

# 跨坐式单轨车辆转向架构架焊接生产线工艺设计

葛怀普 王志伟 丁珂

(中车浦镇庞巴迪运输系统有限公司,241060,芜湖//第一作者,高级工程师)

**摘要** 以 PBTS 跨坐式单轨车辆转向架构架焊接生产线为研究对象,通过对构架的整体结构进行剖析,分级细化焊接工艺流程,设计了以机器人焊接为主、手工焊为辅的产线配置方案。从工序的作业内容、工序设备的生产能力以及生产作业时间等方面,对工艺生产线进行了平衡优化,从而在单班 8 h 工作制的情况下,实现单机器人工位 2 d 一个构架的产能。

**关键词** 跨坐式单轨车辆; 转向架构架; 焊接工艺; 流程设计

**中图分类号** U270.331 :U232

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2019.10.026

## Process Design of Welding Production Line for the Bogie Frame of Straddle Monorail Vehicle

GE Huaipu, WANG Zhiwei, DING Ke

**Abstract** Taking the welding production line of PBTS straddle monorail vehicle bogie frame as the research object, the overall structure of the frame is analyzed, the welding process is classified and refined. On this basis, a configuration scheme of the production line is designed, in which the robot welding is the main part and the manual welding the auxiliary part. The balanced design of the production line is carried out from aspects of process content, production capacity of the process equipment and production time. Thus, in the circumstance of 8-hour work system for a single shift, the single robot workstation could complete one-frame capacity in 2 days.

**Key words** straddle monorail vehicle; bogie frame; welding procedure; process design

**Author's address** CRRC Puzhen Bombardier Transportation Systems Ltd., 241060, WuHu, China

跨坐式单轨交通系统作为传统地铁、轻轨之外新的轨道交通制式,具有投资较少、地形适应能力强、建设周期短等优点,目前已在美国、日本、新加坡、马来西亚、巴西、韩国、沙特阿拉伯、阿联酋等国,以及我国的重庆、上海、芜湖等城市得以广泛运

用。本文基于国内首个 PBTS 跨坐式单轨车辆,对其构架焊接生产线的工艺设计进行研究。

## 1 单轨车辆转向架构架结构介绍

不同于传统制式的地铁车辆,跨坐式单轨车辆的转向架走行轮由橡胶轮胎取代铁道车辆的钢制车轮,由导向轮取代钢制车辆车轮轮缘起导向作用。每个转向架共有 8 个橡胶轮胎,其中:走行轮 2 个,导向轮 4 个,稳定轮 2 个。走行部分较为紧凑的转向架构架是以碳钢材质 S355J2 为主要材料的焊接结构,其主要化学成分及力学性能如表 1 和表 2 所示。跨坐式单轨车辆转向架构架由基础框架、侧梁、导向轮座、电机吊座以及其他小部件组焊而成,如图 1 所示。电机吊座布置于一侧,整体前重后轻、不对称,结构复杂。

表 1 碳钢材质 S355J2 的化学成分 <sup>[1]</sup>		%
材料	质量分数	
C	≤0.230	
Si	≤0.600	
Mn	≤1.700	
S	≤0.035	
P	≤0.035	
Cu	<0.600	

表 2 碳钢材质 S355J2 的力学性能 <sup>[1]</sup>	
力学指标	指标值
屈服强度/MPa	≥355
抗拉强度/MPa	470~630
断面伸长率/%	≥22
缺口冲击功*/J	≥27
* 在-20℃下的缺口冲击功	

## 2 单轨车辆转向架构架焊接生产线工艺

为了更好地保证产品质量,提高工厂生产效率,降低人工成本,制造工艺在规划设计时应尽可能地采用机器人焊接,辅以少量的人工焊接。跨坐式单轨车辆转向架构架采用模块化制造工艺,在分别完成横向止挡、牵引杆支座、导向轮座等小件

