

# 跨河跨高速双层大跨度钢桥空间三向液压传动 安装工艺探讨

高 岗<sup>1</sup> 刘力铭<sup>2</sup>

1. 上海绿地建筑钢结构有限公司 上海 200434

2. 上海浦东路桥(集团)有限公司 上海 201206

**摘要:** 市政道路改造提升交通功能项目中,大跨度钢桥纵向上跨通行高速、同时横向上跨航道。在不影响高速交通与河道通航情况下,分层施工大跨度钢箱梁桥梁是类似项目施工的一大难点。通过midas、sap2000等有限元分析软件验算、BIM技术三维动画模拟,采用纵向拼装、横向滑移、竖向提升(卸载)工况,空间三向安装工艺安装超大、超重钢桥,具有一定创新性。此工艺对不同类型大跨度钢结构桥跨越障碍物,提供有益的参考。

**关键词:** 跨航道跨高速; 双层大跨度钢桥; 液压悬挑滑移; 液压同步提升; BIM三维动画模拟

## 引言

伴随我国城市发展,对已有道路交通功能提升改造已在神州大地,如火如荼进行中。在既有复杂交通、繁杂地形环境下,大跨度钢桥施工采用空间三向液压传动工艺:①履带吊超起工况侧方位分段拼装大跨度钢梁,②利用端梁悬挑牛腿横向水平滑移单组钢梁,③再采用两岸提升支架竖向提升(卸载)钢箱梁至安装位置。利用此工艺,在上海外环高速上方新建川杨河高架桥:最大限度减小对川杨河通航与外环高速通车的影响;最大限度利用已有结构(钢桥原结构悬挑滑移)、减少了措施投入;最大限度压缩了安装工期。对类似工程也具有较强的借鉴意义。

## 1 工程实例

### 1.1 项目概况

工程位于上海市外环东段川杨河上,主要建设内容为:新建主线跨川杨河桥高架一座(下方为外环高速与川杨河),跨度 $55+90+55=200\text{m}$ ,钢桥重量 $6089\text{t}$ ;主线高架建成通车后投影面下,拆除现状简支梁桥改建川杨河辅道桥一座,跨度 $55+90+55=200\text{m}$ ,钢桥重量: $503\text{t}$ 。

新建主线高架时,地面双幅简支梁桥外环高速正在运行;吊车仅可在高架桥中间 $11\text{m}$ 与东侧 $23\text{m}$ 范围内作业。此桥跨川杨河桥跨度 $90\text{m}$ ,单箱室重量 $280\text{t}$ 。常规安装工况无法在不影响交组情况下实现。辅道桥施工时,主线高架建好已通车,新建辅道桥与高架桥高差仅 $6.2\text{m}$ ,普通吊装机械无作业空间,边跨最大单箱室分段重约 $85\text{t}$ ,中跨单箱室重量 $498\text{t}$ 。

### 1.2 工艺简述

空间三向液压传动安装工艺:为探索施工过程中结构受力、施工控制简便安装工艺。以跨河桥梁为例,对整个施工过程进行有限元施工模拟,对结构设计的安全性和可靠性展开分析与评价。结果表明,正交异性钢桥共同参与受力,此安装工艺受力明确,应力应变可控。

因现场条件苛刻,经多方案对比,高架桥边跨( $55\text{m}$ )钢桥用架桥机安装,中跨( $90\text{m}$ )跨河纵向采用 $400\text{t}$ 履带吊超起拼装、横向端梁悬挑牛腿液压同步滑移、竖向液压整体提升(卸载)三向安装施工技术。辅道桥中跨( $90\text{m}$ )跨河安装采用履带吊侧向拼装,设计专用滑架、横向液压同步累计滑移双箱室至设计位置、再利用汽车起重机安装边跨( $55\text{m}$ )钢桥。现场安装采用BIM技术,应用空间三维位置放样,分段安装,使全桥曲线与设计曲线吻合。

## 2 液压传动工艺应用

### 2.1 施工方案设计

工程建设领域,液压传动施工工艺多采用不同形式的液压千斤顶、液压泵站、电脑控制系统、锚具、夹紧座、减摩板等组成实现。此工艺与传统安装工艺灵活结合,往往起到四两拨千斤作用。

### 三向液压传动工艺应用

主线高架桥跨川杨河( $55+90+55$ ) $\text{m}$ 钢桥每跨由六组钢箱室组成, $90\text{m}$ 跨跨中钢梁采用纵向拼装、横向滑移、竖向提升(卸载)工况:

◇纵向拼装工况:在外环高速东侧两岸各一台 $400\text{t}$ 履带吊分三段拼装;

◇横向滑移工况:2台 $100\text{t}$ 爬行器(顶推油缸+夹紧座+MGA板定制滑靴)同步横向滑移;

