

# 铁路大跨度连续梁桥施工线形控制技术研究

郑玉婷

四川公路桥梁建设集团有限公司 四川 成都 610000

**【摘要】**：铁路大跨度连续梁桥施工中，线形偏差易受材料特性、环境因素、施工荷载及工艺参数等多重影响，直接关系桥梁结构安全、行车平顺性及成桥质量，构建科学完善的线形控制技术体系是解决该问题的关键。结合悬臂浇筑等主流施工工艺，通过建立精准的有限元仿真模型，优化数据采集与分析方法，识别线形偏差成因并量化影响权重，提出针对性动态调控措施，实现施工全过程线形的实时监测、精准预测与动态修正。实践表明，该技术体系可有效控制线形累积偏差，将各施工阶段位移偏差控制在允许范围，保障梁体线形与设计要求高度契合，为铁路大跨度连续梁桥施工质量控制提供可靠技术支撑。

**【关键词】**：铁路大跨度连续梁桥；施工线形控制；有限元仿真；数据监测；动态调控

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.027

## 引言

随着铁路建设向山区、跨江跨海区域延伸，大跨度连续梁桥因跨越能力强、受力合理等优势，成为关键控制性工程。此类桥梁施工工序复杂，线形控制精度直接决定结构服役安全性与行车舒适性，偏差超标易引发结构开裂、行车颠簸等隐患，已成为施工过程中的核心技术难题。结合现有施工线形控制中存在的模型精度不足、调控滞后等问题，聚焦悬臂浇筑工艺下的线形控制关键技术，通过系统研究偏差成因与调控方法，为工程实践提供可行路径，衔接后续技术研究与实践应用。

## 1 铁路大跨度连续梁桥施工线形控制现存问题及成因分析

### 1.1 施工线形控制精度不足问题及成因

铁路大跨度连续梁桥施工中，线形控制精度不足是最为突出的问题，主要表现为梁体节段高程偏差、轴线偏移及线形平顺性不达标，尤其在悬臂浇筑施工的节段衔接处，易出现错台、线形突变等现象<sup>[1]</sup>。该问题的形成与多重因素相关，核心成因在于施工过程中对各类影响因素的把控不到位。施工所用材料的性能波动会直接影响梁体变形，混凝土的收缩徐变特性受养护条件、环境温湿度影响较大，若养护措施不合理，会导致混凝土收缩徐变速率异常，进而引发梁体线形偏差。同时，施工荷载的动态变化也会加剧精度不足的问题，悬臂浇筑过程中，挂篮移动、模板安装、钢筋绑扎及混凝土浇筑等工序会产生动态荷载，若荷载计算与实际施工荷载存在偏差，会导致梁体受力变形超出预期，最终影响线形控制精度。此外，施工测量设备的精度不足或校准不及时，也会导致测量数据存在误差，进而影响线形控制的准确性，使得梁体线形与设计要求出现偏差。

### 1.2 施工线形控制模型适配性差问题及成因

线形控制模型作为施工线形预测与调控的核心工具，其适配性不足会直接影响控制效果，主要表现为模型计算结果与实际施工线形偏差较大，无法为线形调控提供可靠依据。模型适

配性差的主要成因在于模型建立过程中参数选取不合理，未充分结合工程实际工况进行参数优化。部分施工过程中，模型建立仅参考通用规范参数，未考虑具体桥梁的结构特点、施工工艺及现场环境差异，导致模型无法准确模拟梁体的实际受力变形过程<sup>[2]</sup>。同时，模型更新不及时也是重要成因，施工过程中，梁体结构形式、施工荷载、环境条件等均会发生动态变化，若未根据施工进度及时更新模型参数，会导致模型与实际施工工况脱节，计算结果的准确性大幅下降。此外，模型计算方法的局限性也会影响适配性，传统计算方法难以精准考虑混凝土收缩徐变、温度应力等复杂因素的耦合影响，进一步加剧了模型与实际施工的偏差，无法有效指导线形控制工作。

### 1.3 施工线形动态调控滞后问题及成因

线形动态调控滞后是导致线形偏差累积的重要原因，主要表现为对施工过程中出现的线形偏差发现不及时、调控措施实施滞后，使得偏差不断累积，最终超出允许范围。该问题的成因主要在于数据监测体系不完善，监测点布置不合理，未实现对梁体线形的全面、实时监测，部分关键监测点缺失，导致无法及时捕捉梁体线形的细微变化，错过最佳调控时机。监测数据的分析处理效率低下也是重要因素，监测数据采集后，未建立高效的分析机制，无法快速识别偏差趋势、判断偏差成因，导致调控决策制定滞后。此外，调控措施的针对性不足也会加剧滞后问题，针对不同成因引发的线形偏差，未制定差异化的调控方案，采用通用调控措施难以快速扭转偏差趋势，同时，调控措施的实施流程繁琐，衔接不畅，进一步延长了调控周期，导致偏差持续累积，影响整体线形控制效果。

