

公路桥梁施工中悬臂挂篮施工技术研究

张灵学

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311300

DOI:10.61369/ME.2025040030

摘 要 : 悬臂挂篮施工技术是公路桥梁建设中的关键工艺, 凭借结构轻盈、施工灵活、不干扰桥下交通等优势, 能适应复杂地形与工况。其无需大量临时支撑即可实现桥梁分段悬臂浇筑, 显著提升施工效率并降低成本, 在大跨度桥梁工程中应用广泛。本文聚焦公路桥梁施工中的悬臂挂篮技术, 深入探讨其应用要点与实施路径, 为同类工程提供参考。

关 键 词 : 公路桥梁; 施工技术; 悬臂挂篮

Research on Cantilever Basket Construction Technology in Highway Bridge Construction

Zhang Lingxue

Zhejiang Jiaotong Hongtu Transportation Construction Co., LTD., Hangzhou, Zhejiang 311300

Abstract : The cantilever basket construction technology is a key process in highway bridge construction. With advantages such as light structure, flexible construction, and no interference with traffic under the bridge, it can adapt to complex terrains and working conditions. It can achieve the segmented cantilever pouring of Bridges without a large number of temporary supports, significantly improving construction efficiency and reducing costs. It is widely used in long-span bridge projects. This article focuses on the cantilever basket technology in highway bridge construction, deeply explores its application key points and implementation paths, and provides references for similar projects.

Keywords : highway bridge; construction technology; cantilever hanging basket

前言

悬臂挂篮技术作为大跨度公路桥梁施工的核心手段, 以适应性强、安全性高、经济性优的特点, 成为复杂环境下桥梁建设的优选方案。其通过分段悬臂浇筑模式, 在保障桥下交通通行的同时, 可精准应对地形、地质等复杂条件, 有效提升施工质量与效率。本文围绕该技术的应用场景、关键工序及控制要点展开深入分析, 旨在为公路桥梁施工提供技术借鉴。

一、悬臂挂篮施工技术概述

悬臂挂篮施工技术是一种常用于大跨度桥梁施工的先进方法。其原理是利用挂篮作为施工平台, 在已完成的梁段上向前逐段浇筑混凝土, 形成连续的梁体结构。挂篮就像是一个可移动的小型工厂, 它可以沿着梁体轨道移动, 为后续梁段的施工提供支撑和作业空间。

二、悬臂挂篮技术在桥梁施工中的应用

(一) 制作与安装

悬臂挂篮的制作与安装是技术应用的前提, 其质量直接影响后续施工的安全性与精度。该环节需结合项目实际条件 (如跨度、荷载、环境) 进行针对性设计与管控。

施工筹备阶段, 技术团队需完成三项核心工作: 一是地质

勘察, 重点探明桥位处土层承载力 (要求 $\geq 200\text{kPa}$)、地下水位 (需低于基坑底 1m 以上) 及周边障碍物分布, 为挂篮锚固系统设计提供依据; 二是设备参数验算, 根据桥梁最大悬臂长度 (如 50m)、梁段自重 (通常每延米 30–50t), 确定挂篮主桁架截面尺寸 (如采用 I56b 工字钢)、悬吊系统承重能力 (钢绞线安全系数 ≥ 3.0); 三是专项方案编制, 明确安装流程 (如“主桁架拼装→悬吊系统安装→锚固装置固定”)、人员分工 (如起重工、焊工持证上岗率 100%) 及应急预案 (如台风天气的设备加固措施)。

安装过程中, 精度控制是关键。主桁架拼装需采用全站仪定位 (平面偏差 $\leq 3\text{mm}$), 节点连接螺栓需按“初拧→复拧→终拧”三步施工 (终拧扭矩符合设计值, 偏差 $\leq \pm 5\%$); 焊接部位 (如主桁架拼接缝) 需采用二氧化碳气体保护焊, 焊后 24h 内进行 UT 探伤 (合格率 100%), 防止裂纹隐患。安装完成后, 必须进行两项测试: 静载试验 (加载至最大施工荷载的 1.2 倍, 持荷 1h, 观测挂篮挠度 $\leq L/500$, L 为跨度) 和动态行走试验 (连续行走 3 个梁

