

# 城市受限空间大跨度钢箱梁“吊装+提升”组合安装工法研究与应用

李金建

上海洪铺钢结构工程有限公司 上海 201400

**摘要:**在城市核心区快速路升级改造工程中,大跨度钢箱梁安装常面临既有桥梁承载限制、交通通行刚性要求等多重约束,传统施工工法难以兼顾安全性与施工效率。以上海市浦东新区杨高北路改建工程为背景,针对跨曹家沟地面桥病害限制、施工区域空间狭窄等技术难题,创新采用“边跨吊装+中跨提升”组合安装工法,结合400t履带吊单机吊装与液压同步提升技术,实现了(48.5+70+48.5)m大跨度钢箱梁的安全、高效安装。本文系统阐述该组合工法的工艺原理、关键技术及施工流程,通过Midas Civil、ANSYS等软件进行结构受力验算,并结合施工现场的实测数据验证该组合工法的工程可行性。

**关键词:**受限空间;大跨度钢箱梁;组合安装工法;履带吊吊装;液压同步提升

**引言:**在城市核心区快速路升级改造中,大跨度钢箱梁安装普遍面临场地受限、交通保通压力大、既有结构承载力不足等突出问题,传统整体吊装或分段架设工法难以满足安全、高效、环保的施工要求。以上海市浦东新区杨高北路改建工程为依托,工程跨曹家沟地面桥存在病害及承载限制,施工区域空间狭窄,常规施工方案无法实施。为破解上述技术瓶颈,本文研究并应用“边跨吊装+中跨提升”组合安装工法,融合大吨位履带吊单机吊装与液压同步提升技术,通过数值模拟与现场实测相结合,对(48.5+70+48.5)m钢箱梁施工全过程进行分析,验证该工法在受限空间下的适用性与可靠性,为同类城市桥梁工程提供技术参考与实践借鉴。

## 1 工程背景与技术难题

### 1.1 工程概况

杨高北路(洲海路~金海路)改建工程是上海市浦东新区重要的快速路升级项目,路线全长6.6km,其中1标段跨线桥P17~P20墩段采用(48.5+70+48.5)m连续钢箱梁结构,跨越既有曹家沟地面桥。钢箱梁采用分离式多箱结构,主材为Q345qD钢板,总用钢量约2300t,梁高2.2~3.5m,标准桥宽24m,最大节段重量达180t,最长节段长度50.5m。结构形式及分段如图1。

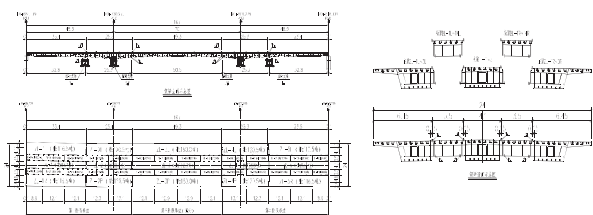


图1 钢梁结构示意图

该工程地理位置特殊,施工区域位于城市核心交通干道,周边管线密集,包含110KV高压走廊、给水管线等重要设施。钢箱梁施工需在保证既有地面桥结构安全、不中断主线交通的前提下完成,施工组织难度极大。

### 1.2 核心技术难题

#### 1.2.1 既有桥梁承载限制

曹家沟地面桥建成于1993年,为3跨简支梁结构,跨径布置16+21+16m,经检测桥面系、上部结构及下部结构均为B级状态,存在明显病害。根据检测报告要求,严禁在桥上搭设支架、布置临时结构及停放大型起重机械,钢箱梁安装不得对既有桥梁产生额外荷载影响,排除了传统临时支架施工方案的可行性。

#### 1.2.2 施工空间严重受限

杨高北路为上海市南北向主要干道,交通流量已近饱和,施工期间需保持3进3出车道正常通行,可封闭施工区域宽度仅为常规施工所需空间的1/3。狭窄的作业空间导致双机抬吊、大型支撑体系等传统工法无法实施,对施工机械选型、构件分段及安装顺序提出了严苛要求。

#### 1.2.3 大吨位大跨度安装挑战

钢箱梁最大节段重量180t、最大跨度70m,在受限空间内实现大吨位构件的精准定位与拼装,需解决吊装设备站位优化、提升同步控制、结构临时稳定等技术问题。同时,施工区域存在110KV高压走廊,与边墩P17平面距离 $\geq 15m$ ,需严格控制吊装机械作业半径与安全距离。

