

浅谈 2K 清漆外观优化

潘成成, 李春风, 王浩, 史尧, 赵上荣, 江润宇
(上汽大通汽车有限公司无锡分公司, 江苏 无锡 214107)

摘要: 当光线聚集在漆膜表面时, 其外观可以看到光亮区和非光亮区的反差, 漆膜表面就会出现大小凹凸不平、分布不均的波纹, 称为“橘皮”。本研究通过运用 2K(双组分)清漆, 调整工艺参数(如喷涂黏度、喷涂距离、走枪速度、雾化气压、闪干时间、烘烤温度曲线等)进行外观优化, 从而实现提升外观的目标。调试过程中的经验, 为行业实现高标准外观质量目标提供了重要的技术支撑与实践参考, 具有显著的推广应用价值。

关键词: 橘皮; 2K 清漆; 工艺参数; 外观优化

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2026)02-0060-04

A Brief Discussion on the Appearance Optimization of 2K Clear Coat

PAN Cheng-cheng, LI Chun-feng, WANG Hao, SHI Yao, ZHAO Shang-rong, JIANG Run-yu
(Wuxi Branch, SAIC MAXUS Automotive Co., Ltd., Wuxi 214107, Jiangsu, China)

Abstract: When light converges on the paint film surface, the contrast between bright and non-bright areas becomes visible, and the film surface presents uneven, irregularly distributed ripples, which is called "orange peel". This study optimizes the appearance by applying 2K (two-component) clear coats and adjusting process parameters (such as spraying viscosity, spraying distance, gun moving speed, atomizing air pressure, flash-off time, baking temperature profile, etc.), so as to achieve the goal of appearance enhancement. The experience gained during the debugging process provides important technical support and practical reference for the industry to achieve high-standard appearance quality goals, and has significant promotion and application value.

Key words: orange peel; 2K clear coat; process parameters; appearance optimization

0 引言

在当今高度竞争的汽车市场中, 消费者对于 SUV、高端皮卡、MPV 等车型的外观品质要求持续攀升, 其中油漆的外观效果作为整车视觉质感中的核心要素, 已成为衡量汽车档次的关键指标。然而, 传统的 1K(单组分)清漆体系在光泽度、饱满度、抗流挂性及最终呈现的外观细腻度等方面逐渐显现不足, 其性能已不足以满足日益挑剔的客户对于高端漆面效果(如高鲜映性、低橘皮)的期望^[1]。

收稿日期: 2025-07-16

作者简介: 潘成成(1991—), 男, 本科, 工程师, 主要从事汽车制造、喷涂仿形和汽车涂料等研究工作。E-mail: panchecheng@saicmotor.com。

基于此背景, 我司针对现有 MPV 产品进行了深入的市场与技术对标分析, 重点考察了行业主流品牌及造车新势力标杆车型的涂装工艺与漆面表现。对标结果明确显示, 采用 2K(双组分)清漆技术是显著提升外观质量的有效路径。2K 清漆在固化后能形成更致密、更坚硬、光泽更高且流平性更优的漆膜, 从而有效改善橘皮现象, 提升漆面整体质感和视觉豪华度^[2]。因此, 公司决定在 MPV 产品线上导入 2K 清漆体系, 旨在通过这一关键材料升级, 切实提升产品的外观竞争力, 满足高端市场需求。

1 硬件改造

利用现有 FANUC 喷涂机器人, 进行工艺设备改造满足 1K/2K 切换生产, 改造方案: 拆除原有 P-250 全套 VB 系统设备, 新增 SAMES PPH707 MT 2K 1H 雾

化器系统,构成 5(1 路素色+2 路 1K+1 路 2K 主剂+1 路预留)+1(1 路固化剂)系统,P-250iB J3 轴手臂增加多齿轮泵控制系统,每套包含联轴切换模块,1 个 0.006 L/min 齿轮泵和 1 个 0.002 4 L/min /0.003 L/min 齿轮泵(每个齿轮泵均配置进出口压力检测开关),共 6 套,工艺控制通过 J2 轴手臂 PCE 系统,喷房外增加多齿轮泵控制系统,每套包含联轴切换模块,4 个 0.006 L/min 齿轮泵(每个齿轮泵均配置进出口压力检测开关)和工艺控制模块,共 6 套,单边 3 套安装于同一个柜体内,原有 Crystal 清洗机替换,采用 SFR 内加电清洗机,带气液分离装置,共 6 套,原 VB 雾化器气孔盘改造,适配 SAMES 雾化器系统,周边系统集成,包含气管、油管,支架等,4 台 P-250iB 机器人升级 2K 组件,新增 6 套空气加热器(Walker)。

