

大跨度桥梁上部结构整体吊装工艺的关键难点与质量控制研究

储庆

安徽建工集团股份有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i9.4889

[摘要] 大跨度桥梁上部结构整体吊装作为高效、集约的施工方式,因其独特优势逐渐成为主流工艺。然而,受构件尺寸、柔性等多重因素影响,吊装过程中的姿态控制、同步协调及环境变化等难点不可忽视。通过实时监测、设备协同与优化方案,结合动态调整机制,能有效降低吊装风险,提升精度与安全性。文章分析了关键技术难点与质量控制策略,为大跨度桥梁整体吊装提供了创新性解决路径,具有重要的工程应用价值与实践意义。

[关键词] 大跨度桥梁; 整体吊装; 上部结构; 姿态控制; 质量管控

中图分类号: U445 文献标识码: A

Research on Key Challenges and Quality Control in the Overall Hoisting Technology of the Upper Structure of Long-Span Bridges

Qing Chu

Anhui Construction Engineering Group Co., Ltd.

[Abstract] Overall lifting of large-span bridge superstructures has become a mainstream method due to its efficiency and integrated workflow. Yet challenges in posture control, synchronized operation, and environmental influence remain significant because of component size and flexibility. Real-time monitoring, coordinated equipment action, and optimized adjustment strategies help reduce risks and improve accuracy and safety. This study examines key technical difficulties and quality control measures, offering innovative paths for safer and more reliable lifting of large-span bridges.

[Key words] Large-span bridge; Overall lifting; Superstructure; Posture control; Quality control

引言

大跨度桥梁结构尺度持续增大、预制化程度不断提升,使整体吊装逐渐成为关键工序,而结构柔性放大、荷载变化敏感、施工环境多样等因素,使吊装过程更依赖精细化组织与实时控制。构件在起吊、转运与就位过程中,其姿态、受力与稳定性极易受到风场扰动、温度梯度或设备差异的影响,施工组织因而需在安全裕度、线形控制与设备协同之间取得稳定平衡,这种平衡的寻求推动了吊装技术体系的不断深化。

1 大跨度桥梁上部结构整体吊装工艺的构成特点与适用条件

1.1 整体吊装工艺体系构成及技术特征

大跨度桥梁的整体吊装体系,由预制构件的成型质量、吊点的力学布设、吊装装备的性能匹配以及运输与定位的组织方式共同构成,其本质是依托集中化施工实现构件在受力状态可控、线形偏差可调和拼装精度可维持的综合过程^[1]。构件尺寸越大、截面越复杂,吊装体系在受力传递上的敏感性便越突出,稍有不均便可能引起姿态偏转或挠度加深;而吊装装备能力的提升、力

学分析方法的成熟与现场监测技术的普及,使整体吊装逐渐呈现出标准化、协同化程度不断提高的特点。整体吊装的核心优势在于减少高空分散操作,增强结构线形可控性,并在统一受力体系下保持构件安装质量的稳定性,这些特征使其在大尺寸构件普遍应用的背景下愈加具有工程吸引力。

1.2 整体吊装适用条件与工程限制因素

整体吊装的适用性往往受结构体系、施工环境与装备条件的共同影响,结构刚度较高、节段划分合理、构件运输通道顺畅的工程更具实施优势,而场地受限、水域风场显著、大吨位设备调配困难的区域则对吊装组织提出更高要求。随着预制化程度不断提高和大型吊装装备性能增强,整体吊装的工程适用范围持续拓展,但构件自重大、柔性强、吊点位置敏感等限制因素依旧存在,这些因素既提醒施工组织需更加精细化,也促使吊装方案的制定更侧重受力均衡与线形控制,从而为后续施工阶段奠定稳固的技术基础。

