



跨座式单轨交通双曲钢轨道梁安装工艺

李荣才 蔡林林 史大兵 熊自强 宾建军
中国建筑第八工程局有限公司，上海 200000

[摘要] 某轻轨项目全线为高架线，全线4.3Km，共穿插8段（联）钢轨道桥，每联均为三跨，其中有2联为直线段钢桥，6联为曲线段钢桥。钢梁材质采用Q345qD钢，全桥使用M24的摩擦型高强度螺栓副约5万套。双曲钢轨道梁整体造型复杂，空间呈同向弯曲，其底板二次抛物线形、扭曲变形、旁弯及制造线形的控制度大空间呈同向弯曲。为了保证安装时钢连续梁整体的线形精度和焊接质量。本工程采用了跨座式单轨交通双曲钢轨道梁安装工艺。本论文主要介绍了双曲钢轨道梁安装工艺，可供同类轨道交通工程借鉴。

[关键词] 跨座式单轨交通；双曲；钢轨道梁；安装

前言

城市公共交通的主干线，客流运送的大动脉，是城市的生命线工程。城市轨道交通是世界公认的低能耗、少污染的“绿色交通”，城市轨道交通的建设与发展有利于提高市民出行的效率，节省时间，改善生活质量。城市轻轨可以建设在道路中央分隔带或狭窄街道上，不单独占用路面，属于运能接近地铁系统的中运量城市轨道交通系统。它具有爬坡能力强、转弯半径小、适应多种地形、噪音小、景观性好、综合建设技术要求和总体造价成本低以及施工周期较短等优点，是物美价廉的交通工具。

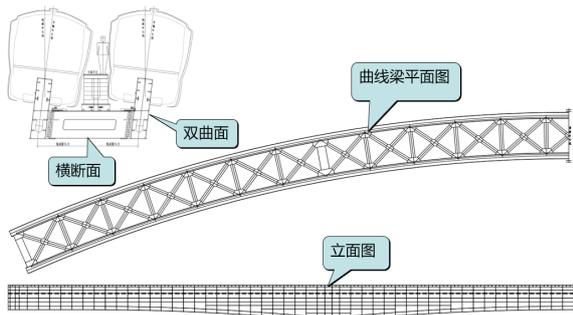
一、结构概况

某轻轨项目全线为高架线，全线4.3Km，共穿插8段（联）钢轨道桥，每联均为三跨，其中有2联为直线段钢桥，6联为曲线段，钢跨度布置从25m到55m。

钢轨道梁与联结系为全螺栓连接，其中6联曲线梁螺栓孔为长圆孔，2联直线梁螺栓孔为圆孔，联结系包括横梁和平纵联，连接左右线轨道梁。轨道梁截面采用平行四边形、矩形钢箱截面，由顶板、底板、腹板、隔板等组成，轨道梁梁宽0.69米，跨中梁高2.4米、2.8米，指点梁高4米，梁高采用圆曲线过渡。轨道梁为变高度箱型截面，截面尺寸为690x2400~4000x28(32)x18(24)，单根最大长度为28m，单根最大重量63.8吨。部分横梁为箱型截面形式，截面尺寸为600(860)x2400~4000x20x14，单根最大长度为2.65m，单根最大重量3吨。部分横梁、平纵梁为H型截面，截面尺寸为360x400x20x12，单根最大长度为3.4m，单根最大重量1吨。拼接板厚度为16~20mm。如何制定合理的安装工艺、安装顺序、拼装胎架，如何保证钢连续梁整体的线形精度和工程质量，是本论文研究的主要内容。



图1 直线段钢连续梁单节段效果图



图二 轨道梁行走面俯视图

二、轨道梁安装重难点分析

重难点一：双曲钢轨道梁整体造型复杂，空间呈同向弯曲，现场钢轨道梁分段拼装过程中易产生结构变形，施工测量控制难度大，拼装精度难以保证。

解决措施：现场采用钢结构仿真模型技术和三维激光扫描仪线形调节，全站仪测量就位结合的方式进行模拟分析和时时监测。

重难点二：轨道梁分段纵向对接口截面规格大，达 690*3600mm，接口间隙、错边要求高，节段单位就位后，整体线型精确调整为一大重难点。

解决措施：1 定制了三维千斤顶（三维顶推装置），单个千斤顶在 X、Y、Z 轴方向共设置 6 个液压缸，可对轨道梁进行精确的三维调节，达到安装精度最大化。用 midas（迈达斯）软件计算钢轨道梁受力和下降情况，采用先跨中，在两侧的卸载顺序，对钢轨道梁受力，变形协调，微量下降过程最为缓和，计算机控制三维千斤顶调节精度，每次下降 10mm 分部完成卸载，每次分部卸载后，应测量卸载点的标高，以确定下一次卸载的调整值