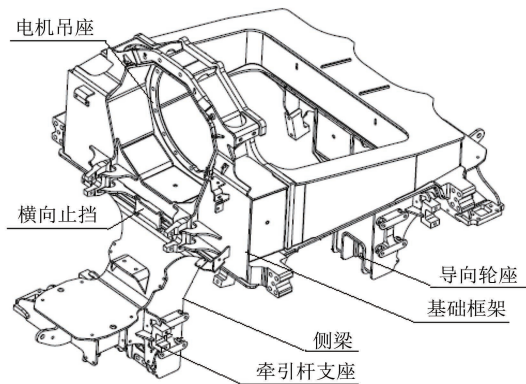


图 1 跨坐式单轨车辆转向架构架结构

和电机吊座的组装及焊接后,再进行侧梁和基础框架组焊(即将电机吊座与基础框架组焊至一起),最

后将基础框架与侧梁组焊。跨坐式单轨车辆转向架构架焊接的具体流程如图 2 所示。

在整个工艺流程中:小件焊接工序由于本身结构特殊,且焊缝长度较短,采用手工焊接;基础框架为整体箱型结构,易产生扭曲和弯曲变形,且矫正困难,加之基础框架上包含了左右横向止挡、电机吊座等关键零部件,对焊缝质量的要求很高,且焊接工作量占整个构架焊接工作量的 55%,因此,基础框架焊接工序对构架整体质量影响很大;构架总组工序直接影响构架上各安装座的组对尺寸,并对构架最终尺寸有着决定性影响。综上考虑,基础框架、构架总组采用机器人焊接,基础框架和构架总组的组装定位焊采用手工焊接。

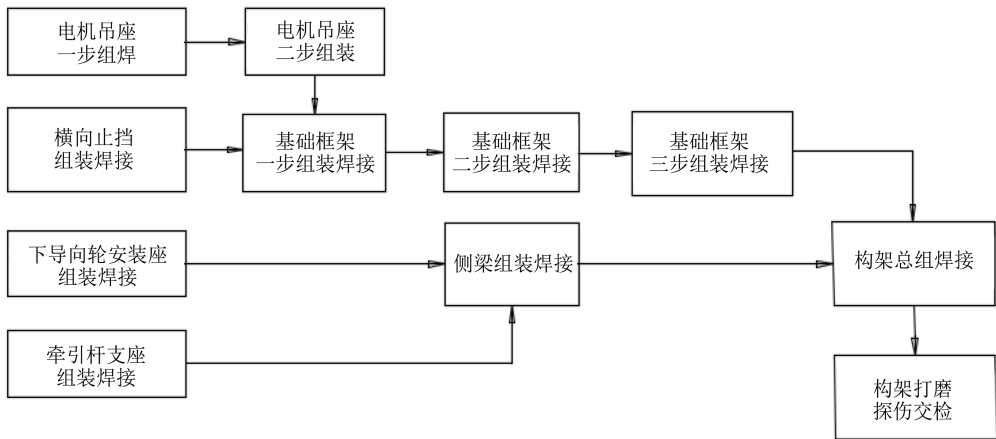


图 2 跨坐式单轨车辆转向架构架焊接工艺流程

### 3 单轨车辆转向架构架焊接生产线优化

生产线平衡是指对生产线的全部工序进行平均化,调整作业负荷,以使各作业时间尽可能相近的一种技术手段与方法<sup>[2]</sup>。单轨车辆完成了转向架构架焊接生产线的工艺流程设计之后,需要对其焊接生产线作进一步的平衡优化,方可投产使用。

影响生产线平衡的因素主要包含:工序的作业内容、操作者的技术水平、工序设备的生产能力,以及物流的安排等其它因素。基于图 2 的工艺流程,为了尽可能利用机器人实现自动焊接,提高设备利用率,在工艺设计之初就考虑了采用单机器人双工位模式,其工序作业顺序如图 3 所示,图中数字序号为各工序的代码,其代表的工序见表 3。除去小件工

