

朔黄重载铁路小半径曲线换铺无缝线路的施工技术分析

武殿康

朔黄铁路原平分公司 034100

【摘要】近年来，我国铁路行业逐渐向重载化、高速化趋势迈进，无缝线路以其噪音低、寿命长等优势，被广泛应用到铁路运输效能优化等方面，并成为施工过程的核心技术支撑。朔黄铁路作为我国大宗商品运输的主要渠道，需要长期投入运营，其中小半径曲线区段在列车持续离心力冲击下，容易加剧钢轨磨耗等病害，会在一定程度上增加线路维护成本，并加大安全事故发生率。对此，本文将针对朔黄重载铁路小半径曲线无缝线路换铺施工技术展开研究，旨在为突破既有线路技术瓶颈奠定基础。

【关键词】朔黄重载铁路；小半径；曲线换铺；无缝；施工技术

Construction technology analysis of small radius curve replacement of seamless track on Shuohuang heavy railway

Wu Diankang

Shaohuang Railway Yuanping Branch 034100

【Abstract】In recent years, China's railway industry has gradually moved towards heavy-haul and high-speed trends. Seamless tracks, with their advantages of low noise and long lifespan, have been widely applied to optimize railway transportation efficiency and serve as the core technical support in construction processes. The Shuohuang Railway, as a major channel for bulk cargo transportation in China, requires long-term operation. In the small-radius curve sections, continuous centrifugal force impacts can exacerbate rail wear and other issues, increasing maintenance costs and raising the risk of safety incidents. This paper focuses on the research of seamless track replacement technology for small-radius curves on the Shuohuang Heavy-Haul Railway, aiming to lay the foundation for breaking through existing technical bottlenecks.

【Key words】Shuohuang heavy railway; small radius; curve replacement; seamless; construction technology

引言：

受复杂地形地貌的约束，朔黄重载铁路小半径曲线在施工过程中，普遍存在空间狭小的问题，加上列车运输任务繁重，导致换铺无缝线路施工只能在极为短暂的天窗期内开展。也正是由于施工环境特殊，所以施工单位难免面临安全隐患多、工期紧迫、精度控制难等问题。在实际施工中，一旦核心步骤出现技术偏差，就容易造成轨道结构失稳等问题，严重甚至会引发列车脱轨等灾难性事故。因此，深入探究适配朔黄铁路小半径曲线工况的无缝线路换铺技术，不仅能筑牢施工安全防线，还能显著提升施工效率，大幅削减后期养护成本，对保障运输渠道安全运行有积极影响。

一、工程概述

朔黄铁路是我国大宗商品运输的重要载体，每年承担超 3.5 亿吨晋陕蒙煤炭外运任务，对保障国家能源安全意义重大。全长 598km 的线路中，小半径曲线区段占比达 28%，最小曲线半径仅 400m。长期受重载列车离心力、冲击力作

用，钢轨磨耗、轨枕损坏等问题频发，传统无缝线路已难以满足高强度运输需求。为此，朔黄铁路启动小半径曲线无缝线路换铺工程，通过铺设超长钢轨、优化轨道结构，提升线路平顺性与稳定性，降低设备维护成本。但工程面临三大挑战：曲线区域空间狭窄，大型机械作业受限；每日 120 分钟“天窗期”内需完成多道复杂工序，时间紧迫；钢轨伸缩量、锁定轨温等参数把控要求极高，施工精度直接影响线路安全。施工团队应通过技术创新与科学管理，实现施工效率与质量的双重提升，为朔黄铁路持续安全高效运行筑牢基础。

二、朔黄重载铁路小半径曲线换铺无缝线路的施工技术要点

（一）施工准备

施工准备是朔黄重载铁路小半径曲线换铺无缝线路的重要基础工作，需从技术、设备、物资、场地及人员等多维度系统筹备。在技术资料方面，全面整合历史档案，运用 GIS 与卫星遥感影像结合地质数据，深入分析施工区域环境，组织团队对曲线及轨道参数进行二次验算，严格依据行

