

Research on the Mechanical Performance of Connecting Beams of Road Bridges under Suspended Basket Construction

Zheng Chang

PolyU Dalian Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

This paper conducts a study on the mechanical performance of connecting beams of road bridges under the context of suspended basket construction. The suspended basket construction method is a commonly used cantilever casting method and is frequently employed in continuous beam bridges. However, during the construction process, there are frequent system transitions, and the stress distribution and deformation characteristics of the connecting beams, as key load-bearing components, change dynamically with the construction stages. This study first analyzes and explains the force mechanism of connecting beams during the suspended basket construction process, clarifies the load transmission paths and control links at each stage, and combines finite element numerical simulation with measured values to compare them; summarizes the influence laws of main parameters on the force of the closure beam; finally, proposes targeted design optimization and construction method improvement measures. This study shows that the temporary loads during suspended basket construction and system transitions have a significant impact on the internal forces of the closure beam. Reasonable control of key processes such as the movement and pouring of the suspended basket can effectively improve the force state of the closure beam, ensuring the stability and safety of the structure.

Keywords

suspended basket construction; connecting beams; mechanical performance; system transition; finite element analysis

基于挂篮施工的道路桥梁连系梁受力性能研究

常箐

保利长大工程有限公司, 中国 · 广东 广州 510000

摘要

本文围绕挂篮施工背景下道路桥梁连系梁的受力性能展开研究, 挂篮施工方式属于一种较为常用的悬臂浇筑方法, 并且经常用到连续梁桥中去, 但施工过程中体系转换频繁, 连系梁作为关键受力构件, 其应力分布与变形特征随施工阶段动态变化。本研究首先对挂篮施工过程中连系梁受力机理进行分析和说明, 明确各阶段荷载传递路径及控制环节, 并结合有限元数值模拟对比实测值; 总结出主要参数对合龙梁受力的影响规律; 最后提出针对性设计优化及工法建议措施。本文研究表明: 挂篮施工中的临时荷载以及体系转换对合龙梁内力有较大的影响, 合理控制挂篮行走、浇筑等关键工序能够有效改善合龙梁受力状态, 以保证结构的稳定性及安全性。

关键词

挂篮施工; 连系梁; 受力性能; 体系转换; 有限元分析

1 引言

道路桥梁建设中, 连续梁桥因结构刚度大、行车平顺性好、跨越能力强等优势应用广泛, 挂篮施工作为连续梁桥常用方法, 是将混凝土进行逐节浇筑成型的方法, 并适用于水下深度较大、高墩、跨越既有线路等情况。但是在实际进行挂篮施工作业时, 从墩梁临时固结到永久支座传力直至全部完成形成合龙状态这一系列过程中, 各个阶段下的连系梁所处的受力环境都是不一样的; 同时, 由于连系梁承担着传递剪力和弯矩控制挠度的任务, 同时起到连接主梁及墩柱或

其他梁段的作用, 并由于挂篮自重、混凝土浇筑重量、预应力束收紧程度、温度变化等因素, 在连系梁中会产生较为复杂受力状态; 若对这些连系梁受力情况把握不准, 会造成破坏、变形甚至安全事故的发生。因此掌握挂篮施工过程中连系梁受力变化规律, 明确关键影响因素并采取相应的分析及控制措施具有重要意义。本研究从施工力学角度出发, 结合理论分析与数值模拟, 对连系梁受力性能进行系统剖析, 旨在为同类桥梁设计与施工提供参考依据。

2 挂篮施工中连系梁的受力机理与阶段性特征

2.1 挂篮施工工艺与连系梁的力学关联

挂篮施工是利用移动式悬臂吊机在已完成的梁体上逐段向前推进完成混凝土浇筑、预应力张拉等工作。通常情况

【作者简介】常箐 (1992-), 女, 中国湖北十堰人, 本科, 工程师, 从事路桥、隧道 (沉管) 工程技术与管理研究。

下,挂篮系统由主桁架、底模平台、悬挂系统、行走系统及锚固系统组成,并将各系统的重量及施加的压力传递至前吊带和后锚杆构成的梁体上。对于连系梁而言,其受力功能表现在两方面:一是作为相邻梁段之间的纵向连接杆件,承担悬臂端部大量的正弯矩和剪力;二是作为横向联系构件用以协调各主梁之间或各箱室之间的荷载分配。

分析了力的传递路径,挂篮荷载首先作用在悬臂桥台的板顶上,并经由板结构向悬臂桥台框架下部传递并最终由桥墩及临时支撑承受;联接板位于弯矩区以及剪力区均较大的区域,其截面受压不均匀。当桥机将桥梁运输到目标位置后,由于前吊带对梁体的压沉作用及尾端的上拔作用交替变化,使得连系梁始终处于受拉或者受压状态;此外,连系梁主梁节之间为显著的刚度突变区,容易产生应力集中现象。所以需要在设计中特别注意。

2.2 各施工阶段连系梁的荷载传递路径

挂篮施工可分为若干个典型阶段,有挂篮安装及预压试验、浇筑混凝土、张拉预应力筋、挂篮行走、合拢段施工等,各工况下梁体受力荷载类型、大小和作用点均有所变化,导致荷载传递路线也发生变化。

