

浅谈涂装 PVC 胶条开裂分析及控制

单志愿, 任爱民, 彭泽慧, 方 勇, 代成保, 李文鹏, 齐有升
(零跑科技股份有限公司, 浙江 金华 321000)

摘要: PVC 胶条的目的是密封、防护等作用, 如 PVC 胶条开裂, 则严重影响生产效率和车门防腐能力。本文梳理焊装、涂装全流程, 从人机料法环测六维度排查, 锁定折边胶位置、辊边压合间隙、激光焊强度为核心症结。针对性优化工艺: 胶条直径保持 3 mm, 折边胶与钣金距离由 6 mm 调至 2 mm, 辊边压合间隙严控 0.15 mm 内, 同步优化激光焊参数与焊点布局。经验证, 胶条开裂比例降至 0, 杜绝返修浪费, 提升产品交检合格率与稳定性, 为行业同类缺陷解决提供借鉴及参考。

关键词: PVC 胶条开裂; 折边胶间距; 辊边压合间隙; 激光焊强度; 工艺优化

中图分类号: TQ639 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2026)03-0041-04

A Brief Discussion on the Analysis and Control of Cracking in Coated PVC Sealing Strips

SHAN Zhi-yuan, REN Ai-min, PENG Ze-hui, FANG Yong, DAI Cheng-bao, LI Wen-peng, QI You-sheng
(Leapmotor Technology Co., Ltd., Jinhua 321000, Zhejiang, China)

Abstract: The purpose of PVC rubber strips is to seal and protect, etc., if the PVC rubber strips crack, it will seriously affect the production efficiency and the anti-corrosion ability of the car door. This article sorts out the entire process of welding and painting, and investigates from the six dimensions of man, machine, material, method, environment and measurement. The purpose of PVC rubber strips is to provide sealing and protection functions. If the PVC rubber strips crack, it will seriously affect the production efficiency and the anti-corrosion ability of the car door. It is found that the position of the folded edge rubber, the gap of the roller edge pressing, and the strength of the laser welding are the core problems. Targeted process optimization is carried out: the diameter of the rubber strip is maintained at 3 mm, the distance between the folded edge rubber and the sheet metal is adjusted from 6 mm to 2 mm, the roller edge pressing gap is strictly controlled within 0.15 mm, and the laser welding parameters and weld point layout are optimized simultaneously. After verification, the proportion of cracked rubber strips has dropped to 0, eliminating the waste of rework, improving the product inspection pass rate and stability, and providing a reference for solving similar defects in the industry.

Key words: cracking of PVC rubber strips; spacing of folded edge glue; gap of roller edge pressing; strength of laser welding; process optimization

0 引言

在汽车制造行业, PVC 胶条作为车门密封、防护的关键部件, 其成型质量直接关系到产品密封性、外观

一致性及市场口碑。然而, 生产过程中 PVC 胶条开裂缺陷频发, 不仅导致原材料损耗、返修工时增加, 造成显著的生产浪费, 更直接降低产品一次交检合格率, 严重时还会影响车门密封性能, 引发客户投诉等。据现场统计, 某车型该缺陷最高发生率达 4.7%, 且集中于左前门、右后门的铰链区域, 成为制约生产效率与产品质量提升的关键瓶颈。

深入分析发现, PVC 胶条开裂与生产全流程密切

收稿日期: 2024-06-05

作者简介: 单志愿(1987—), 男, 本科, 工程师, 主要从事汽车制造工艺管理、工厂降本目标达成等工作。E-mail: shanzhiy@163.com。

相关,涉及焊装、涂装两大核心工序的多个工艺参数。此前行业内针对类似缺陷的解决多停留在单一参数调整,缺乏系统排查与根治方案,导致问题反复出现。为彻底扭转这一局面,本研究以实际生产痛点为导向,围绕冲压-焊装-涂装全工艺流程,从人、机、料、法、环、测6个维度开展系统排查,锁定折边胶位置、辊边压合间隙、激光焊强度等核心影响因素。通过优化工艺参数、调整施胶与压合标准等针对性措施,经过多轮实践验证与反向论证,最终将胶条开裂比例降至0,实现了缺陷的根治。

