

既有铁路轨道改造升级施工工艺与安全管控研究

赵理想

中铁十局集团第四工程有限公司 江苏 南京 210046

【摘要】：既有铁路轨道长期运营中易出现钢轨磨耗、轨枕老化、道床板结、几何尺寸失准等问题，制约行车安全与运输效率，开展改造升级是保障铁路可持续运营的核心举措。本文立足既有铁路运营与施工并行的特殊性，系统梳理轨道改造升级核心施工工艺，涵盖钢轨更换、轨枕更新、道床整治、无缝线路改造、道岔升级及轨道精调等关键环节，剖析各工艺技术要点与实施难点；结合营业线施工“天窗作业、安全优先”原则，深入探究施工全流程安全管控痛点，从方案编制、现场防护、人员机械管理、风险防控、应急处置等维度构建系统化安全管控体系。研究旨在为既有铁路轨道改造工程提供工艺参考与安全保障，推动改造施工标准化、规范化，实现施工质量、进度与运营安全的协同统一。

【关键词】：既有铁路；轨道改造；施工工艺；安全管控；天窗作业；无缝线路

DOI:10.12417/2811-0722.26.04.106

1 引言

我国既有铁路网规模庞大，普速铁路运营年限普遍较长，受行车荷载反复作用、自然环境侵蚀及养护标准限制，轨道结构病害频发，表现为钢轨伤损、轨枕开裂、道床脏污板结、轨道几何尺寸超限、道岔磨耗变形等，直接影响列车运行平稳性与安全性，降低线路通过能力。随着铁路运输向重载、提速方向发展，既有轨道性能已难以满足现代运营需求，改造升级成为铁路基础设施提质增效的重要任务。

既有铁路轨道改造升级区别于新建铁路，核心难点在于施工与运营并行，需在保障正常行车秩序的前提下，利用有限天窗时间完成施工，兼具工艺复杂性、时间紧迫性与安全高风险性。当前部分改造工程存在施工工艺不规范、工序衔接不畅、安全管控漏洞多、质量验收不严等问题，易引发施工延误、轨道病害复发甚至行车安全事故。因此，系统研究既有铁路轨道改造升级施工工艺，构建全流程、全方位安全管控体系，对提升改造工程质量、保障营业线运营安全、降低施工风险具有重要现实意义，也为同类工程提供理论支撑与实践借鉴。

2 既有铁路轨道改造升级核心施工工艺

既有铁路轨道改造升级以“恢复轨道结构强度、优化几何尺寸、提升运营性能”为目标，核心工艺涵盖钢轨更换、轨枕更新、道床整治、无缝线路改造、道岔升级、轨道精调六大关键环节，各工艺需适配天窗作业特点，遵循“分段施工、快速推进、精准成型”原则，具体技术要点如下：

2.1 钢轨更换工艺

钢轨更换是改造核心工序，针对既有钢轨磨耗、裂纹、肥边等病害，采用“旧轨拆除—新轨铺设—焊接锁定—打磨探伤”全流程施工，适配天窗高效作业需求。

(1) 施工准备：提前完成新轨进场检验（材质、尺寸、探伤合格），按设计长度配轨；采用 K922 移动式闪光焊机提前焊接长轨，焊后进行 1:40 轨头打磨，确保接头平顺；封锁前

标记旧轨切割位置、扣件分布，备好拆轨器、锯轨机、轨道吊车等设备。

(2) 旧轨拆除：天窗点内，人工配合液压拆轨器逐段松开扣件，每 10m 保留 1 组临时固定防止钢轨窜动；用锯轨机在距轨枕端部 300mm 处垂直切割旧轨，切口平整无毛刺；采用 50t 轨道吊车分段吊装旧轨，吊运至路肩外侧 1.5m 处堆放，设置防滚挡块，避免侵限；拆除后清理轨枕表面残留扣件、杂物。

(3) 新轨铺设：采用轨排车或换轨车推送新轨，速度控制 5km/h，轨头朝向线路内侧；人工配合拨轨器将新轨精准落槽，按设计轨温预留轨缝（无缝线路除外）；快速安装临时扣件，间距 $\leq 600\text{mm}$ ，扭矩达标固定，防止新轨位移。

