

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2024.04.22

铝合金轨道车辆不同枕梁结构的焊接变形机理及 差异性分析

王亚男, 刘 松, 鲍洪阳, 肖 宇

中车长春轨道客车股份有限公司, 吉林 长春 130062

摘 要: 铝合金轨道车辆的枕梁焊接强度要求高, 焊接热输入量大, 焊后变形严重。为探讨铝合金轨道车辆不同枕梁结构在焊接过程中的变形机理及其差异性, 采用两种典型的枕梁结构——A 型(中间盖板与筋板拼焊)和 B 型(中间整体型材)进行了详细的焊接试验。试验包括单件组焊、调修矫形、加工和底架组焊四个步骤, 每个步骤后均进行严格的尺寸测量, 以监测和分析变形情况。试验结果为: 用 A 型枕梁结构单件组焊后平面度 7~9.4 mm, 经调修矫形与一次加工完毕组焊至底架之后平面度 3~4.9 mm, 中心孔偏差 1.4~3 mm, 空气簧中心孔偏差 1~1.9 mm, 为满足转向架机构装配需求需要进行二次加工。B 型枕梁结构单件组焊后平面度 4~5.3 mm, 经调修矫形与一次加工完毕组焊至底架之后平面度 2 mm 以下, 中心孔偏差在 0.15 mm 以下, 空气簧中心孔偏差在 0.1 mm 以下, 能够满足转向架机构装配需求, 无需再进行二次加工。研究表明, 采用中间整体型材的 B 型枕梁结构在焊接变形控制方面显著优于采用中间盖板与筋板拼焊的 A 型结构。

关键词: 枕梁; 变形机理; 变形量; 平面度; 结构刚性

中图分类号: TG404 文献标识码: A 文章编号: 1001-2303(2024)04-0148-06

Analysis of Welding Deformation Mechanism and Differences in Different Sleeper Beam Structures of Aluminum Alloy Rail Vehicles

WANG Yanan, LIU Song, BAO Hongyang, XIAO Yu

CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., Changchun 130062, China

Abstract: The deflection The sleeper beam of aluminum alloy track vehicles is the central component that connects the bogie and transmits longitudinal compression and traction force to the vehicle body. The welding strength requirements are high, the welding heat input is large, and the deformation after welding is severe. The deformation and warping direction of the sleeper beam structure welded with the middle cover plate and rib plate are consistent with that of the sleeper beam structure welded with the middle integral profile, and the deformation trend and mechanism are the same. However, due to the difference in structural rigidity between panel welding and integrated profiles, the amount of deformation after welding varies. The single component of the sleeper beam structure welded with the middle cover plate and rib plate has a flatness of 7~9.4 mm. After adjustment, correction, and one-time processing, it is welded to the base frame with a flatness of 3~4.9 mm, a center hole deviation of 1.4~3 mm, and an air spring center hole deviation of 1~1.9 mm. To meet the assembly requirements of the bogie mechanism, secondary processing is required. The single piece welding of the sleeper beam structure using the middle integral profile instead of the cover plate and rib plate has a flatness of 4~5.3 mm. After adjustment, correction, and one-time processing, the flatness after welding to the base frame is less than 2 mm, with a center hole deviation of less than 0.15 mm and an air spring center hole deviation of less than 0.1 mm, which can meet the assembly requirements of the bogie mechanism without the need for secondary processing.

Keywords: sleeper beam; deformation mechanism; deformation amount; flatness; structure rigidity

收稿日期: 2023-06-16 修回日期: 2024-03-10

作者简介: 王亚男(1987—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事铝合金车体工艺及焊接工艺研究。E-mail: wangyn16041226@sina.com。

引用格式:王亚男,刘松,鲍洪阳,等. 铝合金轨道车辆不同枕梁结构的焊接变形机理及差异性分析[J]. 电焊机, 2024, 54(4): 148–153.

