

箱梁桥梁施工中的结构稳定性分析与优化

彭 泊

(中交二航局第二工程有限公司, 重庆 400000)

摘要 箱梁桥梁在施工过程中面临着复杂的结构稳定性问题, 特别是在吊装与跨越阶段, 如何保证结构的稳定性对施工安全至关重要。本文通过分析箱梁桥梁的施工过程与结构受力情况, 识别影响结构稳定性的主要因素, 并提出了支撑与吊装系统优化、材料与结构设计优化以及实时监测与调节技术等优化策略, 通过案例分析与效果评估, 验证了优化方案的实际效果, 旨在为箱梁桥梁施工中的结构稳定性提供科学依据与实践参考。

关键词 箱梁桥梁; 结构稳定性; 施工优化; 受力分析

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.10.040

0 引言

随着城市化进程加快和交通需求增加, 箱梁桥梁因其优越的承载力和稳定性, 广泛应用于各类桥梁建设中。然而, 箱梁桥梁在施工过程中面临结构稳定性问题, 尤其在吊装和架设阶段, 受到荷载、支撑系统和环境变化等多方面因素的影响。研究箱梁桥梁施工中的稳定性问题, 分析其影响因素并提出优化策略, 不仅有助于提高施工质量与安全性, 还能为未来桥梁工程的技术发展提供理论支持, 具有重要的现实意义。

1 箱梁桥梁施工中的结构稳定性分析

1.1 箱梁桥梁的施工过程及结构受力分析

箱梁桥梁的施工过程通常包括预制、运输、吊装和架设等多个阶段。在每个阶段, 结构的受力状态都会发生变化, 尤其是在吊装和架设阶段, 荷载分布不均和临时支撑可能导致桥梁发生不均匀变形或局部失稳。桥梁的结构受力主要包括自重、施工荷载以及外部环境因素的影响^[1]。在吊装过程中, 桥梁构件的重心位置、支撑点的布置和起重设备的使用都会对结构产生重要影响。合理的受力分析能够帮助确定支撑系统的设计方案, 确保施工过程中桥梁结构的安全性和稳定性。

1.2 影响箱梁桥梁稳定性的主要因素

箱梁桥梁的稳定性受到多种因素的综合影响, 首先是施工荷载, 在吊装和架设过程中, 荷载的不均匀分布或突然增加可能导致局部超载, 从而引发结构失稳。此外, 支撑系统的设计和布置对于桥梁的稳定性至关重要。不合理的支撑系统可能导致桥梁局部沉降

或侧向力过大, 进而引发不均匀变形, 甚至影响整体稳定性。环境因素也不可忽视, 风力、温度变化等外部条件可能加剧桥梁的变形, 尤其在施工过程中, 强风或极端温差可能引起结构变形, 影响吊装稳定性^[2]。最后, 施工精度的误差对稳定性产生潜在威胁, 任何微小的安装误差都可能导致桥梁构件之间的不对称或不均匀受力, 进而影响结构的整体平衡。

1.3 结构稳定性分析方法与模型

结构稳定性分析常采用有限元分析法(FEM)和静力学分析法作为主要的分析工具。在有限元分析中, 通过将箱梁桥梁的结构离散化为多个单元, 根据胡克定律的公式 $\sigma = E \cdot \epsilon$ (其中, σ 为应力, E 为弹性模量, ϵ 为应变)来分析不同施工阶段的受力状态和变形特征^[3]。该方法能够精确模拟复杂的结构受力和变形, 评估不同荷载下桥梁的稳定性。静力学分析法则通过求解平衡方程 $\Sigma F = 0$, 计算作用在结构上的外力和内力的平衡, 评估各部位的应力分布及可能的失稳风险。

2 箱梁桥梁结构稳定性的优化策略

2.1 施工过程中的稳定性优化技术

在箱梁桥梁的施工过程中, 要确保结构的稳定性, 需要采用多元化的优化技术。

首先, 支撑系统的优化, 可以说是保障施工稳定性的重要技术之一。在吊装和架设的过程中, 合理地布置支撑点和支撑方式是非常重要的。可以使用一些临时支撑系统, 如滑移支撑或者吊装支架, 这样能够有效地分散荷载, 减少局部的应力集中。通过对支撑系统进行动态的优化设计, 结合吊装时的荷载变

化，能够保证每一个支撑点的受力是均匀的，这样就可以避免因为支撑不均而导致的结构不稳定的现象。此外，采用渐进加载的技术，通过逐步施加荷载，控制荷载的分布，使结构逐步地进入稳定状态，避免突然的荷载冲击导致的变形和失稳。

