

标准动车组司机室前窗组焊后变形 控制方法研究

李明, 汤运刚, 姜汉斌

中车青岛四方机车车辆股份有限公司 山东青岛 266111

摘要: 标准动车组前窗安装骨架为三维不规则结构。浅析了标准动车组前窗安装骨架的制造工艺流程及焊接过程的变形情况, 从动车组司机室结构、前窗结构及焊接热输入等方面对三维窗结构焊接变形的原因进行了分析, 并基于模块化工装提出了控制三维窗结构骨架焊接变形的工艺方法。数据跟踪结果显示: 经变形控制后的前窗结构各部位的变形超差率及调修时间大幅下降, 提高了制造精度及生产效率, 降低了生产成本。

关键词: 三维窗结构; 标准动车组; 焊接变形; 模块化工装; 工艺控制

Research on control method for deformation of front window assembly and welding of standard high-speed train

LI Ming, TANG Yungang, JIANG Hanbin

CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266111, Shandong, China

Abstract: The installation skeleton of the front window of a standard high-speed train is a three-dimensional irregular structure. This article analyzes the manufacturing process of the installation skeleton of the front window of a standard high-speed train and the deformation during the welding process. The reasons for the welding deformation of the three-dimensional window structure are analyzed from the aspects of the high-speed train structure, front window structure, and welding heat input and distribution. Based on modular assembly, a process method for controlling the welding deformation of the three-dimensional window structure skeleton is proposed. The data tracking results show that after deformation control, the deformation exceedance rate and adjustment time of various parts of the front window structure have significantly decreased, improving manufacturing accuracy and production efficiency, and reducing production costs.

Keywords: 3D window structure; standard high-speed trains; welding deformation; modular assembly; process control

1 序言

随着经济的高速发展和生活节奏的加快, 人们对出行效率和交通运输质量提出了越来越高的要

求。高速动车组快速、安全、舒适及高技术含量等特性使我国的运输装备水平提高到了一个新台阶^[1], 成为解决人员高效转运和区域经济协调快速发展的

主要交通运输工具。铝合金材料具有无磁性、比强度高、耐腐蚀、塑性好、易加工成形、密度低及经济性好等诸多优势^[2],使得动车组的高速、轻量化成为可能。中国标准动车组车体多为由大型中空铝合金型材组焊而成的筒形结构^[3],其司机室主要为铝合金板材经加工后组成的骨架式结构,前窗为铝合金型材拼接结构,与司机室骨架组装为一体。然而,铝合金的热导率高,在同等焊接速度下,铝合金的焊接热输入比钢材大2~4倍^[4],致使前窗焊接变形成为司机室质量控制的一个难点。

2 动车组前窗结构及组焊流程

2.1 司机室前窗结构

动车组司机室结构由头部骨架、气密隔墙及焊件、窗骨架及电线支架和焊件组成^[5]。司机室的整体骨架采用板梁插接组焊而成,如图1所示。

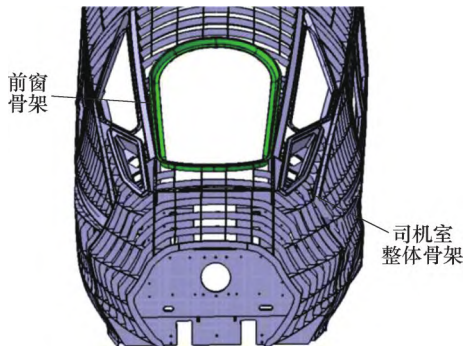


图1 前窗骨架与司机室骨架安装形式

2.2 司机室前窗原组装、焊接流程

标准动车组司机室前窗骨架为三维不规则结构(见图2),由7种模块组成。各模块均为专用模具压制而成的Z形型材,各型材通过焊接组成前窗骨架。

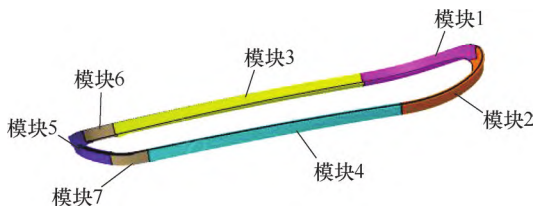


图2 司机室前窗骨架结构

司机室前窗各模块拼接好后,采用定位焊对各模块进行连接固定并增加工艺支撑锁紧,如图3所示。借助整体组装工装将前窗骨架组装到司机室整体骨架上,最后同时进行前窗骨架焊接与司机室整

