

带护栏钢箱梁跨高速公路步履式顶推施工技术分析

张利彬

四川省交通建设集团有限责任公司 四川 成都 610041

【摘要】：带护栏钢箱梁跨越既有高速公路施工受交通环境、梁体结构、自重荷载及作业空间限制，施工安全与线形控制要求较高。以步履式顶推施工技术为研究对象，分析钢箱梁拼装、临时支撑布置、顶推设备配置、同步顶推、姿态纠偏及落梁控制等关键技术，探讨顶推过程中梁体受力与位移控制方法。合理优化顶推参数和施工监测体系，可降低跨高速施工风险，提高钢箱梁顶推精度、结构稳定性及施工组织效率，为类似桥梁工程提供技术参考。

【关键词】：钢箱梁；高速公路；步履式顶推；施工技术；线形控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.13.043

引言

带护栏钢箱梁跨越既有高速公路时，施工区域与正常交通空间相互交织，传统吊装方式容易受到净空、封路时间及大型设备作业条件限制。步履式顶推利用交替顶升、平移和落梁实现梁体连续推进，具有作业范围集中、交通干扰较小和施工控制灵活等特点。针对钢箱梁顶推过程中的结构受力、同步控制、线形偏差及跨线安全问题，研究关键施工技术与控制方法，对保障桥梁结构质量和高速公路运营安全具有现实意义。

1 跨高速公路钢箱梁步履式顶推施工运行特征

1.1 带护栏钢箱梁结构与跨线施工条件

带护栏钢箱梁由箱室主体、顶底板、腹板、横隔板及护栏附属构件共同组成，整体刚度较大，但护栏会增加梁体自重并改变局部荷载分布，使顶推阶段支点反力和悬臂受力更为复杂。跨高速公路施工还受到既有车道净空、中央分隔带位置、交通组织及临时墩布设条件限制，梁体拼装场地与顶推轴线需根据桥位空间统筹确定。施工期间既要满足钢箱梁分节运输、现场焊接和连续顶推需要，也要控制临时结构侵入公路限界。跨线区段通常无法长期占用既有高速公路，施工组织需结合交通转换窗口设置顶推节奏，并对梁端悬伸长度、支点间距和防护设施布置进行针对性控制。顶推作业还应与临时交通管制时段保持一致，合理压缩跨越关键区段的施工时间，校核梁体通过道路上方的净空条件和结构稳定状态，避免施工构件侵入行车限界。对夜间或短时封闭条件下实施的关键工序，还需提前完成设备检查、人员配置及应急通道布置，确保施工节奏连续可控。

1.2 步履式顶推设备配置与作业流程

步履式顶推系统主要由顶升油缸、水平推进油缸、滑移支座、液压泵站、同步控制装置和位移监测设备组成，各项推点按照梁体重量及支撑体系承载能力分配顶升力和水平推力。施工时，设备依次完成梁体顶升、纵向移送、落梁复位和油缸回程，多个顶推点按照统一指令循环动作，使钢箱梁沿既定轴线分步前移^[1]。顶推设备布置需与临时墩中心线、梁底结构位置

及箱梁横隔板区域相协调，避免局部集中受压。每个步履循环均需核对油缸行程、顶升高度、推进距离和支点高程，并利用同步控制系统修正各支点位移差，防止因动作不同步造成梁体扭转、卡阻或局部支撑受力突增。

1.3 梁体顶推受力与线形控制要求

钢箱梁在顶推过程中不断改变支承位置，梁体受力状态随悬臂长度、临时支点数量及顶推距离持续变化，支点负弯矩、跨中正弯矩和局部腹板应力均可能出现阶段性峰值。带护栏结构增加了恒载，对前端悬臂段和临时支撑体系的承载储备提出更高要求，因此需要依据施工阶段建立受力计算模型，校核梁体强度、刚度及整体稳定性。线形控制则以纵向高程、横向偏位、轴线方向和支点沉降为主要指标，将理论顶推轨迹与实时监测数据进行对比。出现高程差或横向偏移时，应采用分级顶升、局部调节支座或修正推进量的方法纠偏，限制单次调整幅度，防止过度纠偏引起新的附加应力。

2 步履式顶推施工中的关键控制偏差

2.1 梁体同步顶推精度不足

钢箱梁步履式顶推依赖多个顶推单元协同动作，但受液压系统压力波动、油缸性能差异、支点摩阻变化以及控制信号传递误差影响，各项推点实际位移容易出现不同步现象。部分施工环节仍以单次行程控制和人工校核为主，对多点位移差、推进速度差及瞬时受力变化缺少连续反馈，易造成梁体局部超前或滞后。跨高速公路区段顶推距离长、梁体重量大，一旦同步偏差持续累积，会使箱梁产生横向扭转和局部附加应力，严重时还可能影响导向装置正常工作。顶推精度控制若缺少统一误差阈值和实时修正机制，施工过程中的小幅偏差便可能在连续循环中逐步放大。尤其在多点顶推条件下，各支点位移差若未及时识别，会进一步引起梁体横向偏移、局部扭转及支承受力不均，增加后续纠偏难度。施工控制中还需结合顶推速度、油缸行程和梁体空间坐标设置分级控制标准，在偏差接近限值前完成参数调整，减少误差向下一步履周期传递。

