

一次车门窗框电泳流挂的排查与解决

龚超, 耿澜, 张文浩, 王兆国, 秦正勇

(上海汽车集团股份有限公司乘用车福建分公司, 福建 宁德 352100)

摘要: 电泳流挂一直是涂装工艺中的一大难题, 而车门窗框因为结构复杂、缝隙多, 已成为电泳流挂问题的重灾区。本文描述了一次车门窗框电泳流挂问题的排查和解决过程。通过锁定流挂源头、排查电泳参数、窗框间隙及内腔排水路径的影响, 最终确定导致该问题的根本原因是窗框内腔的排水路径被堵塞。同时该问题也反映了设计部门对窗框排水路径设计要求的缺失, 为其查缺补漏。希望该案例的排查及措施验证过程能为同行工作者提供借鉴参考作用。

关键词: 电泳; 流挂; 窗框; 排水路径

中图分类号: TQ639

文献标志码: A

文章编号: 1007-9548(2025)07-0065-04

Investigation and Solution of Electrophoretic Flow Mark on Window Frame of Automobile Door

GONG Chao, GENG Lan, ZHANG Wen-hao, WANG Zhao-guo, QIN Zheng-yong

(Shanghai Automotive Group Co., Ltd., Passenger Car Fujian Branch, Ningde 352100, Fujian, China)

Abstract: Electrophoretic flow hanging is always a big problem in painting process, and the door window frame has become a serious area of electrophoretic flow hanging problem because of its complex structure and many gaps. This paper introduced the investigation and solution process of electrophoretic flow mark on window frame of automobile door. Firstly, locked the source of the flow mark, investigated the influence of electrophoretic parameters, window frame clearance and inner cavity drainage path. Finally, it was determined that the drainage path in the window frame has been blocked. At the same time, this problem also reflected the design department's lack of design requirements for the drainage path of the window frame. It is hoped that the investigation and measure verification process of this case can provide reference for other workers.

Key words: electrophoretic painting; flow mark; window frame; drainage path.

0 引言

伴随中国经济的快速崛起与汽车产业的跨越式发展, 我国汽车产销量已连续 14 年位居全球首位。国家统计局数据显示, 2023 年末全国民用汽车保有量突破 3.3 亿辆, 汽车消费升级趋势显著。在此背景下, 消费者对汽车品质的期待呈现多维度的提升: 动力总成效率、主被动安全系统、智能座舱配置等核心指标持续优化的同时, 车身涂装质量作为车辆“第一视觉语言”的重要性日益凸显。现代汽车涂装已突破传统防腐保护功

能, 逐步发展为融合材料工程、色彩美学与表面处理技术的复合型学科领域。

车身防腐性能作为衡量汽车制造水平的关键指标, 直接影响产品的市场竞争力与品牌口碑。防腐性能与车身寿命密切关联, 不仅是使用者关注的重点, 更是各主机厂的重要管控指标^[1]。电泳涂装作为车身防腐体系的核心工艺, 其质量稳定性直接决定涂层附着力、膜厚均一性等关键参数。然而在实际生产过程中, 受设备参数波动、前处理残留、槽液稳定性等多因素耦合影响, 缩孔、针孔、条印等涂层缺陷^[2]仍持续发生, 其中电泳流挂缺陷因其复杂的形成机理成为行业共性难题。

电泳流挂也称为电泳流痕或二次流痕, 是电泳涂

收稿日期: 2024-03-04

作者简介: 龚超(1989—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事汽车涂装应用与问题解决工作。E-mail: 40186734@qq.com。

装过程中最为常见的一种质量缺陷,也是各主机厂涂装车间难以避免的一道难题。其本质是电泳湿膜在固化前的重力驱动流动现象,具体表现为车身竖直面或内腔结构处的漆膜堆积,该缺陷在窗框、车门铰链等复杂几何部位尤为显著。本文针对某一特定车型的车门窗框电泳流挂问题,经过对流挂源头、电泳参数、窗框间隙、内部排水路线等多种因素的探讨,最后圆满解决。期待这一实例能对汽车涂装过程中出现的电泳问题提供预防和管控的新方法和借鉴案例。