其次，施工监测与实时调节的技术，在这个优化的过程中也起到了非常重要的作用。通过在施工现场装置传感器和监测设备，能够实时监测桥梁的变形、应力、沉降等关键参数，这样可以及时发现潜在的稳定性问题。例如：利用变形传感器，如光纤传感器或者位移计，来检测桥梁各部分的位移，结合应力监测系统来分析各部位的受力情况，从而判断是否存在失稳的风险。当监测结果显示桥梁出现不均匀的沉降或者局部超载的情况时，可以通过一些自动调节的系统，如调节支撑点的位置，或者增设一些临时的支撑，来实时调整结构的受力状态，以此避免失稳现象的发生^[4]。

2.2 材料与结构设计优化方案

在箱梁桥梁施工中，材料选择与结构设计优化至关重要，对施工的稳定性的影响具有显著影响。材料方面，选择高强度、轻质且耐久性强的材料，如高强度混凝土和性能优良的钢材，有助于提升桥梁的承载能力并减少结构自重，从而降低施工时的荷载影响。这些材料不仅提供更优的力学性能，还能增强抗疲劳与耐腐蚀能力，延长结构使用寿命。

结构设计优化中，合理设计箱梁截面形状与尺寸非常重要。采用钢-混组合结构可以提升承载能力、减轻梁体重量，减少施工荷载压力。钢材与混凝土的组合形成高效的受力体系。优化连接节点设计可减少应力集中和变形导致的失稳问题。此外，利用有限元分析和多目标优化方法，确保结构稳定性并应对施工中的动态效应。

2.3 施工监控与实时调节技术

施工监控和实时调节技术在箱梁桥梁施工的过程中扮演着非常重要的角色，尤其是对于结构的稳定性方面，这一点是非常关键的。利用智能监测系统，如应变传感器、位移传感器、温度传感器等，能够在施工的过程中，实时地采集到桥梁在各个阶段的关键参数，这些传感器通过无线的数据传输，和集成的系统相结合，能够将监测的数据实时反馈到控制中心，分析桥梁在受到各种力的作用下，变形和环境变化情况下的反应情况（如图 1 所示）。例如：安装在箱梁各

个关键部位的光纤传感器，可以高精度地测量桥梁微小的变形，实时获取结构的受力分布情况，这些都是非常重要的。

在实时调节技术方面，结合自动化的调节系统，根据监测的数据，对桥梁的结构进行动态的调整，这是非常有必要的。利用自适应控制算法，能够对桥梁的支撑系统进行实时的优化，如通过调节临时支撑点的高度，或者是位置，来调整荷载的分布，这样能够有效缓解桥梁局部受力过大的情况^[5]。此外，预应力调节技术也是一种常见的实时调节的手段，通过对桥梁施加预应力，来调整桥梁的结构形变，以达到在施工过程中优化稳定性的目的。

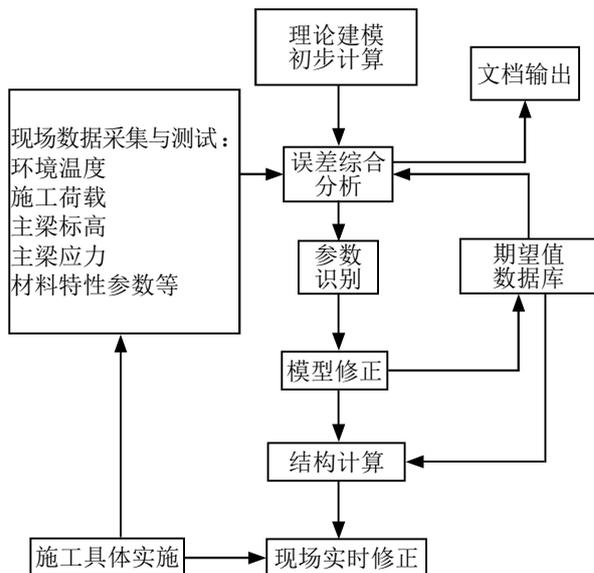


图 1 桥梁施工监控流程图

3 箱梁桥梁结构稳定性优化效果评估

3.1 优化方案的效果评估指标

优化方案的效果评估指标主要包括结构变形量、安全系数、施工效率和经济性四个方面。首先，结构变形量是评估优化效果的重要指标之一，通过实时监测桥梁在施工过程中的位移和变形，评估优化方案是否有效减少了不均匀沉降或局部失稳。变形量过大会导致结构的稳定性下降，甚至可能引发严重的安全隐患。其次，安全系数作为反映桥梁整体稳定性的关键指标，通过计算不同阶段的受力情况和结构的失稳风险，评估优化方案是否提高了桥梁的安全性。较高的安全系数意味着结构在各种工况下都能保持稳定，不易出现失稳现象。再次，施工效率也是一个重要的评估指标，通过比较优化方案

实施前后的施工周期、作业时间及成本消耗,评估优化措施是否有效加快了施工进度并降低了施工成本^[6]。最后,经济性指标考虑优化方案的成本与效益之间的平衡,评估优化措施是否能在保证施工稳定性的前提下,减少不必要的资源浪费和经济投入。