Citation:WANG Yanan, LIU Song, BAO Hongyang, et al. Analysis of Welding Deformation Mechanism and Differences in Different Sleeper Beam Structures of Aluminum Alloy Rail Vehicles[J]. Electric Welding Machine, 2024, 54(4): 148–153.

0 引言

铝合金轨道车辆的枕梁是连接转向架,并向车体传递纵向压缩及牵引力的中心部件,是实现车辆快速和安全行驶的动力传输关键设备^[1]。文献[2–5]对于车体的主要受力部件枕梁的静载及疲劳强度进行了大量试验研究及数据计算分析,得到对枕梁结构的设计需求,即大板厚大熔深大焊接量的设计方案,结构的特殊需求也带来焊接变形较大的必然结果。同时又因其与转向架的接口精度要求较高,故在设计结构确定之初,就对枕梁的焊后尺寸提出了较高的精度要求,要求在满足焊接强度与焊缝质量的基础上最大限度地减小焊接变形,满足与转向架机构的装配需求。

文献[6–11]中针对轨道车辆铝合金车体部件的焊接变形机理、制造工艺及反变形方法做了详细的分析研究,总结出许多制造工艺对变形量的影响规律,但未对结构差异对枕梁焊接变形的影响规律进行系统研究分析,故本文选取国内外铝合金轨道车辆常用的两种典型的枕梁设计结构进行焊接工艺试验分析研究,分析两种结构下的焊接变形机理、变形量,与转向架机构的焊后接口尺寸变化量等,为后续车辆结构设计提出工艺合理化建议。

1 试验方法

1.1 试验方案

本文进行2组(A、B)20台车辆的40个枕梁进行焊接试验跟踪,编号为A1–A20, B1–B20。因枕梁单件的焊接量与枕梁组焊至底架的焊接量均较大,均会产生一定程度的焊接变形,故本文的焊后跟踪数据选取从枕梁单件拼焊、调修矫形、加工,再到底架组焊完毕整个过程。试验过程步骤如下:

步骤1:先对枕梁单件进行组焊,焊后对单件平面度进行测量,分析焊接变形机理与差异性。

步骤2:将此40个枕梁进行焊后调修矫形,以满足加工需求,调修后记录平面度变化。

步骤3:将调修矫形之后的枕梁进行无差别加工,加工内容如图1所示,包括枕梁平面的加工以及枕梁中心孔的加工,中心孔包括空气簧安装面的中心孔与车体中心销孔。

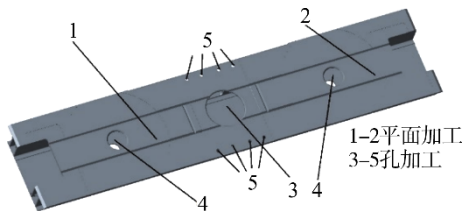


图1 枕梁加工示意

Fig. 1 Schematic diagram of pillow beam processing content

步骤4:将加工完毕后的枕梁组焊至底架,焊后再次对枕梁平面度以及加工孔的尺寸进行测量,分析焊接变形及差异性。

经过上述4个步骤的综合分析最终得到两种不同结构的枕梁在车体组焊过程中焊接变形机理及差异性对比分析,如表1所示。

表1 试验步骤明细

Table 1 Detailed list of test steps

试验步骤	试验内容	完工检测
1	枕梁单件组焊	测量平面度
2	枕梁调修矫形	测量平面度
3	枕梁加工	测量平面度与中心孔
4	枕梁组焊至底架	测量平面度与中心孔

1.2 枕梁结构

A组枕梁结构(以下简称A型枕梁)如图2所示,由左型材、右型材、中间型材、上盖板、下盖板,立板、筋板、中间上盖板拼焊而成。B组枕梁结构(以下简称B型枕梁)如图3所示,由左中右三块型材拼焊而成,相比A组结构组成简化,中间的盖板与筋板、立板等结构取消,由一块整体型材替代。

