

# 道路桥梁施工中挂篮悬臂浇筑关键环节控制

黄凯华

北京城建华晨交通建设有限公司 北京 房山 102400

**【摘要】**：挂篮悬臂浇筑是连续梁桥、连续刚构桥主梁施工中的常用工艺，具有跨越能力强、对地形适应性高、临时支撑需求较少等特点，但施工过程受挂篮受力状态、模板定位精度、节段线形变化、混凝土浇筑均衡性及预应力张拉压浆质量共同影响，控制难度始终较高。工程实践表明，节段施工中的细微偏差往往具有传递性与放大性，若关键环节衔接失稳，易引发梁体标高偏移、外观缺陷、合龙误差增大及耐久性能削弱。围绕挂篮拼装预压、线形测控、浇筑组织、张拉压浆与过程监测实施系统控制后，桥梁成型质量与施工安全性可得到明显提升。

**【关键词】**：道路桥梁；挂篮悬臂浇筑；线形控制；预应力施工；关键环节

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.075

随着道路桥梁建设持续向大跨径、复杂地形和高品质建造方向延伸，跨河、跨谷及跨既有交通通道工程明显增多，传统支架施工在场地条件、通行保障和组织效率方面的局限逐步显现，挂篮悬臂浇筑的应用范围也随之扩大。工艺优势越突出，对精度与协同的要求往往越高，尤其在节段循环推进过程中，设备状态、测量基准、环境变化与工序衔接彼此牵动，稍有疏漏，质量波动便可能累积并向后传导，因此，将关键环节做细、把过程控制落稳，已成为桥梁施工质量提升中的重要课题。

## 1 挂篮悬臂浇筑施工的工艺特征与主要风险来源

### 1.1 结构受力动态演变明显，施工控制具有连续性特征

挂篮悬臂浇筑最鲜明的特征，不在于“分段浇筑”本身，而在于结构在施工过程中始终处于动态生成状态<sup>[1]</sup>。墩顶0号块完成后，主梁由相对稳定的起始状态逐步转入悬臂受力阶段，随着节段不断延伸，自重、施工荷载、挂篮反力及预应力效应持续叠加，梁体挠度、内力分布和结构姿态都在不断变化。由此决定，挂篮施工不是静态成型，而是边施工、边受力、边修正的连续过程。某一节段的模板标高、挂篮变形和张拉效果，既影响本节段成型质量，也决定下一个节段的控制起点，控制逻辑具有明显的链条性与传递性，局部偏差若未被及时识别，极易在连续循环中累积放大。

### 1.2 工序耦合程度高，质量风险具有隐蔽扩散特征

挂篮悬臂浇筑涉及挂篮体系、测量放样、模板安装、钢筋绑扎、预应力管道布设、混凝土浇筑、张拉压浆及线形复核等多个环节，这些工序表面上先后衔接，实则相互嵌套、相互制约。挂篮刚度不足，会传导为模板偏移；模板定位不稳，会进

一步演化为梁段标高和截面尺寸偏差；波纹管定位稍有失准，张拉阶段的摩阻损失与伸长值偏差便可能随之出现。更需注意的是，该工艺重复性强，施工节段多，人员在循环作业中容易形成经验惯性，而质量风险恰恰常藏于这种“看似相同”的重复之中，加之外部环境中的温度变化、风荷载扰动、设备状态波动及测量基准传递误差持续存在，挂篮悬臂浇筑的风险并非集中暴露，而多呈渐进扩散状态，因此，其控制必须建立在全过程精细管理基础之上。

## 2 道路桥梁施工中挂篮悬臂浇筑关键环节控制

### 2.1 挂篮拼装预压与行走转换控制

挂篮作为悬臂浇筑的直接承载系统，其受力路径是否清晰、整体刚度是否稳定，决定了后续所有工序的实施基础。拼装阶段需要对主桁架、前后吊带、底模平台、行走装置、锚固构件及联结节点进行全面校核，控制重点并不只是尺寸拼接正确，更在于连接刚度、受力传递和安装对称性是否满足设计与施工要求。若节点连接存在微小松动，或前后吊带受力不均，进入荷载状态后挂篮便可能出现附加变形，模板控制基准也会因此失去稳定性<sup>[2]</sup>。较为稳妥的做法，是在正式施工前完成分级预压，通常可按设计施工荷载的60%、80%、100%、110%逐级加载，每级稳压30~60 min，借助预压过程测定挂篮弹性变形值与残余变形值；工程实践中，挂篮预压总变形值多在10~20 mm范围内波动，残余变形宜控制在总变形的10%~15%以内，若超过这一水平，往往说明节点连接、支承体系或局部刚度仍有进一步调整空间。将实测结果纳入模板预拱度和施工标高计算之中，意义正在于使挂篮自身设备特性提前显性化，而不是在正式浇筑时被动承受。

