

高速统型电动车组铝合金侧墙型材板装配与焊接变形控制工艺

周靖峰　单旭光　王鹏　许世涛

【摘要】对高速统型电动车组铝合金侧墙组成进行结构分析，有效利用预制反变形原理，通过现有工装的改造与合理使用，形成一套高效的侧墙长大型材结构组装与焊接工艺，实现动车组铝合金车体的质量提升。

关键词：铝合金；侧墙型材板；工艺装备；焊接变形控制

1. 概述

侧墙结构是铝合金动车的主要组成部件，作为薄壁筒形断面车体的侧立面，侧墙组成是门窗、间壁、配电室内电气控制装置、线缆以及隔音防寒减振材料安装的承载主体。侧墙结构主要由长大型材组成，在侧墙组焊过程中，经常会出现以下问题。

(1)侧墙自动焊工装的工作原理为通过对侧墙底部和顶端进行推压，使型材之间的插口达到嵌入密贴状态。由于大型自动焊接设备通过需要，中部型材上方无法设置压紧约束，导致型材组对完成后，部分插口位置出现轻微错边现象，无法达到良好的焊前状态，需要使用无反弹橡胶锤对型材插口进行调整，造成轻度折曲。

(2)型材自动焊焊接完成后，侧墙板变形量较大，外部轮廓度与整体加工平台面不匹配，使侧墙底部和顶部限位装夹困难，需要进行额外的局部轮廓度调整工作。

(3)整体加工完成后，根据技术要求，侧墙外表面的焊缝余高需要磨平，因通过锤击调整的位置会在焊缝两侧出现较为明显的高度差，导致在使用角磨机进行磨削作业的过程中容易将高的一侧型材壁磨薄，降低强度。

(4)侧墙轮廓度的技术要求为整体检测不超过4mm。需要采用火焰加热焊缝配合水冷却的工艺方法进行调修，在加热过程中需要非常严格的控制火焰温度以及水流与火焰之间的间距，难度非常高，而且对两侧母材存在高低差的焊缝进行加热会使错边更加明显，严重时有可能产生因应力释放局部拉伸量过大而造成“颈缩”，即焊缝两侧向型腔内部凹陷。

(5) 侧门结构分为门框和门袋板，门袋板与侧墙板结构一致，门框为中空后壁压弯型材拼焊而成；侧门结构与侧墙板的三个接触面通过半自动MIG焊进行连接。侧门结构安装时，由于侧墙板截面位置的单层板焊缝位置凹凸不平，需要先使用龙门油压装置将单层板与门框搭接部分压紧密贴，进行定位焊接，再将局部不平位置使用平锤敲击调整。锤痕需要使用风动工具打磨去除，一定程度上造成了母材损伤，并且在压紧过程中，很容易造成待焊区域两侧反向翘曲，使门连接位置直线度超差。

基于上述问题，我们需要研究探索出一种可以有效控制变形的高效优质的组装与焊接工艺方法，来满足现场施工的生产效率和产品质量要求。

2. 侧墙组成结构分析

高速动车组的铝合金侧墙制造工艺顺序为：侧墙板组装→侧墙板正面自动焊接→侧墙板反面自动焊接→窗口整体加工→外侧自动焊缝表面处理→侧墙板火

焰水冷调修→嵌入式侧门结构安装→小型焊接零件安装。其中，侧墙板采用内部带有斜向加强筋的双层中空热挤压式型材，型材之间的连接采用MIG自动焊接方式，如图1所示。

侧墙各个型材板之间均通过焊接方式连接，故侧墙结构尺寸受焊接变形的影响非常大。因此，如何有效的利用焊接变形，消除焊接变形的不良影响，是保证侧墙组焊质量的关键所在。

3. 侧墙结构组焊工艺

（1）侧墙型材组对和自动焊接过程中所用的主要工艺装备　首先，侧墙正面组焊工装结构及功能：基座组成与地面连接，上面安装支撑横梁，内部设有一个键槽用来在组装时保证工件的定位。支撑横梁选用I型钢作为中间承载部件，上下两表面都是经过机加工的钢板，下表面和底架连接，上表面用来安装支撑立柱和两个限位模块，如图2所示。

