

# 珠光面漆工艺设计及工艺调试问题解决

周本露<sup>1</sup>, 许艳军<sup>2\*</sup>, 张强<sup>2</sup>, 张敏<sup>3</sup>, 王震伟<sup>4</sup>

(1.东风汽车集团股份有限公司猛士汽车科技公司,武汉 430090; 2北京京深深向科技有限公司,北京 102199;

3.北汽研究总院有限公司,北京 101300; 4.北汽福田汽车股份有限公司,山东 诸城 262200)

**摘要:** 珠光面漆涂装通常是高端汽车采用的一种涂装喷涂技术,其特有的珠光效果对工艺实施提出了更高要求。本文系统阐述了珠光面漆从工艺设计到生产导入的全过程方案,通过建立中涂层、底色漆层、珠光漆层和清漆层的四涂层工艺体系,合理设计了机器人双站协同喷涂珠光漆工艺布局,成功解决了珠光涂层膜厚难控制问题。同时,把生产调试过程中遇到的珠光漆膜异色颗粒问题通过分级的方法处理解决,把珠光漆工艺快速转化量产。本文为新型汽车涂装工艺开发提供了可复制的技术路径,相关成果已实现规模化应用。

**关键词:** 珠光面漆; 工艺设计; 调试问题

中图分类号:TQ639 文献标志码:A 文章编号:1007-9548(2025)10-0060-04

## Design and Debugging of Pearlescent Coating Topcoat Process and Solution to Problems

ZHOU Ben-lu<sup>1</sup>, XU Yan-jun<sup>2\*</sup>, ZHANG Qiang<sup>2</sup>, ZHANG Min<sup>3</sup>, WANG Zhen-wei<sup>4</sup>

(1.Dong feng Motor Group Co., Ltd., Mengshi Automobile Technology Company, Wuhan 430090, China;

2.Beijing Jingshenshenxiang Technology Co., Ltd., Beijing 102199, China; 3.Beijing Automotive Research Institute Co., Ltd.,

Beijing 101300, China; 4.Beiqi Foton Motor Co., Ltd., Zhucheng 262200, Shandong, China)

**Abstract:** Pearlescent topcoat is a coating technology commonly used in high-end cars, its unique pearl effect has raised higher requirements for the implementation of the process. This article systematically elaborates on the entire process plan of pearl topcoat from process design to production introduction. By establishing a four coating process system of intermediate coating, base coat layer, pearl coat layer, and clear coat layer, a reasonable layout of robot dual station collaborative spraying pearl coat process was designed, it has successfully solved the problem of difficulty in controlling the thickness of pearl coating film. At the same time, this article solves the problem of discolored particles in the pearl paint film encountered during the production and debugging process through a grading method, rapidly transforming the pearl paint process into mass production. This article provides a replicable technical path for the development of new automotive painting processes, and the related achievements have been applied on a large scale.

**Key words:** pearlescent topcoat; technological design; debugging issues

收稿日期: 2024-05-27

作者简介: 周本露(1988—), 男, 硕士, 主要从事汽车制造相关工作。E-mail: zhoubenlu@dfmc.com.cn。

\* 通信作者: 许艳军(1984—), 男, 本科, 工程师, 主要从事汽车涂装工艺及材料应用研究相关工作。E-mail: 251815784@qq.com。

## 0 引言

随着生活品质的提高,人们对汽车外观装饰性的需求越来越高,推动了汽车涂装颜色的不断更新,促进了汽车涂装工艺技术和材料的持续发展。珠光面漆和金属面漆因具有高鲜映性、高亮度和多色彩性,在日光下具有闪烁的独特效果,更能吸引消费者的青睐。有数据显示,当前国内轿车领域珠光漆和金属光漆颜色的

占比已超过 50%。

珠光面漆工艺是通过在底色涂层上喷涂半透明的珍珠色涂料,经过高温烘烤固化得到一种具有珍珠外观效果涂层的喷涂工艺技术。与正常面漆工艺相比,增加了一道珍珠漆涂层喷涂工序,工艺要求更严格,实施更复杂。

