

装配式预应力空心板桥预制构件快速吊装技术研究

马国宝 周继谋 景文广 许建芳 齐荣真

中铁十五局集团第四工程有限公司 河南郑州 450000

摘要: 随着交通基础设施的快速发展,装配式预应力空心板桥在桥梁建设中广泛应用,成为提升工程建设效率、降低成本、保障质量的有效手段。装配式桥梁通过预制构件的快速吊装,缩短现场施工时间,加快工程进度。预应力空心板桥的预制构件吊装在施工中至关重要。为满足现代桥梁建设对施工效率、质量和安全性的高要求,研究并优化预制构件快速吊装技术具有重要理论价值与实践意义。本文结合现有技术,探讨装配式预应力空心板桥预制构件吊装关键技术,分析技术难点、优化策略及应用效果。通过数值模拟与现场施工案例(如中铁十五局集团第四工程有限公司承建的上天梯非金属矿管理区天平路东延、天明路、上天梯大道工程EPC总承包项目中的桥梁建设),剖析不同吊装方法的适应性与优缺点,提出基于新型吊装设备和技术的快速吊装方案。研究表明,优化后的吊装技术可显著提高施工效率、确保结构安全、降低施工成本,应用前景广阔。

关键词: 装配式桥梁; 预应力空心板; 预制构件; 吊装技术; 施工优化

引言

近年来,交通网络迅猛发展,桥梁建设在现代城市基础设施中作用关键。传统桥梁施工依赖大量现场作业,施工周期长、工艺复杂、安全保障难。为解决这些问题,装配式桥梁逐渐成为新型桥梁建设主流。它通过工厂预制桥梁构件,运至现场安装,提高施工效率、缩短工期、降低现场施工复杂性与环境影响,具有显著社会效益。

在装配式桥梁建设中,预应力空心板桥因结构轻、施工周期短、耐久性好等优势,应用广泛。其预制构件通常较大且重,对吊装技术要求较高。吊装是预制构件安装和确保桥梁结构安全稳定的关键环节。随着装配式桥梁施工技术发展,传统吊装方法难以满足现代施工对快速性、精准性和安全性的需求,研究并优化吊装技术迫在眉睫。

本文主要探讨装配式预应力空心板桥预制构件吊装技术,分析现有吊装方法在实际施工中的应用效果与不足。深入剖析吊装关键技术难点,提出新型吊装技术,结合数值模拟与现场测试数据(以中铁十五局集团第四工程有限公司承建的上天梯非金属矿管理区天平路东延、天明路、上天梯大道工程EPC总承包项目中的桥梁吊装实践为参考),优化吊装技术参数,为桥梁建设提供理论依据与技术支持。

作者简介: 马国宝(1988.03--),男,汉,河南信阳,大学本科,中级工程师,研究方向:建筑工程。

一、装配式预应力空心板桥构件吊装的现状与挑战

1. 装配式预应力空心板桥的构件特点

装配式预应力空心板桥主要采用预应力混凝土空心板构件。预应力结构设计可提高承载能力、减少自重,经济效益和施工性能良好。施工时,预应力空心板需准确吊装,因其重量大、规格相对统一、形状规则标准,吊装技术难度高。

预应力空心板设计和施工考虑减重和提高强度,吊装时必须满足精确的吊装角度、速度与安全要求。构件质量和体积大,对吊装设备选型和操作技术要求高。为避免吊装误操作或设备故障致构件损坏,需优化提升吊装技术。

2. 传统吊装方法的不足

传统吊装方法依赖大型起重机和钢索,常见静态和动态吊装。但实际应用中存在诸多问题。首先,吊装设备选择受工地条件、设备载重能力等因素限制,常需配置大型机械,且吊装精度低,易致预制构件位置偏差或损坏。其次,现场环境复杂,风力、温度变化等不可控因素增加吊装不确定性。最后,传统吊装速度慢、施工周期长,影响工程整体进度。以中铁十五局集团第四工程有限公司承建的上天梯非金属矿管理区天平路东延、天明路、上天梯大道工程EPC总承包项目为例,前期采用传统吊装方式,出现施工效率低下问题。

3. 吊装过程中的安全性问题

在吊装作业的整个流程里,安全性始终占据着举足轻重的地位,容不得半点马虎。就拿预应力空心板来说,

其重量十分可观，一旦在吊装过程中出现失误，那后果不堪设想，极有可能引发严重的结构损坏，对建筑质量造成毁灭性打击，甚至还会导致人员伤亡，给无数家庭带来沉重的灾难。

在传统吊装方法中，操作人员需要凭借丰富的经验和精湛的技艺，精确地调度各类吊装设备。然而，在复杂的施工环境下，诸如恶劣的天气、狭窄的作业空间等外部因素，很容易对操作人员产生干扰，使得他们难以始终保持精准的操作，这无疑大大增加了操作风险。所以，如何在确保吊装精度丝毫不差的同时，全方位保障施工安全，已然成为当前吊装技术研究领域亟待解决的关键问题之一。