段，记录行走阻力、制动响应时间，确保无卡顿现象）。例如，某跨江大桥挂篮安装后，通过静载试验发现主桁架挠度超标2mm，经调整后锚点高程，最终满足规范要求，为后续施工奠定基础。

（二）混凝土浇筑

悬臂挂篮在悬挂状态下完成混凝土浇筑，需平衡效率与质量，避免因荷载不均导致结构变形。该环节需从浇筑规划、过程管控及质量检测三方面实施精细化管理。

浇筑规划需遵循“对称、分层、均衡”原则。对称方面，左右幅梁段混凝土浇筑进度差控制在1h以内，方量差 $\leq 5\text{m}^3$ ，防止挂篮偏载（如某曲线桥施工中，通过两侧同步泵送实现荷载平衡）；分层方面，按“底板→腹板→顶板”顺序浇筑，每层厚度30cm（对应混凝土初凝时间4-6h），层间间隔时间 $\leq 2\text{h}$ ，避免冷缝产生；浇筑设备选择需匹配工程需求，采用车载泵（输送压力 $\geq 25\text{MPa}$ ）配合布料机（覆盖半径 $\geq 8\text{m}$ ），确保混凝土垂直运输过程中不离析（扩展度损失 $\leq 50\text{mm/h}$ ）。

过程管控需实时监测两项指标：一是挂篮姿态，通过安装在主桁架顶部的倾角传感器（精度 0.1° ），每10min记录一次数据，当水平倾角超 0.5° 时，立即暂停浇筑并调整悬吊系统；二是混凝土性能，入模温度控制在 $5\sim 35^\circ\text{C}$ （夏季采用冰水拌合，冬季用骨料预热），坍落度每车检测（ $180\pm 20\text{mm}$ ），同时通过可视化浇筑平台（如摄像头实时监控）观察腹板倒角处混凝土密实度，避免蜂窝麻面。

质量检测需覆盖三个维度：外观检查（表面平整度 $\leq 5\text{mm}$ ，棱角分明无破损）、强度试验（制作3组同条件养护试块，7天强度 \geq 设计值的85%）、内部缺陷检测（采用超声波检测仪对梁体进行扫描，声速值 $\geq 3.5\text{km/s}$ 为合格）。某高速公路大桥通过上述管控，混凝土外观优良率达98%，28天强度达标率100%，较传统工艺提升15个百分点。

（三）张拉施工

预应力张拉是确保悬臂梁体受力平衡的核心工序，其质量直接影响桥梁长期承载能力。该环节需实现“参数精准化、监测实时化、应急高效化”。

在进行参数设计时需结合结构受力特点。预张拉力计算需考虑三项损失：锚具变形损失（取6mm）、钢束松弛损失（1000h松弛率 $\leq 2.5\%$ ）、摩擦损失（按孔道类型取值，波纹管 $\mu=0.25$ ），最终张拉力按设计值的1.05倍控制（如设计1000kN，实际张拉1050kN）；张拉顺序需遵循“对称张拉、分批进行”原则，例如连续梁桥需先张拉腹板束（从下到上），再张拉顶板束（从中间到两侧），最后张拉底板束，避免梁体扭转。

监测系统需具备高精度与实时性。采用智能张拉设备（控制精度 $\pm 1\%$ ），同步采集张拉力（精度0.1kN）、钢束伸长量（精度0.1mm）及环境温度（每5min记录一次），数据实时上传至管理平台，当实际伸长值与理论值偏差超 $\pm 6\%$ 时，系统自动报警并锁定设备。某特大桥张拉时，系统监测到一束钢束伸长量偏小（偏差-8%），经查为孔道摩阻过大，通过重新压浆（压力0.6MPa）解决问题，确保预应力传递均匀。