2 大跨度桥梁整体吊装工艺中的关键难点分析

2.1 吊装构件大尺寸、高柔度导致的姿态控制难点

大跨度桥梁整体吊装中的最大挑战之一在于吊装构件的大尺寸和高柔度,这使得姿态控制成为吊装过程中的一项重要难题。吊装构件在起吊、运输及安装过程中,尤其是在转运阶段,由于其自重大、跨度大,容易出现过度下垂、摇摆和扭转等问题^[2]。这些姿态变形会影响构件的正确定位,甚至可能导致构件损坏或造成安装精度偏差。例如,在某些桥梁工程中,吊装过程中出现了构件因受力不均导致的扭曲变形,进而影响了拼装后桥梁的稳定性和抗震性能。因此,吊装过程中必须进行实时监测,及时对构件姿态进行调整,确保各吊点受力均衡,避免构件在高空中发生不受控制的位移。

为了解决这一问题,一些工程开始采用动态姿态控制技术,如使用激光跟踪仪、全站仪等高精度测量工具,对吊装构件进行实时监控,确保其姿态在吊装过程中保持稳定。此外,基于BIM技术的三维建模和模拟分析,也为吊装工艺提供了前期优化方案,能够预测吊装过程中的可能风险,提前做好应对准备。通过这些技术手段的综合运用,能够在吊装过程中保持构件的稳定性,提高整体吊装质量与安全性。

表1 大跨度桥梁吊装姿态控制技术应用

技术手段	应用实例	优势
激光跟踪仪	某大跨度桥梁吊装项目	高精度实时监测,调整吊装姿态
全站仪	高速公路桥梁吊装	实时反馈构件位置,保证准确性
BIM三维建模	桥梁工程预先模拟吊装过程	提前识别潜在问题,优化施工方案

2.2 多设备协同吊装过程中的同步控制与安全风险

在大跨度桥梁的整体吊装过程中,通常需要多台设备同时协同作业,如多吊点的吊装机、起重船和架桥机等。多设备的协同操作要求极高的同步性与协调性,吊装中的任何微小误差都可能引发严重的安全事故^[3]。尤其是在面对风速、温度变化等外部环境因素时,设备间的协同作业可能受到影响,导致吊装作业的安全性和效率下降。例如,某跨江大桥吊装过程中,由于风速超标,导致两台起重机的作业不同步,最终造成了吊装过程中构件的偏移,增加了吊装风险。

因此,吊装前的设备选型、能力匹配、同步控制策略的制定显得尤为重要。在一些大型桥梁项目中,采用了实时监控与反馈机制,通过GPS定位系统与传感器对多台设备进行精确控制,确保每台设备的吊装动作都能在预定的时间窗口内完成,避免因设备不同步引起的危险。同时,还通过加强指挥中心与设备间的通信,建立全面的风险预警机制,确保在发生异常时能够及时调整吊装策略,防止事故的发生。

在实施过程中,协调指挥系统的智能化和信息化技术的应用也在逐步发展。例如,通过引入人工智能和物联网技术,设备之间可以实现更为精准的协同作业,通过大数据分析优化吊装路径和顺序,提高作业效率并减少安全隐患。

2.3 施工环境与外部因素对吊装精度与安全的影响

施工环境的多变性对大跨度桥梁整体吊装工艺的影响不可忽视。特别是在桥梁跨越水域、山脉或城市密集区时,吊装过程

中不可预见的外部因素如风速、气温、降水、施工场地的可达性以及交通管理等,都可能对吊装作业产生显著影响。吊装过程中,尤其是在受风速影响较大的区域,风荷载的变化不仅对构件姿态控制提出了更高要求,还可能导致吊装作业暂停,增加工期和成本。例如,在某大桥吊装过程中,突如其来的强风导致起重机未能按照原定计划完成吊装,造成了施工现场的工期延误和额外成本。

为降低外部环境对吊装作业的影响,必须提前评估施工场地的环境风险,合理安排吊装时机与作业环境。在某些极端天气条件下,可借助风速监测系统与气象预报数据,及时调整吊装的时段或作业流程。此外,建立风速与温度实时监测系统,在吊装过程中为现场工作人员提供及时的风险预警,也是确保吊装安全的重要手段之一。

在实际工程中,越来越多的项目选择使用智能化气象监测系统和自动化风险评估系统,通过大数据和云计算分析,实时掌握吊装作业中的环境变化,帮助现场指挥及时调整吊装策略,确保吊装的精度与安全。这些技术手段的应用,能够有效减少外部环境对吊装工艺的影响,提高工程的整体安全性和施工效率。