2.2 临时支撑体系受力控制薄弱

临时支撑承担钢箱梁顶推阶段的竖向荷载和施工附加作用,其受力状态具有明显的动态变化特征。部分工程在支撑设计和现场控制中更重视静力承载能力,对梁体移动过程中产生的偏心荷载、水平推力、局部冲击及支点反力重新分配考虑不足^[2]。当临时墩基础刚度存在差异,或支撑顶面标高控制不一致时,各支点受力容易出现明显不均,个别位置可能提前进入高应力状态。支撑连接节点、砂箱、分配梁及墩顶构件若缺少连续监测,局部变形和沉降难以及时识别。跨线顶推期间一旦支撑刚度下降或基础发生不均匀沉降,还会改变梁体原有受力路径,增加施工阶段结构稳定控制难度。

2.3 顶推姿态与梁体线形偏差

钢箱梁在连续顶推过程中受到制造误差、拼装偏差、支点高程变化及导向约束差异影响,实际姿态容易偏离设计轴线。纵向高程偏差会改变梁体支承关系,横向偏移则可能造成梁底与顶推装置接触位置变化,累计后会影响箱梁顺利就位。带护栏钢箱梁断面荷载分布并非完全对称,顶推过程中若左右支点受力或推进速度存在差异,还可能形成横坡变化和局部扭转。部分施工控制侧重单一测点复核,缺少对梁端、跨中、支点及横向控制点的整体联测,使局部线形异常不能及时反映。纠偏动作若滞后或调整幅度控制不当,也可能形成反向偏差,增加后续落梁和支座定位难度。

3 带护栏钢箱梁步履式顶推控制技术

3.1 优化顶推设备同步控制参数

步履式顶推设备参数应依据钢箱梁总重、支点布置、单步推进距离及液压系统额定能力进行匹配,重点控制各项推单元的顶升高度、水平行程、推进速度和油压差。施工过程中可将多点位移数据接入同步控制系统,设定允许偏差阈值,对超前单元适当降低推进速度,对滞后单元及时补偿行程,使各支点保持协调运动。顶升与平移动作切换时还需控制油缸加载速率,避免瞬时压力突变造成梁体振动。每完成一个步履循环,应核验实际推进量与理论值,对连续出现偏差的设备重新标定传感器及液压参数,使同步控制由单纯行程控制转向位移、压力和速度联合调节。

3.2 强化临时支撑与受力监测

临时支撑体系应结合钢箱梁顶推阶段的荷载转移规律设置监测项目,在临时墩、分配梁、支撑节点及基础关键位置布设应力、位移和沉降测点,形成覆盖主要受力构件的监测网络^[3]。顶推期间按照梁体所在位置动态比对各支点反力,发现局部受力异常时及时调整顶升量或支承状态,避免荷载长期集中于单个支点。对跨高速公路区段还应加强临时墩垂直度和基础沉降观测,防止支撑体系产生累积倾斜。监测数据可与施工计算值设置分级预警区间,当实测值接近控制限值时暂停推进并

检查连接节点、支承面及基础状态,使结构异常在进入高风险受力阶段前得到处置。

3.3 完善梁体姿态纠偏与线形调控

梁体姿态控制应建立纵向高程、横向轴线、横坡和梁端偏位相结合的多维测量体系,在顶推关键节点同步采集不同位置的空间坐标,形成连续线形数据。纠偏时根据偏差类型选择应对措施,横向偏位可利用导向装置调整推进方向,高程偏差可采用局部顶升或支点微调控制,扭转偏差则需要协调两侧顶推单元行程,避免单侧集中修正。纠偏量宜分次实施,并在每次调整后复测梁端和控制截面坐标,确认姿态变化趋势。接近设计落梁位置时应缩短单步推进距离,提高测量频率,将支座中心、梁体轴线和设计高程纳入统一控制,保证钢箱梁按既定空间位置准确就位。

4 跨高速公路钢箱梁顶推工程应用评价

4.1 顶推过程梁体位移控制效果

钢箱梁实施步履式顶推后,梁体纵向推进量、横向偏移量及支点高程变化能够保持在既定控制范围内,顶推轨迹与设计轴线具有较高一致性。多点同步控制使各支承位置的推进节奏更加协调,单次步履循环产生的累计误差得到有效压缩,梁端偏位未出现持续放大现象。进入跨高速公路关键区段后,短行程推进与高频测量相结合,使梁体空间位置能够及时校核,局部偏差可在下一循环前完成修正。临近设计就位位置时,顶推速度进一步降低,支座中心与梁体控制点的对应关系更加准确,降低了落梁阶段二次调整量。

