

高墩桥梁液压爬模施工关键工艺与线形质量控制研究

奚太龙

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆 石河子 832017

摘要: 针对高墩桥梁高空竖向施工难度大、线形偏差易累积、变截面成型精度难把控等工程难题,本文系统阐述液压爬模系统构造与施工原理,梳理爬模安装调试、爬升作业、混凝土浇筑、模板收分及拆除等核心关键工艺。结合施工工况明确线形质量控制标准,分析爬升不同步、模板变形、浇筑偏载等偏差成因,构建全过程动态管控与三级预警纠偏体系。通过精准测量与工艺优化,有效规避墩身垂直度、轴线及截面尺寸超标问题,显著提升高墩桥梁施工质量与成型线形精度。

关键词: 高墩桥梁; 液压爬模; 施工关键工艺; 线形质量控制

引言: 高墩桥梁是山区高速公路、跨江桥梁工程的核心结构,其墩身施工质量与线形精度直接决定桥梁整体受力稳定性与外观品质。液压爬模凭借安全性高、施工效率高、成型质量优的优势,成为高墩施工主流工艺。但高空复杂工况、温差风载影响、工序衔接偏差及变截面调节误差,易造成线形缺陷且偏差逐层累积。为解决上述问题,本文深入探究液压爬模核心施工工艺,针对性开展线形质量控制技术研究,为同类高墩桥梁工程标准化、精细化施工提供技术参考。

1 高墩桥梁液压爬模施工系统及施工原理

1.1 液压爬模系统整体构造

(1) 模板体系采用大块组合钢模板,面板厚度6mm,背楞以双槽钢焊接成整体龙骨,保证混凝土成型面平整光洁;液压爬升系统由液压泵站、顶升油缸、电磁换向阀及PLC同步控制器组成,每套系统配置4~6只油缸,按架体荷载分布对称布置,泵站额定压力满足最大爬升力要求并留有安全储备。(2) 附墙支撑采用预埋高强螺栓将附墙座固定于已浇筑墩身,附墙座通过销轴与三角撑架铰接,将架体荷载可靠传递至墩身结构;操作平台自下而上设置修饰平台、主作业平台和钢筋绑扎平台,各层平台周边设定型防护栏杆,底部满铺防滑钢板,外侧张挂密目安全网,形成全封闭高空作业环境^[1]。(3) 变截面设计时,架体竖向主梁采用可调伸缩节,按墩身收坡比例分段调节长度;模板背楞设螺旋收分装置,通过旋转丝杆调整单片模板的平面位置与倾角;附墙连接件设置角度调节座,允许 $\pm 5^\circ$ 范围偏转,逐层爬升后利用全站仪复测并微调,确保模板系统与变截面设计线形贴合。

1.2 液压爬模施工工作原理

(1) 液压泵站输出高压油,经同步阀组分配至各项

升油缸,油缸活塞杆伸出驱动爬架沿导轨向上步进,单次行程等于一个浇筑节段高度;位移传感器实时监测各缸行程差,PLC控制器根据反馈信号调节阀组开度,确保多缸同步爬升,动力传递路径为泵站→油缸→架体→附墙座→墩身,形成完整受力闭环。(2) 爬升到位后,附墙座内的楔形自锁块在复位弹簧作用下自动卡入导轨定位孔,依靠架体重力产生楔紧力实现机械自锁;即使液压系统失压,自锁机构仍独立保持架体固定状态,每层附墙设上下两道独立锚固点,双重保障高空架体稳定不坠落。(3) 墩身截面变化时,旋转收分丝杆驱动模板侧向移动,改变模板围合尺寸,同时调节四角竖向支撑螺杆的高度,配合水准仪逐点调平模板顶面;每爬升一个节段后进行模板位置复核,依据测量结果微量修正收分量与倾角,使截面渐变过程连续均匀。

1.3 高墩爬模施工特性与质量影响因素

(1) 高空竖向施工采用“浇筑—养护—爬升—再浇筑”循环节拍,每节段周期固定,各工种流水作业;因作业面狭窄、钢筋及预埋件安装量大,对工序衔接精度要求高,同时高空环境下人员操作受限,混凝土浇筑与振捣难度增加,须严格执行专项施工方案。(2) 爬模架体自重及施工荷载通过附墙点集中传递,须逐层验算墩身局部承压能力;日照温差使钢模产生热胀冷缩,易导致拼缝错台与标高变化,应在温度稳定时段进行测量定位;强风作用下架体受风面积大,横向晃动明显,超过六级风时须停止作业并增设揽风绳,防止架体侧向失稳。(3) 模板安装偏位、爬升不同步造成的架体倾斜、混凝土浇筑不对称等工艺偏差,将沿墩高方向逐节累积,最终表现为墩身垂直度超差、轴线偏移及断面尺寸不合格;线形精度控制依赖于每节段施工后的精密测量与数据反馈,及时纠偏是保证高墩成型质量的关键

