

金属漆喷涂发花问题的原因及解决

牛丽涛, 杨行甲, 徐祥麟, 任全凯, 李书明, 闫海振, 许文彬
(双塔涂料科技有限公司, 河南 开封 475003)

摘要: 分析了金属漆机器人静电喷涂产生局部发花的原因, 并提出相应的解决措施, 为类似涂料涂装体系施工及质量控制提供参考。

关键词: 金属漆; 静电喷涂; 发花

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)04-0057-04

The Reason and Solution of the Problem of Metallic Paint Spray Color Floating

NIU Li-tao, YANG Xing-jia, XU Xiang-lin, REN Quan-kai, LI Shu-ming, YAN Hai-zhen, XU Wen-bin
(Shuangta Paint Technology Co., Ltd., Kaifeng 475003, Henan, China)

Abstract: This article introduces the causes of partial floating caused by electrostatic spraying of metal paint by robot, and puts forward the corresponding solutions, which can provide theoretical reference for the construction and quality control of similar coating system.

Key words: metallic paint; electrostatic spraying; color floating

0 引言

近年来汽车市场竞争日益激烈, 随着新工艺、新材料的不断涌现, 终端客户对车身外观的要求也越来越高。各主机厂为了满足客户个性化的需求, 越来越多地采用金属漆或珠光漆对车身进行装饰。金属漆或珠光漆中加入的铝粉、铜粉、珍珠粉等在光线的照射下, 会产生独特的闪烁效果, 使汽车外观更加亮丽夺目, 极大地提升了汽车的视觉吸引力和整体质感。这些绚丽多彩的金属漆或珠光漆又吸引了更多的消费者。除此之外, 它还具备出色的耐候性, 能够在各种恶劣的气候条件下保持稳定的性能, 如抵抗酸雨的侵蚀、紫外线的辐射、高低温环境的变化等, 延长汽车车身防腐年限, 减少因环境因素导致的腐蚀和老化现象, 为汽车提供长期可靠的保护。车身表面喷涂油漆的外观质量在一定程度上影响着消费者对车辆的选择, 在涂装现场过程中, 经常出现涂料表面局部颜色发花的情况, 从工艺品品质角度来看, 浮色发花现象暗示着涂装工艺存在缺

陷, 这会降低消费者对汽车制造工艺的信任度。汽车制造是一个高度精密的过程, 涂装工艺作为其中的重要环节, 直接关系到汽车的质量和耐久性。当出现浮色发花问题时, 消费者会自然而然地认为汽车在其他方面也可能存在质量隐患, 从而对汽车的整体品质产生担忧, 在客车行业因局部颜色与整体颜色明显的视觉差异, 导致整车返工或订单丢失的现象时有发生。而影响油漆色差的因素有很多, 与涂料颜色、施工环境的温湿度、喷涂方法、喷涂设备等因素都有很大的关系。本文就溶剂型金属漆在静电喷涂过程中产生色差的常见原因和主要影响因素进行分析, 并给出一些改善优化建议。

1 问题背景

国内某主机厂的驾驶室采用如图 1 所示的工艺过程进行驾驶室的喷涂, 整个过程采用机器人静电喷涂驾驶室的内外表面, 金属漆颜色喷涂采用一次成膜的施工工艺, 金属漆层干膜厚度在 25~30 μm 之间, 且生产节拍紧凑, 喷涂金属漆后车辆直接进入清漆喷涂室进行罩光清漆的喷涂施工。金属漆在实验室条件下多次验证油漆本身银粉排列较好, 不存在明显的发花现象, 但在客户现场使用的过程中车身经常会出现局部

