

铁路工程桥梁施工工艺解析

周 仪

常熟市铁路与航空事业发展中心 江苏 苏州 215500

摘 要: 铁路工程桥梁施工工艺涵盖多种结构形式与施工方法。按结构分为梁桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥等,各有独特施工要点;按方法有现浇、预制架设、顶推、移动模架等。工艺选择需考虑地质、跨度荷载、经济环保等因素。关键施工包括基础、上部结构及特殊工法应用。同时,需强化质量控制,应用智能化技术,推进绿色施工,确保桥梁安全、耐久且环保。

关键词: 铁路工程; 桥梁; 施工工艺

引言: 铁路作为国家重要基础设施,桥梁工程是其关键组成部分,直接关乎铁路运行的安全与效率。随着铁路建设向高速化、大跨度、复杂地质环境方向推进,桥梁施工工艺面临更高挑战与要求。从传统工艺到现代技术创新,施工工艺不断优化升级,以适应多样化的工程需求。深入解析铁路工程桥梁施工工艺,对提升施工质量、保障铁路运营安全、推动行业技术进步具有重要意义。

1 铁路工程桥梁施工工艺体系

1.1 施工工艺分类与特点

(1) 按结构形式: 梁桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥施工工艺差异明显。梁桥以简支梁、连续梁为主,施工流程简洁,侧重支架搭设或预制架设,适配中小跨度铁路桥段;拱桥需重点控制拱圈浇筑或拼装精度,兼顾受力平衡,多适用于地形复杂、景观需求较高的区域;斜拉桥核心是塔柱施工与斜拉索张拉,对施工测量精度要求极高,适配大跨度、大荷载铁路桥梁;悬索桥依赖主缆架设与锚碇施工,施工难度最大,多用于超大跨度、跨越江河湖海的铁路重点工程。(2) 按施工方法: 现浇施工、预制架设、顶推施工、移动模架施工等工艺各有优劣。现浇施工适应性强,可适配异形桥梁结构,但现场作业量大、工期长,受天气影响明显;预制架设实现工厂化生产,构件精度高、现场安装快捷,能有效缩短工期、减少现场污染,是当前铁路梁桥的主流工艺;顶推施工无需大型吊装设备,适合跨越既有线路、河道的桥梁施工,但对梁体刚度要求高;移动模架施工兼具现浇与预制优势,可现场连续浇筑梁体,适配多跨连续梁施工,效率介于现浇与预制架设之间^[1]。

1.2 工艺选择原则

(1) 地质条件适应性。地质条件是工艺选择的核心前提,需根据地层特性匹配对应工艺与基础形式。如软

土地地质承载力低、沉降量大,优先采用桩基础穿透软土层,保障桥梁稳定性;岩溶地区地层空洞多、地质复杂,采用沉井基础可有效规避岩溶隐患,增强基础抗倾覆能力;岩层地基则可结合实际采用扩大基础,降低施工成本。(2) 跨度与荷载需求。铁路桥梁需满足列车行驶的荷载要求,跨度直接决定工艺选型。中小跨度(20-50米)桥梁可采用预制架设梁桥工艺,兼顾效率与成本;大跨度(50米以上)桥梁需优先采用斜拉桥或悬索桥结构,搭配对应的塔柱、主缆施工工艺,确保桥梁受力合理、运行安全;特大跨度跨越工程则需结合现场条件,优化斜拉-悬索组合工艺,平衡跨度与荷载需求。(3) 经济性与环保性。工艺选择需兼顾造价控制与生态保护,实现效益最大化。工厂化预制构件可减少现场浇筑带来的粉尘、噪音污染,降低现场作业人员数量,同时提升构件质量,缩短现场施工工期;模块化施工可将桥梁拆解为标准化模块,现场拼装作业,减少现场作业量,降低施工对周边植被、水体的影响;同时需对比不同工艺的造价差异,规避过度追求施工速度而导致的成本浪费,实现经济性与环保性的统一。

2 铁路工程桥梁关键施工工艺解析

2.1 基础施工工艺

(1) 钻孔灌注桩: 作为铁路桥梁应用最广泛的基础工艺,核心流程包括旋挖钻机成孔、泥浆护壁、水下混凝土灌注三大环节。施工时优先采用旋挖钻机成孔,其效率高、噪音低,适配多种地层,成孔过程中需严格控制孔位偏差与孔径尺寸;泥浆护壁是关键防护措施,通过配置合格泥浆形成泥皮,隔绝孔壁与地下水,防止塌孔、埋钻,同时携带钻渣排出孔外;水下混凝土灌注采用导管法,需确保导管密封性良好、埋深符合规范,连续浇筑避免断桩,浇筑完成后及时清理桩头浮浆,保障桩体强度。该工艺适配软土、岩层等多种地质,承载力

