

浅析汽车喷涂漆膜点状缺陷解决方法

李明, 钟明强, 邓俊杰, 郭江华, 杨路, 胡建鑫

(广汽乘用车有限公司宜昌分公司, 湖北 宜昌 443007)

摘要: 在汽车喷涂过程中, 漆面缺陷主要分为环境因素和工艺因素两大类, 而工艺类漆面缺陷则受到喷涂设备、施工工艺和涂料特性等多方面因素的影响, 导致问题原因排查和验证过程较为复杂。本文通过对以往漆面点状缺陷问题排查及对策验证过程进行梳理, 总结出一套系统化解决方法, 旨在提高问题解决效率, 并供同行参考。

关键词: 漆膜漆点; 喷涂设备; 清洗程序; 涂料特性

中图分类号: TQ639.2 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2025)03-0048-04

Study on Paint Spot of Problem-solving Approach in Spraying Coating

LI Ming, ZHONG Ming-giang, DENG Jun-jie, GUO Jiang-hua, YANG Lu, HU Jian-xin

(GAC Motor Company Limited Yichang Branch, Yichang 443007, Hubei, China)

Abstract: In the process of automobile spraying, paint defects can be mainly divided into two categories: environmental factors and process factors. While process paint defects are affected by spraying equipment, construction process, coating characteristics and other factors, resulting in a more complex process of problem investigation and verification. Through the sorting out of the previous paint spot problem investigation and countermeasure verification process, this paper summarizes a set of systematic solutions, aiming to improve the efficiency of problem solving and provide reference for the peer.

Key words: paint spot; spraying equipment; cleaning procedure; coating characteristics

0 引言

随着汽车涂装材料、设备和工艺的进步, 在满足防锈、防腐机能的前提下, 车身漆面颜色也由传统的黑、白色逐步发展到彰显个性的多元化颜色, 颜色的多样化对设备喷涂的稳定性和换色清洗的能力提出了更高要求。

涂料中的颜料成分也由传统的钛白粉、炭黑延伸到珠光颜料、铝粉等, 这些高硬度质地的颜料粒子在雾化喷涂过程中会加快设备磨损、老化, 因此对喷涂设备的损耗部件的耐磨性能要求更高。涂料中颜料粒子的演变对喷涂换色清洗时清洗溶剂对颜料粒子的清洗能力带来巨大挑战, 清洗溶剂对涂料中颜料粒子的清洗兼容性要更强。换色时若清洗不干净, 则会导致溶剂残

留, 喷涂时嵌入涂料中, 由于涂料与清洗溶剂存在表面张力差异, 涂料无法浸润溶剂, 烘干后溶剂挥发, 漆膜形成带“凹坑”的点状缺陷^[1]。杨东等^[2]对点状缺陷中的缩孔形成原因按发生涂层进行系统分析, 主要涉及电泳槽液除油滤袋、机器人袖套掉落、作业人员带入等。此外, 涂料中颜填料种类丰富, 对喷涂雾化能量提出了更高要求, 若雾化能量不足则涂料颗粒粒径大, 分散不均一, 漆膜形成“凸点”。杨广成^[3]研究发现, 水性涂料雾化对雾化空气压力要求更高, 但是雾化空气压力变大会产生漆雾反弹现象, 造成涂料浪费, 同时污染喷涂环境。

本文针对公司涂装车间导入新车型、新颜色时, 对喷涂产生的漆面点状缺陷进行分析与验证, 深入探究了雾化器设备、喷涂轨迹和涂料特性对喷涂点状缺陷形成的影响, 全面梳理了设备、工艺和涂料匹配异常, 产生漆面点状缺陷的原因和对策措施, 为同行解决漆面该类问题提供参考。

收稿日期: 2024-01-13

作者简介: 李明(1991—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事汽车表面涂装工艺工作。E-mail: m15071021446@163.com。

1 喷涂漆膜点状缺陷现状

1.1 漆膜点状缺陷产生现象

漆膜点状缺陷作为常见汽车漆膜缺陷不良,通常表现为凹点或凸点。即喷涂过程中涂料中混入某些物质,在烘烤过程中挥发掉形成凹坑,亦或是涂料雾化分散不均,流动性能差,烘干后形成凸起。两种不同漆膜漆点缺陷微观形态见图1所示。

