

高墩大跨桥梁悬臂浇筑施工线形控制的关键技术措施

刘国生

中铁十局集团第四工程有限公司 江苏 南京 210046

【摘要】：高墩大跨桥梁悬臂浇筑施工的线形控制是保障工程质量与结构安全的核心环节，其关键在于通过系统性技术措施协调施工过程中的多重影响因素。施工中需精准把控结构变形规律，结合环境条件与施工工艺特点，构建全过程动态控制体系。通过优化测量监测方案、完善参数调整机制、强化施工工艺管控等关键技术，实现线形偏差的有效控制，确保桥梁结构最终成形符合设计要求，为高墩大跨桥梁悬臂浇筑施工提供可靠技术支撑。

【关键词】：高墩大跨桥梁；悬臂浇筑；线形控制；施工技术；动态调整

DOI:10.12417/2811-0536.26.03.010

引言

高墩大跨桥梁因跨越能力强、适应复杂地形等优势，在交通基础设施建设中应用广泛。悬臂浇筑作为核心施工工艺，其线形控制质量直接关系到桥梁结构的受力性能、通行安全性与使用寿命。施工全过程中，结构自重新态增长、混凝土收缩徐变时效特性、温度场非均匀分布及外界荷载随机干扰等多场耦合作用，易诱发梁体线形累积偏差，若控制不当会引发结构应力集中、耐久性下降等问题。精准有效的线形控制技术，需整合施工监测、参数优化、工艺调控等多方面手段，破解复杂环境与施工流程带来的技术难题。立足施工实际需求，探索科学可行的关键技术措施，对提升工程建设质量、降低施工风险具有重要现实意义。

1 施工前期线形控制基础准备工作

(1) 设计参数精准转化与现场核查：施工前期需对桥梁设计文件中的线形相关参数进行全面梳理与精准转化，将设计坐标、高程、曲率等数据转化为施工可直接应用的控制指标。组织专业技术团队开展设计图纸会审，重点校验梁体分段长度、截面几何尺寸、预拱度设置等关键参数与结构力学特性、施工工法的匹配性。同时开展现场实地核查，对桥墩基础沉降情况、施工区域地形地貌、周边环境条件等进行详细勘测，收集准确的基础数据，为后续线形控制方案制定提供可靠依据，避免因设计参数偏差或现场条件掌握不足导致线形控制失准。(2) 施工控制体系搭建与人员配置：搭建完善的线形控制管理体系，明确各环节责任分工与工作流程，建立从数据采集、分析处理到决策执行的闭环管理机制^[1]。依据工程规模等级与技术复杂程度，配置具备悬臂浇筑施工控制经验的测量、施工、技术管理等专业人员，组建专项线形控制小组。对相关人员进行针对性培训，强化其对悬臂浇筑工艺、线形控制原理、测量仪器操作等知识的掌握，提升技

术应用能力与应急处理水平。同时制定完善的管理制度，规范数据记录、报告提交、参数调整等工作流程，确保线形控制工作有序开展。(3) 测量监测设备校准与方案制定：选用精度符合要求的测量监测设备，包括全站仪、水准仪、应变仪等，在施工前进行全面校准与调试，确保设备测量数据的准确性与可靠性。结合桥梁结构体系特点与悬臂浇筑施工流程，制定多维度测量监测方案，明确监测断面布设原则、监测点位优化设置、测量频率动态调整机制与数据采集标准。监测断面应重点覆盖梁体悬臂端、跨中、桥墩顶部等关键部位，监测点位设置需保证能全面反映结构线形变化情况。方案中需明确数据传输、分析处理的具体流程，确保测量数据能及时反馈，为线形调整提供快速支撑。

2 施工过程线形动态监测关键技术

(1) 多维度监测指标实时采集与传输：施工过程中需对梁体线形开展多维度实时监测，核心监测指标包括梁体高程、平面位置、截面应变、桥墩沉降等。采用自动化监测系统与人工复核互补模式，依托高精度测量仪器按预设频率开展数据采集，保障监测数据的连续性、完整性与时效性。针对混凝土浇筑、挂篮移动等关键施工工序，加密监测频次，捕捉结构线形的瞬时变化。通过无线传输技术将监测数据实时传输至控制中心，建立数据共享平台，实现测量、技术、施工等各方对监测数据的同步获取，为及时发现线形偏差提供保障。(2) 监测数据精准分析与偏差识别：对采集的监测数据进行分层分类处理，运用专业数据分析软件剔除异常数据，消除测量误差、环境干扰等因素带来的影响。通过设计理论值与实测数据的对比分析，精准识别线形偏差的幅值、方向及演化趋势，深度解析偏差诱因，明确施工工艺缺陷、环境因素干扰或参数设置偏差等不同成因的占比。建立数据趋势