## 1 珠光面漆介绍

### 1.1 珠光油漆介绍

汽车面漆按照外观效果可分为素色漆和闪光漆,闪光漆按材料的不同又分为金属漆和珠光漆。珠光漆是在油漆材料的基材中添加经过特殊处理的云母矿石<sup>[1]</sup>,利用云母透明且有特殊的光线折射效果,使得颜色随角度变化,得到具有珍珠外观特效的漆膜。

珍珠漆膜因观察角度不同,会产生不同的视觉效果。当垂直观察珠光漆膜时,漆膜的表面光滑,镜面反射的效果较好。另外,云母粉的粒径均匀,大小一致性

好,珠光漆膜的光泽度和透明度较高。当倾斜观察漆膜时,由于云母颜料提供更丰富的颜色变化,视觉效果更加多样和生动。此外,因珠光漆膜不存在杂质,颜色清亮,所以珠光漆的色相受底色漆颜色的影响较大,不同的底色漆会呈现不同的视觉效果,相较于金属漆,珠光漆以其五彩斑斓效果脱颖而出。

### 1.2 珠光漆工艺

金属漆是将金属粉末(多为铝粉)直接添加到涂料中,通过喷枪或喷涂机器人均匀喷涂到车身上,烘干固化得到的一种具有闪光效果的漆膜。珍珠漆与金属漆不同,珠光漆是将云母矿石经处理后,单独作为一种涂料喷涂在底色漆表面,相比金属漆工艺多了一道喷涂工序。

### 1.3 珠光漆膜的性能

对比金属漆膜性能指标,参考汽车涂层<sup>[2]</sup>性能要求,在油漆开发阶段制定珠光漆的性能指标,经过全序验证后,确定达标情况,珠光漆漆膜性能验证见表 1。

表 1 珠光漆漆膜性能验证

序号	检测项目	技术指标	要求
1	漆膜外观	平整光滑、无流挂、针孔、缩孔等缺陷	合格
2	铅笔硬度	≥HB	合格
3	光泽(20°)/%	≥80	合格
4	杯突/mm	≥5	合格
5	车身鲜映性(DOI)	水平面:深色≥90,浅色≥85;垂直面:深色≥85,浅色≥80	合格
6	橘皮	平面:长波<8,短波<20;侧面:长波<20,短波<25	合格
7	漆膜柔韧性/mm	≤2	合格
8	耐冲击性/cm	≥20	合格
9	耐碱性	0.1N NaOH, (20±1) °C×24 h	漆膜外观无起泡、软化、等现象,色差 ΔE≤0.8
10	耐酸性	0.1N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , (20±1) °C×24 h	漆膜外观无起泡、软化、等现象,色差 ΔE≤0.8
11	耐汽油性	93# 汽油, (20±1) °C×7 h	漆膜无明显变化、自然晾干 24 h 测附着力 0 级或 1 级, 铅笔硬度≥HB
12	过烘烤泛黄性	(165±2) °C×50 min	目视无变黄,附着力≤1 级
13	耐水性	(40±1) °C×240 h	漆膜外观无明显变化,附着力≤1 级
14	人工气候老化 (氙灯)	2 000 h	ΔE≤3.0, 光泽(60°)≥75%, 漆膜无开裂、粉化、脱落, 外观无明显缺陷,附着力≤1 级
15	耐湿热性	≥480 °C, 相对湿度(96±2)%, 240 h	无变色、起泡、起皱、脱落,附着力≤1 级
16	耐温变性	-40~60 °C	20 个循环,无开裂、脱落现象,附着力≤1 级
17	耐化学品性	车窗清洗液、防冻液浸泡 24 h	目视对比无明显变色,附着力≤1 级,铅笔硬度≥HB

## 2 珠光面漆工艺设计

### 2.1 珠光面漆工艺布局

珠光油漆导入生产前,因为要增加一道珠光漆的喷涂工序,需要核算现有机器人的喷涂能力,是否能满足工艺节拍需求。在机器人喷涂能力满足条件下,调整机器人的喷涂顺序,将底色漆喷涂工序设置在面漆工