2 针对高空散装的钢轨道梁，设置门式防倾覆支架辅助三维千斤顶进行线型调整，保证调整后线型精度及过程施工安全。



重难点三：左右线钢轨道梁由联结系通过全螺栓连接，且节点空群为多方向空间连接空群，现场安装能否顺利进行为一大难点。

解决措施：

1. 要求钢连续梁加工厂预拼装时，需对每一螺栓孔进行通孔试验，确保全桥螺栓孔百分百通孔率。
2. 使用高精度龙门式自动数控三维钻床钻孔
3. 以先孔法与后孔法相结合的工艺
4. 设计高精度的制孔工艺装备

重难点四：轨道梁现场安装用格构支撑架的稳定性及其强度直接影响其的安装精度，所以钢梁安装用支架的强度作为控制重点。

解决措施：

1. 临时胎架安装前，对现场进行考察和测量，首先对安装基础不符合要求的场地，事先进行平整、硬化或加铺钢板。
2. 胎架安装完成后，需进行胎架试压，观察地基稳定性、地基的沉降、胎架的实际稳定性、胎架的实际弹性变形、消除胎架的非弹性变形。
3. 依据施工过程模拟计算设计验算胎架，采用有限元软件 MIDAS 对胎架承载力、整体稳定等受力性能进行校核。

重难点五：本轻轨项目修建于现有市政道路上空，施工场地大小，周边车辆通行是本工程施工重难点。

解决措施：市区内占道施工需制定专项交通疏解方案。制定场地及道路封闭需求计划，结合整个城市交通系统做详细交通疏解方案并提交交警部门审批后方可进行下步工作。

重难点六：钢轨道梁与混凝土轨道梁通过顶面及侧面指形板连接，且梁顶指形板直接作为轻轨走行面，其安装精度、表面粗糙度及防腐性能要求高

解决措施：

1. 按设计规范防腐周期 20 年以上，表面处理 Sa2.5 级后采用多元合金共渗 + 封闭层防腐处理，其中多元合金共渗层厚度达 50um。

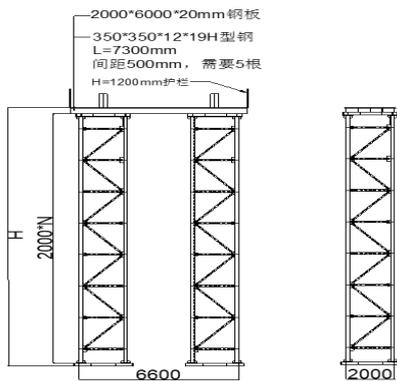
2. 指形板表面平整，强度及刚度满足要求；
3. 加工面粗糙度达 12.5，确保列车行驶稳定；
4. 满足 100mm 梁缝伸缩要求。

