

# 汽车涂装双组分清漆改造全流程解决方案

李明, 向微凡, 杨路, 刘平  
(广汽传祺汽车有限公司宜昌分公司, 湖北 宜昌 443007)

**摘要:** 随着汽车涂料技术的不断进步, 单组分清漆材料已由单组分升级为双组分, 这一转变的主要优点在于能够赋予车身漆面更加靓丽的外观, 同时提升漆面耐刮擦性和抗紫外线氧化性能。本文针对喷涂线体清漆站从单组分向双组分清漆的改造过程, 从设备改造、工艺调试及生产管理 3 个方面进行阐述, 详细介绍双组分清漆导入全流程中的工艺技术与品质问题解决方案。希望能为同行在实施双组分清漆项目改造过程中提供帮助, 以此提升项目管理和实施效率, 并有效规避生产管理风险点。

**关键词:** 双组分清漆; 设备改造; 工艺调试; 品质提升

中图分类号: TQ639.2 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)07-0069-04

## Study on Whole Process Solution for Two-component Varnish Reformation

LI Ming, XIANG Wei-fan, YANG Lu, LIU Ping  
(Guangzhou Automobile Trumpchi Motor Co., Ltd., Yichang Branch, Yichang 443007, Hubei, China)

**Abstract:** With the advancement of automotive coating technology, the clear coat materials have evolved from single-component to two-component systems. This upgrade primarily enhances the vehicle's paint appearance, providing a more vibrant finish along with superior scratch resistance and UV oxidation protection. This article discusses the transformation process of upgrading the clear coat station on spray lines from a single-component system to a two-component system. It elaborates on three key aspects: equipment modification, process adjustment, and production management. The paper presents comprehensive technical processes for introducing two-component clear coats as well as solutions for quality management issues encountered during this transition. The insights provided aim to assist peers in improving project management and implementation efficiency during their own two-component clear coat projects, while also mitigating potential risks associated with production management.

**Key words:** two-component varnish; equipment renovation; process debugging; quality improvement

## 0 引言

随着汽车涂料技术不断革新, 清漆逐步由单组分材料转变为双组分。相较于单组分清漆, 双组分清漆具有更优的漆膜外观、耐酸性、抗石击性和耐擦伤性。单组分清漆主要有两种, 第一种是丙烯酸/氨基体系, 其固化机理是羟基或羧基与氨基树脂中的烷氧基团发生

聚合反应, 反应生成小分子影响漆膜外观<sup>[1]</sup>, 第二种是酸/环氧/氨基体系, 其固化机理是羧基团与酸环氧基团发生聚合反应, 反应无小分子生成, 其外观优于丙烯酸/氨基体系<sup>[2]</sup>。双组分清漆则为双组分聚氨酯体系, 其固化机理是预聚体中异氰酸酯基团与树脂中羟基发生羟醛缩合反应, 形成聚氨酯网络, 交联密度高, 同时聚合物交联分支间存在氢键, 因此双组分外观、强度更优<sup>[3-4]</sup>。

蔡永财等研究发现, 双组分清漆改造涉及涂料供给系统改造, 包括固化剂供给系统和手工站配比设备, 机器人喷涂系统改造, 包括固化剂换色模块和固化剂

收稿日期: 2024-03-22

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开发及汽车涂装生产品质管理等工作。E-mail: m15071021446@163.com。

齿轮泵,空调设备改造,包括空调系统增加表冷器和二次蒸气加热,达到更精准的温湿度控制,喷涂工艺由两遍喷涂改为一次喷涂成膜<sup>[6]</sup>。吴飞等通过对比单组分和双组分清漆在涂料输调漆系统、机器人喷涂设备、同颜色外观效果和生产运营管理等方面的差异,并进行案例分析<sup>[6]</sup>。廖大政等则对双组分清漆应用过程中常见的色差、气泡、结晶等品质问题进行系统性原因分析,并制定了相应的解决和预防措施<sup>[7]</sup>。李淑贞等针对双组分清漆循环管路堵塞进行原因分析,发现亚光清漆中的消光粉成分在管路中沉淀富集后导致系统管路