1.3 试验过程

枕梁单件组焊使用专用的支撑压紧工装如图4所示,A、B型枕梁的组焊过程如图5所示。枕梁组

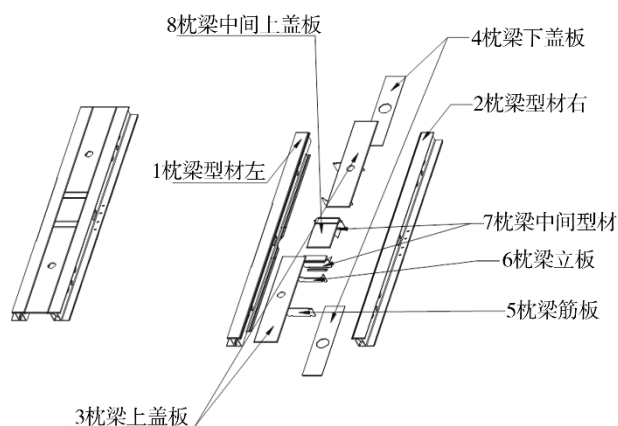


图2 A型枕梁结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of A-type sleeper beam structure

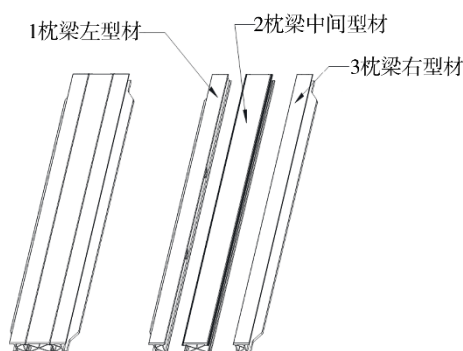


图3 B型枕梁结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of B-type sleeper beam structure

焊至底架的焊缝位置如图6所示,实际试验底架组焊过程如图7所示。每个试验步骤完毕之后进行尺寸测量。

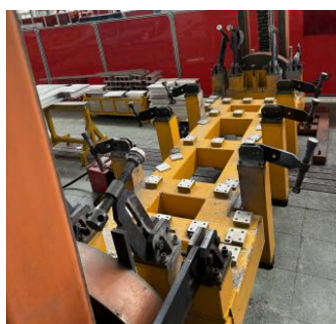
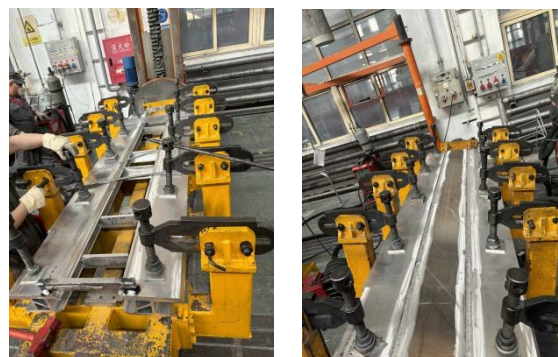


图4 枕梁组焊工装

Fig. 4 Schematic diagram of welding equipment for sleeper beam assembly

2 试验结果分析

试验步骤1完成之后对所有枕梁进行平面度测量,枕梁的变形趋势如图8所示,结果显示,A、B两



A型枕梁组焊

B型枕梁组焊

图5 两种枕梁单件组焊

Fig. 5 Schematic diagram of two types of sleeper beam single piece assembly welding