序前端,珠光层喷涂工序设置在面漆后端。同时,需要调整色漆站机器人喷涂的工艺参数,既要保证底色漆层合格,又要保证珠光漆涂层喷涂效果。机器人站排布见图 1,其中,A 是中涂站,左右分别布置 1 台喷涂机器人;B 是色漆站,左右分别布置 2 台喷涂机器人;C 是清漆站,左右分别布置 1 台喷涂机器人。

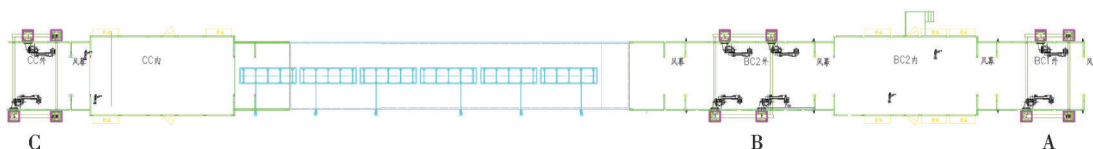


图1 机器人站布置

## 2.2 机器人喷涂能力评估

珠光漆导入生产线时,需要对现有机器人的喷涂工序进行调整。如图1所示,在色漆站需同时完成底色漆喷涂和珠光漆喷涂,喷涂方案为前2台机器人喷涂底色漆,后2台机器人喷涂珠光漆。珠光漆涂层膜厚较薄,通常膜厚为7~10 μm,通过一遍喷涂就可实现。底色漆膜厚较厚,通常为15~20 μm,需要机器人在相同节拍完成一道大流量或者两道喷涂。

机器人喷涂量的核算:机器人喷涂量与该工位所要完成的喷涂面积、涂膜的干膜厚度、生产节拍、旋杯特性(如最佳出漆量、转速大小、整形空气量)、静电压、涂料的传输效率、机器人的使用效率等因素有关。可采用以下公式<sup>[3]</sup>来计算平均喷漆流量。

单台车身喷涂所需要的油漆消耗量: $Q=Sh/(TNV)$ ,其中: $Q$ 为油漆消耗量,mL/台; $S$ 为该工位即车身的喷涂面积, $m^2$ ; $h$ 为干膜厚度, $\mu m$ ; $T$ 为涂料传输效率,机器人使用静电旋杯的 $T$ 值一般取70%~80%; $NV$ 为施工油漆的固体分。

单台机器人喷涂流量: $q_n=Q/(nt\eta k)$ ,其中: $q_n$ 为 $n$ 台机器人时的流量,mL/min; $Q$ 为油漆消耗量,mL/台; $n$

为喷涂机器人的数量,台; $t$ 为喷涂时间,min; $\eta$ 为喷涂机器人的使用效率,一般为90%~95%; $k$ 为修正系数,通常为0.8。

工艺方案策划时,车身喷涂面积 $S$ 需要考虑最大车型的有效喷涂面,底色漆膜厚 $h$ 需要考虑油漆遮盖力<sup>[4]</sup>较差的颜色,油漆的遮盖力越差,需要喷涂的膜厚越厚,需要喷涂的油漆用量也就越多。机器人油漆的喷涂量 $Q$ 一般为雾化器的最佳出漆量,喷涂时间 $t$ 要小于工位节拍的时间,同时还要留出一定的流平时间保证喷涂珠光漆底色漆漆膜平整。

## 3 珠光漆工艺调试

珠光面漆工艺调试时,因涂装线的工艺已经确定,工艺设备已经固定,需要把珠光面漆的施工工艺参数融入到现有生产线中。对比珠光油漆和其他油漆(金属漆和素色漆)的工艺排布,中涂漆和清漆工序喷涂的工序完全一致,在珠光漆工艺调试时可不作变化,珠光面漆工艺调试的重点工序是底色漆和珠光漆喷涂,需要在面漆喷涂段完成,距离短、时间急需严格控制工艺参数(温湿度、送排风等)以满足珠光漆喷涂需要,面漆喷涂工序见图2。

