



浅析城轨铝合金车体扭曲变形

黄军才

【摘要】 本文依据工艺装备及工艺情况，通过受力分析，获取城轨铝合金车体扭曲变形的真正成因。

关键词： 城轨铝合金车体；扭曲变形；受力分析

1. 概述

目前，轨道铝合金车辆由底架、顶盖、侧墙、端墙等部件组焊而成，其结构大体可看成一个长管状结构（见图1），管状外壳由大型中空挤压型材用焊接而成。假设给这个“长管”施加一个扭转力，便产生了扭曲变形，其表现为“长管”的四个角中某一处上翘，当上翘程度超过枕梁处强度时，将带动枕梁面一同上翘，造成枕梁面平面度超差。

严重的枕梁平面度超差会造成后续落车工艺困难，水平性试验难以通过，造成整车运行时晃动增大，噪声增大，从而影响乘用的舒适性。

2. 现状

车体总组焊工艺装备主要由底架液压拉紧装置、侧墙定位装置，以及保证整车尺寸的拉杆、撑杆、拉紧带、链式拉紧葫芦等组成。其中，底架液压拉紧装置主要是对底架进行刚性固定，一方面设置挠度，另一方面确保

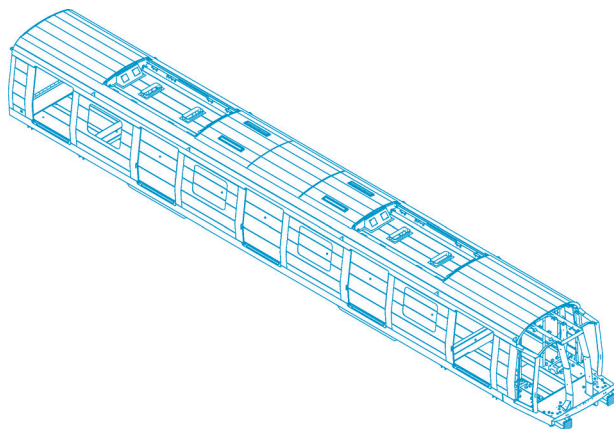


图1 车体结构示意图(带司机室)

焊后底架不发生自由变形。侧墙定位装置主要对侧墙吊装定位参考，确保侧墙纵向线与底架中轴线保持一致；拉杆、撑杆、拉紧带、链式拉紧葫芦主要用于调节车体某些重要尺寸，如顶盖内宽、车体内高、客室门高、客室门宽、车体横截面对角线和侧墙平面度等，一方面可以进行刚性固定，另一方面也可以作适当的反变形。

车体工艺装配顺序为先将底架落在液压拉紧工装上，工装预设一定挠度值；将底架枕梁反

面中心孔定位于工装上的两个定位销；液压系统采用一定的液压力使底架与工装贴合；吊装侧墙单元到底架上，紧贴侧墙定位工装；调整门距后将侧墙单元下部与底架边梁定位焊；吊装顶盖，由I端向II端落顶盖，定位焊后，使用撑杆、拉杆等调整车体内高、顶盖宽度、门宽、车体对角线等尺寸，做适当的预变形，使车体各部件组装成稳定、刚性固定结构后，组织实施焊接。

3. 分析

结合对目前工艺装备条件、

现场工艺装配顺序等综合分析，车体扭曲变形原因主要包括以下几点：车体总组焊基础工装、底架枕梁平面度来料、部件来料及顶盖吊装方法、对角线撑杆添加及生产进度等问题。

(1) 车体总组焊基础工装问题 首先，车体总组焊基础工装如图2所示，车体底架主要通过底架液压拉紧装置进行刚性固定，而底架液压拉紧装置从结构形式上看，可以分为起支撑作用的机械支撑部分和起拉紧作用的液压拉紧装置部分（见图3）；该两结构受力形式为一撑（向上）与一拉（向下），方向相反，正好构成一对互力，使得底架上下自由度完全约束，从而达到良好的刚性固定目的；同时，我们可以通过设置不同的机械支撑高度，实现车体焊前挠度反变形。