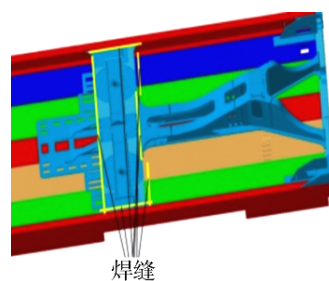


图6 焊缝位置

Fig. 6 Schematic diagram of weld position



图7 底架组焊过程

Fig. 7 Schematic diagram of chassis assembly welding process

组均呈现出两道长焊缝两侧型材向下盖板方向翘曲的变形趋势,呈现这样的焊接变形其机理为枕梁焊缝处被加热到熔化温度,焊缝区域与母材之间形成了很大的温度梯度,铝合金热膨胀系数较高,焊缝部位受热要伸长,不同温度伸长量不同,接头高温区的伸长量较高,受其两侧母材的阻碍形成压应力,而温度较低的区域伸长量较小的部位因抵抗高温区的伸长形成拉应力,从而在宏观上表现出枕梁两侧型材的翘曲。之所以会向下盖板方向翘曲是因为下盖板一侧板材的厚度更大,焊缝熔深大,焊接热输入量大,变形更严重。枕梁焊接变形机理如

图9所示。

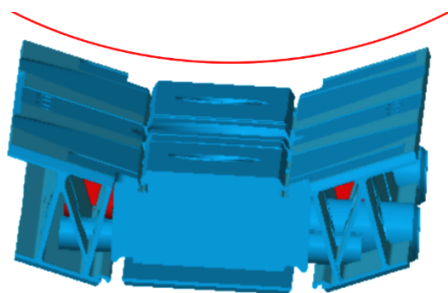


图8 枕梁单件组焊后变形趋势

Fig. 8 Schematic diagram of deformation trend after welding of single piece sleeper beam

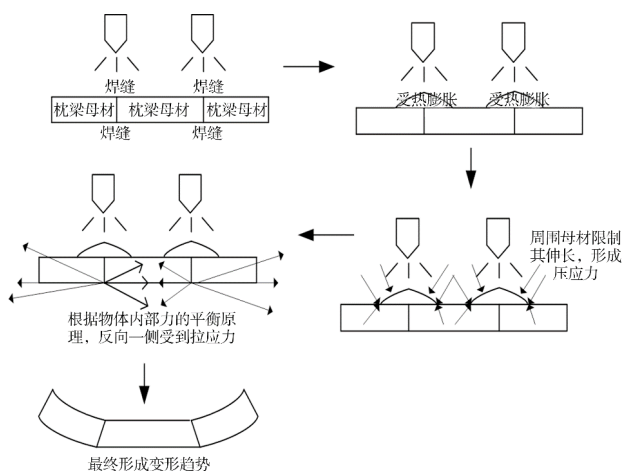


图9 枕梁焊接变形机理

Fig. 9 Schematic diagram of welding deformation mechanism of sleeper beam

试验步骤1结果显示A型枕梁焊后变形更严重,变形量更大,如图10所示,经测量A型枕梁单件组焊后的平面度为7~9.4 mm,B型枕梁单件组焊后平面度为4~5.3 mm。

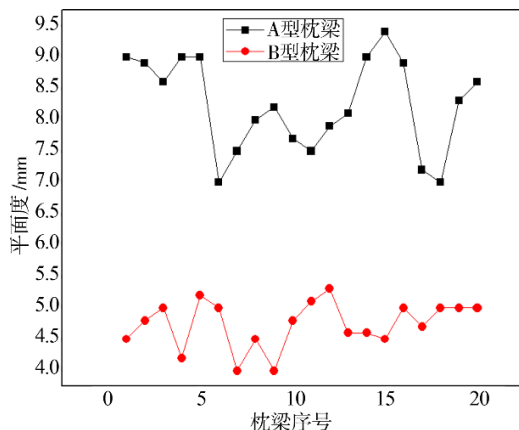


图10 枕梁单件组焊后平面度

Fig. 10 Flatness of single piece welding of sleeper beam

从试验结果可以看出在工装支撑与夹紧状态相同的条件下,B型枕梁焊后变形量更小,如图11所示,这是由于相比于A型枕梁中间盖板的板材拼焊结构,B型枕梁的中间型材是箱型结构,自带斜筋,结构刚性更好,更不容易变形。A型枕梁是由板材拼焊,板材结构本就刚性较差,且立板与筋板的焊缝也使热输入量增加,导致焊接变形增加。