体骨架的焊接,完成司机室前窗的组焊。

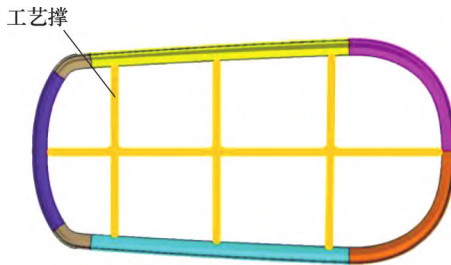


图3 前窗骨架各模块组装工装及工艺撑安装

3 存在问题及原因分析

3.1 问题现状

为了准确掌握标准动车组前窗变形情况及规律,需要在前窗骨架焊接完成后使用样板对前窗三维轮廓进行检测,测量位置如图4所示,每个前窗测量24个位置。

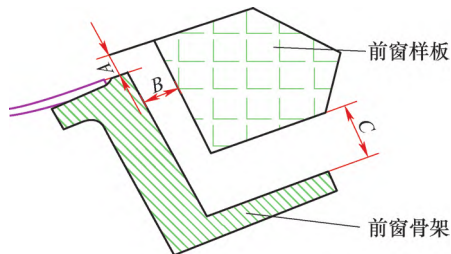


图4 前窗尺寸测量位置

本文对5个司机室前窗组装、焊接后的A、B值测量结果与标准值进行对比,如图5、图6所示。测量结果显示,A、B值的超差率分别为34.2%和

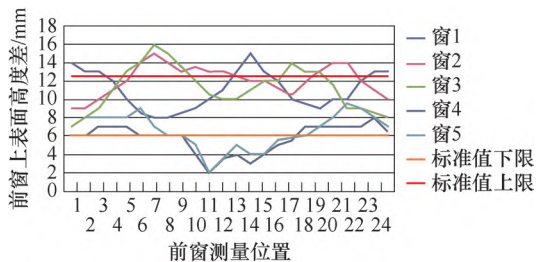


图5 A值测量结果

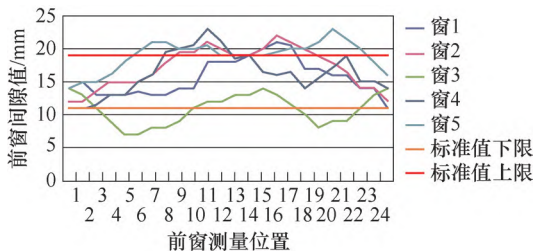


图6 B值测量结果

32.5%。焊接后前窗骨架轮廓普遍存在较大的焊接变形,无法满足标准要求,给后工序带来较大的维修工作量。

3.2 原因分析

经对前窗骨架焊接后轮廓严重变形的原因进行分析,总结如下。

1) 前窗骨架模块较多,各模块连接位置为周围焊接,焊接热输入大,且除组装定位用工艺撑外,缺少有效的刚性约束措施,焊后前窗骨架自身变形较大。

2) 司机室整体骨架与前窗骨架组装后同时焊接(见图7),整体骨架的焊接收缩应力导致与其连接的前窗骨架焊接变形。

3) 前窗骨架与司机室整体骨架组装后,车体内侧各模块连接焊缝只能采用仰焊焊接位置,焊接空间有限,施工不便,焊接质量难以保证。



图7 司机室骨架结构及焊接形式

4 变形控制方案

4.1 变形控制思路

在司机室整体焊接过程及前窗本身焊接过程中,前窗各模块连接位置变形不连续,导致各模块均有超差现象。对此,设计了前窗骨架组焊工装,将前窗各模块提前在前窗骨架组焊工装上完成焊接后,再固定到司机室骨架上进行整体组焊。

