

# 悬挂式单轨交通钢桥墩制造工艺研究

尹桂芳 龚文强 陈小山 孔海勇 魏超 朱刚

(中铁重工有限公司, 430063, 武汉)

**摘要** [目的]钢桥墩是悬挂式单轨交通系统的重要组成部分,其制造精度直接决定了轨道梁的架设安装,从而影响列车平稳运行,有必要对其进行研究。[方法]以武汉光谷生态大走廊旅游配套设施——旅游专线一期工程项目为依托,针对悬挂式单轨交通钢桥墩T形结构特性,结合钢桥墩制造精度设计要求进行工艺研究;分析了单轨钢桥墩制造过程中的难点,并对其钢盖梁制造方案进行比选;系统阐述了悬挂式单轨钢桥墩的制造工艺及精度控制方法。[结果及结论]通过钢桥墩实际生产制造与现场轨道梁架设安装,能够有效控制钢盖梁耳板间距(0~2 mm)以及悬臂中心距立柱中心线距离(-2~2 mm);钢桥墩总拼成形后,其左盖梁销轴定位点到钢立柱底部中心点的连线与右盖梁销轴定位点到钢立柱底部中心点的连线之间的距离误差 $\leq 3$  mm,耳板中心与立柱中心标高误差 $\leq 2$  mm,满足钢桥墩总拼制作要求,实现了对钢桥墩制造精度的控制。

**关键词** 悬挂式单轨交通;钢桥墩;制造工艺

**中图分类号** U443.22:U232

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2025.01.045

## Research on the Manufacturing Process of Steel Bridge Piers for Suspended Monorail Transit

YIN Guifang, GONG Wenqiang, CHEN Xiaoshan, KONG Haiyong, WEI Chao, ZHU Gang

(China Railway Heavy Machinery Co., Ltd., 430063, Wuhan, China)

**Abstract** [Objective] Manufacturing accuracy of the steel bridge pier, which is an important part of the suspended monorail transit system, determines the erection and installation of track beams, thereby affecting the train smooth running. Therefore, it is necessary to conduct research on it. [Method] Based on the Tourism Special Line Phase I Project, a supporting facility for Wuhan Optics Valley Ecological Corridor Tourism, the process research is conducted in response to the T-shaped structural characteristics of steel bridge piers for suspended monorail transit and combining the design requirements for the manufacturing accuracy of steel bridge piers. The difficulties in the manufacturing process of monorail steel bridge piers are analyzed, and the manufacturing schemes for the steel

cap beams are compared and selected. Moreover, the manufacturing process and accuracy control methods of suspended monorail steel bridge piers are systematically expounded. [Result & Conclusion] Through the actual manufacturing of steel bridge piers and the on-site erection and installation of track beams, the distance between the lug plates of the steel cap beams (0-2 mm) and the distance from the cantilever center to the column central line (-2-2 mm) can be effectively controlled. After the overall assembly and formation of the steel bridge piers, the distance error between the line connecting the positioning point of the left cap beam pin axis to the center point at the steel column bottom, and the line connecting the positioning point of the right cap beam pin axis to the center point at the steel column bottom is  $\leq 3$  mm, and the elevation error between the center of the lug plate and the center of the column is  $\leq 2$  mm, meeting the requirements for the overall assembly and production of steel bridge piers, and realizing the control over the manufacturing accuracy of steel bridge piers.

**Key words** suspended monorail transit; steel bridge pier; manufacturing process

悬挂式单轨交通系统是一种中低速、中运能的新型轨道交通制式<sup>[1]</sup>,钢桥墩作为悬挂式单轨交通系统的重要组成部分,其制造精度直接决定了轨道梁的架设安装,从而影响列车平稳运行。本文以武汉光谷生态大走廊旅游配套设施——旅游专线一期工程项目为依托,对钢桥墩制造工艺进行分析,通过工厂制造,现场安装的方式来保证制造精度<sup>[2]</sup>,极大地缩短了建设工期,降低了建设成本,为今后国内悬挂式单轨交通钢桥墩制造提供参考。

