

悬挂式单轨轨道梁制造工艺研究

杨翠屏 张 津 邢 扬

(中铁山桥集团有限公司, 066205, 秦皇岛//第一作者, 工程师)

摘 要 以中车青岛四方机车车辆有限公司悬挂式单轨车辆试验线项目为依托, 针对悬挂式单轨轨道梁“梁-轨”合一的结构特点, 对兼做轮轨走行面的开口箱型轨道梁的加工制造工艺进行研究。介绍了悬挂式单轨轨道梁的结构形式; 分析了单轨轨道梁制造过程中的难点, 并对制造方案进行比选; 系统阐述了悬挂式单轨轨道梁的制造工艺及精度控制方法。

关键词 悬挂式单轨; 轨道梁; 制造工艺

中图分类号 U232.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.04.012

Research on the Manufacturing Process of Suspended Monorail Beam

YANG Cuiping, ZHANG Jin, XING Yang

Abstract Taking the suspended monorail testing line project of CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd as the engineering background, and according to the structural features of beam-rail integration, the manufacturing process of the open box-type track beam structure used as the wheel/rail running surface is elaborated. Then, the track beam structure for suspended monorail is introduced, difficulties in the manufacture of the track beam are pointed out, manufacturing schemes are compared and selected. Finally, the manufacturing processes of the track beam structure for suspended monorail and the key points in precise control are illustrated systematically.

Key words suspended monorail; track beam; manufacturing process

Author's address China Railway Shanhaiguan Bridge Group Co., Ltd., 066205, Qinhuangdao, China

悬挂式轨道交通系统是一种轻型、中速、中运量、低成本的新型公共交通方式^[1~3], 其构造灵活, 建设相对简单, 一般采用高架结构、“梁-轨”合一的轨道系统。由于轨道梁宽度窄, 占用空间、土地均较少, 故城市空间利用率高、地形适应能力强。因走行轮和导向轮始终在开口箱型轨道梁内部, 可有效减少恶劣环境、天气等对轮轨接触的影响, 使悬

挂式轨道交通系统具有列车走行噪声低、电力供电量小、排气污染少、对环境影响小、安全性较高、资金投入小、施工简便等优点。轨道梁采用标准钢箱梁, 可通过工厂预制、现场拼装的方式来保证精度, 大大缩短了建设工期。

本文以中车青岛四方机车车辆股份有限公司悬挂式单轨试验线项目(以下简称“青岛试验线”)为依托, 对悬挂式单轨轨道梁的制造工艺进行研究。该试验线含正线和出入库线各 1 条, 线路全长 882.019 m, 设置直线段、平曲线段、竖曲线段, 可 1 次进行加减速性能、小曲线半径通过性能、爬坡能力和防灾救援试验, 并可进行模拟运行试验。青岛试验线列车最高运行速度为 50 km/h, 线路最小平曲线半径为 50 m, 最小竖曲线半径为 1 000 m, 最大坡度为 6.0%。

1 轨道梁结构形式与制作难点

1.1 结构形式

青岛试验线单轨轨道梁的主梁采用跨径分别为 20 m、21 m、25 m 的中空开口简支箱型梁。梁内腔高 1.20 m、宽 0.78 m, 内部无隔板, 为细长、中空、开口箱型。悬挂、行走、导向及供电等机构置于主梁箱内。主梁下盖处中心位置设置了 200 mm 宽的开口, 用于梁内机构与车厢厢体的连接。主梁外侧布置了加劲构造隔板, 主梁两端通过牛腿与 L 形桥墩连接, 形成梁柱简支结构(见图 1)。

