

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2026.03.017

显示板零件喷漆工艺优化

马倩昀, 贾灿, 安宝

(河北太行机械工业有限公司 河北 石家庄 052100)

摘要: 显示板作为高铁系统中信号指示零件, 其材料为不锈钢, 加工方式主要以喷漆工艺为主, 在其表面需要喷涂黄绿色、红橙色和深黑色3种不同颜色面漆且同时满足各部位尺寸、厚度(60~200 mm)及结合力要求。在喷漆过程中零件出现分界线模糊、尺寸超差、外表面有颗粒物和橘皮等质量问题。本文以显示板喷漆工艺质量缺陷改进为目标, 通过改进喷漆前处理工艺、优化喷漆工艺流程、工艺参数及设计喷漆工装, 使得喷漆表面得到大力改善, 并满足距边缘1 mm处不喷漆要求, 达到客户验收标准。

关键词: 显示板; 喷漆; 外观质量; 喷漆优化

中图分类号: TQ630 **文献标志码:** A

Optimization of painting process of display board parts

MA Qianyun, JIA Can, AN Bao

(Hebei Taihang Machinery Industry Co., Ltd., Shijiazhuang 052100, China)

Abstract: As a key indicator part in the high-speed rail system, the display board was made of stainless steel and mainly processed by spray painting. The surface of the display board needed to be sprayed with three different colors of topcoats, yellow-green, red-orange and dark-black, while meeting the requirements of size, thickness ranging from 60 to 200 mm and binding force of each part. However, during the painting process, the parts may have quality issues such as blurred boundary lines, oversized dimensions, particles on the outer surface, and orange peel. In this paper, the improvement of painting process quality defects of display board was taken as the research object. By improving the pre-treatment process of spray painting, optimizing the spray painting process flow, process parameters, and designing spray painting fixtures, the spray painting surface has been greatly improved, meeting the requirement of no spray painting at a distance of 1 mm from the edge and meeting customer acceptance standards.

Keywords: display panel; painting; appearance quality; painting optimization

显示板零件作为高铁系统中的关键组件, 承担着信号指示功能。其加工制造流程涵盖机加工(钣金)与表面喷漆两大关键工序, 其中, 喷漆工艺占据主导地位。该工艺需要完成黄绿色、红橙色和深黑色3种不同颜色面漆喷涂, 并确保尺寸、外观等达到

规定标准。在喷漆过程中, 一系列问题逐渐浮现并日益严峻, 具体表现为分界线颜色发虚、零件外表面杂质附着、漆面橘皮现象频发、以及零件尺寸超出允许偏差范围等。这些问题均对最终喷漆质量产生了直接影响。

收稿日期: 2025-06-08 修回日期: 2025-08-08

通信作者: 马倩昀(1995—), 女, 硕士, 助理工程师, 研究方向为机械加工及表面处理技术, e-mail: 1161725483@qq.com

引用信息: 马倩昀, 贾灿, 安宝. 显示板零件喷漆工艺优化[J]. 电镀与精饰, 2026, 48(3): 129-136.

MA Qianyun, JIA Can, AN Bao. Optimization of painting process of display board parts[J]. Plating and Finishing, 2026, 48(3): 129-136.

本文基于实际生产经验，深入分析了影响漆层质量的各项因素，并参考相关文献借鉴，提出了一系列优化改进措施，有效改善了显示板零件的表面质量。

胡毅钧等^[1]系统梳理了船舶低表面处理工艺与涂料的技术原理、分类体系及研究进展，重点分析了其在复杂工况下的适应性及性能优化方向，实现了复杂工况下的高效防腐。高子涵等^[2]提出的改性聚氨酯海洋防污涂料成为研究热点，并系统梳理了改性聚氨酯在海洋防污领域的技术路径、材料创新及性能优化方向，重点分析了纳米改性、低表面能设计、可降解性及智能化等关键技术的突破与应用。

