），排水坡用定型模具一次成型；道床板平整度 $\leq$

3mm/4m, 激光找平辅助收面。

(4) 钢筋与绝缘缺陷。接地系统失效, 现象: 绝缘电阻 $< 2M\Omega$, 接地端子埋入混凝土。预控: 交叉点用专用绝缘卡双重绑扎, 节点间距 $\leq 600mm$; 焊接后更换烧损绝缘卡, 全数检测绝缘电阻 $> 2M\Omega$ 。保护层厚度不足, 预控: 垫块密度 ≥ 4 个/ m^2 , 钢筋网与轨枕间隙 $\leq 5mm$ 。

5 双块式无砟轨道施工工艺与流程

(1) 施工准备。基面处理, 梁面/路基清除浮浆并机械刨毛(纹理深度 $\geq 2mm$), 隧道仰拱面需拉毛处理。桥梁底座凹槽四角增设 $\Phi 8$ 防裂钢筋网片($100 \times 100mm$), 预埋套筒高程误差控制为 $+2mm/-5mm$ 。测量放样, 基于CPⅢ控制网加密布设中线桩(直线间距6.25m, 曲线5m)。

(2) 轨排组装与定位。轨排框架集成, 工厂预制双块式轨枕(精度 $\pm 0.5mm$), 在组装平台完成轨枕与工具轨连接, 扣件螺栓扭矩 $200N \cdot m$ 。轨距误差控制 $\pm 1mm$, 轨枕间距偏差 $\leq 5mm$ 。粗调与精调, 粗调: 螺杆调节器每3根轨枕布设1对, 初步调整轨面高程及中线。精调: 轨检小车逐枕检测, 控制标准: 轨向偏差 $\leq 2mm/30m$, 高程误差 $\pm 2mm$, 中线偏移 $\leq 2mm$ 。精调后2小时内浇筑混凝土, 防止位移超差。

(3) 混凝土施工。钢筋与绝缘处理, 道床板纵横向钢筋交叉点用绝缘卡绑扎(间距 $\leq 600mm$), 接地钢筋焊接长度 $\geq 200mm$, 绝缘电阻 $> 2M\Omega$ 。保护层垫块密度 ≥ 4 个/ m^2 。浇筑工艺, 路基段: 道床板直接浇筑于支承层, 单元长度 $\leq 20m$, 板缝填聚乙烯泡沫板(宽10cm)。桥梁段: 底座与道床板间设土工布隔离层, 凹槽内贴弹性缓冲垫层。

6 双块式无砟轨道质量控制标准与验收

(1) 几何精度控制标准。轨排定位, 轨距公差

$\pm 1mm$, 轨向偏差 $\leq 2mm/30m$, 单枕中线偏移 $\leq 2mm$ 。高程误差 $\pm 2mm$, 相邻轨枕间距偏差 $\pm 1mm$, 连续三对轨枕累计偏差 $\leq 3mm$ 。基础结构精度, 桥梁凹槽限位预埋套筒高程误差 $+2mm/-5mm$, 凹槽中线位置偏差 $\leq 2mm$ 。道床板长度允许偏差 $\pm 20mm$, 宽度 $\pm 10mm$, 厚度 $\pm 5mm$ 。

(2) 混凝土结构验收标准。强度与外观, 混凝土强度等级C40, 拆模强度 $\geq 5MPa$, 设计强度 $\geq 75\%$ 方可承重。道床板表面平整无裂缝, 裂缝宽度 $\geq 0.2mm$ 需环氧树脂注胶修补。掉角或缺棱深度 $\leq 15mm$ 时采用高强砂浆填补。钢筋与绝缘, 钢筋交叉点绝缘卡绑扎间距 $\leq 600mm$, 绝缘电阻 $> 2M\Omega$ 。保护层垫块密度 ≥ 4 个/ m^2 , 接地电阻 $< 1\Omega$ 。

结论

总之, 无砟轨道施工一般为流水作业, 各工序之间衔接非常紧密, 对各工序施工质量要进行严格把关, 相关施工和现场管理人员可参照上述操作要点进行控制, 要求各道工序作业人员之间提前做好技术交底, 下道工序施工前要对上道工序进行检验和验收, 验收不合格则不得进入下道工序, 不能因上道工序的质量问题影响无砟轨道整体质量及进度, 进而保障高速铁路顺利开通并安全运营。

参考文献

- [1]刘华.铁路路基工程施工质量验收标准分析. 2018.
- [2]张海英.浅谈双块式无砟轨道施工质量控制要点.2023.
- [3]马易难.双块式无砟轨道施工工艺及相关问题研究.社会学,2012-03.
- [4]文剑.浅谈CRTSI型双块式无砟轨道工艺流程和质量控制.建筑设计及理论,2018-12.