

不规则大弧度的不锈钢波纹板缝焊工艺分析

曹兴华, 刘庭宾, 王红波

中车南京浦镇车辆有限公司 南京 210031

摘要: 近年来不锈钢车体以其独有的优势受到用户的青睐, 不锈钢车体缝焊技术应用越来越广泛, 本文针对不规则、大弧度的车体波纹板结构特点, 对缝焊过程中的工艺难点进行了分析, 设计了满足要求的缝焊定位工装及专用吊具, 制定了合理的焊接工艺参数, 以及针对缝焊机结构特点, 确定了合理的侧顶板与波纹板组焊顺序, 最终确保不规则、大弧度的不锈钢车体波纹板缝焊后的产品质量满足要求; 同时, 本文中列举的焊接方法实现了对于不规则、大弧度的圆弧形结构在轨道车辆上的缝焊应用, 解决了不规则、大弧度的圆弧形结构难于定位, 缝焊过程中容易发生偏移, 焊缝接头多, 需要大量进行焊接修补等问题, 提高了产品缝焊稳定性及密封性, 有效防止漏雨事故的发生, 最终实现产品质量和生产效益的双提升。
关键词: 不锈钢车体; 不规则; 大弧度; 波纹板; 缝焊

Analysis of seam welding process of stainless steel car body corrugated board

Cao Xinghua, Liu Tingbin, Wang hongbo

CRRR Nanjing Puzhen Co., Ltd., Nanjing 210031, China

Abstract: Recent years, the stainless steel car body has been favored by more users with its unique advantages. The seam welding technology application of stainless steel car body is more and more widely. According to structural characteristics of side roof plate and corrugated plate of the car body, the technical difficulties were analyzed during the seam welding process. The craft equipment and special spreader of side roof plate on seam welding were designed. The reasonable welding process parameters were formulated, and according to the structure characteristics of the seam welding equipment, the reasonable welding sequence of side top plate and corrugated plate were determined. In the end, the weld quality of the corrugated board of stainless steel car body is guaranteed to meet the requirements.

Keywords: stainless steel body; irregular; Large curvature; corrugated board; seam welding.

1 序言

随着中国经济的飞速发展，为了缓解交通压力，各大城市对于轨道车辆的需求也逐年增加，不锈钢车辆具有高强度、高耐腐蚀性和免维护性、高安全性、全寿命周期成本低等优势，符合轨道车辆“绿色交通”的发展方向。

目前国内不锈钢车体生产大量采用电阻点焊及电阻缝焊，本文介绍的不锈钢车体波纹板缝焊具有生产效率高、成本低、节省焊材、易于自动化

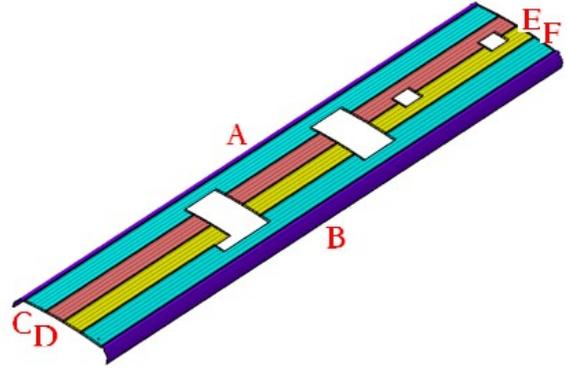


图1 车体波纹板示意图

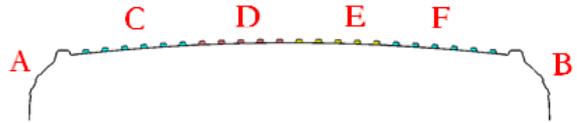


图2 车体波纹板断面示意图

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
含量	≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.015	16.5~18.5	6~8	0.1~0.2