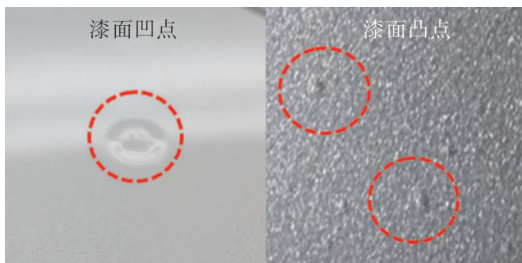


图1 漆膜漆点缺陷微观形态(放大50倍)

1.2 漆膜点状缺陷产生原理

根据漆膜缺陷产生现象不同,其发生原理也分为两类^[4-6]:1)喷涂机器人雾化器残留清洗溶剂未吹干,混入涂料中被喷涂到车身,由于溶剂挥发温度低,烘烤时蒸发导致烘干后漆膜形成凹坑,即为缩孔;2)由于涂料特性或设备异常,喷涂涂料雾化不充分形成大小不一的漆团,涂料中溶剂在雾化时挥发导致分散的涂料粒子流平性能差,烘干后形成漆膜凸起的漆点。

2 喷涂点状缺陷产生原因

2.1 喷涂设备异常

涂料喷涂原理是涂料通过机器人本体进入雾化器最终到达旋杯,在旋杯高速旋转下,涂料被切割成细丝,甩出后形成漆雾,最后通过旋杯外围成型空气流量大小来控制漆雾扇面的大小,雾化的涂料通过负高压形成带负电的粒子与接地带正电的车身形成相互引力,最终雾化的涂料粒子被吸附在车身工件表面,赋予车身绚丽的色彩^[7]。

基于喷涂设备原理,喷涂过程中漆膜漆点缺陷产生原因主要为:1)喷涂旋杯飞溅盘脱落或者旋杯边缘分散涂料锯齿被磨损,导致涂料雾化分散不均,产生涂料粒子雾化不良;2)成型罩边缘破损,在喷涂清洗过程中残留溶剂,喷涂时溶剂随雾化的涂料粒子一同被涂覆到车身,烘干后溶剂挥发形成漆膜漆点缺陷;3)换色阀阀体长时间运转磨损,导致阀体漏液,喷涂时混入其他颜色涂料,使得漆膜烘干后产生异色漆点缺陷;4)清洗气封模块气孔被涂料堵塞,溶剂无法及时吹干,雾化器再次喷涂时受重力流到高速旋转的旋杯上被甩出飞溅到车身,漆膜烘干后产生凹陷的漆点缺陷;5)隔

离管清洗不净或起毛残留清洗溶剂,喷涂时产生电流超过阈值,导致高压报警,旋杯转速抱闸下降,涂料粒子分散不均匀产生漆点缺陷。

2.2 喷涂轨迹、参数设计不合理

喷涂轨迹作为机器人实现自动化喷涂的关键要素,在轨迹、参数设计中需考虑机械硬件的设备稳定运行的基础参数赋值和耐久极限寿命,两者间的平衡对喷涂稳定起着至关重要的作用。喷涂轨迹设计的基础参数主要有:喷涂枪速、枪距(旋杯离工件表面距离)、折距(两段平行轨迹的间距)和静电高压值,这些因素主要影响喷涂上漆率。另一方面,耐久极限寿命主要为设备硬件的固有特性,如换色阀、喷枪阀的动作时间、磨损状态。

喷涂轨迹、参数设计不合理产生漆膜漆点缺陷的原因也不是单一因素造成的,而是多方面因素综合产生。该缺陷产生的主要原因分为以下3类:1)喷涂枪速与轨迹中开、关枪设置匹配性不足,即轨迹中开、关枪指令设定距离过短,未考虑喷涂阀体动作时间导致涂料憋压喷涂时分散不充分,涂料粒子雾化粒径不均一产生漆点;2)喷枪阀体长期动作磨损与喷涂轨迹中开枪延迟设定参数匹配性差,即喷枪阀体磨损后,动作时间变长使得开枪滞后涂料憋压,喷涂产生雾化不良;3)喷涂旋杯转速与涂料特性不匹配,导致涂料雾化粒子不均一,流平性能差,烘干后漆膜产生凸起的漆点缺陷。