改造方案特点:1)3 种不同性质材料(1K 清漆,1K 溶剂素色漆,2K 清漆)采用不同的通道;2)换色时间预估 1K 溶剂素色漆换 1K 溶剂素色漆,15~18 s;1K 溶剂素色漆换 1K 清漆,5~6 s;1K 溶剂素色漆换 2K 清漆,5~6 s;1K 清漆换 1K 溶剂素色漆,5~6 s;1K 清漆换 1K 清漆,5~6 s;1K 清漆换 2K 清漆,5~6 s;2K 清漆换 1K 素色,8 s,2K 清漆换 1K 清漆,8 s;3)换色时间的节约,喷涂速度预计降低 25%。

2 喷涂叠枪率测试

为优化油漆的外观质量与涂料的利用率,在清漆站对 3 种油漆材料:1K 清漆、1K 溶剂型素色漆以及 2K 清漆,进行了系统性叠枪率喷涂测试。叠枪率是衡量喷涂轨迹重叠程度的核心指标,会直接影响油漆膜厚的均匀性、外观质量稳定性(避免出现“斑马纹”或“漏底问题”)以及涂料的利用率。本次测试的目标是 3 种材料的叠枪率均 $\geq 67\%$ ^[9],叠枪率的达标能有效保证测试目标的实现。

1)油漆喷涂膜厚的均匀性:避免因喷涂时油漆重叠不足导致的膜厚过低(露底)或重叠过多导致的膜厚过高(流挂、橘皮风险)。

2)漆膜外观一致性:消除因喷涂轨迹接缝处处理不当产生的“斑马纹”,尤其对于高外观(车辆门把手目视区域)要求的区域。

3)油漆材料高效利用:在保证油漆外观质量的前提下,优化喷涂轨迹的路径,增加油漆的上漆率,减少因过喷带来的油漆浪费。

测试过程严格按照测试标准流程执行,详细记录了每种材料在不同测试条件下的叠枪率数据(见表 1)。通过对数据的分析确认,3 种材料的叠枪率均成功达到并稳定维持在 $\geq 67\%$ 的目标水平^[9],满足了喷涂工艺规范要求,为后续提高油漆外观质量、高效率的喷涂

生产奠定了数据上的支撑。

表 1 叠枪率测试

项目	溶剂素色漆	1K 清漆	2K 清漆
转速/($r \cdot \min^{-1}$)	40 000	40 000	40 000
高压/kV	60	60	60
内成型/($L \cdot \min^{-1}$)	150	150	150
外成型/($L \cdot \min^{-1}$)	400	400	400
流量/($L \cdot \min^{-1}$)	0.4	0.4	0.4
枪速/($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	600	600	450
枪距/mm	200	200	200
折距/mm	100	100	100
有效喷幅/mm	330	310	310
叠枪率/%	70	68	68
结论	合格	合格	合格

3 喷涂速度降低

在汽车涂装工艺过程中,清漆层对最终的车身外观(光泽度、鲜映性、耐候性)和物理保护性能至关重要。本次工艺改进的核心是从传统的 1K 清漆体系切换为性能更优异的 2K(双组分)清漆体系^[5]。这一转变带来了显著的性能提升潜力,但也对施工工艺提出了新的要求。

原 1K 清漆的机器人喷涂速度设定为 650 mm/s。在切换到 2K 清漆后,由于其不同的油漆材料特性和烘烤固化原理,直接沿用原有枪速喷涂会导致油漆流平不足、橘皮风险增加等问题^[6]。为确保 2K 清漆的最佳成膜效果,工艺团队进行了两项关键项目的优化。

1)喷涂区域精细化分区:对车身各部位(如水平面、垂直面、棱线、复杂特征面)进行了更精细的喷涂区域划分。这样做的目的是根据不同区域的几何形状和漆膜外观要求,定制化地调整喷涂机器人轨迹、雾化器角度和出漆流量,确保漆膜均匀覆盖,尤其在边缘和门折角处避免流挂或漆膜过厚。

2)换色效率显著提升:通过优化换色阀组设计、清洗程序以及管路布局,大幅缩短了不同颜色或漆料切换时的换色时间。从而提高了面漆喷房的整体效率,也为在更精细分区和可能更复杂的喷涂路径下维持生产节拍提供了时间保障。

基于上述分区优化和换色时间缩短,团队将 2K 清漆的机器人喷涂速度设定为 450 mm/s。喷涂速度较 1K 清漆有所降低,但结合精细分区带来的更精准喷涂,以及精心调整表 2 所载的关键喷涂参数(如喷涂流量、成型空气压力、旋杯转速、静电电压、喷枪距工件距离等),团队成功地将整车 2K 清漆层的干膜厚度控制

