

大跨度现浇连续梁桥挂篮施工技术研究

贺提波

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

【摘要】：为有效应对市政铁路高架场景下大跨度连续桥梁的施工需求，本文立足于大跨度连续梁桥受力特性等相关理论基础，围绕挂篮施工技术展开探讨。阐述了连续梁桥多跨连续受力特性与挂篮悬臂浇筑核心原理，重点分析挂篮选型设计、拼装预压、线形控制及合龙施工等核心技术，结合 40+60+40m 跨径高架工程案例验证技术可行性。结果表明，优化后的菱形挂篮与水箱预压方案适配高架场地受限与高空抗风需求，满足设计标准。通过本文的探究，旨在为市政铁路高架大跨度连续梁桥施工提供技术参考，提升施工质量与效率。

【关键词】：市政铁路高架；大跨度连续梁桥；挂篮施工；线形控制；合龙技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.04.057

基于市政铁路高架工程交通疏解压力大、抗震抗沉降标准要求高的特性，大跨度连续梁桥作为跨主干道、跨路口的核心结构，其施工技术应用效果与工程质量及通行安全息息相关。挂篮施工以其悬臂现浇优势，能够尽可能降低对桥下交通及周边环境的影响，但现有技术存在线形控制精度不佳及场景不匹配等问题。鉴于此，本文结合市政铁路高架特性，针对性优化挂篮设计与施工工艺，构建从理论到实践的完整技术体系，为提升大跨度连续梁桥施工质量与效率提供支撑。

1 相关理论基础

1.1 大跨度连续梁桥受力特性

活载与恒载协同作用构成了大跨度连续梁桥的受力体系，其中，活载则以铁路列车行驶产生的动荷载为主，恒载涵盖梁体自重、桥面铺装、附属设施等固定荷载。车辆行驶在市政铁路高架桥上，列车荷载的动力效应会加剧梁体的振动与变形，恒载与活载的叠加作用使梁体呈现出多跨连续受力特征，支点处产生负弯矩、跨中产生正弯矩，翼缘板与腹板交接处易出现应力集中^[1]。为保障列车行驶安全与舒适性，对高架场景下梁体变形控制提出严格要求，轴线偏差需控制在 5mm 以内，标高偏差不得超过 3mm，确保梁体线形平顺，避免出现局部凹凸影响行车稳定性。

1.2 挂篮施工基本原理

挂篮施工以悬臂浇筑为主，沿纵向划分连续桥梁为 0 号块、标准节段与合龙段三部分逐步施工。0 号块通常设置在桥墩顶部，其作为施工起点，借助支架现浇成型，为挂篮拼装搭建了良好的平台；标准节段是梁体的主要组成部分，利用挂篮承载模板、钢筋、混凝土等施工荷载，从 0 号块向两侧对称悬臂浇筑，每完成一段施工后，挂篮沿轨道前移至下一节段；合龙段是连接两侧悬臂梁体的关键环节，通过精准控制实现梁体

体系转换，形成完整的连续梁受力结构。挂篮作为施工核心设备，需同时具备三大功能：承重功能支撑施工过程中的各类荷载，模板支撑功能保证混凝土浇筑成型质量，前移行走功能实现节段间的连续施工，三者协同保障悬臂浇筑流程的顺畅推进。

2 市政铁路高架挂篮施工核心技术

2.1 挂篮选型与设计优化

(1) 选型原则：挂篮选型需考虑市政铁路高架场景的特殊性，严格控制自重，为确保挂篮自身的经济性及避免对已浇筑梁段产生较大负荷，通常需控制其自重梁体自重的 0.3 倍以内。高架施工场地通常受周边建筑物、交通线路限制，挂篮需具备拆装便捷的特点，减少大型设备投入与作业时间。高空作业环境下，风荷载对挂篮稳定性影响显著，因此抗风性强成为选型的重要考量因素。目前市政铁路高架工程中常用的挂篮类型为菱形挂篮与三角挂篮，菱形挂篮凭借三角形稳定结构设计，整体刚度大、稳定性好，能有效抵御高空风荷载，适配大跨度梁桥施工；三角挂篮结构轻便、拆装速度快，但抗风稳定性相对较弱，更适用于跨度较小、风力平缓的场景，工程中需根据具体条件合理选择^[2]。

