

# 螺柱焊在轨道客车不锈钢波纹地板上的应用分析

于鹏<sup>1</sup> 马永喜<sup>2</sup>

(1 青特集团有限公司 山东 青岛 266000; 2 中车青岛四方车辆研究所有限公司 山东 青岛 266000)

**摘要:** 本文简要介绍了螺柱焊焊接原理、螺柱焊焊接方法的选用原则, 对比分析了车体钢结构上应用螺柱焊替代螺柱气保焊焊接工艺的可行性, 并根据标准进行了相关力学性能检测, 形成工艺评定试验报告, 实现了螺柱焊在轨道客车不锈钢波纹地板上的应用。

**关键词:** 螺柱焊; 轨道客车; 不锈钢波纹地板; 焊接工艺

## 1 概述

螺柱焊是将棒料(柱状金属件)垂直焊到板件(平面或曲面)的一种焊接方法, 可以替代冷热铆接、人工焊接、机床钻攻等工艺方法。

由于螺柱焊焊缝美观、成本低、操作简单、效率高, 广泛应用于钣金加工、汽车制造、船舶制造等行业。我司某客车不锈钢波纹地板上的螺柱焊接考虑引入螺柱焊焊接方法。

## 2 气保焊焊接螺柱现状

该项目客车为满足客户防腐防锈要求, 波纹地板为 1mm 不锈钢板, 且在上面需要焊接 258 个地板螺柱, 用于后期总装过程中与地板梁的连接, 初期设计结构为 M8×35mm 螺柱先与 1.5mm 的 20×20mm 见方的不锈钢板焊接成整体焊件, 然后再将该焊件与波纹地板做搭接焊。考虑到本身波纹地板为 1mm 不锈钢材料, 焊接难度大, 且螺柱与垫片的焊接操作空间非常有限, 焊接质量极其难以控制。

首先螺柱与垫片的焊接会造成底板的巨大变形并伴有烧穿现象, 并且焊后螺柱垂直度不能保证要求, 焊接变形也无法调修; 其次组好的焊件与波纹地板进行组装二次焊接操作空间仅为波纹地板凹槽内 20×20mm 方形, 焊枪角度不好调整, 操作空间有限, 热量积聚, 极易出现焊接烧穿及成型不良等质量问题。

综上所述, M8 螺柱、母材材料为 1mm 不锈钢的波纹地板不适合传统 CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊接工艺方法。

## 3 螺柱焊焊接方法的选用原则

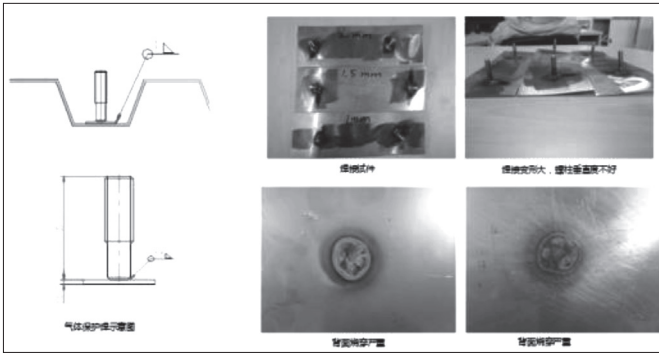


图 1 气保焊螺柱结构及焊后质量

目前螺柱焊按电源特性和操作方法分类, 主要分为拉弧式螺柱焊、短周期螺柱焊、电容储能式螺柱焊等。如何正确地选用螺柱焊, 既要了解所需焊接产品的特点, 又要考虑各种螺柱焊本身的工艺特点, 从而选择最为合适和高效的焊接方式。

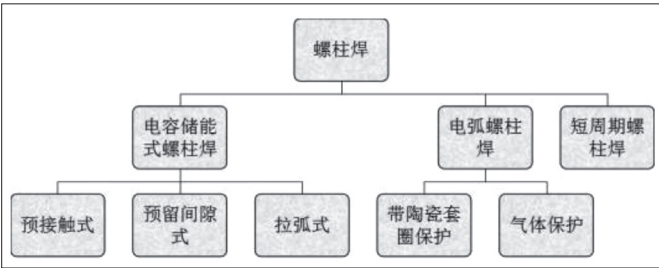


图 2 螺柱焊分类

经调研, 螺柱焊选用原则依据: ①被焊工件的厚度及表面状态; ②工件及螺柱材质; ③紧固件尺寸。

(1) 拉弧式螺柱焊焊接碳钢时需要瓷环保护, 焊接铝、镁等有色金属时需要惰性气体保护, 可焊母材厚度 3 ~ 50mm, 螺柱直径 6 ~ 25mm, 螺柱端部呈球锥状或带有引弧结, 焊缝厚, 熔深大, 焊接时间长 100 ~ 2000ms 适用于受力接头;

