

DOI: 10.7672/sgjs2022240025

# 池州长江公路大桥钢主梁合龙段施工关键技术\*

余竹<sup>1</sup>,王海伟<sup>2</sup>,陈杨<sup>2</sup>,杜宪亭<sup>3</sup>

(1.安徽省交控建设管理有限公司,安徽 合肥 230088; 2.中交路桥华南工程有限公司,广东 中山 528405; 3.北京交通大学土木建筑工程学院,北京 100044)

**[摘要]** 池州长江公路大桥为主跨828m的混合梁双塔斜拉桥,其主梁采用扁平流线型钢箱梁。结合结构体系特点,主梁合龙段借助桥面吊机进行悬臂拼装施工。引入温度配切、临时压重、轴线调整等技术,实现了不解除塔梁临时约束的条件下跨中的合龙。测量结果表明,合龙口轴线偏位均在4mm以内,梁顶高程偏差控制在1~2mm,梁段顶、底口焊缝厚度均在10~20mm;合龙精度较高,满足设计及规范要求。实践表明,所采用的施工技术切实可行,能保证合龙后主梁线形平顺。

**[关键词]** 桥梁工程;斜拉桥;钢箱梁;合龙;温度配切;施工技术

**[中图分类号]** U445.4

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 2097-0897(2022)24-0025-03

## Key Construction Technology of Steel Girder Closure Segment of Chizhou Yangtze River Highway Bridge

YU Zhu<sup>1</sup>, WANG Haiwei<sup>2</sup>, CHEN Yang<sup>2</sup>, DU Xianting<sup>3</sup>

(1. Anhui Transportation Holding Group Co., Ltd., Hefei, Anhui 230088, China;

2. Road & Bridge South China Engineering Co., Ltd., Zhongshan, Guangdong 528405, China;

3. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Chizhou Yangtze River Highway Bridge is a cable-stayed bridge with main span of 828m. According to the characteristics of the structural system, the steel box girders with streamline shape were assembled by the bridge cranes on the deck. For the closure segment, the construction technologies including the temperature-based match cutting, the temporal balancing weight and the axis adjustment were adopted in order to ensure the construction quality and installation accuracy. Thus the mid-span closure was achieved without relieving the temporary constraints between the pylon and the girder. After the final closure, the measurements showed that the axis deviation of the closure opening was within 4mm, the elevation deviation of the girder top was controlled within 1~2mm, and the weld thickness of either top or bottom opening of the girder section was within 10~20mm, achieving high-precision closure and satisfying the design and specification requirements. The practice shows that the construction technologies mentioned are feasible which can ensure that the main girder alignment remains flatness after closure.

**Keywords:** bridges; cable stayed bridges; steel box girders; closure; temperature-based match cutting; construction

## 0 引言

钢箱梁以其优越的性能被广泛用作大跨度斜拉桥主梁,随着工业化进程的发展,多采用工厂化节段制作、现场节段整体吊装等快速施工工艺。但

受材料特性、气候、施工环境、结构体系转换等多种因素的影响,经常出现超大跨桥梁的钢箱梁合龙段间隙过大(超出焊缝宽度要求)或过小(需二次返工切割)等问题,引起结构不利次应力和变位。因此,大跨度桥梁钢箱梁精确匹配、合龙的施工技术需进一步深入研究。本文以池州长江公路大桥钢主梁合龙段施工为例,从施工方案制订、技术措施实施

