

P70型棚车左门右框组成低成本自动焊工艺研究

李春琴¹, 文红全¹, 甘俊林¹, 李晓娜²

1. 四川眉山中车眉山车辆有限公司, 四川 眉山 620032

2. 四川成都纺织高等专科学校, 四川 成都 611730

DOI:10.61369/ERA.2025110029

摘要 : 针对P70型棚车左门右框组成手工焊接效率低、成形差、焊接变形大增加调直工作量等工艺难点, 认真分析, 制定现场改进方案。制作自动焊接生产线, 实现P70左门右框组成高质量、高效率、低成本、低劳动强度的生产目标。

关键词 : 焊接变形; 自动焊; 反变形; 低成本

Research on Low-Cost Automatic Welding Process for the Left Door and Right Frame Assembly of P70 Boxcars

Li Chunqin¹, Wen Hongquan¹, Gan Junlin¹, Li Xiaona²

1.CSR Meishan Rolling Stock Co., Ltd., Meishan, Sichuan 620032

2.Sichuan Chengdu Textile College, Chengdu, Sichuan 611730

Abstract : Addressing the process challenges of low efficiency, poor forming quality, and significant welding deformation that increase straightening workload in the manual welding of the left door and right frame assembly of P70 boxcars, this study conducted a thorough analysis and developed an on-site improvement plan. An automatic welding production line was established to achieve high-quality, high-efficiency, low-cost, and low-labor-intensity production goals for the P70 left door and right frame assembly.

Keywords : welding deformation; automatic welding; reverse deformation; low cost

引言

P70左门右框组成是P70型棚车的重要部件, 它的焊接质量好坏直接影响到整车的组装质量和开关门功能^[1]。控制焊接变形, 提高生产效率(由原来的8台/天提高到16台/天)及焊缝成形质量, 确保自动焊生产线操作安全、方便、快捷、可靠是本次自动焊研制的目标。

一、左门右框组成焊接结构与工艺需求

(一) 结构特点分析

左门右框组成是由左门右框和防雨板组焊而成(见图1), 每辆车2件。内侧焊缝为段焊, 采用手工电弧焊, 焊角为4mm。外侧焊缝为连续焊, 焊角为4mm, 焊缝长为2614mm。由于左门右框(空心矩型钢)和防雨板(板材压弯)厚度为4mm, 焊缝长度长, 焊接变形最大为60mm。如何设计自动焊生产线及采用何种自动焊工艺, 是控制左门右框组成焊接变形的关键^[2]。

该部件焊接难点在于: 门框立柱与横梁焊接时存在空间角度(30°倾斜), 需保证焊枪可达性; 加强筋与立柱连接为薄壁件焊接, 易出现烧穿、变形问题; 对接焊缝需全焊透, 对装配精度与焊接参数稳定性要求高^[3]。

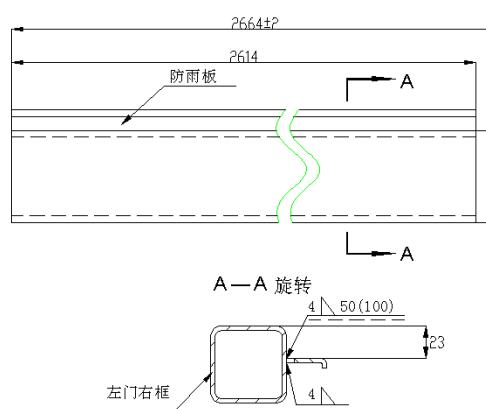


图1 左门右框结构示意图

(二) 工艺需求指标

根据TB/T 1580—2020与企业生产标准^[4], 左门右框组成焊

接工艺需满足以下指标：

质量指标：焊缝外观评分 ≥ 85 分(GB/T 19418-2003)，无损检测(UT+MT)合格率 $\geq 98\%$ ，焊缝抗拉强度 ≥ 490 MPa，冲击功(-40℃) ≥ 34 J；

效率指标：单台份焊接工时 ≤ 9 h(相比手工焊降低40%)；

成本指标：单位焊接成本 ≤ 120 元/台份(相比手工焊降低20%以上)，设备初期投入回收期 ≤ 2 年。

二、总体思路

1. 形成一条单班达到16台生产纲领的组装左门右框、防雨板及采用反变形强制自动焊的生产线。

2. 自动焊生产线操作安全、方便、快捷、可靠，改善作业环境、维修方便。

3. 焊接采用：考虑焊接变形应选用热输入更小的富氩混合气体保护焊(80%Ar+20%CO₂)，KR-500型气保焊机、NZ-630型自动焊小车^[3]。

4. 焊缝成形美观，焊接变形 ≤ 2 mm。

5. 生产纲领：由原来的8台/天提高到16台/天。

三、设计自动焊生产线

原生产工艺采用手工焊条电弧焊焊接左门右框及防雨板，工件处于自由状态且正反面焊缝长度不对称，焊接变形为60mm(见图2)。原工艺流程：组对→手工焊接反面→手工焊接正面→调直→存放。