收稿日期: 2024-07-17

作者简介: 牛丽涛(1990—), 男, 本科, 工程师, 主要从事汽车涂料的研发与应用工作。E-mail: 1170162143@qq.com。

发花的现象。结合现场的具体工艺,分析现场金属漆发花除了设备及施工工艺不合理还可能存在的原因有金属漆稀释剂挥发速率、流变助剂的种类和数量、以及施

工黏度和机器人仿形参数的不合理等,造成金属漆干燥不均、雾化不良和银粉排列定向不一致,进而造成闪光粉的堆积发花,引起视觉色差。

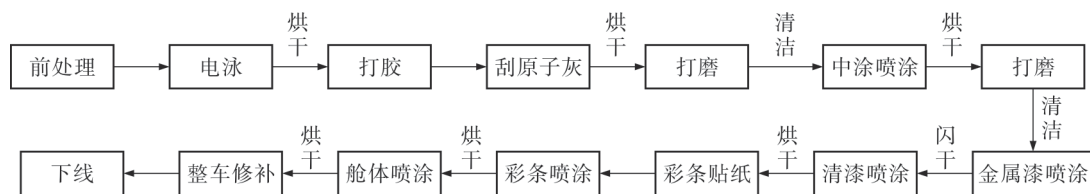


图1 驾驶室施工工艺

2 金属漆发花的主要影响因素

一般情况下,当机器人静电喷涂旋杯的转速在35 000~50 000 r/min时,产生的雾化颗粒小,雾化效果好,容易形成均匀光滑的漆膜,并能将铝粉或珠光粉均匀地排列在一起^[1]。但客户现场金属漆在喷涂施工过程中,由于生产线相对陈旧,生产节拍紧凑,并且金属漆采用一次成膜的施工工艺,不能保证漆膜均匀性,油漆雾化率低,金属漆膜的干燥时间短,造成铝粉或珠光粉的定向排列较差,使漆膜局部产生视觉色差。除了上面提到的设备、工艺问题,结合客户现场的情况,金属漆发花还由下面几种因素影响。

首先,溶剂型单组分金属漆涂膜干燥分为3个阶段^[2]:初始阶段,颜填料粒子自由运动及低沸点溶剂的挥发;干燥中期,由于物理或化学反应使涂料变得黏稠,颗粒运动受阻;最后阶段,由膜内向表面缓慢挥发的高沸点强溶剂进入周边环境。颜料粒子运动发生在初期干燥阶段,存在运动差异的颜料出现分离,密度大的颜料下沉,密度小的颜料上浮,使得漆膜表面出现浮色发花。到了中晚期,油漆黏度变高,色素颗粒运动受阻,浮色的现象不再变化,也没有定向排列的现象。

其次,膜厚过厚、膜厚不均匀容易出现溶剂挥发时间相差较长,使金属粉排列角度不一致,产生发花现象^[3]。目前客户一次成膜过厚的施工工艺造成了中后期漆膜中的溶剂无法形成有效的阶梯式挥发,从而导致机器人静电喷涂的金属漆到达车身表面时,油漆中的颜料浮色程度不一致,从而引起车身局部出现了不同程度的漆膜发花的外观效果。

再次,涂料中的定向助剂的种类及添加量对金属漆的发花有明显的影响。醋酸丁酸纤维素(CAB)对金属漆的干燥及银粉定向排列发挥着重要的作用;蜡类助剂能够显著改善涂料的流变性能,对金属漆银粉的定向排列、改善漆膜浮色发花具有较为优异的效果。因此,涂料中助剂的种类及添加量不合理极易造成金属漆喷涂发花的现象。

然后,涂料施工的黏度对金属漆发花现象影响较为显著。钱伯容^[4]的研究表明大量的溶剂会使体系的黏度降低太大,使效应颜料在湿膜中不受太大阻力而产生移动或运动,造成无规取向。使得金属漆膜产生发花现象。客户现场喷涂金属漆和素色漆采用相同的黏度施工。金属漆在施工黏度过低的情况下,容易造成金属漆银粉排列不均匀,造成光线反射角度的差异,从而在视觉上产生明暗两种颜色的差异。