2.3 清洗程序与涂料特性匹配不足

由于涂料喷涂过程中涉及颜色切换,因此喷涂系统的管路清洗就必不可少。喷涂系统清洗程序设定差异主要取决于涂料被清除的难易程度。涂料按颜填料种类可划分为3类:素色漆、铝粉漆和珠光漆,其中素色漆以钛白粉为颜填料的象牙白为代表,金属漆以铝粉和色浆为颜填料的赤焰红为典型,珠光漆以珠光粉为颜填料的珍珠白为例,针对不同颜色的涂料属性,喷涂系统的清洗程序存在差异。因此,清洗程序与涂料特性匹配性不足就会造成喷涂系统清洗不净,换色后涂料不兼容产生漆膜异色或凹陷的漆点缺陷。

一般情况下,由于素色漆固体分含量较高(40%~60%),喷涂过程中产生的过喷漆雾对清洗溶剂的吸纳能力较强,溶剂冲洗量不足易造成冲洗不净,在成型罩或旋杯上残留,换色后混入下一个喷涂颜色形成异色漆点缺陷。另一方面,铝粉漆中若含有红色色浆或珠光漆中的珠光粉,这些成分对涂料管壁吸附能力强,清洗溶剂冲洗量大,若清洗后压缩空气吹扫时间不足使得溶剂残留,在喷涂过程中混入涂料中,烘干后溶剂挥发形成漆膜凹陷的漆点缺陷。

3 喷涂点状缺陷解决对策

3.1 喷涂关键设备保证措施

喷涂系统的关键设备主要有旋杯、雾化器、换色阀、清洗机 and 隔离管。

旋杯的保证措施:1)异常识别方法。旋杯简易检测方法见图 2,从旋杯涂料入口强光照射,观察旋杯出口飞溅盘小孔透光强度,飞溅盘受涂料磨损导致脱落或飞溅盘出漆孔变大,因此异常旋杯透光性强。生产结束后清洗旋杯,使用灯光照射方法进行检查,可以有效避免因飞溅盘异常造成喷涂雾化不良产生的漆点问题。2)旋杯清洁保证。旋杯清洁主要目的是确保涂料通道和飞溅盘不发生积漆结垢现象,导致旋杯堵塞。本文使用 QV-V 水性清洗溶剂与纯水配比 1:9(体积比)的标准清洗溶液对旋杯进行清洗,验证超声波清洗频率和清洗时间对旋杯清洗效果的影响,结果见表 1。通过目视检查旋杯洁净度得出超声波最佳频率为 40 Hz,清洗时间为 1 h。



图 2 旋杯快速检查飞溅盘异常方法

表 1 超声波清洗频率和清洗时间对旋杯清洗效果影响

频率/Hz	清洗时间/h			
	0.5	1.0	1.5	2.0
30	不合格	不合格	不合格	不合格
40	不合格	合格	合格	合格
50	不合格	合格	合格	合格

雾化器保证措施:1)顶针清洁保证,定频(1次/周)进行主顶针保养,避免涂料结皮成渣堵塞,喷涂时憋压产生雾化不良;2)成型罩完整度保证,每班排查成型罩是否有磕碰外伤,避免外伤部位兜藏清洗溶液,喷涂滴落在车身。

换色阀保证措施:1)卡阀串色风险预防,涂料管路系统清洗完成后,投料循环 48 h 后对换色阀进行拆除清洗,并在涂料管路系统枪站供管安装过滤网(规格 150 μm)进行漆渣拦截;2)阀体磨损关闭不严串色风险预防,定期(1次/周)对喷涂机器人进行流量标定,实际值与标定设定值误差范围±5%以内。