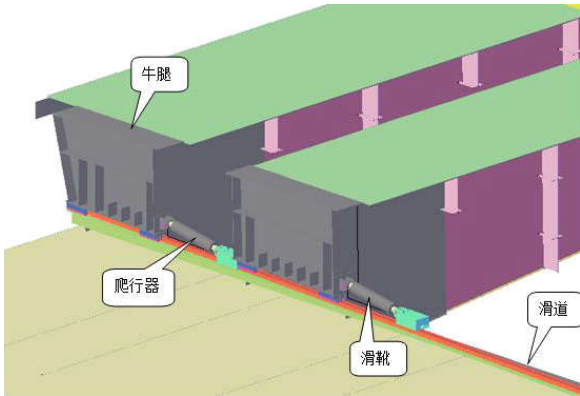
◇竖向提升卸载工况：每个箱室采用4台135t提升器竖向提升（卸载）至设计安装位置。

高架桥滑移工况滑道支撑设置：高架桥滑移支撑格构架设置于桥梁东侧，并在已吊好的悬挑钢箱梁上设置滑道（滑道由轨道43kg热轧钢轨+T型钢+钢筋混凝土和灌浆料（找平）组成）。

本工程共计2组边梁，4组中梁。高架桥滑移边梁



跨河纵向拼装



牛腿和滑靴设置

辅道桥55+90+55m钢桥分东、西两幅桥，每幅桥由两组箱室组成，90m跨每组钢箱室分三段。每组钢箱室在外环高速东侧拼装成整体后，滑移9m再拼装同一幅另一箱室成一体后，再累计同步滑移至设计安装位置，最后吊装端横梁与55m跨中钢箱梁。跨中90m钢桥纵向拼装采用2台400t履带吊拼装，横向滑移：4台100t爬行者（顶推油缸+夹紧座+定制专用滑架）横向累计滑移；55m跨与端横梁：SQZ8000汽车起重机吊装作业。

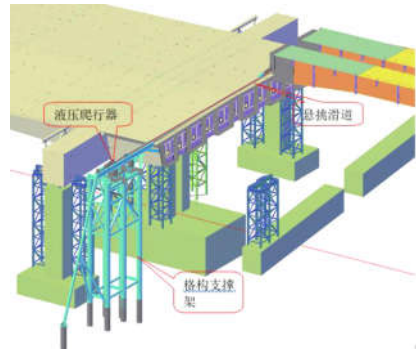
辅道桥累计滑移工况：跨川杨河辅道桥东、西两幅桥，每幅桥由两组箱室组成，因两幅桥型形为“八”字，且与高架桥立柱冲突，故先滑移河中钢桥，再滑移两侧钢桥。

中跨（90m）钢桥每组钢箱室跨中分三段，每组钢箱室在外环高速东侧拼装区域拼装成整体后，滑移9m再拼装同一幅另一箱室成一体后；再累计同步滑移至设计安

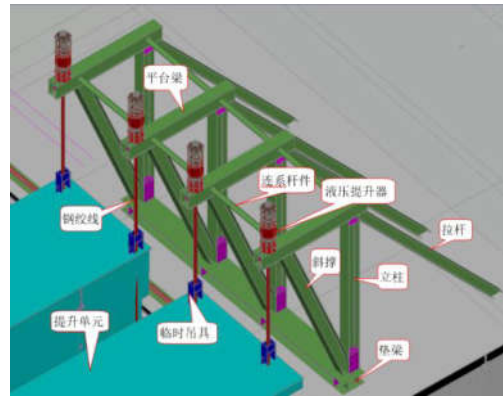
分段自重约280t，滑移、提升总重约： $280*2+264*4 = 1616t$ 。

高架桥提升（卸载）工况支架设置：高架桥滑移至设计位置采用4台135t液压提升器对钢箱室进行提升，拆除牛腿和滑靴再卸载至设计位置；最后对口焊接完成90m跨钢箱梁的安装工作。

