

城市轨道交通列车铝合金车顶空调机组 安装平面度及尺寸控制

商旭东 苏 强 穆文雄 董 磊 史英礼

(北京轨道交通技术装备集团有限公司, 100070, 北京//第一作者, 工程师)

摘 要 为满足城市轨道交通车辆铝合金车顶空调机组安装平面度及尺寸要求, 严格控制空调安装座和空调框之间的配合尺寸及空调安装座的平面度等显得尤为重要。设计了空调安装座结构, 并对其生产流程进行了优化。同时设计并制定了空调安装座定位工装, 编制了空调安装座和空调框在车顶上的组焊工艺流程。针对车顶的焊接变形, 对该工艺流程及车顶结构进行了优化改进, 并针对优化前后做了试验测试。结果表明, 按照优化后的工艺流程, 车顶空调安装座和空调框均能符合空调机组安装平面度及尺寸要求, 保证了空调机组的顺利安装。

关键词 城市轨道交通; 列车; 铝合金车顶; 空调机组; 安装平面度; 安装尺寸

中图分类号 U231.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.06.026

Installation Flatness and Size Control of Urban Rail Transit Train Aluminum Alloy Roof Air-conditioning Unit

SHANG Xudong, SU Qiang, MU Wenxiong, DONG Lei, SHI Yingli

Abstract To meet the installation flatness and dimension requirements of urban rail transit vehicle aluminum alloy roof air-conditioning units, it is especially important to strictly match the air-conditioner mounting seat and air-conditioner frame dimensions, and control the flatness of the air-conditioner mounting seat. The structure of the air-conditioner mounting seat is designed and the production process is optimized. The positioning tool for the air-conditioner mounting seat is designed and manufactured, and the assembly welding process of the air-conditioner mounting seat and the air-conditioner frame on the roof is compiled. In view of the welding deformation of the roof, the process flow and roof structure are optimized and improved, and tests are conducted before and after the optimization. Results show that the air-conditioner mounting seat and air-conditioner frame produced according to the optimized process flow and roof structure can meet the installation flatness

and dimension requirements of the air-conditioning unit, ensuring its successful installation.

Key words urban rail transit; train; aluminum alloy roof; air-conditioning unit; installation flatness; installation dimension

Author's address Beijing Rail Transit Technology and Equipment Group Co., Ltd., 100070, Beijing, China

城市轨道交通车辆客室空调为单元式结构^[1], 单元式空调直接安装在车顶的空调安装座上, 此时空调机组的橡胶垫需与车顶空调框紧密压实以保证密封。空调安装座和空调框作为空调机组在车顶上安装的 2 个关键安装接口, 其配合尺寸及形位公差将直接影响空调机组的安装使用和维护; 同时, 空调安装座作为车辆空调机组的重要承载部件, 其对平面度的要求相对比较严格, 一般空调机组要求每组空调安装座之间的平面度 ≤ 3 mm。因此, 保证空调安装座与空调框之间的配合尺寸, 以及空调安装座平面度等尤为重要。其主要受到空调安装座结构及其装配精度、车顶焊接变形及工装设备等因素的影响。

本文针对某 B 型铝合金车辆^[2-3], 设计了合理的空调安装座结构形式, 制作了相应的空调安装座定位工装, 编制了空调安装座和空调框组焊工艺流程, 根据试验测试数据及分析结果对车顶结构及其工艺流程进行了优化改进。这样从结构设计和生产工艺 2 个环节对空调安装座和空调框配合尺寸, 以及空调安装座平面度进行了严格控制, 从而满足了空调机组的安装需求。

1 铝合金车顶及空调安装座结构

1.1 铝合金车顶结构

根据车辆限界和空调机组等设备的安装需求, 铝合金车顶通常可以设计成无空调平台和有空调平台两种。图 1 为某 B 型铝合金等截面车顶结构。

该车顶采用一体式等截面低圆顶设计,取消了空调机组平台,不仅实现了轻量化设计,同时在很大程度上也简化了车顶结构和制造工艺,从而便于加工制造。

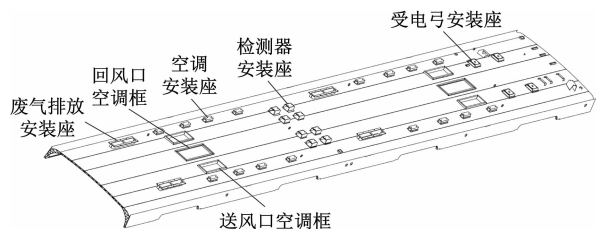


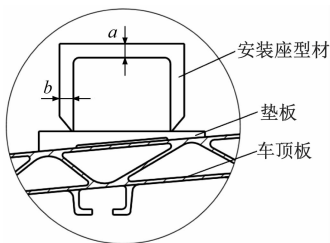
图1 某B型铝合金等截面车顶结构

Fig. 1 Structure of a B-type aluminum alloy equivalent cross-section vehicle roof