业标准编制施工技术文件,为施工提供精准指引。机械设备调配时,针对小半径曲线作业空间局限,选配轻量化钢轨拉伸机、车载式焊轨机等紧凑型设备,同时配备智能监测仪器实现施工过程动态监控。施工前对设备全面检修,建立性能台账,储备易损件并制定应急方案,保障设备稳定运行^[1]。物资材料检验上,构建全流程质量管控体系,对钢轨、轨枕等核心材料进行外观、尺寸及性能检测,采用信息化手段管理材料存储与供应,依据施工进度动态调整采购计划,确保物资供应连续且经济。施工场地规划借助 BIM 技术建模,结合“天窗期”科学划分功能区域,优化材料运输路径,搭建临时设施解决通行问题,精准定位既有管线并制定迁改方案,设置多层安全防护措施,营造安全作业环境。人员组织培训方面,组建专业化施工团队,明确岗位职责,开展定制化培训课程,涵盖理论知识、实操训练与安全演练,并实施三级技术交底制度,确保各层级人员熟练掌握施工技术与安全规范,全方位为换铺施工筑牢基础,保障工程顺利推进。

(二) 施工技术流程

1. 拆除旧轨

在“天窗期”开启前,施工团队需系统开展旧轨拆解筹备工作:先利用轨道检查仪对旧轨线路进行全方位精细测量,精准标记钢轨损伤点与失效轨枕位置,据此制定针对性拆除方案,为后续作业明确方向;再根据运输条件与吊装设备承载能力,使用专业钢轨切割机将旧轨分段切割为 12-18m 的长度,确保单段重量适配吊运需求,并同步拆除扣件系统,分类存放弹条、轨距挡板等零件,便于回收处理^[2]。进入拆除与运输阶段,采用轨道吊车协同人工逐段起吊旧轨,针对小半径曲线区段钢轨受横向力的特性,精确调整吊车位置与角度,避免起吊时钢轨摆动碰撞;旧轨拆除后即刻通过轨道平板车运往指定场地,运输途中采取加固措施防止钢轨滚动移位,同时利用叉车转运旧轨枕,集中堆放并做好标识,为后续回收或废弃处置奠定基础。

2. 道床整理

在道床处理环节,施工前先运用地质雷达全面探测道床,掌握厚度、道砟级配及病害分布,据此制定清筛计划,并调试维护清筛机,储备易损件,同时规划好污土存放区、新道砟堆放区及运输补给路径。清筛作业时,启动清筛机利用环形挖掘链挖出掺杂杂物的道砟,经闭环系统输送至清筛装置,通过高频振动筛网分离污土与道砟,洁净道砟回填;对小半径曲线外股道床深度清筛,清筛深度比直线段增加 10-20cm,作业中用激光测距仪监控,确保不破坏路基,清筛后道砟洁净度达 90% 以上,污土统一运至弃土场。清筛后,依设计标准用道砟运输车补充新道砟,借轨道龙门吊或人工散布,用全站仪测量调整,保证道床厚度与坡度达标,曲线外股适量多补;再利用捣固车分层捣固,每层不超 30cm,