1 现状

1.1 问题背景

在某涂装车间的电打班组日常质量检查中,技术人员发现某款车型的右后门内板存在明显的漆面流挂缺陷。通过系统性缺陷跟踪与分析,发现该流挂现象具有明显的规律性特征:流挂位置始终固定在窗框与右后门结合部位,且流挂起始点均位于该结合部位的特定区域,如图1所示。在问题初期,缺陷发生频率相对较低,平均每天出现1台次;但随着生产持续推进,缺陷发生频次呈现明显上升趋势,最高峰时单日缺陷发生量可达20台次。

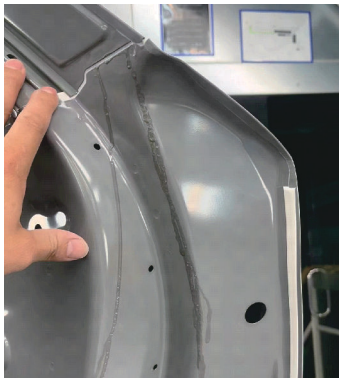


图1 电泳车身右后门内板流挂

该质量缺陷具有较大的影响范围,每台出现流挂的车辆均需下线进行专项返修处理。根据生产数据统计,单台车辆的返修工时平均需要20 min,这不仅显著增加了打磨班组的工作负荷,还直接影响了生产线的正常运行节拍。更为严重的是,由于该流挂缺陷无法通过面漆喷涂进行有效遮盖,必须在喷漆工序前对缺陷部位进行打磨处理。虽然返修过程中会补喷电泳修补漆,但经试验验证,这种处理方式仍会对车体整体的防腐性能造成一定程度的不利影响。

鉴于该质量问题已对生产效率、产品质量和防腐性能等多个关键指标造成严重影响,且存在进一步恶化的趋势,必须立即采取有效措施进行根本性解决,以确保产品质量的稳定性和生产系统的顺畅运行。

1.2 电泳工艺流程

该涂装车间的前处理电泳工序采用摆杆运输系统,具体包含以下关键环节:首先进行手工预清理工序,对车身表面进行初步处理;随后进入热水洗阶段,通过温度控制实现更好的清洗效果。接下来依次经过预脱脂和主脱脂工序,有效去除车身表面的油脂污染物。为确保清洗质量,设置了3道水洗工序(第1、2、3水洗),采用递进式清洗方式。之后进入硅烷处理工序,这是提升涂层附着力的关键步骤。为彻底清除硅烷处理后的残留物,又设置了第4、5、6三道水洗工序,确保车身表面洁净度。随后进入沥干工序,为后续电泳工艺做好准备。

电泳工序完成后,依次经过UF1、UF2、UF3三道超滤水洗,并配合纯水喷淋和纯水浸洗工序,实现电泳漆膜的充分清洗。最后,车身进入桥式烘房进行电泳烘干,完成整个前处理电泳工艺流程。

2 原因排查

2.1 流挂源头锁定

该款车型的车门采用分体式,由车门门框组件和车门内外板组件两部分拼焊而成,其中窗框属于外制件,车门内外板为自制件。此次电泳流挂的起始点均位于右后门窗框和门内板的拼接处,为了锁定流挂源头,笔者对流挂件与正常件进行了解剖对比。

如图2所示,上图为流挂件窗框的解剖图,相较于下图(正常件)可以看出,流挂件在窗框的下边缘,也就是窗框与门内板的拼接处(图中红框区域)有明显的电泳积液残留痕迹,同时车门内板解剖后未看见积液情况,因此可以锁定该流挂的源头位于窗框上,电泳过程中窗框内板积液,在烘烤过程中,积液慢慢从窗框下边缘流出至门内板而最终形成该缺陷,如图3所示。



图2 右后门窗框流挂件与正常件解剖图

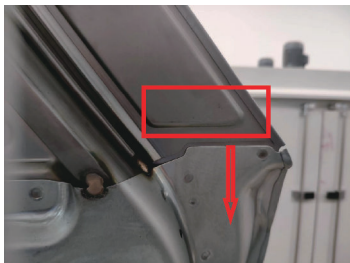


图3 右后门内板流挂形成示意

2.2 电泳参数

前文确定了电泳流挂的源头是来自车门窗框兜液,为了寻找兜液的原因,笔者先对电泳参数进行了排查。电泳槽液参数检测数据详见表1,所有参数均在控制计划范围内,未见异常。

表1 电泳槽液参数检测数据

项目	参数范围	检查结果	判定
固体含量/%	22±1	21.14	OK
灰份/%	19±2	19.20	OK
pH	6.1±0.6	6.13	OK
电导率/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	1 800±500	1 354	OK
MEQ 值(中和当量)	25±3	23.90	OK
溶剂含量/%	0.2~1.0	0.529	OK
泳透力(G/A)/%	≥50	58.50	OK