#### 1.2.4 交通组织与施工协调难度大

施工需避让高峰交通流量,构件运输与吊装作业只

能在夜间22:00至次日6:00进行,且需协调市政、交警、电力等多部门,确保施工与交通通行的动态平衡,对施工计划的精准性与应急处置能力提出了极高要求。

## 2 组合安装工法原理与总体方案

### 2.1 工法核心原理

“边跨吊装+中跨提升”组合安装工法的核心思路是:充分利用有限作业空间,将连续钢箱梁分为边跨节段与中跨节段分别施工。边跨节段采用400t履带吊超起工况单机吊装,利用施工围挡内的有限空间布置吊机站位,通过优化吊装路径避免对既有桥梁与交通的影响;中跨节段采用液压同步提升技术,在桥体两端设置提升支架,通过4台100t油缸同步作业,将预存于地面桥上方的钢箱梁节段提升至设计标高,实现精准对接。

该工法通过“化整为零”的构件分段策略与“空间换时间”的施工组织理念,有效破解了受限空间下大跨度钢箱梁安装的多重约束。

### 2.2 总体施工方案

钢箱梁安装分为四个阶段实施:

(1) 预存阶段:采用400t履带吊+350t汽车吊双机抬吊,将中跨中纵梁ZL-3(平面投影位于曹家沟地面桥隔离带位置)提前放置于曹家沟地面桥上方临时支墩上,临时支墩下方铺设路基箱与黄沙找平层,确保受力均匀传递。

(2) 南侧边跨安装:400t履带吊超起工况单机吊装P17~P18墩节段,横桥向由东往西、纵桥向由北往南依次安装纵梁与板梁,共完成17个节段安装。

(3) 北侧边跨安装:采用与南侧对称的吊装顺序,完成P19~P20墩17个节段安装,履带吊站位与行走路线经专项地基承载力验算,确保吊装施工的稳定。

(4) 中跨提升与合拢:通过液压同步提升系统将中跨纵梁ZL-3、ZL-3L、ZL-3R依次提升至设计标高,板梁BL-6~BL-9采用50t汽车吊与350t汽车吊配合安装,最后完成全桥焊接与涂装。

## 3 关键技术研究与应用

### 3.1 构件分段与吊装路径优化技术

#### 3.1.1 科学分段设计

结合运输路线限宽、限高要求及现场吊装设备能力,采用三维建模技术进行钢箱梁分段优化,纵桥向按受力特点分为5个纵梁节段,横桥向分为5个节段,确保每个节段满足:①运输道路承载、限行要求;②吊装设备起重性能;③结构临时稳定性。通过ANSYS软件对分段接口受力进行模拟分析,确保分段处应力集中系数 $\leq$

1.2,满足结构承载要求。

#### 3.1.2 吊装路径动态规划

利用BIM技术建立施工区域三维模型,整合既有桥梁、地下管线、高压走廊等环境信息,动态规划400t履带吊行走路线与吊装半径。针对110KV高压走廊安全距离要求,通过调整吊机站位与吊装顺序,采用“低幅起吊、平移就位”的吊装路径,确保吊机大臂与高压线水平距离 $\geq 4\text{m}$ 、垂直距离 $\geq 5\text{m}$ ,满足《施工现场临时用电安全技术规范》要求。同时,利用BIM模型进行吊装过程动态模拟,提前识别碰撞风险,优化吊机回转角度与起吊高度。

### 3.2 400t履带吊单机吊装关键技术

#### 3.2.1 设备选型与站位优化

400t履带吊具有较强的起重能力与良好的机动性,通过BIM建模与吊装仿真,精确确定吊车站位位置,避开既有曹家沟地面桥结构影响范围,利用桥侧已建路基作为作业平台,实现大吨位钢箱梁的安全起吊与就位。

#### 3.2.2 吊装稳定性与安全控制

针对单机吊装大跨度、大吨位钢箱梁的特点,重点控制吊索夹角、吊点布置与起重臂角度。通过计算分析确定最优吊点位置,选用高强钢丝绳及专用吊具,确保吊装过程中梁体受力均匀、姿态平稳。同时设置风速监测、地基沉降监测及起重设备状态监测系统,形成全过程动态安全管控机制。

### 3.3 中跨液压同步提升关键技术

#### 3.3.1 提升系统设计

提升系统以加强型贝雷架(长6m)为主要承载杆件,通过调平垫块、钢扁担及 $\Phi 25$ 精轧螺纹钢,将提升千斤顶的拉力均匀传递至钢梁下锚固点,与已架设钢梁共同形成完整的受力体系。

单根钢梁节段提升采用4台100吨提升千斤顶,双侧对称布置,每侧两台千斤顶同步协同作业,为钢箱梁提供稳定的竖向提升力,实现钢梁节段的平稳同步顶升。钢梁由多轴线平板车运输至提升位置下方,就位后由提升系统接载并实施提升。

