

高墩大跨连续刚构桥挂篮施工稳定性保障措施研究

陈 丽

成都优才速派人力资源有限公司 四川 成都 611110

【摘 要】：高墩大跨连续刚构桥因其结构复杂、高度大、施工工艺要求高，在挂篮施工过程中面临显著的稳定性挑战。本文围绕挂篮施工的特点，从结构受力、施工环境及工艺流程等多个角度出发，深入分析稳定性存在的问题，并提出一套系统的稳定性保障措施。理论分析与工程实践相结合的方式，验证所提措施在提升施工安全性与施工效率方面的有效性，为类似桥梁施工提供了参考依据。

【关键词】：高墩桥；连续刚构；挂篮施工；结构稳定性；施工安全

DOI:10.12417/2705-0998.25.22.010

引言

高墩大跨连续刚构桥作为现代桥梁工程中的关键结构形式，广泛应用于山区与跨谷地带。挂篮施工法因其适应性强、对地形依赖小而被广泛采用，但高墩结构在施工过程中稳定性问题尤为突出。如何在确保结构安全时提高施工效率，成为当前工程界亟需解决的技术难题。本文从稳定性角度切入，探索科学有效的保障措施，期望为类似工程提供实用的施工技术支持。

1 高墩大跨连续刚构桥挂篮施工的结构特点

高墩大跨连续刚构桥是一种融合大跨径结构与高墩支撑的桥型，其在地形复杂、河谷深切、山地高差大的区域中具有显著的适应优势。连续刚构桥经过刚性连接实现上部结构连续性，配合高墩结构的柔顺性和强承载能力，使得整体结构具有良好的力学协调性能。在这种结构体系中实施挂篮施工，面临着高重心、大跨度、结构自重及施工荷载集中等诸多挑战。由于挂篮施工属于悬臂拼装方式，临时状态下的结构稳定性与抗倾覆能力受到极大考验，尤其在墩高超过 50 米以上、跨度在 100 米左右的桥梁中，受风载、偏载、温差及混凝土收缩徐变影响较大，极易引发线形偏差、局部失稳及结构振动等风险。

在挂篮施工过程中，结构刚度的变化是一个动态过程，未闭合的结构段在各个阶段的受力状态不断调整，悬臂端的变形控制和结构内力重分布成为影响整体稳定性的核心因素。挂篮自身重量、施工混凝土及钢筋堆载将形成阶段性不均匀荷载，进而加大墩顶弯矩及剪力传递^[1]。在高墩条件下，墩柱的细长比高、自重较大，若未进行充分的施工阶段仿真分析和结构时程控制，极易造成下部结构局部受压失稳或基础沉降超限，从而影响整桥施工精度与安全性。高墩区域常伴随复杂地质、风荷载不规则及气候变化剧烈等自然条件，这些因素均会在不同程度上加剧结构临时状态下的稳定性问题。

为保障挂篮施工过程中的结构安全与稳定，必须充分考虑连续刚构结构在不同施工阶段的力学响应特征，建立精细化的施工仿真模型，对挂篮荷载、施工步序、混凝土龄期发展等因

素进行全过程控制。合理配置临时支撑、设定挂篮滑移路径及锁定控制节点，可有效提升结构刚度和抗扭能力。在挂篮结构设计中应引入轻量化理念，减少自重并优化受力传递路径，以降低对高墩结构产生的不利影响。监测系统对关键参数进行实时反馈与动态修正，可以及时发现潜在的稳定性风险，从而确保高墩大跨连续刚构桥在挂篮施工阶段的安全稳定运行。

2 挂篮施工中稳定性问题的成因分析

挂篮施工作为高墩大跨连续刚构桥常用的施工方法，其结构布置灵活、适应复杂地形能力强，但在实际工程中却频繁出现稳定性问题，其根源在于施工阶段结构体系的不完整性与临时受力状态的复杂性。由于挂篮施工采用分段悬臂浇筑方式，结构在未闭合前处于不对称受力状态，导致受力路径不断变化，形成偏心荷载和结构自振频率下降的问题。高墩桥梁本身重心较高、细长比大，施工荷载在高墩顶端施加形成“柔基刚臂”的结构效应，使得施工临时状态对风载、活载及偏载敏感性增强，极易引发结构晃动、位移超限甚至屈曲失稳等现象。

结构的非线性响应是挂篮施工稳定性问题的又一关键诱因。悬臂段结构刚度随着浇筑长度增加而逐步变化，产生的变形和内力重分布使得控制难度显著增加。尤其在气温剧烈变化或混凝土早龄期收缩显著时，会进一步影响桥梁线形控制和节段闭合精度^[2]。施工中若未进行精确的时程分析和逐步加载模拟，常出现线形下挠增大、墩顶偏移、挂篮系统扭转等问题。挂篮本体结构受限于工作平台布置，其设计往往注重承载力而忽视了整体稳定性能，导致在施工过程中存在结构局部薄弱区域，在高速或突发荷载作用下易诱发结构整体或局部失衡。钢结构构件连接点疲劳、液压系统控制滞后等因素，也在不利条件叠加下诱发稳定性隐患。