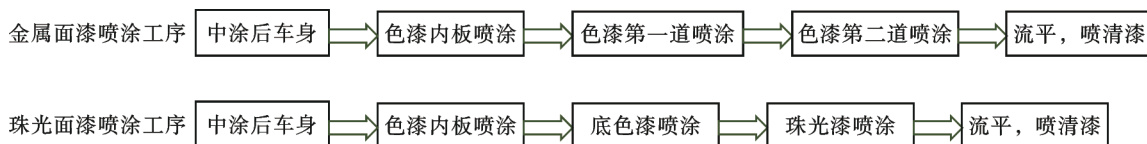


图2 面漆喷涂工序

## 3.1 供漆系统清洗投料

与传统素色漆和金属漆不同,珠光漆需要两套面漆供漆系统,一套用于输送底色面漆,另一套用于输送珠光面漆。供漆系统投料前需要将供漆系统进行彻底清洗,清洗步骤通常是先用弱碱循环冲洗,除去供漆系统内壁油污;再用去离子水冲洗,清除系统残留的碱液;最后用柠檬酸冲洗,对系统管道钝化。供漆系统清洗过程中,系统内的供漆泵、背压阀和稳压塔部件需单独清洗。为了确保清洗的效果,在每步清洗完成后要做喷板测试缩孔数量。

系统清洗缩孔测试合格后才能投漆。首次投漆时,尽量不要将供漆系统一次性投满,首次投漆量只需满足供漆系统正常循环,又满足工艺调试使用即可。系统

投漆后做好记录,记录内容包括投漆量、油漆温度、油漆黏度等参数。

## 3.2 珠光面漆膜厚调试

珠光面漆工艺调试时,需要对底色漆和珠光漆分别进行分层膜厚调试验证,分层膜厚验证结束后需对复合涂层的膜厚验证,调试工作量较大。另珠光面漆的底色漆膜厚相比其他漆的膜厚偏厚,一般要通过一道喷涂成膜,在保证膜厚均匀的情况下不产生流漆难度很高,需不断调整优化喷涂轨迹、开关枪时间、喷涂流量及油漆黏度。油漆分层膜厚测试的方法有画点测试法,遮蔽胶带分层测试法及随车贴板测试法,珠光面漆膜厚调试时可采用画点测试法,既保证膜厚均匀性,又可以节省调试时间。考虑珠光面漆的特点,工艺调试过

程中喷房的环境、喷涂设备工艺参数及油漆材料的参数都需要做好控制,如喷漆室的温度、湿度、空调送风风速、颗粒度等,另外,机器人的喷漆枪距、电压、轨迹间距、扇幅直径、走枪速度及出漆量等都需做好验证记录,见表2。

表2 机器人喷涂工艺参数

项目	中涂漆	底色漆	珠光漆	清漆
	机器人站	机器人站	机器人站	机器人站
喷漆枪距/mm	250	250	250	250
高电压/kV	60	50	50	60
喷涂轨迹间距/mm	100	100	100	100
喷涂扇面直径/mm	300	300	300	300
枪速/(mm·s <sup>-1</sup> )	700	800	800	700
每站出漆量/(mL·min <sup>-1</sup> )	489	513	365	855

油漆材料方面,要做好珠光漆的黏度、温度、固体分等参数的记录,通过不断优化相关参数以期得到理想的漆膜状态。

### 3.3 珠光面漆颜色调试

同一底漆情况下,珠光涂层的厚度会影响到颜色的变化,珠光漆膜越厚,珠光效应越饱满, $L$ 值偏向负。反之,珠光漆膜越薄,珠光效应越弱, $L$ 值偏向正,珠光漆太薄时,会出现发花,珠光效果不明显、色差等问题需根据现场目视效果对膜厚进行调整。目前,珠光漆颜色调试时,通常监测25°、45°和75°三个角度,分别控制三个角度的 $\Delta L$ 、 $\Delta a$ 、 $\Delta b$ 和 $\Delta E$ 值,以求达到合格的色差数据,通过不断调整、优化,颜色调试的终极目标是目视无色差<sup>[9]</sup>。