其次，异常分析。①现场生产过程中，液压拉紧装置因漏油、液压缸压力不够出现拉力不够或缺失情况，从而导致该处缺少向上约束，车体大量焊接应力直接造成该处焊后上翘。特别是端部更突出，一方面车体端部集中了端墙及侧墙的密集焊缝，焊接量、焊接应力及变形均极大；另一方面目前顶盖组焊后纵向成“V”，而底架纵向成“Λ”，车体各部件装配完成后，底架端部本身存在较大的上翘装配应力。②现场生产过程中，机械支撑装置高度设置不合理，左右两侧本身存在较大的高度差，使得焊后出现左右两侧高度不平，甚至带动枕梁面不平，影响枕梁面平面度值。

(2) 部件来料及顶盖吊装方法问题 首先，车体各部件（底架、顶盖、侧墙）来料外形理论均为长方形。其中，顶盖长方形长边对应于顶盖外边梁，短边对应于顶盖端梁；底架长方形长边对应于底架边梁，短边对应于底架端梁。在底架、顶盖生产过程中，均以其II端端部为定位点，使左右两侧边梁端部保持在同一水平面，而预设工装确保了该水平面与底架中轴线垂直，从而确保底架、顶盖组焊后外形为长方形。在侧墙生产过程中，工装通过对长方形一个角固定垂直，从而使得侧墙焊后外形为长方形。

其次，影响因素分析。①底架、顶盖生产过程中，存在II端定位偏差，从而使其外形出现平行四边形；底架、顶盖生成过程中，存在左右两侧边梁长度不完全一致情况，使得底架、顶盖外形出现直角梯形外形。总而言之，底架、顶盖组装后，其外形总发生平行四边形与直角梯形的综合变形。侧墙也因各部件来料

尺寸公差及焊接收缩等形成平行四边形与直角梯形的综合变形，如图4所示。②顶盖吊装从I端往II过程中，通过顶盖I端与侧墙左右对齐的吊装方法，在实际生产过程中，将可能出现底架中心线与顶盖中心线严重超差情况（底架、顶盖、侧墙外形相互叠加情况下），从而造成顶盖极度扭曲，通过支撑杆强行固定后，焊后出现反弹，导致车体扭曲，甚至出现枕梁平面度超差情况。考虑只有当部件吊装扭曲应力大于车体强度时才发生车体扭曲现象的先决条件，因此车体扭曲变形造成枕梁超差发生情况基本呈点状，表现很突然，也很隐蔽，消除了其批量惯性问题的本质，如图5分析所示。③顶盖吊装固定焊完成后，在调整客室门宽、客室门高等关键尺寸时，通过支撑杆强行支撑后，导致顶盖存在相应的扭曲应力，严重情况下可直接发生扭曲变形（车体横截面对角线差值明显增加），车体焊接完成后，松开相应工装撑杆后，扭曲应力释放使得车体发生扭曲