本研究不仅有效解决了生产现场的实际问题,降低了生产成本,更形成了一套可复制、可推广的PVC胶条缺陷防控体系,为汽车制造行业同类问题的解决提供了科学依据与实践参考,对推动行业工艺优化、提升产品质量稳定性具有重要意义。

1 车门生产的工艺流程

冲压:门内、外板冲压件→焊装:门内板人工打胶→门内外板拼接→机器人辊边。

涂装:前处理→电泳→电泳烘干→PVC→PVC烘干→电泳打磨→面漆喷涂→面漆烘干→修饰(第一个工位发现胶条开裂问题)。

2 PVC胶条开裂现状调查

现场PVC胶条开裂缺陷现象及状态如图1所示。

1)车型颜色:所有油漆颜色均有开裂,非一种颜色。
2)车门位置:左前门和右后门为主,右前门和左后门无开裂。
3)开裂状态及位置:开裂宽度1 mm,开裂长度5~30 cm,上、下铰链之间,上铰链位置为主,其他区域无开裂。

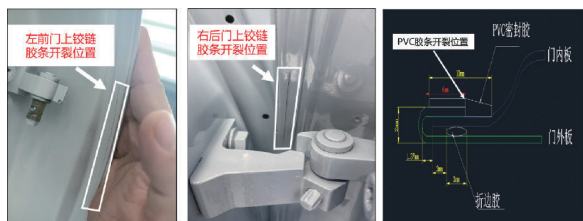


图1 胶条开裂在实物表现的状态

3 PVC胶条缺陷产生因素

通过调查确认,从涂装修饰第1个工位出现开裂问题,根据工艺流程进行反向排查,首先排查涂装内部影响因素,再排查焊装过程影响因素。

3.1 涂装产生因素排查

在发现PVC胶条开裂故障周期内,基于人、机、料、法、环、测六大维度开展分层拆解排查,对各维度下的细分项目明确判定标准,通过现场实测数据与标准

值对比,识别差异项并形成结论。本次涂装工序共覆盖9个细分模块,完成36项具体内容的核查,最终锁定2项关键变量:一是面漆烘干炉二区温度由165℃调整至175℃,其间存在送风温度超过185℃的异常情况;二是PVC胶条手工施胶厚度为1.0 mm,低于1.0~2.0 mm的标准下限,后续调整至1.8 mm左右。

人员维度:核查人员技能等级为L3,符合标准要求;门操作工位的人工开门无过度开门现象,操作状态正常。

设备维度:PVC烘干炉一区温度136℃、二区温度154℃、车身烘干温度110℃、烘干时间7 min,各项参数均处于标准区间内。

开门机器人开启角度:前门、后门操作参数分别为1 050.9 mm、789.9 mm,符合标准要求。

烘干炉温度:面漆烘干炉一区温度111℃、三区及四区温度165℃、车身烘干温度144℃、烘干时间22 min,均满足对应标准范围,仅二区温度存在调整后送风超温的异常;PVC烘干炉、喷涂、面漆烘干炉的频率与节拍参数,均符合生产标准。

物料维度:PVC密封胶黏度133 Pa·s、拉伸强度3.46 MPa、邵A硬度61,各项指标均满足物料性能标准要求。

检测维度:PVC胶条宽度为10 mm,处于8.0~15.0 mm的合格区间,厚度原1.0 mm不满足标准下限,经手工调整后提升至1.8 mm左右,达到合格状态。

环境与方法维度:经现场核查,各工序生产环境温度湿度、操作规范均符合工艺要求,无异常变量影响胶条成型质量。

3.2 焊装产生因素排查

同样,焊装也是从人机料法环测6大模块逐步分析排查,确认内容是否合格,针对不合格项进行判定。焊装对每个模块的详细内容同样进行二次分解,分析与涂装PVC胶条开裂有关的所有项目,明确标准,现场确认状态是否满足标准要求,找出差异形成结论,本次焊装工序共覆盖13个细分模块,完成24项具体内容的全面核查,最终锁定3项关键变量:激光焊强度、辊边压合间隙及折边胶施胶位置。