三、轨道梁安装工艺流程

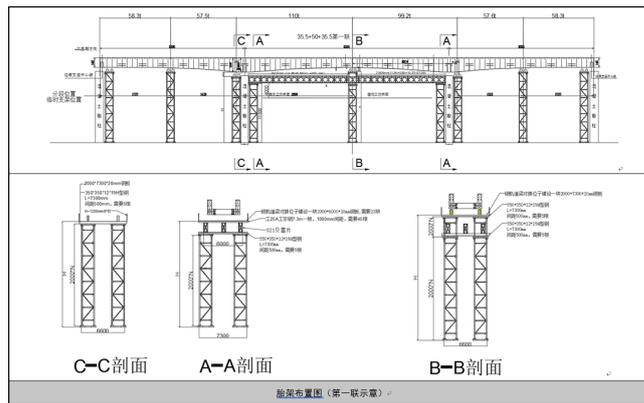
3.1 拼装胎架体系、格构支撑搭设

3.1.1 钢桁架格构支撑，贝雷架操作平台

1) 根据钢梁节段自重及现场地质条件，临时支撑采取钢管支架：各吊装单元接口位置设置钢管支架，用于钢梁定位及线型调整。需要根据各支承段的受力特点，综合考虑现场的支承环境，经过计算分析设计轴距为 6600×2000mm 的格构式组合胎架用于吊装单元接口位置。支架立柱采取规格 $\phi 159 \times 12$ 的钢管，立柱横向连接采用 $\phi 133 \times 10$ 的钢管，斜向采用 $\angle 70 \times 5$ 角钢连接。钢管上、下法兰板规格为 $20 \times 400 \times 400$ mm，钢管上表面布置 $H350 \times 350 \times 12 \times 19$ 型钢，H 型钢上表面布置规格 $\phi 192 \times 10$ mm 的调节钢管用于调整钢梁分段标高。其结构形式如下图所示：



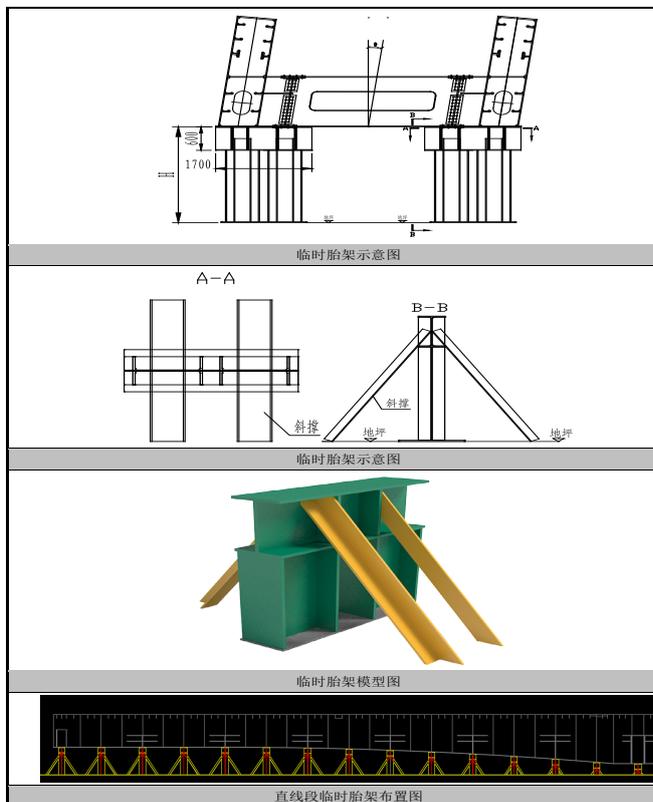
钢桁架格构支撑



钢桁架格构支撑示意图

3.1.2 拼装胎架搭设

1) 拼装胎架搭设根据方案钢梁各杆件运至现场后，吊装节段需要组装为整体吊装单元。对于曲线段钢轨道梁下翼缘为平面，组装时临时支撑采取 H 型钢支撑。直线段轨道梁下翼缘为曲面各个拼装胎架高度视构件下翼缘曲度和场地而定如下表所示



2) 莲花客运站散装区段施工时为防止轨道梁侧翻需在轨道梁各端头设置矩形框支撑架，保证施工安装如下表所示：

规格	单位重量 (Kg)	长度(mm)	数量	总重 (Kg)	备注
[20a	22.6	3910	320	28277.12	临时加强支撑每隔3米设置一道

临时加强示意图

钢梁节段吊装临时加强设计

3.2 钢梁安装

3.2.1 高架桥钢梁安装

1) 利用 50T 汽车吊搭设格构支撑架平台及贝雷片平台并在支撑平台上安装可调节支座，利用 350T 汽车吊地面拼装钢轨道梁再吊装，并在两端安装矩形支撑进行固定。