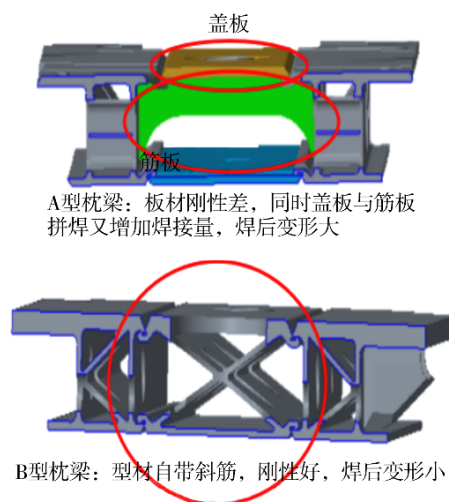


图11 两种枕梁结构差异分析

Fig. 11 Schematic diagram of difference analysis between two types of sleeper beam structures

试验步骤2显示A型枕梁焊后的调修矫形难度

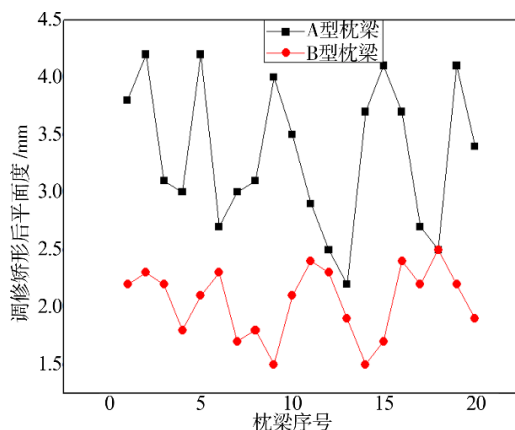


图12 枕梁调修矫形后平面度

Fig. 12 Flatness of pillow beam after adjustment and correction

更大,调修时间更长,且调修之后仍有平面度较大问题,如图12所示,经测量显示调修矫形之后A型枕梁的平面度仍大于B型枕梁,A型枕梁平面度为2.2~4.2 mm,B型枕梁平面度为1.5~2.5 mm。A型枕梁的加工去除量更大,甚至部分枕梁由于平面度

数值过大,在最大去除量的条件下依旧存在加工不到的区域。B型枕梁加工条件良好,加工去除量均在理论范围之内。

试验步骤4结果显示经过枕梁组焊至底架的焊接之后,由于焊接时枕梁在 X 与 Y 方向均有熔深较大的焊缝焊接,故枕梁的变形趋势为在 X 与 Y 方向均有翘曲,翘曲方向如图13所示。枕梁组焊至底架的变形机理与枕梁组焊的单件焊接变形机理相同,均是焊缝两侧的母材垂直于焊缝方向产生翘曲变形,相比于单件组焊,因增加了 Y 方向的焊接量,故最终在 X 与 Y 方向均呈现出翘曲变形。

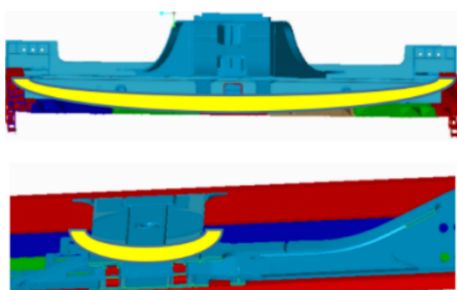


图13 底架组焊后枕梁的变形趋势

Fig. 13 Schematic diagram of deformation trend of sleeper beam after chassis assembly welding

经过测量枕梁的平面度也再次发生变化,如图14所示,A型枕梁平面度为3~4.9 mm,不满足设计理论需求。B型枕梁平面度在2 mm以下,满足设计理论需求。同时在步骤3进行加工的孔尺寸也显示出变化与差异,如图15所示,A型枕梁中心孔偏差1.4~3 mm,空气簧中心孔偏差1~1.9 mm,均不满足设计理论需求,需要进行二次加工。而B型枕梁中心孔偏差在0.15 mm以下,空气簧中心孔偏差小于0.1 mm,满足设计理论需求,无需进行二次加工。

