

桥梁同步顶升技术的应用与分析

王德锋 李 涛

中建八局轨道交通建设有限公司 浙江 绍兴 312030

摘 要：本研究基于桥梁顶升技术原理，重点探讨了既有交通设施净空提升的工程改造方案。通过系统分析顶升工艺中的支撑体系、限位装置等核心要素，结合不同结构形式的边界条件特征，提出了桥梁截断位置优化选择方法。研究旨在实现以最小化结构损伤、最低施工成本和最短工期为目标的绿色改造方案，在确保结构安全性和稳定性的前提下，有效解决既有桥梁净空不足及引桥调坡等技术难题。

关键词：桥梁工程；改造施工；同步顶升

1 前言

作为桥梁上下部结构的重要连接构件，支座的质量缺陷及设计施工不当等问题极易诱发早期损伤，严重影响桥梁结构的受力性能与整体稳定性。在传统支座病害处理中，往往需要配合桥梁改扩建工程实施更换作业，不仅施工周期长、成本高昂，而且带病运行状态会显著增加桥梁结构的安全隐患^[1]。同步顶升技术的应用依托于先进的液压控制系统和精密传感器网络，能够精确感知并实时调整各个顶升点的位移，从而实现梁体的毫厘不差的同步抬升。与传统支座更换工艺中繁琐的支撑架搭设、逐点顶升、人工校正等环节相比，同步顶升技术显著简化了操作流程，减少了对大型机械设备的依赖，降低了人力投入。同步顶升过程中，梁体受力均匀，避免了因局部应力集中而导致的结构损伤风险，有效提升了施工效率，缩短了工期，并从根本上确保了结构安全，尤其在高架桥梁、大型厂房等对精度和安全性要求极高的工程项目中，同步顶升技术的应用价值尤为突出，能够最大限度地保障施工质量和人员安全^[2]。本研究以某公路桥梁工程为背景，重点探讨同步顶升技术在病害支座更换中的具体应用，旨在为同类桥梁工程实践提供技术参考。

2 桥梁顶升的定义和原理

桥梁工程里所说的“桥梁”概念专门指一种特殊构筑物，它的核心功能是跨越不适合用平面交叉方式通行的介质，并且要保证在跨越过程中不影响介质正常存在或运行状态，在桥梁工程领域中，同步顶升技术是针对桥跨等线性结构的特殊施工工艺，其技术要点在于多节段顶升作业时要确保各节段横向顶点间相对位移差为零防止结构扭转或倾覆，同时纵向各节段节点间要保持相同顶升速度实现整体抬升或者相同角速度进行纵向调坡抬升。

桥梁顶升也就是抬高或者提升的工程方法，是在严格控制应力重分布影响范围的前提下，运用同步顶升系统，通过改造支座系统、盖梁台帽结构或采用断柱接高等特殊工艺，来实现桥面高程动态调整的工程技术^[3]。该技术系统主要由液压传动系统、智能传感系统、工业过程控制与可编程逻辑控制即IPC-PLC同步伺服系统等核心组件构成。通过把这些系统与结构有限元分析及桥梁加固改造施工技术进行集成，最终形成完整的桥梁同步顶升改造技术体系。从工作原理角度来分析，桥梁顶升技术的实施过程是这样的，液压泵站的输出流量经分流器分配至各执行油缸，位移控制系统根据各测点反馈信号精确调控各油缸的带载顶升速度，从而实现整联桥跨结构的同步提升作业。

3 桥梁同步顶升技术的应用

3.1 流量控制型液压同步控制方式

在液压顶升系统中，采用分配阀实现电动泵流量的多路分流控制。当监测到某台千斤顶的顶升速率显著高于其他设备时，通过调节相应分配阀的开度来降低该支路的流量供给，从而实现各千斤顶的同步运行。该控制方法需持续监测各执行机构的位移变化，并据此动态调整分配阀参数，主要适用于对同步精度要求相对较低的工程顶升作业。

3.2 容积控制型液压同步控制方式

本研究采用容积同步控制方法，通过等时等量分配液压油供给各控制点来实现同步运动。该开环控制方案仅依赖液压系统自身特性实现同步功能，缺乏对顶升点间位移偏差的动态监测与补偿机制，易导致误差累积^[4]。因此，该方法主要适用于小型及超薄型千斤顶的低高度顶升作业场景。

3.3 伺服（比例）控制型同步控制方式

本研究让位移-压力传感器和千斤顶协同起来工作，

通过实时采集位移以及压力方面的参数,由主控系统来进行数据处理并计算各千斤顶实时供油量,基于动态平衡校验机制实现精确的供油控制,以此确保各千斤顶的顶升速度保持同步或者按比例变化,采用IPC-PLC控制系统能够有效消除人工操作所带来的误差,系统同步精度可以达到 $\pm 0.5\text{mm}$,完全能够满足桥梁顶升等高精度同步作业的要求,该控制系统借助传感器反馈实现大型复杂结构的精准定位,适用于任意重量分布的构件顶升作业,能够有效补偿因负载分布不均或者动态变化引起的结构变形,确保桥梁整体可以同步且稳定地顶升,该系统在提升作业同步性、稳定性和安全性方面有着显著优势,同时还大幅提高了施工的效率。