4.2 模块化组焊工装设计

工装设计需考虑组装定位模块与前窗内轮廓(或外轮廓)一致,同时需要设计合理有效的压紧装置,保证前窗组装精度和变形控制。此外,还需考虑工装可翻转,保证焊接处于最佳位置,同时保证焊接质量。

(1) 定位及压紧模块设计 定位模块和压紧模块均依据前窗三维轮廓采用铝板加工而成。定位模块整体轮廓度与前窗骨架外侧轮廓度一致,压紧模

块整体轮廓度与前窗骨架内侧轮廓度一致,保证了前窗骨架7种模块组装后的轮廓精度。

(2) 定位及压紧模块布置确定 根据模块布置原则和密排原则,模块连接位置两侧必须设置定位、压紧模块,弯梁部位设置模块更加密集,由此设计定位模块和压紧模块各由22组单个模块组成,如图8所示。

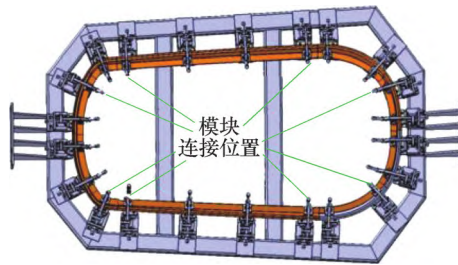


图8 定位及压紧模块布置

(3) 工装平台设计 前窗骨架组焊平台采用方钢和钢板组焊而成,用于定位模块和压紧模块的固定,定位模块和压紧模块采用焊接形式固定在前窗骨架组焊平台上。

(4) 工装翻转结构设计 图9所示为工装翻转装置结构。该装置设置2个升降翻转立柱,与前窗骨架组焊平台采用螺栓联接,实现前窗骨架组焊平台的升降及360°翻转,其中升降采用链轮式结构实现,翻转采用齿轮式结构实现。通过升降翻转装置可调整前窗骨架组焊平台至最佳焊接位置和焊接角度,避免了空间受限和仰焊等焊接难度较大的位置,提高了焊缝质量,降低了施工难度。

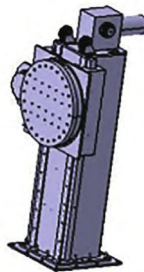


图9 工装翻转装置结构

(5) 组焊系统整体设计 图10所示为组焊系统整体结构。组焊系统包括待加工的前窗骨架、定位及压紧模块、组焊平台及升降、翻转装置。在进行组焊时,根据定位及压紧模块的位置将前窗骨架固定在组焊平台上,通过升降、翻转装置调整平台的位置及角度。

