

市政桥梁钢结构设计与施工的协同优化研究

胡家辉

(广东匠星智造钢结构有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要 我国城市化进程不断加快, 市政桥梁建设面临越来越多的挑战, 尤其是在设计和施工阶段, 如何实现资源的高效利用和成本的有效控制成为人们关注的重点。本文探讨市政桥梁钢结构设计与施工过程中的协同优化问题, 通过分析当前市政桥梁建设中存在的主要问题, 提出一套系统的协同优化策略, 以期为市政桥梁钢结构的设计与施工协同优化提供有价值的参考。

关键词 市政桥梁钢结构设计; 材料选择; 协同优化

中图分类号: U442; U445

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)12-0118-03

我国城市建设快速发展, 市政桥梁在交通体系中的重要性日益凸显。钢结构由于其强度高、重量轻、施工便捷等优点, 在市政桥梁建设中得到了广泛应用。然而, 在实际项目中, 钢结构的设计与施工环节往往存在脱节现象, 导致工程进度受阻、成本增加、质量难以保证等问题。因此, 研究市政桥梁钢结构设计与施工的协同优化具有重要的现实意义。

1 市政桥梁钢结构设计要点

1.1 市政桥梁钢结构的材料选择

在市政桥梁钢结构的设计中, 材料的选择至关重要。优质的钢材应具备高强度、良好的韧性和可焊性^[1]。高强度低合金结构钢凭借其卓越的强度和良好的综合性能, 在市政桥梁钢结构设计中占据了重要地位。这种钢材不仅能有效减轻结构自重, 还能显著提升桥梁的承载能力, 为桥梁的安全性和稳定性提供坚实的保障。在设计过程中, 钢材的耐腐蚀性同样不容忽视。特别是在潮湿环境或存在化学侵蚀风险的情况下, 应优先选择具有良好抗腐蚀性能的钢材。若条件受限, 也可采取涂层保护、阴极保护等有效防护措施, 以最大限度地延长桥梁的使用寿命。桥梁的使用条件和设计要求也是选材时必须考虑的重要因素。在确保材料性能满足需求的同时, 还需综合考虑钢材的成本和供应情况, 力求在性能与经济之间找到最佳平衡点, 为市政桥梁钢结构的设计提供有力支撑。

1.2 结构形式与布局设计

合理的结构形式和布局无疑是市政桥梁钢结构设计的核心要素。在众多结构形式中, 梁式桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥等各具特色, 广泛应用于不同类型的桥梁建设中。在选择结构形式时, 必须全面考量桥梁

的跨度需求、荷载特性、地形地貌以及景观融合度等多重因素。例如, 中小跨度的桥梁往往倾向于选择结构简单、施工便捷的梁式桥; 而对于跨度要求较大的桥梁, 斜拉桥或悬索桥则能凭借其独特的优势脱颖而出。在结构布局上, 则需精心规划, 确保各构件受力均衡, 避免应力集中和薄弱环节的出现。通过巧妙地调整构件的尺寸与形状, 不仅可以提升结构的整体稳定性, 还能有效优化成本, 实现经济性与实用性的双赢。如, 变截面梁的设计能更好地顺应弯矩变化, 降低材料损耗。

1.3 连接节点设计

连接节点在市政桥梁钢结构中扮演着举足轻重的角色, 其设计不仅关乎结构的安全性与可靠性, 更是整个桥梁性能的基石。节点的选择应依据构件的受力特性和实际施工条件灵活调整, 常见的节点类型如焊接节点、螺栓连接节点和铆钉连接节点, 各有其独特优势。设计时, 务必确保节点具备足够的强度、刚度和延性, 以高效传递内力, 同时, 节点的构造细节亦不容忽视, 应避免尖角、缺口等易引发应力集中的设计, 确保结构的整体稳定性。此外, 节点的施工可行性和后期维护便捷性同样重要, 这要求在设计阶段就充分考虑到现场施工条件和未来的检修需求。以焊接节点为例, 焊缝的形式与尺寸需精心选择, 以确保焊接质量, 为桥梁的长期稳定运行奠定坚实的基础。

1.4 疲劳性能设计

由于市政桥梁在使用过程中承受着频繁的车辆荷载作用, 钢结构的疲劳性能是设计中需要重点关注的问题^[2]。在设计时, 对结构的疲劳敏感部位进行深入分析和评估至关重要, 需精确确定其疲劳应力幅和疲劳寿命。通过精心优化结构细节, 如采用圆滑过渡的

几何设计、避免焊缝交叉等，来有效减少应力集中，增强构件的抗疲劳能力。同时，依据桥梁的预期寿命和交通流量，科学制定疲劳荷载谱，并严格执行疲劳验算。施工过程中，务必确保构件制造与焊接的高质量，以最小化初始缺陷对疲劳性能的潜在影响。