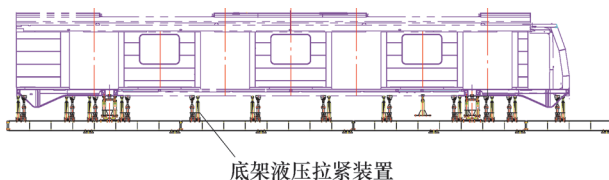


图2 车体总组焊基础工装

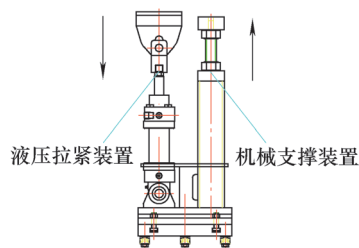


图3 底架液压拉紧装置

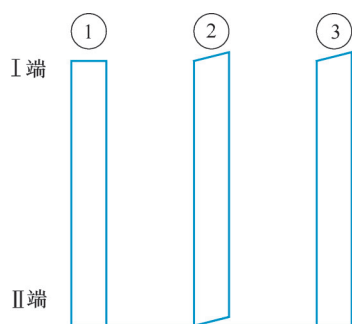


图4 底架、顶盖焊后外形示意

注：①完全理论外形，②II端定位偏差后外形，③左右边梁长度不同外形。

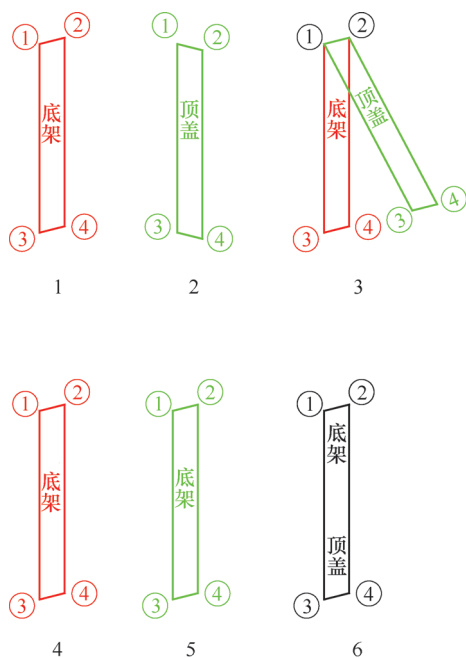


图5 以①②对齐方式顶盖、底架匹配示意

注：1、2、3表示底架、顶盖外形变化方向相反时组装示意图，吊装后顶盖被极度扭曲；4、5、6表示底架、顶盖外形变化方向相同时组装示意图，吊装后顶盖不存在扭曲。

- 1.绿色部分表示顶盖、红色部分标示底架，重合区域标示白色。
- 2.侧墙对角线问题主要影响①②外形斜度，若侧墙与顶盖外形匹配，则可以消除顶盖①②之间斜度，若侧墙与顶盖外形不匹配，则加重顶盖①②之间斜度。
- 3.由于底架设置有相应挠度，侧墙安装后会发生外形平行四边形转变，造成与2类似结果。

变形。

(3) 对角线撑杆添加问题
首先，车体对角线撑杆为车体总组焊过程中采用的重要撑杆，其作用一方面可以用于调节车体对角线差值，另一方面也可以用于加强车体各部件装配后刚性固定，其受力分析如图6所示。

从图6不难看出，一方面从对角线撑杆上下分力考虑，该互力造就了两侧底架边梁受力情况的变化，底架撑头处底架边梁拉紧力明显提升，顶盖撑头处底架边梁支撑力明显提升，除此之外，因这对互力之间存在距离，因此其之间还存在一个相应的扭矩，该扭矩的作用使得底架发生顺时针旋转；另一方面从对角线撑杆水平分力考虑，该互力造就了两侧顶盖边梁受力情况的变化，顶盖撑杆头处顶盖边梁承受左侧张力，另一侧则缺少约束，使得顶盖内宽增加且发生左移现象。除此之外，因这对互力之间存在距离，因此其之间还存在一个相应的扭矩，该扭矩的作用使得顶盖发生逆时针旋转。总的来说，对角线撑杆在调节车体对角线过程中，使得顶盖扭曲变形向底架承受扭曲力转移；若以图6所示对角线撑杆右侧底架撑杆头处作为支撑点，该撑杆使得车体

该截面处承受顺时针旋转的扭曲力。

其次，异常情况。①据前所述，当顶盖与底架出现图7中1、2、3装配情况下，其表现为车体II对角线差值明显（见图7）。虽通过车体对角线撑杆可以实现车体对角线差值调整，但是过量的对角线差值会造成车体过度的扭曲应力，当扭曲应力超过车体所能承受的最大应力后，将直接导致焊后车体某一角上翘，进而引起枕梁面上翘。尤其对角线撑杆在固定过程中，若提前将对齐端进行刚性固定，则非对齐端承受所有顶盖调整带来的扭曲应力，焊后导致该角上翘；若不提前将对齐端进行刚性固定，则非对齐端撑杆固定后，将顶盖调整扭曲力转移至对齐端，两端均承受扭曲力，焊后导致某一角及其相对角均出现车体扭曲变形。②在车体焊接过程中，焊接应力极大，对于某一截面单侧添加对角线撑杆的情况下，该撑杆刚性固定力，直接导致顶盖撑杆头侧无焊接收缩，所有焊接量全部转换为焊接变形与焊接内应力，该焊接内应力产生如上所述一样的效果，当焊接内应力超过车体强度后，车体发生扭曲变形。现场单侧增加撑杆如图8所示。