应急保障需做到“设备备用、人员待命”。备用千斤顶（同

型号、已校准）、油泵需放置在张拉现场（距作业点 $\leq 50\text{m}$ ），同时配备2名持证张拉工随时待命；锚具安装前需进行硬度检测（HRC32-36），张拉过程中每5min检查一次夹片状态（回缩量 $\leq 6\text{mm}$ ），防止滑丝事故。通过上述措施，可将张拉合格率提升至99%以上。

（四）合龙施工

合龙是桥梁结构形成整体的关键工序，需通过“受力平衡、精度控制、时效管理”确保成桥线形达标。其核心流程包括施工准备、临时固定、混凝土浇筑及预应力施加四部分。

施工准备阶段需完成两项工作：一是高程调整，通过全站仪测量悬臂端高程（精度1mm），利用挂篮悬吊系统进行微调（每端调整量 $\leq 10\text{mm}$ ），使合龙段两端高差 $\leq 5\text{mm}$ ；二是压重设置，在悬臂端堆放水箱（重量等同于合龙段混凝土量的1.1倍），浇筑过程中同步放水（每浇筑 1m^3 混凝土放水1t），维持结构受力平衡。例如，某连续梁桥中跨合龙时，通过精准压重控制，合龙段两端高程差最终稳定在2mm。

临时固定是抗变形的关键。采用“型钢支撑+预应力束”组合体系：在合龙段两侧梁体预埋钢板（厚度20mm），焊接I40b工字钢支撑（间距1.5m），形成刚性约束（抗剪承载力 $\geq 500\text{kN}$ ）；同时张拉临时预应力束（张拉力为设计值的60%），限制梁体纵向位移（ $\leq 2\text{mm}$ ）。某桥梁合龙时遭遇强降雨，因临时固定可靠，梁体未发生偏移，保障了施工质量。

合龙段混凝土浇筑需“限时、控温”。选择在夜间低温时段（气温 $15\sim 20^\circ\text{C}$ ）施工，浇筑时间控制在6h以内（对应混凝土初凝时间）；采用微膨胀混凝土（膨胀率0.02-0.03%），通过掺入聚丙烯纤维（掺量 0.9kg/m^3 ）减少收缩裂缝。浇筑完成后立即覆盖土工布+棉被保湿（养护温度 $\geq 5^\circ\text{C}$ ），7天抗压强度需达设计值的100%。

预应力施加需紧跟混凝土养护进度。当强度达85%、弹性模量达90%时，及时张拉纵向预应力束（张拉力按设计值的95%控制），采用真空压浆（真空度 $\geq -0.09\text{MPa}$ ）确保孔道密实。某大桥合龙后检测显示，轴线偏差仅8mm，满足规范要求（ $\leq 10\text{mm}$ ）。^[1]

三、悬臂挂篮技术在桥梁施工中的应用的质量控制手段

为确保悬臂挂篮施工质量，需针对挠度、浇筑质量、预应力及内力实施多维度控制，构建全流程管控体系。

（一）挠度控制

挠度是结构稳定性的核心指标，需通过设计、施工、材料协同控制。设计阶段利用Midas Civil等有限元软件模拟施工全过程，计算各工况挠度值（如挂篮行走阶段L/600、混凝土浇筑阶段L/400），据此优化挂篮刚度（主桁架截面惯性矩 $\geq 5\times 10^8\text{mm}^4$ ）。施工阶段采用“监测-反馈-调整”机制：每浇筑30cm厚混凝土，用全站仪（精度1mm）测量挠度，累计值超计算值10%时，通过调整挂篮后锚点高程（每次 $\leq 5\text{mm}$ ）补偿。某桥梁施工中，实时调整使最大挠度从25mm降至20mm，

符合规范。材料选用 C60 高性能混凝土（28 天强度 $\geq 60\text{MPa}$ ）和 HRB500E 级钢筋，较传统材料降低自重 8%，间接减少挠度。