堵塞<sup>[8]</sup>。鲜有研究者对双组分清漆改造中从设备导入、工艺调试到生产管理存在课题进行系统化总结。

本文通过清漆材料升级项目导入过程,梳理出一套双组分清漆从设备选型、导入、工艺调试到批量生产过程问题管理的全流程解决方案,为同行在设备选型、工艺调试和生产管理提供参考。

## 1 喷涂设备改造

### 1.1 设备选型与工艺规划

双组分清漆在设备改造上需要增加固化剂供给模块、主剂和固化剂混合模块,设备示意图1所示。

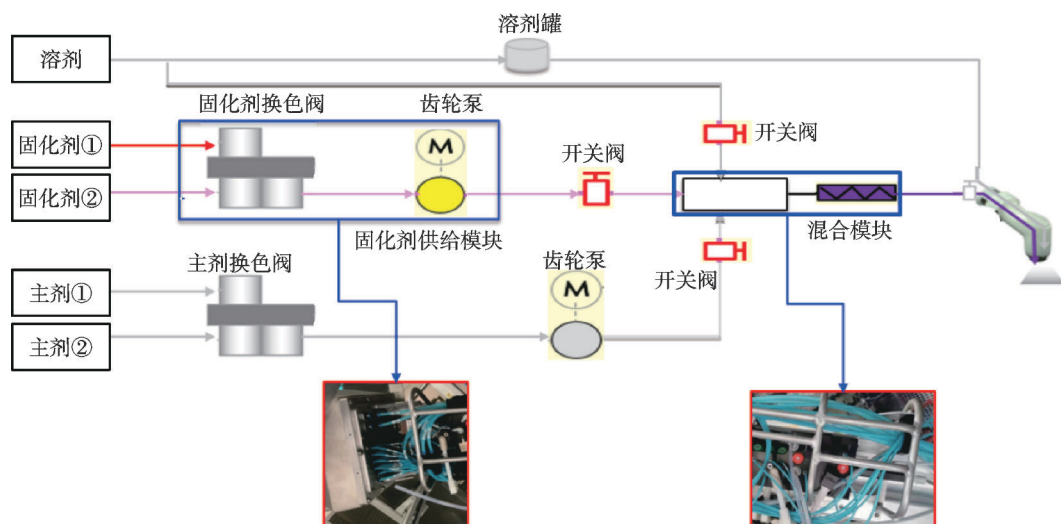


图1 双组分清漆喷涂机器人增加固化剂和混合模块

设备选型与工艺匹配过程中考虑因素如下:

1) 计量泵选型与喷涂工艺的匹配性。由于双组分清漆主剂与固化剂配比多为3:1,主剂用量远大于固化剂,因此清漆内板喷涂主剂计量泵的出漆量规格要大于固化剂,清漆喷涂若采用一遍成膜方式,则主剂计量泵流量上限值必须大于喷涂吐出量设定最大值;

2) 混合模块清洗程序与被清洗材料的匹配性。双组分清漆在喷涂前主剂与固化剂按照配比混合均匀后进行喷涂,当涉及材料切换时需对混合模块进行清洗,清洗程序需根据清漆材料特性进行针对性设定,避免清漆切换清洗不净喷涂后造成漆膜产生缩孔,特别是特殊清漆的清洗,例如亚光清漆主剂中含有消光粉,红清漆中添加有难清洗色浆,清洗程序设定中清洗时间会长于常规清漆,特别是混合模块中的螺旋管清洗,清洗不净易造成螺旋管结渣堵塞整个模块;

3) 格栅清洗高压水枪压力规格。双组分清漆在喷涂过程中产生的过喷漆雾落在喷房格栅上,通过不断积累在格栅上固化形成厚厚的漆膜,由于双组分清

漆交联反应条件低,交联密度高,强度大,因此格栅上漆膜清洗对冲洗水压要求更高,通常单组分清漆格栅清洗水压要求为50 MPa,则双组分清漆格栅清洗水压要求高达150 MPa。