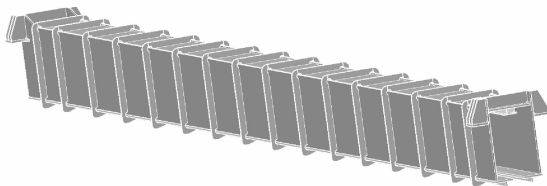


图 1 悬挂式单轨轨道梁主梁示意图

开口箱梁的主要连接关系如图 2~4 所示。腹板与底板间为熔透焊缝, 牛腿与腹板间为熔透焊

缝,直线段和竖曲线段顶板与腹板间为坡口角焊缝,平曲线段顶板与腹板间为熔透焊缝,外隔板分块对接处为熔透焊缝,其余是角焊缝。

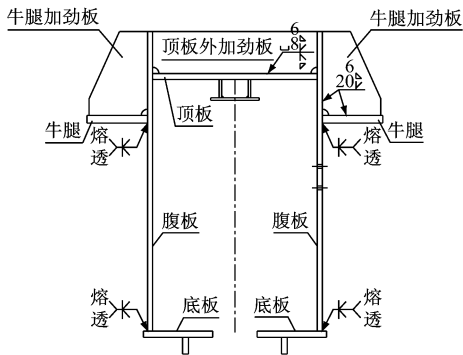


图2 开口箱梁牛腿处连接关系示意图

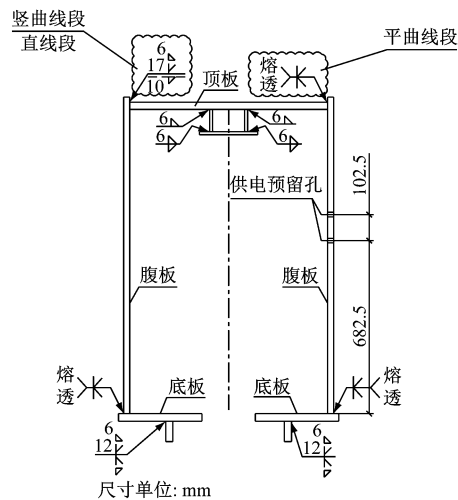


图3 开口箱梁主焊缝连接关系示意图

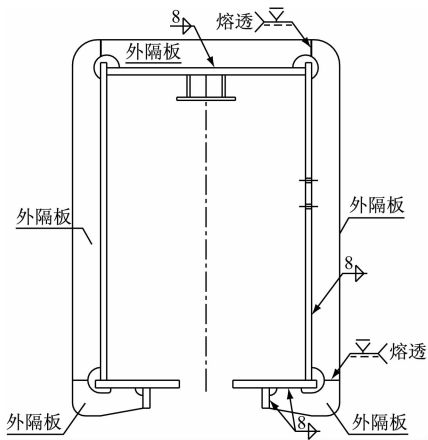


图4 开口箱梁外隔板连接关系示意图

1.2 制造难点

基于“梁-轨”合一的结构特点,悬挂式单轨轨道梁同时实现了承重和导向功能,既是轨道又是桥梁。因此,悬挂式单轨轨道梁的结构形式和尺寸精

度要同时满足桥梁和轨道的使用条件和要求。

由于主梁底板兼做轮轨走行面,故轨道梁的竖向和平面的曲线线形必须满足线路的曲线要求。此外,轨道梁截面为底部开口的箱型截面形式,熔透焊缝较多,箱内无隔板支撑,故轨道梁自身抗扭刚度相对较弱,因焊接而导致的箱体弯曲、扭曲及倾斜等难以控制。而且,外侧腹板预留的供电滑触线连接孔距走行面(底板)距离、主梁腹板间距、两侧轨道高低差精度要求高。因此,轨道梁的制造难度大。这些顶点制造精度的控制是制造过程中的重点和难点^[4]。

依据设计要求、《铁路桥梁钢结构设计规范》^[5]及《铁路钢桥制造规范》^[6],轨道梁制造的主要精度要求见表1。

表1 轨道梁制造精度要求

| 项目 | 尺寸偏差最大允许值/mm |
|-----------------|--------------|
| 相邻主梁底板走行面高差 | 1.0 |
| 相邻主梁腹板横向错位 | 1.0 |
| 主梁腹板间距 | 2.0 |
| 主梁箱体断面对角线差 | 3.0 |
| 供电预留孔中心线距走行轨面间距 | 0.5 |

2 轨道梁制造方案

轨道梁的制造主要有刚性方案和柔性方案^[7-8]。

2.1 刚性方案

刚性方案即正装法。轨道梁内部设可拆卸式工艺隔板,外部设底板胎架,先制作顶板、底板及腹板等单元件,并修整至理论线形,然后在胎架上整体组装、焊接、修整。

刚性方案的总体工艺流程为:①顶板、底板、腹板等单元,下料完成后组装成单元件;②组装槽形结构,外设底板胎架,内设可拆卸式工艺隔板,组装底板及两侧的腹板单元;③扣顶板→组装剩余隔板→组装、焊接牛腿→出预埋孔→涂装。

刚性方案优点在于:能较好地控制截面尺寸及底板行走面的高低差;胎架设置对轨道梁整体线形控制较好,容易满足本试验线轨道梁平、竖曲线的特殊线形要求。缺点在于:反复修整、焊接操作空间小;由于受槽形结构高度及坡口角度的限制,自