(4) 焊接与锁定：无缝线路采用闪光焊或铝热焊，对轨误差控制：高低 $\leq 0.3\text{mm}$ 、左右错牙 $\leq 0.2\text{mm}$ ；执行“预热—顶锻—保压—推凸”四阶段焊接法，焊后立即仿形打磨，轨头粗糙度 $Ra \leq 12.5\mu\text{m}$ ；按设计锁定轨温（ $25 \pm 5^\circ\text{C}$ ）锁定，偏差 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，安装防爬器固定。

(5) 探伤验收：焊接完成后进行超声波探伤，排查内部缺陷；检测钢轨几何尺寸，不合格处及时整改。

2.2 轨枕更新工艺

针对既有混凝土轨枕开裂、腐朽、失效问题，采用“旧枕拆除—基底清理—新枕铺设—扣件安装”工艺，保障轨枕支撑稳定性。

(1) 旧枕拆除：松开旧枕扣件，用起道机抬起钢轨，人工配合机械抽出旧枕，分类堆放；清理枕位处道砟、杂物，平整基底，确保无凸起、凹陷。

(2) 基底处理：对基底松软、翻浆地段，换填级配碎石并夯实，压实度 $\geq 95\%$ ；隧道、桥梁区段做好基底排水，避免积水浸泡。

(3) 新枕铺设：按设计间距精准摆放新轨枕，轨枕中线与线路中线偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，顶面高程符合设计；调整轨枕间距方

正, 误差 $\leq 10\text{mm}$ 。

(4) 扣件安装: 采用匹配型号扣件, 确保扣件与钢轨、轨枕贴合紧密; 分阶段紧固螺栓, 扭矩控制 $40\text{--}60\text{N}\cdot\text{m}$, 无松动、偏斜。

2.3 道床整治工艺

道床是轨道基础, 针对板结、脏污、翻浆冒泥等病害, 采用清筛—补砟—捣固—稳定一体化工艺, 恢复道床弹性与排水性能。

(1) 道床清筛: 采用机械清筛为主、人工辅助方式, 清除道床内泥土、杂物、失效道砟; 清筛深度符合设计, 枕端外砟底做向外排水坡, 避免积水; 清筛污土及时清运, 防止污染线路; 道砟粒径 $< 20\text{mm}$ 的杂质分离, 保留合格道砟复用。(2) 补砟作业: 补充新道砟(级配符合标准), 分层填筑、分层夯实; 曲线、接头、道岔等薄弱区段加密补砟, 增强支撑力。(3) 捣固稳定: 采用 09-32 捣固车进行三次捣固, 首次起道 30mm 、二次 10mm 、三次精捣, 确保道床密实; 配合稳定车作业, 提升道床整体稳定性。(4) 排水优化: 整治道床排水坡度, 疏通侧沟、排水沟, 避免雨水淤积导致道床翻浆。

2.4 无缝线路改造工艺

将既有有缝线路改造为无缝线路, 消除轨缝冲击, 提升行车平稳性, 工艺核心为长轨铺设—焊接—应力放散—锁定—精调。(1) 长轨铺设: 利用天窗点铺设长钢轨, 采用换轨车整体铺设, 减少接头数量; 铺设后临时固定, 防止纵向位移。(2) 焊接成型: 现场采用铝热焊焊接长轨接头, 焊后打磨平顺, 探伤合格; 形成连续无缝线路, 减少列车冲击。(3) 应力放散: 根据施工轨温, 采用钢轨拉伸器进行应力放散, 释放温度应力; 按设计锁定轨温锁定, 安装爬爬设备, 防止钢轨伸缩窜动。(4) 线路精调: 调整轨道几何尺寸, 确保轨距、水平、高低符合无缝线路标准。

2.5 道岔升级改造工艺

道岔是轨道薄弱环节, 针对磨耗、变形、密贴不良等问题, 采用旧岔拆除—基础处理—新岔铺设—调试锁定工艺, 保障道岔转换灵活、行车安全。(1) 旧岔拆除: 封锁后拆除旧道岔钢轨、扣件、岔枕, 清理道岔基础; 对基础病害地段进行加固, 换填碎石或浇筑混凝土。(2) 新岔铺设: 采用整体吊装法铺设新道岔, 精准对位, 控制道岔中线、高程偏差; 调整尖轨与基本轨密贴, 间隙 $\leq 0.5\text{mm}$ 。(3) 调试锁定: 安装道岔转换设备, 调试转换灵活性; 紧固扣件, 锁定道岔位置; 检查道岔几何尺寸、轮缘槽宽度, 符合运营标准。(4) 病害处理: 对道岔辙叉、尖轨等易磨部位, 采用等离子增材修复技术补强, 提升耐磨性。

