

# 钢结构桥梁在道路桥梁工程中的设计与施工技术研究

郑 强

四川省交通建设集团有限责任公司 四川 成都 610000

**摘要：**随着交通强国战略推进，钢结构桥梁凭借轻质高强、施工便捷、跨越能力强的优势，在道路桥梁工程中应用日益广泛。本文结合相关规范与工程实践，阐述钢结构桥梁的核心特性与设计原则，重点研究荷载分析、结构选型、材料选用等设计技术，以及施工准备、核心工艺、质量控制等施工要点，分析其应用局限与解决路径，为钢结构桥梁在道路桥梁工程中的科学设计、规范施工提供理论支撑与实践参考，助力桥梁工程高质量、绿色化发展。

**关键词：**钢结构桥梁；道路桥梁工程；设计；施工技术

**引言：**道路桥梁是交通运输体系的核心枢纽，其建设质量与技术水平直接影响交通通行效率与安全。传统混凝土桥梁存在自重较大、施工周期长、大跨度跨越能力不足等问题，难以适配复杂工况需求。钢结构桥梁凭借材料性能优势，可有效弥补上述短板，契合工业化建设与绿色低碳发展理念。基于此，本文聚焦钢结构桥梁的设计与施工技术，结合适用场景与规范要求，深入探讨关键技术要点，破解应用中的技术难题，推动钢结构桥梁工程技术的优化升级。

## 1 钢结构桥梁相关理论基础

### 1.1 钢结构桥梁的核心特性

(1) 材料特性：核心采用桥梁专用钢材，抗拉、抗压强度是普通混凝土的5-10倍，密度仅为混凝土的1/3，兼具良好的韧性和焊接性能，常用牌号为Q345q、Q370q等，可通过防腐处理延长使用寿命，适配桥梁承重与跨越需求。(2) 结构优势与应用局限：优势在于轻量化、施工便捷，可工厂预制、现场拼装，缩短工期，防风抗震性能优异，设计灵活性强；局限是耐腐蚀性、耐火性较差，需额外采取防护措施，原材料造价相对较高，后期需定期维护。

### 1.2 钢结构桥梁的核心设计原则

(1) 安全性原则：核心是验算荷载组合与结构稳定性，防范车辆冲击、强风、地震等极端工况，优化节点构造减少应力集中，确保结构在使用年限内不发生失稳、断裂等安全事故。(2) 经济性原则：兼顾材料用量、施工成本与全生命周期成本，合理选型与优化截面设计，减少钢材浪费，结合预制化施工降低现场作业成本，平衡造价与结构性能。(3) 耐久性与可施工性原则：耐久性侧重防腐、防火设计，采取涂层防护等措施抵御环境侵蚀；可施工性强调构件标准化设计，便于工厂生产、运输及现场吊装拼接，适配不同施工场景。

### 1.3 道路桥梁工程中钢结构的适用范围

(1) 中小跨度钢结构桥梁适用场景：跨径20-100m的城市高架、跨河小桥等，多采用钢板梁、钢混组合梁，施工周期短，对周边交通干扰小。(2) 大跨度与超大跨度钢结构桥梁适用场景：跨径100m以上的跨江跨海桥梁，采用斜拉桥、悬索桥等形式，依靠钢材高强度实现大跨度跨越，如港珠澳大桥青州航道桥。(3) 特殊环境下钢结构桥梁的应用：适用于沿海高盐雾、山区峡谷、地震高发区等，通过耐候钢选用、阴极保护等措施，适配复杂环境需求<sup>[1]</sup>。

### 1.4 钢结构桥梁相关设计规范与标准

(1) 国内核心规范要求：以《钢结构设计标准》(GB50017-2017)为核心，结合《公路桥涵设计通用规范》等，明确钢材选型、荷载验算、防腐防火等强制性要求，确保设计合规性。(2) 国际相关标准参考：参考美国AISC规范、欧洲Eurocode3标准等，重点借鉴大跨度桥梁抗风、抗疲劳设计经验，结合国内工程实际优化应用，提升设计科学性与国际兼容性。

## 2 钢结构桥梁在道路桥梁工程中的设计技术

### 2.1 荷载与作用分析设计

(1) 交通荷载的合理取值与组合：结合道路等级、设计车速确定荷载标准，城市桥梁参考城-A级、城-B级，公路桥梁按公路I级、II级取值，涵盖车辆自重、轮压及制动力、冲击力。荷载组合需兼顾基本组合(永久荷载+可变荷载)、偶然组合(永久荷载+偶然荷载)，优先考虑最不利工况，避免局部构件受力过载，确保结构承载安全。(2) 环境荷载(风、温度、地震)计算：风荷载根据桥梁所处区域风速等级，计算静风压力、风振效应，大跨度桥梁需额外验算颤振、涡振稳定性，采用流线型截面减少风阻；温度荷载考虑环境温度变化，预留伸缩缝、设置温度缝，缓解热胀冷缩对结构

