

铁路桥梁设计与施工技术

安帅锐

中国铁路设计集团有限公司 天津 300300

摘要: 铁路桥梁作为铁路交通网络的关键节点,其设计与施工技术直接关乎铁路运行安全与效率。文章系统阐述铁路桥梁结构选型、荷载分析、耐久性设计等设计要点,深入探讨预制架设、支架现浇等施工技术,并剖析设计与施工中存在的脱节、质量控制不严及技术创新不足等问题。通过提出加强沟通协作、强化质量管控、加大创新力度等应对策略,为提升铁路桥梁设计施工水平,保障铁路工程建设质量与可持续发展提供参考。

关键词: 铁路桥梁;设计;施工技术

1 铁路桥梁概述

铁路桥梁作为铁路线路的重要组成部分,是跨越江河、山谷、道路等障碍的关键工程结构物,对保障铁路运输安全、高效运行起着决定性作用。其设计建造需综合考量线路走向、地形地貌、水文地质条件及列车荷载特性,通过合理结构选型与力学分析,确保桥梁在复杂环境下有足够承载能力与稳定性。铁路桥梁按结构体系划分,主要有梁式桥、拱式桥、刚构桥、斜拉桥及悬索桥等。梁式桥结构简单、施工便捷,在中小跨度铁路桥梁中应用广泛,常见简支梁、连续梁等,以钢梁或预应力混凝土梁实现跨越;拱式桥曲线优美、抗压性能好,在地形复杂、地质适宜区域优势独特,拱圈传力至墩台,适用于大跨度跨越;刚构桥梁与墩刚性连接,减少支座,提升结构整体刚度与耐久性,在高架桥、跨线桥工程中表现出色;斜拉桥与悬索桥是大跨度桥梁代表,依靠主缆或斜拉索承担梁体荷载,突破传统跨度限制,在跨越宽阔水域或峡谷时优势尽显。随着现代铁路向高速、重载发展,铁路桥梁不仅要满足列车运行平顺性与安全性要求,还需具备良好的抗震、抗风、抗疲劳性能。新材料如高强度钢材、高性能混凝土的应用,提升了桥梁结构力学性能与耐久性;新施工工艺如顶推法、转体施工法,克服了复杂环境施工难题;基于先进传感技术与监测系统的健康监测体系,可实时掌握桥梁结构状态,为长期安全运营提供保障。这些技术进步推动着铁路桥梁不断向大跨度、智能化、绿色化方向发展。

2 铁路桥梁设计要点

2.1 结构选型

铁路桥梁结构选型需综合考虑线路等级、运输需求、地形地貌及水文地质条件。对于高速铁路桥梁,为满足列车高速运行时的平顺性与稳定性要求,常选用刚度较大的预应力混凝土简支梁或连续梁结构,其能有效

减少梁体变形,降低列车动荷载对桥梁结构的影响。

山区铁路受地形限制,往往采用跨度较大的拱桥或斜拉桥,拱桥凭借良好的承压性能,可利用地形优势跨越深谷,斜拉桥则通过拉索将主梁荷载传递至索塔,实现大跨度跨越。在跨越江河湖泊等水域时,若水文条件复杂、航运要求高,需采用大跨度的钢桁梁或钢箱梁结构,这类结构自重轻、强度高,能适应复杂水流环境且满足通航净空要求,同时其模块化设计便于现场拼装,缩短施工周期^[1]。

2.2 荷载分析

铁路桥梁荷载分析旨在准确确定结构所承受的各类作用力,为结构设计提供可靠依据。恒载包含桥梁主体结构自身重量、轨道板及桥面附属设施重量、混凝土收缩和徐变以及基础沉降等影响,需精确计算各构件尺寸以及确定各种影响因素的参数数值。列车活载是铁路桥梁的主要荷载之一,其大小和分布与列车类型、编组数量、运行速度密切相关,通过动力系数考虑列车运行时产生的冲击作用,以模拟实际动态荷载效应。附加力中风荷载对铁路桥梁的影响不容忽视,尤其在大跨度桥梁设计中,需根据桥梁所在地区的气象资料,考虑不同风向、风速及风攻角对桥梁结构产生的静力和动力作用,评估风致振动效应;温度荷载会使桥梁结构产生伸缩变形和温度应力,设计时需考虑年温差、梯度温度等不同温度工况,通过设置伸缩缝、合理布置约束体系等措施,减小温度变化对结构的不利影响;位于寒冷地区的桥梁还需考虑冰压力与冻胀力,位于河海位置的桥梁还需考虑流水压力与波浪力。最后,列车脱轨荷载、汽车船只的撞击力、施工临时运架的等荷载也不容忽视,尤其是位于高地震烈度地区的桥梁,地震力往往成为设计计算的控制因素。