(2) 关键设计参数：挂篮结构参数设计需精准匹配荷载要求及梁体尺寸，设定主梁高度为 3.5-5.0m，使主梁不仅刚度和强度达标，同时还能够避免结构过厚引起的自重增加问题。吊带作为承载底模平台的核心构件，间距控制在 2.0-2.5m，确保荷载均匀传递，避免局部受力集中。底模平台宽度需严格适配梁体翼缘尺寸，兼顾施工操作空间与结构紧凑性。力学验算环节，强度控制需满足应力不超过 210MPa，刚度要求挠度不大于跨度的 1/4000，抗倾覆安全系数不低于 2.0，通过多维度验算保障挂篮施工过程中的结构安全。

(3) 高架场景特殊设计：考虑到高架高空的强风环境，需对挂篮增设侧向稳定拉杆，以横向张拉方式增强水平方向刚度，同时优化挂篮迎风面造型，采用流线型设计减少风荷载冲击。临时固结是保障悬臂施工阶段结构稳定的关键，采用预埋钢板与精轧螺纹钢组合方案，精轧螺纹钢抗拉强度不低于830MPa，通过在桥墩与0号块之间设置固结装置，限制梁体水平位移与转动，确保挂篮前移与节段浇筑过程中梁体不发生失稳。

2.2 挂篮拼装与预压技术

(1) 拼装流程：以0号块支架为基础进行挂篮拼装，首先，通过螺栓连接安装主梁，确保主梁轴线对齐、各节段固定。结束主梁安装工作后，吊装吊带与底模平台，调整吊带长度使底模标高符合设计要求，随后进行侧模组装，逐步形成完整的施工模板体系。高架高空作业对拼装精度要求极高，拼装过程中需实时监测轴线偏差与标高误差，轴线偏差控制在3mm以内，标高误差不超过2mm，通过精准控制保障后续施工的梁体线形精度。

(2) 预压方法与数据监测：挂篮预压主要是为了消除结构非弹性变形，确保承载力满足设计要求。和传统的堆载预压方法相比，水箱预压在高架场地受限场景中的适配度更高，加载均匀且便于调整加载量，通过逐步向水箱注水实现分级加载。预压过程中重点监测挂篮挠度、吊带应力、主梁应变三项指标，通过传感器采集数据并与设计值对比。如表1所示，不同监测部位的实测应力与挠度均小于设计值，满足施工要求，验证了挂篮结构的可靠性。

表1 市政铁路高架挂篮预压监测数据对比

监测部位	设计荷载(kN)	实测应力(MPa)	设计应力(MPa)	实测挠度(mm)	设计挠度(mm)	满足度
主梁跨中	1800	195	210	28	32	是
吊带顶部	1200	185	200	5	8	是
底模平台	1500	178	190	12	15	是

2.3 悬臂浇筑施工工艺

(1) 节段施工流程：悬臂浇筑环节的施工作业严格按照既定顺序进行，首先，严格按照设计图纸布设主筋与箍筋，进

行钢筋绑扎作业，确保钢筋间距与保护层厚度符合要求。钢筋绑扎结束后，以波纹管作为预应力孔道，安装预应力管道，安装过程中保证管道平顺，避免出现弯折或堵塞，同时固定牢固防止混凝土浇筑时移位。模板加固需检查其刚度与稳定性，确保浇筑过程中不发生变形漏浆。混凝土浇筑采用分层施工方式，每层厚度不超过30cm，使用插入式振捣器振捣，振捣器间距控制在50cm以内，确保混凝土密实度。浇筑完成后及时覆盖养护，保持混凝土表面湿润，养护时间不少于7天，待混凝土强度达到设计要求后进行预应力张拉，通过张拉预应力筋建立梁体预压应力，增强结构承载能力^[3]。