人员维度:核查人员技能等级均达到L3标准,符合岗位操作要求;调整线的人员开门操作无过度开门现象,开关门动作规范,未对工序质量造成影响。

设备维度:辊边机压合间隙标准范围为0~0.15 mm,现场检测发现局部区域间隙超过0.15 mm,存在局部不达标情况;激光焊设备的扫描速度、扫描宽度、峰值功率及脉冲频率初始参数分别为200 m/s、1.5 mm、800 W、2 000 Hz,均处于200~300 m/s、1~1.5 mm、

750~800 W、1 500~2 000 Hz 的标准区间内,后续完成参数优化以提升焊接强度;施胶枪枪头配备有限位装置,满足工艺设计要求,状态合格。

物料维度:铰链开启角度实测值前门 1 145 mm、后门 830 mm,符合标准要求;折边胶的压流黏度 18.9 s、剥离强度 99.4 N/mm、剪切强度 25.1 MPa,均满足 8~25 s、 ≥ 50 N/mm、 ≥ 20 MPa 的技术指标。

板材厚度方面:外板设计标准为 0.65 mm、内板为 0.7 mm,现场实测左前内板 0.68 mm、左前外板 0.59 mm,右前内板 0.67~0.68 mm、右前外板 0.64 mm,左后内板 0.69 mm、左后外板 0.63 mm,右后内板 0.69 mm、右后外板 0.64 mm,所有尺寸均在合格范围内。

方法维度:包边翻边尺寸实测左前门 7.14~5.9 mm、右前门 7.18~5.6 mm、右后门 6.9~4.9 mm、左后门 6.64~4.43 mm,符合前门 6.99~4.98 mm、后门 6.62~3.9 mm 的标准区间;折边胶施胶离包边位置初始标准为料边距离(6 ± 1) mm(料边距离小于 2 mm),现场实测左前门 1 mm、右后门 1~1.5 mm,发现偏差后及时纠正偏差,胶径实测左前门 2.36 mm、右后门 3.04 mm,符合(3 ± 1) mm 的标准要求。

检测维度:内板单件尺寸实测 2.7~3.3 mm、外板单件尺寸实测 $-1\sim+0.5$ mm,均符合数模(3 ± 1) mm、(0 ± 1) mm 的设计数值;内外部压合度尺寸平均实测 1.12 mm,满足数模 1.4 mm 的要求;通过划线确认内板与外板运行状态无错位,符合工序质量标准。

环境维度:经现场全面核查,焊装各工序生产环境的温湿度、洁净度等指标均符合工艺规范,未发现影响 PVC 胶条成型质量的异常环境变量。

3.3 左右前门辊边压合间隙数据对比

根据某车型辊边后,使用内间隙尺对车门内间隙检测点位进行标识,自铰链端从上至下进行标注,整个车门标注 15 个检测点,如图 2 所示。

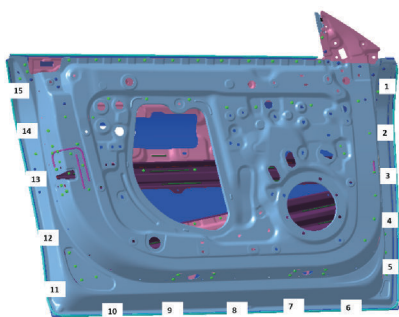


图 2 车门内间隙检测点位

对车身上所标识的点位进行测量,左、右门各测量 20 个,压合间隙按 ≤ 0.15 mm 为合格, >0.2 mm 为不合

格,经左前门压合间隙记录统计, >0.2 mm 的 48 个(16%), >0.25 mm 的 49 个(16.3%),左前门不合格点数集中在铰链侧。右前门检测数据为: >0.2 mm 的 63 个(21%), >0.25 mm 的 15 个(5%),不合格点靠锁体侧,左前门不合格点数多于右前门,左前门铰链侧无大于 0.2 mm 的数据。