在 50~60 μm 的目标范围内。这一膜厚范围是平衡外观效果、防护性能和成本的关键指标^[7]。

为了全面评估新工艺的实际效果,现场安排了调试试车进行外观验证。在验证过程中,色漆层特意选用了漆膜缺陷极为敏感的金属黑色(金属黑)。金属漆中的铝粉或珠光粉颗粒对底层平整度和清漆的流平性要求极高,任何微小的橘皮、流挂或膜厚不均都会在金属黑漆面上被明显放大。因此,选择金属黑作为验证色漆,是对新 2K 清漆喷涂工艺(包括膜厚控制、流平效果、整体均匀性)和最终外观品质最为严苛的考验^[8]。通过该调试试车的喷涂验证,可以直观且有效地评判优化后工艺是否满足高标准的外观要求。

表 2 喷涂参数

喷涂参数	喷涂流量	内成型	外成型	转速
2K 清漆	0.4 L/min	150 L/min	400 L/min	40 000 r/min

4 金属黑外观优化

黑色因鲜艳性数据高,肉眼观察车辆会产生镜面效应,导致橘皮缺陷放大,故选择金属黑作为外观优化方向。目标设定见表 3。

表 3 金属黑外观目标设定

目标	橘皮	长波	短波	鲜艳性
2K 清漆	7.8	10.0	15.0	93

油漆的外观有两个重要指标,分别是橘皮(R)与鲜映性(DOI),橘皮反映了漆膜表面微观上的平整度(R 值数据越大越好),鲜映性(DOI 数据越大越好)则代表油漆的成像清晰度,同时橘皮又是影响鲜映性的重要因素。橘皮是对漆膜表面微观不平整的一个感性描述,实际上它的形成原因非常复杂,但从原理上来讲主要有以下两种因素。

1)底材(板材、电泳)微观上的不平整向油漆表面的传递。

2)油漆在干燥的工艺过程中溶剂挥发造成表面张力梯度变化。因此,橘皮的问题是不可能完全避免的,只能尽量减小外观差异。

4.1 工艺参数优化

根据表 2 参数,进行调试试车外观喷涂验证,并与 1K 清漆外观数据进行对比,在 2K 清漆单层膜厚得到 50 μm 时,整车外观改善不明显,通过多轮验证,发现提高喷涂转速(转速从 40 000 r/min 提升至 45 000 r/min),2K 清漆的漆膜外观(长波与短波)改善较大,具体数据见表 4。但外观数据未达到目标值,外观还需优化。

表 4 优化转速的外观对比

项目	橘皮	长波	短波	鲜艳性
1K 清漆	6.6	11.7	26.7	89.2
2K 清漆转速 40 000 r/min	7.2	10.5	23.4	90.1
2K 清漆转速 45 000 r/min	7.4	7.2	20.6	90.3

4.2 色漆成膜次数验证

人眼在 2.5 m 以内的距离能看到约 0.1 mm 阔的线条称为长波;人眼在 50 cm 以内的距离看到约 0.6 mm 阔的线条称为短波。长波反映涂料在喷涂烘干过程中流平特性的影响,短波反映底材粗糙度(清漆层下的漆膜)的影响。数值越大说明指标越差,橘皮越严重,长短波模拟人的眼睛可以观察到车身表面高低波纹的幅度。

目前存在问题短波数值太大,未到达预定值,因金属黑不存在色差问题,验证色漆喷涂机器人喷涂一站成膜和两站成膜与长短波之间的关联。将原色漆两站喷涂成膜改成一站喷涂成膜,增加流平时间 90 s,具体更改如下。

调整前工艺:中涂涂层+色漆 1 涂层+色漆 2 涂层+闪干烘房+2K 清漆涂层;调整后工艺:中涂涂层+色漆 1 站涂层+闪干烘房+2K 清漆涂层。调整后短波数值下降明显,达到了预期目标值,具体数据见表 5。

表 5 工艺调整后的外观数据

项目	橘皮	长波	短波	鲜艳性
调整前工艺	7.4	7.2	20.6	90.3
调整后工艺	7.7	6.6	15.1	91.3

4.3 烘房炉温降低

针对鲜艳性未达到目标外观值,检查车身部分区域(如前左右翼子板及前门斜坡面等门边棱线处)发现存在局部失光现象的问题(鲜艳性数据低,在 88 左右),团队进行了专项排查。考虑到漆膜最终的外观表现(光泽、清晰度)高度依赖于喷涂过程中溶剂的充分挥发和树脂的完全交联,排查重点锁定在影响这两大关键环节的核心工艺段:闪干烘房和面漆烘房。

4.3.1 脱水率排查

为评估车身漆膜在闪干烘房阶段的溶剂挥发与水分蒸发效果,即脱水率,采用了铝箔纸称重比对法进行验证,将该贴有铝箔纸的零件车送入色漆站喷涂金属黑,在出闪干炉后,将铝箔纸从零件车上完整取下,进行称重比对,本次测量得到的脱水率结果为 91.2%。对照工艺要求的合格范围(90%~93%),该数值完全落在