小半径曲线段提高捣固频率与深度,后用道床稳定车压实整形,使道床阻力与刚度符合标准,同时修整边坡至 1:1.75 坡度,必要时防护,为后续施工筑牢基础。

3. 轨枕铺设

在轨枕铺设工序中,施工团队先利用轨道平板车将新轨枕高效运输至现场,再借助专业化轨枕散布机,严格按设计间距均匀铺设于道床之上。针对朔黄重载铁路小半径曲线区段,考虑到列车通过时曲线外股承受更大荷载与冲击力,特对曲线外股轨枕铺设间距进行加密处理,以增强轨道承载能力。散布过程中,通过高精度测量仪器实时监测,确保轨枕间距误差控制在 $\pm 20\text{mm}$ 以内,且轨枕与线路中心线垂直。完成散布后,采用人工与机械协作方式,对轨枕进行方正调整,使其中心与线路中心线精准对齐^[3];随后铺设橡胶垫板,并依次安装弹条、轨距挡板等扣件系统部件,运用扭矩扳手严格控制扣件紧固力至 $120-150\text{N}\cdot\text{m}$ 的设计标准。在曲线地段,为抵御列车荷载产生的纵向力,通过加装防爬器、紧固连接件等防爬锁定措施,强化轨枕与道床的联结强度,全方位保障轨道结构在复杂工况下的稳定性与可靠性。

4. 长轨条铺设

在长轨条施工过程中,首先由具备稳固承载结构与可靠运输性能的长轨列车,将长轨条运送至施工现场周边的临时存轨场,再通过具有强大牵引力和精准操控性的专用长轨牵引车,将长轨条转运至铺设起点。卸轨时,依靠长轨放送装置实现缓慢有序卸放,严格把控放送速度,避免长轨条与地面摩擦受损;针对朔黄重载铁路小半径曲线区段,施工团队依据曲线半径精准计算预弯量,利用专业设备与工艺对长轨条进行预弯处理,确保其与曲线几何形状相契合。长轨条卸放至道床后,借助具备强大推送能力和精确定位功能的长轨推送装置,沿轨枕承轨槽将其推送至铺设终点,每完成一段铺设,即刻安装临时联结件固定相邻轨条,防止移位;在曲线地段铺设时,通过专业测量仪器与技术实时监测长轨条中心线与线路中心线偏差,及时调整至 $\pm 10\text{mm}$ 以内,保证轨道线形严格符合设计标准,为列车安全平稳运行筑牢基础。

5. 钢轨焊接

焊接作业前,施工团队对长轨条接头区域开展系统性预处理,运用角磨机、钢丝刷等工具全面打磨钢轨焊接部位,彻底清除锈斑、油渍及氧化层,直至显露出洁净金属表面,为优质焊接奠定基础;同时采用钢轨端面打磨机精细研磨钢轨端部,将端面平整度误差严格控制在 0.3mm 以内、垂直度误差不超过 0.5° ,保障钢轨接头精准对接。在此过程中,同步对移动式闪光焊轨机的电气、液压及控制系统等核心部件进行全面检测调试,核查焊接电流、电压、顶锻时间等关键参数设定值,确保设备性能达标^[4]。焊接施工时,采用移动式闪光焊轨机将打磨合格的钢轨接头精准对齐,严格按照

闪光预热、烧化、顶锻等标准工序操作,精准调控电流强度、电压幅值、顶锻压力及持续时间,促使钢轨在高温下实现分子级结合,形成高强度接头。针对朔黄重载铁路小半径曲线区段钢轨受力复杂的状况,预先使用特制锁定装置固定钢轨,抵消纵向与横向力影响,避免焊接位移变形。焊接完成后,迅速对焊缝凸起部分进行推凸处理,并利用专用打磨设备精细打磨焊接接头,使平整度、轮廓尺寸等指标契合设计规范,保障轨道表面平顺,为列车安全运行筑牢防线。

6.应力放散与锁定

应力放散与钢轨锁定是保障无缝线路稳定运行的关键环节。施工时,需精准把握轨温窗口,在与设计锁定轨温相差不超过 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的时段内开展应力放散作业,确保钢轨处于适宜温度状态以释放内部应力。可选用滚筒法或拉伸器法,前者通过松开扣件、铺设特制滚筒构建自由伸缩环境,后者借助液压拉伸设备施加可控外力使钢轨纵向位移;作业全程利用轨温传感器与位移监测装置实时采集数据,依据监测结果灵活调整参数,保证应力充分释放且均匀分布。当应力放散达标后,即刻启动钢轨锁定流程,作业人员使用定扭矩扳手按既定扭矩紧固扣件,恢复轨道纵向阻力,将钢轨锁定在设计轨温。针对小半径曲线区段,对曲线外股钢轨采取强化锁定措施,加大扣件紧固力矩并加装防爬器、轨距杆等设备,抵御列车运行产生的横向推力与纵向爬行。锁定完成后,运用轨道几何状态测量仪全面复测轨距、水平、高低等参数,及时精调偏差,确保轨道各项指标符合设计规范,为列车安全运行筑牢基础。