措施。

2 高墩桥梁液压爬模核心施工关键工艺

2.1 爬模体系安装与调试工艺

(1) 基础预埋件定位依据墩身轴线及标高控制点,采用全站仪放样,在首节墩身钢筋绑扎后安装附墙预埋盒,螺栓孔位偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内,预埋件固定于钢筋骨架上并增设定位卡具,混凝土浇筑前后分别复核坐标,确保锚固位置准确可靠。(2) 安装顺序为先拼接架体主梁与立柱,形成整体受力骨架,随后安装液压泵站、油缸及管路系统,最后吊装模板就位,各构件间采用高强螺栓连接并按规定扭矩紧固;组装过程中从下至上逐层设置临时支撑,防止架体倾覆,油管连接后进行压力密封性测试。(3) 安装完成后进行全系统精度调试,校准模板垂直度与平面位置偏差至 $\pm 3\text{mm}$ 内,调试液压系统各缸空载同步性,使行程差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内;空载试运行不少于三个完整爬升循环,检查各机构动作协调性、管路密封性及自锁装置可靠性,验收合格后方可投入正式施工^[2]。

2.2 标准化爬升施工工艺

(1) 混凝土强度须达到设计值75%以上方可爬升,采用同条件养护试件抗压试验判定;脱模前先松开对拉螺杆及模板调节件,借助小型千斤顶使模板与混凝土面均匀分离,清除模板表面粘结物后涂刷脱模剂,为爬升做好准备。(2) 爬升前检查液压系统油位、压力及管路连接,启动泵站后同步操作控制手柄,各油缸以均匀速度伸出,爬升速率控制在 $0.1\text{m}/\text{min}$ 左右,安排专人在各附墙点观察架体爬升状态;当行程差超过 5mm 时立即暂停,通过PLC微调各缸供油量校正偏差后恢复爬升,保证架体水平姿态平稳。(3) 架体爬升至设计标高后,即将自锁装置楔入附墙定位槽,同时插入安全插销实现双重锁定;随后进行工况全面验收,复核架体位置、模板标高、附墙连接紧固性及液压系统卸压状态,确认各项指标满足规范要求后方可进入混凝土浇筑工序。

2.3 墩身混凝土浇筑与模板收分工艺

(1) 混凝土采用分层浇筑工艺,每层厚度控制在 30cm 左右,由低侧向高侧连续推进,插入式振捣器按梅花形布点振捣,间距不大于1.5倍振捣半径,每点振捣时间约 20s 至表面泛浆且无气泡逸出;上下层衔接在初凝前完成,避免施工冷缝产生,同时控制浇筑速度防止混凝土侧压力过大导致模板变形。(2) 变截面段模板收分在每节段混凝土浇筑前完成,根据墩身坡度计算本层收分量,通过旋转收分丝杆同步推进模板侧移,每推进一段用钢尺复核尺寸,确保左右对称、渐变均匀;模板拼缝

处嵌填密封胶条或泡沫条,防止漏浆,拼缝错台打磨平整以保持混凝土外观质量^[3]。(3) 浇筑完成后覆盖土工布并洒水养护,养护时间不少于7天,保持混凝土表面持续湿润;拆模后及时用刮刀清理模板表面附着物,均匀涂刷水性脱模剂,模板暂不使用时叠放整齐并遮盖防尘,保证下次使用前模板光洁、拼缝严密。

2.4 爬模拆除施工工艺

(1) 墩身全部浇筑完成且末节混凝土强度达到设计值100%后,经项目技术负责人确认方可拆除爬模;拆除前清理平台上所有工器具及物料,检查吊装设备工况,划定地面警戒区域并设专人指挥,高空作业人员佩戴全套安全防护装备。(2) 拆除遵循“先装后拆、后装先拆”原则,先拆除模板及背楞,再逐层拆除操作平台、附墙装置及液压管路,最后解体架体主梁与立柱;各构件拆解后通过塔吊或卷扬机有序吊运至地面,吊运过程中设溜绳控制构件摆动,严禁高空抛掷,每拆一层转移一层,不得在架体上集中堆放拆下构件。(3) 构件吊运至地面后分类码放,对高强螺栓、液压管路及油缸等精密部件进行防锈、防尘保护,钢模板及架体进行除锈补漆后入库周转;拆除完成后使用全站仪对墩身最终线形进行复核测量,将垂直度、断面尺寸及轴线偏位等数据整理归档,作为工程质量评定依据。

3 高墩桥梁线形质量控制技术与管控措施

3.1 线形质量控制核心指标与标准

(1) 墩身垂直度偏差按墩高分级控制,墩高不超过 60m 时偏差不大于 15mm ,墩高 60 至 100m 时偏差不大于 20mm ,墩高超过 100m 时偏差不大于墩高的 $1/5000$ 且不超过 30mm ;墩身轴线偏位允许偏差为 10mm ,每节段施工后轴线累计偏位不得超过 15mm 。(2) 墩身截面尺寸偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内,模板拼缝错台不大于 2mm ,混凝土表面平整度用 2m 靠尺检测不大于 5mm ;每节段顶面高程偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内,相邻节段高差不大于 5mm ,以确保支座垫石及预埋件位置准确。(3) 变截面墩身线形顺滑度验收时,全高范围内实际轮廓线与设计线形空间距离偏差不大于 20mm ,变截面过渡段曲率半径变化连续均匀,无明显折角或突变,曲线形态与设计坡比保持一致,确保桥墩外观流畅、结构受力连续。