二、装配式预应力空心板桥构件快速吊装技术的优化

1. 新型吊装设备的应用

科技发展推动现代吊装设备技术进步，智能化起重机、自动化吊装装置等新型设备逐渐应用于实际施工。以智能化起重机为例，它集成了高精度传感器、先进的自动控制系统以及直观的智能操作界面。在吊装作业中，这些传感器能够实时、精准地监测构件的吊装状态，如构件的倾斜角度、晃动幅度等关键信息。自动控制系统则根据传感器反馈的数据，自动调整吊装角度、提升速度等参数，确保构件在吊装过程中始终保持稳定状态。

通过设备的智能化升级，可有效减少人为失误和外部干扰影响，极大提高吊装作业的安全性和效率。在中铁十五局集团第四工程有限公司承建的上天梯非金属矿管理区天平路东延、天明路、上天梯大道工程EPC总承包项目中，引入新型智能化起重机后，吊装效率得到显著提升。以往需要多人协作、长时间调整的吊装作业，如今在智能化起重机的精准操作下，能够快速、准确地完成，大大缩短了吊装时间，提高了施工进度。

2. 吊装过程中的实时数据监测与反馈

现代吊装技术优化不仅依赖设备改进，还需借助先进监测技术。通过安装高精度传感器、高清摄像头等设备，可实时监测吊装过程中预制构件的位移、受力情况等数据。这些实时数据通过数据采集与处理系统进行快速分析，并及时反馈给操作人员，帮助其做出必要调整。

在吊装过程中，系统能根据实时数据自动调整吊装参数，保证构件稳定性，避免倾斜、旋转等异常情况，提升吊装精度与安全性。在上天梯非金属矿管理区项目施工中，实时数据监测与反馈系统发挥了重要作用。当传感器检测到构件受力不均时，系统立即发出警报，并将数据反馈给操作人员，同时自动调整起重机的提升力

和角度，使构件受力恢复平衡，确保了吊装安全。

3. 优化吊装方案与施工计划

吊装技术优化不仅体现在设备和技术上，还需在施工方案和计划上进行精细化设计。针对不同类型预制构件，结合现场实际条件（如地形、天气等因素），设计针对性吊装方案。例如，对于重量较大或形状不规则构件，可采用分段吊装、反向吊装等方法，确保每次吊装在安全范围内进行。

此外，施工计划优化也是提高吊装效率的关键。合理安排吊装时间，避免吊装作业中出现等待和中断情况，可有效缩短施工周期、降低施工成本。中铁十五局集团第四工程有限公司在该项目中，通过优化吊装方案与施工计划，使项目推进更加顺畅。根据天气预报和施工进度，提前调整吊装作业时间，避开恶劣天气和交通高峰期，减少了外界因素对吊装作业的影响，提高了施工效率。

三、快速吊装技术在实际工程中的应用

1. 案例分析：某高速公路桥梁施工项目

在某高速公路桥梁施工项目中，采用优化后的装配式预应力空心板桥构件吊装技术。该项目引入新型智能化起重机和实时监测系统，极大提高了吊装效率和精度。智能化起重机集成传感器、自动化控制系统和远程监控平台，可实时获取吊装过程各项关键数据，包括构件位置、起重机负载、受力分布等。

通过系统监控和数据反馈，施工团队能及时调整吊装角度、速度以及起重机操作其他关键参数，确保构件精确定位，避免人工操作误差导致偏差。该项目实施缩短了吊装周期，减少传统吊装方法常见等待和中断现象，提高施工效率。与传统方法相比，优化后的吊装技术有效降低因作业延误增加的成本，减少施工人员劳动强度。

同时，智能化吊装系统实时监测每个构件受力情况，包括悬吊点受力分布、结构稳定性等。通过实时数据监控，施工团队准确掌握构件受力情况，减少吊装失误造成损坏和事故。此外，系统还能提前预警设备潜在故障，进行预防性维护，保障施工安全。该高速公路桥梁施工项目成功实施，验证新型吊装技术在实际工程中的可行性，为今后类似项目提供宝贵经验。

2. 案例分析：城市桥梁建设中的应用（以中铁十五局集团第四工程有限公司承建的上天梯非金属矿管理区天平路东延、天明路、上天梯大道工程EPC总承包项目为例）

在城市桥梁建设中，优化吊装技术效果显著。城市环境施工场地有限，吊装作业难度大。上天梯非金属矿管理区天平路东延、天明路、上天梯大道工程EPC总承包项目中的城市桥梁建设，施工场地有限、周围环境复

杂，吊装作业面临空间受限、交通干扰等挑战。传统吊装方法难以实现精确吊装，施工安全风险大。

但通过引入新型吊装设备与实时数据监控技术，有效提高吊装精度，确保施工安全。该项目优化后的吊装技术结合高精度起重设备和动态监测系统。智能化起重机根据实时数据调整吊装速度和角度，确保构件平稳可靠。在有限空间内，吊装操作保证精度同时，避免与建筑物或设施碰撞风险。

