

# 高速公路运营状态下独柱墩钢盖梁同步顶升施工控制技术

李孟阳 张伟 李柏楠

西南交通建设集团股份有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i1.19025

**[摘要]** 近年来,独柱墩桥梁倾覆事故频发,给人民生命财产和交通安全带来严重威胁,运营状态下加固改造需求日益迫切。本文以石锁高速公路独柱墩桥梁加固工程为研究对象,系统研究了钢盖梁加固技术与同步顶升施工控制技术。通过结合工程实践,分析了钢盖梁结构设计、工厂化预制、吊装定位、同步顶升系统组成与控制等关键技术要点,提出了运营状态下施工控制的技术体系与保障措施。研究结果表明,采用PLC同步顶升技术可实现总高度不超过4mm、同步精度 $\pm 1\text{mm}$ 的高精度顶升,有效保证了桥梁结构安全和运营畅通,为类似工程提供了可复制的技术标准和施工流程。

**[关键词]** 独柱墩桥梁; 钢盖梁; 同步顶升; 运营状态

**中图分类号:** F530.86 **文献标识码:** A

## Control Technology for Simultaneous Top-Up Construction of Single-column Pier Steel Deck Girders during Highway Operation

Mengyang Li Wei Zhang Bainan Li

Southwest Transportation Construction Group Co., Ltd

**[Abstract]** In recent years, incidents of overturning of single-column pylon bridges have occurred frequently, posing a serious threat to people's lives and property as well as traffic safety. The demand for reinforcement and renovation during operation has become increasingly urgent. This paper takes the reinforcement project of a single-column pylon bridge on the Shishuo Expressway as the research object, and systematically studies the steel cover beam reinforcement technology and the control technology for simultaneous lifting construction. Through combining with engineering practice, the key technical points such as the structural design of the steel cover beam, factory prefabrication, hoisting positioning, composition and control of the simultaneous lifting system, etc. were analyzed. The technical system and guarantee measures for construction control during operation were proposed. The research results show that the PLC simultaneous lifting technology can achieve a total height of no more than 4mm and a simultaneous accuracy of  $\pm 1\text{mm}$ , effectively ensuring the safety of the bridge structure and smooth operation, and providing replicable technical standards and construction procedures for similar projects.

**[Key words]** single-column pier bridge; steel deck girder; simultaneous lifting; operational status

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

独柱墩桥梁因其占地面积小、桥下空间开阔、视觉通透性好等优点,在城市立交、高速公路互通区得到广泛应用。在运营状态下对独柱墩桥梁进行加固改造,既能消除安全隐患,又能最大限度减少对交通的影响,具有重要的现实意义和紧迫性。钢盖梁加固技术作为一种新型加固方法,通过在独柱墩顶部增设钢盖梁,将原单支承体系改为多支承体系,可显著提高桥梁的抗扭转变形能力和抗倾覆稳定性,具有施工快捷、对交通影响小、经济环保等优势,应用前景广阔。

### 1.2 国内外研究现状

国外独柱墩加固技术发展较早,欧美等发达国家在桥梁加固领域积累了丰富的经验,形成了较为完善的加固技术体系。国内独柱墩抗倾覆加固技术研究起步较晚,但近年来发展迅速。陈羲等通过MIDAS FEA软件对曲梁独柱墩增设钢盖梁加固模型进行有限元分析,验证了钢盖梁加固方案的有效性。

## 2 工程概况与重难点分析

### 2.1 工程概况

石锁高速公路主线采用双向四车道高速公路标准建设,设计时速100千米/小时,路基宽度26.00米。管养里程131.384公里,

其中主线105.184公里,连接线10.86公里,匝道15.34公里。全线共有桥梁232座,桥隧比为17.7%,设置半截河、鹿阜、长湖、弥勒北、弥勒南、竹园、锁龙寺7处互通式立交。本项目施工范围包含弥勒南互通、锁龙寺互通的独柱墩桥梁加固工程。