最后,一些其他施工因素也影响着发花问题的产生。施工环境的影响,由于客户现场的施工环境不是恒温恒湿的,早晚温差有10℃的差异,相对湿度有20%的差异,当温度低、湿度大时,易造成闪光粉排列受阻,闪光粉局部发花现象。在实际生产过程中,机器人喷涂叠枪率、仿形轨迹、喷幅、悬杯转速等喷涂参数也是影响发花产生及程度的主要因素^[5]。机器手的仿形轨迹不合理,容易引起漆膜之间的重合率过低,造成“斑马纹”。

3 发花问题的解决

由于客户现场的施工环境及施工工艺调整具有一定的局限性,现有施工流程已经相对固化,牵一发而动全身,若要对工艺进行大幅度改动,不仅需要投入大量的时间与资金成本,还可能影响整体施工进度。

基于以上困境,客户经过深思熟虑,期望能够通过油漆配方进行针对性的调整,以此来弥补工艺及环境波动给施工带来的不利影响。通过优化油漆配方,增强油漆在不同环境条件下的适应性,降低工艺波动对施工质量的干扰,从而有效提高金属漆喷涂车身一次下线合格率,保障生产效率与产品质量。

3.1 稀释剂对外观效果的影响

金属漆稀释剂的挥发速率是一个极为关键的因素,它对喷涂后漆膜的外观效果起着直接且决定性的作用,当溶剂挥发速率过快时,在漆膜形成过程中,会使漆膜迅速失去溶剂,进而导致漆膜偏干,漆面流平效果变差,无法在被涂覆表面均匀铺展,漆膜内部的铝粉和珠光粉由于失去了溶剂的有效支撑和分散作用,其

排列变得不规则;反之,若溶剂挥发过慢,漆膜长时间处于偏湿的状态,金属粉或珠光粉难以按照理想的方式进行定向排列,而当这种排列受到影响时,漆膜就会出现发花现象。为了解决上述因溶剂挥发速率不当而引发的问题,行业内普遍采用通过调节溶剂挥发速率进行静电喷涂的方法。通过合理控制溶剂的挥发速度,一方面可以确保漆膜在形成过程中有足够的时间流平,使漆面更加平整光滑;另一方面,能够为铝粉和珠光粉提供适宜的分散和排列环境,使其在漆膜中有序分布,从而充分展现出金属漆的独特魅力,提升漆膜的整体质量和外观效果,使涂料在喷涂时达到漆膜整体颜色一致的状态。因此我们结合现场的具体施工工艺及环境条件,确定不同挥发速率的稀释剂试验方案,如表1所列。

表1 不挥发速率稀释剂方案 %

物料	A-0	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
乙酸乙酯	20	50	40	30	10	0
乙酸丁酯	30	30	40	30	30	40
二甲苯	20	10	10	20	20	20
正丁醇	10	10	10	10	10	10
100# 溶剂油	20	0	0	10	30	30
合计	100	100	100	100	100	100

在其他施工条件和施工参数相同的情况下,通过调整不同的稀释剂方案进行现场验证,并随机测试车身5个点位的平均色差及漆膜的外观效果(如表2所列)。通过试验发现:调整稀释剂中溶剂比例,当采用A-3方案时,溶剂的挥发速率达到适合现场静电喷涂的最佳梯度,漆膜发花现象得到明显改善。

表2 不同稀释剂方案对漆膜外观的影响

项目	A-0	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
25°色差	1.85	3.01	2.1	0.5	4.22	4.78
45°色差	1.54	2.03	1.89	0.8	3.31	4.63
75°色差	0.51	1.98	1.88	0.47	2.28	2.58
喷涂外观效果	轻微发花	明显发花	轻微发花	无发花	严重发花	严重发花