清洗机保证措施:1)清洗机叶轮溶剂、空气孔通畅性保证,定频(1次/月)对清洗机叶轮孔进行漆渣清理;2)清洗机气封模块密封性保证,定频对气封模块气

孔进行疏通,特别是双组分清漆易固化堵塞气孔,导致清洗过程密封不严、溶剂飞溅,气孔疏通完成后进行清洗测试目视确认成型罩洁净度。

3.2 喷涂轨迹、参数匹配性优化

喷涂轨迹设计与阀体动作匹配主要体现在两方面:1)喷涂轨迹中开、关枪设置距离运行时间要大于阀体动作时间,即喷涂轨迹的运行速度与阀体开、关动作时间的乘积为喷涂轨迹中开、关枪设置的最短距离;2)喷涂开枪提前时间设定值与开枪阀动作时间匹配,即提前开枪时间设定值需考虑阀体长期使用开、关时间变长的影响,并定期进行开枪阀体动作时间测算,对提前时间设定值进行调整。

喷涂参数与涂料特性匹配主要表现为喷涂参数设定对涂料雾化效果的影响,其中雾化器的旋杯转速对涂料分散效果尤为关键。本文通过选取素色漆(象牙白)、铝粉漆(皓月灰)进行喷涂测试,探究不同涂料特性喷涂时旋杯转速对雾化效果的影响,结果见表 2。

表 2 喷涂旋杯转速对涂料雾化效果的影响

涂料类别	旋杯转速/(kr·min ⁻¹)				
	25	30	40	50	60
素色漆(象牙白)	漆点	良好	良好	良好	良好
铝粉漆(皓月灰)	漆点	漆点	良好	良好	良好

由表 2 可知,素色漆喷涂旋杯转速设定值必须 ≥ 30 kr/min,铝粉漆旋杯转速设定值必须 ≥ 40 kr/min,才能保证涂料雾化分散均匀,避免雾化不良产生漆点不良。此外,铝粉漆喷涂转速要求高于素色漆,其主要原因是铝粉漆中含有大量的铝粉颜料,雾化能量过低,会导致铝粉团聚,无法分散,形成漆点不良,而素色漆中颜料为非金属材料,雾化分散后流平效果优于铝粉漆。

3.3 清洗程序与涂料特性匹配优化

清洗程序主要是针对喷涂雾化系统进行清洗,喷涂机器人的清洗顺序分别为隔离管、计量泵、旋杯和成型罩,清洗方法为清洗溶剂与压缩空气交替清洗方式。通常,涂料固体分含量越高,压缩空气和清洗溶剂消耗量越大,因此清洗耗时越长。此外,涂料中的特殊颜料,例如珠光粉、红色色浆、消光粉等对涂料管壁黏附性强,清洗耗时也会长于同体系不含此类组分的涂料。本文针对不同固体分含量清漆进行清洗测试,探究涂料固体分含量对机器人清洗程序执行时间的影响,结果见表 3。

由表 3 可知,在保证机器人管路清洗干净的前提下,无论是同色清洗还是换色清洗,涂料固体分含量越

高,清洗难度越大,清洗程序执行耗时越长,且同色清洗时间小于换色清洗时间。此外,在固体分含量相当的前提下,亚光清漆清洗难度大于高光清漆,原因是亚光清漆中含有 7%~10%的消光粉,对管壁的附着力强,需要更多的清洗溶剂进行冲刷,才能保证管路清洗干净。

表 3 不同固体分含量涂料对清洗时间的影响

涂料类别	固体分含量/%	同色清洗/s	换色清洗/s
关西高光清漆	25	17.5	21
PPG 高光清漆	20	16	23
PPG 亚光清漆	23	21	26
关西亚光清漆	26	22.5	29

4 结语

本文从设备、工艺和涂料 3 方面总结了喷涂点状缺陷产生原因和对策措施,得出如下结论:1)设备硬件老化造成漆膜漆点缺陷主要有阀体磨损与设备基础参数不匹配,导致喷涂时涂料管路憋压,进而影响涂料雾化效果;旋杯异常,飞溅盘磨损导致雾化效果变差;清洗气机孔堵塞导致清洗后溶剂未吹干残留,喷涂时滴落车身;2)喷涂轨迹、参数方面主要是喷涂轨迹移动枪