2) 大里程方向中跨节段左侧钢轨道梁吊装，同上。



3) 大里程方向中跨节段平纵联、横梁从大里程向小里程依次交替吊装。



4) 大里程方向边跨节段在地面拼装后，整体吊装。



5) 同上，大里程方向边跨节段吊装。



6) 同第一步, 小里程方向中跨节段右侧钢轨道梁吊装。



7) 小里程方向中跨节段左侧钢轨道梁吊装。



8) 小里程方向中跨节段平纵联、横梁吊装, 同第三步。



9) 小里程方向边跨节段吊装, 同第四步。



10) 小里程方向边跨节段吊装



2. 路口段桥钢梁安装

1) 边跨临时格构支撑体系安装



2) 边跨右线轨道梁组装，使用相关设备调整线形后与胎架临时固定。



3) 边跨左线轨道梁组装调整线形，与胎架固定。



4) 边跨平纵联、横梁依次交替组装，高栓施拧。



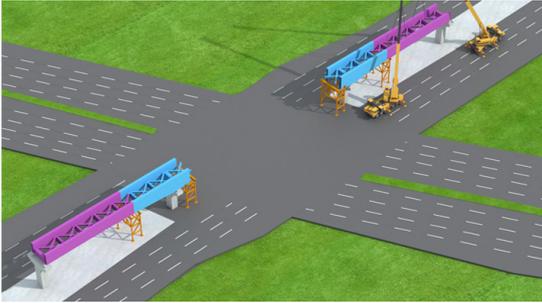
5) 边跨节段整体吊装，并与胎架临时固定。



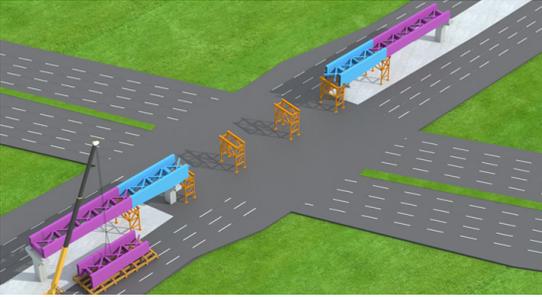
6) 同上，边跨节段依次吊装，使用全站仪监测成桥线形，并调整到符合设计要求。



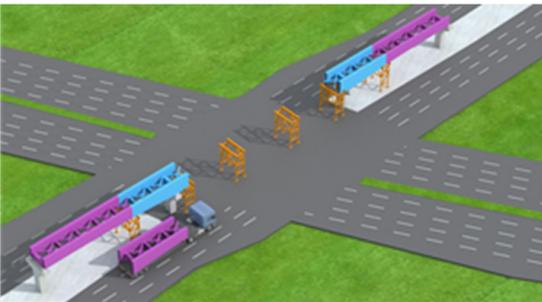
7) 同理另外一边跨各节段吊装。



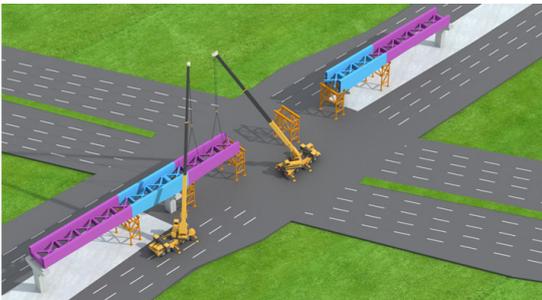
8) 为缓解现场交通压力，路口段中跨段节段采用非原位拼装，即在边跨位置进行地面拼装。