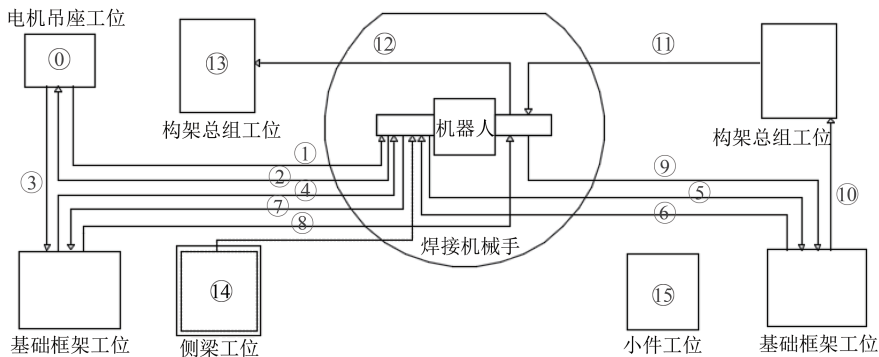


图 3 单轨车辆转向架构架焊接工序作业顺序

位采用手工焊外,其余各工位均以机器人焊接为主。

表 3 单轨车辆转向架构架焊接工序作业时间统计

工序号	工序名称	作业时间/min	作业人数
0	电机吊座一步组装	60	2
1	电机吊座一步焊接	40	1
2	电机吊座二步组装	70	2
3	基础框架第一步拼装	200	3
4	基础框架第一步焊接	130	1
5	基础框架第二步拼装	300	3
6	基础框架第二步焊接	120	1
7	基础框架第三步拼装	270	3
8	基础框架第三步焊接	304	1
9	基础框架第四步拼装	196	3
10	构架总组第一步拼装	194	2
11	构架总组第一步焊接	223	1
12	构架总组第二步拼装	100	2
13	构架总组打磨交检	197	2
14a	侧梁焊接(机器人)	280	1
14b	侧梁焊接(手工)	380	1
15	小件焊接	120	1

对试制阶段的首列车转向架构架主要工序作业内容及生产时间进行了统计,如表 3 所示。从表 3 中可以看出,工序 0、2、3、5、7、9、10、12 为拼装工序,作业时间总计为 1 380 min;工序 1、4、6、8、11、14 为机器人焊接工序,作业时间总计为 1 097 min;工序 13 的作业时间为 197 min;工序 15 为手工焊接工序,作业时间为 120 min。为保证各工位连续作业,减少等待时间,将现场作业内容进行调整分配。如图 4 所示,将这 16 个工序主要划分为 4 大生产工位,分别为:A 工位(工序 13、15),总作业时间 317

min;B 工位(工序 0、2、3、7、12),总作业时间 700 min;C 工位(工序 5、9、10)总作业时间 690 min;R 工位(工序 1、4、6、8、11、14)总作业时间 1 097 min。

由于基础件为采购件,物流采用工位配送模式,且操作者均已经过培训和考试,取得上岗资格,故生产线的平衡优化主要考虑工序作业内容、时间以及设备生产能力等方面。依据生产平衡率的计算公式

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{sn} \times 100\%$$

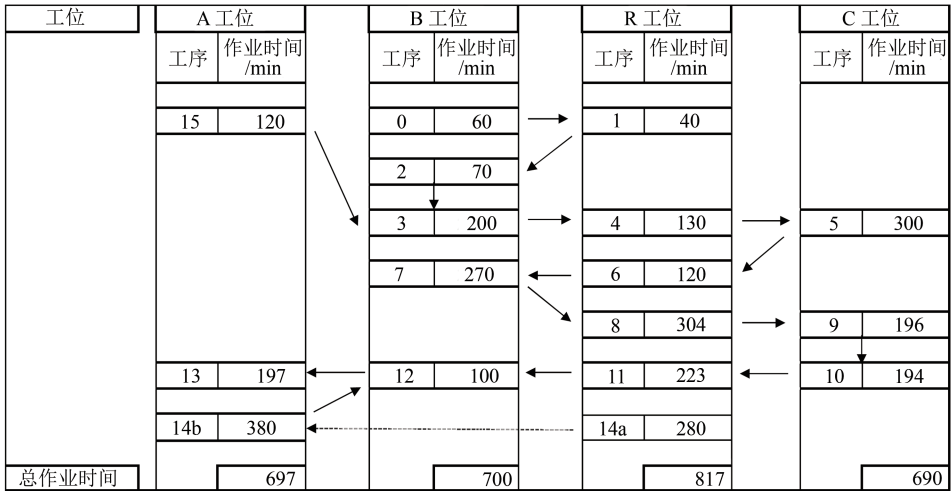
式中:

- $\varepsilon$ ——初始生产平衡率;
- $t_i$ ——第  $i$  个工位的作业时间;
- $s$ ——瓶颈工位合计所需工时;
- $n$ ——工位数。

基于现场 4 大工位作业模式,确认瓶颈工序为 R 工位(机器人焊接工位),计算得到  $\varepsilon=63.9\%$ 。

为了在现有资源配置条件下,尽可能实现工序平衡,进一步提高生产平衡率,对现有的 4 大工位作业内容进行微调,如图 4 所示。从图 4 中可以看出,工序 14 采用机器人焊接时,A 工位作业时间总计为 317 min,R 工位作业时间总计为 1 097 min。工序 14 采用手工焊时,A 工位作业时间总计为 697 min,R 工位作业时间总计为 817 min,计算得到调整后的生产平衡率约为 88.9%。

在单班 11 人配置、围绕单机器人作业的情况下,工序 14 调整为手工焊,工序 13、14、15 为 A 工位,工序 0、2、3、7、12 为 B 工位,工序 5、9、10 为 C 工位,各工位平均作业时间约为 700 min,机器人R