2 市政桥梁钢结构施工工艺优化

2.1 预制拼装技术的应用与优化

预制拼装技术在市政桥梁钢结构施工中具有优势。通过在工厂内预制钢结构构件，能够保证构件的质量和精度，减少现场施工的工作量和误差。以某跨度为 80 米的市政桥梁为例，采用预制拼装技术，工厂预制的钢梁构件长度误差可控制在 ± 2 毫米以内，相比现场制作的误差降低了约 50%。在现场拼装时，使用高精度的定位设备和工装夹具，确保构件的拼接精度达到设计要求。例如，通过全站仪进行测量定位，拼装节点的位置偏差能够控制在 ± 5 毫米以内。此外，优化拼装顺序和施工流程，能够提高施工效率。对于大型钢梁的拼装，采用分段对称拼装的方法，先拼装中间段，再向两侧对称延伸，有效减少了拼装过程中的变形。以一个包含 10 个节段的钢梁拼装为例，采用优化后的拼装顺序，施工工期缩短了约 20%。表 1 是预制拼装技术在不同桥梁项目中的应用效果对比表。

表 1 预制拼装技术在不同桥梁项目中的应用效果

桥梁名称	跨度 (米)	预制构件误差 (毫米)	施工工期缩短比例
桥梁 A	60	± 1.5	18%
桥梁 B	75	± 2.2	22%
桥梁 C	80	± 2	20%

2.2 焊接工艺的改进与创新

焊接是市政桥梁钢结构施工中的关键工艺。为提高焊接质量和效率，采用先进的焊接技术和设备至关重要^[3]。如，使用气体保护焊（如二氧化碳气体保护焊），能够提高焊接速度，同时减少焊接缺陷。在某市政桥梁的钢结构焊接中，气体保护焊的焊接速度达到了每分钟 8~10 厘米，比传统手工电弧焊提高了约 30%。对于厚板焊接，采用多层多道焊的工艺，合理控制焊接参数，如电流、电压和焊接速度等。以 30 毫米厚的钢板焊接为例，通过优化焊接参数，焊接接头的力学性能满足设计要求，同时焊缝的一次合格率达到 98% 以上。此外，引入焊接机器人进行自动化焊接，能够提高焊接的稳定性和一致性。焊接机器人的焊接精度可达 ± 0.5 毫米，焊接效率是人工焊接的 2~3 倍。

表 2 是不同焊接工艺在效率和质量方面的数据对比。

表 2 不同焊接工艺的应用效果对比

焊接工艺	焊接速度 (厘米/分钟)	焊接精度 (毫米)	焊缝一次合格率
手工电弧焊	6~7	± 1	90%
气体保护焊	8~10	± 0.8	95%
焊接机器人	15~20	± 0.5	98%

2.3 钢结构防腐处理的强化措施

钢结构的防腐处理对于延长桥梁使用寿命至关重要。首先，在表面处理方面，采用喷砂除锈的方法，将钢材表面的锈蚀和氧化皮去除干净，除锈等级达到 Sa2.5 级以上。以一座钢结构市政桥梁为例，经过喷砂除锈处理后，钢材表面粗糙度达到 40~70 微米，增强了涂层的附着力。其次，选择高性能的防腐涂料，如环氧富锌底漆、聚氨酯面漆等。这些涂料具有良好的耐腐蚀性、耐候性和耐磨性。例如，环氧富锌底漆的干膜厚度达到 80 微米以上时，能够提供有效的防锈保护。在施工过程中，严格控制涂层的厚度和均匀度。通过使用无气喷涂设备，涂层的厚度偏差能够控制在 ± 10 微米以内。此外，定期对防腐涂层进行检查和维护，及时发现并修复涂层的破损和老化部位，确保钢结构始终处于良好的防腐状态。表 3 是不同防腐处理方式的效果对比。

表 3 不同防腐处理方式的效果对比

防腐处理方式	涂层附着力 (MPa)	耐腐蚀性 (年)
普通防腐处理	2~3	5~8
强化防腐处理	5~6	10~15

2.4 施工监测与控制技术的提升

在市政桥梁钢结构施工过程中，施工监测与控制技术的应用能够有效保证施工质量和结构安全^[4]。通过安装传感器，如应变计、位移计和加速度计等，实时监测结构的受力和变形情况。如，在钢梁吊装过程中，在关键部位安装应变计，实时监测钢梁的应力变化，当应力超过设计允许值时及时调整施工方案。利用先进的测量技术，如全站仪、水准仪和 GPS 等，对结构的位置和高程进行精确测量。以某斜拉桥的施工为例，通过全站仪和 GPS 联合测量，索塔的垂直度偏差控制在 1/3 000 以内，满足设计要求。此外，建立施工监控模型，对施工过程进行模拟和分析，预测结构的变形和内力发展趋势，为施工控制提供依据。通过施工监测与控制技术的综合应用，能够及时发现问题并采取措