季天豪等^[3]通过调整喷枪参数(气压、喷嘴尺寸、喷涂速度及距离)显著提高了漆膜均匀性和光泽度，为喷漆质量改进提供了参考。韩强等、时晓等和杨健康等^[4-7]针对铸件喷漆质量提升，通过细化过程管控，从喷漆日期、涂料配比、涂料流量校准等方面入手，解决了喷涂操作中出现的色差、脱漆等质量问题，有效提升了铸件喷漆质量的稳定性与一致性。汪发理等^[8-11]通过介绍水性涂料化学特性、喷涂工艺及环保效应，验证了其在汽车喷漆中的应用及优势。陈东初等^[12]开展了对新型纳米添加剂在喷漆中应用的研究，通过向涂料中添加不同种类和比例的纳米二氧化硅、纳米氧化锌等添加剂，研究其对漆层性能的影响，进一步验证了纳米添加剂在提升漆层耐磨性和耐腐蚀性方面的有效性，在实际产品喷漆中应用后，产品的使用寿命延长了40%以上。

郑毅，崔昭霞等^[13]对静电喷涂设备的参数进行了优化，如静电电压、喷枪与零件的距离、喷涂角度等，并通过实验确定了最佳参数组合。同时，针对不同形状的复杂零件，设计了专门的喷涂工装，以确保涂料能够均匀地覆盖在零件的各个部位。Haejoon等^[14]聚焦于小型汽车维修喷漆作业中安装的吸附系统对挥发性有机化合物(VOCs)排放的去除效率进行研究，通过实验评估了不同吸附材料和技术在控制喷漆过程中VOCs排放方面的性能，分析了吸附系统的实际运行效果及其影响因素。Andulkar等^[15]提出了一种集成离线轨迹生成方法，旨在优化机器人辅助喷漆作业中的轨迹规划。通过整合CAD模型数据、喷枪特性参数及任务约束条件，构建了基于表面曲率自适应的喷涂轨迹生成框架。研究采用遗传算法优化喷枪移动速度，结合实时沉积模型实现漆层厚度控制，有效解决了复杂曲

面喷涂中的均匀性难题。

1 零件喷漆工艺特点

显示板零件材料为不锈钢12Cr18Ni9，通过钣金工艺完成机加工，其钣金部件如图1所示。

由于其直接面向乘客及运维人员，对喷漆表面的质量要求极高，需确保视觉效果清晰与美观。同时，显示板喷漆工序繁杂，种类多且要求尺寸、外观、色差等均达标，具体技术要求见表1，显示板涂料成分和涂装厚度见表2，尺寸要求如图2~4所示(图中尺寸为mm，带有黑色圆圈或黑色长条部分为红橙色)。

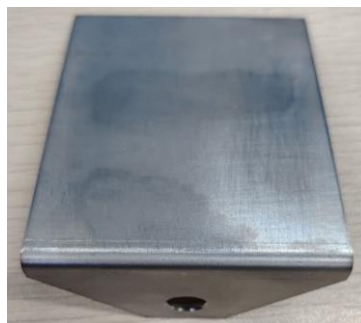


图1 显示板钣金件零件图

Fig.1 Display panel sheet metal parts drawings

表1 显示板零件喷漆技术要求

Tab.1 Technical requirements for painting display board parts

| 厚度/mm | 外观 | 色差 |
|--------|---|------|
| 60~200 | 不允许存在杂质、橘皮、漆点、皱皮、喷花、漏底等现象，表面距边缘1 mm内不喷漆 | ≤1.5 |

表2 显示板涂料成分和涂装厚度

Tab.2 Composition of display board paint and coating thickness

| | |
|------------|-------------------------------|
| 面漆 | 合成树脂漆：RAL2002 红橙色，RAL6018 黄绿色 |
| | 合成树脂万能漆：RAL9005 墨黑色 |
| 漆膜干膜总厚度/mm | 60~200 |

此型号显示板要求显示板顶端与红橙色和黄绿色交界线处距离为48.5+0.2-0.3 mm，墨黑色图案为圆，直径尺寸为15 mm，红橙色、黄绿色交界线处与圆形中心距离为22 mm。

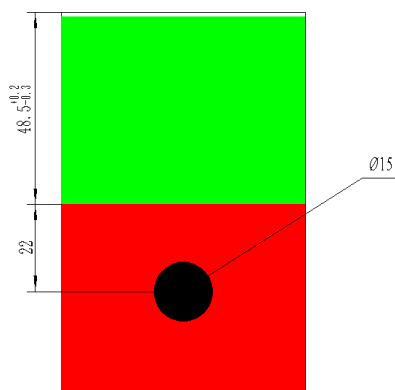


图2 C109226-GY-01 显示板

Fig.2 C109226-GY-01 display board

C109226-GY-01显示板要求显示板顶端与黄绿色交界线处距离为49 mm, 墨黑色图案长方形, 宽度为10 mm, 与红橙色、黄绿色交界线处距离为16 mm。