(2) 短周期螺柱焊也是拉弧式螺柱焊的一种, 区别在于对焊接电流的波形控制, 使焊接周期大大缩短 (5 ~ 100ms), 不需要瓷环或气体保护, 螺柱端部呈有法兰的球锥状, 螺柱直径 3 ~ 12mm, 焊缝薄, 熔深浅, 一般适合焊接铸铁材料;

(3) 电容储能式螺柱焊利用电容器瞬间放电产生电弧热来连接焊件与螺柱, 适用于碳钢、不锈钢、铝合金等, 无需保护, 螺柱直径 2 ~ 8mm, 适合 3mm 以下薄板焊接, 焊接时间短 (1 ~ 10ms), 焊缝薄, 熔深很浅, 一般适合连接件。

综上, 该客车波纹地板为 1mm 不锈钢、不锈钢螺柱直径 M8, 螺柱数量多需要高效, 故选择电容储能式螺柱焊。

电容储能式螺柱焊按电弧引燃方式不同分为拉弧式、预留间隙式和预接触式。拉弧式和预留间隙式适用于固定式或手提式设备, 预接触式仅适用于移动式设备。

根据该车车体钢结构底架形式, 螺柱分布在长度为 12m 宽度 2.8m 的底架波纹地板上, 适合采用移动设备, 所

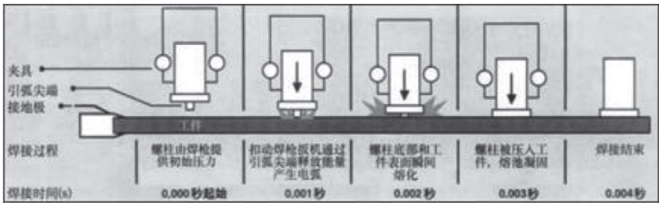


图 3 电容储能式螺柱焊焊接过程示意图

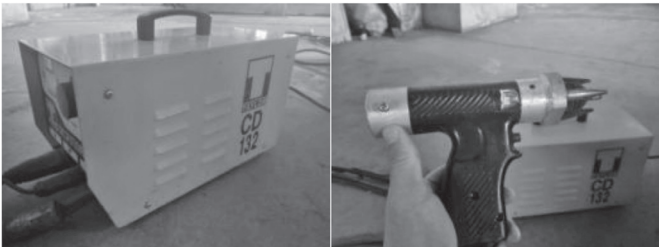


图 4 电容储能式螺柱焊机

以采用电容储能式螺柱焊（预接触式）。

经市场调研，确定为英国泰勒（Taylor Studwelding）CD 电容放电储能式螺柱焊机，型号 CD-132 预接触式。

4 螺柱焊试验设计及结果

螺柱焊的焊接质量需要根据结构设计要求进行相关工艺试验。根据标准 ISO14555《金属材料螺柱焊》，电容放电尖端引燃螺柱焊实验项目包括目视检测、拉力试验、弯曲试验，为验证熔合情况附加了宏观金相试验。

本试验模拟车体钢结构波纹地板焊接形式，基体母材

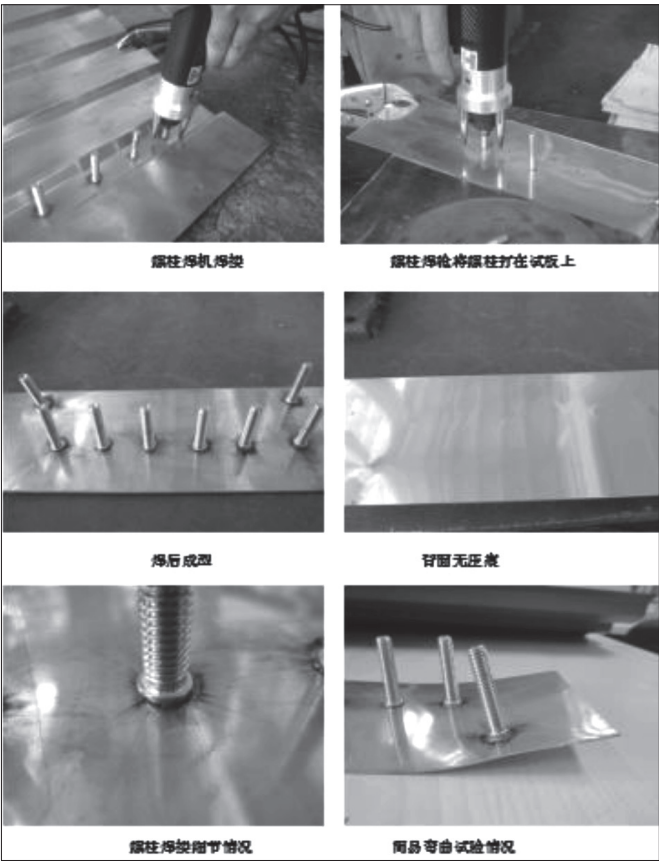


图 5 试验项目及焊接过程

表 1 焊接工艺参数

| 工艺方法<br>Process | 间隙<br>Gap (mm) | 充电电压<br>Voltage (V) | 电容<br>Capacitance (mF) | 弹簧弹力<br>Spring force (N) | 备注<br>Remarks |
|-----------------|----------------|---------------------|------------------------|--------------------------|---------------|
| 786 电容放电尖端引燃螺柱焊 | 1              | 130                 | 132                    | 2.5                      |               |

