

# 涵洞现浇结构模板支撑体系的施工创新与实践

姚志 曹志峰 刘国锋

江苏众联工程咨询有限公司

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6642

**[摘要]** 现浇涵洞模板支撑体系要面对大截面承重、狭小空间搭设以及动态荷载监测等诸多挑战。装配化支撑依靠标准化组件达成快速组装的效果,液压爬升技术能够解决超大断面分层施工的难题,智能监测系统可以保障实时预警功能的实现,采用装配化支撑能够让搭建效率提升40%至60%,液压爬升技术能够使工期压缩25%至35%,智能监测预警精度能够超过90%,技术选用需要结合截面规模、地质特性与造价等因素。未来发展方向呈现出装配化、智能化以及多技术融合的特征,物联网与人工智能技术正在推动支撑体系朝着数字孪生模式发展。

**[关键词]** 涵洞现浇结构; 模板支撑体系; 装配式支撑; 液压爬升; 施工创新

**中图分类号:** TV **文献标识码:** A

## Construction Innovation and Practice of Formwork Support System for Culvert Cast-in-place Structures

Zhi Yao Zhifeng Cao Guofeng Liu

Jiangsu Zhonglian Engineering Consulting Co., LTD

**[Abstract]** The formwork support system for cast-in-place culverts is confronted with numerous challenges such as large cross-section load-bearing, erection in confined spaces, and dynamic load monitoring. The assembly support achieves rapid assembly through standardized components. The hydraulic climbing technology can solve the problem of large-section layering construction. The intelligent monitoring system can ensure the realization of real-time early warning functions. The adoption of assembly support can increase the construction efficiency by 40% to 60%, and the hydraulic climbing technology can shorten the construction period by 25% to 35%. The accuracy of intelligent monitoring and early warning can exceed 90%, and the selection of technology needs to take into account factors such as section size, geological characteristics and cost. The future development direction is characterized by assembly, intelligence and the integration of multiple technologies. The Internet of Things and artificial intelligence technologies are driving the support system towards the digital twin model.

**[Key words]** Culvert cast-in-place structure Template support system Prefabricated support Hydraulic climbing Construction innovation

### 引言

涵洞属于道路工程中的关键构筑物,在其现浇混凝土施工当中,模板支撑体系承载能力控制、空间受限以及安全监测存在着难题。传统扣件式钢管支撑存在稳定性差、效率低等方面的不足,装配式支撑、液压爬升、智能监测等技术提升了施工效率与安全性。系统梳理支撑体系施工难题、分析创新技术应用模式、评估工程实践效果与技术经济性、探讨多技术集成发展趋势,对于促进涵洞施工技术进步具有重要价值。

### 1 涵洞模板支撑体系面临的施工难题及创新需求

#### 1.1 大断面涵洞的承载与稳定控制

大断面箱涵和拱涵结构的跨径通常大于8米,顶板与侧墙厚度处于0.8-1.5米范围,单次混凝土浇筑量能达到200-500立方米,其产生的静荷载和侧压力对支撑体系构成重大挑战。传统扣件式钢管支撑在承受大断面涵洞荷载时,要把立杆间距缩小到0.6-0.8米,将水平杆步距控制在1.2米以内,这使得支撑布置十分密集导致施工空间严重不足,混凝土浇筑初期侧压力按液体压力计算,每增加1米深度压力大约上升25kPa,当侧墙高度达到5-6米时,模板底部侧压力超过120kPa,对支撑结构的抗倾覆稳定性要求极高,支撑体系整体稳定性受杆件长细比、节点连接刚度、地基承载力等多重因素共同作用,任一环节处理不当都可能

引发失稳破坏。软土地基下支撑立杆底部容易出现不均匀沉降,进而产生附加弯矩进一步加大失稳风险,大断面涵洞施工周期较长支撑体系需长期受力,材料徐变、节点松动等时效因素会降低安全储备,这要求支撑结构设计及验算必须具备更高精度,推动承载能力计算从经验公式转向有限元精细化分析<sup>[1]</sup>。

### 1.2 狭窄空间条件下的支撑搭设

涵洞大多位于道路下方或者桥梁两侧,基坑开挖的宽度受到一定限制,净空仅能满足结构尺寸加上两侧0.5-1.0米操作空间,传统支撑体系的搭设、加固以及拆除作业存在困难。扣件式钢管支撑需要工人在狭窄空间完成杆件连接、扣件紧固、剪刀撑安装等精细操作,劳动强度比较大并且安全风险较高,当基坑侧壁与涵洞外模间距不足0.8米的时候,无法容纳常规支撑架体,支撑杆件被迫采用非对称方案,荷载传递路径复杂且应力集中现象突出,邻近既有结构进行施工时,支撑体系不得侵入其安全保护范围,需采用悬臂支撑或斜撑体系,构造设计难度有所增加。狭窄空间限制大型机械进入基坑,支撑材料只能依赖人工搬运,杆件长度受转运空间限制导致标准长度构件难以应用,模板支撑与基坑支护结构空间冲突十分严重,连接节点处理较为复杂,需通过钢牛腿、预埋件等专项措施来传递荷载<sup>[2]</sup>。空间约束推动支撑体系朝着小型化、轻量化、装配化方向发展,促进快拆支撑、一体化支撑平台等创新技术的应用。