### 1.2 输调漆系统改造

双组分清漆是主剂和固化剂两种材料在喷涂前混合形成,因此涂料供给需增加单独的固化剂输调漆系统。输调漆系统改造考虑因素如下:

1) 涂料供给压力,管路管径、涂料压力是否满足机器人喷涂需求;

2) 固化剂罐体全封闭,配置氮气保护装置,氮气用于保持固化剂循环罐和加料罐处于微正压状态,工作时压力处于0.005~0.020 MPa之间,避免固化剂与空气中的水蒸气接触产生反应;

3) 修正岗清漆供给配套装置必要性,清漆修正岗在非使用时间需定期排漆,防止固化剂硬化堵塞管路,这样不仅造成排漆时涂料浪费,而且定期维护造成管理成本上升。若喷涂自动化程度不足,需要人工喷涂加以辅助,则可配置手喷枪的清漆供给配套装置。

## 2 双组分清漆喷涂工艺调试

### 2.1 喷涂工艺参数设定

喷涂工艺参数设定主要涉及喷涂吐出量、旋杯转速、成型空气流量和静电高压值。

喷涂工艺参数设定考虑因素如下：

1) 清漆涂料特性对喷涂参数影响；

2) 喷涂枪速对喷涂参数的影响。涂料特性对喷涂参数设定的影响主要表现为亚光清漆、红清漆等特殊涂料中含有消光粉、色浆等颜料，对雾化、分散要求较高<sup>[9]</sup>。例如亚光清漆喷涂时喷涂参数中成型空气流量大于常规高光清漆，其主要原因是旋杯将清漆切割成细丝甩出后，亚光清漆中含有消光粉，分散同等大小的

粒子自重大于高光清漆，所需成型空气流量大，才能控制雾化扇幅，否则在喷涂过程中会出现雾化涂料随机器人运行轨迹运动时产生滞后效果，简称“喷涂拖尾”。喷涂枪速对喷涂参数的影响主要体现在喷涂扇幅的控制，即喷涂轨迹运动方向与涂料雾化控制方向垂直，当喷涂枪速过快时，轨迹运动给涂料粒子的力过大，涂料喷幅变大，影响喷涂膜厚均一性，因此涂料控制方向束缚力需相应增大，才能保证喷涂扇幅稳定。

采用正交试验法，选取旋杯转速、外成型空气和内成型空气，3因素3水平设计9组试验，评价亚光清漆在不同喷涂参数下的膜厚均一性，最终得出较优喷涂参数，试验结果见表1所列。

表1 亚光清漆与喷涂设备参数匹配结果

试验号	水平组合	试验条件				试验结果	
		吐出量/(mL·min <sup>-1</sup> )	旋杯转速/(kr·min <sup>-1</sup> )	外成型空气/(SL·min <sup>-1</sup> )	内成型空气/(SL·min <sup>-1</sup> )	膜厚均一性/μm	备注
1	A1B1C1	300	30	200	400	7.4~15.1	
2	A1B2C2	300	30	300	500	12.2~14.7	符合标准
3	A1B3C3	300	30	400	600	11.1~16.8	
4	A2B1C2	300	35	200	500	9.1~17.2	
5	A2B2C3	300	35	300	600	12.8~15.3	符合标准
6	A2B3C1	300	35	400	400	9.8~17.4	
7	A3B1C3	300	40	200	600	13.2~15.5	符合标准
8	A3B2C1	300	40	300	400	8.4~17.9	
9	A3B3C2	300	40	400	500	9.4~18.3	

由表1可知，在膜厚均一性符合标准的前提下，2、5和7号参数满足喷涂需求；对比试验2、5、7可知，随着旋杯转速的提升，对内成型空气流量要求越高；对比试验2、5和3、7可知，喷涂参数中外成型空气的流量对膜厚均一性的影响大于旋杯转速和内成型空气流量。

