 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i2.9293

Experimental Study on the Stress Performance of the Hanging Basket for the Cast-in-situ Construction of Large Span Continuous Beam

Feng Li

China Railway 12th Bureau Group Fourth Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710024, China

Abstract

Long-span continuous beam bridges are widely used in modern bridge engineering. During cast-in-place construction, the hanging basket serves as the primary load-bearing and construction equipment, with its stress performance directly impacting construction safety and structural formation quality. As bridge spans continue to increase and structural forms become more complex, the load levels and stress states experienced by hanging baskets during construction have become increasingly intricate and variable. Traditional empirical design and theoretical calculations can no longer fully reflect their actual working performance. This study focuses on the hanging basket in long-span continuous beam cast-in-place construction, combining practical engineering scenarios. Through stress performance tests, it systematically analyzes the stress characteristics, deformation patterns, and overall stability of the hanging basket under different construction conditions. The research findings demonstrate that the stress behavior of the hanging basket exhibits distinct stage-specific and nonlinear characteristics. The experimental data provide critical references for optimizing structural design and controlling construction safety, offering practical significance for enhancing the safety and reliability of long-span continuous beam bridge cast-in-place construction.

Keywords

long-span continuous beam; cast-in-place construction; hanging basket; stress performance; experimental study

大跨径连续梁现浇施工挂篮受力性能试验研究

李峰

中铁十二局集团第四工程有限公司，中国·陕西 西安 710024

摘　要

大跨径连续梁桥在现代桥梁工程中应用广泛，其现浇施工过程中，挂篮作为主要承重与施工设备，其受力性能直接关系到施工安全与结构成型质量。随着桥梁跨径不断增大、结构形式日趋复杂，挂篮在施工阶段所承受的荷载水平和受力状态更加复杂多变，传统经验设计和理论计算已难以全面反映其真实工作性能。本文以大跨径连续梁现浇施工挂篮为研究对象，结合工程实际，通过受力性能试验，对挂篮在不同施工工况下的受力特征、变形规律及整体稳定性进行系统分析。研究结果表明，挂篮受力具有明显的阶段性和非线性特征，试验数据可为挂篮结构设计优化和施工安全控制提供重要依据，对提升大跨径连续梁桥现浇施工的安全性与可靠性具有现实意义。

关键词

大跨径连续梁；现浇施工；挂篮；受力性能；试验研究

1 引言

随着交通基础设施建设的快速发展，大跨径连续梁桥因其结构连续性好、行车舒适性高和适应性强等优势，在铁路与公路桥梁工程中得到广泛应用。现浇法施工是大跨径连续梁桥的重要施工方式之一，而挂篮作为现浇施工中的关键临时结构，承担着模板系统、自重荷载、新浇混凝土荷载及施工荷载等多重作用。挂篮受力性能的可靠与否，直接影响施工过程的安全性和梁体成型质量。近年来，随着跨径增大和施工条件复杂化，挂篮在使用过程中暴露出受力复杂、变形控制难度大等问题。开展大跨径连续梁现浇施工挂篮受力性能试验研究，有助于深入认识其真实受力状态，为理论分析与工程实践提供可靠支撑。

2 大跨径连续梁现浇施工挂篮结构与受力特点

2.1 挂篮结构组成与工作原理

挂篮作为连续梁桥悬臂浇筑施工的关键装备，其结构体系由主桁架、悬吊系统、模板系统及行走系统等部分组成，各构件通过合理的受力传递路径形成整体稳定的工作体系。

【作者简介】李峰（1995–），男，中国山西汾阳人，本科，助理工程师，从事道路与桥梁研究。

主桁架承担全部施工荷载和自重，是挂篮的主体承重结构，通过与已浇筑梁段的锚固，将荷载传递至下部结构。悬吊系统主要负责模板标高、纵向倾角和横向位置的精确调整，以保证浇筑段线形的连续性和几何精度；模板系统直接承载新浇混凝土及施工荷载，并通过桁架体系分散应力；行走系统则用于实现挂篮在梁段间的纵向推进与位置转换。各部分相互协调，使挂篮能够在浇筑、张拉、移动等不同阶段维持稳定受力和平衡状态，确保施工过程的安全与结构的线形控制精度。

2.2 大跨径条件下挂篮受力的复杂性

随着桥梁跨径的增大，挂篮在施工阶段的受力环境愈加复杂。悬臂长度的增加导致主桁架与悬吊系统所承受的弯矩和剪力显著上升，结构整体刚度需求随之提高。同时，大体量的新浇混凝土荷载与施工附加荷载使挂篮的自重比例增大，造成内力分布的不均与结构变形的放大效应。施工过程中，由于挂篮在逐段前移中不断改变受力边界与荷载作用点，其受力状态呈现出明显的阶段性和非线性特征。尤其在悬臂端浇筑与张拉阶段，挂篮结构最易产生局部应力集中和挠度累积。此类复杂受力条件不仅对设计计算的准确性提出更高要求，也对施工监测和动态控制能力构成挑战。科学分析挂篮在大跨径条件下的受力规律，对确保结构安全与施工线形精度具有重要意义。