## 1 钢桥墩结构形式与难点分析

### 1.1 结构形式

钢桥墩由钢盖梁和钢立柱2节段组成,柱底板与现场基础预埋螺栓杆进行地脚螺栓式连接。悬挂式单轨交通钢桥墩示意图如图1所示。钢桥墩基础预埋示意图如图2所示。

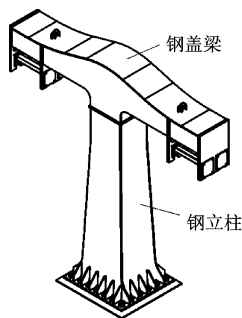


图 1 悬挂式单轨交通钢桥墩示意图

Fig. 1 Schematic diagram of suspended monorail transit steel bridge pier

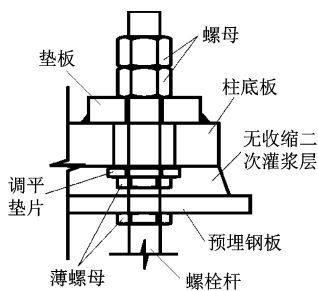
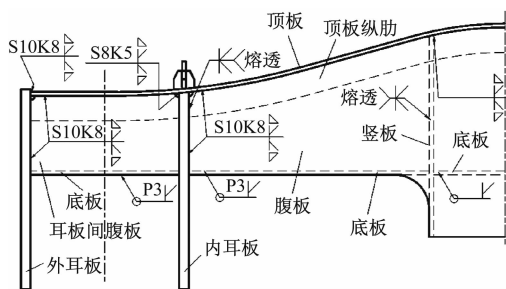


图2 钢桥墩基础预埋示意图

Fig. 2 Schematic diagram of steel bridge pier pre-embedded foundation

如图3钢盖梁连接示意图所示,腹板、竖板及耳板与顶板间均为熔深焊缝,竖板与腹板为熔透焊缝,顶板纵肋与耳板为熔透焊缝,底板与腹板间均为单边坡口焊缝。

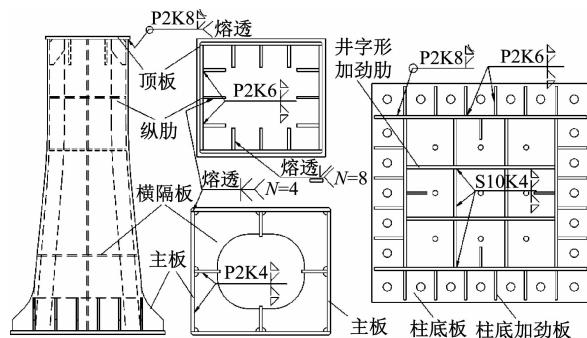


注:S8、S10 表示焊缝有效厚度(喉部尺寸)分别为 8 mm 和 10 mm;  
K5、K8 表示角焊缝焊脚尺寸分别为 5 mm 和 8 mm;P3 表示板厚  
方向钝边长度为 3 mm;图 4 等同。

图3 钢盖梁连接示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the steel cap beams connection

如图4钢立柱连接示意图所示,柱身主板间以及主板与顶板的连接为熔透焊;主板、井字形加劲肋、柱底加劲肋同柱底板均采用熔深焊,横隔板同主板和主板纵肋亦采用熔深焊,其余均采用角焊缝。



注:P2 表示板厚方向钝边长度为 2 mm;K4、K6 表示角焊缝焊脚尺寸分别为 4 mm、6 mm; $N$  为相同焊缝数量。

图 4 钢立柱连接示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the steel column connection

## 1.2 难点分析

武汉光谷生态大走廊旅游配套设施——旅游专线一期工程项目(见图5)依据钢桥墩T形结构特性,要求桥墩尺寸精度须符合左、右线路轨道梁的架设安装标准。鉴于钢桥墩制造难度较大,因此制造精度的控制成为生产过程中的重点和难点<sup>[3]</sup>。依据TB 10091—2017《铁路桥梁钢结构设计规范》<sup>[4]</sup>及Q/CR 9211—2015《铁路钢桥制造规范》<sup>[5]</sup>的要求,钢桥墩制造的主要精度要求见表1。