笔者随后对比了各车型电泳电压设置值,如表2所列。

表2 各车型电泳施工电压设定范围对比

车型	车型 A	车型 B	车型 C	车型 D
电压设定范围/V	90~300	90~290	90~300	90~320

比较各车型的电泳施工电压范围,可以得出这样的结论:车型A(问题车型)的电压范围介于车型B和车型D中间而与车型C相同,属于正常水平,无明显异常情况。

通过上述电泳槽液参数和施工电压的排查,可以看出电泳参数不是导致窗框流挂要因。

2.3 窗框单件间隙

通常电泳流挂产生的原因是水性电泳漆与经过清洗的板材有很强的浸润性,当板材间隙适当时,电泳漆在表面张力的驱动下会往板材缝隙里面聚集,而后续的超滤液、纯水清洗均无法将积液完全清洗干净。在电泳漆烘干过程中,车体温度和积液温度都会急剧上升致使液体表面张力迅速降低,致使积液会渐渐从夹缝中流出最终形成流挂^[9]。因此笔者接着对窗框间隙进

行了分析、排查。从图3的积液位置可以推测出,要形成该处积液主要有两个途径,一是从窗框下边缘的间隙浸入(见图4①);二是从窗框右侧的包边浸入(见图4②)。



图4 窗框积液可能浸入途径

通过对单件下边缘的间隙进行批量测量后发现,下边缘间隙从0.10~0.30 mm不等,因为前期设计时并未对该处间隙做出明确要求。为了验证下边缘间隙的影响,笔者协调窗框供应商制作了一批下边缘间隙均在0.15 mm以内的试验件,但试验件批量到达现场后,该流挂问题并未得到解决,且频次也未见降低。

接着为了验证是否因包边未压实而导致电泳液浸入,笔者对窗框右侧包边的间隙进行研究。通过测量发现窗框的包边间隙在0.05~0.15 mm范围内波动,与其余车型的窗框间隙无明显差异。为了排除该项影响,笔者同样协调窗框供应商制作了一批包边间隙在0.10 mm以内的试验件。但当试验件抵达现场测试后,该流挂问题还是未得到解决。

2.4 窗框内侧排水路径

面对此次流挂问题,笔者前期还是按照流挂产生的惯性思维去解决,认为积液就是从产生部位周围的夹缝浸入。但对流挂缺陷再次分析后发现,该缺陷不同于以往的普通流挂问题,普通电泳流挂也被称为电泳流痕,形成的缺陷与水痕类似,薄薄的一层,仅在流挂末尾处有可能形成水滴状结块。而此次流挂缺陷痕迹要明显更严重,流挂很厚多且能看见有许多电泳小结块在缺陷流淌途径上,这都说明此次电泳积液的体积要明显大于以往普通流挂,如果只是从夹缝浸入无法达到这个体积。此次流挂问题更像是窗框内侧积液无法被顺利排除而导致的。

按照上述思路,笔者对窗框进行了注水试验(如图5所示),从窗框上部的①或②处注水,正常件水流能从下部③处被顺利排出,但该流挂件在测试时,水却无法从窗框下部③处排出,而是直接将窗框内腔完全注满。因此,笔者认为窗框内部的排水路径被堵塞,导致电泳时窗框内腔聚集大量电泳液,在烘烤过程中积液沸腾且表面张力骤降,积液通过窗框下边缘间隙流

淌至门内板,最终形成电泳流挂缺陷。

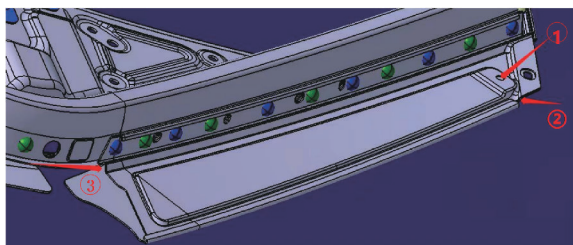


图5 窗框注水试验

3 措施验证

通过以上分析,笔者认为窗框内部的排水路径被堵塞是导致窗框电泳流挂的根本原因。随即联系了窗框供应商和设计部门查阅图纸,发现图纸上并未对窗框的排水路径进行要求,设计部门和供应商均未考虑到窗框内腔的排水需求,导致生产过程中图6红色区域内外板完全贴合,阻碍排水。