的应力影响；地震荷载结合抗震设防烈度，采用延性设计，优化结构刚度分布，提升抗侧移、抗倒塌能力<sup>[2]</sup>。

(3) 偶然荷载的专项防控设计：针对车辆撞击、船舶撞击（跨河桥梁）、火灾、爆炸等偶然荷载，采取专项防护措施。跨河桥梁设置防撞护栏、防撞墩，城市桥梁优化桥墩布置避开车辆撞击风险；明确偶然荷载作用下的结构承载力验算标准，确保结构在极端偶然工况下不发生毁灭性破坏，同时便于后期修复。

## 2.2 结构选型与布置设计

(1) 基于跨度的结构形式选择：中小跨度（20-100m）优先选用钢板梁、钢混组合梁，构造简单、施工便捷，适配城市高架、乡村道路桥梁；大跨度（100-500m）采用钢斜拉桥、钢悬索桥，利用钢材高强度实现大跨度跨越；超大跨度（500m以上）以钢悬索桥为主，搭配钢箱梁主梁，平衡跨越能力与结构稳定性。(2) 主梁与支座的布置优化：主梁布置需兼顾受力均匀性与施工便利性，中小跨度采用简支或连续梁布置，大跨度采用连续刚构或斜拉体系；支座选型结合跨度与受力特点，中小跨度用板式橡胶支座，大跨度用盆式橡胶支座或球形支座，优化支座间距与位置，减少主梁应力集中，确保结构受力合理。(3) 横向稳定措施设计：针对钢结构轻量化易失稳的问题，设置横向支撑、横隔梁，增强主梁横向刚度；大跨度桥梁增设抗侧倾装置，控制结构横向位移；对于窄幅桥梁，优化截面形式，采用箱型截面提升横向抗扭、抗侧移能力，避免车辆荷载作用下发生横向失稳。

## 2.3 材料选择与截面设计

(1) 桥梁专用钢材的选型依据：结合桥梁跨度、受力情况、环境条件选型，常用Q345q、Q370q、Q420q等低合金高强度钢，耐腐蚀需求高的场景选用耐候钢，大跨度桥梁关键构件选用高强度钢材。选型需兼顾强度、韧性、焊接性能，确保钢材各项指标符合设计规范，同时控制材料成本。(2) 截面强度、刚度与稳定性设计：截面设计需满足强度要求，验算正应力、剪应力，避免局部承压不足；刚度设计控制主梁挠度，确保行车舒适性，挠度限值符合规范要求；稳定性设计重点验算整体稳定与局部稳定，优化截面形式（如箱型、工字型），增增设劲肋，防止构件屈曲破坏<sup>[3]</sup>。(3) 抗疲劳设计要点：针对车辆反复荷载作用下的疲劳破坏风险，避开应力集中区域，优化节点构造，采用圆弧过渡、倒角处理；选用疲劳性能优良的钢材，控制焊接质量，减少焊接缺陷；验算构件疲劳强度，确保结构在设计使用年限内，承受反复荷载后不发生疲劳开裂。

## 2.4 连接节点与耐久性设计

(1) 焊接与螺栓连接设计：焊接连接优先采用熔透焊，严格控制焊接工艺，避免未焊透、夹渣等缺陷，关键节点采用双面焊或角焊缝加强；螺栓连接选用高强度螺栓，确保预紧力达标，重要节点采用螺栓与焊接组合连接，提升连接可靠性，同时便于后期维护更换。(2) 节点防腐与密封设计：节点部位易积水、积尘，是防腐薄弱环节，采用喷砂除锈处理，涂刷防腐底漆、面漆，沿海等腐蚀严重区域增设阴极保护；对节点缝隙、螺栓连接处进行密封处理，采用密封胶填充，防止雨水、湿气侵入，延长节点使用寿命。(3) 防火设计要求：钢结构耐火性差，需采取防火保护措施，关键构件（主梁、桥墩）涂刷防火涂料，根据耐火等级确定涂料厚度；重要桥梁可采用防火板包裹，设置防火分隔，明确防火分区，确保火灾发生时，结构能维持足够的承载能力，为人员疏散和救援争取时间。

## 3 钢结构桥梁在道路桥梁工程中的施工技术

### 3.1 施工前期准备工作

(1) 施工方案编制与优化：结合桥梁跨度、结构形式及现场环境，编制专项施工方案，明确施工流程、工艺参数、人员配置及进度计划，重点优化钢结构吊装、焊接、合龙等关键工序方案。方案需经专家论证，结合现场实际调整优化，规避施工风险，确保施工安全、高效推进，同时兼顾施工成本与工程质量。(2) 材料进场检验与存放：钢材进场时需核查出厂合格证、性能检测报告，抽样检测钢材的强度、韧性、焊接性能等指标，不合格材料严禁进场。钢材存放需分类堆放，做好防潮、防雨、防腐蚀措施，设置垫木避免钢材接触地面，耐候钢与普通钢材分开存放，定期检查维护，防止材料变质或损坏。(3) 施工设备调试与场地布置：调试吊装机械、焊接设备、检测仪器等，确保设备性能达标、运行正常，重点校验吊装机械的起重量、精度及焊接设备的焊接参数。合理布置施工场地，划分构件加工区、拼装区、材料堆放区及运输通道，清理场地障碍物，做好排水设施，保障施工场地平整、畅通，满足施工需求。