注：图中箭头表示作业顺序；14a表示该工序采用机器人焊接；14b表示该工序采用手工焊接

图 4 单轨构架焊接工序平衡优化分组 (下转第 110 页)

进行分析,按照离散差异超过 20% 进行脱靴预警。

### 3.4 试验验证

根据上述靴轨异常逻辑判断原理,对相关逻辑判断进行了实验室试验验证和实车试验验证。限于篇幅,本文仅给出实车测试中单个集电靴脱靴的电流数据。对单节车辆中的 4 个集电靴分别编号为 1 号、2 号、3 号和 4 号集电靴。在列车运行过程中,通过绝缘传动装置使 3 号集电靴脱离供电轨,满足了上文第 1 种逻辑判断:正负集电靴电流总值在 55 A 以上,3 号集电靴电流值在 1 A 以下,且持续时间 5 s 以上,集电靴电流曲线如图 6 所示,因而监测系统触发 3 号集电靴脱靴报警,并将报警信息及图像值推送至控制中心。

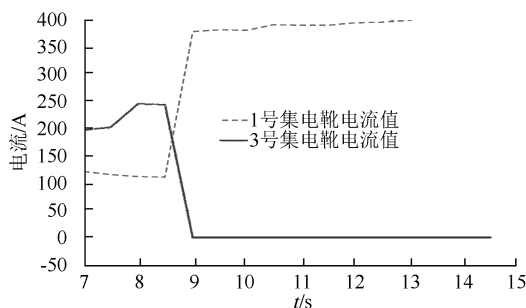


图 6 集电靴电流曲线

## 4 结语

本文通过靴轨平顺性试验测试得到的结果是：

在连续的供电轨、接地轨区段,靴轨平顺性指标良好;而在道岔分段处,靴轨的平顺性受供电轨、接地轨的对齐精度影响较大。通过定期进行靴轨平顺性试验,对大量试验数据进行分析,统计出其振动加速度峰值数据,进行预防性维护,可极大地降低靴轨冲突事件的发生。

本文通过对靴轨视频监测系统的研究,实现了对无人驾驶 APM 系统列车靴轨状态的实时监测。该监测系统能自动识别并监测绝大部分靴轨运行的异常现象,可利用车地无线通信网络向控制中心推送故障报警信息和故障视频及图像,再由控制中心对所有列车进行集中管控。

靴轨平顺性测试为预防性维护提供了依据,结合运营过程中靴轨视频监测系统的应用,可极大地提高 APM 系统靴轨运营安全监测和管理维护效率。

## 参考文献

- [1] 王鹏,骆海坤.城市轨道交通第三轨受流器动态特性试验及分析[J].城市轨道交通研究,2018(7): 117.
- [2] 王振云,王振全,李相泉.受流器与接触轨匹配特性研究[J].现代城市轨道交通,2011(6): 55.
- [3] 张爱民,钟声标,张晓良.广州地铁综合检测车第三轨检测系统[J].技术装备,2013(3): 30.
- [4] 陈联斌.地铁第三轨及其受流器的测量系统[J].现代城市轨道交通,2005(1): 52.

(收稿日期:2019-06-02)

(上接第 106 页)

工位作业时间为 817 min。考虑到每天人工的有效作业时间 350 min,机器人的有效作业时间 409 min,在生产平衡率从调整前的 63.9% 提高到调整后的 88.9% 基础上,可以实现 2 d 生产出一个单轨车辆转向架构架的产能。

## 4 结语

工艺设计是生产线建设中相当重要的环节之一,也是持续改进和完善的动态过程。在单轨车辆转向架构架的焊接生产线工艺设计中,充分结合机器人焊接与手工焊接的特点,初步规划的机械化焊接比例约为 70%。各工序充分围绕机器人焊接进行布局,通过人员分组调配,在单班配置 11 人下的

情况,适当提高机器人的利用率(单班作业时间比人工作业时间多 59 min),可以实现 2 d 一个构架的产能。

## 参考文献

- [1] 欧洲标准委员会.结构钢的热轧产品—第二部分:非合金结构钢的供货技术条件:EN 10025—2[S].布鲁塞尔:欧洲标准委员会,2004: 19.
- [2] 李波.东风轻型车厢焊接生产线[D].长沙:湖南大学,2010.
- [3] 陈超,李明辉.杭叉集团自动化焊接生产线[J].设备管理与维修,2018(8): 161.
- [4] 胡涛.焊装自动化生产线的工位布局优化对生产效率的提升[J].创新与交流,2018(6): 137.

(收稿日期:2019-05-12)