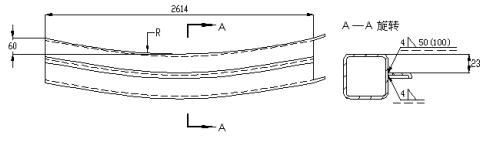


图2 变形示意图

改进后生产线包括组对工装、自动焊强制工装。优化后工艺流程：组对→反变形强制焊接正面焊缝→手工焊接反面段焊→存放。减少了调直工位，缩短工艺流程，提高了生产效率，降低劳动成本。

1. 组对工装(见图3)：由侧定位挡、两个带缺口的后定位挡和工作平台组成。

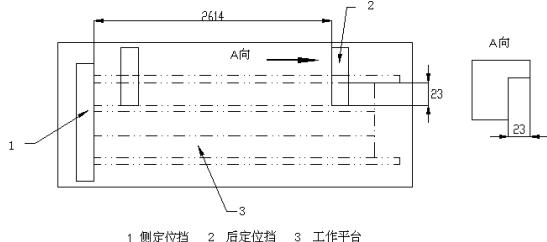


图3 组对工装示意图

2. 反变形强制自动焊工装：由焊接电源、焊接小车、反变形

仿形小车轨道、气动顶紧系统、整体胎模、辅助系统等组成(见图4)。

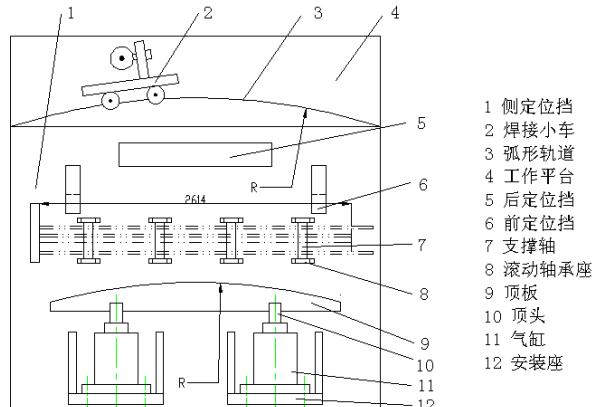


图4 反变形强制焊接工装示意图

(1) 焊接电源：一台KR-500型自动焊电源，置于小车轨道一侧。

(2) 焊接小车：一台NZ-630型焊接小车。

(3) 小车轨道：水平长度(2614+450)mm(焊缝长度+自动焊小车身位)，中心位置与防雨板端头弦高60mm的反变形弧形轨道。

(4) 反变形仿形轨道(弧形轨道)

仿形轨道是仿形左门右框组成反变形曲线，为凸形弧形轨道，其曲率半径R与反变形曲线半径R相同。

(5) 气动顶反变形系统

气动系统由两个气缸QGS200×160、控制阀和管路等组成，主要起顶工件反变形及强制焊接作用^{[6]-[7]}。

气缸的选用：根据现场空间位置和预设反变形60mm，选用QGS200×160的气缸，经验证其行程、预压力均满足要求。

①工件的受力简化示意图(见图5)^[8]

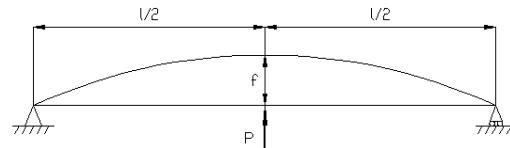


图5工件的受力简化示意图

②左门右框反变形所需要力P的计算：

$$f = \frac{Pl^3}{48EJ} \quad P: \text{载荷 (N)} \quad E: \text{弹性模量 (GPa)} \quad l: \text{工件长度 (m)} \quad J: \text{截面轴惯性矩 (m)}$$