此外，吊装过程中的实时监控系統根据环境变化自动调整吊装方案，适应复杂天气条件影响。例如，风速较大时，系統自动调节吊装速度和角度，确保作业稳定进行，避免环境因素造成延误或设备故障。通过应用智能化吊装技术，城市桥梁吊装作业提高效率，减少风险隐患，确保施工人员安全。该项目中，吊装高效精确，施工时间大幅缩短，降低施工成本，在有限空间内成功完成复杂吊装任务。此项目成功应用为今后城市复杂环境下桥梁建设提供重要实践经验，证明快速吊装技术在城市桥梁施工中的可行性和优势。

四、装配式预应力空心板桥吊装技术的挑战与展望

1. 技术普及与设备成本问题

尽管新型吊装技术提高施工效率优势显著，但技术普及面临挑战。智能化吊装设备和系統建设技术投入高，设备成本高，对中小型企业 and 地方建设项目是负担。在发展中国家和地区，建设单位吊装设备采购和维护经济压力大，限制技术广泛应用。设备高成本包括初期购买费用、维护、培训和技术支持等长期投入，成为中小型项目推广新技术制约因素。中铁十五局集团第四工程有限公司在该项目中应用新技术时，充分考虑成本与效益平衡。

此外，智能化吊装设备应用要求操作人员技术水平高，需系統培训工程技术人员。操作人员技能和经验影响吊装技术效果和施工安全。但相关人员培训和技术积累需时间和经济投入。因此，平衡技术高效性与设备成本、在技术普及同时降低成本，是技术推广难题。

2. 环境适应性与稳定性问题

新型吊装技术在当下施工领域的应用日益广泛，其凭借创新的设计与先进的技术手段，在实际应用中显著提高了施工效率，为工程项目的快速推进提供了有力支撑。然而，不可忽视的是，该技术的环境适应性仍有待进一步优化。

吊装作业往往受到多种因素的制约，天气状况、地形地貌以及设备自身的运行状态等，都会对其产生重要影响。尤其是在复杂天气条件下，吊装设备的稳定性和安全性成为至关重要的考量因素。尽管目前智能化吊装

设备已经具备实时监测并调整参数的能力，能够根据环境变化做出一定程度的响应，但环境的复杂性和多变性仍给设备的正常运行带来了巨大挑战。

面对多变的天气条件，吊装设备常常会受到大风、雨雪、雷电等恶劣天气的侵袭。大风可能导致吊装物晃动，增加作业风险；雨雪可能使设备表面湿滑，影响操作精度；雷电则可能对设备的电子系統造成损害，引发设备故障甚至导致作业中断。因此，如何提高吊装系統的抗干扰能力，使其能够在复杂环境下稳定运行，成为了未来研究的重要方向。例如，当风速过大时，吊装设备如何迅速识别环境变化，并自动调整操作策略，以确保安全作业，这已成为当前的研究热点。此外，提高吊装设备在极端天气条件下的适应能力，增加设备的稳定性，也是技术完善过程中的关键所在。

结束语

装配式预应力空心板桥的快速吊装技术在现代桥梁建设中应用价值重大。引入新型吊装设备、实时数据监测与反馈系統，有效提高吊装效率，确保精度和施工安全。随着技术完善，施工周期大幅缩短，施工安全性和质量有效提升。

然而，技术普及面临设备成本、技术培训、环境适应性等问题。随着技术进步和智能化程度提高，未来吊装技术将更高效、稳定，推动装配式桥梁快速发展，为城市基础设施建设提供坚实技术支持。尤其在环境复杂、施工条件苛刻情况下，快速吊装技术优势将更充分发挥，如中铁十五局集团第四工程有限公司承建的上天梯非金属矿管理区天平路东延、天明路、上天梯大道工程EPC总承包项目所展现的，推动了现代交通基础设施建设迈上新台阶。

参考文献

- [1] 王继全. 全预制装配式桥梁方案研究[J]. 城市道桥与防洪, 2018, (04): 75-77+98+12. DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyfh.2018.04.022.
- [2] 刘小强. 新预应力混凝土板式桥梁设计研究[D]. 湖南大学, 2007.
- [3] 张成波. 预制装配式桥梁结构状态评价研究[D]. 长安大学, 2023. DOI: 10.26976/d.cnki.gchau.2023.001963.
- [4] 马丽霞, 陈学, 张军. 公路桥梁预应力混凝土施工质量控制[J]. 汽车周刊, 2025, (07): 104-106.
- [5] 陈亚楠, 李念. 预应力施工技术在大跨度连续桥梁工程中的应用[J]. 建筑机械, 2025, (01): 118-121. DOI: 10.14189/j.cnki.cm1981.2025.01.014.