侧墙底部支座主要由固定端限位模块和固定端压紧单元组成：限位模块为碳钢支柱与不锈钢垫块连接而成，安装时与支撑横梁一同进行调整位置，同时作为焊接电流导体。限位块通过螺栓与支撑立柱和托架连接，通过定位销定位，每个限位块配有5片1mm不锈钢垫用于高度调整；压紧单元为成品件，包含顶部风缸压力器和侧向摇臂压紧器。压紧单元通过螺栓与限位模块连接，并通过定位销定位。除限位块为金属材质直接与工件直接接触外，其余压紧或定位装置与工件接触面端部均安装有尼龙材质垫块。垫块表面根据工件的外形轮廓加工。

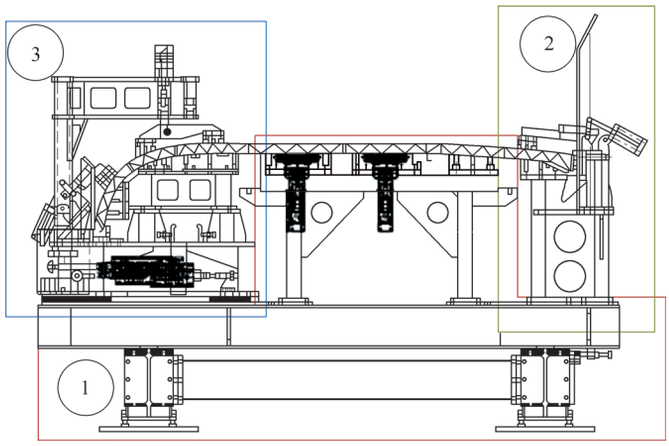


图2　侧墙正面组焊工装

注：①基座组成 ②侧墙底部支座 ③侧墙顶部支座。

其次，侧墙反面组焊工装结构及功能：能基座组成的底座同样与地面之间使用螺栓联接，支撑工件的部位与底座相连，使用断面带有焊接补强板，上下表面机加工的碳钢材质支撑横梁，上表面安装有与侧墙外部轮廓相吻合的支柱组，与侧墙板外表面接触的部位安装有尼龙垫块进行有效防护，避免刚性接触造成母材损伤；两端的压紧单元分别集成于两根最外侧的支柱上，用于工件的装夹固定；同时，侧墙底部支柱侧立面安装有不同厚度的不锈钢板，最大差值30mm，用以预制侧墙挠度，如图3所示。

（2）侧墙结构组装焊接过程变形控制的工艺方法　首先，侧墙正面自动焊反变形预制。对

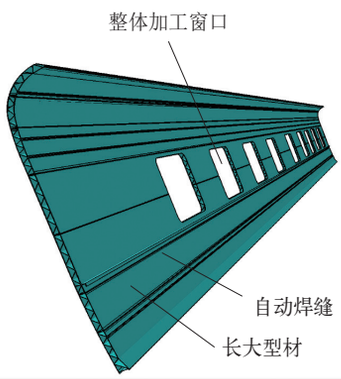


图1　铝合金侧墙主结构示意

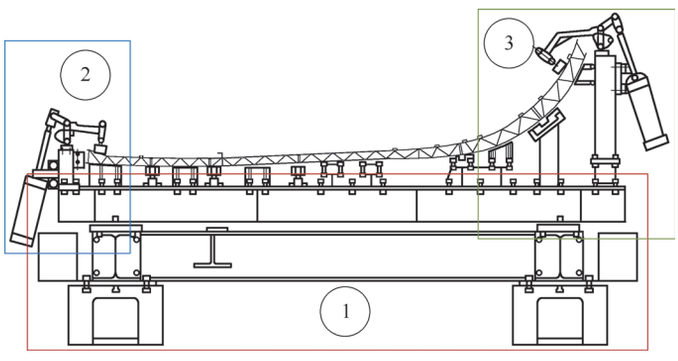


图3　侧墙反面组焊工装

注：①基座组成，②侧墙底部压紧单元，③侧墙顶部压紧单元。

侧墙板组装及正面焊接工装进行改造优化，在每个固定端限位模块与碳钢支柱之间均加装1mm不锈钢垫片，通过增加限位模块的高度来调节侧墙底部型材至外张状态，再通过型材之间的插口连接，达到调整中部侧墙板焊前预组轮廓度的目的，如图4所示。