注意：  
焊前将焊道及焊钳连接处左右 20mm 范围内清理干净，可打磨或擦拭，不允许有油污，铁锈，氧化皮，焊接飞溅等杂物。  
焊接螺柱位置保证在两焊钳之间。

表 2 电容放电尖端引燃螺柱焊评定试验

| 实验类型     | 检测螺柱的数量 |
|----------|---------|
| 目视检测     | 全部      |
| 拉力实验     | 10      |
| 弯曲实验 30° | 20      |

采用波纹地板材质 06Cr19Ni10，板厚 1mm，螺柱采用 M8-35mm 螺柱，材质 A2-50。

试验结果说明

- (1) 目视检测说明：圆形焊缝，绕螺栓法兰四周允许有轻微小焊渣，焊缝致密均匀无气孔等表面缺陷。
- (2) 弯曲试验：30° 合格无断裂。
- (3) 拉力试验：断裂在母材或螺柱，不完整区域不超过螺柱直径 20%。
- (4) 宏观金相：试样焊缝处存在轻微未熔合，无裂纹、

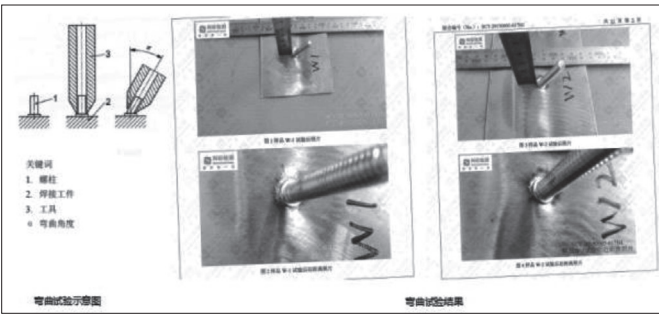


图 6 弯曲试验示意及结果

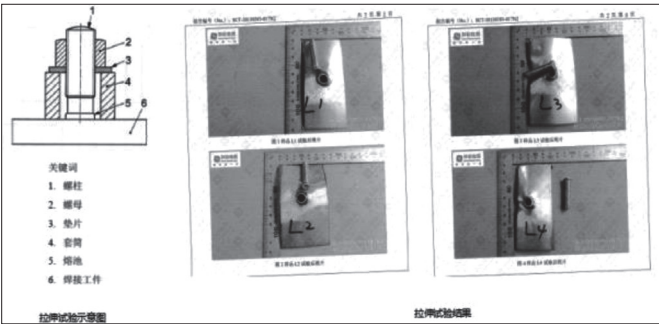


图 7 拉力试验示意及结果

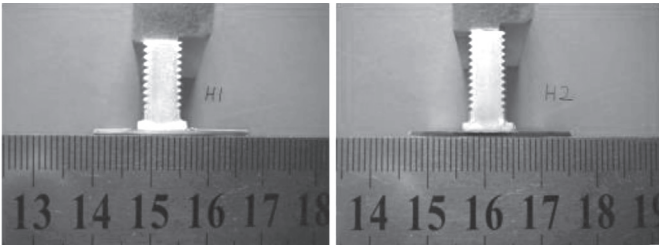


图 8 宏观金相结果

（下转第 89 页）

影响安全系数大小的因素有：

6.1.1 与工作应力有关的因素

所依据载荷值的准确程度和所用力学模型与实际状况之间的差异等。

6.1.2 与材料的极限应力有关的因素

材料机械性能变化；零件尺寸效应；不同毛坯制取方法及加工工艺对材料机械性能的影响等。

6.1.3 与零件重要性有关的因素

零件破坏等。

S 是在考虑上述因素的基础上，按照规范酌情选取。在没有规范可循时，可参照下列原则选取：

用塑性材料制成的零件，在静应力作用下以  $\sigma_s$  为极限应力时，按下表选取，如计算不准确，应加大 20%~50%。

用脆性材料制成的零件，在静应力作用下以  $\sigma_b$  为极限应力时，取  $S=3\sim4$ ，如计算不准确，应加大 50%~100%。

在变应力作用下以疲劳极限为极限应力时，若计算准确，质量和材料的均匀性都很好，取  $S=1.3\sim1.4$ ；计算不准确，质量和材料均匀性中等时，取  $S=1.4\sim1.7$ ；计算不准确，材料又不均匀时，取  $S=1.7\sim3.0$ 。