区间之内。因此,判定本次闪干工艺的脱水效果合格。闪干烘房对鲜艳性的影响排除。

4.3.2 面漆烘房炉温曲线排查

漆膜最终的硬度和光泽主要取决于面漆烘房的热固化效果。树脂交联不足会导致漆膜偏软、耐候性差,极易出现失光。因此,对车辆的炉温曲线进行了详细追踪与分析。

现场 1K 清漆与溶剂素色漆的烘烤时间为 140 °C×23 min,而 2K 清漆烘烤时间为 140 °C×18 min,查看炉温曲线,二区升温上升较快,存在降低温度的空间。经过 6 轮的调试验证,最终将面漆烘房的温度进行锁定,具体数值见表 6。同时对测量的外观进行重新测量,鲜艳性从 91.3 提升至 93.2,达到目标值。

表 6 面漆炉温设定值优化 °C

项目	区域					
	一	二	三	四	五	六
调整前	127	205	161	164	160	160
调整后	127	195	164	164	158	155

4.3.3 结果体现

在 2K 清漆的调试过程中,重点针对清漆转速、色漆成膜状态及烘房温度 3 个关键参数进行了系统性优化。通过反复试验与数据比对,成功将清漆外观性能提升至预设目标值,具体优化后的各项指标已详细记录于表 7 中。

为验证优化方案的普适性(除色漆一站成膜),同步对其他颜色的涂层外观进行了检测,结果显示其各项数据与金属黑的外观参数基本一致,表明该优化方案在不同颜色体系中均能稳定发挥作用。此次 2K 清漆调试的成功,不仅满足了产品外观质量要求,也为后续规模化生产提供了可靠的工艺依据。

(上接第 59 页)划之前要充分调研、对标、交流,结合前人经验,与生产、工艺、设备保全等多部门进行联合评审,优化工艺方案。产线建成后的运营成本、单位产出面积的精益性显著优于目前行业通用水准,且产线柔性化高。在新技术应用过程中,充分利用业内先进技术,经过充分验证应用在新建项目上,形成项目的亮点。

参考文献:

[1] 王锡春,吴涛.涂装车间设计手册[M].3 版.北京:化学工业出版社,2019.
 [2] 张国忠,张昆.干式文丘里在涂装车间的应用介绍[J].现代涂

表 7 2K 清漆外观数据

项目	橘皮	长波	短波	鲜艳性
清漆转速调整	7.4	7.2	20.6	90.3
色漆成膜调整	7.9	6.6	15.1	91.3
面漆烘房温度调整	8.2	5.5	12.6	93.2

5 结语

在本次 2K 清漆外观优化工作中,团队突破了以往仅聚焦于色漆两道成膜工艺的固有优化思路。在保持相同施工条件的前提下,针对不同种类的油漆,通过开展现场工艺参数的精细化优化,结合生产设备关键参数的系统性调整,经过多轮试验与验证,最终实现了各类油漆产品的同步稳定生产。这一成果不仅提升了 2K 清漆的外观质量,更验证了跨油漆种类协同优化方案的可行性,为生产线的高效运转提供了有力支撑。

参考文献:

[1] 王锡春.汽车涂装工艺技术[M].北京:化学工业出版社,2005.
 [2] 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.
 [3] 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.
 [4] 王明,完颜成功,强俊,等.油漆外观能力提升创新成果探讨[J].现代涂料与涂装,2023,26(8):60-62.
 [5] 刘本发,孙桂林,宋金泽,等.提高汽车涂装上漆率的工艺方案研究[J].现代涂料与涂装,2024,27(9):31-32.
 [6] 陈治良.现代涂装手册[M].北京:化学工业出版社,2010.
 [7] 廖梅东,徐鹏,吴剑伟.浅谈如何提高汽车涂装整体外观一致性[J].现代涂料与涂装,2024,27(7):20-22.
 [8] 黄鹏,许健,戈北京,等.汽车涂装烘房输送方式的应用与分析[J].现代涂料与涂装,2025,28(2):66-68. ◆

料与涂装,2016(8):56-58.
 [3] 仓里.涂装工艺[M].北京:化学工业出版社,2009.
 [4] 汪士选.汽车涂装[M].北京:化学工业出版社,2010.
 [6] 赵光麟,马春庆.涂装设备简明设计手册[M].北京:化学工业出版社,2012.
 [7] 杨泽旭,完颜成功.涂装专业绿色涂装前沿技术探讨[J].现代涂料与涂装,2024(8):37-39.
 [8] 孙志华.浅谈信息化系统在涂装车间的应用[J].现代涂料与涂装,2021(5):56-58.
 [9] 潘雷亮,徐世杰.汽车涂装生产线规划设计[J].设备管理与维修,2019(2):158-159. ◆