**【作者简介】**姓名：黄凯华；出生年份：1987.02；性别：男；民族：汉；籍贯：四川省南江县；学历：本科；职称：工程师；主要研究方向：冻土区桩基施工冻胀控制技术、深水基础无人化施工与防渗技术、强风环境下桥梁架设抗风控制技术等。

行走转换控制同样属于关键节点。挂篮前移并非简单机械动作，而是旧节段受力释放与新节段施工准备之间的过渡过程，稍有控制不当，挂篮姿态便可能发生偏转，影响下一节段模板基准。通常情况下，挂篮前移前应完成轨道中心线、轨面高差、锚固状态与限位装置的联合复核，其中轨道纵向高差宜控制在 2 mm 以内，左右行走系统同步顶推行程差宜控制在 5 mm 以内，前移速度多控制在 0.05~0.10 m/min，既避免速度过快引起冲击，也有利于及时发现偏载和卡阻。某跨河连续箱梁施工中，前期一侧挂篮在前移后出现底模平台横向高差偏大的情况，初步检查梁体线形并无异常，进一步复核发现，问题根源并不在主梁本体，而在于行走轨道局部清理不彻底、同步顶推节奏不统一，导致挂篮前移过程中左右阻力差异增大，现场实测横向高差一度达到 8 mm。项目部据此将行走转换流程调整为“轨道复查—限位复核—同步顶推—分级锁定—复测确认”的闭环控制方式，并在每次前移前后增加吊点受力核查，后续节段的挂篮姿态偏差稳定控制在 3 mm 以内，说明挂篮前移必须从设备动作管理上升到工序质量管理层面，控制重心应放在同步性、稳定性与可复核性之上。

## 2.2 模板定位、测量放样与主梁线形控制

挂篮悬臂浇筑的核心之一，在于梁体线形控制。桥梁建成后的顺直度、合龙精度以及运营阶段的受力协调性，归根结底取决于节段施工时模板与测量控制是否精准<sup>[3]</sup>。模板系统不仅承担成型功能，更承担截面控制与标高传递功能，因此底模、侧模、端模安装完成后，应围绕轴线、标高、截面尺寸、预拱度和纵横坡等指标进行系统复核，保证模板在混凝土荷载和施工扰动作用下仍具备足够稳定性。需要强调的是，施工标高不能机械套用设计高程，而应结合挂篮预压数据、既有节段实测挠度、混凝土龄期变化、预应力反拱影响及昼夜温差因素进行动态修正，只有把理论值与现场实测值真正衔接起来，线形控制才具有现实意义。

为使关键控制内容更加清晰，可将挂篮悬臂浇筑主要环节及控制重点归纳如下，如表 1 所示。

表 1 挂篮悬臂浇筑关键环节及控制重点

控制环节	主要控制内容	控制目标
挂篮拼装与预压	节点连接、锚固检查、分级预压、变形测定	保证挂篮刚度和施工稳定性
模板与测量控制	轴线复核、标高调整、预拱度设置、截面校核	保证梁段成型精度和线形平顺

钢筋与管道安装	钢筋定位、保护层控制、波纹管顺直、锚垫板安装	保证结构受力与预应力施工条件
混凝土浇筑控制	对称下料、分层振捣、浇筑节奏、养护衔接	保证梁段密实成型和受力均衡
张拉压浆控制	张拉顺序、应力伸长双控、压浆密实、封锚处理	保证预应力有效传递与耐久性
监测与合龙控制	挠度观测、温度记录、线形复核、合龙锁定	保证体系转换平稳和合龙精度

在线形控制实践中，最忌讳的不是出现微小偏差，而是对偏差变化趋势缺乏判断。某城市快速路高架主桥采用挂篮对称悬浇施工，前两个节段浇筑完成后，现场测得梁端挠度与理论预测值存在一定差距，若按原控制高程继续推进，后期悬臂端累计偏差将逐步扩大。对此，项目技术组未采取经验性“回调”，而是将挂篮预压变形、实测温度、混凝土弹性模量增长情况及既有节段挠度观测结果统一纳入分析，对后续节段预拱度进行重新分配，并同步微调模板标高。调整之后，中后期节段施工线形趋于平顺，合龙前高程控制保持在较优范围内。这个例子说明，测量与模板控制不能停留在静态精度层面，更应建立“测量—分析—修正—复核”的动态闭环，以此消化施工阶段不可避免的误差波动。

## 2.3 钢筋、预应力管道与混凝土浇筑控制

挂篮悬臂浇筑中，梁段实体质量形成的基础在于内部构造是否准确、混凝土成型是否均衡。钢筋绑扎并不是单纯满足数量和间距要求即可，对于腹板、横隔板、锚固区等钢筋密集部位，空间关系更需提前梳理。若钢筋绑扎与波纹管布设缺乏协同，模板闭合、振捣作业和后续张拉都容易受到影响。特别是波纹管安装，顺直度、定位精度、接头密封和锚垫板角度控制都与预应力传递效率密切相关，局部小偏差在张拉阶段往往会转化为摩阻损失异常，继而影响整个节段的受力状态。因此，对钢筋和管道安装的控制重点，不仅在于“安装完成”，更在于形成连续、顺畅、可验证的结构路径。