桥梁技术标准:安全等级一级,公路等级高速公路,汽车荷载公路I级,桥梁所处环境类别I类。独柱墩桥梁分布情况:弥勒南互通和锁龙寺互通区域存在多座独柱墩桥梁,需进行抗倾覆加固处理。

## 2.2 加固方案设计

钢盖梁加固方案的核心原理是将中墩的单支承体系改为多支承体系,通过在独柱墩顶部增设钢盖梁,在钢盖梁两端安装新增支座,以增强桥梁的抗扭转变形能力和抗倾覆稳定性。主要工程数量包括:独柱墩加固工程、钢盖梁安装工程等。新增支座采用GYZF4 600×153型四氟滑板板式橡胶支座,该类型支座具有承载能力高、位移性能好、耐久性强等特点。

## 2.3 施工重难点分析

运营状态下施工的特殊性:本项目需在高速公路运营状态下进行施工,保通与施工并行,对施工组织和安全管理提出了更高要求。独柱墩加固施工空间受限:受上部结构影响,施工操作空间受限,垫石浇筑、钢模板吊装、支座安装等工序难度较大。钢盖梁吊装与定位精度控制:钢盖梁半成品构件重量较大,需对准已预埋螺栓,对吊装设备和操作技术要求较高。同步顶升的高精度要求:顶升总高度不超过4mm,同步精度要求±1mm,需采用专业同步顶升系统实现多点联动调节。钻孔植筋对原结构的保护:钻孔时需避开主筋,避免对原结构造成损伤。

# 3 钢盖梁制作与安装技术

## 3.1 钢盖梁结构设计

钢盖梁为主要承重和传力构件,采用Q345q-C级钢板工厂焊接制造。其主要构造组成包括:顶板(N1)、腹板(N2)、墩柱包裹板(N3、N4、N5)、加劲肋(N6系列)、支座上下连接板(N8、N9)等部件。锚固系统包括用于将钢盖梁锚固于原混凝土墩柱的M30高强锚栓,以及用于将支座上钢板连接至箱梁底板的M30锚栓。

结构受力特点:钢盖梁将原独柱墩的支点支承改为多点支承,当桥梁发生偏载时,新增支座参与受力,由单点支承变为多点支承,显著增强了结构的抗扭转变形能力。传力路径为:上部荷载→箱梁→新增支座→钢盖梁→锚栓→原墩柱→基础。

## 3.2 工厂化预制工艺

钢板预处理:钢板下料前需进行辊平处理,确保板面平整度;采用抛丸除锈,达到Sa2.5级表面处理标准;涂装环氧富锌底漆进行临时防护。下料与拼装:采用数控切割设备进行精确下料,严格控制尺寸偏差;在专用拼装胎架上进行部件拼装,确保组装精度。

焊接工艺:必须由有资质的厂家在厂房内完成,焊工需持证上岗;进行焊接工艺评定,编制详细的焊接工艺规程;焊缝交汇处需做R=20mm圆弧切角以避免应力集中。焊缝质量检验:焊后24h进行无损检测,确保焊缝质量满足规范要求。防腐涂装体系:

采用环氧富锌底漆、环氧中间漆、丙烯酸脂肪族聚氨酯面漆三道涂装体系,涂装环境要求相对湿度≤85%,温度≥10℃,无雨、雾、大风天气。

## 3.3 钢盖梁吊装技术

吊装方案分类:根据墩柱高度采用差异化吊装工艺。(1)2米以下的墩柱:用悬臂吊机将钢盖梁吊至桥墩下,直接用手拉葫芦起吊;(2)2-10米高的墩柱:安装脚手架之前用悬臂吊机将钢盖梁吊至桥墩下,然后再安装脚手架,用手拉葫芦起吊;(3)10米以上的墩柱:用手拉葫芦配合卷扬机一起起吊,先用卷扬机提升至安装位置以下1米左右,然后用手拉葫芦缓慢提升。