\* 预压式钛钢复合板-橡胶组合断面防撞装置试验研究

[作者简介] 余竹,高级工程师,博士,E-mail: yuzhuhaha@126.com

[收稿日期] 2022-01-03

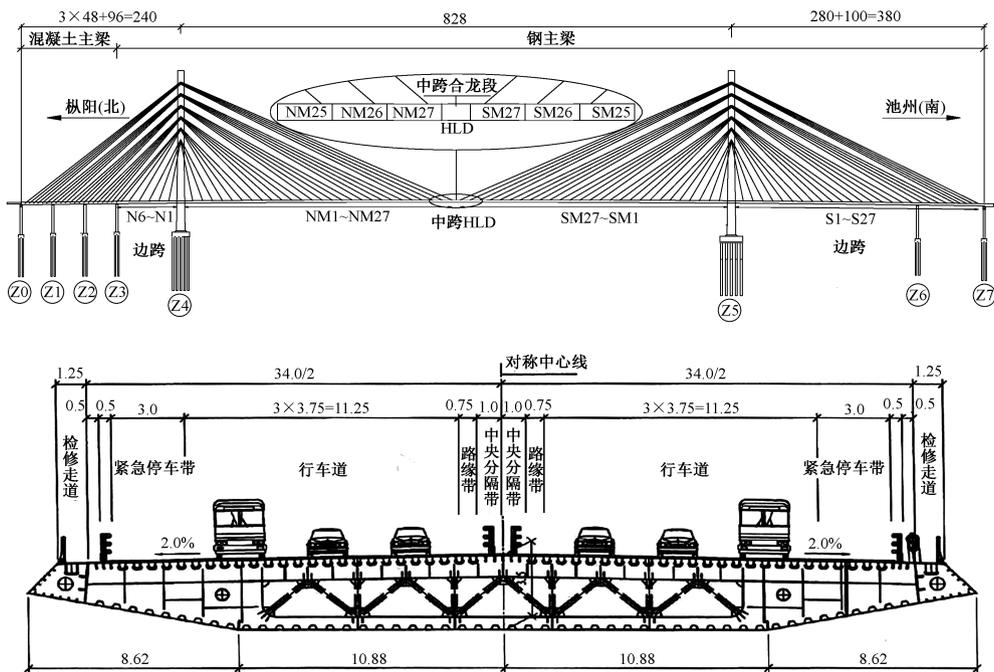


图 1 池州长江公路大桥布置及合龙段截面构造(单位:m)

等方面系统介绍钢箱梁主跨合龙施工关键技术<sup>[1-2]</sup>,有效解决了上述问题。

## 1 工程概况

池州长江公路大桥跨江主桥为不对称混合梁双塔斜拉桥,桥跨布置为 $(3 \times 48 + 96 + 828 + 280 + 100)$  m,如图 1 所示,其中北岸边跨及辅助跨采用混凝土箱梁结构,其余梁段为钢箱梁。全桥钢箱梁长 1 301 m,划分为 DJH, D1~D18 和 D2' 共 20 种类型,如图 1 所示。其中, D3 位于主塔位置, D7 (HLD) 为跨中合龙段, D18 为边跨合龙段。合龙段 HLD 梁段设计外形尺寸为 4.4 m (长)  $\times$  39 m (宽)  $\times$  3.5 m (高),由顶板、底板及加劲肋、纵腹板及加劲肋、横隔板、锚拉板等构成,净重 87.7 t,外加连接板等总质量约 90 t。除腹板、腹板纵肋及顶板 U 肋连接采用高强螺栓,其余构件均采用焊接。

## 2 总体施工难点及方案

### 2.1 施工难点

1) 主跨跨径达 828 m,一方面,合龙口对温度变化敏感,另一方面,钢箱梁吊装悬臂长,安装精度要求高,增大了施工质量控制难度。

2) 合龙段安装涉及高空、涉水施工、桥面吊机等作业,在大悬臂吊装施工过程中,受施工荷载、风荷载等外部作用影响大,安全风险高。

3) 合龙段安装工序多且复杂,需对施工组织和技术方案进行严密论证。

### 2.2 合龙方案

温度配切法即在与合龙段吊装匹配施工期间

相同温度环境下,以合龙口长度测量数据为依据,现场对合龙段梁进行配切施工的方法,其可在不解除塔梁临时约束条件下实现中跨钢箱梁合龙<sup>[3-7]</sup>,依据该方法制订合龙方案。具体步骤为:通过现场观测合龙口间距随温度变化规律确定合理的合龙段梁长度;在拖船上完成拼装的梁体配切;利用南岸侧 2 台桥面吊机进行提吊作业;合龙段南、北两侧依次与 SM27, NM27 号梁段进行对接安装。

