

轨道车辆不锈钢车体变形分析及解决措施

中国焊接协会 (黑龙江哈尔滨 150080) 李 波

1. 概述

至2016年我国将新建轨道交通线路89条,总建设里程达到2500km,中国也将成为世界最大的城市轨道交通建设市场,近万亿元商机带来广阔的市场空间,受益最直接的就是车辆制造业,这给国内外轨道交通制造企业带来很大的商机。在国内,以青岛四方、长春客车为龙头的轨道交通制企业不断开发新产品,以求得占领更大的市场份额。

目前轨道车辆主要以不锈钢和铝合金为主体结构,特别是不锈钢结构所占比例超过半数,其应用范围越来越广泛,对于不锈钢车体焊接变形的研究就迫在眉睫。

2. 不锈钢轨道车辆车体的特点

不锈钢材料具有清洁、环保、耐用、高强度、抗腐蚀等优良性能,因此受到广大用户的青睐。目前,不锈钢材料越来越多用于轨道车辆车体。不锈钢就其材料特性有以下几个方面的特点:①奥氏体不锈钢热膨胀系数比碳钢大约40%,相对于碳钢,在同等输入热量的情况下,具有更大的变形量。②较低的热导率,约为碳钢的1/3。③奥氏体不锈钢电阻率是碳钢的5倍。④冷作硬化后能得到较高的屈服强度,并具有良好的塑性。

以上特点决定了不锈钢车体的设计结构及工艺方法与碳钢相比会有很大的不同,结构上可以进行轻量化的设计,工艺上需要更多采用热输入更小的焊接方法。

3. 不锈钢车体基本设计结构

轻量化不锈钢车体结构主要采用板梁组合整体承载全焊结构(见图1),使用的板材较薄,一般侧墙板采用1.5mm厚不锈钢,梁柱大量采用1~4mm板材冷弯成形,侧墙钢结构采用了0.8mm板材压制

的内层筋板结构,顶板和地板采用0.8mm的不锈钢板滚压成形,车体的梁、柱根据受力不同采用不同强度等级的不锈钢,优化设计截面形状,尽量降低板厚,减少材料用量。采用轻量化技术后,其重量比普通钢车体可轻30%~40%。

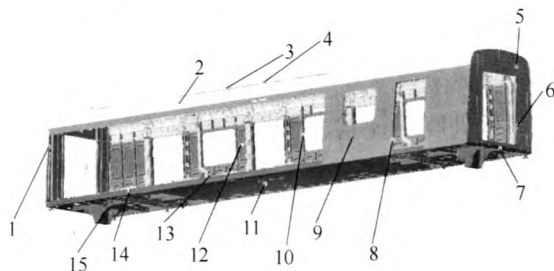


图1 不锈钢地铁结构

1. 端角杠
2. 车顶边梁
3. 车顶顶板
4. 车顶弯梁
5. 端墙板
6. 端墙门立柱
7. 底架缓冲梁
8. 客室内框
9. 侧墙板
10. 侧墙立柱
11. 底架横梁
12. 内层筋板
13. 底架边梁
14. 端部底架
15. 波丝地板

4. 不锈钢地铁车体钢结构工艺特点

因不锈钢的电阻率比较高,热变形大,因此,不锈钢车体焊接较多地采用了电阻点焊的焊接方法。点焊是地铁车辆、轻轨车辆不锈钢车体结构大量金属板构件间的主要连接形式,分布于车身各部位,数量达上万个。点焊结构的主要特点是结构紧凑、重量轻、强度高、耐腐蚀。

侧墙钢结构、梁柱间及板梁间基本采用电阻焊,因电阻焊的热量输入更小,材料的变形小,在对连接强度有特殊要求及点焊不能达到的位置采用MAG电弧焊的方式。因采用电阻点焊工艺,设计结构基本是搭接或者是通过连接板过渡方式。

5. 制造过程中车体的变形状况

在实际制造过程中,不锈钢车体以下几个部位的变形比较严重,影响到车体的外观质量及使用功能。

(1) 车体墙板的波浪变形。不锈钢车体一般为无涂装的车体, 墙板原材料表面裸露在外面, 因此墙板表面的状态直接影响到整体视觉效果。

(2) 车体门口区域的断面变形, 造成与门板之间配合间隙超差, 导致车体与门板之间摩擦, 影响使用及安全。

(3) 变形使车体整体几何尺寸超差, 造成车体断面超出限界的要求。

(4) 车体点焊, 表面压痕深, 影响车体外观质量。

6. 车体变形的原因分析及措施

(1) 车体侧墙表面波浪变形 地铁侧墙钢结构外板的不锈钢材料, 表面 P120 磨砂, 板厚 1.5mm, 要求表面平整度 $\leq 1.5\text{mm/m}$, 生产中经常发生表面平整度超差, 最大可达 3mm/m 的状况。由于表面比较光亮, 变形后折射光线, 视觉效果很差。