强, 适配各类跨度桥梁基础。(2) 沉井基础: 多用于岩溶、深厚砂层等复杂地质, 核心工序为钢壳沉井加工、助沉措施、清基封顶。钢壳沉井采用工厂分段加工, 现场拼装, 确保焊接质量与几何尺寸精度, 避免下沉过程中变形; 助沉措施根据地质调整, 常用压重、射水、空气幕助沉, 控制下沉速度均匀, 防止倾斜、偏移; 下沉至设计标高后, 进行清基处理, 清除井底浮泥、杂物, 确保基底承载力达标, 最后浇筑混凝土封顶, 形成完整沉井基础, 抗倾覆、抗冲刷能力突出^[2]。(3) 地下连续墙: 适用于地下水位高、地质复杂的大型桥梁基础, 核心工艺包括成槽施工、钢筋笼吊装、接头处理。成槽施工采用液压抓斗或冲击钻机, 控制槽段垂直度与槽壁稳定性, 必要时采用泥浆护壁; 钢筋笼采用工厂预制, 分节吊装, 拼接处焊接牢固, 确保钢筋笼定位准确, 避免浇筑时上浮; 接头处理是质量控制重点, 采用锁口管或接头箱工艺, 清除接头处泥渣, 浇筑接头混凝土, 防止渗漏, 形成连续完整的地下墙体, 兼具承重与挡水双重功能。

2.2 上部结构施工工艺

(1) 预制梁架设: 是铁路梁桥主流工艺, 适用于中小跨度T梁、箱梁施工, 核心流程为T梁/箱梁预制、运梁车运输、架桥机架设。预制梁在工厂标准化生产, 采用定型模板, 严格控制混凝土配合比与养护工艺, 确保梁体强度与几何精度; 运梁车选用专用重载设备, 运输过程中平稳行驶, 防止梁体碰撞、开裂; 架桥机现场拼装调试后, 将预制梁精准架设至桥墩支座上, 调整梁体位置与标高, 完成接头连接, 施工效率高、质量可控, 能大幅缩短现场工期。(2) 连续梁施工: 多用于多跨中等跨度桥梁, 核心工艺为挂篮悬臂浇筑、合龙段施工、预应力张拉。挂篮悬臂浇筑采用可移动挂篮, 对称浇筑梁体节段, 控制浇筑速度与模板标高, 避免梁体产生不对称变形; 合龙段施工是关键, 需选择合适的合龙时机, 设置临时锁定装置, 浇筑合龙混凝土并及时养护, 减少温度变化对合龙质量的影响; 预应力张拉需在混凝土达到设计强度后进行, 采用智能张拉设备, 控制张拉应力与伸长量, 确保预应力施加均匀, 增强梁体抗裂性与刚度^[3]。(3) 斜拉桥施工: 适用于大跨度铁路桥梁, 核心工艺为主塔爬模施工、斜拉索安装、索力调整。主塔爬模施工采用液压爬模系统, 分段浇筑塔柱, 严格控制塔柱垂直度与截面尺寸, 确保主塔结构稳定; 斜拉索采用专用设备吊装, 安装顺序由下至上, 精准控制索长与安装位置; 索力调整采用智能监测与张拉设备, 根据梁体受力情况分次调整索力, 使梁体与主塔受力均衡, 满足设计要求, 保障桥梁整体稳定性与通行安全性。

2.3 特殊工法应用

(1) 顶推法: 主要适用于等截面连续梁施工, 尤其适合跨越既有铁路、公路、河道的场景。该工法无需大型吊装设备, 在桥梁一端设置顶推装置, 将预制好的梁体分段顶推至设计位置, 顶推过程中采用导向装置控制梁体偏移, 同步调整支座位置。其核心优势是减少高空作业风险, 避免施工对既有线路运营、河道通航的影响, 施工周期可控, 适配中等跨度等截面连续梁。(2) 移动模架法: 无需搭设满堂支架, 适合多跨中等跨度连续梁、简支梁施工, 尤其适配地形复杂、支架搭设困难的区域。该工法采用可移动模架系统, 现场原位浇筑梁体, 模架可沿桥墩移动, 连续完成多跨梁体施工, 无需频繁拆装模板与支架。其优势是施工效率高、梁体整体性好, 避免支架沉降对施工质量的影响, 同时减少现场作业量, 降低施工污染。(3) 转体施工: 主要用于跨越既有铁路、公路、繁忙河道的桥梁施工, 核心是将桥梁上部结构在非跨越区域预制, 然后通过转体装置将其旋转至设计位置, 完成合龙。该工法可大幅减少跨越区域的高空作业与占道施工, 最大限度降低对既有线路运营、交通通行的影响, 施工安全性高, 适配大跨度拱桥、斜拉桥的跨越施工, 尤其适合复杂运营环境下的桥梁建设^[4]。