耦合水箱的安全系数 S 按表 1 进行估算：

对于 0Cr18Ni9，得出： $\sigma_s/\sigma_b=0.5$ ，故取： $S=1.2\sim1.5$ 。

6.2 计算许用应力

表 安全系数参数表

|                     |             |             |             |           |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| $\sigma_s/\sigma_b$ | 0.45 ~ 0.55 | 0.55 ~ 0.70 | 0.70 ~ 0.90 | 铸件        |
| S                   | 1.2 ~ 1.5   | 1.4 ~ 1.8   | 1.7 ~ 2.2   | 1.6 ~ 2.5 |

计算复杂应力构件时，需求当量应力，此应力不得超过许用应力。其计算公式为 $\sigma_e=\sqrt{0.5\times[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]}$ ：

式中： $\sigma_e$  为当量应力，MPa；

$\sigma_i$  为主应力 ( $i=1, 2, 3$ )，MPa。

6.3 结果分析

经过计算，得到耦合水箱在所考虑的工况中：

工况 1：所受  $\sigma_{\max}$  发生在水箱底部， $\sigma_{\max}=17.218\text{MPa}$ ，则  $S=\sigma_s/\sigma_{\max}=18.004$ ，大于 1.5，故  $\sigma_{\max}$  在许用应力限度下，满足强度要求；

工况 2：所受  $\sigma_{\max}$  发生在水箱吊座与箱体的连接处， $\sigma_{\max}=138.6\text{MPa}$ ，则  $S=\sigma_s/\sigma_{\max}=2.237$ ，大于 1.5，故  $\sigma_{\max}$  在许用应力限度下，满足强度要求；

工况 3：所受  $\sigma_{\max}$  发生在水箱吊座与箱体的连接处和水箱顶部， $\sigma_{\max}=134.76\text{MPa}$ ，则  $S=\sigma_s/\sigma_{\max}=3.3$ ，大于 1.5，故  $\sigma_{\max}$  在许用应力限度下，满足强度要求。

7 结语

参照 BS EN 12663-1:2010+A1:2014 标准，确定地铁探伤车耦合水箱的载荷工况，并应用有限元法对其进行强度研究，用当量应力对其强度进行评定，分析结果表明：地铁探伤车耦合水箱有较高的强度，在其载荷工况下，满足强度要求。

参考文献：

[1] 曾攀. 有限元分析及应用 [M]. 北京：清华大学出版社, 2004:35-37.  
[2] 赵均海, 汪梦甫. 弹性力学及有限元 [M]. 武汉：武汉理工大学出版社, 2003.

(上接第 87 页)

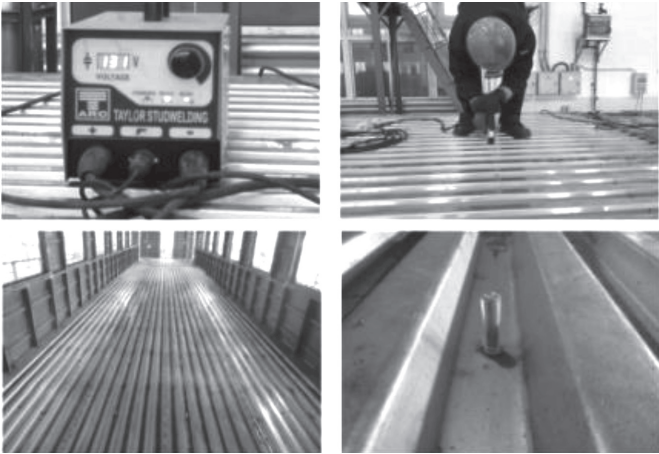


图 9 螺柱焊技术在生产上的应用

夹渣等缺陷。

根据试验结果编制符合 ISO14555 标准要求的 WPQR 焊接工艺评定报告指导生产。

5 结语

电容储能式螺柱焊的应用不但解决了地板螺柱焊接质量难以保证的问题，同时大大提高了焊接效率，保证了不锈钢波纹地板板的焊接美观度，也为探索其他种类螺柱焊的应用梳理了方向和积累了经验。

参考文献：

[1] 龚胜峰. 螺柱焊接技术及工艺 [J]. 电焊机. 2016(1).  
[2] 成都电焊机研究所. 焊接设备选用手册 [M]. 北京：机械工业出版社. 2006-3-1.  
[3] 尤建兵. 螺柱焊接技术的发展趋势 [J]. 电焊机. 2016(1).