3.2 助剂对外观效果的影响

通过调整油漆中银排助剂的种类及添加量来改善金属漆的铝粉及珠光粉的定向排列及漆膜流平外观效果,CAB具有干燥快、收缩快、低固高黏的特性使其拥有出色的银粉效果,且CAB抗上层溶剂浸蚀性好,使得喷涂清漆后漆膜中银粉排列不会发生明显变化。聚

酰胺蜡浆是将二甲苯加入到脂肪酸酰胺蜡中使其膨润生成的膏状触变剂,它的膨润结构呈网状,使其在车用涂料中的铝、珠光云母的沉降防止、提高定向性方面可发挥极佳的效果。聚乙烯蜡,是以聚乙烯为主要成分的膏状分散体,具有良好的防沉性能,而不明显增稠,改善涂料施工的流变控制,并且具有较好的流平性和抗流挂效果。因此选用CAB、聚酰胺蜡、聚乙烯蜡作为流变助剂调整金属漆的施工效果。袁浩^[9]指出CAB对金属闪光漆银粉排列具有显著影响,考虑到产品效果及成本,试验产品添加了20%的自制CAB溶液进行验证。测试方案及结果如表3~4所列。

表3 不同方案中铝粉定向助剂的添加量 %

物料名称	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9
20% CAB液	20	20	20	20	20	20	20	20	20
聚酰胺蜡浆	0	0	0	1	1	1	2	2	2
聚乙烯蜡浆	0	2	4	0	2	4	0	2	4

表4 不同铝粉定向助剂添加量方案对漆膜外观的影响

项目	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9
25°色差	2.85	2.55	1.88	1.61	1.44	1.24	1.20	0.88	0.62
45°色差	2.9	2.17	1.51	1.53	1.52	1.59	1.39	1.10	0.57
75°色差	2.2	2.01	1.51	1.25	1.18	1.18	1.22	0.90	0.68
喷涂外观效果	明显发花	明显发花	轻微发花	明显发花	轻微发花	轻微发花	轻微发花	轻微发花	无发花

由表4可知,铝粉定向助剂B-9方案对漆膜外观发花现象改善最为明显,最终确定了油漆中银排助剂的方案。

3.3 施工黏度

金属漆施工黏度对漆膜浮色发花有重要影响,当施工黏度过低时不仅漆膜易产生流挂现象,而且在干燥过程中,贝纳德漩涡的对流速度加快,这又进一步加速了金属漆中的颜料粒子尤其是片状铝粉的不规则排列,导致颜色分布不均,出现发花现象;相反,当金属漆施工黏度过高时,会导致漆膜流平性不佳、颜料粒子分散不均出现漆膜发花的现象,过高的施工黏度也不利于溶剂挥发,在漆膜内部会形成较高的内应力,使得漆膜发花现象进一步加剧。因此根据不同的温度条件为客户量身定制一个施工温度/黏度对照表显得尤为重要。我们根据客户当时的温湿度(10℃/20%)进行施工黏度梯度试验,测试结果如表5所列。

按照上述方法在实验室不同的温湿度条件下对该产品进行施工参数模拟,得出施工参数对照如表6所列,供客户进行日常参考使用,按照客户现场的温湿

度,确定施工黏度为 22~23 s 最佳。

表 5 不同施工黏度对漆膜外观的影响

施工黏度(T-4)/s	漆膜外观效果
17~18	明显流挂,严重发花
18~19	明显流挂,严重发花
19~20	轻微流挂,明显发花
20~21	轻微流挂,轻微发花
21~22	无流挂,轻微发花
22~23	无流挂,无发花
23~24	无流挂,无发花,漆膜稍有橘纹

表 6 不同温度条件下的最佳施工黏度

温度/℃	施工黏度(T-4)/s
5~10	23~25
10~15	22~24
15~20	20~23
18~25	19~21
25~32	18~20
32~40	17~19