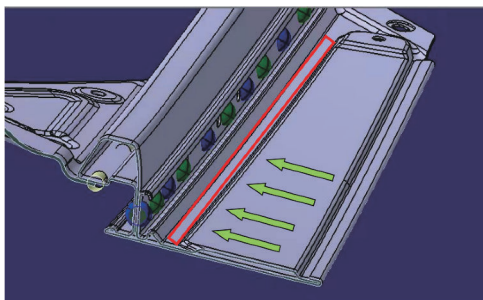


图6 窗框整改验证

为深入探究窗框内腔排水路径对电泳流挂问题的影响机理,笔者牵头组建了由设计部门、工艺部门和供应商共同参与的技术攻关团队,针对窗框内外板间隙进行了系统性整改验证。如图6所示,整改方案重点聚焦于窗框结构的优化设计:通过对红色区域的内板成型模具进行调整、修饰,适度增大内外板之间的间隙尺寸,从而构建出更加合理的液体导流通道。改进后的结构设计使得电泳漆液能够沿着绿色箭头指示的方向顺畅流入空腔,并最终有效导出。

为确保整改方案的有效性和可靠性,团队制定了严格的验证计划。当首批整改验证件完成制作并送达生产现场后,经过连续跟踪观察,流挂问题得到了显著改善。为进一步验证整改效果的稳定性,团队进行了为期1个多月、覆盖1万余台车辆的大规模生产验证。在此期间,未再出现任何流挂缺陷,产品合格率保持在100%,充分证明了整改方案的有效性。

此次技术攻关不仅成功解决了长期困扰生产的流挂问题,更为重要的是建立了一套完整的窗框结构设

计规范,为后续新车型开发提供了宝贵的技术积累。同时,这一案例也充分展示了跨部门协作在解决复杂工艺问题中的重要作用,为类似质量问题的解决提供了可借鉴的范例。

4 结语

在车身结构中,窗框因其复杂的几何造型和众多的夹缝设计,已成为电泳涂装过程中流挂缺陷最为频发的重点部位。通过对主机厂供应链体系的深入分析发现,分体式车门的窗框组件通常采用外协采购模式。这种供应模式在质量控制上往往更侧重于零部件的外观质量和尺寸精度等显性指标,而对涂装工艺性这一隐性指标的关注度相对不足。特别是在产品设计开发阶段,未能充分考虑窗框结构对电泳涂装工艺的影响,这直接导致了当前流挂问题的产生。此次质量问题的解决过程为后续产品开发提供了宝贵的经验。通过与设计部门的深入沟通和技术对接,双方已就窗框结构优化达成重要共识:首先,将窗框的排水路径设计纳入新车型开发的关键考量因素,确保电泳漆液能够顺畅排出;其次,针对窗框夹缝间隙制定明确的工艺标准,建立可量化的管控指标。这些改进措施将为涂装车间的流挂问题预防提供可靠的技术支撑,同时也体现了设计部门与制造部门协同创新的重要性,为提升整车制造质量奠定了坚实基础。

本文系统性地阐述了某特定车型车门窗框电泳流挂问题的排查与解决过程,虽然案例具有特定性,但其方法论和解决思路具有普遍的参考价值。对于汽车制造行业的同行工作者而言,在面对其他车型出现的类似车门窗框电泳流挂问题时,可以有所借鉴。首先,建立跨部门协同工作机制,联合设计部门、工艺部门、质量部门以及供应商组成专项攻关团队。通过多维度、多视角的协同分析,全面梳理问题产生的潜在因素。其次,采用系统化的排查方法,从产品设计、工艺参数、设备状态、材料特性等多个维度进行逐项分析,建立完整的故障树,确保不遗漏任何可能的因素。希望本文的案例分析和解决思路能够为同行工作者在处理类似电泳流挂问题时提供有益的借鉴,共同推动汽车涂装工艺水平的提升,为行业高质量发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 郑琳.车身结构防腐设计的研究[J].中国战略新兴产业,2020(28):164.
- [2] 曹治,贾帅锋,李琦.浅谈电泳针孔、缩孔缺陷的排查解决方法[J].现代涂料与涂装,2021(10):55-58.
- [3] 李梁,王磊.车身电泳流痕产生原因分析与防治[J].涂料工业,2020(4):76-80.