4 影响因素验证

为精准验证涂装与焊装工序排查出的各变量对 PVC 胶条开裂的影响,建立“措施制定-多轮验证-结果分析-根因锁定”的闭环研究逻辑,通过系统性试验明确不同因素的影响权重,最终锁定胶条开裂的核心根因:2 个主要原因(施胶位置不当、辊边压合间隙过大)与 1 个次要原因(当间隙超过 0.25 mm 时,激光焊强度不足),为后续工艺优化提供坚实的数据支撑。

激光焊调整作为关键验证方向,围绕焊接方式、焊点数量、参数设置及焊接位置四大维度实施 4 项针对性措施,逐步厘清其对胶条开裂的影响程度。

首先开展二保焊补充验证,通过增加 1 个二保焊焊点强化连接强度,现场测试未出现胶条开裂现象,但实际生产中发现该方案会导致焊装工序节拍延长,且额外焊点会干扰后续涂装打胶的连续性,影响密封效果,综合生产效率与工艺兼容性考量,放弃二保焊方案并转向激光焊优化,因此将该因素判定为次要原因。

聚焦焊点密度优化,在四门上铰链这一开裂高发区域增加 4 个激光焊焊点,并固化焊接工艺参数,实施后跟踪统计显示,胶条开裂比例较优化前显著降低,说明焊点数量增加能提升钣金连接稳定性,但未从根本上解决开裂问题,故同样归为次要原因。

针对激光焊质量核心——参数匹配性进行优化,结合钣金实际厚度(内板 0.67~0.69 mm、外板 0.59~0.64 mm),精准设定扫描速度 200 m/s、扫描宽度 1.5 mm、峰值功率 800 W、脉冲频率 2 000 Hz 的参数组合,有效解决了原参数下可能出现的虚焊、焊透不足等问题,实施后胶条开裂故障比例大幅下降,验证其对开裂的直接影响,确定为主要原因。

优化激光焊空间位置,将原靠近钣金边缘的焊接位置调整至折边中间区域,使焊接应力分布更均匀,避免边缘应力集中导致胶条受力开裂,调整后开裂位置出现明显转移,印证焊接位置不合理是引发开裂的关键因素,判定为主要原因。

折边胶施胶参数调整作为核心验证项目,针对排查出的“折边胶与钣金间距过大”问题开展专项验证,将原 6 mm 的间距标准调整为 2 mm,同时明确胶径控

制标准为 3 mm,相关参数优化方案经各部门会签会议纪要确认执行。验证初期效果显著,连续 3 天 6 个班次的生产过程中未出现胶条开裂案例,但第 4 天批量生产时开裂故障复发,分析认为间距调整虽改善了胶条与钣金的贴合度,但单一参数优化未能完全抵消其他因素影响,不过结合后续综合验证结果,施胶位置不当仍被判定为导致胶条开裂的主要原因。

PVC 胶条加厚验证聚焦材料本身性能优化,将原手工施胶 1.0 mm 的厚度(接近 1.0~2.0 mm 标准下限)提升至 1.8 mm,通过增加胶层厚度提高拉伸强度与抗裂性能。但验证结果显示,胶条仍存在开裂现象,仅开裂形态从连续的一条直线变为分散的多段裂纹,说明胶条厚度不足对开裂有一定影响,但并非核心制约因素,判定为次要原因。

烘干炉温度与辊边压合力相关验证集中一个时间范围内开展。烘干炉温度方面,分别进行两项对比试验:一是将面漆烘干炉二区温度由 175 °C 降至 165 °C(回归原标准温度),二是将其提升至 185 °C(超原标准上限),两次试验均未出现胶条开裂,说明在该温度区间内,烘干温度对胶条开裂的影响较小,归为次要原因。

辊边压合力验证分为两部分:首先在左前门铰链包边处采用划线标记法,跟踪电泳烘干前后内板与外板的相对位置,验证是否存在位移变量,结果未发现明显错位,排除该环节影响,判定为次要原因。