预测模型，根据已有的监测数据预测后续施工阶段的线形变化情况，提前预判可能出现的偏差风险，为制定针对性调整措施提供科学依据。(3) 监测系统动态优化与适应性调整：根据施工进度与现场实际情况，对监测系统进行动态优化与调整。随梁体悬臂长度延伸、施工荷载迭代变化，动态调整监测点位布设密度与监测频率，确保监测范围全面覆盖施工全过程关键控制环节^[2]。当遇到极端天气、地质条件变化等特殊状况时，强化监测力度，增加专项监测内容，如强风天气下的梁体振动监测、高温或低温环境下的温度应力监测等。定期对监测系统的运行状态进行检查与维护，及时处理设备故障与数据传输问题，保障监测工作的稳定性与可靠性。

3 施工参数动态调整与优化技术

(1) 预拱度设置与实时修正：结合桥梁结构设计要求、施工工艺特点及现场监测数据，科学确定预拱度初始值（通常按跨径的 1/1000~1/3000 设置，主跨 200m 桥梁预拱度初始值可达 60~200mm），充分考虑混凝土收缩徐变（占预拱度设置的 40%~50%）、结构自重增长（占 20%~30%）、施工荷载（占 10%~20%）等因素对梁体变形的影响。施工过程中，基于已完梁段线形监测数据与理论计算值的差值分析，建立预拱度修正模型，对后续梁段预拱度参数进行实时动态修正^[3]。通过对比实测变形值与理论计算值，剖析偏差根源，迭代优化后续梁段的预拱度参数，确保预拱度能有效抵消施工过程中的变形，使梁体最终线形符合设计标准。同时关注不同施工阶段预拱度的叠加效应，避免因分段预拱度设置不当导致整体线形偏差。(2) 混凝土施工参数优化与质量管控：混凝土的性能参数直接关乎梁体成形后的线形稳定性，对高墩大跨桥梁悬臂浇筑施工的线形控制起到基础性影响，需将混凝土配合比设计作为优化核心。结合梁体结构受力特点与施工环境特性，科学甄选低水化热水泥、级配良好的骨料及高性能外加剂等原材料，精准把控混凝土的坍落度、初凝时间、收缩率等关键指标，通过优化配合比抑制混凝土收缩徐变，最大程度降低因体积变形过大引发的梁体线形偏差。在混凝土浇筑过程中，采用分层对称浇筑方式严格控制浇筑速度，搭配插入式振捣器确保振捣均匀密实，避免因振捣不足出现蜂窝、麻面或振捣过度导致骨料离析，保障混凝土强度均匀性。浇筑完成后，及时采取覆盖保湿材料、喷雾养护等措施，加强养护过程的温度与湿度动态管控，避免梁体表面与内部形成过大温度梯度，同时防止养护不充分造成混凝土早期开裂与后期变形，为梁体线形长

期稳定筑牢基础。针对不同施工时段的环境温度、湿度波动，动态调整混凝土搅拌用水量、外加剂掺量等施工参数，确保混凝土性能始终适配现场施工条件，维持线形控制的连续性与稳定性。(3) 挂篮施工参数调整与运行控制：挂篮作为悬臂浇筑施工的核心设备，其性能参数与运行状态直接影响梁体线形。施工前需依据设计荷载的 1.2 倍开展挂篮静载试验，全面检测挂篮的刚度（变形量不超过 $L/4000$ ， L 为挂篮跨度）、强度及稳定性，确保其满足施工荷载等级要求。根据梁体分段重量（常规节段重量 80~120t）、施工进度等情况，调整挂篮的前移速度（每小时不超过 0.5m）、锚固方式与预压参数，避免挂篮变形或移动偏差导致梁体线形异常。在挂篮前移过程中，实时监测挂篮的水平位移、竖向沉降与倾斜度，及时发现并纠正运行偏差。定期对挂篮的构配件进行检查与维护，更换老化、损坏部件，保障挂篮在施工过程中始终处于良好工作状态，为线形控制提供设备支撑。如图 1：



图 1 高墩大跨桥梁悬臂浇筑挂篮作业场景

4 施工工艺优化与线形偏差防控措施

(1) 梁体分段浇筑工艺精准管控：梁体分段浇筑需严格遵循施工组织设计方案，控制各节段浇筑长度与浇筑顺序，确保施工过程中结构受力均衡。浇筑前采用三维激光扫描技术对挂篮模板进行精准调校，保障模板平面位置、高程、平整度符合设计精度要求，同时确保模板接缝严密无漏浆。混凝土浇筑采用分层浇筑、对称施工的方式，控制浇筑厚度与振捣时间，避免因浇筑不均匀导致梁体局部变形。浇筑完成后及时进行养护，根据环境温度变化调整养护方式与养护周期。

(2) 温度影响下的施工工艺调整：温度变化是导致梁体线形偏差的重要环境因素，需针对不同温度条件优化施工工艺。基于现场温度场监测数据，制定施工时段优化方案，规避高温暴晒、低温严寒等极端温度时段开展挂篮移动、混凝土浇筑等关键工序。在高温环境下，对混凝土原材料进行降温处理，缩短混凝土运输与浇筑时间，浇筑完成后及时覆盖保湿降温，减少