图5 武汉光谷生态大走廊旅游配套设施——旅游专线一期工程项目

Fig. 5 Phase I Project of the Tourism Special Line, a supporting facility for tourism in Wuhan Optics Valley Ecological Corridor

## 2 钢桥墩制造方案

钢桥墩制造方案采用钢盖梁和钢立柱 2 节段分开进行制造,待各节段制作报检合格后在胎架上组装成钢桥墩,且所有制造均在车间进行。

## 2.1 钢盖梁制造

钢盖梁的制造方案主要有两种：“卧装法”和“倒装法”<sup>[6]</sup>。

1) 采用“卧装法”方案,总体工艺流程为:①各板件下料;②依次组装腹板→竖板→腹板→耳板→耳板间腹板→顶板纵肋→顶板→底板;③焊接打砂

表 1 钢桥墩制造精度要求

Tab. 1 Manufacturing accuracy requirements for steel bridge piers

项目	尺寸允许偏差值/mm
钢立柱高度	-2.0~2.0
钢立柱法兰板平面度	1.0
法兰板与柱身垂直度	-1.0~1.0
法兰板孔群孔间距	-0.5~0.5
箱口对角线差	2.0
耳板间距	0~2.0
耳板销孔同心度	0.5
耳板平行度	1.0
悬臂中心线距立柱中心线距离	-2.0~2.0
单边销孔水平高差	1.0
销孔中心理论高差	-2.0~2.0

涂装。该方案的优点为:①耳板定位操作简单,其间距可以有效把控;②方便测量耳板中心线及销轴中心线尺寸。该方案的缺点为:①顶板组装难度加大,且线形不易控制;②需要脱胎焊接,钢盖梁吊装容易变形。

2) 采用“倒装法”方案,总体工艺流程为:①各板件下料;②依次组装顶板→顶板纵肋→竖板→腹板→耳板→耳板间腹板→底板;③焊接打砂涂装。该方案的优点为:焊接操作比较方便,能连续在胎架上施焊。该方案的缺点为:①顶板曲面胎架制作时精度不易控制;②耳板定位测量困难;③耳板销轴中心线与轴度难以保证,后续修整难度加大。

经对比,为保证耳板间距以及悬臂中心线距立柱中心线距离的制造精度,组装焊接宜用“卧装法”方案。为克服该方法的缺点,采取如下措施:①增加顶板外表面工装贴合控制点,使顶板紧密贴合耳板与腹板;②在钢盖梁内部增设工艺筋板并在其内部焊接后进行吊装,从而在不改变外观的条件下增加结构整体刚度,减小钢盖梁脱胎吊装过程中产生的变形量。

## 2.2 钢立柱制造

钢立柱的制造方案采用常规钢箱梁制造形式<sup>[7]</sup>,其主要的工艺流程为:①各板件下料;②将板件制成板单元;③依次组装水平板单元→横隔板→侧向板单元→横隔板→水平板单元→“井”字形加劲板→柱底板→柱底板加劲肋→对拉钢筋→柱顶板→柱顶板加劲肋;④焊接打砂涂装。该方案的优

点为:能够控制钢立柱线型,满足所需尺寸和精度要求。该方案的缺点为:内部焊接量较大,操作空间狭小,需要人工焊接,大大降低了焊接效率。

## 3 钢桥墩制造工艺

### 3.1 制作胎架

钢立柱胎架图如图 6 所示。以变截面主板斜率为准调整各道支撑高度,以地平台纵向基准线为准,将各节段纵基线进行对拉,确保节段同轴度,调整到位后将其与平台进行固定约束。