2.3 挂篮受力性能对施工安全的影响

挂篮受力性能是决定悬臂浇筑施工安全与梁段线形控制精度的关键因素。若受力分析不充分或结构刚度不足，可能导致桁架过大变形、悬吊系统松弛、模板下沉等问题，严重时甚至引发挂篮失稳或结构破坏，从而危及施工安全与工程质量。尤其在大跨径桥梁施工中，挂篮的受力性能直接影响梁体应力分布与线形控制，其变形若超出允许范围，将造成梁段接缝错位或预应力偏差。为确保挂篮安全可靠运行，必须在设计阶段进行精确的受力分析与安全校核，在施工过程中实施动态监测与数据反馈控制。通过应变监测、位移测量及荷载校核等手段，可及时发现潜在风险并调整施工参数。挂篮受力性能的合理控制不仅提高了施工安全性与结构精度，也为连续梁桥的高质量建造提供了重要保障。

3 挂篮受力性能试验研究方法与试验方案

3.1 试验研究的必要性与目标

在挂篮结构设计与施工分析中，理论计算通常建立在理想化假设条件之上，忽略了连接节点的柔性、焊缝残余应力、构件制造误差以及材料的非线性响应等现实因素，导致计算结果与实际受力状态存在偏差。为准确评估挂篮结构在施工荷载作用下的真实性能，开展受力性能试验显得尤为必要。通过物理试验手段，可以全面观测结构在不同加载阶段的受力特征及变形规律，验证理论模型的适用性与计算精度。本研究旨在通过对典型大跨径连续梁挂篮的加载试验，系统获取主桁架、悬吊体系及连接节点等关键构件的应力与变形数据，分析整体受力特性与局部应力分布规律。试验结果不仅可用于修正理论分析模型、完善结构设计参数，还为挂篮施工过程的安全控制与结构优化提供数据支撑。

3.2 试验模型与加载方案设计

本次研究选取一典型大跨径连续梁桥施工所用挂篮结构为试验对象，依据相似理论按比例缩尺建立物理模型。模型在几何尺寸、材料特性及约束边界方面均严格参照实际工程条件，以保证受力状态的真实性与可比性。加载方案根据挂篮在施工各阶段的典型受力情况进行设计，主要包括模板自重、新浇筑混凝土荷载、施工人员及设备附加荷载等因素。为更好模拟施工过程中的受力演化规律，采用分级加载方式，逐步增加荷载水平并在各级加载后保持稳定，以观测结构的弹性与非线性响应。加载过程通过精密液压加载系统控制，确保荷载施加均匀可控。整个试验设计充分考虑了悬臂施工的受力特点，能够较全面反映挂篮在实际工况下的受力行为。

3.3 测试内容与数据采集方法

为全面掌握挂篮结构在不同加载阶段的受力与变形特征，试验过程中在主桁架上下弦杆、腹杆、悬吊系统及关键节点处布置应变计与位移传感器。通过多点同步测量系统，实现应力与变形数据的实时采集与自动记录。测试内容涵盖主桁架弯矩分布、杆件轴力变化、节点应力集中情况及整体挠度曲线，以此揭示结构受力传递路径与变形协调特性。为确保数据的准确性与可重复性，试验前进行了设备校准与多轮空载测试，消除测量系统误差。数据采集采用高频采样模式，结合多通道同步记录技术，可动态反映挂篮受力全过程。试验结束后，对采集数据进行滤波与统计分析，提取关键响应指标，为后续的理论对比与结构优化提供可靠的实验基础与数据支撑。

4 挂篮受力性能试验结果与分析

4.1 挂篮整体受力与变形特征

试验结果表明，挂篮结构在加载初期整体受力状态稳定，变形量随荷载增加呈线性增长，说明结构刚度和连接体系均处于弹性工作阶段。随着荷载水平的持续提高，局部构件应力增长速率明显加快，结构变形特征逐渐由线性向非线性过渡。特别是在悬臂长度增大时，主桁架下弦杆及底篮支撑体系的受拉变形更加显著，导致结构刚度下降。此时，内力重新分配现象明显，部分连接节点和吊杆承受的附加应力显著上升。试验还发现，挂篮在加载至设计极限工况时未出现整体失稳，但局部构件表现出屈曲趋势，说明挂篮具有一定的安全储备。整体受力规律验证了优化结构布置与增强节点刚度的重要性，为挂篮设计与施工阶段的受力控制提供了可靠依据。

4.2 关键构件受力分布规律

主桁架作为挂篮的核心承载构件，其受力水平远高于其他部件，尤其在悬臂端区域应力集中现象最为突出。试验

数据显示，主桁架下弦杆的受拉应力随荷载增加呈非线性上升，而上弦杆则主要承受压应力并表现出明显的压屈趋势。腹杆在不同加载阶段的应力变化相对平稳，但在悬臂端节点处出现局部峰值，反映出节点连接刚度对整体受力分布的显著影响。悬吊系统在调节模板标高过程中，不仅起到空间姿态控制作用，还承担了部分竖向附加拉力，其受力状态对荷载变化尤为敏感。与理论分析结果对比可知，试验测得的应力分布总体趋势一致，但在局部节点处存在偏差，主要源于构件制造误差与实际约束条件差异。