人为因素与施工工艺控制不足同样是稳定性问题的重要来源。在部分工程中，挂篮操作存在施工步序不当、模板系统调整误差过大等问题，导致结构受力路径突变，诱发临时结构偏载与变形集中。施工荷载布置不均、临时支撑不到位或刚度不足，也会造成局部应力集中，从而影响整体施工稳定性。现

场监测手段不健全、结构健康数据响应延迟,使得无法及时获取施工阶段关键位移与应力数据,错失提前干预的时机。在复杂地形与极端气候条件交汇的山区桥梁施工中,这类因信息反馈滞后导致的稳定性问题尤为突出。挂篮施工稳定性的保障,必须从结构受力、施工组织、设备系统及监测反馈等多维度进行系统性优化与管控。

3 高墩挂篮施工稳定性影响因素研究

高墩挂篮施工的稳定性受到多种因素的交织影响,其中结构几何特性是影响最直接的方面。高墩连续刚构桥结构高度大、跨径长,整体刚度分布不均,使得在挂篮悬臂施工阶段结构受力处于非对称状态。当悬臂段不断延伸时,重心外移,结构变形与扭转趋势显著增强,导致墩顶水平位移增大,严重时会引起屈曲或倾覆风险。高墩的细长比大,自身抗侧刚度较低,挂篮荷载在高墩顶部作用时,极易因横向风荷载或偶然偏载引起侧向晃动,加剧临时结构的不稳定状态。结构线形控制的偏差也会因刚度失衡被放大,从而影响挂篮在各节段施工时的精度与安全。

施工荷载控制与施工工序安排是影响挂篮稳定性的重要动态因素。挂篮本体、钢筋堆载、模板系统及浇筑混凝土荷载在不同施工阶段的叠加,会造成结构受力变化剧烈,尤其在高空区段,任何局部荷载超限或堆载不均都可能引发结构偏斜或基础响应异常^[3]。混凝土早期强度不足及收缩徐变效应亦会引起悬臂端下挠,影响节段线形连接精度。若施工工序安排不合理,两侧对称性不充分或施工节段长度不匹配,容易打破结构受力的均衡状态,诱发结构非线性变形及附加内力,进而引发结构稳定性隐患。挂篮行走系统的锁定精度、模板系统的刚度配置及临时支撑点布设等,也都直接影响局部刚度与系统响应行为,一旦控制不当便会积累误差,形成结构稳定性薄弱点。

环境因素在高墩挂篮施工中亦不可忽视。山区桥梁往往面临高风速、大温差及复杂地质等自然环境条件,风荷载在悬臂段上的作用随着高度和投影面积的增加而显著增强,对施工中挂篮的抗扭转能力构成考验。高温或低温环境下混凝土性能变化及结构热胀冷缩,可能引起不均匀变形,导致节段闭合困难。地基基础若处于软弱土层或存在潜在滑移带,则高墩施工期间的附加荷载将对基础稳定性提出更高要求。施工现场监测系统的完善程度直接决定了能否及时掌握关键变形趋势与应力变化,若监测系统布设不科学、数据反馈滞后,将无法为施工调整提供有效依据,增加事故风险。高墩挂篮施工的稳定性保障必须在结构设计、施工组织与环境响应控制间形成联动机制,提升整体体系的抗扰动能力与适应性。

4 提升挂篮施工稳定性的关键技术与措施

提升高墩挂篮施工稳定性的关键在于科学合理地控制结构受力路径与临时状态下的整体刚度。挂篮系统作为悬臂施工

的重要装备,其自重与施工荷载在未闭合状态下直接作用于墩顶结构,对结构平衡及稳定性形成挑战。在施工准备阶段,应经过有限元仿真技术对整个施工过程进行全过程受力分析,识别各阶段的临界受力点和位移敏感区,进而优化挂篮设计参数和节段施工顺序。在挂篮本体结构设计中,宜采用轻量化高强钢材,减小自重对结构造成的附加弯矩,加强其纵横向刚度,以提升抗扭与抗侧移能力。在连接节点与滑移轨道系统中,应布置多级锁定装置,防止滑移过程中的位置偏移或突发扭动,确保挂篮运行轨迹可控且结构体系稳定。

高墩结构自身的柔性特点决定了在施工过程中必须强化临时支撑与墩顶控制技术。针对高墩顶部容易发生水平位移和结构偏心的问题,应设置临时稳定拉杆、钢缆锚固系统或刚性对称支撑架,形成辅助传力路径,限制墩顶位移并提升抗倾覆能力^[4]。悬臂端混凝土浇筑完成后,可临时预应力筋进行结构加固,增加整体抗弯刚度,缓解局部应力集中。施工过程中应严格控制节段长度与混凝土浇筑量,确保对称加载与同步施工,防止非对称受力导致的结构扭转。对模板系统与操作平台的稳定性也应给予足够重视,加强模板刚度设计及模板支撑点的合理布设,提升施工过程中结构整体性的维持能力。混凝土材料方面,宜选用早强高性能混凝土,以缩短结构达到设计强度的周期,降低挂篮负载持续时间,从而减少结构在临时状态下的暴露风险。