造成这种波浪变形的主要原因: ①侧墙骨架不平整, 墙板依附在骨架上, 造成墙板随骨架变形。②原材料板材原始状态存在波浪变形, 目前这种状态存在较多, 材料的平面度在 8mm 左右, 单面点焊后, 这种波浪不能消除, 如图 2 所示。③车体后期弧焊焊接零件影响到墙板, 受热后产生变形。

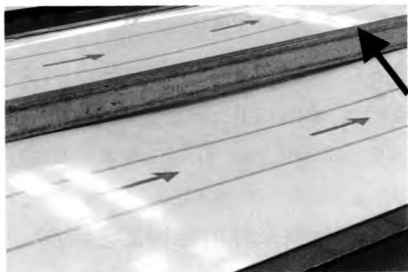


图2 墙板波浪变形

对波浪变形采取以下措施进行预防: ①提高骨架装配质量, 骨架平面度 $\leq 1\text{mm/m}$, 改进骨架的装配方法, 减少电弧焊数量, 采用点焊工艺。②针对墙板原材料波浪, 采取改进点焊工艺方法, 改变过去侧墙单元在自由状态下的单面点焊工艺 (原工艺墙板波浪无法展平, 如图 3a 所示。波浪点焊后变为若干小的波浪变形, 外观效果很差)。改进点焊工艺, 对骨架施加一定的压紧力, 将板材存在的波浪起伏展平, 在此约束状态下点焊, 波浪明显减小, 表面状态理想。此工艺方法对骨架平整度墙板的平整度适用性明显提高, 对板料波浪在 8mm 内的变形有明显的效果, 如图 3b 所示。③侧墙完成后, 尽量

避免在梁柱及墙板上直接施焊, 因此时墙板比较敏感, 较小的热量也会引起墙板波浪变形。

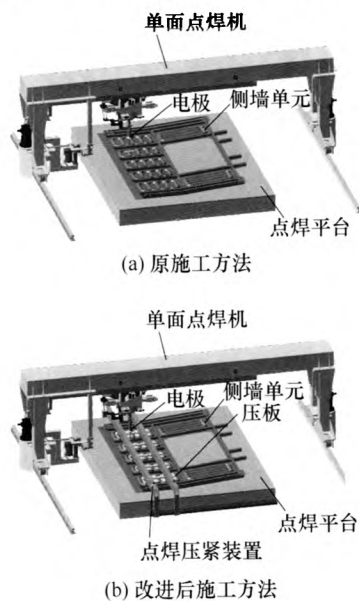


图 3

(2) 关于门口区域轮廓度控制 门口区域的变形比较难控制, 此部位变形的原因是门口立柱结构比较复杂, 为提高门口区域的承载能力, 往往设计的强度较大, 如图 4 所示, 焊接变形也比较大, 主要变形的方向是门口立柱鼓型断面角度变大, 由于门口立柱组成的断面与窗口立柱断面板厚组合及断面尺寸不同, 点焊参数有所差异, 焊后两者的变形量不一致, 门立柱要比窗立柱变形大, 造成从窗口至门口区域侧墙轮廓逐渐过度, 如不采取措施这种变形应在 $3 \sim 5\text{mm}$ 之间, 将对内藏门的安装产生影响。

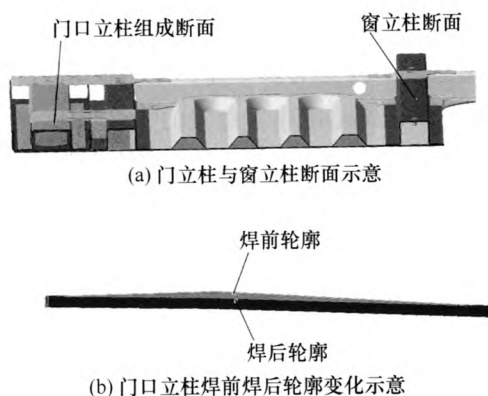


图 4

采取措施: 对门口立柱预组采取反变形控制, 根据焊前焊后的变化量, 立柱提前预置一定的反变形量, 点焊完成后, 使其能够接近要求尺寸, 工艺

的难点在于反变形量的控制，因为门口立柱断面形式不同，材料力学性能的不稳定都会对变形量产生影响，需要在实际生产中不断摸索总结经验。

(3) 车体整体几何尺寸的控制 车体整体几何尺寸主要有以下几个方面：①车体的最大宽度。②车体高度。③断面对角线之差。④门口尺寸，又包括门口的宽度、高度、对角线之差。⑤车体整体挠度。这些几何尺寸的控制决定车体的整体装配质量，对车辆的用应及后工序的装配有重要影响。