3 铁路工程桥梁施工质量控制与技术创新

3.1 质量管理体系

(1) 全过程控制: 贯穿桥梁施工全生命周期, 形成“源头把控-过程管控-后期保障”的闭环管理。材料检验环节, 对钢筋、混凝土、预应力钢绞线等核心材料严格进场抽检, 不合格材料严禁投入使用; 工序验收环节, 执行“三检制”, 每道工序验收合格后方可进入下一环节, 重点管控基础浇筑、构件拼装等关键工序; 成桥检测环节, 采用专业设备全面检测桥梁几何尺寸、结构强度等, 确保符合设计标准; 运维监测环节, 建立长期监测机制, 实时跟踪桥梁运营状态, 及时处置质量病害。(2) 关键技术指标: 明确质量控制核心要点, 确保关键指标达标。混凝土强度是结构承重基础, 需严格控制配合比、浇筑与养护工艺, 保障试块强度合格; 预应力张拉力影响梁体抗裂性, 采用智能张拉设备精准控制应力与伸长量, 杜绝超拉、欠拉; 焊接质量关乎钢结构稳定, 通过超声波、射线检测排查焊缝缺陷; 沉降观测针对软土地基、大跨度桥梁, 定期采集数据, 防范不均匀沉降引发结构损坏。

3.2 智能化技术应用

(1) BIM技术: 以三维数字化模型为核心, 实现施工全流程智能化管理。施工模拟环节, 提前模拟基础浇筑、挂篮施工、构件架设等流程, 预判施工难点与风险

点；碰撞检测环节，排查管线、构件之间的碰撞隐患，优化施工方案，减少现场返工；进度管理环节，将施工进度与BIM模型绑定，实时跟踪施工进度，及时调整施工计划。如港珠澳大桥施工中，通过BIM技术整合桥梁、隧道、人工岛等多专业模型，实现多工序协同施工，大幅提升了施工效率与质量管控水平。（2）物联网监测：构建智能化监测网络，实现施工过程动态管控。通过在桥梁结构、基础、支座等关键部位安装传感器，实时采集应力、变形、温度等数据，传输至监控平台进行分析处理，一旦数据超出预警值，立即发出警报并指导现场整改。如沪通长江大桥施工中，搭建物联网健康监测系统，对主塔、斜拉索、梁体等关键部位进行24小时实时监测，精准把控施工过程中的结构状态，保障了大跨度桥梁施工安全^[5]。（3）3D打印技术：聚焦复杂构件制造难题，实现高效精准生产。针对桥梁复杂节点、异形构件等传统制造难度大、精度低的问题，采用3D打印技术进行工厂化快速制造，不仅缩短了构件生产周期，还提升了构件精度与整体性。如雄安新区装配式桥梁试点项目中，运用3D打印技术制造桥梁墩柱节点、防撞护栏等构件，实现了构件标准化、绿色化生产，为铁路桥梁装配式施工提供了新思路。

3.3 绿色施工创新

（1）节能材料：推广应用环保节能材料，降低施工能耗与环境污染。高性能混凝土具有强度高、耐久性好、收缩小等优势，可减少水泥用量，降低碳排放；再生骨料通过对建筑垃圾进行破碎、筛分处理后重复利用，替代部分天然骨料，减少资源消耗，实现变废为宝，推动桥梁施工绿色化转型。（2）废弃物处理：建立规范化废弃物处理体系，减少施工污染。针对钻孔灌注桩施工过程中产生

的泥浆，采用泥浆分离设备进行固液分离，分离后的清水循环利用，渣土进行无害化处理后合理处置；对施工过程中产生的建筑垃圾进行分类收集、集中处理，通过破碎、再生等方式实现资源化利用，最大限度减少废弃物排放。（3）生态修复：落实生态保护责任，做好施工后生态修复工作。在桥梁施工区域，对占用的林地、草地进行植被恢复，选用乡土植物，提升植被存活率；针对跨越水域的桥梁施工，采取防护措施防止施工污水、建筑垃圾进入水体，施工完成后清理水域杂物，修复水域生态环境，实现工程建设与生态保护共赢。

结束语

铁路工程桥梁施工工艺的持续革新与发展，是保障铁路运输安全畅通、适应国家基础设施建设需求的必然要求。通过科学选择施工工艺、严格控制施工质量、积极应用智能化技术以及大力推进绿色施工，我们能够有效提升桥梁工程的建设水平与综合效益。未来，随着科技的不断进步，铁路桥梁施工工艺将更加成熟完善，为推动我国铁路事业高质量发展注入强劲动力。

参考文献

- [1]李建辉.浅析铁路建设涉水桥梁施工环境保护措施[J].交通科技与管理,2023,4(21):182-184.
- [2]刘文剑.道路桥梁施工水环境保护策略研究[J].运输经理世界,2020,15(16):89-90.
- [3]蔡志标,刘盼盼.绿色环保理念在道路桥梁施工中的技术运用分析[J].云南水力发电,2021,37(12):288-290.
- [4]姜鸿,应广生.高速铁路桥梁连续梁工程施工工艺[J].四川建材,2024,50(08):205-207.
- [5]周绪红,陈宗平,赵均海.转体桥梁结构设计与施工关键技术[J].建筑结构学报,2021,42(03):10-12.