

基于 QC 小组法解决汽车尾门电泳气泡型缩孔问题

邹 飞, 周金波

(上汽大通汽车有限公司无锡分公司, 江苏 无锡 214107)

摘要: 以汽车涂装为背景, 研究了汽车尾门电泳气泡型缩孔问题, 并针对问题原因提出了相应改善方案。首先, 概述了 QC 小组活动并基于现场调研确定了尾门电泳气泡型缩孔是影响电泳质量的主因; 然后, 基于 4M1E 分析确定了尾门入槽角度与尾门区域气泡排出困难是该问题的要因; 最后, 通过改造电泳侧面、底部循环以及尾门电泳入槽姿态从而基本解决此问题。本文对汽车尾门电泳气泡型缩孔问题的解决提供了有效方案。

关键词: 汽车涂装; QC 小组法; 电泳气泡型缩孔; 汽车尾门

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)08-0037-05

Research on the Electrophoretic Bubble Shrinkage Defect of Car Tailgate Based on QC Group Activities Method

ZOU Fei, ZHOU Jin-bo

(Wuxi Branch, SAIC MAXUS Automobile Co., Ltd., Wuxi 214107, Jiangsu, China)

Abstract: Based on the background of automobile painting, the problem of electrophoretic bubble shrinkage defect of car tailgate is studied, and corresponding improvement plans are proposed to address the causes of the problem. First of all, this paper summarizes the formation reasons of QC group activities method, and based on site investigation to determine the electrophoretic bubble shrinkage defect of car tailgate is the main factor affecting the quality of the entire vehicle electrophoretic coating. Then, based on 4M1E analysis to determine the angle of the tailgate entering the groove and the difficulty in expelling bubbles in the tailgate area are the main causes of the electrophoretic bubble shrinkage defect of car tailgate; Finally, the problem of electrophoretic bubble shrinkage defect of car tailgate is basically solved by modifying the side and bottom circulation of electrophoresis, as well as the posture of tailgate electrophoresis entering the tank. This article provides an effective solution to the problem of electrophoretic bubble shrinkage defect of car tailgate.

Key words: automobile painting; QC group activities; electrophoretic bubble shrinkage defect; car tailgate

0 引言

在汽车行业的涂装工艺中, 电泳涂层为车身防腐提供了有效的保护^[1]。在实际电泳涂装过程中, 电泳缩孔问题是高频质量问题之一, 其主要是由涂层表面张力梯度导致的。电泳涂层属于高表面张力物质, 当外界颗粒、纤维、油污等低表面张力物质接触到电泳涂层

时, 低表面张力物质将与周围涂层形成表面张力差值, 从而迫使附近液体远离形成凹陷状态, 即电泳缩孔^[2]。

电泳缩孔通常可分为油污缩孔^[3-5]、颗粒纤维缩孔^[6]、槽液缩孔^[7-8]、气泡缩孔^[9-10]。施云飞等^[3]根据汽车涂装中电泳油缩孔缺陷的影响因素分析了油污来源并提出了相应解决措施; 卢海龙等^[6]研究了一种由车门内膨胀胶脱落导致的电泳缩孔问题并提出了解决方案; 孙颖等^[7]分析了涂装电泳槽液缩孔问题, 并通过电泳倒槽、补充新电泳树脂和溶剂、添加药剂等手段来解决。鄢海新等^[9]研究了翻浸式电泳工艺造成车身气泡

收稿日期: 2024-03-25

作者简介: 邹飞(1986—), 男, 本科, 工程师, 主要从事汽车涂装工艺及质量优化工作。E-mail: zoufei@saicmotor.com。

型缩孔的形成原因,并给出了相应解决措施。

QC 小组活动广泛应用于企业设计与生产制造过程中,有效管控了产品研制生产的质量要求^[11]。于昌龙等^[12]基于 QC 小组活动开发了新型光纤电流互感器,在研发周期大幅缩短的前提下,有效保障了产品成果的创新性和可靠性;潘亮等^[13]将 QC 小组活动引入可变推力工作液氧甲烷喷注器关键技术的攻克环节,保障了新型高效液氧甲烷喷注器的成功研制与目标完成。王占富等^[14]将 QC 小组活动贯穿应用于飞机产品的全生命周期的设计过程中,有效解决了产品研制过程中的关键问题及开发风险。

