

浅析汽车黑色清漆套色工艺及经济性研究

李文鹏, 彭亮, 齐有升, 王勉, 曹克, 马驰宇, 高磊, 左智博
(零跑科技股份有限公司, 浙江 金华 321000)

摘要: 本文聚焦黑色清漆套色工艺展开系统研究, 深入剖析其工艺原理, 揭示实现独特涂装效果的内在机制; 详细阐述该工艺特点, 涵盖外观呈现的独特质感、环保方面的突出优势等。同时, 结合汽车涂装实际, 分析其在汽车不同部件涂装中的应用情况。此外, 从设备投入、材料成本、生产效率等维度, 全面探讨黑色清漆套色工艺的经济性, 为汽车制造企业评估与选用该工艺提供科学依据。

关键词: 黑色清漆; 套色工艺; 汽车涂装; 定制化; 经济性

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)10-0043-04

Technology and Economy of Color Registration of Automotive Black Varnish

LI Wen-peng, PENG Liang, QI You-sheng, WANG Mian, CAO Ke, MA Chi-yu, GAO Lei, ZUO Zhi-bo
(Leapmotor Technology Co., Ltd., Jinhua 321000, Zhejiang, China)

Abstract: This article focuses on a systematic study of the black varnish overcolor process, deeply analyze its technological principle and reveal the internal mechanism that achieves the unique coating effect; Elaborate in detail on the characteristics of this process, covering the unique texture presented in appearance and the outstanding advantages in environmental protection, etc. Meanwhile, in combination with the actual situation of automotive painting, analyze its application in the painting of different automotive components. In addition, the economic viability of the black varnish overcolor process is comprehensively explored from multiple dimensions such as equipment investment, material cost, and production efficiency, providing a scientific basis for automotive manufacturing enterprises to evaluate and select this process.

Key words: black varnish; colouring process; automobile painting; customization; economy

0 引言

在汽车制造的宏大版图中, 涂装环节宛如一颗璀璨的明珠, 占据着举足轻重的地位。它绝非仅仅是赋予汽车绚丽外观的简单工序, 更是关乎汽车整体品质与使用寿命的关键因素。一辆汽车的外观质量, 在很大程度上取决于涂装工艺的精湛程度, 流畅的线条、亮丽的色泽以及均匀的漆膜, 都能让汽车在道路上脱颖而出, 吸引消费者的目光。而从使用角度来看, 优质的涂装犹

如一层坚固的铠甲, 能够有效抵御外界环境的侵蚀, 如紫外线、酸雨、沙尘等, 防止车身生锈腐蚀, 从而大大延长汽车的使用寿命, 为消费者节省后续的维修成本。

近年来, 随着社会经济的飞速发展和人们生活水平的显著提高, 消费者对汽车外观的要求也日益严苛。他们不再满足于传统的单一色彩和普通质感, 而是追求更加个性化、时尚化、高品质的外观效果。这种消费需求转变, 如同强大的驱动力, 促使汽车涂装工艺不断进行优化和升级。科研人员和工程师们夜以继日地钻研新技术、新材料, 力求为消费者带来前所未有的视觉盛宴。

在这样的背景下, 黑色清漆套色工艺作为一种新兴的涂装技术, 宛如一颗冉冉升起的新星, 逐渐在汽车涂装领域崭露头角。该工艺凭借其独特的魅力, 展现出

收稿日期: 2024-04-26

作者简介: 李文鹏(1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事汽车涂装现场工艺规划及管理、工艺调试及品质提升、新车型导入、新产品新工艺前瞻性研究与应用等工作。E-mail: lwpqq@163.com。

了诸多显著优势。在外观效果方面，它能够营造出深邃、神秘且极具质感的视觉体验，让汽车散发出一种低调而奢华的气质。同时，其环保性能也十分突出，符合当下绿色发展的时代潮流。更为重要的是，相较于一些传统的涂装工艺，黑色清漆套色工艺在设备投入和制造成本上具有明显的优势，能够为企业降低生产成本，提高市场竞争力。基于以上优势，黑色清漆套色工艺正得到越来越多的尝试性应用。本文将深入探讨黑色清漆套色工艺及其经济性，为汽车涂装行业的发展提供有益的参考。