### 1.4 施工工艺与线形控制协同不足问题及成因

施工工艺与线形控制协同不足，会导致施工工序与线形控制相互脱节，进而引发各类线形问题，主要表现为施工工艺实施过程中未充分考虑线形控制要求，线形控制措施也未结合施工工艺特点进行优化，两者配合不协调。其成因主要在于施工方案制定过程中，未将线形控制要求全面融入各施工工序，施

工人员对工艺实施与线形控制的关联性认识不足,在挂篮安装、混凝土浇筑、预应力张拉等关键工序中,仅注重施工进度与工艺质量,忽视了对梁体线形的实时控制,导致工序实施过程中出现线形偏差<sup>[3]</sup>。同时,线形控制人员与施工人员缺乏有效的沟通协同机制,两者工作脱节,线形控制人员无法及时了解施工工序的实施细节,难以根据施工进度调整控制措施,而施工人员也未及时反馈施工过程中影响线形的各类问题,导致线形控制与施工工艺无法形成协同效应,进一步加剧了线形控制难度,引发各类线形偏差问题。

## 2 铁路大跨度连续梁桥施工线形控制关键技术及实施路径

### 2.1 高精度线形监测技术及实施路径

针对施工线形控制精度不足的问题,高精度线形监测技术是核心解决手段,可实现对梁体线形的全面、精准捕捉,为后续调控提供可靠数据支撑。该技术以多源监测设备协同为核心,结合梁体结构特点与施工工况,科学布置监测点,覆盖梁体悬臂端、节段衔接处、墩顶等关键部位,确保监测范围无死角。监测设备选用高精度全站仪、应变传感器及位移计,提前进行设备校准,消除设备自身误差,同时搭配环境监测设备,同步采集温湿度、风速等环境参数,为数据修正提供依据。实施过程中,按照施工工序分阶段开展监测,在挂篮移动、混凝土浇筑、预应力张拉等关键工序完成后,及时进行数据采集,避免监测遗漏。采集的数据通过专用传输系统实时上传至控制终端,剔除异常数据,结合环境参数进行修正,确保监测数据的准确性与时效性,为线形偏差判断及调控提供精准的数据支撑。

### 2.2 适配性线形控制模型构建及优化技术

针对线形控制模型适配性差的问题,需构建贴合工程实际的控制模型,并建立动态优化机制,提升模型计算精度。模型构建以有限元仿真技术为基础,结合桥梁结构设计参数、施工工艺要求及现场工况,选取合理的计算参数,摒弃通用规范参数的单一参考,充分考虑梁体材料特性、施工荷载分布、环境因素等影响,精准模拟梁体受力变形过程。模型建立后,结合初始监测数据进行验证,对比模型计算结果与实际监测数据,识别偏差来源,针对性调整模型参数,优化计算方法,引入混凝土收缩徐变、温度应力耦合计算模块,提升模型对复杂工况的适配能力。施工过程中,根据施工进度及工况变化,实时更新模型参数,同步纳入新的监测数据,对模型进行动态优化,确保模型始终与实际施工工况保持一致,为线形预测及调控提供可靠的模型支撑,减少计算偏差对控制效果的影响。

### 2.3 动态偏差调控技术及实施流程

针对线形动态调控滞后的问题,需建立高效的动态偏差调控技术体系,实现偏差的及时发现、快速分析与精准调控。该

技术以实时监测数据为核心,结合优化后的控制模型,构建偏差预警机制,设定合理的偏差预警阈值,当监测数据超出阈值时,自动触发预警,及时捕捉线形偏差变化趋势。偏差出现后,通过数据分析法快速识别偏差成因,结合偏差大小、发展趋势及工程工况,制定差异化调控方案,避免通用调控措施的局限性<sup>[4]</sup>。调控方案实施过程中,明确各环节责任与时间节点,简化实施流程,加强各工序衔接,确保调控措施快速落地。同时,在调控过程中持续进行监测,实时跟踪偏差变化,根据偏差修正情况,动态调整调控参数,确保偏差逐步缩小,直至控制在允许范围,实现线形的动态闭环控制,避免偏差累积。