因此,本文采用 QC 小组法作为技术解决思路,针对电泳涂装过程中汽车尾门电泳气泡型缩孔问题进行系统性分析与研究,以期通过关键举措的实施降低问题频次,进一步提高产品电泳涂装质量的可靠性。

1 QC 小组法概述

QC 小组(Quality Control Circle)全称质量管理小组,指员工围绕企业的经营战略、方针目标和现场存在的问题,以改进质量、降低成本、增加效益、完善管理、提高自身素质为目的,运用质量管理理论和方法开展活动的小组。QC 小组活动是一种致力于在工作质量、方法和效率等方面的改进和创新活动,是最为活跃、最有成效的一种质量改进、创新活动。其基本原则分为全员参与、持续改进、遵循 PDCA 循环、基于客观事实、应用统计方法。QC 小组活动程序如图 1 所示。

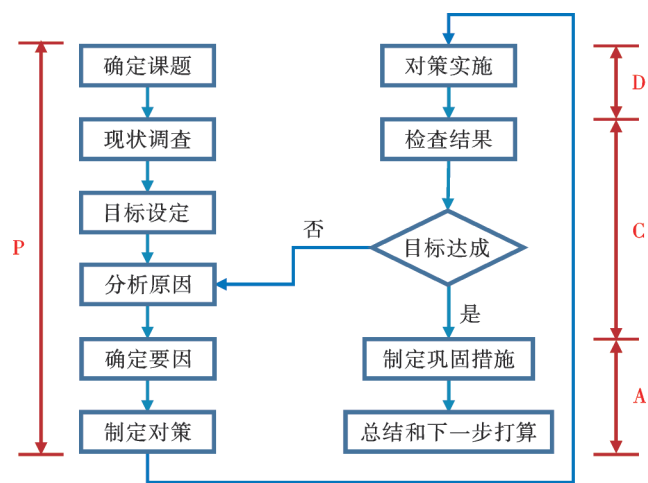


图 1 QC 小组活动程序

2 基于 QC 法分析尾门电泳气泡型缩孔问题

2.1 课题选定

根据涂装车间 2022 年 7 月至 11 月整车电泳涂装的质量问题统计数据,可知其中占比最高的是缩孔问题,占电泳涂装质量问题的 46%;进一步结合图表分

析可知:气泡型缩孔问题占有所有缩孔问题的 76.2%;最后,根据柏拉图分析气泡型缩孔区域,可得翻盖尾门及皮卡后栏板区域所出现的气泡型缩孔问题频次占比较大,占全部问题的 87.5%。因此,为了提高产品质量,响应公司降本增效的号召,故小组决定以“解决汽车尾门电泳气泡型缩孔问题”作为本次 QC 活动的课题,课题类型为问题解决型中的自定义目标课题。

2.2 现状调查

为了清楚地掌握现状,QC 小组随机抽取现场因尾门电泳气泡型缩孔问题导致的下线车辆进行分析,问题状态如图 2 所示,尾门区域电泳漆膜出现了大量空气泡缩孔,该问题需要下线打磨返修处理。



图 2 翻盖尾门及皮卡后栏板电泳气泡型缩孔状态

2.3 目标设定

由 2.1 节可以看出,如果完全解决了汽车尾门电泳气泡型缩孔的问题,那么汽车电泳涂装质量问题将会减少 35%,各车型一次性电泳涂装合格率将大幅提升。QC 小组通过对比同行业产品的返修情况,从设备能力、技术难度方面综合考虑,预计能将尾门电泳气泡型缩孔问题减少 80%以上,那么该问题占电泳涂装质量问题的比例将从 2023 年的 35%降低为 7%(35%-35%×80%)以下。由此小组最终确定了本次 QC 改进的课题目标:将汽车尾门电泳气泡型缩孔问题占比从 35%降低至 7%以下。

