

城市桥梁多点同步顶推施工控制要点

陈 仟

湖北交投建设集团有限公司市政分公司 湖北 武汉 430000

【摘 要】：城市桥梁多点同步顶推施工在大跨径连续结构架设中应用广泛，但多项推点协同误差、受力不均及结构线形偏差易影响施工质量。针对顶推同步控制精度不足、液压系统响应不一致及监测反馈滞后等问题，建立多点协同控制体系，优化顶推节奏分配与同步校正机制，引入实时位移与应力监测联动调节方法，实现各项推点力值与位移统一控制。工程应用结果表明结构线形稳定性提升，受力分布更加均匀，施工过程安全性与精度得到提升，整体施工稳定性显著增强，同步控制可靠性提升，满足施工要求，效果良好，控制稳定。

【关键词】：城市桥梁；多点同步顶推；施工控制；线形控制；受力协调

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.033

引言

城市桥梁顶推施工在复杂交通环境与长跨度结构条件下持续发展，多点同步作业使结构受力路径更加复杂，控制精度成为影响成形质量的关键因素。施工过程中常见各项推点时序不一致、液压输出波动及线形偏差累积等情况，易导致结构应力分布失衡与整体姿态偏移。为提升同步控制水平，建立多点协同调节机制，强化实时监测数据反馈与参数修正联动，通过分级控制策略与动态校准手段优化各项推单元协同关系，进而提升整体推进一致性与结构稳定性，使成桥过程更加平顺可靠，控制效果良好，稳定提升。

1 多点顶推体系运行特征识别

1.1 多点顶推协同运行特征

多点顶推体系在城市桥梁施工中呈现强耦合与分布式协同特征，各项推节点通过统一控制平台实现力值与位移的同步约束。不同顶推点之间存在结构传力链关联，单点输出变化会引起整体受力路径调整，形成动态耦合响应关系。同步运行过程中，顶推节奏需保持微时间尺度一致性，以避免局部应力集中与结构扭转趋势叠加。控制系统通常采用分级调度模式，将主控节点与执行节点进行功能划分，通过反馈修正机制实现多点协同闭环控制。结构整体推进过程中，刚度分布变化与支撑条件差异会持续影响同步稳定性，需要通过实时数据修正维持整体一致性，使多项推单元在复杂约束条件下保持协调运行状态。

1.2 液压驱动节奏匹配机制

液压驱动系统作为顶推动力核心，其节奏匹配程度直接影响多点同步控制精度。各液压千斤顶在加载过程中存在响应滞后与压力波动差异，需通过流量分配与压力补偿实现动态均衡。控制策略通常基于比例同步控制原理，将位移速度与油压输出进行双变量耦合调节，使各执行单元保持一致推进速率^[1]。系统内部通过多通道信号采集，对压力变化曲线进行实时修正，抑制瞬态冲击带来的不均匀顶推现象。节奏匹配过程中还

需考虑管路阻尼效应与温度变化对介质粘度的影响，通过参数自适应调整维持输出稳定性，使液压驱动过程在高频调节状态下保持连续性与一致性。

1.3 结构线形基础控制条件

结构线形控制条件建立在几何约束与受力平衡共同作用基础之上，顶推过程中梁体轴线偏移与挠度变化构成主要控制对象。线形稳定性依赖于临时支撑体系刚度分布与滑移界面摩擦特性协调，任何局部约束差异均可能引发整体线形偏差累积。控制过程中需通过多点位移监测获取空间姿态变化信息，并结合结构计算模型进行实时修正。几何控制参数通常涵盖标高控制、轴线偏移及扭转角度变化，通过多维约束条件建立线形控制基准。动态施工条件下，结构刚度随推进过程不断变化，需要通过分阶段控制策略维持线形渐进稳定，使结构在连续受力转换过程中保持空间姿态一致性与几何精度稳定。

2 同步偏差来源解析

2.1 同步时序偏差形成机理

多点顶推过程中时序偏差主要源于控制指令分发与执行响应之间的非一致性，控制中心信号在多节点传输链路中存在时间延迟叠加效应，导致各项推单元启动与加压节奏偏移。液压执行机构内部阀控响应速度差异与油路动态充填过程，使得位移启动阶段难以完全同步。结构受力状态在阶段性推进中不断变化，反馈信号采集频率与处理周期不足时会放大时序误差。控制逻辑若缺乏时间补偿机制，将使微小延迟逐步累积为显著不同步状态，从而改变整体推进节奏一致性，形成阶段性失配传播路径。

2.2 多项推点受力不均来源

受力不均主要来源于支撑体系刚度差异与结构自重分布变化叠加作用，不同项推点所承担的反力条件存在空间非对称性^[2]。临时支座沉降差异会改变局部受力传递路径，使部分项推点负载偏高。顶推过程中摩擦阻力变化与接触面状态波动进一步加剧受力偏差，导致单点力值持续偏离设定范围。结构整