## 3 施工关键技术

### 3.1 合龙时间及温度确定

根据大桥施工进度及前期主梁安装工效分析,中跨合龙段安装时间确定为 2019 年 3 月 29 日。温度变化对钢主梁合龙段提吊就位起控制作用,需在温度相对稳定的时间段进行连接作业。根据安徽省枞阳县 2014—2018 年连续 5 年 3 月气象条件调查分析,每年 3 月 25—31 日温度基本在 0~15℃,夜间温度在 0~7℃。进一步对 29 日气温观测为 0~14℃,夜间温度在 0~6℃。考虑到 22:00 至次日 5:00 气温变化幅度小(估计在 0~5℃),故选择在此时间段内提吊合龙段与南岸侧梁段匹配连接。

### 3.2 合龙口长度观测

为确保合龙线形,便于合龙梁段精确配切,从中跨 22 号梁段开始,对剩余梁段线形及合龙口距离进行联测,确保轴线偏位及高程偏差满足要求。

在夜间气温为 5℃ 的情况下,对北岸 NM27 号梁及南岸 SM27 号梁斜拉索二次张拉完成后轴线、里程及标高进行测量。测量结果表明,北岸 NM27

号梁里程方向较设计值向北侧偏移 148mm, 轴线较设计值向下游偏移 4mm; 南岸 SM27 号梁里程方向较设计值向北侧偏移 65mm, 轴线较设计值向下游偏移 5mm。因此, 合龙段(HLD)所需梁长最大值为设计值 4.4m, 叠加伸长量 0.083m, 而加工长度为 4.6m, 满足配切施工要求。

### 3.3 合龙口临时压重施工

南岸中跨 SM27 号钢箱梁一次张拉完成后, 桥面吊机自 SM26 号梁向 SM27 号梁行走 12m 并锚固, 同时南、北岸 27 号钢箱梁二次张拉完成后进行配重作业。首先, 按南岸桥面吊机 (100t) 加吊装整个 HLD 梁段 (90t) 时的等效荷载在北岸施加配重, 然后, 根据北岸 NM27 号钢箱梁端部施加配重后的标高, 在南岸进一步施加临时配重 80t 保证合龙口两侧协调。采用预制块压重, 布置时按桥轴线对称布置, 避免左右不均匀荷载造成梁段扭转。

### 3.4 合龙口两侧轴线调整

合龙口配重完成后, 对两侧轴线等数据进行观测并调整。具体方法为: 采用  $\phi 28$  钢丝绳和 2 台 10t 手拉葫芦对两岸 27 号梁端交叉对拉。其中, 钢丝绳和手拉葫芦通过 10t 卸扣连接在 27 号梁段顶面设置的临时耳板上, 如图 2 所示。

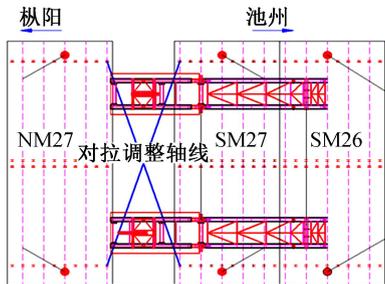


图 2 合龙口轴线对拉调整

### 3.5 合龙口长度测量

观测前将桥面无关施工荷载全部清理, 合龙口两侧钢箱梁现场调整到设计状态时, 对合龙口两侧 (SM27, NM27 号) 进行连续 48h 观测 (白天 1 次/h, 夜晚 2 次/h), 合龙口两侧梁段顶板与底板各布置 5 个观测点, 采用全站仪与钢尺 2 种方法进行复核测量, 分析合龙口随温度、日照等的变化规律<sup>[8-10]</sup>。最终选取 22:00 左右环境温度 6℃ 时测量结果作为温度配切依据: 底板上游侧为 4.485m, 中间处为 4.487m, 下游侧为 4.479m; 顶板上游侧为 4.499m, 中间处为 4.497m, 下游侧为 4.503m, 如图 3 所示, 可看出顶口间距大、底口间距小, 为倒 T 形。为保证梁体能顺利进入合龙口, 以下口间距为基准, 兼顾提升空间要求, 最终选定配切长度为 4.422m。在