2.4 分析原因

QC 小组基于 4M1E(人、机、料、法、环)5 个方面对影响汽车尾门电泳气泡型缩孔问题的各方面原因进行分析,从而找出了 27 条末端因素。

2.5 确定要因

在对影响汽车尾门电泳气泡型缩孔问题的原因进行分析识别后,QC 小组针对所得出的 27 项末端因素逐一进行分析讨论,将各项末端因素分类,找出影响问题的主要原因,制定要因确认如表 1 所列。

表 1 末端因素分析

可能因素	末端因素	确认内容	确认方法	确认结果	是否要因
人	员工尾门工装操作	尾门工装操作状态	检查是否按照 JIS 进行操作	操作正常	否
	人员加料操作规范	电泳加料泵空打电泳槽带入空气引起气泡缩孔	工艺纪律抽查	操作正常	否
机	电泳循环量	排除循环量不足导致电泳气泡缩孔	检查电泳循环泵与循环状态	循环正常	否
	电泳喷嘴状态	分析喷嘴对电泳缺陷处的冲洗能力	检查疏通喷嘴	无影响	否
	验证是否因为出槽时通电导致后挡板产生缩孔	将皮卡车单独过电泳	没有改善	无影响	否
料	槽液 BC 溶剂含量	提高槽液 BC 溶剂含量,增强槽液润湿性	提高槽液 BC 溶剂含量	无影响	否
	槽液 pH	降低槽液 pH,增强槽液释放气泡能力	槽液 pH 从 6.1 降低至 5.8	气泡缩孔状态无改善	否
	槽液 PPH 溶剂含量	提高 PPH 溶剂含量,增强槽液润湿性	提高 PPH 溶剂含量至 0.2%	气泡缩孔状态没有改善	否
	槽液颜基比	提升槽液颜基比,调整槽液状态	添加电泳颜料	气泡有轻微改善	否
	槽液表面张力调节剂	调整表面张力,让气泡更容易破裂	添加表面张力调节剂	后挡板小缩孔略微变多	否
喷嘴循环状态优化	集中压力冲刷入槽时的车身,赶走气泡	加大已经加长的底部垂直管路	状态恶化,气泡变大变多	否	
	加强层流,使液面流速加快,带走气泡	减小斜坡位置垂直加长的管路	无改善	否	
	在车身入槽时,利用底喷提供的冲刷来排出气泡	电泳倒槽,调节电泳入槽处底部循环管路的方向,由水平方向调整为垂直方向,直接冲刷车身底部	密集型小气泡数量减少 30%,但没有根除	是	
	加长电泳入槽处底部循环垂直管路,将斜坡面上至下的第三排喷嘴调整为垂直斜坡方向,并加长,将两侧入槽位置的喷嘴部分修改为“S”形,对准 3 个车型兜气泡的位置	电泳入槽端里侧第 1、2、5、6 对侧喷全开,其余全关;外侧第 3、4 对侧喷全开,其余全关	密集型小气泡数量减少 30%,但没有根除	是	
法	利用浮力让后盖自然排气	翻盖尾门不用尾门撑杆工装	对小气泡改善较为明显,好转 70%	是	
	提高翻盖尾门的开度,让空气更好地排出	后盖撑杆换成长撑杆	对小气泡改善较为明显,好转 50%	是	
	减小皮卡后挡板开启角度	皮卡后挡板角度 30°改变为小角度 15°的姿态入槽	皮卡后挡板外表面气泡缩孔 20%	是	
	改变皮卡后挡板开启角度	将皮卡车后挡板由立起倾斜 40°,改为垂直放低向后倾斜 19°	气泡位置转移,仍是在电泳槽内,朝下的面气泡较多,整体状态变好,但后挡板出现电泳纹	是	
车身底材润湿时间	延长槽液对底材的润湿时间	彻底断开一段电压;二段电压升压时间从 15 s 调整为 45 s,电压值不变	大气泡数量减少,小气泡数量未改变	否	
降低电解速率	降低初始电解反应速率,减少气泡产生	断开入槽端前 8 对阳极	对于密集型小气泡没有明显改善	否	
	降低初始电解反应速率,减少气泡产生	一段电压保持不变;二段电压升压速率从 15 s 调整为 45 s,电压值不变	大气泡缩孔数量轻微减少(泳透力考量,不可批量试验)	否	
降低槽液中气泡	释放槽液中夹带的微小气泡	电泳槽开线前停泵静置 1 h (超滤泵保持开启)	大气泡数量减少,效果能持续 2 h,2 h 后继续恶化	否	
降低电泳膜厚	验证是否因为出槽带电,尾部膜厚太厚,导致缩孔	断开出槽位置两侧的第 5、6、7、8、9 根阳极	无改善	否	
	降低整体膜厚,减轻缩孔状态	将皮卡车电压由 60/240/230 V 降低至 60/220/210 V	无改善	否	
槽液温度影响	温度高,泡沫更容易破裂	槽液温度从 32 °C 提高至 33 °C	无改善	否	
环	槽液电导率	降低电解反应的剧烈性	排放部分超滤液,槽液电导率从 1 900 μS/cm 降低至 1 500 μS/cm	无改善	否
	电泳槽送风情况	缺陷区域干湿度进入电泳槽影响	关闭送风 1 h 验证	无改善	否