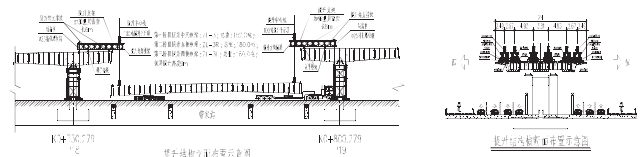


图2 提升结构示意图

#### 3.3.2 功能与工艺特点

功能与工艺特点:①分阶段提升:按照中间→东侧

→西侧的施工顺序分步进行提升作业,有效降低单次提升的荷载重量,大幅提升施工过程的安全性。②同步控制:多台100吨千斤顶集群作业,配合同步控制系统,实现钢梁匀速、同高程提升,避免偏载与扭曲。③姿态可调:通过调平垫块与贝雷架的微变形能力,可在提升过程中实时校正钢梁的线性与高程。④模块化承载:贝雷架与格构式支架均为模块化组拼结构,便于现场安装、拆卸与重复利用,适配大吨位钢梁提升需求。

### 3.4 结构受力验算与监测技术

#### 3.4.1 关键结构验算

(1)提升支架验算:采用软件建立有限元模型,模拟支架在最不利工况下的受力与变形。结果表明:结构支点最大压力340kN,拉力64kN;竖向最大位移为-5.23mm;结构的最大应力比为0.531,强度应力为144MPa。

(2)提升吊耳与钢梁局部验算:通过软件建立三维模型,采用shell63板单元模拟钢板,吊耳最大应力55MPa,钢梁局部最大应力96MPa,最大变形0.7mm,结构强度与刚度均满足要求。

(3)既有桥梁影响验算:通过软件建立曹家沟地面桥有限元模型,模拟钢箱梁临时搁置与安装过程对既有桥梁的影响,结果表明既有桥梁最大沉降2mm,最大位移1mm,均在允许范围内,不会对桥梁结构造成不利影响。

#### 3.4.2 施工过程监测

施工期间建立全过程监测体系,采用自动化监测与人工监测相结合的方式:

(1)钢箱梁安装偏差监测:采用全站仪监测轴线与标高,每节段安装后实测,轴线偏差 $\leq 3\text{mm}$ ,标高偏差 $\leq 2\text{mm}$ ,整体线形平顺度 $\leq L/5000$ (L为梁长);

(2)结构应力监测:在钢梁关键截面(支点、跨中、分段接口)粘贴应变片,采用静态应变采集系统实时监测焊接与提升过程中应力变化,控制最大应力 $\leq 180\text{MPa}$ ,避免应力集中导致结构损伤;

(3)提升同步性监测:通过计算机控制系统实时采集各提升点位移与荷载数据,绘制同步误差曲线与荷载分配曲线,确保提升过程同步、平稳。

## 4 工法应用效果与创新点

### 4.1 应用效果

本项目钢箱梁施工采用“吊装+提升”组合工法,施

工期间未发生技术事故,既有曹家沟地面桥沉降与位移均控制在允许范围内,未对桥梁结构造成不利影响;地面交通保持3进3出正常通行,未发生长时间交通拥堵。

### 4.2 工法创新点

(1)空间利用创新:针对受限空间条件,创新采用“边跨吊装+中跨提升”组合模式,避免了满堂支架与双机抬吊对空间的占用,仅利用施工围挡内有限区域完成大跨度钢箱梁安装,空间利用率提升40%以上;通过BIM技术动态规划吊装路径,解决了大型吊机在城市狭窄道路的站位与行走难题。

(2)同步提升控制技术创新:集成计算机同步控制、多传感器监测、自动纠偏等技术,开发位置同步与荷载分配双重控制策略,同步误差 $\leq 2\text{mm}$ ,就位精度达毫米级,解决了大跨度构件提升的同步性与稳定性难题;提升系统采用模块化设计,设备通用性强,可适用于不同跨度与吨位的钢结构提升。

## 5 结论与展望

### 5.1 结论

城市受限空间大跨度钢箱梁“吊装+提升”组合安装工法,通过构件科学分段、吊装路径优化、同步提升控制等关键技术,有效解决了既有桥梁承载限制、施工空间狭窄、交通通行刚性要求等技术难题。该工法以上海市杨高北路改建工程为依托,实现了70m大跨度、180t大吨位钢箱梁的安全高效安装,施工质量与技术指标均达到规范要求。

实践表明,该工法具有以下技术优势:①适应性强,可有效应对城市核心区域多重施工约束,无需占用既有桥梁与额外作业空间;②技术先进,集成BIM、有限元分析、液压同步控制等多项技术,实现施工过程的精准控制;③效率高,相比传统工法缩短工期10%~15%,减少交叉作业干扰。

### 参考文献

[1]交通运输部.公路桥涵施工技术规范:JTG/T 3650-2020[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.

[2]中华人民共和国住房和城乡建设部.重型结构和设备整体提升技术规范:GB 51162-2016[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.

[3]李建宏,张勇.液压同步提升技术在大跨度钢箱梁安装中的应用[J].桥梁建设,2020,50(S1):145-150.