2.6 轨道精调工艺

改造后轨道几何尺寸直接影响行车安全, 采用“人工粗调

—机械精调—检测复核”工艺, 实现精准成型。(1) 粗调作业: 人工调整轨距、水平、方向, 消除明显偏差; 补充道砟、捣固夯实, 稳定线路基础。(2) 机械精调: 采用轨道精调仪、轨检小车实时检测, 精准调整轨道高低、方向、轨距、水平; 轨距偏差控制 $\pm 1\text{mm}$ 、水平 $\leq 2\text{mm}$ 、高低 $\leq 3\text{mm}$, 满足运营标准。

(3) 检测验收: 精调完成后, 用轨检车全面检测, 出具检测报告; 对不合格地段二次整改, 确保达标后开通线路。

3 既有铁路轨道改造升级安全管控现存问题

既有铁路轨道改造施工处于“行车与施工交叉”环境, 安全风险点多、管控难度大, 当前主要存在以下问题:

3.1 施工方案与计划管理不规范

部分项目未结合营业线特点编制专项施工方案, 对天窗时间、施工流程、风险点预判不足; 施工计划审批不严, 未与车务、电务、通信等部门充分衔接, 导致天窗利用率低、工序冲突; 方案中安全防护措施笼统, 缺乏针对性, 难以指导现场施工。

3.2 现场安全防护体系不完善

(1) 防护设置不到位: 未按规定设置驻站联络员、现场防护员, 或防护人员兼职、临时调换; 防护信号(移动停车牌、响墩、闪光灯)设置不规范、不醒目, 存在漏设、晚设情况。

(2) 联控机制失效: 驻站联络员与现场防护员、施工负责人通讯不畅, 未执行“三方通话”; 通讯中断时未及时停工下道, 易引发行车事故。(3) 限界管控不严: 施工人员、机具、材料侵限, 未设置物理隔离(防护栅栏、警戒带); 大型机械作业半径管控不当, 侵入邻线限界。

3.3 人员与机械管理混乱

(1) 人员安全意识薄弱: 作业人员未经过专项安全培训, 不熟悉营业线施工安全规定; 存在违章作业(跨轨不走通道、酒后上岗、疲劳作业)、冒险施工行为。(2) 机械管控不严: 施工机械未进场验收、无台账; 大型机械(吊车、捣固车)作业无专人指挥, 违规操作; 小型机械防护装置缺失, 易引发机械伤害。(3) 资质审核不严: 特种作业人员(焊工、起重工)无证上岗, 施工队伍无营业线施工资质, 安全技能不足。

3.4 工序衔接与质量安全脱节

施工工序衔接不畅, 前道工序未验收合格即进入下道工序; 焊接、捣固、精调等关键工序质量管控不严, 遗留安全隐患; 施工后未按规定验收, 盲目开通线路, 易引发轨道病害复发。

3.5 风险防控与应急处置不足

未开展全流程风险辨识, 对天窗作业、机械侵限、触电、高空坠落等风险预判不足; 无专项应急预案, 或预案流于形式; 应急物资、设备配备不全, 未定期演练, 突发情况(如设备故

障、行车逼近)时处置不及时。

3.6 管理制度与责任落实不到位

未建立“建设—施工—监理—运营”四方安全责任体系,责任未分解到岗位;安全检查流于形式,“走过场”;对违章行为处罚不严,未形成“零容忍”氛围;安全台账记录不完整,追溯性差。

4 既有铁路轨道改造升级安全管控优化策略

针对上述问题,结合《铁路营业线施工安全管理办法》要求,构建“方案先行、防护到位、人员可控、机械合规、风险预判、应急高效”的全流程安全管控体系,具体措施如下:

4.1 规范方案与计划管理,筑牢安全基础

(1) 编制专项施工方案:结合工程特点、天窗时长、运营需求,编制针对性施工方案,明确工序流程、技术参数、安全防护、质量标准;对高风险工序(道岔改造、无缝线路焊接、大型机械作业)编制专项安全方案,经专家论证后实施。(2) 严格计划审批衔接:施工计划提前申报,经运营、车务、电务等部门联合审批;明确天窗起止时间、施工范围、影响区段,做好各专业衔接;严禁无计划、超计划、超范围施工。(3) 技术交底全覆盖:施工前对管理人员、作业人员进行全员技术交底与安全培训,明确工序要点、风险点、防护措施、应急流程;考核合格后方可上岗,留存交底记录。

4.2 强化现场防护管控,阻断行车安全风险

(1) 落实“三位一体”防护:固定专职驻站联络员、现场防护员、施工负责人,不得临时调换;驻站联络员实时监控列车运行,提前通报;现场防护员按规定站位,设置移动停车信号、减速信号、响墩、闪光灯,拉设防护栅栏;全程保持通讯畅通,执行“三方通话、复诵确认”,通讯中断立即停工下道。(2) 严格限界管控:施工区域设置物理隔离,明确限界范围;人员、机具、材料不得侵限,大型机械安装GPS与电子围栏,实时监控作业范围;材料堆放距线路 $\geq 1.5\text{m}$,设置防滚

措施。(3) 规范登销记管理:严格执行《行车设备施工登记簿》登销记制度,施工前登记、完工后销记,经运营部门签认;无调度命令、未签认严禁上道作业。

4.3 严控人员与机械管理,消除人为与设备隐患

(1) 人员精细化管理:作业人员持证上岗,佩戴安全帽、反光背心、防护鞋;特种作业人员(焊工、起重工、探伤工)必须持证;严禁酒后、疲劳、无证作业;定期开展安全培训与应急演练,提升安全意识与处置能力。(2) 机械标准化管控:施工机械进场验收,建立台账(使用、维修、保养记录);大型机械作业专人指挥,设置警示区,作业半径内严禁站人;小型机械定期检查防护装置,绝缘工具适配轨道电路区段使用;机械故障立即停用,严禁带病作业。(3) 落实安全责任:建立全员安全责任制,签订安全责任书,责任到人;实行“一岗双责”,管理人员兼顾质量与安全;违章行为“零容忍”,严肃处罚并追责。

5 结论

既有铁路轨道改造升级是恢复线路性能、保障行车安全、提升运输效率的关键工程,施工工艺的规范性与安全管控的有效性直接决定工程成败。本文系统梳理了钢轨更换、轨枕更新、道床整治、无缝线路改造、道岔升级、轨道精调六大核心施工工艺,明确各工序技术要点与实施标准;深入剖析了方案管理、现场防护、人员机械、风险应急等方面的安全管控痛点,构建了全流程、全方位的安全管控体系。研究表明,既有铁路轨道改造需立足“运营与施工并行”的特殊性,以标准化施工工艺为核心,以系统化安全管控为保障,通过规范方案计划、强化现场防护、严控人员机械、严把工序质量、防控安全风险、健全管理制度,实现施工质量、进度与运营安全的协同统一。未来,随着铁路技术不断发展,需持续优化改造工艺,引入智能化、信息化管控手段,提升改造施工的高效性与安全性,为既有铁路网提质增效、可持续运营提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 国家铁路局.铁路营业线施工安全管理办法[S].2021.
- [2] 王强.既有铁路轨道改造施工工艺与质量控制[J].铁道建筑,2024,64(02):102-105.
- [3] 李刚.营业线轨道升级改造安全管控要点探析[J].铁路安全,2023(05):45-48.
- [4] 张磊.无缝线路改造施工技术与管理[J].铁道工程学报,2022,39(08):98-102.
- [5] 刘军.既有铁路道床整治与轨道精调施工技术[J].交通科技,2021(06):78-81.
- [6] 陈峰.营业线施工机械安全管控与风险防控[J].建筑机械,2023(07):56-59.
- [7] 赵伟.道岔升级改造施工工艺及安全措施[J].铁路技术创新,2022(04):67-70.
- [8] 黄明.既有铁路改造天窗作业效率与安全优化[J].铁道运营技术,2024,30(01):32-35.