

# 浅谈牛腿法同步顶升更换空心板梁支座的施工技术

曾俊志 韦福堂 朱世桃

(柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005)

**摘要:**本文结合工程实例主要介绍了采用PLC同步智能顶升系统,利用其“工控机+可编程控制器+液压控制系统”组成分布式控制系统,实现位移控制同步,循环顶升,直至顶升高度达到设计要求,进行更换支座施工。详细介绍牛腿顶升法在施工中需注意的相关事项,该方法有效解决了梁底与盖梁之间无直接顶升空间的问题,为以后同类型桥梁施工提供了借鉴和经验。

**关键词:**牛腿法 PLC 同步 更换支座

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2014.04.007

## 1 引言

我国高速公路自上世纪90年代发展以来,已取得了显著的成绩,其中大部分中、小桥梁采用先简支后连续的板梁结构。随着现今交通荷载的不断增大以及使用年代久远,导致部分桥梁的支座出现了剪切变形、开裂等现象,为保证桥梁使用寿命需更换支座。同时随着现代交通要求,部分桥梁的桥下净空已不满足通行要求,需要整体顶升加高。由于空心板梁桥是一种预制装配式桥梁结构,其铰缝在横向连接中具有重要作用,根据现有规范及设计要求,为避免梁体在更换支座施工中因顶升不同步导致铰缝破坏失效及路面连续段破坏而影响桥梁整体稳定性,因此,梁体顶升以及落梁施工必须以一联为单位,单跨或多跨整体同步施工。根据施工条件的不同,同步顶升更换支座施工可分为牛腿法、直接法以及支架法。本文结合京港澳耒宜高速公路大修工程第四合同段施工,以牛腿法为例作重点介绍。

## 2 工程概括

耒宜高速公路是京港澳国家高速公路(G4)湖南境内最南端的一段,北起耒阳以东的陈家乡与潭耒高速公路相连,途经耒阳、永兴、苏仙、北湖、宜章等县市区,全长135.377公里,共包含131座桥梁。其中板梁结构形式桥梁为单跨和多联跨,跨径以8m、13m、16m、20m和25m为主。经过10余年的运营,部分支座已出现老化、开

裂、变形等现象。根据整体设计思路本次施工通过整体抬高桥梁上部结构的高度来消除路面铺装与桥面铺装结构厚度差,从而实现路面与桥面纵断面平顺衔接,并通过更换支座提高桥梁的耐久性。

## 3 顶升方法的确定

由于本次施工桥梁顶升高度较大,梁底与盖梁间无法直接放置千斤顶,同时需顶升桥梁数量多,工期也较紧,为确保在合同规定的工期内保质保量地完成施工任务,结合现场实际情况项目部决定采用在盖梁上安装钢牛腿。即先在盖梁两端安装止滑钢牛腿,在每个铰缝处正下方设置一个钢牛腿,利用钢牛腿作为反力基础,构建牛腿——千斤顶顶升体系实施顶升。

## 4 牛腿的设计及安装

### 4.1 牛腿数量的确认

单幅桥梁断面由十片空心板梁组成,单幅单端同步顶升需设置11台千斤顶,示意图见图1。

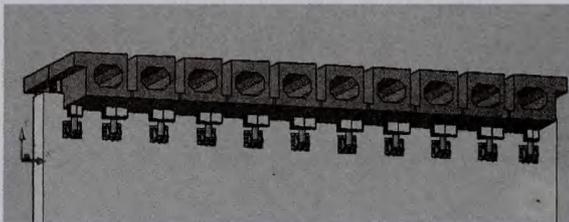


图1 牛腿安装示意图

### 4.2 牛腿的设计

(1) 根据需顶升桥梁的荷载及结构设计牛腿样式,通过植筋方式将牛腿固定在盖梁上,通

过螺栓受力,构造图见图2。

(2) 强度设计参数(以跨度16m空心板梁为例)

#### a. 牛腿荷载计算

单个牛腿所受剪力  $V=125$  (kN)

单个牛腿所受拉力  $N=62.5$  (kN)

#### b. 钢板强度设计值

抗拉、弯、压强度设计值  $f=205$  (MPa)

焊缝强度  $f_w=160$  (MPa)