该车顶在一位端和二位端分别设置1组单元式空调机组的安装接口,每组安装接口都由1个回风口空调框、2个送风口空调框和8个空调安装座构成,其中空调安装座直接焊接在车顶外侧用于支撑空调机组。

1.2 空调安装座结构

空调安装座结构如图2所示。空调安装座由安装座型材和垫板两部分组成。车顶板型材壁厚一般为2.5~3.0 mm,与安装座型材厚度相差较大,二者直接焊接将会出现很大的焊接变形,因此需利用垫板进行过渡。



注: a 、 b 分别为安装座型材的平面厚度和支腿厚度。

图2 车顶空调安装座结构

Fig. 2 Structure of the roof air-conditioner mounting seat

空调机组对每组空调安装座之间的平面度要求较高,每组空调安装座在车顶上焊接后采用整体加工的方式来控制平面度,因此需将 a 相对 b 设计得更厚些。对图2所示的空调安装座结构强度进行计算,将 a 、 b 分别设计为13 mm和8 mm。同时为保证每组空调安装座上安装孔之间的配合尺寸精度,需将安装座型材安装孔的加工调整到后续整体加工工序中,进而来保证空调机组在车顶上的顺利组装。同时在垫板中间设计了高度约1.5 mm的内

凹槽,通过减小垫板与车顶板的接触面积来保证二者的紧密贴合。

将加工完成后的垫板与安装座型材焊接时,其较薄一侧会产生较大的焊接变形,此时的空调安装座难以保证与车顶板紧密贴合,变形后的空调安装座如图3所示。通过调整工艺顺序,先将未加工的较厚铝板与安装座型材焊接,再对焊接完成后的垫板进行加工,此时的空调安装座如图4所示。对比图3和图4中的空调安装座发现,工艺顺序的调整在很大程度上降低了空调安装座的焊接变形。

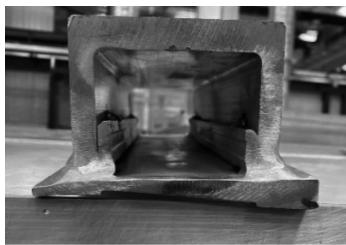


图3 焊接变形的空调安装座

Fig. 3 Welding deformed air-conditioner mounting seat

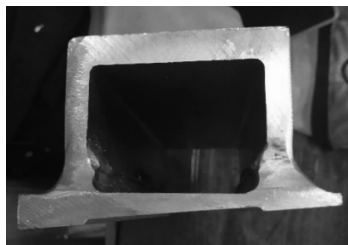


图4 工艺顺序调整后的空调安装座

Fig. 4 Air-conditioner mounting seat after process sequence adjustment

2 空调安装座和空调框组焊流程

为保证空调机组送风口和回风口处的橡胶垫与车顶空调框的配合精度及密封性,需严格保证空调安装座和空调框的相对位置尺寸,因此设计并定制了空调安装座的定位工装,其实物照片如图5所示。

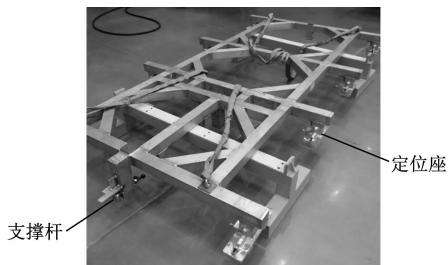


图5 空调安装座的定位工装

Fig. 5 Positioning fixture for air-conditioner mounting seat

利用该工装在车顶上定位装配空调安装座时,以加工完成的车顶空调回风口为基准,将 8 个空调安装座夹持固定在定位工装上,并将该工装中间的定位块贴近车顶回风口两侧,通过调节定位工装上的调节支撑杆使其贴近车顶回风口的其余两侧,并观察定位工装的定位标记是否与回风口中心线对齐,空调安装座定位后对其进行点焊固定。空调安装座在车顶上的定位装配情景如图 6 所示。该定位工装不仅可以很好地保证空调安装座的装配精度,同时在很大程度上也可以提高生产效率。