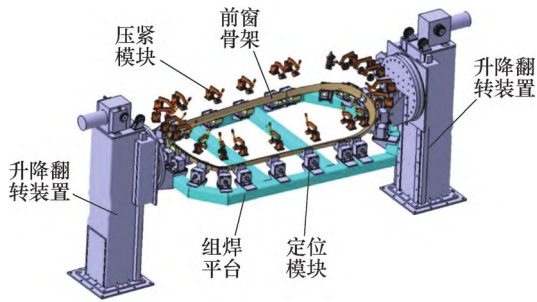


图10 组焊系统整体结构

(6) 焊接参数设定 图11所示为前窗骨架焊接焊缝，采用分层焊接的方式控制热输入，尽可能减小前窗骨架的热变形，具体焊接参数见表1。

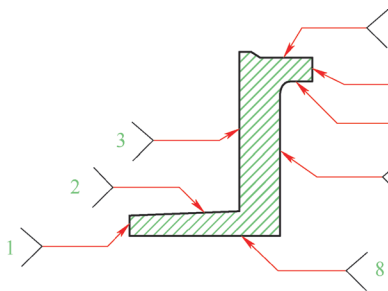


图11 前窗骨架焊接焊缝

表1 前窗焊接参数

焊缝编号	层道数	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊丝型号	类型
1	二层	200/180	24	ER5356	PF
2	二层	210/180	24	ER5356	PA
3	二层	200/180	24	ER5356	PF
4	二层	210/180	24	ER5356	PA
5	一层	180	23	ER5356	PF
6	一层	180	24	ER5356	PA
7	一层	180	23	ER5356	PF
8	一层	180	24	ER5356	PA

5 变形控制效果检验

使用上述组焊系统加工出司机室前窗骨架，将此前窗骨架使用固定工装（见图4）固定在司机室整体骨架上进行组焊，同样对5个司机室前窗上表面高度差（ A 值）及前窗间隙值（ B 值）进行数据跟踪，以检验所设计的前窗骨架预组焊工艺对整体骨架组焊后的变形控制效果。

图12、图13所示为经各模块预组焊后的前窗骨架在司机室整体骨架上组焊完成后，司机室前窗上表面高度差（ A 值）及前窗间隙值（ B 值）的检测结果。从图12、图13可看出， A 、 B 值超差率分别降至

8.3%及0。由此可见，本文提出的控制方法可有效减少司机室骨架组焊后的变形超差，提高产品合格率。

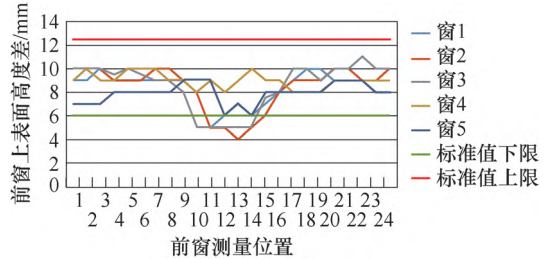


图12 预组焊后 A 值测量结果

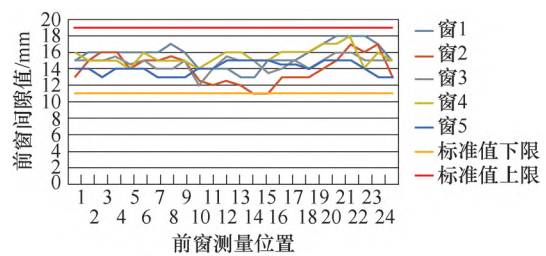


图13 预组焊后 B 值测量结果

6 结束语

为解决标准动车组前窗安装骨架焊后变形大的问题，本文从动车组结构、前窗结构、焊接热输入及其分布等角度出发，对可能产生焊接变形的原因进行了详细分析，最终设计出一套可有效减小前窗变形的模块化组焊工装。在对5个司机室前窗的上表面高度差（ A 值）及前窗间隙值（ B 值）进行数据跟踪验证后，发现焊后变形超差率由原来的30%以上降低到10%以下，因此本文提出的变形控制方法可明显降低司机室组焊后的变形超差率，降低返工返修及不合格品产生率，从而大幅提升产品质量及生产效率，降低生产成本。

参考文献：

- [1] 韩增力. 关于动车组检修性能的探讨[J]. 铁道机车车辆, 2011, 31 (3) : 90-92.
- [2] 王柏霖. 铝合金焊接工艺在动车组的应用综述[J]. 铝加工, 2023 (4) : 9-13.
- [3] 安治业, 赵红伟, 田爱琴. 新一代高速动车组车体结构创新设计[J]. 中国铁路, 2014 (10) : 42-46.
- [4] 舒伟. 基于铝合金先进焊接工艺的探索[J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58 (3) : 171-173.
- [5] 王超. 标准动车组车体强度设计技术研究[J]. 机械制造文摘 (焊接分册), 2015 (1) : 26-29.

(收稿日期: 20250221)