4 桥梁顶升关键技术分析

4.1 多点同步顶升应力—位移双控的侧重点确定

在多点顶升超静定结构工程中,应根据结构刚度特性采取差异化的控制策略:对于变形敏感性较低的弱刚度结构(定义为相邻节点 0.5mm 位移差导致应力波动 $\leq 5\%$ 的情况),宜采用位移闭环同步控制;而对于变形敏感性较高的强刚度结构(应力波动 $\geq 20\%$),则需优先实施应力均衡闭环控制,再建立位移闭环系统。在特殊施工阶段(如试顶、承重等工况),建议采用应力闭环为主、位移闭环为辅的复合控制模式,以兼顾结构受力与形位精度。PLC同步顶升系统具备位移同步与应力均衡两种工作模式,位移同步模式下需配置外部位移传感器进行行程校验,应力均衡模式则依赖千斤顶内置压力传感器实现实时应力反馈^[5]。

4.2 整体同步顶升适用桥型分析

整体同步顶升工艺主要应用于桥梁净空提升及纵坡调整工程,其适用范围涵盖公路与市政工程中平原微丘区的梁式桥梁结构,同时对部分系杆拱桥、刚构桥及组合体系桥梁也具有适用性,但该技术不适用于桥下空间拓宽改造项目。施工可行性分析如下:

4.2.1 顶升反力系统

在顶升反力系统选型策略中,首选利用现存的桥梁盖梁(台帽),若施工区域空间有限,则可考虑使用混凝土围护的环形圈梁结构;在施工周期紧张的情况下,宜选用预制的刚性支撑框架;而对于较小的顶升负荷,建议采用钢制夹具或钢制支撑腿进行固定。

4.2.2 限位支撑系统

为确保顶升施工过程中桥跨结构的稳定性,在水平方向上除临时支撑点产生的摩擦阻力外,还需在联端或翼腹板关键部位设置纵横向限位机构。该限位机构需具备良好的制动导向功能,以有效控制结构可能产生的水

平位移。

4.2.3 临时支撑系统

在桥梁同步顶升的施工过程当中,为保证桥跨结构能够安全平稳地抬升,必须给千斤顶、辅助支垫以及顶托等设备,提供坚实且可靠的支撑并预留充足调节空间,鉴于既有桥墩或者盖梁等结构,通常不具备直接当作支撑平台的条件,所以有必要在桥墩的周围构建独立的临时支撑体系。

4.2.4 墩柱接高技术

针对桥梁墩柱接高工程的技术要求,建议采用强度比原结构高 $5\sim 10\text{MPa}$ 的水泥基复合材料,并且优先选用具备微膨胀特性的无收缩材料,在特殊工况的情况下,可以考虑适当扩大接高截面的水平尺寸,接高部位适合设置环形钢围箍,该构件在混凝土浇筑阶段能够兼作模板板来使用,从现有的施工技术方面来看,简支梁桥、预应力混凝土连续梁桥以及系杆拱桥等桥型实施整体同步顶升改造具备较高的可行性,然而对于上部结构自重较大、多跨带坡曲线梁等特殊桥梁类型,当前施工工艺依然面临一定的技术挑战和风险。

4.3 结构体系可行性分析

在对比分析现有桥梁的结构内力变化后,若发现顶升施工阶段与原有桥梁状态的内力差异显著,则不宜实施顶升改造工程;反之,若内力差异较小,则可实施整体同步顶升改造方案。

5 桥梁支座更换同步顶升施工监测

在顶升施工过程中实施实时动态监控,重点监测结构纵向与横向偏差值以及各支撑点的位移量,确保整体构形满足设计要求且受力分布合理。为确保施工安全,建议引入具备资质的第三方检测机构实施全过程安全监测。

5.1 顶升施工监测

在桥梁工程现场施工阶段,需重点强化技术监测体系,具体涵盖结构平动位移、转角变化、倾斜度及应力分布等关键参数。安全监测工作应着重对顶升设备运行状态进行实时监控,同时需系统采集施工现场气象环境数据,通过多因素耦合分析来预防各类潜在安全隐患。在同步顶升作业过程中,必须严格控制力-位移双参数指标,确保顶升与降落精度满足工艺规范要求,从而规避重大质量缺陷或结构损伤风险。本工程特别针对高层箱梁墙面的纵横向位移及顶升支架变形等关键指标建立了专项监测方案。