3 大跨度桥梁整体吊装工艺的质量控制策略与实施路径

3.1 提升精度: 精细化准备与严密管控

大跨度桥梁整体吊装的质量控制,始于对施工前期准备的精准把控。吊装方案的制定不仅仅是技术路径的选择,更是全流程质量保障的起点。施工现场的环境评估、设备与材料的核查、构件精度的检测,均需以数据为依据进行详细规划与校验^[4]。尤其是吊装设备的选型与布置,必须考虑到吊装重量、构件刚度、环境风速等多重因素。所有技术准备环节,均需严格遵守标准化操作,做到前期准备无误、施工方案可执行。合理的资源调度与施工计划安排,不仅能最大化提升作业效率,更能避免因细节失控带来的质量风险。在此基础上,动态监测系统的引入,能够在吊装实施过程中实时反馈构件受力与位移状况,从源头上规避不确定因素带来的潜在质量隐患。

3.2 同步控制: 多设备协同与智能监测

整体吊装过程中,多个吊装设备的协同作业是确保施工安全和精度的核心。设备之间的受力均衡与同步控制,是提高吊装质量与安全的重要因素。借助信息化技术与数字化管理平台,各吊装设备间的协调性得到大幅提升。实时监测系统通过数据共享与分析,不仅实现了设备动作的即时调整,还有效预警了可能出现的异常情况。通过多台吊装设备的协同操作,可以保证吊装过程中的平稳过渡与稳定控制,最大程度地减少由于设备偏差或外部扰动导致的质量问题。此外,系统化的反馈机制,也为施工人员提供了操作建议与修正方案,确保吊装过程中每个环节的精准执行,进而提高整体施工质量。

3.3 验收反馈: 后期复查与质量评估

吊装工作完成后的质量验收,是确保整体吊装质量符合设计要求的最后一道防线。在此过程中,针对构件的线形复测、接

头连接处的质量检验、焊接及螺栓的紧固情况进行全面检查是必要的工作。通过高精度的测量工具与标准化的检测程序，能够有效识别构件在吊装过程中可能发生的微小位移或变形。这一阶段不仅仅是形式上的检查，更是对整个吊装环节质量控制的复核与验证。同时，吊装后期的监测与反馈机制也不容忽视，构件在完成安装后的受力分析与长期表现评估，将直接影响后续的使用安全与维护工作。质量验收的过程，是为确保整个吊装工艺不仅满足技术要求，更能够在实际使用中经受住时间与环境考验。

4 结语

大跨度桥梁整体吊装的复杂性与精细度，随着结构尺度的扩大和施工环境的多样化而愈加凸显，而愈是结构庞大、受力敏感、环境多变，愈需要在预控、监测与校核之间构建贯穿全程的稳健体系，使构件在受力均衡中完成转移，在动态扰动中保持姿态稳定，在成品阶段展现线形与受力的双重可靠，由此形成工程质量的持续性保障与技术体系的迭代动力。吊装技术的进步往往不是单一环节的突破，而是在多学科、多装备、多信息系统的

耦合中形成更高层级的协调能力，随着数字化、智能化手段不断注入施工现场，整体吊装的安全边界与精度水平正被不断拓宽，一个更具韧性、更具自适应性的桥梁施工模式也在这一过程中逐渐成形，推动大跨度桥梁建设迈向更高质量的发展方向。

【参考文献】

- [1]冯太坤,马林,郑佑卫.大跨度梁拱组合钢结构桥梁施工技术[J].工程技术研究,2024,9(13):60-62.
- [2]张蕾,吕柯南.大跨度桥梁特殊结构的施工难点与技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(20):125-127.
- [3]王晓晓,李佳,彭龙帆,等.大跨度公路桥梁施工技术要点及质量控制[J].建筑技术开发,2024,51(12):127-129.
- [4]唐国锋,罗小斌,田激全,等.大跨度空间钢结构施工的质量控制研究[J].建设监理,2021,(06):75-77+88.

作者简介：

储庆(1994—),男,汉族,安庆岳西人,本科,工程师,研究方向：工程施工与技术质量管理。