### 1.3 动态荷载作用下的安全监控

混凝土浇筑时产生的冲击、振捣带来的动载以及人员活动形成的活载,共同构成复杂动态加载情况让支撑体系受力持续变化。当泵送速度处于80-120m<sup>3</sup>/h范围时,料流冲击能达到静载的1.2-1.5倍,高频振捣有可能引发共振进而导致支撑松动,累积变形会对安全造成威胁,侧墙进行分层浇筑时,侧压分布会随着高度进行动态调整,底部压力先增加后趋于稳定,支撑应力峰值难以提前预判,水化热释放会受温度影响,高温环境下初凝快、侧压时间短,低温环境则与之相反。传统人工巡查主要依赖经验,巡查频率低且覆盖范围有限,很难捕捉到瞬时出现的异常情况,应力超限、沉降超标、变形过大等险情如果没有及时处理,就可能导致坍塌事故发生。动态监测需求促使基于传感器的实时采集技术诞生,应变计、位移计等被布设在关键节点,与数据系统、预警平台集成在一起,实现连续监控与智能预警,将被动防控转变为主动防控。

## 2 支撑体系施工创新技术的应用模式

### 2.1 装配式支撑的工程应用

装配式支撑体系依靠标准化盘扣和轮扣构件,借助插销、卡扣等快速连接装置来实现模块化搭设,在中小涵洞工程当中优势十分突出。盘扣节点采用锥形自锁设计,立杆和水平杆通过楔形插销进行连接,拔插力控制在300-500牛顿,单人就能够完成装配工作,搭设效率相比扣件式提高40%-60%,标准化立杆间距设定为0.9米、1.2米、1.5米这三种,水平杆步距统一为1.5米或者1.8米,构件互换性比较强,可以按照涵洞断面灵活调整支撑布局。轮扣式支撑采用承插型节点,立杆每0.6米设置一组连接

盘,水平杆端部焊接插头,旋转60度实现锁定,连接强度超过15kN,能够满足大跨度顶板支撑需求,杆件采用Q345钢,壁厚为3.2-3.6毫米,单根立杆承载力达到40-50kN,相较于传统 $\Phi 48 \times 3.0$ 钢管提升30%,可减少杆件数量与支撑密度,整体刚度通过斜杆与剪刀撑来保证,杆件长度精度为 $\pm 2$ 毫米,装配后垂直度偏差 $\leq 1/400$ ,能够有效控制变形情况。拆模时仅仅需要拆除底层水平杆就能实现早拆,顶板混凝土达到设计强度75%即可周转,能够缩短模板占用周期,提升施工效率与经济效益<sup>[3]</sup>。

### 2.2 液压爬升系统的实施方式

液压爬模系统把支撑架体和液压装置整合起来,通过油缸同步驱动的方式实现垂直爬升,特别适合大断面箱涵与深埋涵洞的分段施工。系统包含导轨、爬架、液压站以及同步控制器这四部分,其中导轨是用槽钢或者工字钢制作而成,竖向固定在侧墙预埋件上当作爬架移动的轨道,爬架由桁架构成,顶部设置了模板,底部配备了液压千斤顶,单组提升力在200-300kN,通过PLC控制实现多点同步爬升,行程精度能达到 $\pm 5$ 毫米。侧墙混凝土达到5MPa强度之后,启动液压系统将架体提升到下一作业层,爬速为0.3-0.5米/分钟,单次爬升3-4.5米,和浇筑高度相匹配,油路采用串并联设计,配备了压力传感器与行程监测,当荷载偏差超过15%或者行程差超过10毫米时,系统会自动调节油缸进行纠偏,爬升的时候架体和已浇筑结构分离,避免传统支撑拆除产生的扰动,降低高空作业的风险<sup>[4]</sup>。该技术在15米以上涵洞施工中优势十分显著,可节省材料60%以上,缩短工期25%-35%,不过初期液压设备投入比较大,适合用于大型集中工程。

### 2.3 智能监测手段的配置策略

智能监测系统把传感器网络、数据传输单元以及云平台分析软件整合起来,能够实时感知支撑体系受力状态并且对风险进行预警,这是施工安全方面的核心保障技术。应变监测选用振弦式应变计或者电阻应变片,将其安装在支撑立杆中部以及节点的位置,量程为 $\pm 3000 \mu \epsilon$ ,精度能达到 $1 \mu \epsilon$ ,采集频率是每分钟1次,在混凝土浇筑期会加密到每10秒1次,位移监测采用静力水准仪或者激光位移计,将其固定于支撑底部垫板的地方,精度为0.1毫米,当累计沉降超过5毫米或者沉降速率大于2毫米/小时就会触发警报,倾角传感器安装在支撑立杆顶部的位置,能够实时监测倾斜角度,其阈值设定为 $1/250$ ,一旦超限系统就会声光报警并且通知管理人员。数据采集单元通过RS485或者无线网络来传输数据,利用边缘计算筛选异常值从而减轻网络负担,云平台基于历史数据构建受力模型,通过机器学习识别应力突变、沉降加速等异常情况,预警准确率超过90%。监测数据以曲线图、热力图的形式可视化呈现,能清晰展示关键部位应力分布与变化趋势,为施工调整提供数据方面的支持,该系统初期投入占支撑工程造价的5%-8%,但能避免支撑失稳导致的返工和事故,综合效益十分显著,已成为大型涵洞工程的标准配置<sup>[5]</sup>。