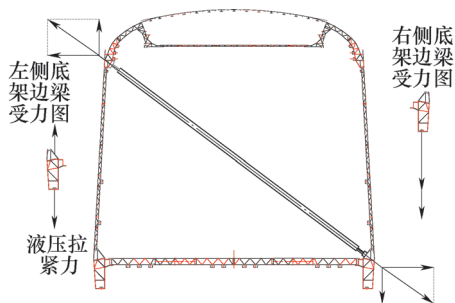


图6 车体对角线撑杆受力分析示意

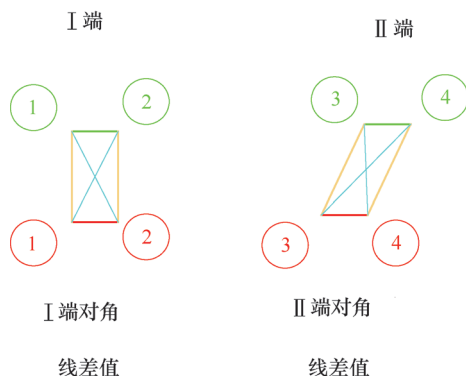


图7 顶盖、底架不匹配情况下车体对角线示意

注：绿色部分表示顶盖、红色部分标示底架，黄色部分表示侧墙。

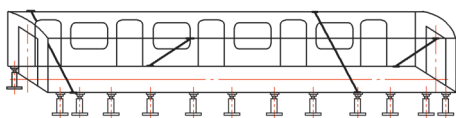


图8 车内对角线撑杆示意（左为II端，右为I端）

4. 车体扭曲变形因素

综上所述，不难发现，影响车体扭曲变形因素包括：

(1) 因车体端部焊接量最大，结合底架、顶盖来料外形等特点，扭曲变形主要发生在车体端部某一处角或其相对角。

(2) 车体基础工装支撑拉紧力的左右平衡，是保证车体不发生扭曲的关键。

(3) 车体基础工装正常是保证车体不发生扭曲变形的先决条件。

(4) 在基础工装检测正常情况下，底架、顶盖、侧墙部件（挠度设置影响侧墙外形特点）来料外形非长方形是引发车体发生扭曲的根本原因。

(5) 因底架、顶盖、侧墙部件特异性，每节车基本都不一样，当三者外形变化正好叠加时，以顶盖与侧墙对齐的吊装方法，直接导致顶盖吊装后极度扭曲。顶盖扭曲表现为车体对角线

差异异常，采用增加对角线撑杆的调节的方法，将顶盖扭曲力转移至底架，引发底架边梁左右支撑拉紧力极其不平衡，也即将顶盖扭曲力转移至车体扭曲力，导致车体焊后发生扭曲变形。

(6) 某一横截面增加单根对角线撑杆，因撑杆支撑侧存在刚性固定，使得该侧焊后收缩应力无法通过焊接收缩等释放，全部转化为车体变形，表现在平面度超差，鼓型车轮廓度超差，甚至出现车体扭曲变形。特别是当对角线撑杆调节顶盖扭曲后，顶盖扭曲力与焊接收缩力叠加，使得整车扭曲力急速上升，车体发生明显的扭曲变形。