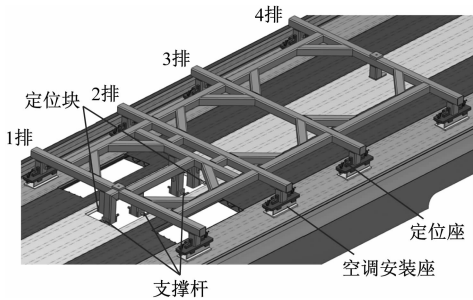


图 6 空调安装座的定位装配情景

Fig. 6 Positioning and assembly scenario of air-conditioner mounting seat

空调框在车顶上装配时,以点焊完成的空调安装座为基准,通过上下调整空调框相对车顶板高度位置,保证空调框和空调安装座的高度差符合 22^{+2}_{-3} mm。空调框定位完成后对其进行点焊固定,再分别对空调框和空调安装座满焊,最终对其进行调修。空调安装座和空调框组焊工艺流程如图 7 所示。

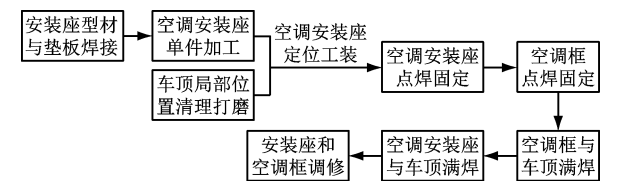


图 7 空调安装座和空调框组焊工艺流程图

Fig. 7 Process flow diagram for assembly and welding of air-conditioner mounting seat and air-conditioner frame

按照图 7 所示的生产工艺流程进行试验测试,测得 3 组有关空调安装座和空调框焊后高度差的试验数据,如表 1 所示。

由表 1 可知,按照该工艺流程焊接的空调安装座和空调框,其高度差不符合公差要求,分析其原因如下:

1) 3 个空调框上、下方均通过角焊缝与车顶板

表 1 空调安装座和空调框焊后高度差测试数据

Tab. 1 Test data of height difference between air-conditioner mounting seat and air-conditioner frame after welding

试验序号	不同位置处的空调安装座和空调框焊后高度差							
	1 排		2 排		3 排		4 排	
	左	右	左	右	左	右	左	右
1	21.5	22.2	20.8	22.4	24.2	24.7	25.4	27.1
2	21.4	20.6	23.5	21.2	25.4	25.1	26.7	27.5
3	19.9	20.1	20.7	21.1	24.5	24.8	26.8	27.2

满焊,焊缝相对密集且热输入量较大。
2) 车顶回风口和送风口开口较大,且车顶型材壁厚较薄,该区域车顶板刚度较差,车顶在焊接空调框时出现了严重的下塌变形,导致远离空调框区域的安装座与空调框之间高度差相差较大,使得调修难度很大。

3 车顶结构及其工艺流程优化

3.1 车顶结构优化

经上述分析得出,车顶焊接空调框时出现焊接变形的主要原因在于车顶局部刚度较差。因此,为增加车顶板刚度,以及控制车顶焊接变形,在车顶空调回风口两侧焊接 2 根壁厚为 2.5 mm 的车顶弯梁,其焊接示意图如图 8 所示。

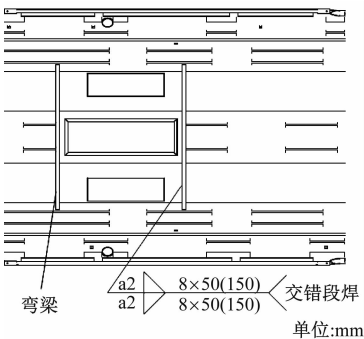


图 8 车顶弯梁焊接示意图

Fig. 8 Welding diagram of vehicle roof bent beam

车顶弯梁两侧与车顶均采用 a2 的角焊缝进行交错段焊。段焊共分为 8 段,焊缝厚 2 mm,长 50 mm,间距 150 mm。这样可以避免车顶内侧因焊接量过大而产生焊接变形。车顶弯梁的增加可以从结构本身增强车顶刚度和强度,并在一定程度上改善车顶焊接空调框时因焊接产生的下塌变形。车顶弯梁与车顶组焊照片如图 9 所示。



图 9 车顶弯梁与车顶组焊照片

Fig. 9 Assembly welding photo of vehicle roof bent beam and vehicle roof

3.2 车顶结构生产工艺流程优化

车顶弯梁的增加虽然可以从结构自身增强车顶刚度,在一定程度上降低车顶的焊接变形,但不能主动地控制焊接变形。因此,为了更好地控制车顶焊接变形,在空调框点焊固定完成后对车顶该区域预制一定的反变形量^[3-4],经过多次模拟试验确定该预制反变形量约为 10 ~ 15 mm。车顶施加反变形后,对空调框进行正式焊接。焊接时应遵循的焊接顺序是:先焊短焊缝,后焊长焊缝,长焊缝由中间向两侧对称焊接。通过施加一定的反变形及制定合理的焊接顺序,可以有效地控制焊接变形,减少调修工作量并降低调修难度,进而提高生产效率。同时为避免空调安装座与车顶焊接时产生的焊接变形,空调安装座与车顶通过 z3 的角焊缝进行段焊,而未焊接区域打胶密封。