其次，侧墙反面自动焊反变形预置。制作支撑调节顶柱，上部采用凹字型顶针，用以避让侧墙正面自动焊的焊缝余高，同时选用橡胶作为中间介质，可以有效防护焊缝两侧母材；中部设有调节螺栓，可以调整顶针的高度；底部使用倒T型基座，使用螺栓连接方式固定至反面自动焊工装的支撑横梁上，分布在侧墙正面的各条焊缝下方，通过垂直方向的支撑调节，将侧墙结构预制到需要的反面焊前状态，如图5所示。

（3）侧墙板组对及自动焊接的工艺流程　第一，侧墙长大型材板的组对安装：将图6中1#~5#侧墙板吊装至工装底部支座上，根据侧墙板布置顺序将侧墙板平铺于工装上，将1号侧墙板对应的车体中心与工装中心线对齐，偏差≤100mm，并将侧墙板与不锈钢限位模块咬合；再将6#、7#侧墙板吊装至工装顶部支座上，根据图纸中侧墙断面结构检查所有侧墙板插口两侧三角加强筋形状，确认符图后，通过控制台按钮操作顶部支座滑动，将两组侧墙板收紧，同时控制风缸工作将两侧压紧，使侧墙板插口之间的间隙值≤0.5mm，上下插口间隙值之和≤1mm，侧墙板拼接后焊道两侧坡口边缘上下错边量≤1mm。优先保证侧墙外侧面位置插口间隙以及焊道坡口边缘错边量最小化。

侧墙板拼组收紧后，确认侧墙组装尺寸符合要求：弧长2599~2605mm，外轮廓度≤3mm，中部窗板处连接焊缝下凹1~2mm。确认完成后使用风动砂轮机清除待焊区域铝合金表面氧化膜，对侧墙正、反两面采用先正后反的顺序进行定位焊，并在侧门安装的预留位置加装工艺支撑用以控制尺寸。

第二，侧墙正面自动焊接焊前准备：对定位焊缝黑灰进行清扫后，使用风动刨刀将定位焊余高打磨与母材平齐后，使用风动铣刀铣削焊接坡口，铣削后焊缝根部余留有效厚度在1~2mm之间，坡口面圆滑过渡。定位焊中部保证15~25mm内不进行坡口预制，处理状态如图7所示。

安装焊接过渡板(以下简称为引弧板)，用以将自动焊接的起弧收弧点引出母材之外，降低焊接缺陷产生的几率。将引弧板的坡口中心与型材对接时形成的坡口中心对齐。引弧板上表面与侧墙表面平齐，坡口根部与侧墙焊道坡口根部纵向错位≤1mm。如侧墙端部与引弧板高度差或间隙>1mm，可在两者连接部位进行