施工监测与信息化管理技术是提升挂篮施工稳定性的技术保障。应在高墩顶端、挂篮结构关键节点、悬臂段端部及基础部位布设高精度传感器,实时监测结构应力、变形、倾斜与振动数据。经过数据分析与预测模型相结合,实现对关键参数的预警与控制。施工现场应建立 BIM 模型与数字孪生系统,结合现场施工进度与结构响应状态,进行三维可视化管理与动态调整。在出现监测数据异常时,系统可自动触发调整建议与安全提示,辅助施工单位及时采取纠偏措施。应强化施工人员对稳定性问题的认知和技能培训,建立标准化的施工操作流程和应急处理机制,从源头上降低人为因素带来的稳定性风险。技术与管理双重手段,全面提升高墩挂篮施工的结构安全与稳定控制能力。

5 工程案例分析及稳定性保障措施应用效果

在某山区特大桥工程中,采用高墩大跨连续刚构结构形式,全桥主跨达 120 米,主墩高达 85 米,采用挂篮悬臂浇筑施工。项目建设地地形陡峭,风荷载强烈,施工场地狭小,给结构稳定性带来了极大挑战。为确保施工阶段结构的稳定性与安全性,施工单位在设计及实施阶段引入了全过程控制策略。有限元软件对施工全过程进行非线性时程分析,动态模拟各节段施工下的受力变形过程,识别出墩顶位移过大与挂篮自重偏心作用最为显著的阶段,从而提前布设多点约束系统,稳定结构临时状态。挂篮系统采用高强轻型钢材结构,配置多道横向

限位和防滑装置,使滑移过程更加平稳可控,显著降低了因突发扰动引发的不稳定风险。

施工过程中,优化节段施工顺序与对称施工原则,加强临时支撑布置,解决了悬臂端扭转与下挠趋势严重的问题。在高墩顶端,安装了双向稳定拉杆与临时支架,墩身与挂篮结构形成多点多向力传递体系,提高整体刚度与抗侧移能力^[5]。模板系统采用整体式钢模板,多点锁定与刚性连接提高了施工稳定性。每次混凝土浇筑前,均经过监测系统获取上阶段结构的变形与应力数据,结合施工模拟结果进行施工步序调整,确保悬臂结构受力路径均衡。施工中使用的高性能混凝土具备良好的早期强度与抗裂性能,有效缩短了挂篮受力周期,减少了非闭合状态下的荷载持续作用时间。在高风速与昼夜温差大的施工环境下,遮风结构与施工窗口控制等辅助措施,有效减缓了温差变形对结构稳定性的影响。

经过全过程稳定性保障措施的实施,该桥梁在施工期间未出现任何结构变形超限、位移突增或构件失稳现象。监测数据显示,墩顶水平位移最大值控制在设计限值的80%以内,悬臂

端挠度与扭转角度保持在可接受范围内,结构线形精度高,节段闭合顺利,挂篮行走轨迹无明显误差。施工期间动态监测与调整机制的建立,为发现潜在风险提供了技术支撑,提升了项目整体管理水平。该工程实例表明,采用系统化、信息化与结构优化相结合的稳定性保障措施,提升了挂篮施工的安全性,也为类似高墩大跨连续刚构桥施工积累了宝贵经验,具有较强的推广价值与参考意义。

6 结语

本文围绕高墩大跨连续刚构桥挂篮施工过程中存在的稳定性问题,从结构特点、成因分析、影响因素到关键技术与实际案例,系统阐述了保障施工稳定性的思路与措施。理论与实践相结合的分析表明,挂篮施工稳定性的控制必须依赖科学的结构设计、严密的施工组织以及完善的监测反馈机制。高墩结构的特殊性决定了稳定性管理的复杂性与重要性,唯有从全生命周期出发,多维度提升技术管控能力,才能确保桥梁施工过程的安全可控与结构成型质量的可靠性,为今后类似工程建设提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 沈澳.非平稳风作用下高墩大跨刚构桥等效风荷载研究[D].重庆交通大学,2025.
- [2] 张文.特殊状况下连续梁桥钢挂篮的受力性能分析[J].山东交通学院学报,2023,31(03):121-128.
- [3] 聂海丰.大跨径曲线连续梁水平转体施工及监控技术研究[D].中南林业科技大学,2018.
- [4] 向东刚.高墩大跨度连续刚构桥施工控制及影响参数分析[D].长安大学,2014.
- [5] 贾中涛.悬臂施工挂篮空间应力分析[D].东北林业大学,2013.