目前,空调安装座和空调框焊后高度差为 22⁺²₋₃ mm,而空调机组要求空调安装座与空调框的高度差需符合 19⁺²₋₁ mm,且空调安装座之间的平面度≤3 mm。因此,为满足空调机组的安装平面度及其尺寸要求,需对每组空调安装座进行整体加工,其中最大加工余量为 3 mm(由安装座型材板厚所决定)。经上述分析得出优化后的空调安装座和空调框组焊工艺流程如图 10 所示。

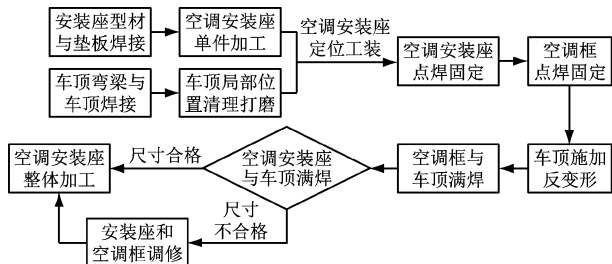


图 10 空调安装座和空调框组焊工艺优化流程图

Fig. 10 Process flow diagram of assembly welding of air-conditioner mounting seat and air-conditioner frame

3.3 试验测试分析

按照优化后的生产工艺流程进行试验测试,测得 3 组有关空调安装座和空调框焊后高度差的试验数据,如表 2 所示。

表 2 优化后空调安装座和空调框焊后高度差测试数据

Tab. 2 Test data of height difference between optimized air-conditioner mounting seat and air-conditioner frame after welding

试验序号	不同位置处的空调安装座和空调框焊后高度差							
	1 排		2 排		3 排		4 排	
	左	右	左	右	左	右	左	右
1	20.2	21.1	21.6	19.9	22.9	21.8	22.0	23.8
2	20.9	22.1	21.8	20.7	23.4	21.6	23.8	22.9
3	20.0	20.5	22.0	21.2	21.8	22.6	21.9	23.2

由表 2 分析得出:通过车顶结构及其组焊工艺流程的优化,空调安装座和空调框配合尺寸能很好地符合公差要求,进而说明车顶的焊接变形得到了有效控制。此时的空调安装座通过进一步的整体加工,其平面度也能满足≤3 mm 的安装要求。这进一步说明优化后的车顶和空调安装座结构,以及空调安装座和空调框的焊接工艺流程能高标准地保证产品质量。

4 结语

为满足空调机组的安装平面度及尺寸要求,本文首先设计了空调安装座结构,并结合空调安装座生产过程中的焊接变形,优化了其生产工艺流程。为保证空调安装座和空调框的配合尺寸,设计并制定了空调安装座的定位工装,编制了空调安装座和空调框的组焊工艺顺序。针对车顶焊接变形等问题,优化了车顶结构及其工艺流程,并将优化前后的两次试验数据进行对比,得出优化后的车顶结构及工艺流程,生产出的空调安装座和空调框均能符合空调机组安装平面度及尺寸要求,高标准地保证了产品质量,同时也提高了生产效率。

参考文献

[1] 章英. 车辆设计参考手册(客车采暖、通风与空气调节)[M]. 北京:中国铁道出版社,1993.

ZHANG Ying. Vehicle design reference manual (bus heating, ventilation, and air conditioning) [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1993.

(下转第 156 页)