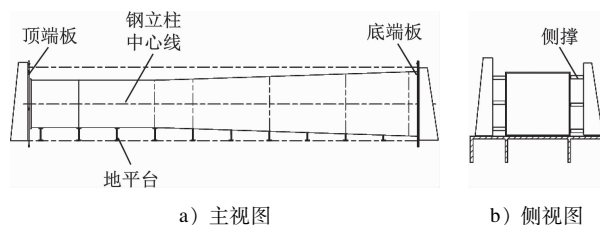


图 6 钢立柱胎架

Fig. 6 Steel column jig

钢盖梁外部设置水平胎架固定在基础平面上,内部在焊接前设置临时支撑,防止内部焊缝焊接时腹板变形,钢盖梁左右线吊耳板两侧均设定位支撑板顶紧支撑。钢盖梁胎架示意如图 7 所示。

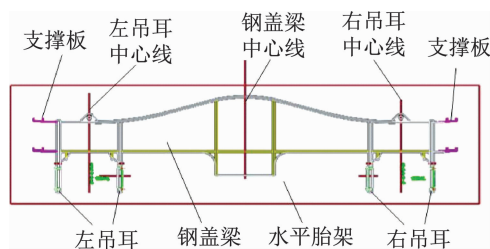


图 7 钢盖梁胎架示意

Fig. 7 Schematic diagram of the steel cap beam jig

### 3.2 组装钢盖梁

考虑到焊接收缩与焊接能量输入呈正相关,熔透及熔深焊缝需较大的熔敷金属填充量,焊接能量输入较大,带来的焊接收缩量较大,即下料制作时需考虑钢盖梁的焊接变形收缩量。该收缩量参考一般焊接收缩的经验值,对于角焊缝按 0.5 mm/道,对接焊缝按 3 mm/道,增设反变形的工艺余量。本钢盖梁结构根据焊缝形式和数量,主要通过中间腹板与底板在零件下料时增设反变形 2~3 mm 的工艺余量,其他构件按理论值下料,通过搭设胎架控制其组装过程,从而保证在胎架上焊后测量尺寸符合理论设计值公差要求。钢盖梁组装工艺流程



如图 8 所示。

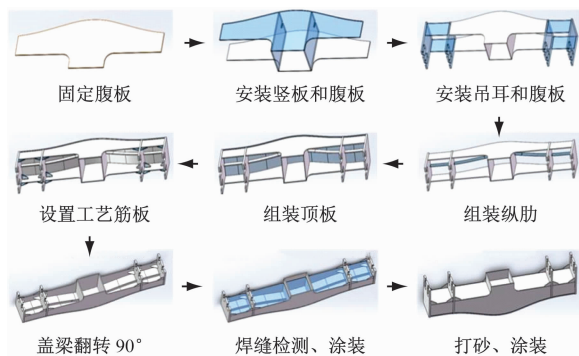


图 8 钢盖梁组装工艺流程图

Fig. 8 Flow chart of the assembly process for steel cap beams

钢盖梁组装工艺流程为:①将腹板贴合胎架并与胎架上的地样线对齐后固定;②在腹板内表面定位安装竖板和另一侧腹板;③组装耳板及中间腹板;④定位组装纵肋;⑤定位组装顶板,保证顶板贴合度;⑥钢盖梁内部设置工艺筋板后进行内部焊接;⑦将钢盖梁翻转 90°并将顶板支撑在胎架上,进行剩余焊缝的焊接;⑧对钢盖梁内部焊缝无损检测后进行内部涂装及主焊缝焊接;⑨对外部焊缝进行无损检测,合格后进行打砂、涂装。

### 3.3 组装钢立柱

因熔透及熔深焊缝收缩量大,下料制作时需考虑焊接变形收缩量,主要通过零件下料时增设反变形工艺余量,然后再在胎架上控制其组装过程,从而保证在胎架上焊接后测量尺寸符合理论设计值公差要求。钢立柱组装工艺流程如图 9 所示。