吊装工艺要点:根据不同型号的钢盖梁分别计算重心,确定起吊位置;吊装前将左右两半钢盖梁拼装好,将墩柱抱住,进行试吊;吊升时两侧钢盖梁应匀速、同步起吊,不断检查是否发生偏移并及时调整;吊至指定位置后进行临时固定和试拼,试拼完成后尽快完成安装。

## 3.4 钢盖梁定位与锚固

锚栓孔位精确定位:使用钢筋探测仪探明墩柱内钢筋位置,按设计图纸在墩柱和箱梁底板放样,标定锚栓孔位,避开主筋。钻孔工艺控制:若孔位与钢筋冲突,可微调孔位,并相应调整钢板上孔位;不能一次性全部凿好后再插钢筋,应分批进行钻孔,避免对桩身截面削弱太大。

清孔与注胶:用压缩空气和硬毛刷彻底清理孔洞,确保无尘干燥;向孔内注入约2/3孔深的专用A级锚固胶。锚栓安装:将锚栓植入孔中,检查外露长度符合要求,清除溢出的胶黏剂;待胶体固化前避免扰动。压力注胶:在钢盖梁的墩柱包裹板与墩身混凝土之间的缝隙处,压力灌注胶黏剂,确保钢板与混凝土密贴共同受力。

# 4 同步顶升施工控制技术

## 4.1 同步顶升系统组成

液压顶升系统:包括千斤顶配置、泵站系统等,千斤顶选用需满足承载力和行程要求,泵站系统提供稳定的液压动力。计算机控制系统:采用PLC(可编程逻辑控制器)控制系统,实现多点液压同步、均衡性顶升控制。实时监测与反馈系统:配置位移传感器、压力传感器,对各项升点的位移和压力进行实时监测和反馈控制。

## 4.2 顶升施工工艺流程

施工准备阶段:进行设备调试,确保各部件工作正常;在桥面布设监测点,建立监测基准。顶升阶段:进行接触检查,确保千斤顶与梁体接触良好;系统归零,消除初始误差。正式顶升阶段:采用分级顶升方式,每级顶升高度严格控制;通过计算机控制系统实现多点同步控制。支座安装阶段:在顶升状态下进行垫石施工,预埋支座下连接钢板;安装新支座,并将支座上钢板通过锚栓和注胶方式固定于箱梁底板。落梁阶段:同步回落梁体,实现受力转换;拆除顶升系统,进行检查验收。

## 4.3 同步控制关键技术

顶升高度控制:总高度不超过4mm,分级实施,每级顶升高度

根据计算确定。同步精度控制: 精度要求 $\pm 1\text{mm}$ , 采用多点联动调节, 实时监测各点位移差, 超差时自动调整。顶升速度控制: 保持平稳匀速顶升, 避免冲击荷载, 速度控制在合理范围内。压力监测与均衡控制: 实时监测各项顶升点压力, 确保压力均衡分布, 防止局部超载。

#### 4.4 运营状态下的特殊控制措施

交通荷载影响分析: 分析车辆通行对顶升精度的干扰, 确定不利荷载工况。分车道施工组织: 采用半幅通行方式, 实施临时交通导改; 设置符合《公路养护安全作业规程》的交通安全设施。动态监测与实时调整: 建立动态监测系统, 应对突发荷载变化; 出现异常情况时, 实时调整顶升参数。应急预案与快速响应机制: 成立应急领导小组, 制定顶升异常应急处置预案; 出现偏斜、超差、系统故障时, 立即停止作业, 排查原因。

#### 4.5 顶升过程监测技术

结构位移监测: 监测梁体竖向位移、横向偏移, 确保位移在允许范围内。应力监测: 监测关键截面应力变化, 评估结构受力状态。裂缝监测: 监测墩柱、梁体裂缝发展情况, 防止裂缝扩展。数据实时采集与分析系统: 建立数据采集系统, 对监测数据进行实时分析, 及时预警异常情况。