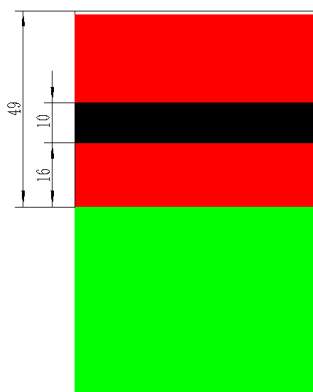


图3 C109226/FS 显示板

Fig.3 C109226/FS display board

C109226/FS显示板要求显示板顶端与黄绿色交界线处距离为49 mm, 墨黑色图案圆形, 直径为15 mm, 红橙色、黄绿色交界线处与圆形中心距离为21 mm。

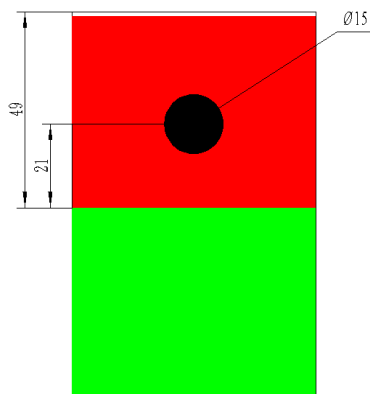


图4 C109226/F 显示板

Fig.4 C109226/F display board

C109226/F显示板喷漆要求所有墨黑色图案必须在红橙色颜色上面, 图5和图6为喷涂后显示板零件。



图5 C109226/FS 显示板喷涂

Fig.5 Spraying of C109226/FS display board



图6 C109226-GY-01 显示板喷涂

Fig.6 Spraying of C109226-GY-01 display board

2 喷涂工艺

2.1 工艺流程

零件喷漆前预处理(保证零件表面没有油污和磕碰伤等缺陷)→操作间环境温湿度检查(温度: 15~38 °C, 相对湿度: 30%~70%)→喷涂面漆黄绿色→烤箱烘干(60 °C下固化2 h)→喷涂面漆红橙色→烤箱烘干(60 °C下固化1 h)→喷涂面漆深黑色→烤箱烘干(60 °C下固化1 h)→自检修补→检验(零件表面无流痕、桔皮、划伤、颗粒物和砂纸印等缺陷)。

2.2 预处理

喷漆前预处理是喷漆工艺的“基石”, 直接影响涂层质量、成本及环保性, 是实现高性能防护与美观装饰的关键前提。具有以下作用。

- (1) 去除表面污染物, 提升附着力;
- (2) 修复表面缺陷, 优化平整度;
- (3) 增强耐腐蚀性, 保证零件外观。

预处理工序包括: 接收检查、清洗和打磨, 确保零件外观质量和最终漆层结合力。

2.2.1 接收检查

接收零件时，检查零件表面是否存在凹坑、划痕，对于喷漆工序无法填充的缺陷，如零件“缺肉”、划伤和大的凹坑等，及时联系车间进行修复或进行报废处理。

2.2.2 清洗

使用干净不掉毛的抹布和专用清洗剂彻底清洗零件表面，避免擦布本身含有的纤维毛絮附着在基体表面上。清洗时，要从零件一端沿一个方向向另一端擦拭。注意：抹布要及时更换。

2.2.3 打磨

使用砂纸打磨零件基体表面，着重打磨上道工序对基体缺陷的修复处，得到光滑和平整的表面。边打磨边用针织布擦去零件表面的灰尘，以便更清晰地观察打磨效果。

2.3 工艺参数

喷枪为空气雾化喷枪；喷涂方式为空气喷涂；喷涂压力0.3~0.5 MPa；喷嘴离零件的距离200~350 mm。

3 问题描述

按照图纸要求，显示板零件涉及黄绿色、红橙色和深黑色3种颜色喷漆，其厚度和零件外观质量需满足表1和表2要求。但加工后零件一次性交付率低，在喷漆过程中常出现以下问题：①两颜色交接处界限不清晰和发虚见图7所示，此外对喷涂的显示板零件进行抽查检测，并对其尺寸进行统计见表3。②零件表面有漆渣、橘皮。③色差超差，颜色和光泽度不均匀。