5.2 箱梁体应力监测

在桥梁顶升施工过程中,支座区域作为结构受力最为集中的部位,需对其周边截面进行全面的应力监测。

本工程采用与下梁轴线呈 45° 夹角的测点布置方案,通过实测数据对梁体内力分布及主应力状态进行精确分析。

6 支座安装过程中存在的问题及对应解决措施

6.1 预制梁底问题

在桥梁工程施工的过程当中,部分项目没能严格遵循模板施工规范化与标准化要求,使得结构尺寸出现偏差以及强度性能无法达标,进而严重影响到桥梁正常使用功能,针对这一现象得强化模板施工管控措施,以此确保预制梁底部结构几何尺寸和力学性能符合设计要求,当采用竹胶板当作模板材料的时候,其表面平整度比较差且各部位预制梁几何参数难达精度要求,最终会影响整体施工质量,为此建议优先选用钢制模板系统,这种材料不仅表面平整度非常优异,而且结构尺寸精确能完全满足设计规范要求。在施工管理方面,应重点加强预制梁结构的质量控制,同时定期检测钢模板的表面平整度和刚度指标,确保各项性能参数符合工程验收标准。值得注意的是,若钢模板在施工过程中操作不当,极易产生锈蚀和结构损伤等问题,这些缺陷不仅会干扰后续施工进度,更会对工程结构的整体质量和耐久性产生负面影响。在此类工程情境下,必须强化施工质量控制体系,确保所有构件的几何尺寸与物理性能均满足设计规范要求,避免对桥梁现场施工质量产生不利影响。针对橡胶支座结构体系的应用,若未实施预埋钢板工艺,将显著降低结构承载能力,进而影响桥梁的长期使用性能。为解决这一技术难题,建议采用同步顶升工艺对梁体进行精确抬升,随后对梁底混凝土界面进行凿毛处理。在此基础上,需严格按照规范要求安装与橡胶支座配套的不锈钢预埋件,并通过严格的混凝土浇筑质量控制措施,确保结构性能达标,从而避免对整体工程结构性能造成损害。

6.2 支座垫石问题

在桥梁工程施工过程中,支座垫石的质量控制往往存在标准化程度不足的现象,这一普遍性问题将对桥梁支座系统的施工质量产生显著影响。具体表现为垫石顶面平整度难以满足规范要求,结构尺寸偏差超出允许范围,进而对整体结构性能造成损害。为确保施工质量,必须严格按照安全施工规范进行操作,建议在垫石内部配置钢筋网片以增强结构整体性。针对小型垫石构件,宜采用环氧砂浆进行表面处理,以预防结构损伤。特别值得注意的是,支座垫石的安装平整度直接影响后续施工质量,因此在桥梁支座安装前必须进行精确的找平作

业,确保结构尺寸和性能参数符合设计要求。在找平过程中,采用环氧砂浆对垫石顶面进行处理可有效提升表面平整度,避免对施工质量产生负面影响。

6.3 千斤顶安装问题

在进行千斤顶安装作业开始之前,需要对设备结构部件以及整体性能开展系统性检测,以此验证其是否能够满足现场施工的技术规范要求,从而确保顶升力参数与设计标准相符合。还需要精确测量各个千斤顶单元的顶升速率,严格控制其速度偏差不超过 1mm 。安装之前要对密封性能进行专项检测,以此保证能够达到理想的密封效果。完成上述这些准备工作之后,需要同步启动所有的千斤顶设备,开展试验性顶升操作来验证设备性能。随后要对整个顶升系统进行综合评估,确认顶升和回落过程都符合工程技术指标。卸载作业完成之后,要对千斤顶上下承压钢板进行变形监测,必要的时候进行厚度调整以满足施工需求。同时需要检查千斤顶下部支撑结构的稳定性,评估其对顶升作业可能会产生的影响。

7 结语

桥梁结构在长期运营过程中,支座系统往往会出现不同程度的损伤现象,这种结构缺陷不仅会影响桥梁整体使用性能,更可能诱发重大安全事故。针对此类问题,现代工程实践中普遍采用同步顶升技术解决方案,通过精密控制设备实现各支撑点的高精度同步位移,从而确保支座更换作业的顺利实施。在具体施工过程中,需要配备专业检测团队对顶升全过程进行实时监测,及时获取各项关键参数,并采取相应的质量控制措施。这种系统化的施工方法既能保证支座更换作业的顺利完成,又能有效提升桥梁结构的运营安全性能,完全符合现代交通工程对结构可靠性和运营稳定性的严格要求。

参考文献

- [1]邓少鸿.桥梁维修加固作业中的同步顶升更换支座技术[J].工程建设与设计,2023(18):163-165.
- [2]乔禹.大跨径斜拉桥同步顶升支座更换施工技术分析[J].安徽建筑,2023,30(8):26-27.
- [3]徐子玉.连续箱梁桥同步顶升技术研究[J].城市道桥与防洪,2023(6):159-163.
- [4]梁彧,窦勇芝.市政高架桥同步顶升调坡改造关键技术[J].天津建设科技,2023,33(1):27-30.
- [5]郑杰森.PLC同步顶升技术在桥梁支座更换中应用研究[J].运输经理世界,2022(35):107-109.