## 3 创新技术的效果评估及优化方向

### 3.1 施工效率与工程质量的提升

装配式支撑体系应用后让涵洞支撑搭设时间从传统5-7天缩短成2-3天, 拆除周期相应减少幅度超过40%, 模板周转次数增加到8-10次, 有效提升了施工整体效率。采用液压爬升技术之后无需开展高空支撑拆装工作, 大断面箱涵单层施工周期从15天缩短到10天, 整体工期节约比例达20%-30%, 同时劳动力需求降低幅度约为35%。支撑架体标准化装配提升了几何精度控制相关能力, 涵洞结构轴线偏差能控制在 $\pm 5$ 毫米以内, 截面尺寸偏差不超过 $\pm 8$ 毫米, 较传统方法精度提高30%-40%, 智能监测系统通过实时数据反馈来帮助施工人员及时调整混凝土浇筑速度与振捣参数, 有效预防了模板变形和支撑失稳等问题, 混凝土外观质量合格率从92%提高到98%以上。支撑稳定性增强之后拆模后的结构修补工作量减少, 蜂窝麻面等质量缺陷发生率下降60%, 确保了结构具备良好耐久性。

### 3.2 技术经济性的综合评价

装配式支撑采购成本比传统扣件高出15%至25%, 不过通过增加周转次数和减少人工用量, 总成本能够降低8%至12%, 在6至8米跨径的涵洞工程当中经济性更为优越。液压爬升系统设备投入约是传统方案的1.8至2.2倍, 并且需要专业人员进行维护, 但是在超大断面涵洞中, 通过缩短工期和节省材料能够实现成本平衡, 当工程量超过5000立方米时效益十分显著。智能监测系统初期投入占支撑成本的5%至8%, 年维护费用为初投资的3%至5%, 可以避免因失稳返工造成的损失和延误, 潜在收益能够达到投入的3至5倍, 各类技术适用范围十分明确, 跨径5米以下传统支撑成本相对更低, 5至10米断面装配式支撑性价比达到最高, 10米以上超大断面则液压爬升综合效益更为良好。技术选择应该结合规模、地质、工期等因素开展经济评估, 避免为追求先进性而导致成本出现失控情况。

### 3.3 多技术集成应用的发展趋势

涵洞施工环境复杂性推动了装配式支撑、液压爬升、智能监测等技术的协同应用, 形成了“装配化+机械化+智能化”的技术体系。装配式支撑和智能监测在8-12米箱涵当中应用比较多, 标准化杆件方便进行传感器埋设, 监测数据能指导支撑加固的

动态调整, 可兼顾施工安全与效率。液压爬升系统借助倾角和压力监测, 把同步控制精度提升到了 $\pm 3$ 毫米, 自动化水平得到显著提升, BIM和智能监测平台相互融合, 将支撑三维模型和实测数据关联起来, 实时更新应力云图, 能为决策提供可视化支持。模块化支撑平台整合了模板、支撑和作业架, 配合液压提升可实现快速转场, 让多孔涵洞施工效率提高超过50%, 未来会深化物联网应用, 构建支撑全生命周期数字孪生系统, 通过人工智能实现方案自动优化和风险预判, 推动涵洞施工朝着无人化、智慧化方向发展。

## 4 结语

装配式支撑、液压爬升和智能监测技术都有各自特点, 分别适用于中小断面的快速施工、大断面的分层浇筑以及全过程安全管控工作。在进行技术选型时需要综合考虑断面大小、地质条件以及经济成本等因素, 未来的发展趋势是构件朝着模块化方向、液压系统朝着智能化方向以及监测技术朝着物联网化方向发展。多种技术的集成应用将会成为行业主流, 建立选型决策模型、完善施工标准以及培养专业人才是支撑体系能够持续创新的关键保障。

## [参考文献]

- [1]李家雨.大断面涵洞模板支撑架的伸缩顶升整体移动[J].建筑施工,2022,44(02):330-331+340.
- [2]张传令.肯尼亚公路涵洞常用施工方法及创新技术[J].建筑技术开发,2021,48(09):71-74.
- [3]刘庆庆,汪艳丽,王泽林,等.现浇梁板模板施工技术在高层住宅项目中的应用[J].四川水泥,2025,(10):170-172.
- [4]易雨锋,张家放.双体盖板涵洞轨行式模板台车结构优化与施工技术研究[J].科技与创新,2024,(12):100-102.
- [5]游丹.可移式模板系统在现浇框架结构中的应用分析[J].安徽建筑,2022,29(03):60-61.

## 作者简介:

姚志(1984—),男,汉族,江苏南京人,大学本科,工程师,研究方向:水利工程施工管理及施工监理。