#### c. 螺栓强度设计值

选用10.9级高强螺栓,螺栓抗拉强度标准值  $f_{stk}=1000$ MPa,屈服强度标准值  $f_{yk}=900$ MPa。

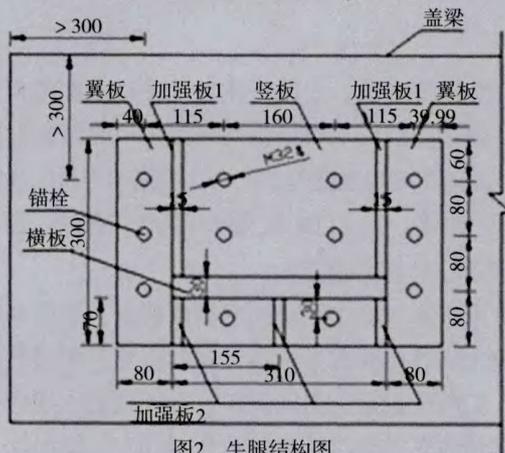


图2 牛腿结构图

### 4.3 牛腿结构计算

牛腿的设计计算主要包括:牛腿的强度验算,螺栓抗拉、抗剪验算,混凝土破坏验算。限于篇幅,本文选取部分进行重点介绍。

#### 4.3.1 牛腿强度计算

首先建立牛腿的受力计算模型,当梁体离开原支座位置时,牛腿所受应力最大,其上排4根螺栓为最不利受力情况,牛腿有限元分析模型见图3。

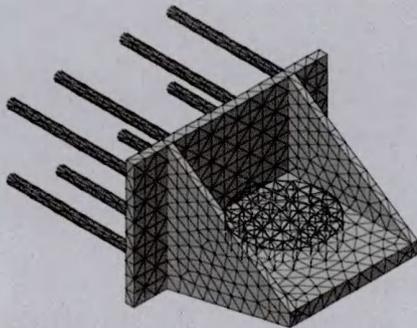


图3 牛腿有限元模型图

通过Midas fea分析所得结果见图4。

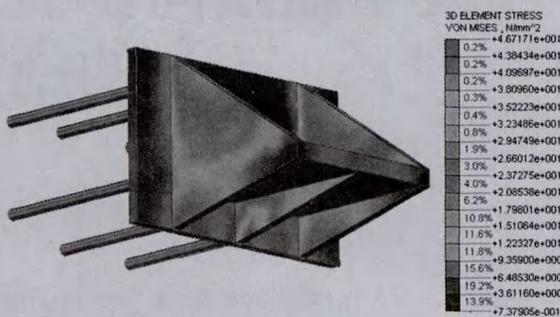


图4 范梅赛斯应力云图

由分析结果可以得出,牛腿最大应力处位于中间加强板与竖板连接位置,最大应力为46.7MPa,小于205MPa,安全。

#### 4.3.2 螺栓连接强度验算

根据钢结构设计规范(GB 50017-2003),螺栓连接仅考虑其杆轴方向受拉情况,单根螺栓承载力设计值按下式计算:

$$N_t^a = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^a$$

式中:  $d_e$ —螺栓在螺纹处的有效直径;

$f_t^a$ —螺栓的抗拉强度设计值。

单根螺栓承载力设计值:

$$N_t^a = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^a = \frac{3.14 \times 27 \times 10^{-3} \times 27 \times 10^{-3}}{4} \times 1000 \times 10^6 \times 10^{-3} = 572.265 \text{ kN}$$

单根螺栓拉力设计值:

$$\sigma = \frac{N}{\text{锚栓根数}} = \frac{62500}{4} \times 10^{-3} = 15.625 \text{ kN} <$$

572.265kN, 安全。

#### 4.3.3 螺栓受剪承载力验算

根据混凝土结构后锚固技术规程(JGJ 145-2004),对螺栓钢材受剪破坏、混凝土楔形体剪切破坏与混凝土剪撬破坏三种情况进行验算(本文只介绍对螺栓钢材受剪破坏)。

(1) 受剪承载力设计值  $V_{Rd,s}$  应按下列规定计算:

$$V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{R,s,V}$$

式中  $V_{Rk,s}$ —螺栓或植筋钢材破坏时的受剪承载力标准值;

此处按纯剪计算:

$$V_{Rk,s} = 0.5 A_s f_{stk} = 0.5 \times 3.14/4 \times 27 \times 27 \times 10^6 \times 1000 \times 10^6 \times 10^3 = 286.13 \text{ kN}$$