动化焊接设备同内隔板及腹板易出现碰撞事故;存在较大范围的自动焊无法操作区,需要人工焊接,大大降低了焊接效率,也降低了杆件制作的效率。

2.2 柔性方案

柔性方案即倒装法。将顶板制作为单元件,将腹板与底板制作为 L 形单元件并预留部分反变形,然后再整体组装、焊接、修整。

柔性方案的总体工艺流程为:①顶板、底板、腹板等单元下料完成后,先将其组装成顶板单元,以及底板+腹板的 L 形单元;②在顶板上组装 L 形单元;③构件翻身→组装剩余加劲隔板→组装、焊接牛腿→出预埋孔→涂装。

该方案合理利用单元件下料尺寸及焊接变形,能够满足单元件所需的尺寸和精度要求。柔性方案的优点在于:没有工艺内隔板,能连续施焊,修整量小,焊接操作空间大,节省胎架,有力地保证了焊接质量及效率。缺点在于:①同一轨道梁两侧的 L 形单元是分别制造的,因此不能保证 2 块单元的尺寸和焊接变形完全一致,使其拱度及组装位置难以保持一致。即便使用工艺拉条对两侧的 L 形单元进行固定,但考虑到不对称焊接及后期修整等因素影响,对截面尺寸、腹板垂直度及底板行走面的高低差控制难度大。②轨道梁由于缺失内外胎,其箱体内宽、行走面高低差及截面尺寸偏差较大,致使后期修整难度急剧增大;③梁体组焊完成后,会有二次修整,构件需翻身。

2.3 方案比选

两种方案的牛腿组装焊接,均在轨道梁开口箱型制作完成后,将其支撑状态改为两端简支的拟桥位状态下完成。支撑状态转换后,柔性方案箱体在就位前因底板形状位置与理论位置有差别(槽形结构两侧腹板呈八字形),其底板受压,使整个“腹板+底板”产生弯矩并变形。若槽形结构两侧腹板为倒八字,则此影响可以忽略。刚性方案则由于组装时设置了工艺内隔板,其腹板与底板垂直度较好,此影响亦可忽略。

两种方案在箱体组装时均拟在底板开口处设置工艺拉条。拉条拆除后,刚性方案由于增加了临时隔板和外胎,其腹板与底板的垂直度保持较好;柔性方案由于组装时没有临时隔板和外胎,其腹板与底板的垂直度难以保证,故拆除工艺拉条后的开口尺寸不易控制。

为使供电预留孔中心线距走行轨面间距离满

足要求,在开口箱型轨道梁整体制作检验合格后,两种方案都拟制作专用钻孔样板。这不仅可对主梁外侧腹板螺栓孔实现高精度控制,还可加快构件制作进度。

经对比,为保证轨道梁制造精度,组焊接宜采用刚性方案正装法。

3 制造工艺

3.1 制造胎架

利用胎架控制线形,即在基础牙板上焊接线形牙板以保证水平标高。这种结构形式既适用于有竖曲线型的主梁,又适用于有平曲线型的主梁。按轨道梁底板线形,每隔 2 m 在平台设置 1 道基础牙板。线形牙板安装后,使用水准仪对牙板高程进行复测,以确保牙板上边缘高程符合线形。

3.2 制造单元件

(1) 底板单元:底板单元件为非对称构造,其纵向加劲肋截面尺寸为 $28\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ 。为避免全长范围内出现因不对称切割而导致的较大弯曲变形,底板在分段下料后接料,再将底板与纵向加劲板组装焊接,并整修至成桥线形。

(2) 顶板单元:先组焊 II 形加劲板,再组装焊接顶板。应严格遵守对称施焊的原则,将加劲板修整后与顶板焊接,并二次修整至成桥线型。

(3) 腹板单元:将外隔板竖向加劲板与腹板组装焊接,并整修至成桥线型。腹板按成桥线型下料。

3.3 组装槽型

将底板单元置于胎架上,调整好拱度、线形及底板内侧间距。基于轨道梁开口的特点,焊接变形容易过大。为增加底板刚度、减小焊接变形、确保底板两侧的一致性,使用工艺拉条对底板内侧固定。组装时应考虑工艺加量,并保证底板与基础牙板密贴。

为控制底板走行面高差及腹板平面度、腹板间距及腹板横向错位差,较好地控制截面尺寸,组装时使用的可拆卸式工艺内隔板必须密贴,以确保腹板平行,保证腹板与底板的垂直度,避免旁弯。该隔板设置进出人孔,便于施工操作,又可反复利用,经济实用(如图 5 所示)。按照对称施焊的原则组装焊接腹板单元,以减少底板与腹板间熔透焊缝所产生的焊接变形。待修整合格后才能进行下一道工序。