反变形挠度 f=60mm J=2.24 × 10¹² mm⁴ E=206GPa

$$P=1.31 \times \frac{Jl}{4} D^2 p \eta 10^5 (N)$$

气缸输出力^[9]：

气缸工作压力—0.63MPa；自动焊生产线工作频率低，基本是匀速动力，载荷率可取0.8，选用两个气缸作动力：

$2 \times F=1.31 \times 10^5 \quad D=180\text{mm} \quad$ 选用D=200的气缸满足工件反变形要求。

3. 整体胎模

由顶头、弧形顶板组成。弧形顶板是仿形左门右框组成反变形曲线，作用面为凸形弧形曲面，其曲率半径 R 与反变形曲线半径 R 相同。

4. 辅助系统

侧定位挡、两个后定位挡、侧定位块、四个支承轴、八个滚动轴承座、工作平台，安装在滚动轴承座上的支承轴双重作用：自动焊前放工件、工件焊完后下料方便、快捷。

四、自动焊生产线的工作原理

将组对好的工件放在自动焊生产线的支承轴上，将工件靠紧侧定位挡。开启气缸控制开关，两气缸顶板顶靠工件至后定位挡，预制 60mm 的反变形。调节好焊接参数，启动焊接小车，施焊。焊后，关闭气缸开关，顶板松开回位^[10]。将工件放在料架上，冷却后，焊接变形与强制反变形基本抵消（工件焊接变形 $\leq 2\text{mm}$ ，满足工艺文件要求）。

焊接规范

左门右框组成各件材质均为 09CuCrNi 耐候钢，焊接材料采用 Φ1.2 的 H08MnWiCuCrNi 耐候钢焊丝。

焊接工艺参数见下表 1：

表 1 焊接规范选择

焊丝直径 (mm)	焊接电压 (V)	焊接电流 (A)	焊接速度 (mm/min)	焊丝伸出 长度 (mm)	保护气体 流量 (L/min)
Φ1.2	25 ~ 30	200 ~ 220	380 ~ 420	9 ~ 12	20

五、使用效果及特点

（一）提高左门右框组成的焊接质量，减小焊接变形

实施自动焊后，焊缝宽窄均匀，波纹平整细腻，外观整洁光

亮，与以前手工气体保护焊相比，上了一个台阶。同时由于减少了人为因素的影响，焊接质量保持稳定。由于采用强制反变形，焊后不需调直。

（二）操作简便，易学易掌握

使用表明，操作者在经过 2 ~ 3 天学习适用后，即可熟练掌握。

（三）降低劳动强度，改善劳动条件

手工焊接时，操作者需要手举焊枪在工作台进行焊接，劳动强度大，易于疲劳，且飞溅大，易造成烫伤。实施自动焊后，操作者只需在工作台上观察熔池，适当调节焊接小车与焊缝的对中度即可，降低了劳动强度。自动焊飞溅小，改善了劳动条件。

（四）制造成本低，维修方便，便于推广普及

自行研制的自动焊生产线，所需费用仅五万元左右，属于低成本自动焊生产线。如果采用外购，所需费用要高于十万元。另外，在维修方面，焊接设备的易损件与普通气体保护焊机通用，不须专门配备，便于维修。

（五）生产效率高

手工焊接生产能力：8 台 / 天，自动焊生产能力：16 台 / 天。

单台份焊接工时：从 15h（手工焊）降至 8.5h（自动焊），效率提升 43.3%；

返修工时：从 12%（手工焊）降至 1.8%（自动焊），节约返修工时 $(15 \times 12\% - 8.5 \times 1.8\%) = 1.65\text{h}$ / 台份。

六、结论

近些年通过在 P70 型棚车生产中的应用，结果表明自动焊生产线达到了高质量、高效率、低劳动强度和低成本的预期目标。该方法具有可移植，具有推广价值。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. TB/T 1580—2020 铁道货车焊接技术条件 [S]. 北京：中国铁道出版社，2020.
- [2] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册（第3卷）：焊接方法及设备 [M]. 4 版. 北京：机械工业出版社，2021.
- [3] 王建军，李刚. P70 型棚车车门结构强度分析与优化 [J]. 铁道学报，2023, 45(7):142–148.
- [4] 刘敏，张昊. 低成本 MIG 焊工艺在 Q355B 薄壁件中的应用 [J]. 焊接学报，2022, 43(11):89–95.
- [5] GB/T 8110—2020 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝 [S]. 北京：中国标准出版社，2020.
- [6] 西门子工业软件. ANSYS Workbench 2023 结构分析实例教程 [M]. 北京：电子工业出版社，2023.
- [7] 铁道行业发展研究中心. 铁路装备制造业“十四五”发展规划解读 [R]. 北京：中国铁道出版社，2021.
- [8] 《材料力学》[S]. 高等教育出版社.
- [9] 《机械设计手册》[S]. 第一卷. 机械工业出版社.
- [10] GB/T 3375—2012 焊接术语 [S]. 北京：中国标准出版社，2012.