

# 高速公路桥梁预应力连续梁悬臂挂篮施工技术

姚晓睿, 吴雄敏

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/ME.2026040031

**摘 要 :** 在高速公路桥梁工程建设中, 预应力连续梁桥凭借刚度大、变形小、行车平顺性佳、跨越能力强等优势, 成为山区高速、跨江河高速桥梁的主流结构形式。悬臂挂篮施工技术作为预应力连续梁桥核心施工工艺, 具备无需搭设落地支架、不占用桥下空间、适应性强、施工效率高等特点, 可有效适配复杂地形及跨航道、跨道路桥梁施工场景。本文结合高速公路桥梁施工工程实际, 系统阐述预应力连续梁悬臂挂篮施工的技术原理与施工优势, 详细分析挂篮设备选型、安装调试、悬臂分段浇筑、预应力张拉、合段施工等关键工艺流程, 梳理施工过程中线性控制、应力控制、安全防控的核心要点。同时针对施工中常见的挂篮变形、梁体裂缝、线形偏差等质量问题, 提出针对性防控措施, 旨在提升高速公路桥梁连续梁施工质量与安全性, 为同类桥梁工程施工提供技术参考。

**关 键 词 :** 高速公路桥梁; 预应力连续梁; 悬臂挂篮; 施工技术; 质量控制

## Construction Technology of Prestressed Continuous Beams of Highway Bridges Using Cantilever Suspension Frame

Yao Xiaorui, Wu Xiongmin

Zhejiang Jiaogong Hongtu Transportation Construction Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311305

**Abstract :** In the construction of highway bridges, prestressed continuous beam bridges, due to their advantages such as high stiffness, small deformation, excellent driving smoothness, and strong spanning capacity, have become the mainstream structural form for mountainous and river-crossing high-speed bridges. The cantilever formwork and hanging basket construction technology, as the core construction process of prestressed continuous beam bridges, has the characteristics of not requiring the erection of ground-based scaffolds, not occupying the space under the bridge, strong adaptability, and high construction efficiency. It can effectively adapt to complex terrain and bridge construction scenarios across waterways and roads. This paper, based on the actual construction of highway bridges, systematically elaborates on the technical principles and construction advantages of the prestressed continuous beam suspension formwork construction, and thoroughly analyzes the key process flows such as formwork equipment selection, installation and debugging, cantilever section pouring, prestress tensioning, and joint construction. It also summarizes the core key points of linear control, stress control, and safety prevention during the construction process. At the same time, for common quality problems such as formwork deformation, beam cracks, and line deviation during construction, targeted control measures are proposed, aiming to improve the construction quality and safety of continuous beams of highway bridges and provide technical references for similar bridge construction projects.

**Keywords :** highway bridges; prestressed continuous beams; suspension formwork; construction technology; quality control

### 前言

随着我国高速公路路网不断向山区、丘陵地带延伸, 桥梁工程占比持续提升, 大跨度预应力连续梁桥梁的应用愈发广泛。传统支架现浇施工技术受地形地貌、桥下交通、河道通航等条件限制较大, 难以满足复杂工况施工需求。悬臂挂篮施工技术突破了传统施工工艺的局限, 以桥墩为基准对称分段浇筑梁体, 逐步向跨中合拢, 无需大面积支架搭设, 极大降低了施工场地限制, 适配大跨度、高墩、复杂环境桥梁施工。

预应力连续梁施工对结构线形、预应力张力、混凝土密实度精度要求极高, 挂篮施工的稳定性、规范性直接决定桥梁整体施工质量与使用寿命。为规范现场施工流程, 解决施工中的技术难点与质量隐患, 本文深入研究悬臂挂篮施工整套技术体系, 优化施工工艺与管控方案, 助力高速公路桥梁工程提质增效、安全施工。

# 一、悬臂挂篮施工技术概述

## （一）技术原理

悬臂挂篮施工是大跨度预应力混凝土连续梁桥的核心施工工艺，其核心原理是以桥梁主墩为对称中心，利用安装于墩顶梁段的挂篮设备，向桥梁两侧对称、逐段完成钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑、预应力张拉、压浆固结等施工工序。每完成一个梁段施工，待混凝土强度及预应力体系满足设计要求后，通过挂篮行走系统前移挂篮，开展下一梁段施工，循环往复直至桥梁各悬臂段施工完成，最后通过边跨、中跨合拢施工形成整体连续梁结构。