车体制造的一般生产流程为：①底架钢结构在总装工装上定位、固定。②端墙定位、固定。③侧墙定位、固定。④车顶安装定位。⑤车体点焊。⑥车体电弧焊。⑦附件的安装。⑧车体检测。

整个组装过程，对各大部件的定位固定尤为关键，其几何尺寸的确定需要根据试制过程的工艺尺寸来确定，装配中需要用各种撑杆对车体进行支撑固定，如图 5 所示。

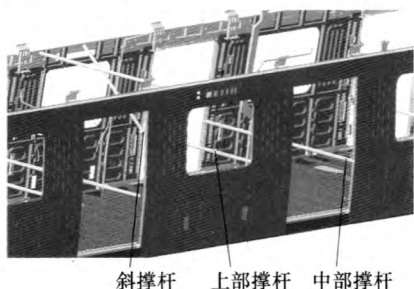


图5 车体总组装支撑固定

车体装配中门口尺寸的变化主要是对角线之差的控制，侧墙的挠度与底架的挠度因变形不一致，门口区域断面小刚度弱，易产生尺寸变化，因此挠度的匹配对门口尺寸影响大，控制侧墙钢结构的挠度是关键。

(4) 点焊、表面压痕，影响车体外观质量 此状况一般集中在侧墙、上墙板及车顶与侧墙之间的点焊，产生的原因主要是墙板与骨架之间点焊位置结合面存在较大的间隙，而墙板多为 1.5mm 的薄板，点焊施压中，由于电极直径较小，造成过大的压力使薄板产生变形。

以上可以采取对墙板与骨架之间采用预压手段，让薄板与骨架之间在预压力的作用下密贴，再施加点焊的压力。图 6 是通过铜垫板点焊车顶边梁与侧墙的连接焊缝示意。通过电极的推力推动铜板，使边梁罩板与侧墙边梁之间密贴，然后电极施加工作

压力并通电，电流通过电极铜板与工件。

侧墙钢结构上墙板为通长结构，采用拉伸工艺进行安装，拉伸后由于张力作用与骨架之间存在一定的间隙，也可采用加垫板工艺解决点焊表面压痕深的问题，由于电极与工件之间增加了铜垫板，焊接工艺规范需要根据实际工作状态进行试验确定。

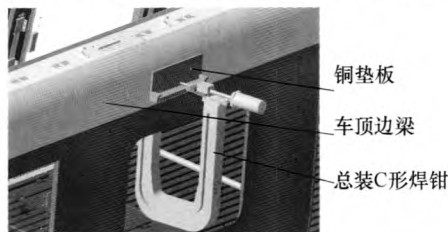


图6 车顶点焊

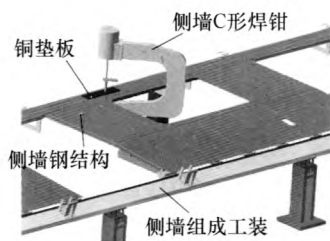


图7 侧墙上墙板点焊

通过一系列工艺措施，大大提高了不锈钢车体外观质量，针对不锈钢车体特有的材料特性，必须采用特殊的工艺手段才能取得理想效果。同时不锈钢车体的制造工艺方面还有很多的问题需要解决，如厚板不锈钢的焊接变形控制、不锈钢焊后的防腐问题等，这需要我们后期总结经验，逐步提高。

7. 结语

目前国外一些知名轨道车辆制造企业在焊接变形工艺控制方面已经开发出激光焊接车体技术，因激光焊属于高能、非接触焊接，焊接速度快、能量集中，焊后表面痕迹轻微且强度大，特别适用于薄板不锈钢的焊接，这是未来不锈钢车体制造工艺的发展方向。

同时智能化的焊接机器人越来越多，作为工艺开发，逐步向集设计工艺制造的模拟仿真技术方面发展，例如达索公司开发的集 CATIA 设计，delmia 制造工艺开发生产，制造工艺在准备阶段便可进行工艺仿真，优化工艺过程，逐步实现电子化的 3D 生产现场，这在飞机及汽车制造行业已经广泛应用，也应作为轨道车辆制造工艺的发展方向。**MW**

(20120415)