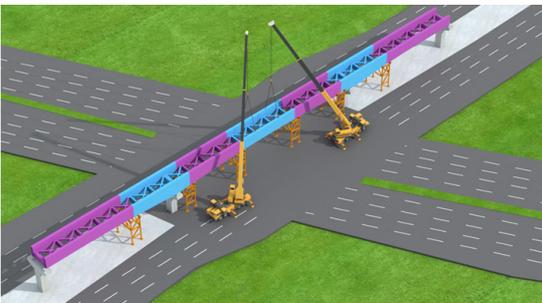
9) 使用平板车运输至中跨安装位置进行节段吊装。



10) 中跨第一节段吊装。



11) 中跨合拢段节段吊装



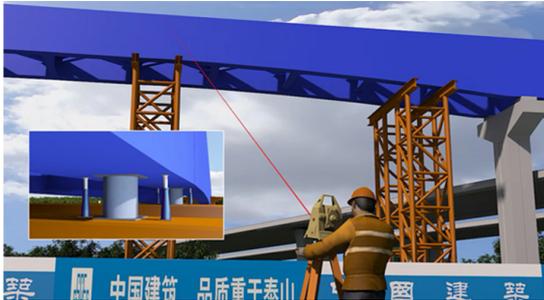
3.3 钢梁线形调整、焊接节段环口，检测、涂装

1、首先根据设计的线路中心及线路高程设置格构支撑体系、可调节临时支座的位置及高程。

2、在格构支撑平台上布置可调节临时支座进行线形精确调整，边墩位子格构支撑平台放置 2 个，中墩位子格构支撑平台放置 4 个。单个节段钢轨道梁架设过程中使用全站仪、可调节临时支座调整线型。

3、单节钢轨道梁节段采用汽车吊吊装方式架设。架设安装轨道梁时，轨道梁落梁时控制下落速度要缓慢、保证落梁之后与设计线路中心的误差最小。使得钢轨道梁线型在落梁时尽可能的满足设计要求。

4、根据落梁之后实际测量的线型误差以及轨道梁本身的生产误差，通过可调节千斤顶进行顺桥向、横桥向、竖向三个方向的精确调整，在曲线段，应从中间开始分别向两端顺序进行线形调整，特别注意消除横坡累计误差，把大横坡值控制在设计范围内，保证每一联线型平顺、圆滑，保证相邻钢梁的线型能够与PC梁顺接如下图所示。



千斤顶布置图

5、线形调整符合要求后焊接节段环口，检测、涂装。

3.4 钢梁整体卸载

1. 卸载时，在格构支撑平台上面放置可调节临时支座，每个断面卸载时，需要安排4人操作千斤顶，4人切割支撑。

2. 在测量胎架上架设好全站仪，卸载前再复核整个桥面的线形监测点，确保满足图纸要求的线形，并做好记录。

其次在地面上用水准仪监测支撑体系的沉降状况，观测是否在均匀变化，记录测量数据。

3. 将支撑体系上的所有千斤顶同时顶紧，用气焊切割开支撑体系横梁上的支撑，切割点与横梁距离至少要大于20mm，以免割伤横梁。每次切割约使支撑下降10mm，分次切割，直至节段不再下降为止。

4. 切割过程中用全站仪监测每个监测点，同时监测支撑体系的沉降是否均匀，若变化不均匀要立即停止所有操作，对不均匀沉降支架的基础进行加固处理后，再继续施工。若支架沉降满足要求，再复核这一区域的成桥线形，微调千斤顶使其满足设计和规范的要求，然后将支撑体系上的所有调节支撑都切割下来。

卸载控制措施：每个卸载区域卸载时要统一指挥，操作者听口号，步调一致，均匀卸力。按纵横两个方向分级同步卸载，横向卸载由于桥宽较窄横向自由两个支撑，需要同时卸载。纵向卸载由跨中向支点卸载。卸载过程要缓慢，不可一次到位，应使各组支撑体系都处于受荷状态。卸载过程中一要对桥面支撑体系点进行严格的沉降观测，及时汇报各检测点的数据，二要观测轨道梁顶板上设置的监测点，确保成桥的线形。

5、轨道梁预计实施效果图如下图所示



轨道梁预计实施效果图

四、结束语

本工程为省优工程，钢结构总量不多，但是安装难度大，对钢结构工程的安全、质量、进度以及成本控制提出了较高的要求。本文通过对跨座式单轨交通双曲钢轨道梁安装制作工艺可行性进行深入研究，在保证工程安装焊接质量以及工程施工安全的条件下，降低其施工难度、成本消耗，并加快了施工进度，保证工程的顺利完成，可为以后类似的工程安装施工提供借鉴的经验和依据。

[参考文献]

- [1] 《铁路钢桥制造规范》TB10212-2009
- [2] 《桥梁用结构钢》GB/T714-2015
- [3] 《跨座式单轨交通设计规范》GB50458-2008
- [4] 《城市轨道交通技术规范》GB50490-2009
- [5] 《铁路桥梁钢结构设计规范》TB10091-2017