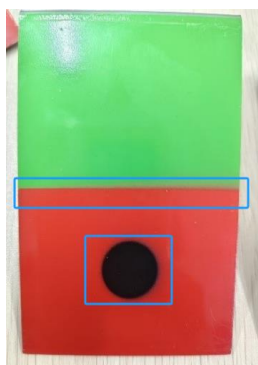


图7 显示板交界线不清晰和发虚

Fig.7 Unclear and blurred of the dashboard unction

由图7所示，显示板喷涂作业中，红橙色与黄绿色两种颜色区域的界线处呈现出界线模糊的状况，即两种颜色的过渡区域缺乏清晰、锐利的边界，原

本应该泾渭分明的色彩分界变得模糊不清，使得整体视觉效果大打折扣。在对圆形区域进行喷涂后，出现了发虚的现象。圆形区域内的漆层不够均匀、密实，颜色饱和度不足，呈现出一种虚浮、种松散、未完全覆盖的状态。这些问题的出现，不仅影响了喷涂物体的外观质量，也可能对物体的防护性能等方面产生潜在的不利影响，亟待进一步分析原因并加以解决。

表3 喷涂后显示板零件尺寸统计表

Tab.3 Statistics of the dimensions of display board parts after spraying

| 项目 | 顶端到分界线尺寸/mm | 圆直径/mm | 圆中心到分界线尺寸/mm |
|-------------------|---------------|----------|----------------|
| 标准尺寸 | 48.5+0.2 -0.3 | 15 | 22 |
| C109226-GY-01 实测值 | 48.82 | 14.70 | 21.05 |
| | 48.86 | 14.75 | 21.12 |
| | 48.92 | 15.30 | 21.16 |
| | 48.92 | 15.34 | 22.00 |
| | 48.96 | 15.40 | 22.34 |
| | 49.00 | 15.51 | 22.35 |
| | 49.10 | 15.51 | 22.37 |
| 项目 | 顶端到分界线尺寸/mm | 长方形宽度/mm | 长方形底端到分界线尺寸/mm |
| 标准尺寸 | 49 | 10 | 16 |
| C109226/FS 实测值 | 49.51 | 10.15 | 14.51 |
| | 49.56 | 10.17 | 14.56 |
| | 49.82 | 10.21 | 14.58 |
| | 49.95 | 10.56 | 14.62 |
| | 49.97 | 11.10 | 14.65 |
| | 50.01 | 11.21 | 14.75 |
| 项目 | 顶端到分界线尺寸/mm | 圆直径/mm | 圆中心到分界线尺寸/mm |
| 标准尺寸 | 49 | 15 | 21 |
| C109226/F 实测值 | 49.10 | 15.10 | 21.25 |
| | 49.12 | 15.10 | 21.28 |
| | 49.95 | 15.14 | 21.45 |
| | 49.97 | 15.21 | 21.49 |
| | 50.12 | 15.25 | 21.50 |
| | 50.12 | 15.31 | 21.50 |

由表3可知:对C109226-GY-01、C109226/FS和C109226/F这三种件号显示板进行尺寸测量后,顶端到分界线尺寸、圆直径、圆中心到分界线尺寸及长方形底端到分界线尺寸均发生偏差,超出公差范围。

4 问题分析及解决措施

4.1 零件交接处界限发虚等问题分析及解决措施

对图7进行分析可知,红橙色与黄绿色交界线处出现界线模糊和圆形区域发虚等问题,其成因在于喷漆过程中工装未能与零件充分贴合,压紧不牢固。零件放入底座后,裸漏在外深度浅,若喷漆速度稍快时,也会导致零件交接处界限出现发虚现象。基于此特进行工装底座改进,工装底座的优化改进方案如图8至图9所示(图中尺寸为mm)。