2.6 制定对策

在经过原因分析确定要因后, QC 小组针对已确定的主要原因提出相应对策, 并对对策的有效性、可实施性进行研讨, 最终形成本课题的要因对策, 如表 2 所列。

表 2 改善对策

要因	根本原因	整改对策
电泳喷嘴循环不佳	电解反应过程中阴极产生氢气未及时排出, 黏附在车身表面, 产生氢气泡缩孔	改造电泳喷嘴循环
翻盖尾门内和皮卡车型后栏板入槽姿势	翻盖尾门内表面和皮卡车型后栏板入槽时压入大量空气泡	改制尾门工装 优化尾门电泳入槽姿态角度

2.7 对策实施

2.7.1 调整电泳侧面喷嘴循环

如图 3 所示, 保留入槽左侧与右侧的侧面循环, 让入槽阶段的纵向流形成“S”形来赶走气泡, 同时需要适当降低槽子中后段的侧面循环压力, 将循环压力集中在入槽阶段, 而循环管路终端将文丘里喷嘴的喇叭口去除, 形成简易的射流喷嘴。这样调整了入槽段侧面循环管路的走向与喷嘴效果, 更有针对性地去冲刷车身尾门兜气的区域。

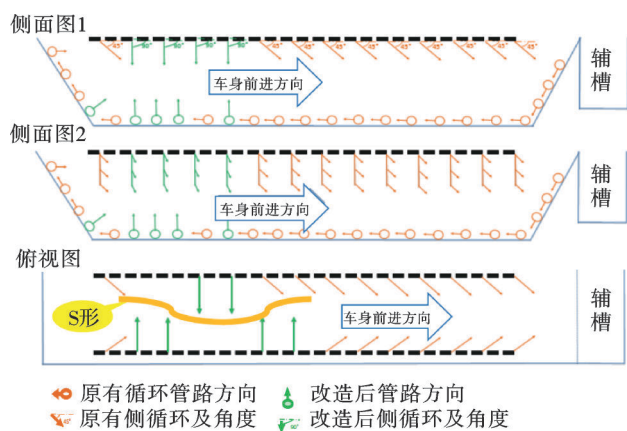


图 3 电泳喷嘴循环改进前后对比

2.7.2 调整电泳底部喷嘴循环

如图 3 所示, 通过将电泳底部喷嘴方向从水平改为垂直向上, 并且通过延长喷嘴长度来覆盖整个一段、二段、三段电压区, 从而利用循环液流冲刷后盖气泡聚集区域, 减少车身气泡残留。