的优点，广泛应用于轨道车辆生产中，但其具有如下**焊接难点**：①在焊件上沿缝焊机滚轮电极行走的路径须没有障碍，而侧顶板与波纹板焊接时需要在侧顶板和波纹板下设置支撑平台，由于支撑平台的设置，会导致电极行走路径上存在障碍；②缝焊机电极滚轮横向尺寸不能调节，会导致尺寸不合适的组焊件无法进行焊接；③缝焊机包括连接第一电极的第一臂和连接第二电极的第二臂，第一电极和第二电极分别置于焊缝的两侧进行缝焊，因而第一臂、第二臂和缝焊机主体围成一个半封闭区，该区域空间狭小，容易与大尺寸、不规则弧形结构的工件发生干涉，故轨道车辆行业大多将缝焊用于平面或近平面结构的焊接，采用缝焊对于轨道车辆的不规则、大弧度波纹板的焊接仍难以应用。

2 车顶波纹板结构介绍

图1为不规则、大弧度的车体波纹板示意图，是由2块侧顶板（见图1中A、B所示）和4块波纹板（见图1中C、D、E、F所示）组成，**图2为车体波纹板断面示意图**，其中侧顶板板厚1.5mm，长度15780mm，波纹板板厚0.8mm，C、F波纹板长度为15780mm，D、E每块波纹板分为三段，长度分别为5205mm、3335mm、5205mm。侧顶板与波纹板材质均为X2CrNiN18-7，具体化学成分见表1所示。

表1 X2CrNiN18-7的化学成分（质量分数）（%）

3 波纹板缝焊设备介绍

本文使用波纹板缝焊设备为日本株式会社电元社制作所生产，缝焊机设备型号为UICS-280-13，具体设备见图3所示，缝焊设备主要参数见表2所示，缝焊平台见图4所示，下文所述侧顶板定位工装即固定在此平台上。缝焊机内部空间较小，且电极轮在横向及纵向均不可移动，故下文所述波纹板缝焊时只能按照唯一顺序进行组焊。



图3 波纹板缝焊机

表2 波纹板缝焊机主要参数



图4 波纹板缝焊平台

4 波纹板缝焊工艺难点

4.1 工装定位要求高

由图5所示，侧顶板为不规则、大弧度的圆弧面，且由于缝焊机结构限制，对侧顶板下部进行夹紧定位会妨碍机器行进，只能对侧顶板上部进行定位及夹紧，故定位工装精度要求较高，否则波纹板焊接过程中容易发生偏移现象；



图5 侧顶板轮廓示意图

4.2 缝焊机空间狭小妨碍工件焊接

由于缝焊机电极轮横向及纵向均不可移动，且机器内部空间限制，波纹板组焊须按照唯一特定顺序进行焊接，否则会由于与机器发生干涉而无法焊接；

4.3 板厚轻量化增加焊接工艺难度

该车辆项目整车做轻量化处理，波纹板板厚仅为0.8mm，焊接接头包括0.8mm+0.8mm及0.8mm+1.5mm两种，板厚较薄给焊接工艺制定增加了不小的难度；

4.4 需制作专用吊具

受缝焊机结构限制，以及根据侧顶板结构特点，侧顶板与波纹板焊接后掉头工步，以及波纹板焊后的整体吊运工步，需制作专用的吊具；

4.5 需制作专用缝焊定位工装

焊接侧顶板时，由于待焊接件支撑平台易与行走中的缝焊机发生干涉的问题，影响缝焊进行，需设计专用的缝焊工装进行焊接。

5 波纹板缝焊难点采取的工艺措施

针对上述工艺难点，采取的具体工艺措施如下：

5.1 定位工装改进

根据侧顶板断面结构，由于缝焊机结构限制，图6绿色区域是能够进行夹紧定位区域，红色区域不具备夹紧及定位条件，否则会妨碍机器行进，故在定位条件有限的状态下，波纹板缝焊的工装定位精度要求较高，定位工装必须进行如下改进：

指标	定位精度	纵向行程	工作台宽度	工作台高度	纵向最大速度	最大电极压力
数值	±0.1mm	30m	2.5m	1.2m	20m/min	12KN
指标	最大板厚	最小板厚	焊接最大速度	电极焊接行程	电极作业行程	连续工作时间
数值	2mm+2mm	0.6mm+0.6mm	5m/min	70mm	100mm	16小时