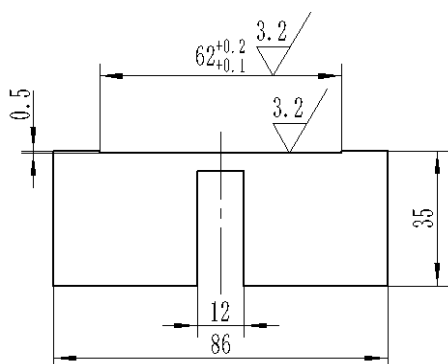


图8 工装底座主视图

Fig.8 Main view of the workbench base

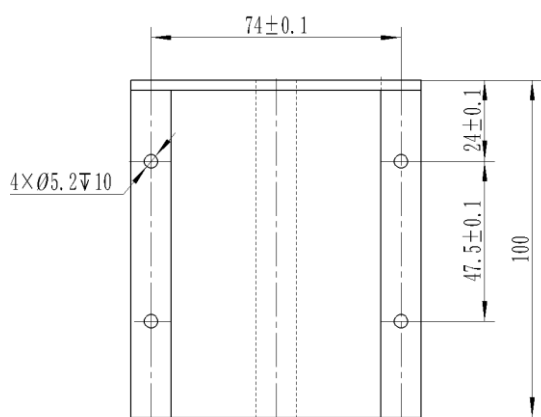


图9 工装底座俯视图

Fig.9 Top view of the workbench base

由图8可知,底座优化后,深度由1.2 mm减至0.5 mm,使零件一半位置裸露在外;由图9可知,图底座钻有4个深度为10 mm圆锥孔,通过配置圆锥销实现定位与压紧。

由表3可知:显示板零件尺寸均发生偏差,超出正确公差范围,针对此设计喷涂盖板,保证零件尺寸准确性。工装盖板的设计方案如图10~11所示(图中尺寸为mm)。

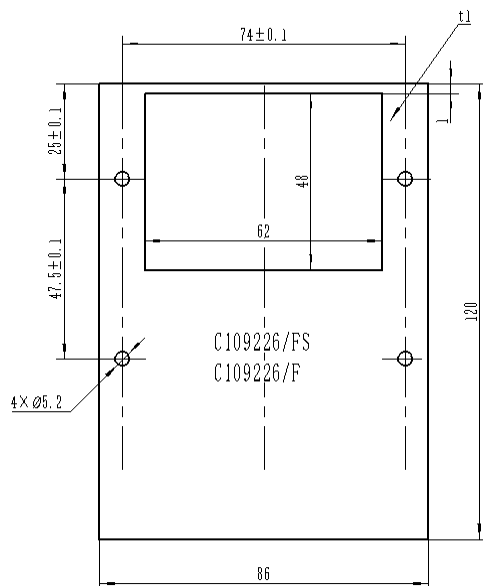


图10 红橙色盖板工装

Fig.10 Red-orange cover plate tooling

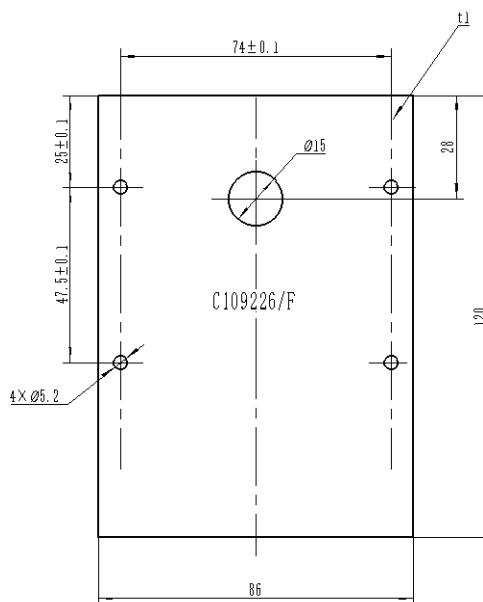


图11 深黑色盖板工装

Fig.11 Deep black cover plate tooling

此处选取件号为C109226/FS和C109226/F显示板红橙色面漆盖板工装为例,根据图3与图4的几何尺寸数据,这两个显示板顶端至分界线的垂直距离均为49 mm,且其上表面区域均采用红橙色面漆涂装。基于上述几何参数与涂层特性的一致性验证结