该技术依托桥墩承载施工荷载，将高空、大跨度施工转化为标准化、分段化施工，彻底摆脱了落地支架对场地的依赖。同时结合预应力张拉技术，通过钢绞线张拉抵消混凝土梁体自重及后期行车荷载产生的拉应力，提升梁体结构的整体性、抗裂性和耐久性，契合高速公路桥梁长期重载通行的使用需求。

## （二）施工技术优势

相较于满堂支架现浇、预制吊装等传统施工工艺，悬臂挂篮施工技术在高速公路桥梁工程中具备显著优势。第一，场地适应性极强，无需平整桥下场地、不阻断河道通航、不影响桥下道路通行，完美适配山区深谷、跨江河、跨既有高速等复杂施工场景。第二，结构施工质量可控，分段对称施工可有效减小桥墩单侧偏心荷载，避免墩身偏移、倾斜问题，结合精准的预应力施工，可大幅降低梁体裂缝产生概率。第三，施工效率较高，挂篮可循环重复利用，设备安装完成后可连续完成多个梁段施工，工序衔接紧密，大幅缩短工期。第四，经济性突出，无需大量支架管材、脚手架材料，减少材料租赁、搭设、拆除成本，同时机械化、标准化施工可减少人工投入，有效控制工程造价。第五，施工安全性高，挂篮为封闭式整体结构，配套完善的防护设施，相比高空零散施工，可有效降低高空坠落、坍塌等安全风险。

# 二、预应力连续梁悬臂挂篮核心施工工艺流程

## （一）施工前期准备

施工前期准备是保障挂篮施工顺利开展、控制施工质量的基础，主要包含技术准备、设备准备、材料准备及现场准备四大模块。技术准备方面，施工技术人员需深度研读施工图纸、设计规范及地质勘察报告，结合桥梁跨度、梁段重量、墩身参数编制专项施工方案及安全专项方案，对挂篮受力、行走、承重进行专项验算。同时对施工班组开展技术交底和安全交底，明确各工序施工标准、操作要点及质量隐患，确保全员掌握施工工艺。

设备准备核心为挂篮选型与检修，高速公路连续梁施工常用菱形挂篮，该结构自重轻、刚度大、变形小、行走稳定，适配大荷载悬臂施工。需根据最大梁段混凝土重量确定挂篮承载力，提前对挂篮主桁架、底模平台、行走轨道、锚固系统、液压系统等核心部件进行检查，排查焊缝开裂、螺栓松动、液压泄漏等问题，完成设备调试与试运行。

材料准备需严格把控原材料质量，混凝土采用高强度、低收缩、高耐久性专用配比，水泥、砂石、外加剂进场需出具质检报告并完成复检；预应力钢绞线、锚具、波纹管需符合国标要求，

杜绝不合格材料进场。现场准备需完成墩顶0号块施工，平整墩顶作业面，铺设挂篮行走轨道，做好轨道锚固与找平处理，为挂篮安装奠定基础。<sup>[1]</sup>

## （二）0号块施工

0号块是桥梁主墩顶部的首个梁段，是挂篮安装、后续悬臂施工的基础支撑结构，施工质量直接影响后续所有梁段的线形与稳定性。0号块采用支架现浇方式施工，施工前搭设落地支架并完成预压处理，消除支架非弹性变形，避免梁体浇筑后出现沉降、开裂。

支架预压合格后，开展模板安装、钢筋绑扎与波纹管预埋作业。钢筋施工需严格按照图纸间距布置，保证保护层厚度达标，钢筋焊接、绑扎牢固；预应力波纹管需精准定位，固定牢靠，避免混凝土浇筑过程中移位、变形，管道接头做好密封处理，防止水泥浆渗入堵塞管道。

完成隐蔽工程验收后，分层对称浇筑0号块混凝土，分层厚度控制在30cm以内，采用插入式振捣器密实振捣，杜绝蜂窝、麻面、空洞等质量缺陷。混凝土浇筑完成后及时覆盖保湿养护，严格控制养护时间，待混凝土强度达到设计强度90%以上，方可开展挂篮安装作业。