(2) 高架场景施工控制：因市政铁路高架多跨越城市主干道，施工中必须在挂篮下方设置防护棚架，加强交通疏导和安全防护，确保地面交通与行人安全。针对高温天气施工，在混凝土中添加缓凝剂，延长初凝时间，避免混凝土因水化热过快导致开裂；雨季施工时，及时搭设防雨覆盖设施，防止雨水冲刷混凝土表面，确保浇筑质量不受环境因素影响。

2.4 线形与应力控制技术

(1) 线形控制体系：大跨度桥梁施工质量在一定程度上受线形控制效果影响，在施工中，应全面监测梁体标高、轴线偏位与温度变化等线形内容。标高监测采用精密水准仪，重点关注节段端部与跨中部位；轴线偏位通过全站仪进行实时测量，确保梁体纵向轴线顺直；温度变化监测需记录环境温度与梁体内部温度，分析温度对梁体变形的影响。控制方法采用实时监测与动态调整相结合的模式，利用Midas Civil软件建立梁体有限元模型，模拟施工过程中的变形情况，根据现场监测数据调整模板标高与预应力张拉参数，实现线形的精准控制。

(2) 应力监测要点：应力监测主要围绕关键截面展开，0号块作为受力集中部位，承受两侧悬臂梁体的不平衡荷载，是应力监测的核心截面；跨中截面在施工过程中变形较大，应力变化显著；合龙段作为体系转换的关键环节，应力分布复杂，需重点监测。监测仪器选用精度为 $\pm 2\mu\epsilon$ 的应变片与压力传感器，应变片粘贴于梁体腹板与翼缘板关键部位，压力传感器安装在预应力管道内，实时采集应力数据，当监测值接近设计限值时及时采取调整措施，确保梁体结构安全^[4]。

2.5 合龙施工关键技术

(1) 合龙顺序：合龙施工严格按照先边跨后中跨的顺序进行，以免因顺序错误影响梁体体系转化效果。边跨合龙后可形成简支梁受力状态，减少中跨合龙时的变形约束，降低体系转换过程中产生的附加应力，保障梁体结构的稳定性。

(2) 合龙控制措施：合龙施工过程中还需重点关注环境温度，最好在25℃以下的气温环境下施工。通常选择夜间施

工,主要是因为该时段温度变化平缓,可有效减少混凝土浇筑后因温度收缩产生的裂缝^[5]。配重方案采用水箱配重方式,加载量等于合龙段混凝土重量,合龙过程中逐步卸载配重,确保梁体受力平衡;临时锁定采用型钢锁定装置,型钢抗剪强度不低于 345MPa,通过焊接方式固定在梁体端部,限制合龙段两侧梁体的相对位移,为混凝土凝固提供稳定环境。

3 工程案例分析

3.1 工程概况

以某市轨道交通 3 号线跨环城西路高架桥为工程案例展开探讨,该桥梁工程属于典型的大跨度连续梁桥结构桥,梁跨度布置为 40+60+40m,梁体高度 3.8m,桥面宽度 12.5m,满足双线铁路通行要求。施工环境具有鲜明的市政铁路高架特征,桥梁跨越环城西路主干道,该路段日均车流量较大,高空作业高度达 25m,桥梁两侧分布有居民区与绿化带,场地受限情况突出,对施工技术的适应性与安全性提出严苛要求。

3.2 挂篮施工应用

结合工程实况,选用菱形挂篮施工,挂篮自重 65t,承载能力 200t,既满足梁体施工荷载要求,又符合高架场景对挂篮自重与稳定性的需求。关键技术实施过程中,挂篮预压采用水箱预压方案,实测非弹性变形为 8mm,符合设计允许值,验证了挂篮结构的可靠性。线形控制通过 Midas Civil 软件模拟与现场监测相结合,最终跨中标高偏差为 2mm,轴线偏位 3mm,均控制在设计要求范围内。挂篮结构示意图如图 1 所示。