3.4 喷涂仿形参数

机器人旋杯喷幅和喷涂轨迹间距之间的匹配程度直接影响漆膜外观效果。当喷涂轨迹间距离过大会造成油漆重叠率低、漆膜薄厚不均的斑马纹;喷涂轨迹间距离过小会造成油漆重叠率过高、银粉堆积漆膜发花。实验室通过调整机器手的走枪仿形轨迹间的距离,确定喷涂轨迹最佳重合度,测试结果如表 7 所列,最终确定调整机器手仿形轨迹使得喷涂轨迹重合度达到 75%。在调整仿行轨迹间距时还需要对悬杯雾幅程度进行测量,以匹配对应的仿形轨迹间距,避免出现斑马纹的情况,例如现场机器人仿形轨迹间的距离为

75 mm,要使漆膜达到 75%的重合率,喷幅需调整到 $75 \times 4 = 300$ mm。

表 7 机器手轨迹重合率对漆膜外观的影响

轨迹重合率/%	漆膜外观效果
85	银粉堆积,发花
75	漆膜正常
65	漆膜轻微发花
50	漆膜严重发花
35	漆膜不均匀

4 结语

金属漆的喷涂发花是汽车行业一种常见的现象,通常经过施工工艺的调整可以使施工效果达到良好的状态。通过调整稀释剂及配方中银排助剂的种类及添加量,并根据客户现场的温湿度,适时调整施工黏度,客户配合调整机器手喷涂仿形轨迹,现场静电喷涂发花效果得到了明显改善。

参考文献:

[1] 赵少廷.金属漆静电喷涂与空气喷涂产生色差的原因及改善方法[J].现代涂料与涂装,2012(2):67.
 [2] 陈素平,王阿芬,胡志滨,等.涂料的浮色发花[J].涂料工业,2003(10):13-16.
 [3] 邓涛.浅谈银色系金属漆发花的防治方法[J].汽车实用技术,2018(17):279-280.
 [4] 钱伯容.金属闪光漆中效应颜料取向机理及解决途径[C].第 2 届环太平洋地区涂料涂装会议论文集,1997:6.
 [5] 赵晓峰,诸嘉凌,白青山.浅谈水性金属漆条纹发花改善优化方法[J].现代涂料与涂装,2023,26(07):53-55.
 [6] 袁浩.醋酸丁酸纤维素对金属闪光漆的影响探讨[J].上海涂料,2014,52(12):47-49. ◆

(上接第 56 页)量化研究[J].工业水处理,2019(5):98-100.

[2] 李亚丽,赵国强,武双,等.基于废水培养微藻及微藻资源化利用的研究[J].现代化工,2021(4):48-51.
 [3] 董浩然.石油石化企业招标采购管理现状与对策研究[J].现代营销(下旬刊),2024(6):96-98.
 [4] 侯晨晨,刘建国,苏肇基,等.含苯酚危险废物的改进型 Fenton 氧化处理研究[J].环境工程学报,201(6):1405-1408.
 [5] 孙文静,卫皇墨,李先如,等.催化湿式氧化处理助剂废水工程及过程模拟[J].环境工程学报,2018(8):2421-2428.
 [6] 迟春娟,张嗣炯.液-液萃取处理高氯难降解有机废水[J].环境污染治理技术与设备,2001(6):50-56.

[7] 姜雨生,谢凯,唐丹平,等.实验室废液的收集与处理技术研究[J].环境工程技术学报,2016(5):447-452.
 [8] LUNA P BFGD, ALBUQUERQUE PM, SILVA CC, et al. Treatment of liquid waste produced in a small chemical laboratory using the photo-Fenton process [J].Journal of Food Agriculture & Environment, 2013,11(1):1125-1128.
 [9] 苗时雨,毛振钢,刘锐平,等.实验室废液降危减量化处理工艺与工程案例[J].环境工程学报,2020(7):1944-1949.
 [10] 任博华,王琦.汽车制造业涂装废水治理探讨[J].现代涂料与涂装,2022(12):51-54. ◆