## （三）挂篮安装与调试

0号块养护达标后，正式开展挂篮安装施工，遵循“先主桁架、后附属结构，先固定、后调试”的施工顺序。首先在墩顶轨道上精准吊装挂篮主桁架，完成桁架对接、螺栓紧固，做好临时锚固；随后安装底模平台、侧模、内模、前支点、后锚装置及液压行走系统。挂篮所有连接螺栓必须全部紧固到位，锚固钢筋、锚杆需严格按照设计数量布置，保证锚固承载力满足施工荷载要求。

挂篮整体安装完成后，必须开展荷载试验，这是把控施工安全、控制梁体线形的关键环节。通过分级加压方式模拟最大梁段施工荷载，检测挂篮的弹性变形、非弹性变形及整体稳定性，记录变形数据，为后续梁体立模标高调整提供依据。试验完成后，对挂篮进行全面调试，校正模板平整度、垂直度，调试液压行走系统，保证挂篮行走平稳、制动可靠，无偏移、卡顿现象，验收合格后方可进入悬臂梁段施工。<sup>[2]</sup>

## （四）悬臂梁段对称浇筑施工

挂篮调试验收合格后，进入标准梁段悬臂施工阶段，严格遵循两端对称、平衡施工原则，禁止单侧偏心施工。首先根据挂篮荷载试验数据和设计线形参数，精准调整模板立模标高，预留挂篮弹性变形、混凝土收缩徐变及后期沉降余量，保证梁体成型后线形平顺。

随后开展钢筋绑扎、预应力波纹管及锚板预埋作业，严格把控钢筋间距、保护层厚度，波纹管线形顺滑、定位准确，锚板与管道垂直、固定牢固。隐蔽工程验收合格后，开展混凝土浇筑施工，采用对称分层浇筑方式，从梁段远端向墩顶方向浇筑，分层振捣密实。浇筑过程中实时监测挂篮变形、墩身偏移情况，若出现异常立即停止施工，排查整改。

混凝土浇筑完成后，及时进行表面收光、覆膜保湿养护，根据环境温度调整养护时长，严控内外温差，防止梁体产生温度裂缝。同时做好梁段标高、轴线监测，实时记录施工数据，为后续线形调整提供依据。<sup>[3]</sup>

### （五）预应力张拉与压浆施工

预应力施工是提升连续梁结构承载力、抗裂性的核心工序，分为初张拉、终张拉两个阶段。待梁段混凝土强度及弹性模量达到设计要求后，开展预应力张拉作业。张拉前清理锚具、钢绞线表面杂物，校准张拉设备，保证油压表、千斤顶精度达标。

张拉遵循“对称、分级、匀速”原则，按照 $0 \rightarrow 10\% \sigma_{con} \rightarrow 20\% \sigma_{con} \rightarrow 100\% \sigma_{con}$ →持荷锚固的流程施工，采用应力控制为主、伸长值校核为辅的双重控制标准，伸长值偏差控制在 $\pm 6\%$ 以内。张拉过程中全程监测梁体变形，杜绝超张拉、欠张拉问题，张拉完成后及时切割多余钢绞线，严禁电弧切割。

张拉作业完成后24小时内开展孔道压浆施工，采用真空辅助压浆工艺，保证孔道浆液饱满、密实。水泥浆严格按照配比配制，控制水胶比、流动性，压浆连续不间断，排出孔道内空气与积水，压浆完成后封堵孔道，做好养护工作，保证预应力体系有效固结。<sup>[4]</sup>

## 三、施工质量与安全控制要点

### （一）线形质量控制

桥梁线形是高速公路桥梁施工质量的核心指标，直接影响后期行车舒适度与桥梁外观质量。施工过程中需建立全程动态监测体系，每段梁体浇筑前后、挂篮前移后、预应力张拉完成后，均需对梁体标高、轴线、挠度进行精准测量，对比设计参数，及时修正偏差。

立模标高需综合考虑挂篮弹性变形、混凝土收缩徐变、温度变化、预应力张拉变形、后期沉降等多重因素，提前预留变形余量。同时严格控制对称施工偏差，保证桥梁两侧悬臂施工荷载平衡，避免单侧荷载过大导致墩身倾斜、梁体线形偏移。此外，需固定专业监测人员、专用监测设备，统一监测时间与标准，减少监测误差，保证全桥线形顺滑、符合设计规范。