4.3 试验结果与理论分析对比

通过将实测数据与理论计算结果进行对比分析，可以看出理论模型在整体受力趋势和变形规律判断上具有较高的准确性，能够较好反映挂篮结构的受力特征。然而，理论计算对局部应力峰值的预测偏低，未能充分考虑连接节点刚度退化、焊缝残余应力及材料非线性等因素。试验结果显示，局部构件的实际受力峰值普遍高于理论值，尤其在悬臂端与支点连接处差异最为明显。这表明传统线弹性分析方法难以完全反映复杂工况下挂篮的真实受力行为。试验研究的引入，有效弥补了理论模型的局限，为挂篮结构的安全评估、参数修正及设计优化提供了重要依据。通过理论与试验的结合，可推动挂篮受力机理研究从经验分析向数据驱动与精细化方向发展。

5 大跨径连续梁挂篮受力性能的工程启示

5.1 对挂篮结构设计的启示

试验结果表明，在挂篮结构设计阶段，合理提高主桁架的整体刚度与节点连接强度，是确保挂篮受力均衡与结构安全的关键。通过优化主桁架下弦杆与腹杆的截面形式，可有效改善挂篮的内力分布，减少应力集中现象，从而提升结构的稳定性与耐久性。针对受力突出的部位，如悬臂端、下弦连接点及行走支撑系统，应采取局部加劲、增设支撑或优化焊缝结构等措施，以增强抗疲劳能力与整体抗变形性能。此外，在设计中引入有限元分析与动态仿真手段，可提前预测极端荷载作用下的应力变化规律，为设计优化提供可靠依据。通过对结构参数的系统性调整，实现轻量化与高强度的平衡，从而提升挂篮的适用性与经济性，为复杂桥梁工程提供更为科学的设计思路。

5.2 对施工过程控制的指导意义

挂篮结构在连续梁施工过程中受力复杂，施工阶段的荷载变化直接影响其稳定与安全。通过试验掌握挂篮在不同施工工况下的应力分布与变形规律，可为现场施工提供精准的控制依据。施工单位应根据实测数据合理安排浇筑顺序与加载节奏，避免混凝土浇筑不均导致结构受力失衡。在受力高峰阶段，应加强对主桁架、底篮及悬吊系统的变形监测，利用应变计、位移传感器等手段实现实时数据采集，以便及时调整施工工艺。此外，应建立施工阶段的动态安全评估机制，对关键节点设立预警阈值，确保挂篮在全过程中的受力状态处于可控范围内。通过数据驱动的精细化控制，不仅能够提高施工安全性，还可有效延长挂篮设备的使用寿命，降低后期维护成本。

5.3 对后续研究与应用的借鉴价值

本研究所采用的结构加载试验方法与分析思路，为大跨径连续梁挂篮的力学性能研究提供了可复制的实验范式。通过系统积累不同类型挂篮的试验数据，可建立多工况下的受力数据库，为后续的理论建模与结构优化提供支撑。研究结果显示，结合试验验证与数值模拟的综合分析模式，能够显著提高受力预测的准确性与结构安全评估的科学性。未来研究可进一步引入智能监测技术与数字孪生模型，实现挂篮受力全过程的动态仿真与预测管理。同时，研究成果对挂篮标准化设计与施工技术规范的完善具有参考意义，有助于形成一套面向复杂桥梁施工的安全设计体系。通过持续的理论深化与工程验证，可推动挂篮结构设计由经验型向数据驱动型转变，促进桥梁施工装备技术的高质量发展。

6 结语

大跨径连续梁现浇施工挂篮作为关键临时结构，其受力性能直接关系到桥梁施工安全和结构质量。通过系统的受力性能试验研究，可以更加真实地反映挂篮在实际施工工况下的工作状态。研究表明，挂篮受力具有明显的阶段性和复杂性，试验结果为挂篮结构设计优化和施工安全控制提供了可靠依据。未来，随着桥梁跨径的进一步增大和施工技术的不断发展，有必要在更多工程背景下开展挂篮受力性能研究，不断提升大跨径连续梁现浇施工的安全性与技术水平。

参考文献

[1] 梁曾奇,李因富,黄海东.连续刚构桥长悬臂挂篮施工现浇段、合龙段结构行为分析[J].中外公路,2016,36(01):192-196.

[2] 朱传忠.连续梁-拱桥三角挂篮与大节段现浇支架施工受力性能对比分析[J].交通科技,2023,(06):52-56.

[3] 叶华强.大跨径连续刚构桥梁施工监控与仿真分析[D].合肥工业大学,2010.

[4] 林强.连续梁桥悬臂现浇施工关键技术与控制方法研究[D].东南大学,2016.

[5] 李倩.大跨径变截面连续梁桥现浇施工方案探讨[J].西部交通科技,2017,(07):103-106.