上述试验结果可以说明,A型枕梁的中间盖板与筋板拼焊的结构刚性差,焊接变形更大,调修矫形难度更大,加工去除量更大,且组焊至底架后焊接变形依然较大,平面度与加工孔尺寸均发生变化,需要进行二次加工才能满足理论要求。B型枕梁以自带斜筋的完整型材代替盖板与筋板的拼焊结构可有效降低焊接变形。降低调修矫形难度,提升产品合格率,且经过底架组焊后平面度与加工孔尺寸变化较小,无需二次加工可以满足后续转向架机构的装配需求。

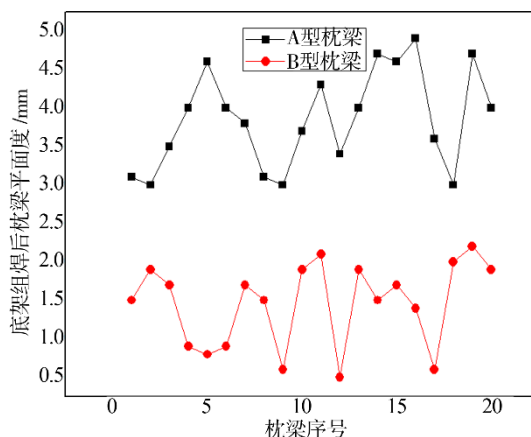


图14 底架组焊后枕梁平面度

Fig. 14 Flatness of sleeper beam after underframe assembly welding

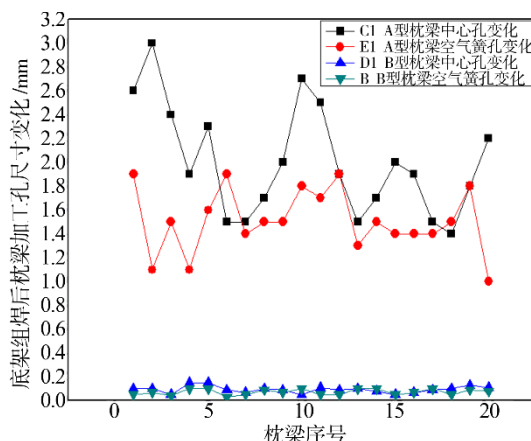


图15 底架组焊后枕梁加工孔偏差

Fig. 15 Deviation of processing holes for sleeper beam after underframe assembly welding

3 结论

(1)铝合金轨道车辆不同的枕梁结构在焊后呈现出的焊接变形趋势相同,均表现为在枕梁单件组焊后,长焊缝左右两侧型材向板厚较大的一侧(下盖板方向)翘曲。在组焊至底架后在 X 与 Y 方向上均有翘曲,翘曲方向与单件的翘曲方向一致。

(2)铝合金轨道车辆不同的枕梁结构在焊后呈现出的焊接变形量不同,且相差较大。采用中间盖板与筋板拼焊的枕梁结构焊接变形较大,采用中间整体型材的枕梁结构焊后变形量较小。

(3)用中间盖板与筋板拼焊的枕梁结构单件组焊后平面度7~9.4 mm,经调修矫形与一次加工完毕组焊至底架之后平面度3~4.9 mm,中心孔偏差1.4~

3 mm,空气簧中心孔偏差1~1.9 mm。为满足转向架机构装配需求需要进行二次加工。

(4)采用中间整体型材代替盖板与筋板拼焊的枕梁结构单件组焊后平面度4~5.3 mm,经调修矫形与一次加工完毕组焊至底架之后平面度2 mm以下,中心孔偏差在0.15 mm以下,空气簧中心孔偏差在0.1 mm以下,能够满足转向架机构装配需求,无需再进行二次加工。