2.3 耐久性设计

铁路桥梁耐久性设计是确保桥梁在设计使用年限内正常运营的关键。混凝土结构的耐久性主要取决于混凝土的抗裂性能及抗侵蚀能力,通过合理选择混凝土配合比,提高混凝土密实度,添加矿物掺合料改善混凝土工作性能,降低水化热,减少收缩裂缝的产生。对于预应力混凝土桥梁,需采取有效措施防止预应力筋锈蚀,如采用高质量的预应力管道、真空辅助压浆工艺,确保孔道内水泥浆饱满密实,隔绝外界腐蚀介质。钢结构桥梁易受环境因素影响发生腐蚀,通过采用高性能防腐涂装体系,包括底漆、中间漆和面漆多层防护,定期对涂层进行检测和维护,可有效延缓钢结构腐蚀进程。合理设计桥梁排水系统,避免雨水长期滞留对结构造成侵蚀,对易损部位设置检查通道和检修设施,便于定期检查和维修,及时发现并处理潜在的耐久性问题。

3 铁路桥梁施工技术

3.1 预制架设施工

(1) 预制架设施工是将桥梁构件在工厂或施工现场预制场地标准化生产,待混凝土强度达标后,用大型运输设备运至桥位,采用架桥机、起重机等安装的施工方法。该方法工厂化生产,能有效控制构件尺寸精度和混凝土浇筑质量,减少现场湿作业,降低环境因素对施工质量的影响。(2) 构件预制时,钢筋绑扎、模板安装及混凝土浇筑要严格执行工艺标准,预应力管道定位、预埋件位置影响后续连接质量;运输要合理选设备,做好防倾覆、防碰撞措施;架设时,架桥机要严格荷载试验和调试,安装通过精确测量控制,保证梁体平面位置、高程及接缝宽度符合要求。(3) 预制架设施工具有施工速度快、质量可控、对桥下交通影响小等优势。预制构件可在工厂标准化生产,质量易保障,现场精准架设即可。它尤其适用于地形平坦、运输条件良好的铁路桥梁建设,能缩短工期,提高效率,保证桥梁耐久性和安全性。

3.2 支架现浇施工

(1) 支架现浇施工是在桥位处搭设支架,在支架上现场浇筑混凝土梁体的施工方法。该方法能适应复杂的结构形式和跨度要求,对场地条件的适应性较强。(2) 施工时,第一,进行支架设计与搭设,支架的强度、刚度和稳定性须达标,搭设前要进行地基处理防止沉降;第二,安装模板,保证尺寸和位置准确,有足够刚度和稳定性;钢筋绑扎和预应力管道布置要严格依设计,确保钢筋间距和保护层厚度满足规范及设计要求。混凝土浇筑要分层对称,控制速度与振捣质量,避免缺陷,浇筑后及时养护,保证强度达标。(3) 支架现浇施工优点是设备简单、操作方便,能依现场灵活调整方案且缩短

梁部工期,缺点是支架搭设工程量大、安装及拆除作业风险高。它适用于跨度较小、地形复杂或无架梁条件的铁路桥梁建设。

3.3 顶推施工

(1) 顶推施工是在桥台后方设置预制场地,分段预制梁体,通过千斤顶施加水平推力,借助滑道和滑块将梁体逐段向前顶推就位的施工工艺。该方法利用梁体自身结构作为受力体系,需对梁体内力和变形实时监控控制,确保安全。(2) 施工时,先在预制场地浇筑梁体节段,节段间以湿接缝或胶接缝连接;顶推装置布置和顶推力施加需精确计算,采用多点或单点顶推方式,保证梁体平稳前进;顶推中监测桥墩水平位移和梁体高程、轴线,及时调整顶推速度和方向,防偏移或失稳。(3) 顶推施工具有不中断交通、占用场地小、施工设备可重复利用等特点。在桥梁建造领域,它极为适用于修建跨线桥、跨河桥等不同类型桥梁,在城市交通繁忙区域铁路桥梁建设中优势尽显,减少对周边环境和交通的不良影响^[2]。

3.4 悬臂施工

(1) 悬臂施工是从桥墩两侧对称、平衡地逐段悬出浇筑混凝土梁体或拼装预制节段,通过预应力筋将新浇筑节段与已完成梁体连接成整体,直至合拢的施工方法。该方法充分利用梁体悬臂受力特性,施工时结构受力复杂,要严格控制梁体应力、应变和线形。(2) 悬臂浇筑施工中,挂篮是主要设备,设计要满足强度等要求,浇筑前需预压消除非弹性变形,浇筑时要对称分层、控制速度高度;悬臂拼装施工要精确控制预制节段尺寸重量,用匹配件等保证连接精度,通过张拉临时预应力筋确保结构稳定。(3) 悬臂施工无需搭设满堂支架,可适应复杂地形和高墩桥梁建设,具有施工灵活、工期可控等优点,在大跨度铁路桥梁建设中得到广泛应用,能够有效减少施工对桥下空间的占用,提高施工的安全性和经济性。