果,此盖板工装在喷涂工艺中具备互换通用性。由图10可知:为满足距边缘1 mm处不喷漆要求,特进行遮蔽边界设计,矩形框顶端与工件边缘的垂直距离设定为1 mm;矩形框宽度为48 mm,保证顶端至分界线的垂直距离均为48 mm+1 mm=49 mm;为保证定位一致性,盖板处4个圆锥孔各距离尺寸要求与图9保持一致。

此处选取件号为C109226/F显示板深黑色面漆盖板工装为例,根据图4的几何尺寸测量数据,且其上表面区域采用深黑色面漆涂装,需覆盖在已喷涂红橙色面漆上。由图11可知:盖板上开设直径为15 mm的通孔,且圆中心位置到工件边缘的垂直距离为28 mm,符合图4几何测量尺寸;为保证定位一致性,盖板处4个圆锥孔各距离尺寸要求与图9保持一致。

显示板多色面漆喷漆流程如下:

(1) 底漆层准备:将已完成黄绿色面漆喷涂的显示板置于定位底座工装上,通过底座倒角槽与显示板边缘实现初始定位(重复定位精度±0.02 mm)如图12所示。

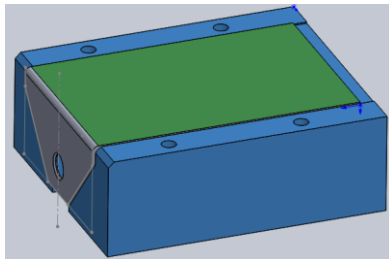


图 12 底层喷漆准备

Fig.12 Primer painting preparation

(2) 红橙色面漆喷涂:选用与红橙色面漆区匹配的盖板工装,通过盖板四处圆锥孔与底座工装上的对应孔实现定位,之后插入圆锥销进行机械压紧,确保间隙≤0.05 mm,如图13所示,喷涂完成后转入烘箱进行固化。

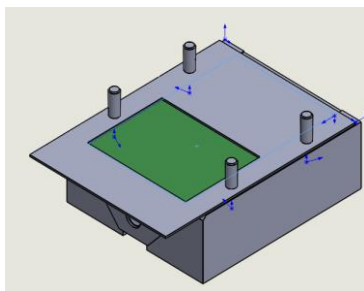


图 13 红橙色面漆喷涂过程

Fig.13 Spraying process of red-orange topcoat

(3) 深黑色面漆喷涂:选用与深黑色面漆区匹配的盖板工装,通过盖板四处圆锥孔与底座工装上的对应孔实现定位,之后插入圆锥销进行机械压紧,确保间隙≤0.05 mm,如图14所示,喷涂完成后转入烘箱进行固化。

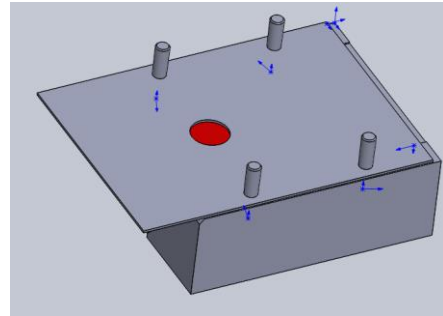


图 14 深黑色面漆喷涂过程

Fig.14 Spraying process of dark black topcoat

4.2 外表面漆渣及颗粒问题分析及解决措施

显示板零件喷涂后,表面出现漆渣、橘皮等外观质量问题,如图15所示,针对此进行展开分析得到以下响应因素:

(1) 喷漆室作业环境的洁净度。

(2) 在喷涂作业过程中,悬浮于空气中的纤维状杂质及颗粒物(如灰尘)可能因气流扰动或重力沉降作用附着于工件表面,尤其在湿漆膜固化阶段,现场生产实践表明,尽管喷涂后工件表面初检合格,但在室温固化过程中,湿漆膜对微粒的吸附作用导致漆层表面出现颗粒污染问题,严重影响产品合格率。

(3) 烘干设备环境洁净度。

(4) 油漆过滤次数不够、过滤漏规格不符。

针对上述喷涂作业问题,特制定质量管控措施,如下:

环境控制措施:在喷涂前需对作业区域实施三级清洁程序:采用工业级吸尘设备对地面进行深度清洁,配合湿式擦拭工艺消除静电吸附的微尘;对零件挂架及操作台面实施75%乙醇脱脂处理,对喷涂工具链(包括夹具、喷枪、供漆系统、黏度测量装置及混合容器)执行全流程清洁验证,确保作业区无残留杂质。