## 4 工艺调试问题

### 4.1 珠光面漆明暗度的问题

珠光面漆和金属漆一样,在喷涂施工时如油漆中溶剂含量少,漆膜内溶剂挥发较快(溶剂挥发过快,容易造成漆膜流平效果不好,毛糙,具体需根据现场调试效果及材料厂家建议进行调整),底漆层在较短的时间内初步固化、定型,珍珠颜料喷到底漆上面不易发生形变,俗称干涂,珠光颜料的排列较为平整。反之,俗称湿涂,得到的珠光涂层的排列会不平整。珠光漆的干涂和湿涂会影响到珠光漆膜的效果,烘烤成膜后的明暗度也会不同,见表3。

表3 漆膜外观效果差异

观察角度	干涂	湿涂
90°观察	珠光漆膜颗粒效果强,颜色较浅, $L$ 值偏亮	珠光漆膜颗粒效果弱,颜色较深, $L$ 值偏暗
45°观察	漆膜光泽度弱,颜色深	光泽度强,颜色浅

### 4.2 异色颗粒问题

金属漆在施工过程中如出现异色颗粒缺陷,通常可以通过再次喷涂遮盖处理解决。而珍珠面漆的颜料为半透明状,无法将异色颗粒遮蔽,另外,珠光漆喷涂两次后会影响到漆膜的颜色,不能按照金属油漆方案修复。

### 4.3 调试问题解决

#### 4.3.1 明暗度问题的解决

1)提高底色漆的平整度。底色漆喷涂时采用“湿碰湿”喷涂工艺,底色漆喷完后预留一定的时间进行流平,漆膜经过流平后会变得更光滑、平整。如果底色漆不够光滑、平整,将会导致珍珠颜料的排列不平整,珍珠颗粒局部聚集产生斑痕,同时珍珠颗粒不易显现,喷涂的漆膜偏亮。

2)珠光漆喷涂一般采用中湿喷涂,太湿或太干都会影响到珠光颗粒排布,喷涂过程中油漆严格按照油漆厂家提供的配方添加稀释剂,同时保证喷房温湿度及送排风稳定。

#### 4.3.2 异色颗粒问题的解决

珠光漆喷完后现场发现漆膜上异色颗粒后需判断异色颗粒是处在清漆层还是色漆层,若处在清漆层则按正常点磨抛光工艺处理颗粒,若处在色漆层如果颗粒数量少,可以用漆针点修处理。如异色颗粒较多,则需要返工重新喷涂,返工时仍需要再次喷涂底漆,避免产生色差。返工前,需对车身进行全打磨处理,打磨后吹扫擦拭干净车身表面灰尘,同时检查喷房的洁净度,若不符合生产需要则需对生产设备如喷漆室、机器人及烘干炉进行深度保洁,以保证喷涂洁净度需求。

## 5 结语

汽车外观颜色随人们的需求不断在变化,珠光漆、亚光漆和有色清漆<sup>[6]</sup>等不断推广应用,既丰富了汽车颜色多彩性,同时也满足了不同客户的需求。新品类颜色的推广应用,对涂装工艺在材料、设备及施工环境等方面有更高的要求及改进,对现有生产线产生了新的挑战,只有不断克服这些挑战,才能喷涂出更丰富多彩的颜色给消费者选择。

### 参考文献:

- [1] 黄定华.普通地质学[M].北京:高等教育出版社,2014.
- [2] QC/T 484—1999 汽车油漆涂层[S].
- [3] 王锡春.涂装车间设计手册[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [4] GB 1726—1979 涂料遮盖力测定方法[S].
- [5] 杨学岩,周维.色差的测量和评定方法及应用[J].现代涂料与涂装,2014(9):1-4.
- [6] 翟长龙,段现振,李征.汽车三涂层颜色喷涂工艺研究[J].电镀与涂饰,2019(20):1125-1129.