同环境下现场拖船上用划线自行走切割小车完成梁体配切, 保证合龙段配切长度满足要求。

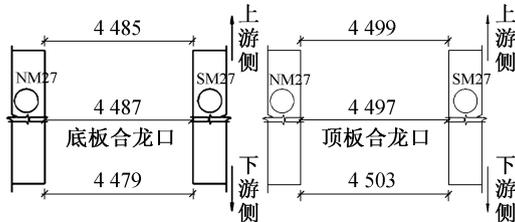


图 3 合龙段底口与顶口空余长度

### 3.6 合龙段施工

合龙梁段吊装采用南岸 2 台桥面吊机进行起吊, 桥面吊机主体钢结构为 Q345B 钢, 主桁采用 2 片菱形框架平行布置, 呈 H 形 (见图 4)。桥面吊机总重为 95t, 2 台桥面吊机单边最大提升荷载为 5 600kN。



图 4 合龙段桥面吊机吊装

合龙段 HLD 梁段设置有 8 个吊耳。提吊时使用 4 根  $\phi 40$  钢芯钢丝绳 (抗拉强度 1 770MPa, 破断力 1 010kN), 分别缠绕吊具锚头  $\phi 158$  销轴, 通过 8 个 55t 卸扣与吊耳连接, 如图 5 所示。

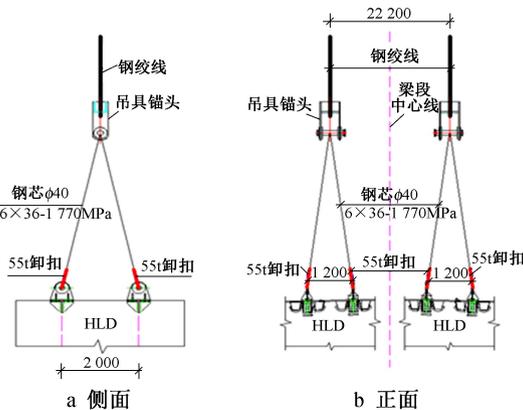


图 5 合龙段提吊示意

配切后的中跨合龙段运输至吊装现场后起吊, 同步观测合龙口两侧 27 号梁段端部标高、轴线及间距, 确保间距满足要求。合龙段提吊过程中易受到施工荷载、风荷载等外部作用影响。为此, 正式提吊前清除合龙段以外的施工荷载, 并选择提吊开始 (下转第 119 页)

- 法综述[J].北京工业大学学报,2021,47(3):293-302.
- [10] 张英楠,谷志旺,何娇.基于人工智能的清水墙典型损伤智能识别与评估方法研究[J].建筑施工,2021,43(11):2404-2406.
- [11] 马健,阎卫东,刘国奇.基于YOLO v5的古建筑木结构裂缝检测方法[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2021,37(5):927-934.
- [12] 陈墨,杨沛,陈丽君.基于深度学习的建筑表面裂缝缺陷识别[J].齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2021,37(5):57-61,66.
- [13] 林汭圣,王扬,许可.基于深度学习的居住建筑外墙面损伤检测研究[J].建筑技术,2021,52(7):892-895.
- [14] 赵楚,段先华,苏俊楷.改进Faster RCNN的瓷砖表面瑕疵检测研究[J/OL].计算机工程与应用:1-10[2022-11-09].  
http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.tp.20220524.1039.009.html.
- [15] 陈祖歌.深度学习目标检测模型优化研究及在电网中的应用[D].北京:华北电力大学,2021.
- [16] 王胜利,任鹏飞,吕昕,等.基于中心点和双重注意力机制的无人机高分辨率图像小目标检测算法[J].应用科学学报,2021,39(4):650-659.
- [17] AKYON F C, ALTINUC S O, TEMIZEL A.Slicing aided hyper inference and fine-tuning for small object detection [EB/OL]. (2022-7-12) [2022-8-23]. <https://arxiv.org/abs/2202.06934v4>.
- [18] AKYON F C, CENGIZ C, ALTINUC S O, et al. SAHI: A lightweight vision library for performing large scale object detection and instance segmentation [EB/OL]. [2022-8-23]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5718950>.
- [19] DELHEZ A, RONSSSE R. Multiple flying bird and bird keypoint detection toolbox for processing bird videos [EB/OL]. [2022-8-25]. <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis;35617>.
- [20] KELES M C, SALMANOGLU B, GUZEL M S, et al. Evaluation of YOLO models with sliced inference for small object detection [EB/OL]. (2022-8-5) [2022-8-28]. <https://arxiv.org/abs/2204.04799>.
- [21] REDMON J, DIVVALA S, GIRSHICK R, FARHADI A. You only look once: unified, real-time object detection [EB/OL]. (2016-5-9) [2022-8-28]. <https://arxiv.org/abs/1506.02640>.
- [22] REDMON J, FARHADI A. YOLO9000: better, faster, stronger [C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017:7263-7271.
- [23] REDMON J, FARHADI A. Yolo v3: an incremental improvement [EB/OL]. (2018-4-8) [2022-8-28]. <https://arxiv.org/abs/1804.02767>.
- [24] BOCHKOVSKIY A, WANG C Y, LIAO H Y M. YOLO v4: optimal speed and accuracy of object detection [EB/OL]. (2020-4-23) [2022-8-28]. <https://arxiv.org/abs/2004.10934v1>.
- [25] GLENN J. Ultralytics/YOLOv5s: v6.2-YOLOv5 classification models, apple M1, reproducibility, clearML and deci.ai integrations [CP/OL]. (2022-8-17) [2022-8-28]. <https://github.com/ultralytics/yolov5>.