漆料过滤工艺优化:鉴于该零件表面质量要求高,常规过滤系统难以有效截留50 μm以下颗粒。通过现场加工及改进,一级过滤采用2000目白色尼龙滤网,利用其梯度孔隙结构实现大颗粒物机械拦截;且过滤次数≥5。



图15 漆渣和橘皮外观

Fig.15 Paint slag and orange peel appearance

4.3 色差超差, 颜色和光泽度不均匀问题分析与解决措施

4.3.1 问题分析

(1) 油漆因素

油漆质量不稳定: 不同批次生产的油漆, 由于原材料、生产工艺等因素的差异, 可能存在颜色和光泽度的偏差。即使同一批次油漆, 在储存过程中若受到温度、湿度等环境因素的影响, 也可能发生变质, 导致性能改变, 喷涂后出现色差和光泽度不均。

油漆调配不当: 在调配油漆时, 如果颜料、溶剂、固化剂等成分的比例不准确, 会影响油漆的颜色和光泽度。例如, 颜料添加过多会使颜色过深, 固化剂用量不足则可能导致油漆干燥不完全, 光泽度降低。而且, 调配过程中搅拌不均匀, 会使油漆中各成分分布不均, 喷涂后造成颜色和光泽度的差异。

(2) 喷漆环境因素

温湿度不适宜: 温度和湿度对油漆的干燥速度和成膜质量有显著影响。温度过高时, 油漆干燥过快, 表面容易形成一层硬壳, 阻碍内部油漆的干燥, 导致漆膜收缩不均匀, 出现颜色发暗、光泽度降低等问题。温度过低, 油漆干燥缓慢, 容易产生流挂、桔皮等缺陷, 影响外观效果。湿度过大, 油漆中的水分不易挥发, 会使漆膜发白、失光; 湿度过小, 油漆干燥过快, 同样会造成颜色和光泽度的不均匀。

空气洁净度低: 喷漆车间内空气中的灰尘、杂质等污染物, 会随着油漆一起附着在工件表面, 形成颗粒或斑点, 破坏漆膜的平整度和光泽度。此外, 这些污染物还可能影响油漆的附着力, 导致漆膜出现起皮、脱落等现象, 进一步加剧颜色和光泽度的不均匀。

4.3.2 解决方法及措施

(1) 绘制喷涂样板, 样板材料一般采用普通钢

板或铝板, 样板基材的技术要求应符合GB 9271中的相关规定, 确保其表面平整、清洁, 无油污、锈迹等杂质, 以保证油漆能够均匀附着。样板尺寸约200 mm×100 mm的长方形试板, 厚度为0.8~1.2 mm。使用调配合格的油漆, 喷涂在样板中, 待烘干后使用色差仪、光泽度仪等设备对油漆的颜色和光泽度进行测量, 达标后则进行下一步生产。

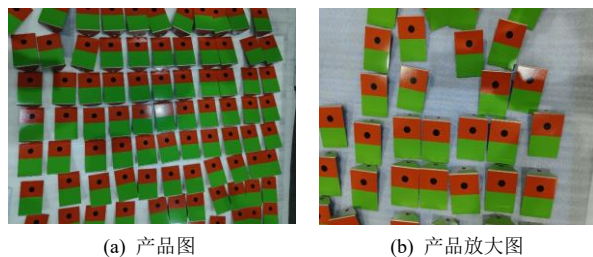
(2) 加强油漆质量控制与调配: 在采购油漆时, 尽量选择质量稳定的供应商, 并要求其提供详细的产品质量检测报告。油漆到货后, 严格按照相关标准进行抽样检验, 使用色差仪、光泽度仪等设备对油漆的颜色和光泽度进行测量, 同时检查油漆的黏度、固体含量等性能指标。对于不合格的油漆, 坚决予以退货处理, 从源头上保证油漆质量。

规范油漆调配流程: 制定详细的油漆调配操作规程, 明确各种成分的添加比例和调配顺序。在调配过程中, 使用精确的计量器具, 确保颜料、溶剂、固化剂等成分的用量准确无误。采用专业的搅拌设备对油漆进行充分搅拌, 搅拌时间和速度要符合要求, 使油漆中各成分均匀混合。调配好的油漆要进行试喷, 检查颜色和光泽度是否符合要求, 合格后方可使用。