1) 改进前定位工装使用铝合金材质，每组定位工装将两块铝合金切割样板通过螺栓固定，有一定误差，改进后工装采用尼龙材质整体加工而成，精度高，且不易划伤不锈钢表面；2) 改进前定位工装下部采用的固定螺栓较小，生产时由于焊接应力，6组定位工装位置会发生变化，导致波纹板在缝焊过程中发生偏移，改进后加大工装底部固定螺栓，增强定位能力，在缝焊过程中确保工装无偏移；③图7所示改进后侧顶板定位工装共六件，焊前需严格对定位工装直线度及高度差进行检测，保证六件工装的直线度≤0.5mm，高度差≤0.5mm。

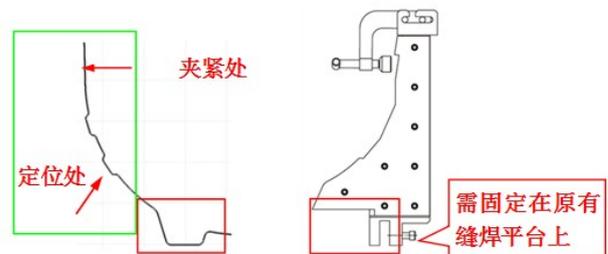


图6 定位工装示意图

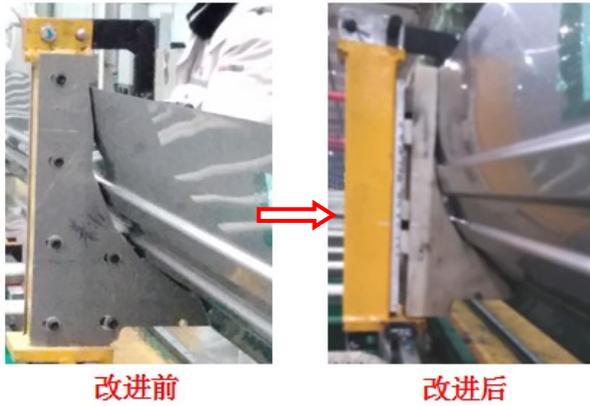


图7 侧顶板定位工装

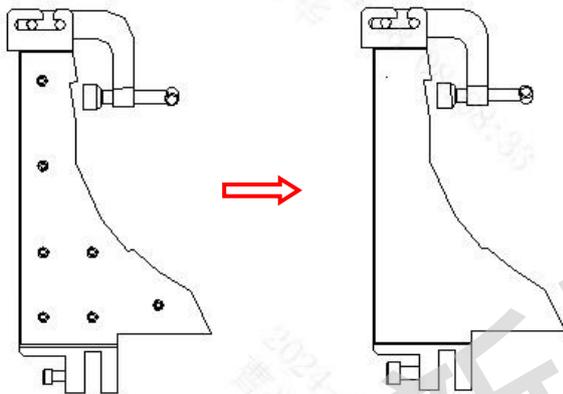


图8 加大工装底部固定螺栓图

5.2 工艺流程

对图1所示的4块波纹板C、D、E、F按照分段进行编号，具体见图9所示，受缝焊机结构影响，制定波纹板缝焊工艺流程如下：1) 需要先进行一位侧侧顶板与波纹板①进行焊接，具体步骤和细节要求如下：第一，从中间分别向一、二位端进行电阻点焊，间隔0.5m；第二，由于缝焊方向是从二位端向一位端方向焊接，为避免焊接到一位端位置焊接应力过大，需对一位端端头位置提前进行段焊，以防止缝焊时开裂；第三，从二位端向一位端进行缝焊；最后，使用侧顶板专用吊具掉头，将其吊到存放架上，等待下一个工序使用。图10为侧顶板与波纹板焊接示意图，图11为一位侧侧顶板与波纹板①的缝焊示意图，图中可见缝焊机、缝焊工件、工装定位块相对位置及工作状态的示意。