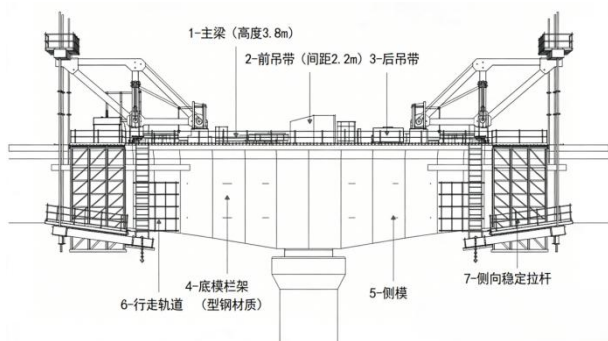


图 1 菱形挂篮适配市政铁路高架的结构示意图

正面视图与侧面视图清晰地展示了主梁、前吊带、后吊带、底模桁架、侧模、行走轨道、临时固结装置等核心部件的布置,侧向稳定拉杆与优化后的迎风面造型体现了高架场景的抗风设计,预埋钢板与精轧螺纹钢组成的临时固结装置保障了施工过程的稳定性。

3.3 施工效果与技术总结

施工作业严格按照既定技术方案稳步推进,各项质量指标都满足设计要求。选用 C50 高强度混凝土,通过现场取样检测,立方体抗压强度平均值为 56.8MPa,最小值为 52.3MPa,均满足设计强度要求,混凝土外观平整光滑,无蜂窝、麻面、裂缝等质量缺陷。预应力张拉施工选用智能张拉设备,严格控制张拉应力与伸长量,张拉过程中实时监测数据,确保张拉应力偏差控制在 $\pm 1\%$ 以内,伸长量偏差不得超过 $\pm 6\%$,全桥预应力张拉合格率达到 100%,有效保障了梁体的结构承载能力。

面对高架场地受限的问题,本工程挂篮前移轨道使用的是 H 型钢轨道,相比传统混凝土轨道,其不仅具备强度高、刚度大、安装便捷的优势,同时型钢轨道重量更轻,无需现场浇筑养护,大幅缩短了施工周期。轨道拼接采用螺栓连接,拆装灵活,可根据施工进度分段安装,有效适应了高架施工场地狭小的限制。施工过程中,挂篮前移平稳顺畅,轨道变形量控制在 2mm 以内,确保了节段施工的连续性与安全性,为同类场地受限的高架桥梁施工提供了切实可行的解决方案。

4 结语

综上,为确保市政铁路高架场景下大跨度连续梁桥挂篮施工技术效用的充分发挥,就需要做到选型优化、工艺改进与精准控制,形成适配该场景的核心技术方案。工程实践证明,菱形挂篮的优化设计、水箱预压监测、动态线形调整等技术措施,能有效应对高架施工难题,保障工程质量与安全。在未来的探究中,可加大对智能化监测与新材料应用的探究力度,推动挂篮施工技术向更高效、精准方向发展。

参考文献:

- [1] 张丹萍.大节段支架现浇连续梁桥力学性能研究[D].南京林业大学,2024.
- [2] 贾熙丁.大跨度桥梁现浇连续梁挂篮施工研究[J].广东交通职业技术学院学报,2023,22(03):30-34.
- [3] 袁武.铁路桥梁工程中的大跨度现浇连续梁施工技术[J].四川建材,2023,49(04):186-188.
- [4] 贺剑.大跨度箱梁桥的施工影响因素与悬浇控制要点分析[J].交通世界,2022,(36):129-131.
- [5] 鲁春玲.铁路大跨度现浇连续梁施工技术[J].设备管理与维修,2022,(04):110-111.