安装工艺BIM动画模拟截图：



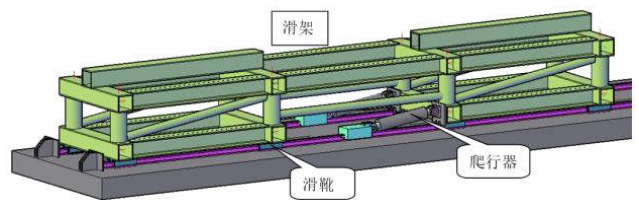
悬挑牛腿液压同步滑移



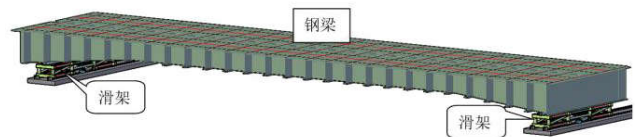
竖向液压整体提升（卸载）

装位置。最后吊装端横梁与55m跨中钢箱梁，滑移支架架（滑架）间距为74m。中跨东、西两幅桥每幅滑移重约1000t，两幅桥共计2000t。

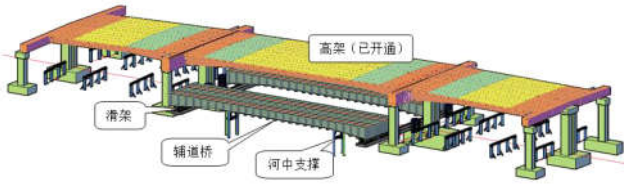
安装工艺BIM动画模拟截图：



双箱室滑架



滑移模型



辅道桥反向安装三维图

### 3 钢桥施工验算

#### 3.1 主线高架桥90m跨钢箱室滑移验算

##### 3.1.1 计算说明

边界条件：所有支座——Z向固定，x向释放，y向固定释放顶推点固定

荷载：自重——DEAD

滑移摩擦力——LIVE，摩擦力值为支座反力\*摩擦系数，摩擦系数按最大静摩擦取0.2（钢对钢的摩擦系数无润滑0.15，有润滑0.1~0.12）。

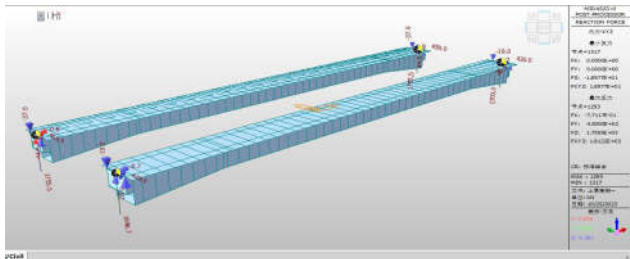
荷载组合：

强度及稳定—— $1.1*DEAD$ ， $1.1*DEAD+1.5*L$

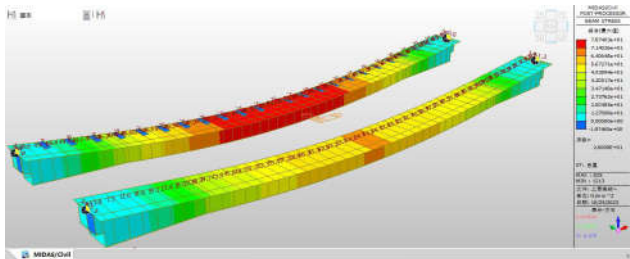
支座反力及变形—— $1*DEAD$

主线高架桥钢箱梁共计六组，由两组边梁、四组中梁组成。本验算仅以一组边梁和一组中梁进行验算说明，边梁每次顶推反力为： $140*0.2 = 28t$ （以下验算按 $30t$ 取值）；中梁每次顶推反力为： $132*0.2 = 26.4t$ （以下验算按 $28t$ 取值）。

##### 3.1.2 钢梁滑移验算结果



滑移结构反力 (KN)

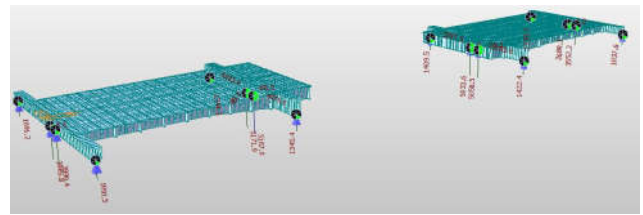


经计算，边梁截面最大应力为 $78.7N/mm^2$ ，中梁截面最大应力为 $64.2N/mm^2 < [\sigma] = 295N/mm^2$ ，满足要求！

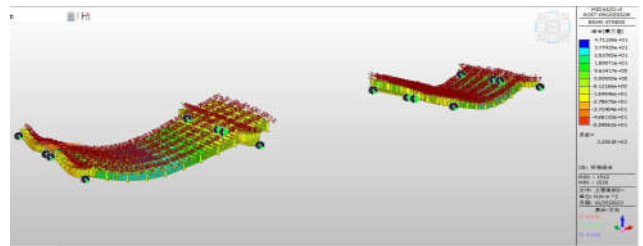
##### 3.1.3 主线高架桥90m跨滑道验算结果

主线高架桥滑移支撑架水平摩擦力——LIVE（由竖向反力与滑移水平摩擦力组成），钢梁滑移最大竖向

反力为： $140t$ （最大），滑移水平摩擦力 $28t$ 。以下滑道验算按竖向反力为： $150t$ ，滑移水平摩擦力： $30t$ 。



滑移结构反力 (KN)