3 市政桥梁钢结构设计与施工协同中存在的问题

3.1 信息沟通不畅

在市政桥梁钢结构项目中,设计方与施工方之间的信息交流存在诸多障碍。双方所使用的专业术语和表达方式存在差异,这使得信息在传递过程中容易产生误解。如,设计方在图纸中使用的某些特定符号和标注,施工方可能会出现错误解读。沟通渠道单一且不够直接,大多依赖于文件传递和会议交流,无法及时解决突发问题。在某桥梁项目中,因施工现场出现地质变化,施工方未能及时与设计方直接沟通,导致工程延误了一周。信息传递的频率和及时性不足,设计变更等重要信息不能迅速传达给施工方,影响施工进度和质量。

3.2 设计方案缺乏施工可行性考虑

设计人员在制定市政桥梁钢结构方案时,常常忽视施工实际情况。一方面,对施工场地的地形、地貌和周边环境了解不足,导致设计方案在现场难以实施。比如,某桥梁设计方案中未充分考虑施工现场周边建筑物的限制,使得施工空间狭小,增加了施工难度。另一方面,对施工技术和设备的能力估计不准确,设计出的结构在现有施工条件下无法顺利完成。如,某桥梁的钢梁设计过重,超出了现场吊车的起重能力,不得不重新调整设计。

3.3 缺乏全生命周期的协同理念

在市政桥梁钢结构项目中,缺乏从规划、设计、施工到运营维护的全生命周期协同理念。在规划阶段,未能充分考虑未来施工和运营维护的需求,导致后续工作出现困难。如,在规划时未预留足够的检修空间,给后期桥梁维护带来不便。在设计阶段,只关注结构的安全性和功能性,忽略了运营阶段的能耗和维护成本。施工阶段则着重于完成工程建设,对桥梁的长期性能和可持续性关注不够。在运营维护阶段,由于前期设计和施工阶段的信息缺失或不准确,难以制定科学合理的维护计划。

4 市政桥梁钢结构设计与施工协同优化策略

4.1 建立有效的沟通机制

为促进市政桥梁钢结构设计与施工的协同,首先要构建多渠道、多层次的沟通机制。建立定期的现场沟通制度,设计人员定期到施工现场了解情况,及时解决施工中遇到的问题^[5]。如,每周安排设计人员到现场进行一次巡检,对施工中的疑问当场给予解答。利用现代信息技术,搭建实时沟通平台,如基于移动互联网的项目管理APP,实现设计与施工方的实时信息交流。某桥梁项目通过使用此类APP,信息传递的及时

性提高了50%。组织跨专业的沟通协调会议,邀请结构、施工、造价等各方人员共同参与,对重大问题进行集体研讨和决策。

4.2 强化设计阶段的施工可行性研究

在设计阶段,应充分考虑施工的可行性和便利性。一方面,设计人员要深入施工现场进行勘察,全面了解施工条件和环境。如,在某桥梁设计前,设计人员对施工现场进行了为期一周的详细勘察,为设计提供了准确的基础数据。另一方面,引入施工专家参与设计方案的制定和评审,从施工角度提出建议和意见。例如,在某大型桥梁设计方案评审中,施工专家提出的优化建议使施工难度降低了30%。运用模拟施工技术,对设计方案进行预演,提前发现可能存在的施工问题并加以改进。

4.3 树立全生命周期的协同理念

树立全生命周期的协同理念,实现市政桥梁钢结构项目的综合效益最大化。在规划阶段,充分考虑项目的长期发展需求,合理确定桥梁的规模和功能。例如,在规划时预留未来交通增长的余量,避免短期内进行二次改造。设计阶段,采用绿色设计理念,选用环保、可回收的材料,降低桥梁的全生命周期成本。施工阶段,采用节能环保的施工技术和设备,减少对环境的影响。在运营维护阶段,建立完善的桥梁健康监测系统,实时掌握桥梁的运行状况,为维护决策提供依据。某桥梁通过建立健康监测系统,及时发现并处理了多处潜在的安全隐患,延长了桥梁的使用寿命。

5 结束语

市政桥梁钢结构的发展日新月异,新技术、新材料、新工艺不断涌现,这既为协同优化带来了新的机遇,也提出了更高的要求。随着技术的不断发展和项目管理方法的不断优化,未来的研究将继续探索更高效的技术手段,进一步提升市政桥梁项目的整体效益。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 倪金昱. 钢结构桥梁完整性设计及质量控制[J]. 交通世界, 2023(33): 128-130.
- [3] 朱学恒. 现代桥梁钢结构整体设计与优化关键要素探究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2022(12): 65-67.
- [4] 吴发展. 市政桥梁无盖梁桩柱式一体化结构施工技术[J]. 内蒙古科技与经济, 2023(08): 99-101.
- [5] 胡琼芳. 桥梁设计中钢结构的完整性设计方法[J]. 模型世界, 2022(36): 28-30.