（二）悬臂浇筑质量优化

从挂篮维护、管道定位及温度控制三方面保障浇筑质量。挂篮维护实行“定期检查+动态监测”：每日检查悬吊钢绞线（断丝数 ≤ 1 丝/束）、滑轮组润滑；每月用应变片（精度 $1\mu\epsilon$ ）检测主桁架应力，确保 \leq 设计值 80%，某项目借此将设备故障率从 5%降至 1%；预应力管道定位采用“双控法”：纵向管道用角钢架固定（间距 50cm，曲线段 30cm），坐标偏差 $\leq 3\text{mm}$ ；竖向管道每 2m 设定位钢筋，防止上浮（偏差 $\leq 5\text{mm}$ ），浇筑前通孔试验通过率 100%；温度控制覆盖全流程：拌合用冷水（ $\leq 10^\circ\text{C}$ ）、冰屑降温（出机温度 $\leq 28^\circ\text{C}$ ）；浇筑时搭遮阳棚（降温 5–8 $^\circ\text{C}$ ）、喷雾控温（环境 $\leq 35^\circ\text{C}$ ）；养护用智能喷淋（每 2h 喷水，湿度 $\geq 95\%$ ），覆盖土工布+塑料膜（保湿 ≥ 14 天）。某夏季项目通过此措施，混凝土裂缝率从 8%降至 1.5%。

（三）预应力张拉和压浆的控制

预应力施工需严控张拉精度与压浆密实度。张拉实行“双控+追溯”：以张拉力（精度 $\pm 1\%$ ）为主控，钢束伸长量（偏差 $\pm 6\%$ ）为校核，每束记录操作人员、设备及数据（存档 ≥ 5 年）。某桥梁因追溯记录及时发现油泵传感器失准，更换后张拉达标；压浆采用“真空辅助+智能控制”：压浆前真空泵抽至 -0.09MPa （持续 3min 无回升）；智能压浆机控制压力 0.5–0.7MPa、流量 2–3 m^3/h ，通过观察孔溢浆判定饱满度；专用压浆料水胶比

0.27，每批次测流动度（30min 损失 $\leq 20\text{mm}$ ）。某项目借此将孔道密实度合格率从 85%提至 99%。

（四）施工内力控制

通过荷载管理、支撑设计及实时监测防控内力超限。荷载管理细化至工序：挂篮材料堆放均匀（堆载 $\leq 20\text{kPa}$ ），人员集中作业 ≤ 10 人/ m^2 ；泵管设橡胶垫减冲击（ $\leq 5\text{kN}$ ），某项目借此将梁体应力控制在设计值 75%内；临时支撑兼顾强度与变形：边跨支架用碗扣架（立杆 $0.6\text{m}\times 0.6\text{m}$ ），地基浇 10cm 厚 C20 垫层，预压（1.2 倍荷载）沉降 $\leq 10\text{mm}$ ；合龙段用 Q355B 型钢支撑（屈服强度 $\geq 355\text{MPa}$ ），焊接达一级标准；实时监测覆盖关键截面：跨中、1/4 跨及悬臂端设应力传感器（精度 1MPa），每 30min 采集数据，超设计值 10%时自动预警。某桥梁监测到悬臂端应力突增（115%设计值），经查为锚固螺栓松动，紧固后恢复正常，避免损伤。^[2]

四、结语

悬臂挂篮技术的应用水平直接决定大跨度桥梁的施工质量与安全。实践表明，通过设备制作安装的精度管控、混凝土浇筑的均衡施工、张拉合龙的动态调整，以及全流程的质量控制手段，可实现桥梁结构线形偏差 $\leq 10\text{mm}$ 、预应力传递效率 $\geq 95\%$ 、竣工后 10 年无结构性裂缝的高质量目标。

参考文献

[1] 董鹏. 悬臂挂篮技术在桥梁施工中的应用 [J]. 四川建材, 2023(6): 138 – 140.
[2] 卢静. 桥梁施工中挂篮悬臂浇筑施工技术的应用探讨 [J]. 科学技术创新, 2022 (12): 135–138.