### 3.2 核心施工工艺实施

(1) 钢结构构件加工与拼装技术：构件加工采用工厂预制，严格按照设计图纸控制尺寸精度，对钢板进行切割、折弯、焊接加工，做好焊缝处理与除锈防腐。现场拼装采用分段拼装模式，先进行试拼装，调整构件位置与精度，采用高强度螺栓临时固定，再进行焊接加固，确保拼装精度符合规范要求，减少现场施工误差<sup>[4]</sup>。(2) 平衡悬臂浇筑与配重技术：适用于大跨度钢结构

桥梁,采用对称悬臂浇筑工艺,分段浇筑主梁,同步进行配重作业,平衡悬臂端受力,防止结构失稳。浇筑过程中严格控制浇筑速度与混凝土质量,实时监测悬臂端挠度与应力变化,及时调整配重方案,确保浇筑过程平稳,结构受力均匀。(3)合龙段施工与应力控制技术:合龙前清理合龙段缝隙,调整两端构件线形,确保合龙精度。选择合适的合龙时机(通常为低温时段),采用临时锁定装置固定合龙段,再进行焊接或混凝土浇筑。合龙过程中实时监测结构应力与线形,采取应力释放措施,避免合龙段产生过大应力,确保合龙质量,保障结构整体稳定性。

### 3.3 施工质量控制要点

(1)焊接质量检测与控制:焊接前检查焊接材料、焊接工艺参数,焊接过程中严控焊缝成形、焊接速度,避免未焊透、夹渣、裂纹等缺陷。焊接完成后采用超声波、射线等无损检测方法,对焊缝进行全面检测,不合格焊缝需及时返修、复检,确保焊接质量符合设计与规范要求。(2)线形精度协同控制:施工全过程监测桥梁线形,采用全站仪、水准仪等设备,实时测量主梁、桥墩的标高、轴线偏差,建立监测台账。针对施工过程中出现的线形偏差,及时调整施工工艺,协同控制各段构件的拼装、浇筑精度,确保桥梁线形符合设计要求,保障行车舒适性。(3)施工过程中的安全控制:建立完善的安全管理制度,对施工人员进行安全培训,规范作业流程。吊装作业时设置警戒区域,专人指挥,严控吊装速度与幅度;高空作业人员佩戴安全防护用品,搭设安全防护设施。定期排查施工设备与现场安全隐患,及时整改,防范高空坠落、构件坠落、火灾等安全事故<sup>[5]</sup>。

### 3.4 施工后期养护与验收

(1)施工后期养护技术要点:施工完成后,对桥梁钢结构进行全面除锈、补涂防腐涂料,重点维护节点、

焊缝等薄弱部位。定期检查构件连接螺栓的预紧力,及时紧固松动螺栓;清理桥梁表面杂物、积水,防止腐蚀。针对合龙段、支座等关键部位,定期监测应力与位移,建立养护台账,及时处理养护过程中发现的问题。

(2)工程验收标准与流程:验收按照设计图纸、相关规范及施工方案执行,分为分项工程验收、分部工程验收及单位工程竣工验收。先进行分项、分部工程验收,核查施工质量、检测报告等资料;再进行单位工程竣工验收,全面检查桥梁结构性能、线形、防腐防火等情况,验收合格后签署验收报告,方可投入使用。

### 结束语

钢结构桥梁在道路桥梁工程中的应用,是桥梁建设向高效化、绿色化、智能化转型的重要体现。本文系统梳理了其设计与施工的核心技术,明确了安全、经济、耐久的设计导向与规范施工的关键环节。尽管目前钢结构桥梁存在防腐防火要求高、造价偏高的局限,但通过材料升级、工艺优化与智能化运维,可实现优势最大化。未来需结合工程实际持续创新,完善技术体系,推动钢结构桥梁在道路桥梁工程中实现更广泛、更高质量的应用。

### 参考文献

- [1]赵志钢.装配式技术在市政桥梁工程中应用探讨[J].中国设备工程,2022,(17):231-233.
- [2]洪林,程龙欢.市政道路桥梁工程施工及质量控制措施[J].智能城市,2021,7(07):49-50.
- [3]任锦辉.钢结构桥梁在市政道路桥梁工程中的设计与施工技术研究[J].建材发展导向,2024,22(13):77-79.
- [4]王宏宾.钢结构桥梁工程防腐涂装工艺及质量控制措施[J].大众标准化,2023,(24):25-27.
- [5]杜武军.梁柱式钢结构桥梁护栏结构设计研究[J].运输经理世界,2023,(36):110-112.