体刚度随推进长度增加呈非线性变化,局部截面刚度弱化区域更易产生力值集中现象。在缺乏实时均衡调节情况下,受力差异会沿结构传播,影响整体内力分布均衡性与推进稳定性。

2.3 监测反馈滞后影响路径

监测反馈滞后主要表现为数据采集、传输及处理链路时延叠加,使控制系统获取的结构状态存在时间错位。位移与应力数据在动态变化过程中具有高频特征,采样周期不足时难以捕捉瞬态变化细节,造成控制决策依据滞后。数据处理模型计算延迟与通信链路拥塞进一步扩大反馈延时,使修正指令无法及时作用于执行端。在连续顶推工况下,滞后信息会导致控制修正基于“过时状态”,从而引发二次误差叠加,使结构偏差呈递进式放大趋势,影响整体同步控制闭环稳定性。

3 受力传递与结构响应调控

3.1 荷载传递路径协调方法

荷载传递路径协调通过对结构体系内力流动进行分区识别与重构实现,使顶推过程中力的传递在空间上保持连续性与均匀性。主梁结构与临时支撑之间形成多路径传力体系时,需要通过刚度匹配调整减少局部路径过载现象。各项推节点输入荷载在结构内部沿梁体轴向与横向耦合扩散,若路径分配不均易形成应力集中区域。协调方法依托多维有限元模型,对关键截面内力传递方向进行实时映射,并结合支点反力变化进行动态修正。通过设置分段传力控制单元,将整体荷载拆解为可控子单元,实现逐级传递与均衡释放。结构连接区域通过刚度梯度优化,减少突变刚度导致的力流折返现象,使荷载在连续推进过程中保持稳定传递状态,提升整体受力路径一致性与结构内力分布合理性。

3.2 结构变形约束调节方式

结构变形约束调节以空间位移控制为核心,通过多维约束条件对梁体挠度、扭转及轴线偏移进行协同限制。顶推过程中结构处于多边界条件动态转换状态,约束体系需具备自适应调节能力以匹配不同施工阶段受力特征。临时支座与导向装置形成初级约束框架,通过刚度可调单元实现支撑刚度动态匹配,抑制局部过大变形发展趋势。变形控制模型结合结构几何非线性响应特征,对关键控制截面设置多点位移约束条件,使整体变形分布趋于平滑^[3]。横向约束系统通过限制侧向位移减少扭转效应积累,纵向约束则通过分级释放控制轴向变形速率。多约束协同作用下,结构在推进过程中形成受控变形路径,使几何形态变化保持在可控范围内,避免局部变形向整体结构扩散。

3.3 顶推力分配优化控制

顶推力分配优化控制基于多点受力协同平衡机制,通过对各执行单元输出力值进行动态重构实现整体均衡加载。力值分配模型结合结构刚度分布与实时位移反馈,对各项推点负载比

例进行自适应调整,使不同节点输出与结构受力需求保持一致。控制过程中引入力流平衡算法,对局部超载区域进行削减补偿,对欠载区域进行增量补充,实现力值再分配。液压系统输出压力与位移速度形成双变量控制链路,通过闭环调节维持力—位移同步关系稳定。多顶推点之间通过协同约束机制消除力值离散现象,使整体推进过程呈现连续均匀加载状态。在非均质支撑条件下,通过分区加权控制策略对不同区域赋予差异化控制系数,使顶推力沿结构长度方向形成渐进式分布,减少突变应力峰值,提高整体结构受力协调性与推进稳定性。

4 动态监测协同修正策略

4.1 实时监测数据采集体系

实时监测数据采集体系以多源感知融合为基础,通过位移、应力、倾角及支座反力等多维参数构建全断面状态感知网络。传感单元在顶推结构关键节点进行分布式布置,使结构运行状态能够实现空间连续采样与时间高频更新。数据采集过程中采用分层传输架构,将原始信号进行边缘预处理后再进入主控系统,降低信息冗余与延迟累积。高精度位移传感与压力传感形成耦合采集机制,对结构微小变化具有高灵敏捕捉能力。数据融合处理阶段通过多源信息一致性校验剔除异常波动,提高状态识别稳定性。采集体系同时结合时间同步校准机制,使不同监测节点数据在统一时间基准下进行对齐处理,为后续动态控制提供连续、完整且高可信度的数据基础支撑。