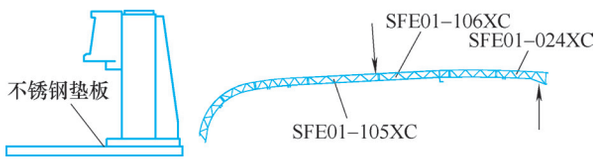


图4　侧墙正面自动焊接反变形预制

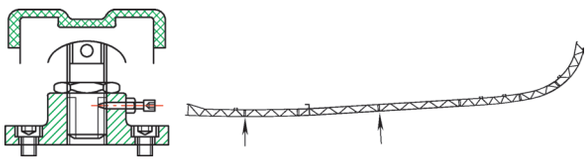


图5　侧墙反面自动焊接反变形预制

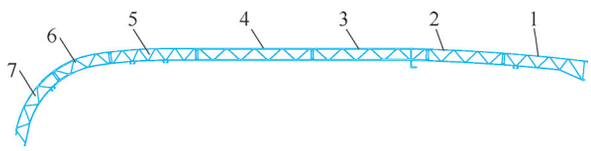


图6　侧墙板编号

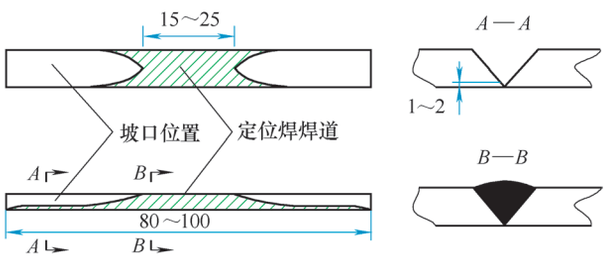


图7　定位焊坡口预制

定位焊并打磨顺滑过渡。在两侧以及焊缝交接处进行定位焊，焊缝长10~15mm。引弧板安装位置及型号选取如图8所示。

如侧墙中部窗间位置侧墙板较侧墙边缘伸出长度超过100mm，由于此位置需要在整体加工时切除，所以可在此位置完成起弧收弧，要求同使用引弧板的相同。

使用风动角磨机将焊道内的定位焊余高磨平，清除定位焊端部的焊瘤等缺陷，使用风动铣刀增开焊接坡口。铣削后定位焊缝根部应与焊道根部平齐，焊缝增开坡口位置可保留1~2mm有效焊缝厚度。使用风动不锈钢丝轮对焊道以及两侧50mm范围的母材进行焊前清理，清扫至铝合金表面露出纯净的金属光泽。清理完成后应在4h内完成焊接。

第三，侧墙正面自动焊接：使用IGM焊接机器人按照表单中的参数及要求对侧墙正面焊缝进行自动焊。为保证侧墙总组工序侧门结构安装，5#焊缝引弧端可保留50mm范围区域不实施自动焊接，在定位焊缝上完成收弧。未焊焊缝在总组正面焊接时采用半自动焊完成焊接，焊接完成后，待工件冷却至25℃以下，方可卸除正面组焊工装的夹具，如表1所示。

第四，侧墙反面自动焊接焊前准备：预先将支撑调节顶柱降至最低点，再将工件吊运至侧墙反面组焊工装上方，翻转后落入工装内，通过控制台按钮操作两端的风缸压力器将工件压紧，手动调整顶柱与侧墙正面自动焊缝密贴后，再缓慢拧动调节螺栓使其上升2mm。操作完毕后，使用5m钢卷尺量取侧墙内侧弦长，确认弦长值在2389~2398mm之间。测量方式如图9所示。

进行坡口准备、反面引弧板安装以及焊前清理，要求与正面焊接时的操作方式保持一致。

使用IGM焊接机器人按照表单中的参数及要求对侧墙反面焊缝进行焊接，5#焊缝收弧点的处理与正面自动焊接的方式一致。待工件完全冷却后，方可卸除夹具并将工件流入下一道工序，如表2所示。

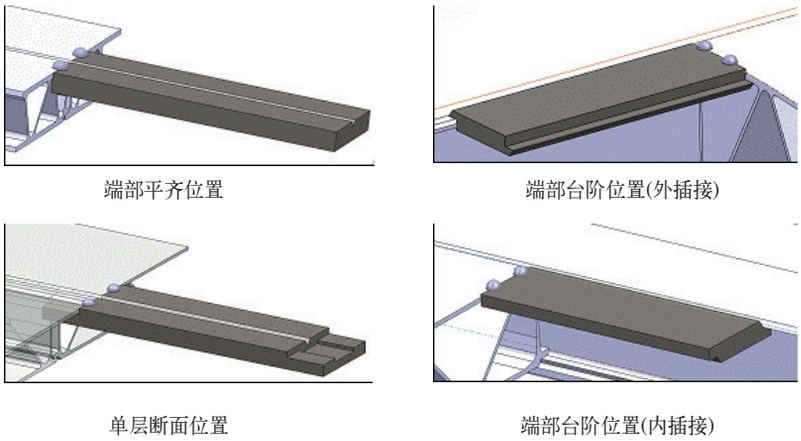
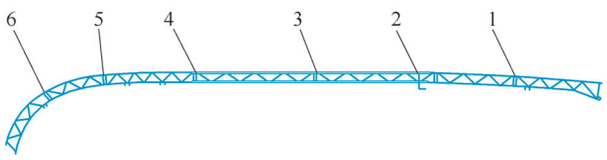