式中  $\gamma_{R,s,V}$ —螺栓或植筋钢材破坏时的受剪承载力分项系数,按规程表采用。则:

$$\gamma_{R,s,V} = 1.3 f_{stk} / f_{yk} = 1.3 \times 1000 / 90 = 1.444$$

所以,受剪承载力设计值:

$$V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{R,s,V} = 286.13 / 1.444 = 198.15 \text{ kN}$$

(2)牛腿螺栓上作用的荷载主要为竖直向的剪力,忽略扭力的影响,由于上排4根螺栓呈最不利受力情况,假设所承载由上排4根螺栓均匀受力,则承受剪力最大螺栓的剪力设计值为:

$$V_{sd}^h = V_{si,max}^V = V / n = 125000 \times 10^{-3} / 4 = 31.25 \text{ kN}$$

式中  $V_{sd}^h$ —承受剪力最大螺栓的剪力设计值;

$V_{si,max}^V$ —螺栓*i*所承受的剪力合力值;

$V$ —剪切荷载设计值;

$n$ —参与受剪的螺栓数目。

因此,  $V_{sd}^h = 31.25 \text{ kN} < V_{Rd,s} = 198.15 \text{ kN}$ ,安全。

#### 4.4 牛腿安装

牛腿安装主要工序为钻孔植筋。植入深度必须符合《混凝土结构加固设计规范》(GB50367-2006)12.3节规定。植筋胶性能必须符合《公路桥梁加固设计规范》(JTG/TJ22-2008)表4.6.6的要求。

工艺流程:钻孔→清理钻孔→灌胶→插入锚筋。

### 5 智能同步顶升系统

#### 5.1 系统简介

PLC桥梁同步顶升系统采用“工控机+可编程控制器+液压控制系统”组成分布式控制系统,选择“位移+压力双闭环控制、应力限值报警”的监控策略,实现各顶升点位移与压力在线监测与反馈调节。采用变频技术实现液压系统小流量调节,实现高精度同步顶升与同步下降。采用梁板应力监测,保证顶升与回落过程桥梁结构安全。

#### 5.2 系统结构

该系统主要由监控主机、主站、从站、千斤顶、位移传感器、压力传感器、应力传感器等部件组成。其中一台主站可控制12台从站,一台从站可控制4台千斤顶。

#### 5.3 技术参数

控制方式:手动/自动

升降速度:0.2mm/min~1mm/min

系统同步控制精度:  $\leq \pm 0.50 \text{ mm}$

系统最高工作压力:31.5MPa

系统泵站流量:4L/min

顶升高度:随千斤顶行程变化

系统工作电源:AC380V/50Hz 三相五线制

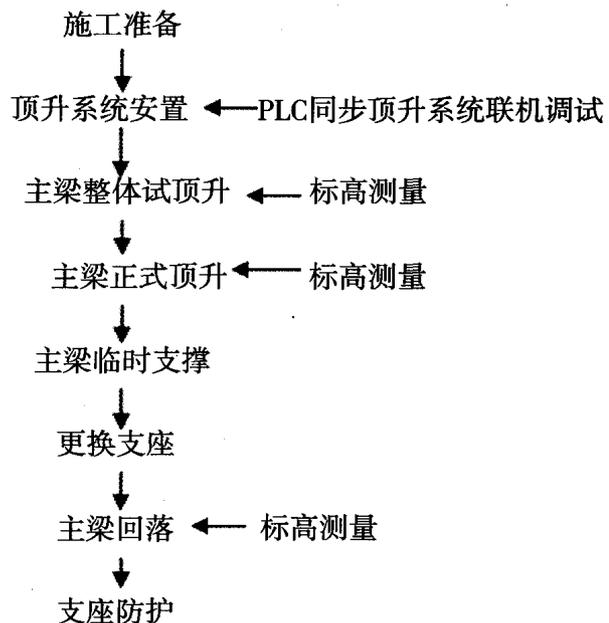
系统装机功率:5KW(单泵站)

工作油温:  $-10^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$

环境温度:  $-25^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$

### 6 同步顶升更换支座施工

#### 6.1 工艺流程图



#### 6.2 顶升设备安装

根据空心板重量及顶升高度,选用大行程千斤顶,总顶升力宜为梁体总重3倍以上。千斤顶均需配置液压锁,以防止任何形式的系统及管路失压,从而保证负载的有效支撑。安放必须水平垂直,对于千斤顶与梁体接触面积不够的还需要增加扩大钢板以减少混凝土承压力。