3.2 全过程线形精准测量监控技术

(1) 施工前期采用全站仪极坐标法进行轴线及轮廓线放样,在承台顶面埋设不少于三个轴线基准点及两个高程基准点,形成闭合校核网;根据变截面设计参数逐节计算模板四角坐标,利用CAD放样软件生成每层控制数据表,标注收分量与倾角值,作为现场定位的依据文

件。(2)爬模爬升及浇筑过程中采用激光铅垂仪配合全站仪进行实时动态监测,激光铅垂仪垂直投射至墩顶接收靶,实时读取架体水平位移量;每爬升一个节段用全站仪测量模板四角三维坐标并与设计值对比,偏差接近预警值时加密观测频次并通报现场及时调整^[4]。(3)温差影响通过布设温度传感器测量钢模表面温度与大气温度,采用钢材线膨胀系数公式对测量值进行修正,消除热胀冷缩引起的虚假位移;风荷载影响下采用风速仪联动监测,强风时段增设动态倾角仪记录墩顶摆动幅度,选取风速稳定窗口期进行复测,确保测量数据真实反映墩身实际姿态。

3.3 线形偏差成因及精准控制措施

(1)液压爬升不同步使架体平面倾斜,各油缸行程差累积导致墩身垂直度偏差。控制措施为每爬升循环检查各油缸行程差不超过3mm,PLC同步控制系统具备超限自动报警功能,超限时立即校正各缸位后再继续爬升,每五个节段进行一次架体水平度全面校核。(2)模板多次周转使用中受冲击荷载产生变形,收分螺杆螺纹磨损导致收分量不准,引发截面尺寸偏差。控制措施为每周转五次对模板平整度及刚度进行校验,收分螺杆每节段使用前用游标卡尺标定丝杆旋转圈数与收分量的对应关系,发现模板翘曲或局部变形时及时更换或修整。(3)混凝土浇筑偏载使模板侧压力分布不均,导致架体整体倾斜或附墙点产生不均匀沉降。控制措施为浇筑时对称布料、分层均匀推进,每浇筑两层后用水准仪检查模板顶面四角高差,发现偏载沉降时暂停浇筑并调节竖向支撑螺杆恢复水平,每节段浇筑完成后测量架体四角标高变化,及时调整附墙支撑预紧力。

3.4 线形质量动态管控与优化方案

(1)建立“测量定位→过程监控→数据分析→偏差预警→纠偏处理→成果验收”全过程质量管控流程,每节段施工完成后编制线形控制报表,包含本节段偏差数据及累积偏差量,由测量负责人复核签字,形成完整可追溯的质量管理档案,定期组织线形控制专题会议分析

偏差趋势并制定改进措施^[5]。(2)设置三级线形偏差预警机制,偏差超过允许值60%时启动黄色预警,提示加强观测频率;超过80%时启动橙色预警,暂停相关工序并分析原因;达到允许值上限时启动红色预警,立即停工由技术负责人组织专题纠偏。纠偏手段包括调整模板定位、校正架体倾斜及修正收分参数等,纠偏完成后经复测合格方可恢复施工,确保偏差不向后续节段累积。

(3)基于各施工工况实测数据建立线形偏差数据库,统计分析偏差规律与主要影响因素,据此优化爬模工艺参数,包括油缸爬升速度、混凝土浇筑速率及模板收分时机;对高风频段、大温差等不利工况制定专项施工方案,将线形控制措施主动前移,实现从被动纠偏向主动预防的管理模式转变,持续提升高墩线形质量水平。

结束语

本文全面总结高墩桥梁液压爬模整套施工工艺,明确各工序施工要点与操作标准,系统剖析影响墩身线形质量的各类因素,制定精准的偏差防控与动态管控措施。通过建立全流程监测、预警、纠偏质量管理模式,有效解决高墩施工线形累积偏差难题,保障墩身截面尺寸、垂直度及顺滑度满足规范要求。研究成果可有效规范现场施工行为,提升高墩桥梁施工精细化水平,为同类工程质量管控提供可靠的技术借鉴与实践依据。

参考文献

- [1]徐雨花.独塔斜拉桥高塔液压爬模施工技术与应用分析[J].安徽建筑,2025,32(04):47-49.
- [2]刘畅.高陡山区桥梁高墩的一种智能化液压爬模系统[J].大众标准化,2025,18(13):54-56.
- [3]谢龙生.清平4号大桥薄壁空心高墩爬模施工技术研究[J].价值工程,2024,43(15):169-172.
- [4]周正强.高速公路桥梁高墩液压爬模施工技术研究[J].运输经理世界,2024,23(14):96-98.
- [5]刘磊磊.高墩液压自爬升模板系统空间有限元分析[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2023,22(04):148-152.