在进行混凝土灌注的过程中,所有准备浇筑的梁体质量全部由悬臂式模板承担,并从前部支点对已施工完成的梁段末端产生作用力。这时的连系梁会承受很多附加弯矩,其下部处于受拉状态,上部处于受压状态。当张拉预应力的时候,横向预应力筋张拉成桥产生反拱度,可填补并释放合拢梁段中的压应力,抵消部分由浇筑产生的拉应力;悬臂挂篮前移过程中,由已完成段前端至新浇筑段后锚点卸载。与此同时前支撑不断加载,使得连杆上剪力的分布产生很大变化;待桥面合拢后解除所有临时约束,则该体系变为连续体系,连系梁的内力随之重分布。上述各阶段的传力过程均是确定性的:这就是正确分析连系梁内力规律的前提条件。

2.3 体系转换过程中连系梁的内力重分布规律

连续梁桥挂篮施工的核心特征在于结构体系的多次转换,悬臂浇筑阶段,墩和梁之间就是一种暂时性的稳固联结,同时此状态下桥梁也相当于被固定在墩头上的一个悬臂受弯杆件,所以这种情况下连续梁底面将承受最大的负弯矩作用。当两相邻跨合拢后,临时固结解除,则整体体系由静定悬臂体系变为一次超静定连续体系,并且支座反力进行重新分配,此时中跨连系梁截面弯矩由墩顶向跨中转移;当中跨合拢后,这样下去就变成了一个循环往复的过程,同时内部力量又会因为温差伸缩及变形等因素的影响而变得更为复杂。

体系转换过程中,连系梁内力的重分布具有明显的非线性特征,在解除临时支撑的同时,其受力将全部转移到永久支撑处,从而造成连系梁剪力突变;而待硬壳钢架部位焊接锁扣完成后,因为合拢时热量同设计合拢热量之间的差值会在连系梁中产生附加的轴向力。如果没有合理控制施工过

程及合拢时刻,就会导致连系梁承受过大的拉压应力而破坏整个建筑。因此在指导工程施工的过程中必须把控好系统转换各关键工序中的力变关系,确保连系梁始终处于一个安全范围内。

3 连系梁受力性能的关键影响因素分析

3.1 挂篮自重与施工荷载的空间分布效应

挂篮自重及施工荷载是连系梁受力最直接的外部作用,不同种类的挂篮其自重差异较大,如轻质挂篮自重可控制在钢梁自重的1/3以内,而重型挂篮可能更大些;当挂篮自重大于一定值后,同样其对连系梁产生的附加扭转变形也相对增加,特别是当突出长度较大时,尖端载荷导致的弯矩作用会急剧上升。

受力对连系梁影响主要来自悬臂型挂篮主桁通常呈双排或多排布置,其自重通过横梁及吊带传至箱梁体,若挂篮布设偏位,或混凝土浇筑时两边不对称施工,则会引起连系梁发生扭转变形。因此在编制方案时需对挂篮自重进行合理控制,变更吊点位置,并采取有效措施减少施工荷载不平衡度。

3.2 混凝土收缩徐变与温度作用的耦合影响

在对连续梁进行承载能力分析过程中,不能忽视混凝土的时效性以及温差的影响作用。由于挂篮时间比较长,一般情况下,几个月或者更多的时间才可以完成全部桥梁施工任务,这一时期,由于混凝土仍处于继续收缩徐变的过程中,作为强度控制构件的连系梁产生的收缩徐变引起的拉应力有可能会超出设计预想。

温度作用的影响体现在两个方面:一方面是因为日照引起的梁体竖向温度梯度引起联跨梁顶底面温差变形受到约束产生内力;另一方面是季节温差作用在全桥产生的伸缩量,在联跨梁中引起压应力。事实上,在实际工程中,温差作用常常伴随收缩徐变作用共同发生,从而导致连系梁内力更加复杂,因此在建设期监测中应该将温度与收缩徐变作为复合因子来综合评价。

3.3 预应力张拉顺序与锚固区局部应力特征

预应力张拉是主动控制连系梁受力的重要手段,纵向预应力钢束张拉后在梁体内存储压力,以抵消由建筑工程带来的拉力影响。不过在对预应力实施张拉的过程中时间以及阶段都会直接影响到连系梁所受到的作用效果。当张拉过快时,混凝土强度不足造成局部压碎及锚固区开裂;而张拉太慢则因已发生的收缩和徐变变形过大,预应力损失严重。

锚固区是连系梁受力最集中的部位,在该处预应力锚下混凝土承受较大的局压,其扩散受锚垫板尺寸、配筋及混凝土强度的影响较大,此外,在悬臂浇筑过程中,各截面纵向预应力束是依次张拉完成的,导致相邻截面锚固区段之间存在应力叠加效应,从而造成复杂的三维受力状态。经有限元分析可知,锚固区段内主拉应力集中出现在锚垫板边缘处