(3) 改善喷漆环境条件: 根据不同的油漆类型和工艺要求, 将环境温度控制在15~38℃, 相对湿度控制在30%~70%。同时, 安装温湿度传感器, 实时监测车间的温湿度变化, 当环境参数超出规定范围时, 自动调节温湿度调节设备的运行状态, 确保喷漆环境始终处于适宜的状态。

5 工艺验证及合格产品

通过开展上述工艺攻关工作, 该零件成功实现了产品质量的稳定交付, 其质量水平达到了客户认可的标准。C109226/F显示板零件喷漆后产品图如图16所示。



(a) 产品图

(b) 产品放大图

图16 喷漆零件产品图

Fig.16 Product diagram of painting parts

6 结论

显示板零件喷漆作业较为复杂,需在表面喷涂3种不同颜色面漆且同时满足各尺寸、厚度及结合力要求。在试制中通常出现交接处颜色发虚、外观杂质、橘皮、尺寸超差等质量问题,基于此,本文深入分析了喷漆作业中的各个关键工序,重点阐述了预处理的操作步骤,针对交接处颜色发虚、外观存在漆渣、颗粒物、橘皮、尺寸超差、光泽度、色差等问题分别总结了相应的改进措施,经过工艺优化,显示板喷漆质量和加工效率得到了提高,零件表面、外观质量、色差等均达到检测标准。

参考文献

- [1] 胡毅钧, 郑红伟, 等. 船舶低表面处理工艺和涂料的研究现状[J]. 材料保护, 2025, 58(4):148-157.
- [2] 高子涵, 郑恒, 张甜. 改性聚氨酯在海洋防污涂料中的研究进展[J]. 材料保护, 2024(4): 121-130.
- [3] 季天豪, 杨姗. 喷漆工艺中喷枪参数对漆膜均匀性的影响[J]. 中国汽车市场, 2025(1): 73-74.
- [4] 韩强, 范成坤, 张程, 等. 细化过程管控提升铸件喷漆质量[J]. 中国铸造装备与技术, 2024, 59(6): 24-28.
- [5] 时晓, 马新侠, 吴雅茹, 等. 铸件用水性漆常见问题分析及解决措施[J]. 中国铸造装备与技术, 2022, 57(6): 72-76.
- [6] 杨建康, 董楠, 李继飞, 等. 涂装车身颗粒缺陷效果质量改进[J]. 汽车实用技术, 2024, 49(17): 131-135, 172.
- [7] 彭华领, 万里, 胡小萍, 等. 铝型材表面条状印迹的原因分析及控制[J]. 铝加工, 2024(3): 69-72.
- [8] 汪发理. 汽车喷漆工艺中水性涂料的应用及其环保效应[J]. 汽车知识, 2024, 24(2): 118-123.
- [9] 薛江段, 罗江波, 管兵, 等. 关于汽车涂装施工环境与油漆温度控制的研究[J]. 现代涂料与涂装, 2021, 24(1): 20-22, 26.
- [10] 于清涛. 汽车喷漆前处理工艺对漆膜性能的影响[J]. 汽车测试报告, 2024(12): 71-73.
- [11] 王建邦, 李文华. 新能源汽车水性涂装漆的设计与应用[J]. 材料保护, 2020, 53(10): 81-84, 111.
- [12] 陈东初, 郑家桑. 纳米技术在涂料中的应用研究进展[J]. 电镀与涂饰, 2001(6): 47-51.
- [13] 郑毅, 崔昭霞. 粉末静电喷涂技术及设备的发展与应用[J]. 现代涂料与涂装, 2018, 21(3): 24-28.
- [14] HAEJOON C, YOUNG M S. Removal efficiencies of emissions of volatile organic compounds by adsorption systems installed in small-scale auto-repair painting operations[J]. Air Quality, Atmosphere & Health, 2023, 17(2): 315-324.
- [15] ANDULKARV M, MARATHE S A. Novel integrated offline trajectory generation approach for robot assisted spray painting operation[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2015, 37: 201-216.