3.4 组装焊接顶板及外加劲板

顶板与腹板间的焊缝,平曲线段为熔透焊缝,

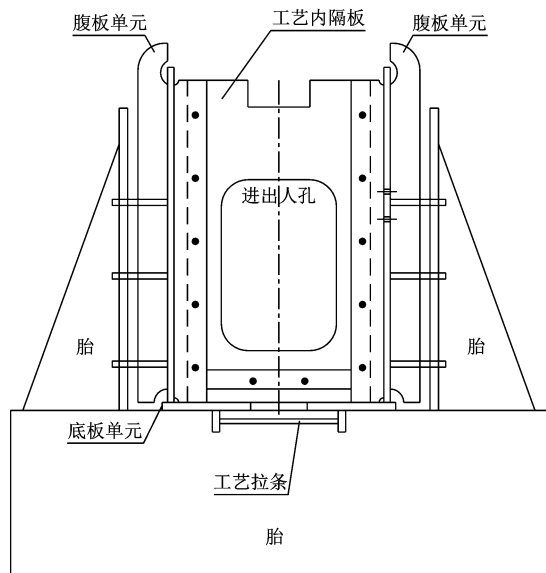


图5 轨道梁组装槽型

其它段为坡口角焊缝。考虑到熔透焊收缩量大,故下料时针对不同焊缝,考虑不同工艺加量。

组装焊接顶部及底部外隔板,并矫正至成桥线型。组装焊接完成并修整合格后,拆除工艺内隔板。组装时应在焊接间隙处加反变形量,以减少外隔板对接焊缝收缩对轨道梁截面尺寸的影响。

3.5 组装焊接牛腿

轨道梁整体检验合格后,拆除牙板,改为以牛腿支撑的桥位模拟状态。将轨道梁置于工艺安装台上,使轨道梁呈桥位状态,仅两端支撑。以下盖板下表面为基准,以工艺安装台的定位线沿铅垂方向返两端二次切头线,完成二次切割。

在工艺安装台上安装牛腿,先组装牛腿座板,并完成座板与腹板之间的熔透焊缝。座板制作时宜先出孔,到焊接边的孔距应适当加量,以抵消焊接收缩;然后,从中间向两侧,依次组装焊接牛腿加劲板。为确保座板的平面度,组装时应严格控制牛腿加劲板与腹板、座板的间隙。

复测轨道梁各检查项点,对个别不合格项点进行最终修整。

3.6 预埋孔钻孔样板

主梁外侧腹板供电孔距下翼缘板的精度要求

高。为保证孔精度,设计了以底板底面为基准的专用钻孔样板^[9]。这样既保证了钻孔的精度,又大大加快了进度。

3.7 涂装

第一遍打砂后,按桥位状态支撑,打开底板拉条,复测梁长、梁高、梁宽及底板开口尺寸等关键数据。

4 结语

经轨道梁实际制造和工地架设,对关键点的测量监控显示,此制造工艺能较好地满足青岛试验线理论线形的要求。其控制截面对角线差 ≤ 3 mm、底板行走面的高低差在 $0 \sim 1$ mm范围变化,满足制造精度要求。拆除内隔板之后,箱型内宽、行走面高低差仍符合要求,截面尺寸较好。由底板支撑状态改为拟桥位简支支撑状态后,实测腹板与底板垂直度较好。底板工艺拉条打开后,实测梁宽增加 $1 \sim 2$ mm,满足精度要求;主梁外侧腹板通过使用钻孔样板,实现了对螺栓孔的高精度控制。

参考文献

- [1] 沈文敏. 悬挂式空中列车系统的特点和优势[J]. 中国工程咨询, 2013(6): 65.
- [2] 薄海清. 悬挂式单轨交通车辆检修工艺及关键设备探讨[J]. 铁道标准设计, 2013(1): 121.
- [3] 潘西湘. 悬挂式单轨系统轨道梁结构优化设计研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [4] 宋红飞. 京沪高铁济南黄河桥钢桁梁制造难点分析与对策[J]. 钢结构, 2012, 27(10): 60.
- [5] 中华人民共和国铁道部. 铁路桥梁钢结构设计规范: TB 10002.2—2005 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [6] 中国铁路总公司. 铁路钢桥制造规范: Q/CR 9211—2015 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015: 49.
- [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.
- [8] 邢扬, 杨翠屏. 沪通长江大桥整体节点下弦杆制作工艺研究[J]. 钢结构, 2017, 32(4): 74.
- [9] 李书学, 董晓军, 何亮. 南京大胜关长江大桥钢梁制作技术——主拱整体节点杆件划线与钻孔工艺[J]. 钢结构, 2009, 24(5): 77.

(收稿日期: 2018-01-05)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www.umt 1998. com