7.轨道整理与验收

轨道铺设完毕后,立即启用配备先进激光测量系统和惯性导航装置的高精度轨道检测车,对轨距、水平状态、高低起伏以及线路方向等关键几何参数展开地毯式检测。凭借其卓越的检测性能,该设备能够以毫米级的超高精度,敏锐捕捉轨道实际线形与设计标准之间的细微偏差,并形成详细的数据报告。基于检测数据,施工团队迅速调配捣固车、稳定

车等专业机械设备,展开精细化调整作业。捣固车借助液压捣镐,对道床实施分层捣固,通过精确控制捣固力度与深度,有效校准轨道的高低不平和水平偏差;稳定车则利用高频振动压实技术,对道床进行深度压实,显著增强道床的横向阻力与整体结构稳定性。在朔黄铁路小半径曲线区段,采用全站仪联合轨检小车,对曲线正矢进行逐点精确测量,依据测量结果,灵活调整轨枕间距、更换不同厚度垫板,全力保障曲线圆顺度达到设计要求,最大限度减少列车运行时的振动与晃车现象^[5]。工程竣工后,建设单位迅速组织设计、施工、监理等多方单位,严格依据国家和行业相关标准,开展全面的质量联合验收工作。验收过程中,运用超声波探伤仪对钢轨焊接接头进行全断面探伤检测,利用落锤弯沉仪科学评估道床承载性能,借助扭矩扳手随机抽检扣件紧固力矩,并再次对轨道几何尺寸进行细致复测。针对验收过程中发现的轨距超标、焊接质量缺陷等问题,及时建立整改台账,明确责任主体和整改期限,实施闭环销号管理。整改完成后,立即组织二次验收,直至所有指标全部达标。与此同时,系统梳理、汇总施工日志、材料检验报告、各项检测数据等技术资料,精心编制质量验收报告,为工程顺利交付使用以及后续的养护维修工作提供详实可靠的依据。

结束语:

综上所述,朔黄重载铁路小半径曲线无缝线路换铺工程,通过科学完备的施工筹备体系、全流程精细化技术管控和严苛的质量监督机制,成功破解了曲线区域作业环境复杂、钢轨受力多变等技术瓶颈。施工过程每道工序均严格遵循技术标准,确保无缝线路具备优异的平顺性与结构稳定性。该工程不仅大幅提升了线路运输效率与安全水平,更为我国重载铁路在复杂曲线区段的升级改造提供了可复制的技术方案,对推动铁路工程技术创新有实践价值。

参考文献

- [1]白新荣.重载铁路小半径曲线桥梁线桥偏心整治方案研究——以朔黄铁路恢河特大桥为例[J].工程技术研究,2022,7(11):21-24.
 - [2]张斌,高玉祥,陈再刚,等.基于GM(1,1)-IPSO-BP的重载铁路小半径曲线钢轨磨耗预测方法[J].哈尔滨工业大学学报,2024,56(11):115-122,131.
 - [3]王利军.重载铁路400m小半径曲线线桥偏心整治效果及演化趋势预测[J].铁道建筑,2023,63(2):72-76.
 - [4]何占元.重载铁路线梁偏心对小半径曲线桥梁性能的影响[J].铁道建筑,2023,63(11):74-81.
 - [5]王敬.朔黄重载铁路半径400m曲线线路钢轨打磨周期[J].铁道建筑,2023,63(11):42-45.
- 作者简介:武殿康(1996.7-)男,山西孝义人,本科,助理工程师,研究方向:铁路工务专业。