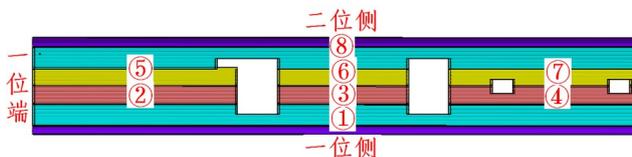


图9 波纹板缝焊示意图（反装状态）



图10 侧顶板与波纹板焊接示意图

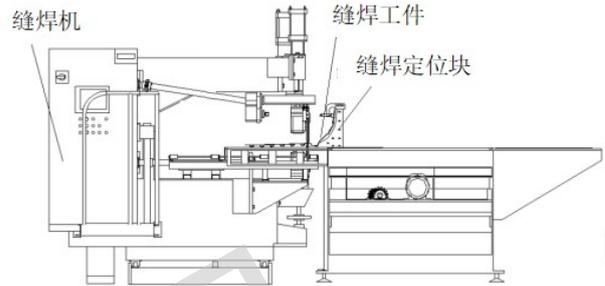


图11 一位侧侧顶板与波纹板①缝焊示意图

2) 进行二位侧侧顶板与波纹板⑧焊接，先进行电阻点焊，一位端端头进行段焊，最后进行缝焊，具体按步骤1)执行，注意焊后无需掉头操作；

3) 在步骤2)焊后的波纹板上，依次组装波纹板⑤⑥⑦，组装时对好波纹板上缺口位置，按照步骤1)进行电阻点焊及缝焊；

4) 组装波纹板②③④，并按照步骤1)进行波纹板②③④电阻点焊及缝焊；

5) 将步骤1)中焊后一位侧侧顶板与波纹板①吊运至胎位上，将其放入缝焊机空当内（见图12所示），与已焊接的波纹板进行组装，进行最后一道通长焊缝焊接，焊后波纹板见图13所示。

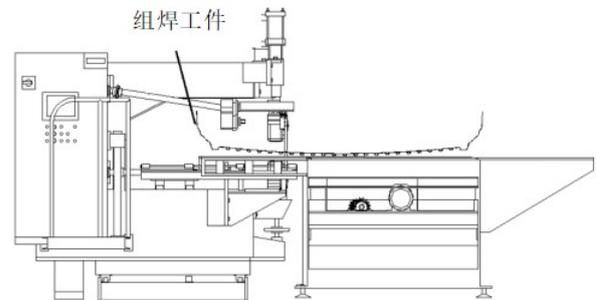


图12 波纹板整体缝焊示意图



图 13 波纹板焊后示意图

5.3 焊接参数设定

由于该车辆项目整车做轻量化处理，波纹板板厚仅为 0.8mm，给焊接工艺制定增加了不小的难度，经过多次焊接工艺试验及工艺验证，得出满足设计需求的焊接工艺参数，具体见表 3 所示：

表 3 缝焊工艺参数

5.4 吊具设计

由于整张波纹板焊后长度较长，且为不规则结构（见图 13 所示），直接吊运工件会发生较大变形，甚至损坏工件，故均需设计专用吊具进行吊运。吊具主要分为以下三种使用情况：1）焊前侧顶板的上胎吊运；2）一位侧顶板与波纹板焊接件的掉头；3）焊后整块波纹板的吊运。

吊具结构见图 14 所示，吊具通过吊具夹头（见图 15 所示）夹紧侧顶板，进行掉头或者吊运操作。该吊具夹头与侧顶板弧度严密贴合，且与侧顶板接触处均进行塑化处理，不会对侧顶板产生划痕，吊运后侧顶板无压痕及变形。



图 14 专用吊具



图 15 侧顶板吊具夹头

5.5 波纹板缝焊工装设计

为了解决在焊接侧顶板与波纹板时，由于待焊接件支撑平台易与行走中的缝焊机发生干涉的问题，设计了一套侧顶板缝焊工装，该工装上设置有感应伸缩臂，与工装本体配合支撑待焊接件，伸缩臂包括用于驱动伸缩臂伸缩的驱动装置，驱

序号	焊接方法	板厚组合/mm	电极压力/KN	焊接电流/KA	通电时间/ms	焊接速度/(m/min)
1	22	0.8+0.8	6	12	150	1.2
2	22	0.8+1.5	6	12	150	1.2

动装置连接有用感应伸缩臂与缝焊机距离的距离感应装置，驱动装置根据接收到的距离感应装置传递的距离信息控制伸缩臂伸缩。当缝焊机靠近伸缩臂时，感应伸缩臂回缩，缝焊机顺利通过，具体如下：