4.2 结构受力与施工稳定性检验

顶推实施阶段可依据关键截面应力、支点反力、临时墩位移及梁体挠度对结构稳定状态进行检验。监测结果与施工计算值对照后,主要受力构件的应力变化能够反映梁体支承转换规律,未出现异常突增或持续超限现象^[4]。钢箱梁经过临时支点时,腹板、横隔板及支承区域的局部受力保持连续变化,临时支撑体系沉降与侧向位移处于可控状态。梁体悬臂长度变化较大的阶段,挠度监测能够及时反映刚度变化,未发生明显失稳趋势。液压系统加载、卸载与支点转换过程中结构响应较为平稳,说明顶推参数与支撑体系之间具有较好的匹配关系。

4.3 高速公路运营安全控制成效

跨高速公路顶推期间,施工活动对既有道路通行空间的占用得到有效压缩,梁体主要拼装及设备操作集中于桥位两侧和临时作业区,减少了大型吊装设备长时间进入行车区域的需求。关键跨越阶段结合交通管制窗口组织推进,可将影响范围控制在较短时间内,并通过防坠设施、临边防护、封闭作业区和限界监测降低高空坠物及结构侵限风险。施工过程中对桥下净空、临时构件位置和道路通行状态持续检查,未因梁体偏移或设备异常造成运营空间失控。交通组织与顶推工序保持同

步,使施工安全控制与高速公路正常运营之间形成较稳定的协调关系。

5 步履式顶推施工控制体系深化

5.1 推进施工监测数据动态联动

施工监测应由分散采集转向多源数据协同,形成涵盖梁体位移、支点反力、临时墩沉降、液压压力、环境条件及设备运行状态的统一数据链。各类监测信息按照顶推工序和时间节点进行同步归集,并与设计控制值、施工计算值建立对应关系,实现异常趋势的连续识别。对跨高速公路关键区段,可提高数据采样频率,将测量结果直接反馈至顶推控制端,用于修正推进量、油压及顶升参数。监测平台还应保留全过程变化曲线,对连续偏移、突变数据和多参数耦合异常进行比对,使结构状态判断由单点结果向动态趋势分析转变。

5.2 构建顶推风险分级预控机制

顶推施工风险控制应依据梁体悬臂长度、支点转换状态、设备负荷、临时支撑稳定性及桥下交通环境进行分级划分,将不同施工阶段对应到差异化管控等级。常规顶推阶段重点执行参数核验和设备巡检,接近跨线区、支点转换区及落梁区时提高控制等级,增加结构复核、限界检查和交通协同频次^[5]。对同步偏差、异常沉降、液压失衡和线形超限等情况设置预警阈

值,并明确减速、暂停、卸载或纠偏等处置条件。风险等级随监测数据和施工状态动态调整,使预控措施与实际工况保持一致,避免固定管理模式无法覆盖突发受力变化。

5.3 完善全过程数字化施工管控

全过程数字化管控可将钢箱梁构造信息、临时结构参数、顶推设备状态、测量成果和施工记录集中到统一平台,实现设计模型与现场实施数据的持续对应。施工前可利用数字模型校核临时墩位置、梁体推进路径和跨高速公路净空关系,施工中同步更新每一阶段的梁体位置及支承状态,形成可追溯的工序记录。关键构件编号、焊缝检测结果、设备维护信息及顶推参数均可纳入电子档案,便于异常状态快速定位。数字平台还可结合可视化界面展示顶推进度和控制指标,使施工组织、技术控制与安全管理共享同一信息源,减少多环节信息传递偏差。

6 结语

带护栏钢箱梁跨高速公路步履式顶推施工涉及梁体受力、同步推进、临时支撑、姿态纠偏及交通安全等多重控制因素。合理配置顶推设备,强化受力监测与线形调控,可提高梁体推进精度和结构稳定性。结合风险分级、动态监测及数字化管控,可进一步提升施工组织协调能力,降低跨线作业风险,为同类钢箱梁跨高速公路工程施工提供可靠的技术参考。

参考文献:

- [1] 许金兰.钢箱梁步履式同步连续顶推施工关键技术[J].交通世界,2025,(29):166-168.
- [2] 王鹏伟.钢混叠合梁桥滑移顶推施工技术[J].安装,2025,(10):115-116+120.
- [3] 王宝华.履带式顶推法钢箱梁受力特性及参数优化研究[D].山东交通学院,2025.
- [4] 梅峰.浅谈钢混组合梁单根整体吊装施工技术研究[J].交通科技与管理,2023,4(15):63-65.
- [5] 胡红波.跨高速公路钢箱梁桥吊装施工的关键技术分析[J].低碳世界,2022,12(5):136-138.