4 铁路桥梁设计与施工中存在的问题及应对策略

4.1 存在的问题

4.1.1 设计与实际施工脱节

铁路桥梁设计阶段多依赖理论模型与有限的现场勘察数据,难以精准捕捉复杂地形地貌、地方建设等动态施工要素。例如,部分山区工程设计时未能详细考虑施工便道与机械平台,施工时现场不可避免的改变了原设计的地形地貌,导致原有的防护措施需要取消,甚至调整路桥、桥隧接口的位置,形成方案上的优化调整。再比如,施工进场前已存在地方新建管线,施工单位因施

工前未进行核对,或未引起足够重视反馈调整设计,造成后续废弃工程或工期延误,影响项目建设。施工团队与设计团队缺乏深度信息交互,设计变更传递不及时,导致施工过程反复调整,降低工程建设效率。

4.1.2 施工质量控制不严

铁路桥梁施工环节众多,涉及钢筋绑扎、混凝土浇筑、预应力张拉等关键工序,任一环节质量把控不到位都将影响桥梁整体性能。现场施工人员专业技能参差不齐,部分作业人员对施工规范掌握不透彻,操作中易出现钢筋间距偏差、混凝土振捣不密实等问题。施工设备的维护与使用管理存在漏洞,老旧设备带病作业,导致混凝土搅拌不均匀、桩基钻孔精度不足。加之质量检验环节流于形式,未严格执行全流程检测,隐蔽工程验收不细致,使质量隐患难以被及时发现,为桥梁后期运营埋下安全风险^[3]。

4.1.3 技术创新不足

当前铁路桥梁建设领域,部分施工企业仍沿用传统工艺与技术,对BIM建模、智能监测、装配式建造等新兴技术应用积极性不高。传统支架现浇施工方法,存在资源消耗大、高空作业风险高等弊端,却因企业习惯与技术转型成本顾虑,难以被高效先进的技术替代。行业内对新材料、新工艺的研发投入有限,缺乏产学研深度融合的创新机制,致使铁路桥梁建设技术更新缓慢,难以满足现代铁路高速、重载运输对桥梁结构性能与建造效率的更高要求。

4.2 应对策略

4.2.1 加强设计与施工的沟通协作

构建设计-施工一体化协同平台,运用数字化技术实现设计图纸、施工进度、现场数据的实时共享与交互。设计团队在重大方案制定阶段,主动邀请施工单位技术骨干参与,结合施工现场设备选用、场地需求、工程经济等实际情况优化设计细节,针对复杂节点共同研讨可行的施工工艺。施工过程中,建立常态化沟通机制,施工人员及时反馈现场遇到的地形变化、设计冲突等问题,设计人员快速响应,通过线上会议、现场勘查等方式,动态调整设计方案,确保设计意图与施工实践无缝衔接,提升工程建设的整体协调性。

4.2.2 强化施工质量控制

推行精细化施工管理模式,编制详细的作业指导书,明确各工序操作标准与质量要求,对施工人员开展针对性岗前培训与技术交底,提升其专业操作水平。建立施工设备全生命周期管理体系,定期对机械设备进行维护保养与性能检测,淘汰老旧落后设备,引入智能化施工装备,如智能混凝土振捣机器人、智能预应力张拉设备、大节段造桥机等,确保施工精度与质量稳定性。完善质量检测体系,采用超声波探伤、雷达扫描等先进检测技术,对关键部位、隐蔽工程进行全方位、无死角检测,发现问题立即整改,从源头保障桥梁工程质量。

4.2.3 加大技术创新力度

施工企业应主动与科研机构、高校合作,组建技术研发团队,针对铁路桥梁建设中的技术难题开展联合攻关。积极探索BIM技术在桥梁全生命周期管理中的应用,通过建立三维信息模型,实现施工进度模拟、碰撞检测、成本管控。大力推广装配式桥梁建造技术,预制桥梁构件在工厂标准化生产,减少现场湿作业,提升施工效率与质量。关注新型建筑材料研发,如高强度混凝土、高性能钢材的应用,优化桥梁结构设计,增强桥梁承载能力与耐久性,推动铁路桥梁建设技术的创新发展^[4]。

结语

综上所述,铁路桥梁设计与施工技术的优化对铁路工程建设意义重大。文章系统梳理了设计施工关键技术,精准剖析现存问题并提出有效应对策略,为提升铁路桥梁工程质量、保障铁路运输安全奠定了理论基础。未来,随着科技不断进步,铁路桥梁设计与施工技术需持续创新,以适应铁路事业发展的新需求,进一步推动我国铁路桥梁建设迈向更高水平。

参考文献

- [1]张文进,曹文.上跨铁路转体桥梁设计与施工关键技术[J].城市道桥与防洪,2021(9):125-128.
- [2]康周科.洗矿沉渣区铁路桥梁设计[J].铁道建筑技术,2025(2):97-99,117.
- [3]宗绪.铁路桥梁施工技术与质量控制研究[J].科技创新与应用,2023,13(12):158-161.
- [4]米哲.铁路桥梁施工技术与质量控制措施探究[J].建筑与预算,2022(2):19-21.