如图 16、图 17 所示，在工装本体上设置滑槽，伸缩臂可以沿滑槽伸缩，伸缩臂伸缩方向为工装本体的宽度方向，若干伸缩臂沿工装本体长度方向设置。滑槽内设置驱动伸缩臂伸缩的气缸，气缸的伸缩端固定连接伸缩臂，驱动伸缩臂沿滑槽伸缩，同时在伸缩臂上设置有光电传感器进行距离感知，该光电传感器可采集伸缩臂与缝焊机的距离信息，当缝焊机与伸缩臂的距离达到设定距离时，伸缩臂回缩，当离开伸缩臂后控制伸缩臂伸出，这样，就不会因为底部支撑待焊接件的支撑架妨碍到缝焊机电极的焊接。

上述感应伸缩臂，本工装共设置 8 套，常规

状态下，这 8 套伸缩臂均呈伸出状态支撑工件，在焊接过程中，当缝焊机移动靠近某一伸缩臂时，该伸缩臂的距离感应装置启动该伸缩臂呈收缩状态，待缝焊机向前移动离开后，该伸缩臂呈伸出状态支撑工件，以此交替进行，完成工件缝焊。图 16 所示为波纹板缝焊工装设计图示，图 17 为感应伸缩臂细节图。

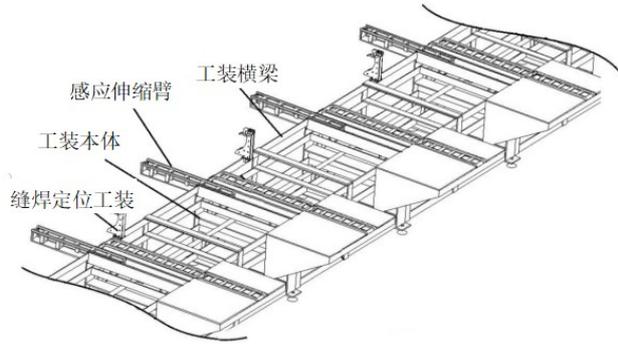


图 16 波纹板缝焊工装设计

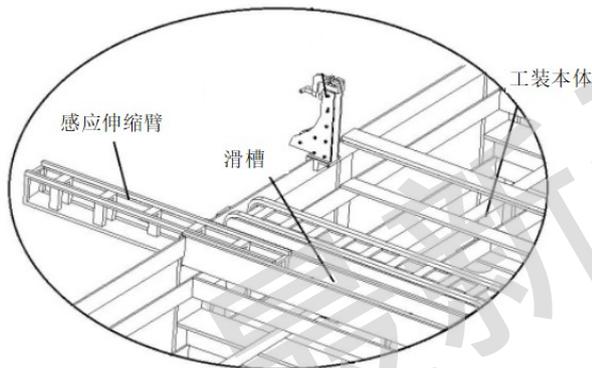


图 17 感应伸缩臂细节图

6 结论

本文通过综合分析不规则、大弧度侧顶板及波纹板的结构特点，针对侧顶板及波纹板结构复杂、定位精度要求高、焊后吊运易变形等工艺难点，在受到缝焊机结构及尺寸限制情况下，最终设计了满足要求的侧顶板及波纹板专用缝焊工装及专用吊具，同时制定了合理的组焊顺序及缝焊焊接参数，确保了该项目不锈钢车体波纹板缝焊质量满足要求，保证了该项目地铁车辆的正常交付节点，得到了业主的好评，实现产品质量和生产效益的双提升。

参考文献：

- [1]姚明哲，杨志勇，马秋红，等.不锈钢轨道车辆的特点[J].装备机械, 2015（3）： 15-17.
- [2]程典阳，韩晓辉.轨道车辆不锈钢波纹板自动焊缝工艺开发[J].电焊机，2008（6）： 62-64.
- [3]陈锋，徐国梁.地铁不锈钢车体研究[J].铁道车辆，2007(3): 28-30.
- [4]丁成钢，史春元，都本刚，等.SUS301L 不锈钢电阻点焊工艺研究[J].热加工工艺，2006(11): 28-29.
- [5]康丽齐.不锈钢轨道车辆焊接技术应用[J].电焊机，2017(10): 86-88.

最新录用