### 5 关键工序质量控制

#### 5.1 混凝土表面处理质量控制

凿毛工艺: 采用多头凿毛机进行墩柱表面处理, 控制凿毛深度, 露出坚实基层; 凿毛后采用高压水清洗, 保持干燥清洁。植筋质量控制: 植筋时加强养护, 在植入钢筋进行焊接连接时, 采用湿土工布包裹降温, 减小焊接对已植钢筋的影响。

#### 5.2 钻孔植筋质量控制

钢筋探测与孔位优化: 使用钢筋探测仪精确定位, 避免损伤原结构钢筋; 若与钢筋冲突, 可微调孔位。钻孔参数控制: 控制钻孔直径、深度、垂直度, 确保满足设计要求。清孔质量检验: 清孔必须彻底, 达到无尘、干燥标准。植筋胶性能要求: 采用A级植筋胶, 性能指标满足规范要求。植筋拉拔试验: 进行植筋拉拔试验, 验证锚固质量。

#### 5.3 支座安装质量控制

垫石施工: 浇筑混凝土垫石, 预埋支座下连接钢板(N9), 控制垫石高程和平整度。支座选型与检验: 选用GYZF4 600 $\times$ 153型四氟滑板支座, 进行进场检验。支座安装精度: 控制支座高程、平整度、水平度, 确保支座均匀受力。支座受力特性控制: 新增支座在恒载下不受力, 仅在偏载时参与工作, 确保支座安装后受

力特性符合设计要求。

#### 5.4 焊接与防腐质量控制

现场焊接工艺: 垫块与楔块焊接、上下钢板焊接需严格按照焊接工艺规程执行。焊缝质量检验: 进行焊缝外观检查 and 无损检测, 确保焊缝质量。防腐涂层修补: 运输安装过程中损伤的涂层需按原涂装体系要求进行修补, 确保防腐效果。

### 6 结论与展望

#### 6.1 工程实施效果

施工进度与质量控制结果: 工程按计划顺利完成, 各分项工程质量验收合格。同步顶升精度实测数据: 顶升完成后桥面实测高程与理论高程相差较小, 顶升高度控制良好; 顶升力控制良好, 未出现超理论顶升力现象; 顶升过程中测点应力较小, 最大拉应力变化值和压应力变化值都小于 $1.0\text{MPa}$ , 符合设计要求; 顶升过程中裂缝没有明显扩展。支座受力特性验证: 新增支座在恒载下不受力, 在偏载时参与工作, 受力特性符合设计要求。

#### 6.2 技术创新点

运营状态下高精度同步顶升技术: 实现了总高度不超过 $4\text{mm}$ 、同步精度 $\pm 1\text{mm}$ 的高精度顶升, 验证了同步顶升技术在运营高速公路应用的可行性。分高度段差异化吊装工艺: 根据墩柱高度采用差异化吊装工艺, 提高了施工效率和安全性。保通与施工协同组织模式: 建立了保通与施工协同组织模式, 实现了施工与运营的有序衔接。

#### 6.3 经验与建议

施工组织经验总结: 加强前期调查, 准确掌握原桥技术状况; 优化施工组织, 合理安排施工顺序; 加强协调配合, 确保各工序衔接顺畅。质量控制关键点总结: 钢盖梁制作质量、锚栓施工质量、同步顶升精度是关键控制点, 需严格把关。

#### [参考文献]

- [1]高俊先.高速公路桥梁盖梁顶升施工及监测[J].广东建材,2025,41(06):162-165.
- [2]关晓旭.高速公路桥梁工程墩柱盖梁施工技术探析[J].低碳世界,2025,15(01):133-135.
- [3]陈益炜,丁南南,陈军.既有柱式墩增设盖梁施工技术[J].城市道桥与防洪,2025,(11):261-265.

#### 作者简介:

李孟阳(1992--),男,汉族,云南省水富市人,工程师,工学学士学位,主要从事公路基础设施建设、运营研究。