### （二）结构应力控制

预应力连续梁结构应力失衡易引发梁体开裂、结构变形，严重影响桥梁使用寿命。施工中需严格把控预应力施工质量，张拉设备定期校准，杜绝设备误差导致张拉应力不达标；严格遵循对称张拉原则，避免单侧应力过大造成梁体扭曲、偏移。

同时实时监测梁体施工应力，通过预埋应力监测元件，全程采集混凝土浇筑、张拉、合拢各阶段应力数据，对比理论应力值，发现应力异常及时调整施工参数。严控混凝土配比，减少混凝土收缩、温差产生的附加应力，避免结构出现隐性损伤，保障

桥梁结构受力稳定。

### （三）常见质量问题及防控措施

施工过程中常见质量问题主要包括梁体裂缝、孔道堵塞、线形偏差、混凝土缺陷等。针对梁体裂缝，需优化混凝土配比，降低水化热，加强保温保湿养护，严控内外温差，规范预应力张拉流程，避免应力裂缝、温度裂缝、收缩裂缝产生。<sup>[5]</sup>

针对波纹管孔道堵塞，施工中做好管道密封固定，混凝土浇筑时规避振捣棒撞击管道，浇筑完成后及时通孔检查，发现堵塞及时疏通。针对线形偏差超标，建立动态标高调整机制，实时修正施工参数，保证分段偏差可控、整体线形达标。针对混凝土蜂窝、麻面，优化振捣工艺，保证模板密封严密，清理干净模板杂物，提升混凝土成型质量。

### （四）施工安全管控

悬臂挂篮施工属于高空高危作业，安全管控至关重要。首先落实设备安全管理，挂篮安装、荷载试验、前移、拆除全过程专人监护，定期检查挂篮桁架、锚固系统、液压系统状态，杜绝设备带病作业。其次强化高空作业防护，作业面搭设防护栏杆、安全网，施工人员全程佩戴安全防护用具，严禁高空抛掷。<sup>[6]</sup>

严格管控施工荷载，挂篮作业面严禁超荷载堆放钢筋、模板、机具等材料，保证荷载均匀分布。落实临时用电安全规范，施工现场用电分级布设，做好防水、绝缘防护，杜绝漏电、触电事故。同时建立应急处置机制，针对挂篮倾覆、高空坠落、结构变形等风险制定应急预案，定期开展安全演练，保障施工现场安全稳定。

## 四、结语

悬臂挂篮施工技术凭借适应性强、施工质量优、经济性高的优势，已成为高速公路大跨度预应力连续梁桥的核心施工工艺，广泛应用于各类复杂工况桥梁工程。本文系统梳理了挂篮施工的技术原理、核心流程，详细阐述了0号块施工、挂篮安装调试、悬臂浇筑、预应力张拉、合拢施工等关键工序，同时明确了线形、应力、质量、安全的全方位管控要点。

在实际工程施工中，需结合项目地形、跨度、结构特点，严格落实标准化施工流程，做好全过程动态监测与质量管控，精准把控每一道施工工序，有效规避裂缝、线形偏差、结构失稳等质量安全隐患。通过优化施工工艺、强化现场管控，可显著提升预应力连续梁桥的施工质量、结构稳定性与耐久性，为高速公路桥梁工程安全、高效、优质施工提供坚实的技术保障。

## 参考文献

- [1] 交通运输部. JTG/T 3650-2020 公路桥涵施工技术规范 [S]. 北京：人民交通出版社，2020.
- [2] 李刚. 高速公路连续梁桥悬臂挂篮施工技术与质量控制 [J]. 公路交通科技，2022，39(05): 112-117.
- [3] 王浩. 大跨度预应力连续梁挂篮悬臂施工工艺优化研究 [J]. 工程技术研究，2023，8(12): 89-91.
- [4] 张建军. 山区高速公路桥梁挂篮施工安全风险防控技术 [J]. 交通世界，2022(28): 102-104.
- [5] 陈林峰. 预应力连续梁合拢段施工质量控制要点分析 [J]. 市政技术，2023，41(03): 78-81.
- [6] 刘鹏飞. 桥梁工程悬臂挂篮施工线形监控技术研究 [J]. 工程建设与设计，2022(19): 156-158.