### 2.2 膜厚、外观调试

由于单组分清漆与双组分清漆达成外观要求的膜厚标准存在差异，喷涂设备改造升级后，原单组分清漆的参数喷涂无法达成双组分清漆的膜厚标准。但是原喷涂参数可以作为双组分清漆喷涂参数设定的“模型”，即利用正交试验，通过静态喷幅测试得出双组分清漆与单组分清漆喷涂达成相同扇幅，所需旋杯转速、成型空气流量和静电高压值。

基于清漆喷涂上漆率不变的假设，双组分清漆喷涂吐出量的设定分为两种情况，第一种是单组分与双组分清漆固体含量近似相同，则把单组分清漆喷涂车身各部位漆膜膜厚与设定吐出量值形成一一对应关系，然后再根据单组分清漆吐出量设定值 $I$ ，膜厚值 $M_1$

与双组分清漆膜厚标准下限值 $M_2$ ，车身各部位膜厚差距得出提升比例 $S=(M_2-M_1)/M_1$ ，双组分喷涂吐出量设定值为 $(1+S) \times I$ ，使其理论膜厚值达成双组分清漆标准；第二种情况是单组分与双组分清漆固体分含量差异大，则双组分清漆喷涂吐出量值还需乘以转换系数 $K$ 值（ $K$ 等于单组分与双组分清漆固体分含量比值）。这样双组分清漆喷涂膜厚调试第一套喷涂工艺参数就快速生成，大大提升喷涂膜厚达标率及均一性调试效率。外观调试则为喷涂轨迹、轨迹分区与工艺参数设定三者之间的精细化匹配，提升车身局部位膜厚值，达成膜厚均匀，实现整车外观的一致性。此外，同车型不同颜色使用同一种清漆的外观调试可以沿用精细化优化后喷涂参数，不同车型使用同种清漆，在喷涂枪速不变的前提下，喷涂参数设定可以与喷涂部位一一对应进行沿用，再根据与不同色漆的匹配情况，对喷涂参数进行局部精修，提升喷涂品质稳定性。

### 2.3 生产、调试共线方法

双组分清漆喷涂设备改造、喷涂参数设定完成后，即可进行工艺调试阶段，为了最大限度降低工艺调试

对线体生产的影响,本节重点阐述了正常单组分清漆量产车与双组分清漆调试车共线加工的方法。单组分和双组分清漆共线生产即单组分清漆量产喷涂与双组分清漆调试喷涂同步进行,因此双组分清漆可以作为一种新清漆材料来进行膜厚、外观调试。

双组分清漆调试步骤如下:

1)涂料系统与换色阀连接设置,在喷涂站上位机参数设定界面赋予双组分清漆单独颜色代码,并在颜色代码下设定主剂和固化剂的阀号和配比,以及已有车型、颜色代码下设定喷涂参数,其中包括吐出量、旋杯转速、外成型空气流量和内成型空气流量;

2)双组分清漆中主剂和固化剂分别对应换色阀清洗程序设置,其中包括换色清洗、同色清漆和长冲洗,换色清洗相较于单组分,双组分清漆存在以下2种情况,一种是只换主剂,需要清洗主剂管路,另一种是主剂和固化剂都换,需要同时清洗主剂和固化剂管路,且两种情况均需要清洗混合模块,即主剂与固化剂充分混合的区域;

3)双组分喷涂参数赋值,工艺调试第一套喷涂参数设定可参考上节中阐述方法,可以提升膜厚调试效率;

4)双组分清漆调试安排,工艺调试可以安排在保洁前、后或者班后结束生产前进行,尽量减少对量产车喷涂影响,调试效率主要受膜厚、外观数据采集和喷涂参数、轨迹修改效率等因素影响。

### 3 双组分清漆生产管理

双组分清漆为聚氨酯交联反应形成漆膜,其反应条件温和、固化时间短、交联密度高,因此喷涂设备的维护保养就格外重要。

生产过程中管理注意事项主要有:

1)日常流量标定,防止主剂/固化剂阀开度、闭合度异常,导致喷涂主固配比失调产生漆膜失光;

2)机器人管路长冲洗后,对计量泵前、后端管路压力监测,防止阀体关闭异常,特别是固化剂腐蚀阀体后,产生漏液;

3)喷涂机器人4~6轴手腕除渣,避免喷涂过程中过喷漆雾堆积固化后被转动的关节磨碎,机器人在运动中碎屑掉落在漆膜上产生漆渣不良;

4)清洗机气封模块气孔疏通,喷涂机器人进入清洗剂清洗时,成型罩壳上残留的清洗与清洗机密封圈接触,固化后易堵塞密封圈气孔,雾化器清洗时无法形成有效气封,产生溶剂飞溅,以及成型罩壳无法有效吹干,喷涂时产生漆膜溶剂点,建议频次1000台/次;

5)清洗机排废废液管定期清洗,防止清漆结渣堵塞管路,排废不畅产生反灌;

6)非生产时间,机器人末端固化剂排漆,防止长时间不流动,管路固化堵塞,排液频次1次/2d;

7)清洗机排废管壁清洗,由于清洗机排废管路中流体主要为清漆和油性溶剂,机器人清洗废液由管路排出,挂壁的清漆与空气中水气接触快速交联固化,黏附在排污管壁累积,最终导致管径变细或堵塞,因此清洗机排废管需定频进行清洗,建议频次1次/a,避免出现喷涂机器人清洗排废不畅,产生清洗废液反溅现象,造成品质和安全风险。

### 4 结语

本文系统性阐述了汽车涂装双组分清漆改造全流程,得出以下结论:

1)双组分清漆喷涂涉及设备改造升级主要增加固化剂输调漆系统、固化剂换色、计量和混合模块,重点考虑设备规格选型能否满足现场工艺要求;

2)喷涂工艺调试方面,首先是涂料与喷涂参数匹配性关系探寻,然后根据已有单组分喷涂参数为模型,结合涂料特性,拟定出一套双组分清漆喷涂参数,以及通过喷涂轨迹与参数精细化优化实现双组分清漆膜厚、外观的快速完成;

3)双组分清漆喷涂日常管理主要涉及喷涂系统阀体检查方法,手臂本体、喷房格栅除渣,清洗机气孔疏通和非生产情况下固化剂排漆管理。

### 参考文献:

- [1] 王小兵,何尚锦,张保龙,等.丙烯酸酯嵌段共聚物合成及其改性环氧树脂的研究[J].工程塑料应用,2007,35(12):9-13.
- [2] 徐永芬.含活性基团亚胺/多官能环氧的制备及其固化反应动力学研究[D].上海:东华大学,2011.
- [3] 王庆国.双组分聚氨酯涂料中多异氰酸酯预聚体的合成[J].沈阳化工学院学报,1995(1):68-73.
- [4] 林粤顺,刘汉涛,赖汉辉,等.常温固化型双组分水性聚氨酯玻璃清漆的制备及性能[J].材料导报,2015,29(2):77-81.
- [5] 蔡永财,杨双龙,杨瀛涛.浅析汽车涂装双组分清漆改造方案设计[J].现代涂料与涂装,2015,18(10):22-23.
- [6] 吴飞,丰静.涂装1K与2K清漆柔性改造以及生产应用简述[J].现代涂料与涂装,2023,26(8):70-72.
- [7] 廖大政,赵冉,解敏.汽车涂装用2K清漆常见质量问题分析及解决[J].现代涂料与涂装,2024,27(12):58-61.
- [8] 李淑贞,华云.2K清漆循环管路堵塞问题解决[J].现代涂料与涂装,2020,23(4):57-58.
- [9] 李明,钟明强,邓俊杰,等.汽车涂装亚光色批量生产方法研究[J].现代涂料与涂装,2024,27(3):48-51.