与预应力管道相交位置附近,采用螺旋筋或者网状加强筋等方式进行局部补强可有效改善其受力状态。

4 连系梁受力性能的分析方法与优化控制

4.1 基于有限元仿真的精细化建模技术

准确分析连系梁受力性能需建立能够反映实际结构特征的有限元模型,精细化建模包括以下几部分内容:采用实体单元模拟连系梁与主梁交接部位的几何特征进行模拟;采用壳单元对箱梁顶板、底板以及腹板处空间受力性能进行模拟;采用杆单元模拟预应力钢束,考虑预应力损失及锚固区影响。

建模过程中边界条件的设置直接影响计算结果的可靠性,挂篮施工阶段,需准确反映托架及临时固结刚度,主梁与墩柱节点连接方式,合龙段劲性骨架临时代替刚度,并按照实际施工过程逐级加载。计算完成后对连系梁关键截面应力及变形值进行采集并与实测数据对比分析,通过模型修正与参数反演提高计算精度,为后续桥梁建造提供经验和教训。

4.2 施工监控关键参数识别与预警机制

确保连系梁结构力学性能稳定的主要手段是施工监控,具体来说主要分为三个方面:应力监测、变形监测与温度监测。采用振弦式传感器在线测量桥梁上部构造顶面、桥台锚固端及接缝处混凝土的应变值并转化为应力值同设计值对比分析。变形监测使用全站仪或水准仪测量出吊车走行前后、混凝土浇筑之前、预应力筋张拉之前的梁体竖向变形及横移量,以确定异常现象发生与否。

为了建立报警机制,需要比较实测数据与理论计算值差值分析,在实测值大于一定阈值如15%时,应该启动报警程序,判断建筑物超载、预应力设定不当或者温度影响没有考虑等情况。对于连梁裂缝情况,要制定一个裂缝开展速率与荷载量以及温度的关系曲线,当裂缝开展的速度超出控制标准之后就应当及时采取变更作业程序、架设临时支撑或者调整预应力等方式进行处理。采用实时采集传输数据的监控方式能够提高报警响应能力的有效性和精确性。

4.3 设计优化与施工控制的协同策略

为优化连系梁的性能及使用效果,既要从小连系梁的设计入手,也要注重连系梁施工环节。首先,在设计上应根据挂篮施工的受力特点确定连系梁的形式以及配筋方案。对于荷载区段可以适当加大截面尺寸,增加底边处的竖向钢筋配

筋率,其次,采用密布箍筋加强抗剪能力,并在设置定位筋时遵循传力原理,适当加大锚垫板尺寸并调整钢筋位置,避免因应力过大而开裂。

施工控制方面主要是减少临时荷载的影响,为确保挂篮浇筑过程中均衡、同步前进,在浇筑过程中应尽可能降低冲撞力;为均衡对称浇筑混凝土防止产生过大的横向推力;按照设计规定的工序进行预应力束张拉,并采用双控原则控制张拉及伸长值;接头构造宜在温度相对稳定期进行,并将接头温差尽量接近设计给定区间的中间值;同时加强连系梁养护以减缓其收缩变形速率,进而减少其承受的温度影响。设计及建筑间的协调还体现在信息的交互及反馈系统的建立上。工程监测的数据应及时反馈给设计师以验证其设计假定的正确性,并在出现问题的情况下对后续结构部分进行必要修正,这种闭环控制模式可有效提升连系梁受力性能的可控性,降低施工风险。

5 结语

本文系统研究了挂篮施工条件下道路桥梁连系梁的受力性能,从受力机理、影响因素、分析方法与优化控制三个层面进行了深入分析,得出挂篮施工过程中过渡板受力传递过程特点及系统转换后内力重分布的基本规律。连系梁的空间吊重及施工荷载量值、混凝土收缩小变形影响因素、预应力张拉顺序以及锚固区部分应力状态是控制连系梁强度特性的重要因素。利用精细化有限元分析建模、施工监控与预警机制、设计施工协同优化能够有效把握连系梁受力状态。对于挂篮施工来说,对系杆应力的研究能够保障桥梁施工的安全稳定,优化设计结构形态,避免出现早期损伤具有重要意义。后续可延伸至大跨度曲线桥,高墩桥梁等特殊工况下的系杆受力状态,研究新型高性能材料应用于连系梁的效果。同时在智能检测及数字孪生方面的施工管理也应做出更多探索,推动桥梁建造技术向更高安全性和高效性发展。

参考文献

- [1] 邱志伟,郭青华,宋亚环,郑志伟,刘延钊.高墩大跨刚构桥施工技术及其挂篮受力性能研究[J].建筑机械,2025(10):261-265+269.
- [2] 梁建廷.基于挂篮悬臂浇筑的连续刚构施工及边跨现浇性能分析[J].建筑机械,2025(6):166-172.
- [3] 师新虎,李树鼎,黄亚磊.大跨度连续梁桥菱形挂篮优化设计[J].四川建筑,2023,43(5):61-63.
- [4] 郭永芳,徐文强.异步挂篮在波形钢腹板桥梁施工中的受力分析[J].云南水力发电,2024,40(9):110-113.