混凝土浇筑过程则直接决定节段是否能够在挂篮受力条件下稳定成型。由于主梁悬臂端对施工荷载较为敏感，浇筑顺序必须围绕对称和平衡展开，腹板、底板、顶板的下料节奏和分层厚度需要统一安排，避免某一部位集中堆载造成挂篮受力偏移。

### 3 挂篮悬臂浇筑施工的实施优化与工程管理路径

#### 3.1 构建前移式风险识别与全过程监测控制体系

挂篮悬臂浇筑施工要取得稳定质量,控制思路必须前移。与其在问题显现后被动纠偏,不如在方案阶段即围绕风险点建立识别与预控机制。墩顶0号块尺寸、挂篮选型、节段长度、预应力布置、测量控制网、温度影响区段以及合龙施工窗口,都应在施工组织设计中提前统筹,形成与工程实际匹配的控制模型。进入施工阶段后,测量放样、挂篮变形、主梁挠度、温度变化和张拉响应等数据不宜孤立管理,而应纳入同一监测框架之中,由此构成“预判风险—现场观测—数据分析—工艺修正”的连续链条。对于中后期长期悬臂状态,更应提高观测频率,强化敏感参数跟踪,以保证线形、受力与设备状态始终处于可控范围。

#### 3.2 完善工序协同机制并推动节段施工标准化

挂篮悬臂浇筑最需要防范的,不是技术措施缺失,而是工序之间衔接断裂<sup>[4]</sup>。测量班组关注的是轴线标高,模板班组关注的是安装精度,钢筋和张拉班组侧重结构受力条件,若各环节仅从自身任务出发,实际形成的却可能是局部合格、整体失衡。更有效的管理路径,是依托节段责任制和节点验收制,将挂篮检查、模板定位、钢筋管道验收、混凝土浇筑、张拉压浆、挂篮前移等步骤纳入统一循环流程,使每一个节段都在固定的控制框架内完成闭环运行。这样做的意义,不只是减少疏漏,更在于弱化重复施工带来的经验惰性,使现场控制从依赖个人经验逐步转向依赖标准流程。

#### 参考文献:

- [1] 周军,李志辉.道路桥梁施工中挂篮悬浇施工技术分析[J].汽车周刊,2024,(10):246-248.
- [2] 刘涛.大跨径连续梁桥挂篮悬臂浇筑施工技术[J].建筑技术开发,2023,50(06):110-112.
- [3] 庞景耀.悬臂挂篮技术在桥梁施工中的应用分析[J].四川水泥,2018,(09):51.
- [4] 苏斌.道路桥梁施工中挂篮悬浇施工技术分析[J].运输经理世界,2023,(18):102-104.
- [5] 郑俊峰.关于桥梁施工中悬臂挂篮技术的研究[J].四川水泥,2019,(02):18.

#### 3.3 依托数据复盘与质量闭环推动持续提升

从工程管理角度看,挂篮悬臂浇筑真正有价值的经验,往往不是来自重大问题处理,而是来自对细小偏差的持续复盘。模板预拱度是否合理、挂篮预压数据是否充分利用、波纹管定位偏差为何出现、混凝土浇筑路径是否均衡、张拉记录与伸长值变化是否匹配,这些看似局部的技术细节,恰恰决定着整联桥梁施工质量的上限。若每个节段完成后只是确认“基本合格”,而没有对过程数据进行整理和对控制效果进行反思,下一节段很可能重复同类问题;反过来看,若能把实测标高、挠度变化、张拉响应、压浆记录和外观质量结果统一纳入分析,便能逐步识别工程中的规律性偏差,并据此优化后续节段参数。

随着数字化施工理念不断深入,挂篮悬臂浇筑的工程管理也正在由经验判断为主转向数据支撑为主<sup>[5]</sup>。未来在项目实施中,若能进一步整合测量系统、张拉系统、环境监测与施工管理平台,使关键环节控制由分散记录转为综合分析,那么施工组织将不再只是静态安排,而会具备更强的预测能力和自我修正能力。由此建立起来的,不仅是单个工程质量的提升,也是企业挂篮施工技术能力、过程管理能力和质量治理能力的同步提升,这一点,对当前道路桥梁高质量建设而言尤为重要。

### 4 结语

挂篮悬臂浇筑的成效,最终取决于精度控制是否扎实、工序协同是否顺畅、现场调整是否及时;把细节稳住,质量才有基础,把误差控在前端,线形、受力与耐久性才能真正统一。随着测控手段、施工组织与数据管理不断深化,更高水平的精细建造,正成为道路桥梁施工质量提升的重要支撑。