其次重点调整辊边压力参数,将钣金压合后的间隙严格控制在 ≤ 0.2 mm,通过批量生产验证,全程未出现胶条开裂情况,充分证明辊边压合间隙过大是导致开裂的关键因素,确定为主要原因。

通过多维度、多轮次的验证试验,系统梳理各变量对 PVC 胶条开裂的影响程度,为后续制定综合性根治方案奠定了坚实基础。

5 验证结果

本次工艺优化的核心验证结果显著:正式将折边胶与钣金的间距由 6 mm 调整至 2 mm,同时将辊边压合间隙严格控制在 ≤ 0.2 mm 后,经长期批量生产跟踪验证,PVC 胶条开裂问题根治,至今未再出现任何开裂案例,完全达成预期改善目标。

在多轮验证推进过程中,小组内部曾出现部门间争议分歧,例如涂装与焊装部门初期均认为胶条开裂是对方工序的问题导致,进而影响了跨部门配合效率。针对此类协作阻碍,实践证明及时向部门领导升级沟通是有效解决路径,能够快速厘清责任边界、协调资源,避免陷入无意义的扯皮内耗,保障验证工作有序推进。

值得强调的是,本次改善并非仅停留在“解决现有问题”层面,而是通过反向验证的科学方法,反复印证施胶位置不当、辊边压合间隙过大的根本原因属性,在此基础上制定并执行了固化于工艺文件的永久措施,从流程制度层面杜绝了后期问题复发的可能,为生产质量稳定性提供了长效保障。

6 结语

本文以汽车车门 PVC 胶条开裂这一生产现场突出缺陷为切入点,立足实际故障状态,遵循“快速排查-深度解析-精准验证-固化落地”的核心逻辑开展研究。通过系统梳理焊装、涂装全工艺流程,结合人机料法环测六维度排查框架,同时借鉴同行业同类问题的解决经验,对现场设备运行参数、工艺执行标准等关键数据进行深度拆解与交叉验证,发现汽车涂装行业在胶条成型质量控制方面存在诸多共性规律与通用技术逻辑。

针对排查锁定的核心影响因素,快速制定针对性解决措施,经过多轮反复验证与参数迭代,在故障缺陷显著好转后,第一时间将优化后的工艺标准、参数设置及操作规范固化至正式工艺文件,形成标准化作业依据。同时建立全流程过程监察机制,强化关键工序的动态管控,有效避免因执行偏差导致问题复发,确保验证结果的真实性与稳定性。通过持续追踪胶条开裂的产生规律,结合多次反向验证精准锁定根本原因,最终实现 PVC 胶条开裂缺陷的根治,为汽车制造行业同类涂装缺陷的防控提供了可复制、可推广的实践路径与技术参考。

参考文献:

- [1] 常晓亮,赵利红,张博.车门与前后盖 PVC 胶条开裂问题分析与解决[J].汽车工艺与材料,2024(9):23-27.
- [2] 覃江丁,廖章龙,邓烈雄,等.汽车 PVC 密封胶条开裂因素探讨[J].现代涂料与涂装,2023(7):41-43.
- [3] 杜春生,赵晨思,陈维维,等.车门 PVC 胶开裂问题分析及解决[J].现代涂料与涂装,2022(1):15-17.
- [4] 刘文济,何镇航,黄龙武,等.汽车 PVC 胶开裂问题的根源分析与解决方案[J].涂层与防护,2024(7):12-15.
- [5] 陈桂林,刘立东,陈文铨.汽车用 PVC 密封胶放置开裂优化实践[J].上海涂料,2022(2):52-55.
- [6] 曹伟.油漆车身侧围焊缝 PVC 表面开裂的产生及解决[J].现代涂料与涂装,2021(4):41-42.
- [7] 黄萍,奉昌博,张峰.涂装密封胶开裂失效模式分析及对策[J].现代涂料与涂装,2023(6):24-26.
- [8] 刘阳,许能才,李文鹏,等.基于 A3 思维解决总装车间车门焊缝密封胶开裂问题[J].汽车制造业,2024(3):56-58. ◆