3.2 案例分析与效果验证

文莱 PMB 大桥施工过程中,优化的合拢段施工方法和监控技术大大提升了桥梁的稳定性。该大桥项目位于热带雨林气候区,面临高温、多雨及季节性天气的挑战,施工期间气候变化对桥梁的稳定性提出了更高要求。在合拢段施工过程中,采用了挂篮前移和配重系统以确保箱梁两端在混凝土浇筑过程中保持平衡,避免了结构变形和应力集中。通过合理设置配重,合拢段施工过程中悬臂端的荷载被精确控制,确保了结

构的稳定性和混凝土的正确浇筑(如图2所示)。这一策略显著降低了由于施工过程中应力不均引起的结构变形风险。

通过对该项目的施工数据分析,优化策略的实施效果得到了有效验证。在实际施工中,边跨合拢段和中跨合拢段的施工按照严格的合拢顺序进行,确保了箱梁的平衡与对称性。配重系统的精确设计使得每个合拢段都能够在合适的荷载状态下完成浇筑,避免了传统方法中可能出现的结构不稳定情况。此外,临时刚接技术和劲性骨架的锁定使得合拢段在施工过程中始终保持一致的结构状态,避免了因温度变化或荷载不均引起的裂缝或结构不稳定问题。优化后的施工方法不仅提高了施工的安全性和效率,还减少了因结构不稳定导致的返工,确保了大桥施工的顺利进行。

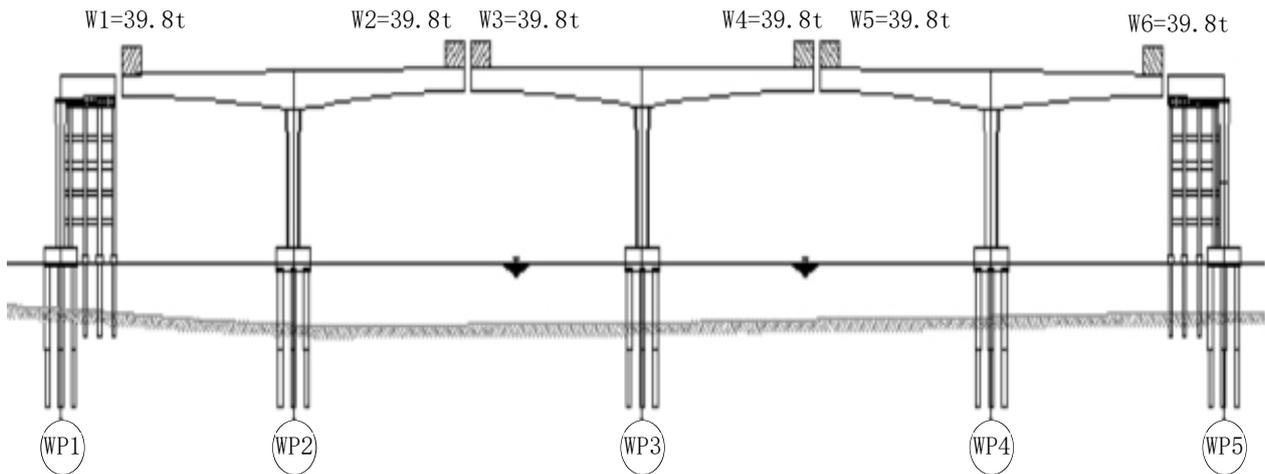


图2 合拢配重图

4 结束语

箱梁桥梁施工中的结构稳定性优化技术通过采用先进的监测与调节手段、合理的材料选择和结构设计,不仅提高了施工过程中的安全性,还有效提升了施工效率和经济性。随着技术的不断进步,未来优化策略将在更多桥梁施工项目中得到应用,为桥梁工程建设带来更高的可靠性和可持续性。然而,实施过程中仍面临一定的挑战,需在技术、成本和环境适应性等方面进行持续优化和完善。

参考文献:

[1] 李红,丁炜,薛松涛,等.曲线钢箱梁桥吊装施工稳

定性分析及控制[J].南京工业大学学报:自然科学版,2023,45(02):196-201,210.

[2] 周俊强,李旭东,刘光辉.宽体钢箱梁施工中临时结构受力特性研究[J].科技创新导报,2022,19(30):187-190.

[3] 曹嵩岭.跨越既有线路钢箱梁顶推施工有限元仿真分析[J].科技创新与应用,2024,14(02):75-78.

[4] 王惠,申铁军.基于有限元的钢箱梁桥受力计算与结构分析研究[J].河南建材,2024(02):4-7.

[5] 索东洋.现浇混凝土连续箱梁施工技术研究[J].工程机械与维修,2024(01):198-200.

[6] 王江浩,徐德志,邵加楠,等.高栏港大桥钢箱梁吊装施工局部稳定及受力优化分析[J].广东交通职业技术学院学报,2024,23(01):18-22.