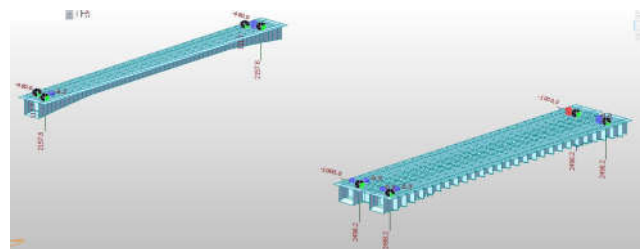
经计算，截面最大应力为 $47.1N/mm^2 < [\sigma] = 295N/mm^2$ ，满足要求！

##### 3.1.4 辅道桥钢箱室累计滑移验算结果

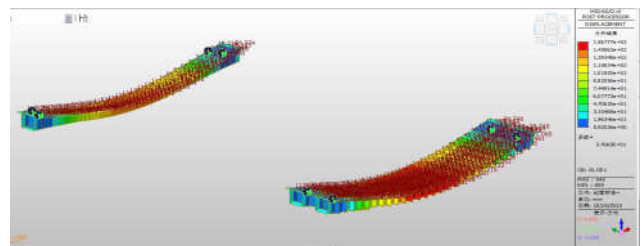
辅道桥西半幅与东半幅90m跨钢箱梁分别由两组钢箱室组成。本验算仅以一幅内钢箱室滑移进行验算说明，每幅滑移分两阶段：第一阶段（第1个钢箱室滑移），第二阶段（两钢箱室累计滑移）。

注：滑移简述：第一个钢箱室拼装完成滑移9m后，拼装下一箱室，再将两箱室联成一体后累计滑移至设计位置。

第一阶段滑道顶推反力为： $(215.8+11.2)*0.2 = 45.4t$ ，第一阶段钢梁滑移水平摩擦反力：按 $46t$ 取值。第二阶段滑道顶推反力为： $249.8*2*0.2 = 99.9t$ ，第二阶段钢梁滑移水平摩擦反力：按 $100t$ 取值。



滑移结构反力 (KN)



结构变形示意图



(第一阶段最大竖向变形142.8mm), 第二阶段最大竖向变形157.8mm); 均  $< [L/250] = 78800/250 = 315.2\text{mm}$ , 满足要求!

#### 4 钢桥液压传动技术优势

主线高架桥梁运用的三向安装牛腿悬挑滑移技术与辅道桥运用的专用滑架滑移技术优点:

(1) 施工风险小、安全可靠高: 钢桥端梁牛腿悬挑作为滑道, 减小了跨中钢梁长度, 同时也减小了钢梁施工阶段的应力和变形。

(2) 施工进度快: 同等施工工艺下, 相比河中设置滑道支撑, 具有显著优势。

(3) 运用广泛: 大跨度钢桥施工领域, 减小对交通影响、减少高空作业; 克服吊车、浮吊、架桥机等作业环境不具备的显著适用性。

(4) 经济效益显著: 此工艺, 最大限度的利用原有钢桥结构作为滑道支撑, 避免了河中打钢管桩作为支撑, 减少了安装措施, 本工程将安装措施用钢由1348吨, 降至328吨; 同时也不影响航道通行和高速交通。

#### 5 结束语

随着钢结构桥梁施工技术发展, 特殊复杂环境下, 施工大跨度钢结构桥梁跨河、跨高速、跨铁路等障碍

物, 既不能影响通航也不能影响交通, 工艺要求也越来越高。根据每个项目的特殊性, 积极探索传统安装工艺与液压传动工艺的配合运用, 可给工程人带来意外惊喜。液压提升、轨道滑移、步履式滑移等技术的灵活、创新式运用, 大幅度地提高施工效率、减短施工工期、降低了施工成本。经济效益及社会效益显著, 值得类似项目借鉴, 应用前景广阔。

#### 参考文献

- [1] 中国建筑科学研究院. 建筑结构荷载规范: GB5009-2012[S]. 北京. 中国建筑工业出版社
- [2] 中国建筑工业出版社. 钢结构设计规范: GB 50017-2017. 北京. 中国建筑工业出版社
- [3] 重型结构和设备整体提升技术规范: GB 51162-2016. 中国计划出版社
- [4] 公路桥涵施工技术规范: JTG/T 3650-2020. 北京. 人民交通出版社股份有限公司
- [5] 高岗, 大跨度不规则钢桥轨道液压滑移施工技术与步履式液压顶升滑移施工技术结合多案例探究, 科学与技术, 2021.03.15: 324-325
- [6] 高岗, 李瑞锋, 北京雁栖湖国际会展中心中央区钢桁架及混凝土屋面组合结构同步液压提升, 施工技术, 2014.12