由于本工程采用位移控制同步性,为能通过控制台直观的观测每台千斤顶的运行情况,需对每台千斤顶编号且必须与控制台的编号相对应,并对每台千斤顶设置位移传感器,安装须垂直于水平面。

以牛腿作为顶升反力基础,千斤顶的布置形式如图5所示:



图5 千斤顶布置图

## 6.3 更换支座施工

### 6.3.1 同步顶升施工

(1) 当所有准备工作就绪后,启动自动顶升系统自动运行。首先通过荷载顶升使每个千斤顶受力均匀,当千斤顶总体受力达到梁体总重80%时,变换为位移顶升,并通过位移来控制同步顶升,第一次位移顶升前必须将数据清零,竖向位移必须在误差范围内,此后数据叠加。

(2) 观察顶升过程中同步控制误差对构件的影响。记录顶升过程中的油压最大、最小值,并时刻监测主梁结构状态偏移是否在规定范围内,在误差出现时应及时进行修正。

(3) 顶升过程中随时监控负荷、结构状态,并派专人进行梁体标高测量,检验顶升高度,实行双控。

(4) 每次顶升以3mm为一级,每一级到位后就进行临时支墩的安装,并检查各项及结构的情况,确保工作状态良好后再进行下一级顶升,如此反复。

(5) 对于千斤顶活塞一次行程不能顶升至设计高度的,需进行体系转换,利用临时支墩支撑整个梁体,将力全部转移至临时支墩后,再将千斤顶活塞收缩至原始状态,在千斤顶上方或下方加高相应支墩后再进行下一次顶升,直至顶升到设计高度。

### 6.3.2 更换支座

(1) 拆除旧支座。

(2) 根据设计要求进行新支座和刚性垫石安装。

(3) 新支座安装时,支座位置按十字中心线对中,纵横向误差在允许范围之内,对于i坡

>2%则采用楔形钢板垫平,使支座表面与预制支座垫层、墩台及梁板紧密贴合。

### 6.3.3 同步落梁施工

(1) 支座更换完成后方可落梁施工。

(2) 落梁时按先拆后降的原则拆除临时支撑,注意避免碰撞支座,以保证支座位置。落梁工艺采用逆顶升法缓慢降落同一幅的每片梁。

(3) 千斤顶必须按设计的行程同步回落,同时观测梁体回落高度和千斤顶的起顶力,施行双控。

(4) 当梁体落到离支座面间隙5mm左右时,停止落梁,测量梁体标高是否达到设计值,如未达到设计值,查找原因进行顶升调整,满足设计要求后进行整体落梁。

## 7 施工质量控制要点

(1) 施工过程中除对梁面高度进行监控外,还需对墩台沉降、梁体纵横位移监控,并安装纵横限位装置。

(2) 位移同步性需控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内,并同时监控梁体应力变化的情况。

(3) 顶升施工前需检测梁体是否与其他构件相连,如有则必须解除,使梁体独成一整体。

(4) 正式施工前需对顶升系统进行检查和试顶升。

(5) 桥梁顶升期间,桥梁上部禁止车辆通行,车辆必须借道分流。

## 8 结语

经过实践证明,采用PLC同步顶升施工技术,其施工时间较短,可运用于单跨、多跨连续桥梁顶升及更换支座施工。整体同步顶升不仅提高了对桥梁整体位移的精确度,又可通过对每个顶升点的位移和压力监控,随时分析出荷载过大的顶升点位置,可让工作人员能及时进行处理,大大提高了施工质量。其牛腿法施工,解决了梁底与盖梁之间顶升空间不够的情况。

### 参考文献

- [1] GB 50017-2003, 钢结构设计规范[S].
- [2] GB50367-2006, 混凝土结构加固设计规范[S].
- [3] JTG/TJ22-2008, 路桥梁加固设计规范[S].
- [4] JGJ 145-2004, 混凝土结构后锚固技术规程[S].
- [5] 曾庆东. 桥梁同步顶升系统在潭耒高速公路提质改造工程中的应用[J]. 辽宁省高等专科学校学报,2013(5): 6-10.