4.2 参数动态修正执行方法

参数动态修正执行方法基于闭环反馈控制逻辑,通过实时监测数据与目标控制模型之间的偏差分析实现控制参数自适应调整。顶推过程中关键控制变量包括顶推力、位移速率及液压压力,通过误差梯度计算形成修正方向与修正幅度。控制系统采用分级修正机制,对大偏差进行快速粗调,对微小偏差进行高频精调,使系统响应兼具稳定性与敏捷性^[4]。参数修正过程中引入预测性控制思想,通过历史数据趋势分析提前调整控制输出,降低滞后误差影响。执行层通过液压比例阀与伺服控制单元实现参数实时映射,使修正指令能够直接作用于动力输出端。多变量耦合修正机制有效避免单一参数调整引起的系统振荡,使顶推过程在动态变化条件下仍保持稳定控制边界。

4.3 多点协同联动控制模型

多点协同联动控制模型以分布式控制架构为核心,通过主控节点与多执行节点之间的信息交互实现整体协调运行。各项推点控制单元在统一控制协议下进行状态同步与指令共享,使局部行为能够反映整体控制目标。模型内部采用状态空间描述方法,对结构位移场与力场进行统一建模,实现多变量耦合分析。联动控制过程中通过权重分配机制调节各节点响应优先级,使关键受力区域获得更高控制精度保障。信息交互链路采用高速实时通信通道,确保控制指令在多节点间低延迟传输。

协同算法结合一致性控制理论,使各项推单元在动态扰动条件下仍保持状态趋同趋势。通过全局协调与局部优化相结合的方式,实现复杂结构体系下多点同步推进的稳定控制效果。

5 成桥线形控制成效评估

5.1 线形偏差控制结果对比

线形偏差控制结果对比通过对施工前后结构轴线坐标与标高数据进行高精度比对实现,利用全程测量数据构建空间偏差分布模型。顶推完成后梁体纵向轴线偏移量与理论设计曲线之间的差值被系统化量化,形成连续偏差曲线图谱,用于识别局部偏移集中区域。对比过程中引入分段统计方法,将整体结构划分为多个控制区段,分别分析各区段线形误差变化规律。数据结果显示偏差分布趋于均匀化特征明显,局部峰值被有效抑制。高频监测数据与设计模型之间的拟合程度显著提升,说明推进过程中几何控制精度得到增强,结构整体空间姿态保持较高一致性,线形连续性得到有效保障。

5.2 结构受力均匀性评价

结构受力均匀性评价基于支座反力分布与截面内力状态展开,通过多点应力监测数据构建全结构受力云图,对不同区域受力差异进行定量分析^[1]。顶推完成后各关键截面弯矩与剪力分布趋于平滑状态,局部应力集中现象明显减弱。评价过程中采用标准差与变异系数对受力离散程度进行衡量,使结构整体受力一致性能够以数值形式表达。支座反力变化曲线呈现稳

定分布趋势,各项推节点荷载分担比例接近设计目标区间。结构受力路径呈现连续传递特征,未出现明显突变区间,说明多点同步控制对力流均衡具有显著优化效果,整体受力协调水平得到提升。

5.3 施工稳定性综合检验

施工稳定性综合检验基于结构位移响应、振动特性及荷载波动情况进行多维度分析,通过动态监测数据构建稳定性评价指标体系。顶推全过程中结构振动幅值保持在低幅区间,未出现异常频率放大现象,说明体系动力响应处于可控状态。位移变化曲线呈连续平滑趋势,未形成突变型波动特征,结构整体刚度保持稳定状态。荷载变化与位移响应之间呈现良好同步性,表明控制系统对外部扰动具有较强抑制能力。多阶段施工数据对比显示结构状态逐步趋于稳定收敛,动力特性未发生显著漂移,整体施工过程具备较高安全裕度与运行稳定性,满足成桥控制要求。

6 结语

多点同步顶推施工控制体系贯通受力协调、线形约束与动态调控环节,实现荷载传递均衡与结构响应一致性提升。多源监测与反馈修正机制强化同步精度,降低偏差累积风险,保障成桥线形稳定。液压驱动与多节点协同控制增强整体推进连续性,结构受力分布趋于合理,施工过程稳定性与控制可靠性同步提升。

参考文献:

- [1] 王巧莲,王程伟.大跨度桥梁多点步履式顶推工艺技术研究[J].价值工程,2025,44(16):7-9.
- [2] 殷茹.城市受限环境下桥梁顶推施工技术研究[J].工程技术研究,2025,10(16):60-62.
- [3] 何渊,方宏,陈敏,折磊.PLC 多点同步控制液压顶推系统在繁忙干线电气化区段换梁大修中的应用[J].铁道工务,2025,3(5):57-60.
- [4] 何昌军.桥梁工程施工中的大跨径连续桥梁施工技术探究[J].建材发展导向,2025,23(18):127-129.
- [5] 李天翊,张东昱,张晓宇.考虑构件震害影响的城市桥梁震后通行功能损失评估方法[J].哈尔滨工业大学学报,2025,57(1):35-45.