温度应力引发的变形；在低温环境下，采取保温措施，确保混凝土浇筑温度与养护温度符合规范要求。同时加强温度监测，实时掌握梁体温度分布情况，当温度变化超出预警范围时，及时调整施工节奏或采取针对性防护措施。（3）施工干扰因素的排查与防控：施工过程中需全面排查可能影响线形的各类干扰因素，包括施工机械振动、临时荷载堆放、外界交通扰动等。基于结构动力学分析结果，合理规划施工场地布局，将大型施工机械作业区域与梁体施工区域设置不小于15米的安全缓冲距离，规避机械高频振动传递至梁体引发微变形；规范临时荷载堆放，每平方米堆放重量不超过2.5kN，严禁集中堆放导致梁体局部沉降或偏移；协调周边交通，设置300米施工缓冲路段，减少车辆通行产生的振动干扰^[4]。建立干扰因素动态排查机制，每日定时巡查施工现场，及时发现并消除潜在干扰源，为线形控制创造稳定的施工环境。

5 施工全过程线形控制保障机制

（1）技术交底与过程管控衔接：建立健全技术交底制度，在各施工阶段开始前，组织技术人员、施工班组进行详细的线形控制技术交底，明确施工要求、控制指标、监测要点与应急处理措施。结合高墩大跨桥梁悬臂浇筑的工艺特性，通过图文结合、现场演示等直观方式开展交底，重点解析复杂环节的线形控制逻辑与操作规范。确保参与施工的全体人员充分掌握线形控制的核心要点与技术标准，将技术要求落实到每一道施工工序中。加强施工过程中的管控衔接，在挂篮前移、混凝土浇筑、模板调校等关键工序完成后，及时进行质量检查与线形监测，同步做好数据记录与签字确认，上一道工序验收合格后方可进入下一道工序，形成“技术交底—施工实施—监测检查—验收衔接”的闭环管控流程。（2）动态反馈与参数调整联动：构建线形控制动态反馈机制，依托信息化管理平台，将监测数据分析结果实时反馈至技术决策小组，结合施工进度、结构受力变化与现场温湿度等实际情况，

精准制定参数调整方案。建立监测数据与参数调整的联动响应机制，设定分级预警阈值，当监测发现线形偏差超出允许范围时，自动触发预警信号，快速启动参数调整流程，针对性优化预拱度设置、挂篮运行参数或施工工艺参数，及时纠正偏差。定期召开线形控制专题会议，汇总施工过程中的监测数据、偏差情况与调整措施，深入剖析偏差产生的深层原因，分析总结控制效果，持续优化联动机制的响应效率与调整精度，确保参数调整的及时性、科学性与有效性。（3）质量追责与风险防控强化：制定严格的线形控制质量追责制度，细化各岗位人员在线形控制工作中的具体职责与考核标准，明确从技术交底、数据监测到参数调整的全流程责任链条。对因技术交底不到位、监测数据造假、参数调整不及时等导致线形偏差超标的情况，实行责任倒查与严肃追责，同时将控制效果与绩效评价直接挂钩。同时强化风险防控意识，针对施工过程中可能出现的极端天气、设备故障、地质灾害等突发情况，提前开展风险辨识与评估，制定专项应急预案，明确应急处置流程、责任分工与保障措施^[5]。定期组织应急演练，模拟不同突发场景下的处置流程，提升相关人员的应急响应能力与协同配合能力，确保在突发情况下能快速采取有效措施。

6 结语

本文围绕高墩大跨桥梁悬臂浇筑施工线形控制的核心需求，系统梳理了从前期准备、过程监测到工艺优化、机制保障的关键技术措施。通过施工前期的基础准备筑牢控制根基，施工过程的动态监测精准捕捉偏差，施工参数的动态调整主动纠正偏差，施工工艺的优化防控减少偏差，全过程保障机制强化控制效果，形成了全方位、多层次的线形控制体系。这些关键技术措施相互衔接、协同发力，有效破解了施工中多重因素带来的线形控制难题。实践表明，科学运用这些技术措施，能显著提升线形控制精度，保障桥梁结构质量与安全，为同类工程施工提供有益参考。

参考文献：

- [1] 张浩成.高墩大跨预应力混凝土矮塔斜拉桥结构体系研究[D].防灾科技学院,2025.
- [2] 王文仙.强震下高墩大跨度连续刚构桥非线性地震响应与损伤分析[D].兰州理工大学,2024.
- [3] 马玉鸿.山区高墩大跨连续刚构桥抗风与施工控制研究[D].山东交通学院,2023.
- [4] 马志鹏.高墩大跨连续刚构桥的梁体挠度影响分析及控制研究[D].石家庄铁道大学,2023.
- [5] 刘勇.海上桥梁独柱高墩大悬臂盖梁墩旁托架力学性能研究[D].内蒙古科技大学,2022.