(上接第27页)

时间为17:55。当天夜间为东南风1~2级,风荷载对吊装提升影响很小。合龙段提升至合龙口时间为21:45,合龙口间距与测量时基本吻合,一次性提升到位。

调节合龙梁段标高和轴线满足要求后,将合龙段边腹板与南岸SM27号梁段边腹板及水平肋板连接板使用临时冲钉连接。前期对南、北两岸27号梁段观测表明,当温度每升高5℃时合龙口两侧梁段伸长2cm。合龙段在22:00入合龙口提升完成,到第2天白天最高气温可达16℃,钢箱梁总体将伸长4cm。现场对北岸NM27号梁段和合龙段进行配孔连接板连接,边配孔边打入临时冲钉,完成HLD梁段临时锁定;并进行梁段环口码缝及焊接。此时顶口两侧各2cm左右间隙,底口两侧各1cm左右间隙,满足现场焊接要求。同时,进行腹板及顶板U形肋高强螺栓安装。待中跨合龙段环口焊接及螺栓安装全部完成后,对南、北两侧主塔同步解除塔梁临时锚固完成体系转换。

#### 4 结语

依托池州长江公路大桥,针对大跨桥梁合龙钢箱梁空间定位问题,本文从施工方案、技术措施及

施工技术实施方面进行分析研究,使得主桥中跨合龙后梁顶高程偏差1~2mm,轴线偏位最大值为4mm,满足设计规范要求。

#### 参考文献:

- [1] 张彦,狄谨,常彦虎,等.大榭第二大桥钢箱梁主跨合龙技术[J].公路,2013(9):311-313.
- [2] 杨灿文,张强,石建华.池州长江公路大桥主通航孔桥设计[J].桥梁建设,2016,46(4):92-96.
- [3] 李宗平.南京长江第三大桥钢箱梁安装技术[J].施工技术,2008,37(5):111-114.
- [4] 赵晓晋,景强,贺拴海,等.港珠澳大桥青州航道桥主梁合龙施工技术[J].桥梁建设,2017,47(5):117-121.
- [5] 杨文明,李勇,祁亚.武汉青山长江公路大桥主桥中跨合龙施工技术[J].桥梁建设,2019,49(5):108-112.
- [6] 王凌波,刘鹏,李源,等.宽幅钢箱梁斜拉桥悬拼匹配技术研究[J].中国公路学报,2016,29(12):102-108,141.
- [7] 贺拴海,梅晓亮,刘鹏,等.宽幅钢箱梁斜拉桥空间行为数值分析[J].中国公路学报,2016,29(4):42-49,58.
- [8] 潘旦光,程业,刘文军,等.合龙段温度场的分区时变升温速率计算方法[J].工程力学,2018,35(S1):95-100.
- [9] 于详敏,陈德伟.贵黔高速鸭池河特大钢桁梁合龙施工控制技术[J].桥梁建设,2017,47(6):101-105.
- [10] 周仁忠,田唯,荀东亮,等.横琴二桥主桥钢桁拱架施工关键技术[J].桥梁建设,2016,46(6):100-105.