- [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2007, 20(5): 92.
- [9] 陈威. 地铁车辆段上盖物业开发对工艺设计影响的研究[J]. 工程技术研究, 2019, 4(8): 179.
- CHEN Wei. Study on the influence of the development of the superstructure property on the process design of the subway car depot[J]. Engineering and Technological Research, 2019, 4(8): 179.
- [10] 高照学. 基于无人驾驶的地铁车辆段总图设计探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2017(4): 46.
- GAO Zhaoxue. Discussion on depot layout design for automatic train operation[J]. Modern Urban Rail Transit, 2017(4): 46.
- [11] 夏季. 全自动驾驶模式下地铁车辆段洗车机技术接口分析[J]. 现代城市轨道交通, 2018(5): 21.
- XIA Ji. Analysis of car washer technical interface in metro depot under fully automated operation mode[J]. Modern Urban Rail Transit, 2018(5): 21.
- [12] 姚应峰. 地铁车辆段数控不落轮镟床设计接口分析[J]. 铁道标准设计, 2013, 57(6): 163.
- YAO Yingfeng. Analysis on design interface of CNC underfloor wheel lathe in rolling stock depot of metro[J]. Railway Standard Design, 2013, 57(6): 163.
- [13] 刘森. 地铁车辆段机电安装工程重难点分析及解决措施[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(32): 37.
- LIU Miao. Analysis on the difficulties and solutions of electromechanical installation project in metro vehicle depot[J]. Theoretical Research in Urban Construction, 2018(32): 37.
- [14] 张立国, 丁静波. 城市轨道交通轨道与供电杂散电流接口设计研究[J]. 铁道标准设计, 2013, 57(5): 24.
- ZHANG Liguang, DING Jingbo. Research on interface design between track and stray currents in power supply system of urban rail transit[J]. Railway Standard Design, 2013, 57(5): 24.
- [15] 于志永. 地铁车辆段杂散电流的特征分析及防护[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(10): 44.
- YU Zhiyong. Analysis of stray current characteristics in metro depot and protection measures[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(10): 44.
- [16] 蔡向辉. 城市轨道交通轨道设计接口常见问题探讨[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(2): 21.
- CAI Xianghui. Discussion on common track design interface problems of urban rail transit[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(2): 21.
- [17] 张克能. 地铁车辆段柱式检查坑短柱优化及质量控制[J]. 山西建筑, 2018, 44(9): 67.
- ZHANG Keneng. The optimization and quality control of short column of column check pit for metro vehicle section[J]. Shanxi Architecture, 2018, 44(9): 67.
- [18] 高晓新. 城市轨道交通轨道工程与相关专业接口的设计与管理[J]. 铁道标准设计, 2011, 55(1): 55.
- GAO Xiaoxin. Design and management of the interface between urban rail transit rail engineering and related disciplines[J]. Railway Standard Design, 2011, 55(1): 55.
- [19] 李长杭. 路桥过渡段路基路面设计要点及沉降处理措施[J]. 绿色环保建材, 2019(5): 85.
- LI Changhang. Key points of subgrade and pavement design and settlement treatment measures in road-bridge transition section[J]. Green Environmental Protection Building Materials, 2019(5): 85.
- [20] 周建军. 刍议城市轨道交通车辆段物业开发减振降噪设计[J]. 科技与创新, 2017(14): 37.
- ZHOU Jianjun. Discussion on vibration and noise reduction design of property development in urban rail transit depot[J]. Science and Technology & Innovation, 2017(14): 37.
- [21] 吴青松. 地铁车辆段上盖物业开发综合减振降噪措施[J]. 山西建筑, 2018, 44(11): 162.
- WU Qingsong. On comprehensive vibration reduction and noise reduction measures for the superstructure development of metro depot[J]. Shanxi Architecture, 2018, 44(11): 162.

(收稿日期:2021-01-13)

(上接第 151 页)

- [2] 王立夫, 王金山, 刘东军, 等. B 型铝合金地铁车辆车体制造工艺[J]. 轨道交通装备与技术, 2013(1): 1.
- WANG Lifu, WANG Jinjin, LIU Dongjun, et al. Manufacturing processes of type B aluminum metro vehicle bodies[J]. Rail Transportation Equipment and Technology, 2013(1): 1.
- [3] 王炎金. 铝合金车体焊接工艺[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- WANG Yanjin. Welding technology of aluminum alloy car body[M]. 2nd ed. Beijing: China Machine Press, 2011.
- [4] 沈革新. 运用反变形方法合理控制铝合金车顶焊接变形[J]. 热加工工艺, 2016, 45(3): 240.
- SHEN Gexin. Reasonable control of welding deformation of aluminum alloy roof with reversible deformation method[J]. Hot Working Technology, 2016, 45(3): 240.
- [5] 张春飞. 轨道交通在我国城市公共交通系统中的重要地位[J]. 北方交通, 2008(1): 143.
- ZHANG Chunfei. Important position of orbital transportation in municipal common transport system in our country[J]. Northern Communications, 2008(1): 143.
- [6] 周晖, 王旭东. 浅谈地铁铝合金车体及其设计[J]. 铁道车辆, 2000, 38(增刊1): 53.
- ZHOU Hui, WANG Xudong. Discussion on the aluminum alloy metro carbody and its design[J]. Rolling Stock, 2000, 38(S1): 53.

(收稿日期:2020-12-30)