速与开、关枪设置的匹配性,以及喷涂旋杯转速与涂料特性匹配性;3)清洗程序方面主要考虑涂料特性中固体分含量、颜料属性等对喷涂系统清洗后洁净度、干燥性的影响。

参考文献:

- [1] 吴文娇.汽车涂装漆膜缺陷分析[J].现代涂料与涂装,2024,27(1):60-63.
- [2] 杨广成.浅析自动静电喷涂设备在油改水使用过程中常见问题[J].现代涂料与涂装,2023,26(11):41-44.
- [3] 杨东,冯娜.汽车涂装缩孔缺陷分析及改善[J].现代涂料与涂装,2023,26(7):34-36.
- [4] 刘磊,孙中乐,王兵.浅谈喷涂机器人工艺缺陷产生与处理方法[J].汽车实用技术,2019(21):182-185.
- [5] 王婷婷.汽车漆膜常见缺陷的防治和处理[J].汽车维修与修理,2022(23):66-69.
- [6] 罗云辉.汽车涂装常见的质量缺陷及其对策[J].时代农机,2018(3):77.
- [7] 唐松巍.静电旋杯喷涂的喷幅控制与色漆条纹问题[J].现代涂料与涂装,2023,26(5):65-68.

(上接第 40 页)涂程序编写时就会写入防碰撞程序。掌握防碰撞程序的设置原理及方法后,如何保证碰撞点设置有效且不遗漏十分关键。一般常用的经验方法为:1)需罗列当前站所有存在碰撞风险位置点和各自的机器人,不得遗漏;2)将这些碰撞风险点分别赋予防碰撞点编号;3)将所有防碰撞点分别写入各自机器人的主程序中,即在各子程序之间建立起防碰撞程序;4)通过 3D-OnSite 进行软件模拟,对存在很长时间等待、影响整个站的喷涂节拍的防碰撞点进行重新设置,将其激活点或解除点写在对应的子程序。

4.4 车身特征点的选取

针对不同的车型,在产品车车身上共选择至少 8 个特征点,车身两侧各至少 4 个点,并相对于 XZ 平面呈对称分布。选取特征点的数量越多,越有利于提高标定的精确性,但会增加操作时间,因此一般在单侧选取 4 个特征点。其次,相对于车身而言,单侧选取的特征点相互之间在车身坐标系的 X、Y、Z 轴方向中有较大的差异波动变化,同时这些点必须是车身上不易变动或者固定的点,例如前后翼子板上的工艺孔(方孔)、车身钣金上不易变形的、白车身(除四门两盖)上棱角分明的点等。注意对所选取的点在实车和数模上是否存在差异,若形状或位置有差异,会影响标定精准性,需

选取实车和数模完全一致的特征点。

5 结语

油漆可制造性分析中发现的问题,既是新车型项目规划和实施过程中的绊脚石,也是不断实现数字化应用能力的助推器。优秀的可制造性分析不仅是成功地将产品设计实现为可被生产和制造的过程,其中可节约和避免的经济投入更应是每个规划人心中的一把尺。工时是否已经最小化?材料是否已经物尽其用?工艺布局是否最合理?实车生产过程中预判的问题是否真的被解决?是否还有漏网之鱼?一个提早的设想和改动是否避免了后期额外的投资和费用?回答和解决这些问题的过程,也是不断提高可制造性分析能力的过程。

参考文献:

- [1] 潘伟,杨春伟,史述龙,等.工时设计在新车型工程设计中的运用[J].现代涂料与涂装,2023(3):48-50.
- [2] 白靖,陈家俭.汽车涂装工艺可制造性分析[J].汽车实用技术,2019(14):174-176.
- [3] 郭宵宵,曹晓星,周杰,等.项目管理在车间新车型试制项目的应用[J].现代涂料与涂装,2022(9):61-63.
- [4] 简丹.浅谈汽车新车型的涂装工艺开发流程[J].现代涂料与涂装,2024(9):67-69.