(7) 焊后车体热度未下降，过早松开车体工装，焊接热应力释放，使得车体发生一定的焊接变形，表现为侧墙平面度超差，甚至扭曲变形。

(8) 车体扭曲变形往往不止某一方面的原因引发，而是多

重原因叠加，只有当叠加原因所带来的应力超过车体强度时，才可能发生车体扭曲变形，否则只存在极大的车体扭曲内应力。

5. 应对措施方案

(1) 针对底架基础工装导致拉紧力不平衡问题。在底架吊装完成后，在打开底架拉紧装置液压力时，检查底架拉紧装置是否存在晃动；底架吊装前，预先打开液压缸启动开关，检查压力指针5min内是否稳定。底架吊装后，底架拉紧装置拉紧后，对液压拉紧装置均逐一检查，核实是否存在漏油现象。生产过程中，每个班次开工前均需逐一检查液压拉紧装置，核实是否存在泄压现象；底架吊装后，以枕梁为参考面，逐一测量底架边梁挠度设置，核实是否与工艺要求理论值吻合。

(2) 针对底架来料枕梁平面度问题。在底架吊落后但未固定前，检查底架枕梁面与车体枕梁支撑装置间隙高差，并检查同一处左右两侧边梁与底架支撑间隙高差。

(3) 针对部件来料外形不平整问题。首先应增加底架、顶盖、侧墙部件来料对角线差值项点检查工步，确认各部件来料状况；其次调整顶盖吊装方法，先确保顶盖与底架对齐，后通过调节侧墙门宽与切割小侧墙角立柱的方法，确保侧墙与顶盖端头对齐。

(4) 针对对角线撑杆受力不平衡问题。成对添加的车体对角线撑杆均需受力，且添加后左右车体对角线差值小于3mm。

(5) 针对生产进度问题。



高强钢钢结构平度控制办法

赵雪山 张洪国 刘海伟

【摘要】 本文主要是根据相关资料进行焊量计算以及实际跟踪测量高强钢钢结构变形量，继而掌握高强钢焊接变形规律，所以就可以制定合理的焊接顺序，确定适当的焊接电流和制作有效的反变形，从而达到控制平度的目的。

关键词： 焊接顺序；焊接电流；反变形；平度

1. 概述

由于高强钢结构主要是用于载重载荷较高的结构件，因此必须达到抵御强碰撞、高承载的技术要求。但是有时为了达到此目的，往往因高强钢钢结构复杂，焊量非常大而导致焊接变形，严重影响后道工序的正常生产。如采用传统工艺只单独的配以火焰调修，那么调修温度必然较高，导致高强钢硬度降低无法达到碰撞试验的标准要求。因此为了控制平度往往采用多种工艺方法并用，现我们就以EDI626项目底架端部为例，浅谈高强钢钢

结构的平度控制办法。

EDI626项目底架端部平度问题的原因以及对后道工序的影响：

(1) 底架端部由于EDI设计图样结构极其复杂，多为板材插接结构。且如图1、图2所示中的每一块板都是双面满焊结构，焊接量相当之大。例如：根据我们现场跟踪调查，仅一台车的底架端部使用的焊丝为260kg，要比25G型车一整台车体钢结构使用的焊丝（220kg）整整多出40kg焊丝，如此大的焊接量导致产生严重的焊接变形。

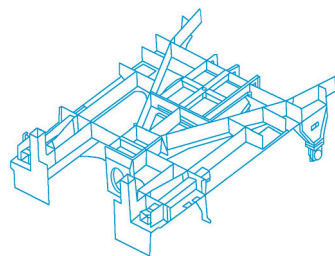


图 1

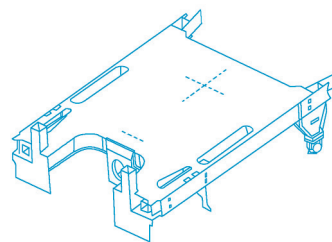


图 2

整体体组焊完成，应待整车自然时效后，方可松开所有工艺装备。

参考文献：

[1] 胡煌辉. 铝合金焊接技能[M]. 北京：中国劳动社会保障出

版社，2005.

[2] 黄旺福. 铝及铝合金焊接指南[M]. 长沙：湖南科学技术出版社，2004.

[3] 张文钺. 金属熔焊原理及工艺（上册）[M]. 北京：机械工业出版社，1980.

[4] 张文钺. 焊接传热学[M]. 北京：机械工业出版社，1989.

作者简介：黄军才，中车株洲电力机车有限公司。

MW 20170621