### 2.4 施工工艺与线形控制协同优化技术

针对施工工艺与线形控制协同不足的问题,需将线形控制要求全面融入施工工艺全过程,构建协同优化技术体系,实现两者高效配合。在施工方案制定阶段,将线形控制目标、控制要求融入各施工工序设计,结合线形控制需求优化施工工艺参数,针对挂篮安装、混凝土浇筑、预应力张拉等关键工序,制定专项线形控制细则,明确工序实施过程中的线形控制要点。在施工过程中,建立线形控制与施工工艺的协同沟通机制,实现数据共享与信息互通,确保线形控制人员及时掌握施工工序实施细节,结合施工进度调整控制措施,施工人员及时反馈施工过程中影响线形的各类问题,配合线形控制工作。同时,加强施工人员与线形控制人员的技术培训,提升其对两者协同重要性的认识,规范施工操作与控制流程,使施工工艺实施与线形控制形成联动效应,减少因协同不足引发的线形偏差,提升整体线形控制效果。

## 3 铁路大跨度连续梁桥施工线形控制技术应用效果验证

### 3.1 线形控制精度应用效果验证

高精度线形监测技术及相关控制措施的应用,可有效解决施工线形控制精度不足的问题,通过实际工程应用验证其控制效果。选取典型铁路大跨度连续梁桥工程,在悬臂浇筑施工全过程应用高精度监测技术,科学布置监测点并选用校准合格的监测设备,同步采集梁体线形数据与环境参数,经过数据修正后为精度控制提供支撑。应用过程中,重点把控混凝土养护、施工荷载控制及测量精度校准等关键环节,结合监测数据及时调整施工操作,有效抑制材料性能波动、荷载变化及测量误差带来的线形偏差<sup>[5]</sup>。

### 3.2 控制模型适配性应用效果验证

适配性线形控制模型构建及优化技术的应用,可有效改善模型与实际施工工况脱节的问题,通过工程应用验证模型的适配性与计算精度。在工程应用中,结合桥梁结构特点、施工工艺及现场工况,构建专属有限元仿真模型,优化模型参数并引入耦合计算模块,避免通用参数与传统计算方法的局限性。施

工过程中,根据施工进度实时更新模型参数,结合监测数据持续优化模型,确保模型与实际施工工况保持同步。应用过程中,对比模型计算结果与实际监测数据,两者偏差大幅缩小,模型能够精准模拟梁体受力变形过程,准确预测梁体线形变化趋势,为线形调控提供了可靠的模型支撑。

### 3.3 动态调控效果应用验证

动态偏差调控技术及实施流程的应用,可有效解决线形调控滞后、偏差累积的问题,通过工程应用验证其调控效率与效果。在工程应用中,建立完善的实时监测体系与偏差预警机制,设定合理的预警阈值,实现对梁体线形细微变化的及时捕捉,确保偏差早发现、早调控。监测数据采集后,通过高效分析机制快速识别偏差成因,结合偏差特点制定差异化调控方案,简化实施流程、加强工序衔接,确保调控措施快速落地。调控过程中,持续跟踪监测偏差变化,动态调整调控参数,形成闭环控制。

### 3.4 工艺与控制协同效果应用验证

施工工艺与线形控制协同优化技术的应用,可有效解决两者协同不足、相互脱节的问题,通过工程应用验证协同优化的

实际效果。在工程应用中,将线形控制要求全面融入施工方案设计,针对挂篮安装、混凝土浇筑、预应力张拉等关键工序,制定专项线形控制细则,明确各工序的线形控制要点。建立协同沟通机制,实现线形控制与施工工艺的数据共享、信息互通,确保两者工作联动。加强技术培训,规范施工操作与控制流程,提升相关人员对协同重要性的认识。应用过程中,施工工序实施与线形控制紧密配合,施工人员及时反馈影响线形的各类问题,线形控制人员根据施工进度调整控制措施,有效减少了因协同不足引发的线形偏差。

## 4 结语

铁路大跨度连续梁桥施工线形控制是保障桥梁施工质量与服役安全的核心环节,针对施工中存在的精度不足、模型适配性差、调控滞后及工艺协同不足等问题,系统梳理成因并提出对应关键技术与实施路径,通过高精度监测、适配性模型构建、动态调控及工艺协同优化,形成完善的线形控制技术体系。结合工程应用验证,该技术体系可有效解决各类线形控制难题,确保梁体线形符合设计要求,为施工质量控制提供可靠支撑。

## 参考文献:

- [1] 顾忠.邻营复杂条件下大跨度连续梁桥施工控制技术研究[D].南京林业大学,2025.
- [2] 任怀平.高速铁路大跨度连续梁桥线形控制对轨道静态平顺性影响分析[J].地震地磁观测与研究,2025,46(01):177-186.
- [3] 刘德林,余沛.大跨度连续梁桥悬臂施工预拱度影响因素分析[J].广东交通职业技术学院学报,2024,23(04):49-53+78.
- [4] 刘璇.大跨度连续梁桥施工安全评价研究[D].兰州交通大学,2024.
- [5] 杨翼.高速铁路超大跨度连续梁桥施工监控分析[J].价值工程,2024,43(10):106-108.