图8　引弧板安装方式

表1　侧墙正面自动焊接参数、焊接顺序以及焊接方向要求

编号	位置	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	电流种类/极性	焊接速度/cm·min^{-1}	功率比(%)
1	PA	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
2	PA	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
3	PA	1.2	205	22	DCEP/+	75	60
4	PA	1.2	205	22	DCEP/+	75	60
5	PA	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
6	PA	1.2	210	22	DCEP/+	75	60



焊接顺序要求：1、5→2、4→3、6；焊接方向要求：所有焊缝的焊接方向保持一致。

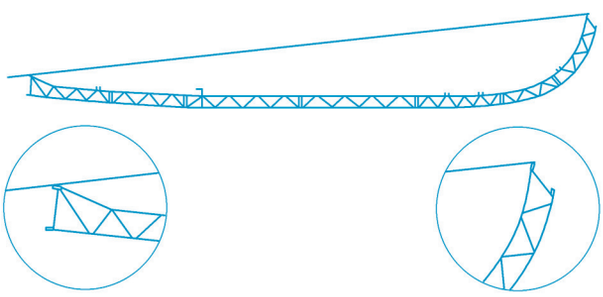


图9　侧墙弦长测量



激光–MIG复合焊接四种表面处理方式对比分析

陶富文　火巧英

【摘要】本文主要针对铝合金激光-MIG复合焊接表面处理进行研究，为激光-MIG复合焊接技术在国内高速列车铝合金焊接领域的应用提供技术储备和数据支持。试验选用6mm厚6005A铝合金试板，分别进行打磨处理、喷砂处理、微弧氧化处理和涂漆处理，对经不同表面处理状态的铝合金试板使用相同工艺参数进行激光-MIG复合焊接，探寻最适合激光-MIG复合焊接的表面处理方式。

关键词：表面处理；激光-MIG复合焊接；接头性能分析

1. 概述

激光-MIG复合焊接是把激光与电弧结合在一起，既充分集成激光焊接与电弧焊接的优点，又使激光、MIG的不足得到互补。选用6mm厚6005A铝合金试板，分别进行打磨处理、喷砂处理、微弧氧化处理和涂漆处理，对经不同表面处理状态的铝合金试板使用相同工艺参数进行激光-MIG复合焊接，探寻最适合激光-MIG复合焊接的表面处理方式。

2. 试验材料

喷砂处理所使用喷料为60#金刚砂，喷砂机工作过程中正常压力为0.5～0.6MPa；涂漆处理所用油漆为普通黑色油漆，经打磨后在坡口处涂一层；微弧氧化处理的电解液成分如表1所示，测得微弧氧化膜厚度20μm。试验所用复合焊接参数如表2所示。

3. 焊缝正面形貌对比

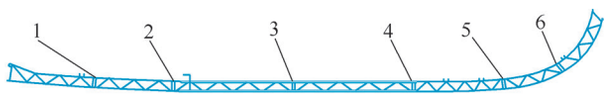
四种处理状态的焊缝正面形貌如图1所示。打磨处理状态的焊缝成形良好，但是鱼鳞纹不清晰；喷砂处理状态的焊缝成形良

4. 结语

实践证明，通过对侧墙正、反面自动焊接进行焊前反变形预制，能够有效保证侧墙结构关键参数（外轮廓度、弦长）满足后工序的使用要求，解决了侧门组成安装困难、因机械调修或余外打磨造成的母材损伤等一系列的组装功能及表面质量问题，并且操作方便可靠，降低了劳动强度，提高了工作效率。

表2　侧墙反面自动焊接参数、焊接顺序以及焊接方向要求

焊缝编号	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	电流种类/极性	焊接速度/cm·min^{-1}	功率比（%）
1	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
2	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
3	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
4	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
5	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
6	1.2	205	22	DCEP/+	75	60



焊接顺序要求：1、5→2、4→3、6；焊接方向要求：所有焊缝的焊接方向保持一致。

作者简介：周靖峰等，中车四方机车车辆股份有限公司。

MW 20170621