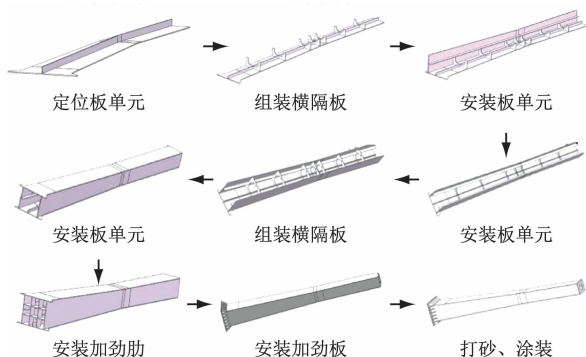


图 9 钢立柱组装工艺流程图

Fig. 9 Flow chart of the assembly process for steel column

钢立柱组装工艺流程为:①在胎架上定位横桥向板单元;②依次组装一侧的横隔板;③依次在横桥向板单元上安装顺桥向板单元;④定位组装顺桥

向两边横隔板;⑤组装另一横桥向板单元,在主板内部打底焊,稳定后进行隔板平位焊;⑥安装“井”字形加劲肋;⑦定位组装柱底板四周外侧加劲板,采用退让法组装墩底 4 m 范围内的对拉钢筋;⑧组装柱顶板,并焊接内部加劲板与墩顶板间的全熔透焊缝,主板焊接后再进行外部焊缝无损检测,合格后进行打砂、涂装。

### 3.4 组装钢桥墩

组装钢桥墩是钢桥墩制造中的关键工序,其工艺合理性直接决定钢桥墩的制造质量和进度。钢桥墩组装工序如图 10 所示。

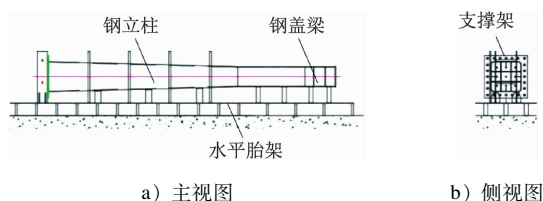


图 10 钢桥墩组装工序

Fig. 10 Assembly procedures of steel bridge piers

通过地面和钢桥墩节段纵基线基准点搭设胎架,保证钢立柱与钢盖梁中心对正,满足悬臂中心线距钢立柱中心线距离的精度控制;对钢盖梁与钢立柱定位后进行焊接,然后对钢桥墩尺寸控制点进行复核,其盖梁左右销轴中心点与立柱底部中心点对角线误差 $\leq 3$  mm,耳板中心与立柱中心标高误差 $\leq 2$  mm,满足钢桥墩总拼制作要求;在盖梁左右销轴中心点与立柱底部中心点的位置均安装反光贴,便于现场安装及复测。

## 4 结语

经过钢桥墩实际制造和现场轨道梁架设安装,对关键点的测量数据反馈,此制造工艺能够较好地满足武汉光谷生态大走廊旅游配套设施——旅游专线的架设要求:

1) 有效控制耳板间距(0 ~ 2 mm)以及悬臂中心距立柱中心线距离(-2 ~ 2 mm),满足制造精度要求。

2) 钢桥墩总拼成形后,其左盖梁销轴定位点至钢立柱底部中心点的连线与右盖梁销轴定位点至钢立柱底部中心点的连线之间的距离误差 $\leq 3$  mm,耳板中心与立柱中心标高误差 $\leq 2$  mm,满足钢桥墩总拼制作要求,实现了对钢桥墩制造精度的控制。

(下转第 257 页)

2) 本文在工程经验的基础上研究了适用于城市轨道交通行车数据的压缩方法,实际应用也验证了方案的有效性,可为行车数据压缩工程应用提供参考。

## 参考文献

- [1] 余祖俊, 艾丽, 史红梅. 车载数据记录压缩算法的研究[J]. 电子产品世界, 2001, 8(7): 12.  
YU Zujun, AI Li, SHI Hongmei. Research on compression algorithm of the data for ongoing locomotive[J]. Electronic & Computer Design World, 2001, 8(7): 12.
- [2] 白菊兰. 城市轨道交通车辆信息远程无线下载系统[J]. 铁道车辆, 2018, 56(9): 24.  
BAI Julan. The remote radio unloading system for urban rail traffic information[J]. Rolling Stock, 2018, 56(9): 24.
- [3] 李彬. 城市轨道交通车辆数据无线下载装置研发[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(2): 94.  
LI Bin. Research and development of wireless transmission system for urban rail transit vehicle[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(2): 94.
- [4] 马俊源. 工业物联网高速大容量在线数据分析记录仪设计与应用[D]. 北京: 北方工业大学, 2021.  
MA Junyuan. Design and application of high-speed and large-capacity online data analysis recorder for industrial internet[D]. Beijing: North China University of Technology, 2021.