(5)从工艺可达性,作业难度与效率,产品质量,尺寸精度,一次交检合格率等方面综合分析评估,采用中间整体型材代替盖板与筋板拼焊的枕梁结构更优。

参考文献:

- [1] 王涛,姜明昊,朱戡,等. 市域快轨车辆转向架枕梁研究[J]. 装备制造技术, 2021(1): 46-50.
WANG T, JIANG M H, ZHU K, et al. Research on Bogie Bolster of Urban Fast Rail Vehicles[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2021(1): 46-50.
- [2] 唐磊,武伯有,徐博,等. 地铁列车车体关键区域与车钩载荷相关性研究[J]. 电力机车与城轨车辆, 2024, 47(2): 50-54.
TANG L, WU B Y, XU B, et al. Research on correlation between key areas of metro train car body and coupler load[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2024, 47(2): 50-54.
- [3] 耿明,王亚男,肖宇,等. CR400BF动车组车体端墙焊接模拟仿真与变形控制研究[J]. 电焊机, 2024, 54(3): 99-104.
GENG M, WANG Y N, XIAO Y, et al. Study on Welding Deformation Control and Simulation for End Wall of CR400BF EMU [J]. Electric Welding Machine, 2024, 54(3): 99-104.
- [4] 王亚男. 时速200 km城际动车组车体焊接变形机理及尺寸控制[J]. 电焊机, 2018, 48(3): 156-162.
WANG Y N. Mechanism of welding deformation and key dimensions controlling on the car body of intercity EMU [J]. Electric Welding Machine, 2018, 48(3): 156-162.
- [5] 王亚男. 时速400 km动车组车体侧墙焊接模拟仿真及变形控制研究[J]. 电焊机, 2018, 48(11): 94-99
WANG Y N. Study on welding deformation control and simulation of EMU vehicle side wall at 400 km/h [J]. Electric Welding Machine, 2018, 48(11): 94-99.
- [6] 王亚男. 混合动力型动车组底架端部结构的变形机理及控制方法[J]. 焊接, 2015(1): 44-48.
WANG Y N. Distortion and control of end underframe structure in hybrid MU [J]. Welding & Joining, 2015(1): 44-48.
- [7] 刘惠娟,李增楼,马辉,等. 快速市域动车组枕梁制造工艺与质量控制[J]. 电焊机, 2022, 52(7): 110-115.
LIU H J, LI Z L, MA H, et al. Manufacturing Technology and Quality Control of Pillow Beam for Fast City EMU [J]. Electric Welding Machine, 2022, 52(7): 110-115.
- [8] 阳绪文,刘文涛,李星. 铝合金地铁车辆端部结构总成焊接变形控制[J]. 电力机车与城轨车辆, 2021, 44(2): 62-65.
YANG X W, LIU W T, LI X. Welding deformation control of end structure assembly in aluminum alloy metro vehicle [J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2021, 44(2): 62-65.
- [9] 程虎,沈精虎,戴昆,等. B型铝合金地铁枕梁焊接数值模拟分析[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2021, 36(1): 86-92.
CHENG H, SHEN J H, DAI K, et al. Numerical Simulation Way of Welding was on the Bolster in the Metro Vehicle of Type B Aluminum Car Body [J]. Journal of Qingdao University (Engineering & Technology Edition), 2021, 36(1): 86-92.
- [10] 马佳良. 基于数值仿真的地铁枕梁搅拌摩擦焊焊接工艺研究[D]. 辽宁:大连交通大学, 2022.
MA J L. Research on friction stir welding process of subway sleeper beam based on numerical simulation [D]. Liaoning: Dalian Jiaotong University, 2022.
- [11] 刘计文,宋长胜. 铝合金车体焊接变形控制研究[J]. 机车车辆研究, 2016(1): 25-27.
LIU J W, SONG C S. Research on welding deformation control of aluminum alloy car body [J]. Locomotive & Rolling Stock Technology, 2016(1): 25-27.