2.7.3 优化尾门电泳入槽姿态角度

第一, 测试验证皮卡车型后栏板的不同入槽角度 (15°、30°) 对于后栏板表面气泡缩孔的影响; 第二, 测试验证翻盖尾门车型不同入槽角度 (7°、30°及 80°) 对

于翻盖尾门表面气泡缩孔的影响。

2.8 检查结果

通过表 3 可知, 通过改造电泳侧面、底部循环及车身电泳入槽姿态 (皮卡后栏板保持入槽角度 15°、翻盖尾门保持入槽角度 7°), 大大降低了皮卡后栏板外表面、翻盖尾门内表面的气泡缩孔问题, 相较于改善前气泡缩孔数量与缩孔深浅程度均降低了 70% 以上, 在不影响整车内腔电泳的状态下, 保障了整车电泳漆膜的外观质量, 从而提升整车防腐性能。

表 3 改善成效

措施	成效
调整电泳侧面喷嘴循环	翻盖尾门、皮卡后栏板气泡缩孔数量减少 40%, 缩孔深浅程度减轻 40%, 但并未彻底消除气泡缩孔
调整电泳底部喷嘴循环	皮卡后栏板气泡缩孔数量减少 30%, 缩孔深浅程度减轻 20%, 翻盖尾门气泡缩孔无改善
优化尾门电泳入槽姿态角度	皮卡后栏板角度 30° 改变为小角度 15° 的姿态入槽, 可减轻皮卡后栏板表面气泡缩孔 20%; 翻盖尾门电泳入槽角度从 30° 改为 80° 验证, 尾门表面气泡缩孔改善 50%, 而从 30° 改为 7° 验证, 尾门表面气泡缩孔改善 70%

2.9 制定巩固措施

为进一步巩固所取得的成果, QC 小组采取 4 项措施来避免汽车尾门电泳气泡型缩孔问题再次发生。1) 定期倒槽检查电泳喷嘴循环的状态; 2) 尾门工装标准化设计图纸存档, 保证工装批量制作的一致性; 3) 制定尾门工装相关 PM (预防性维护), 确保工装问题损失为零的目标; 4) 将活动成果整理归档, 总结并编制《电泳气泡型缩孔问题解决报告》, 方便员工学习与参考。

2.10 总结和下一步打算

通过本次 QC 小组活动, 解决了汽车电泳过程中尾门的电泳气泡型缩孔问题, 提高了产品电泳涂装质量的可靠性; 成功摸索出了一套适合于涂装电泳质量问题的解决方法, 为后续进一步优化产品电泳质量提供了参考; 强化小组成员借助质量工具解决问题的能力, 使小组成员有效掌握质量工具的使用并大大提高团队凝聚力; 下一步, 针对其他电泳涂装问题分析。基于二八法则来分析现有电泳涂装的质量问题与频次, 可知: 车门流痕和尾门铰链针孔占有质量问题的 80% 以上。这两项缺陷的改善, 将作为下一阶段 QC 小组活动的关键方向。

至此, 基于 QC 小组法解决汽车尾门电泳气泡型缩孔问题的所有环节全部结束。

3 结语

本文基于 QC 小组活动深入研究了汽车电泳过程

中尾门的电泳气泡型缩孔问题,找到了根本原因并制定了相对应的措施,从而使整车电泳涂装质量得到了有效提升。通过实施效果可知,汽车尾门电泳气泡型缩孔问题已彻底解决,不仅提高了涂装车间一次性电泳涂装合格率,而且节省了缩孔问题打磨、修补的返工成本。此外,文中 QC 小组活动的案例实施可为其他类似问题的解决提供有效参考。

参考文献:

- [1] 姚欣,何金蓉,张发晖.车身油污对涂装电泳缩孔的影响研究[J].时代汽车,2020(10):14-15.
- [2] 巨景亮,张燕,肖德山,等.电泳气泡缩孔的成因及解决方案[J].汽车制造业,2021(6):22-24.
- [3] 施云飞,章健,周杰,等.汽车涂装中电泳油缩孔缺陷的原由及应对[J].上海涂料,2023(3):67-71.
- [4] 刘家威.浅谈汽车夹缝爆油电泳缩孔不良解决方案[J].现代涂料与涂装,2022(10):61-63.
- [5] 黄萍,罗秋.电泳油污缩孔缺陷原因分析及其控制方法研究[J].现代涂料与涂装,2017(11):34-36.
- [6] 卢海龙,于春毅,丁扬,等.轻卡驾驶室电泳缩孔问题原因分析及解决措施[J].现代涂料与涂装,2018(3):37-40.
- [7] 秦学谦,贾帅锋,李琦.浅谈电泳缩孔问题的分析与解决经验[J].汽车实用技术,2019(21):193-195.
- [8] 孙颖,叶超,张正兵,等.车身电泳缩孔产生原因分析与防治[J].涂料工业,2021(1):84-88.
- [9] 鄢海新,王永升,王亚,等.翻浸式电泳车身轨迹与气泡型缩孔成因研究[J].现代涂料与涂装,2023(9):9-13.
- [10] 孙俊杰,邓超,蒋庆涛,等.电泳漆膜气泡型缩孔原因分析与解决措施[J].现代涂料与涂装,2021(11):52-55.
- [11] 蒋胜兰.QC小组活动在生产制造过程中的应用[J].仪器仪表用户,2019(7):80-83.
- [12] 于昌龙,何新科,于慧芹,等.基于创新型QC小组活动的新型光纤电流互感器研制[J].质量与可靠性,2017(5):62-66.
- [13] 潘亮,邹庆,刘倩.基于创新型QC小组活动的新型高效液氧甲烷喷注器研制[J].质量与可靠性,2018(3):63-66.
- [14] 王占富,王姣晶,王秉,等.基于QC小组活动的飞机产品全生命周期设计[J].飞机设计,2022(3):73-76. ◆

(上接第36页)

$P=0.023$,表明使用600#砂纸、400#砂纸处理漆面故障的时间相差较大,影响生产线的使用。因此现场摒弃使用400#砂纸,改用600#砂纸,并将此项举措落实到现场相关工艺文件。

3.3 效果验证

以上措施全部实施后,持续半个月过车验证,故障未再出现,说明对策有效。

鉴于以上,特制定以下永久措施彻底解决问题:

中涂打磨砂纸型号固化至作业指导书,作业人员每日在开班前进行确认并进行点检记录;区班长等管理人员,需要对作业人员确认结果及砂纸型号是否相符再次确认;点补中涂漆黏度控制:将点补中涂漆的黏度检测增加至油漆点检记录里面,每班次生产前,按照标准进行点检、记录。

4 结语

随着社会的发展和人们对生活质量和个性化的不断追求,汽车油漆的颜色、类型和施工工艺也不断得到更新和发展,新的漆面故障模式可能随之而来。

本文对新能源车型新颜色故障的原因从打磨和喷涂过程中的人、机、料、法、环进行全面分析,并借助6-Sigma中的相应技术手段,快速有效地判定关键因子,根据关键因子进行机理分析:漆面暗疤本质是由于铝

粉在不同温度时表面排列上的差异,烘干后使光源反射角度和反射强度存在差异而致,据此推导出反应机理。本文对关键影响因子逐一制定、落实对策,最终解决了问题的发生。

新颜色故障及解决是一个充满挑战和机遇的研究领域,只有把握住各类故障发生的本质和机理,进行原因排查并制定相应的措施,才能逐一解决。

参考文献:

- [1] 王锡春.汽车涂装工艺技术[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 王晋海,窦明.颜色管理的标准化[J].现代涂料与涂装,2005(1):50-52. ◆