(上接第 252 页)

## 参考文献

- [1] 余浩伟, 徐银光, 李涛, 等. 悬挂式单轨交通在国内的适应性研究[J]. 铁道工程学报, 2019, 36(4): 70.  
YU Haowei, XU Yinguang, LI Tao, et al. Research on the adaptability of suspended monorail in China[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(4): 70.
- [2] 王玉华, 王孟君, 谢宇杰. 悬挂式单轨系统结构方案研究[J]. 科学技术创新, 2022(6): 147.  
WANG Yuhua, WANG Mengjun, XIE Yujie. Research on the structure scheme of suspended monorail system[J]. Scientific and Technological Innovation, 2022(6): 147.
- [3] 杨翠屏, 张津, 邢扬. 悬挂式单轨轨道梁制造工艺研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(4): 48.  
YANG Cuiping, ZHANG Jin, XING Yang. Research on the manufacturing process of suspended monorail beam[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(4): 48.
- [4] 国家铁路局. 铁路桥梁钢结构设计规范: TB 10091—2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.  
National Railway Administration of the People's Republic of China. Code for design of steel structure of railway bridge: TB 10091—2017[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2017.

- [5] 邢旺, 郁聪冲. 数据记录器中 NAND Flash 的坏块管理方法[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(8): 132.  
XING Wang, YU Congchong. Bad block management methods of NAND flash memory in data recorder[J]. Ship Electronic Engineering, 2016, 36(8): 132.
- [6] 刘敏丽. 航天遥测数据无损压缩技术研究与应用[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.  
LIU Minli. Research and Implementation of Lossless Compression Technique for Space Telemetry Data[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2016.
- [7] 王平. LZW 无损压缩算法的实现与研究[J]. 计算机工程, 2002, 28(7): 98.  
WANG Ping. Realization and research of LZW lossless compression algorithm[J]. Computer Engineering, 2002, 28(7): 98.
- [8] 全立新. Run-Length 压缩算法的改进及 C++ 的实现[J]. 长沙电力学院学报(自然科学版), 2004, 19(2): 29.  
QUAN Lixin. The improvement of Run-Length compression algorithms and its execution of C++[J]. Journal of Changsha University of Electric Power (Natural Science), 2004, 19(2): 29.

· 收稿日期:2022-08-03 修回日期:2022-10-17 出版日期:2025-01-10

Received:2022-08-03 Revised:2022-10-17 Published:2025-01-10

· 通信作者:李德祥,高级工程师,ldxab@163.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

- [5] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路钢桥制造规范: Q/CR 9211—2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.  
China State Railway Group Co., Ltd. Code for fabrication of railway steel bridge: Q/CR 9211—2015[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2015.
- [6] 李伟. 鱼腹型变截面连续钢箱梁“卧装反造法”3+1 模式施工技术[J]. 市政技术, 2021, 39(2): 40.  
LI Wei. Construction technology of model 3+1 applied in installing of continuous steel box girder with fish-bellied variable cross section by horizontal installation and reverse construction method[J]. Municipal Engineering Technology, 2021, 39(2): 40.
- [7] 胡广瑞. 大型公路钢箱梁整体拼装制造线形和尺寸的控制[J]. 钢结构, 2006, 21(5): 74.  
HU Guangrui. The methods of profile and dimension control during assembly of large steel box girder for highway[J]. Steel Construction, 2006, 21(5): 74.

· 收稿日期:2022-09-26 修回日期:2022-10-21 出版日期:2025-01-10

Received:2022-09-26 Revised:2022-10-21 Published:2025-01-10

· 第一作者:尹桂芳,工程师,125311264@qq.com

通信作者:龚文强,工程师,2315666282@qq.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license