1 汽车套色工艺的理论与技术

套色，即在一种车身颜色的基础上增加一种及以上的其他颜色来丰富车身色彩，以满足客户个性化和

定制化的要求。生产工艺的改变，必然需要工序的增加和设备的投入来满足产品的制造需求。传统的套色路线一般有两种，一种为主线大返模式，另一种为独立套色线模式，无论哪种模式，均需在车身主线颜色喷涂烘干后进行打磨、擦净、遮蔽、套色面漆、水分烘干、套色清漆、烘干、去遮蔽等必要的生产工序；而新型黑色清漆套色工艺则为主线工序结束后对非套色区域进行遮蔽擦净后直接进行套色清漆的喷涂作业，烘干后即可下线交付，节省了打磨、面漆喷漆、检查流平、水分烘干等工序设备的投资和作业步骤，在人员成本、材料成本和运行成本等方面也得到了优化提升。

图1为传统套色工艺和黑色清漆套色工艺流程的对比。

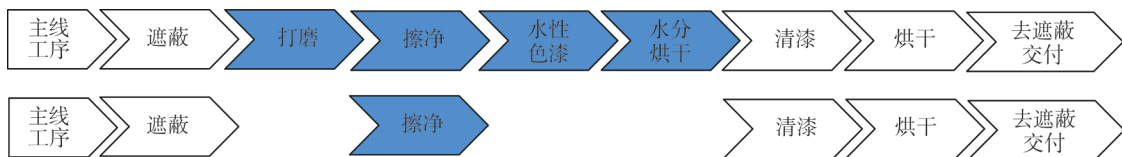


图1 传统套色工艺和黑色清漆套色工艺流程的对比

传统套色工艺根据喷涂部位作业步骤的先后，有3种实现套色工艺的方案选择，一种是先主色喷涂，主色区域烘干下线遮蔽打磨擦净后进行套色工艺；另一种是先套色，套色区域烘干下线遮蔽打磨擦净后进行主色工艺；第三种是主色套色区域不分先后，进行两次遮蔽喷涂。两次遮蔽工艺的套色方式，因其昂贵的遮蔽材料费用及复杂的遮蔽作业方式和精度要求，目前很

少被采用了。

从工艺流程的对比可以看出，黑色清漆套色工艺在经过正常的整车涂装工艺后，仅需进行一次套色区域之外部分的遮蔽，即可实现免打磨、低运行成本的套色产品工艺，表1为4种套色工艺方案的优缺点对比。传统套色工艺方案三因遮蔽作业量大和遮蔽材料成本高等劣势，逐渐被淘汰。

表1 套色工艺对比

套色模式	工艺特点	优点	缺点	备注	
传统套色工艺	主色先涂	主色遮蔽，套色打磨	打磨作业量小，清漆成本低	遮蔽材料成本高	在用
	套色先涂	套色遮蔽，主色打磨	遮蔽材料成本低	打磨作业量大，清漆成本高	在用
	不分先后	主色/套色遮蔽，免打磨	无打磨作业	遮蔽作业量大，遮蔽材料成本高	淘汰
黑色清漆套色	整车喷涂+黑色清漆	主色遮蔽，免打磨	免打磨擦净，设备投资运行成本低，清漆成本低	遮蔽材料成本高	在用

2 黑色清漆套色工艺原理及特点

2.1 工艺原理

黑色清漆套色工艺是一种将黑色清漆与底色漆相结合的涂装方法。在涂装过程中，先在汽车表面完成完整的喷涂烘干工艺，然后再喷涂一层黑色清漆。黑色清漆具有一定的透明度，使得底色漆的颜色能够在黑色清漆的覆盖下呈现出独特的视觉效果。

2.2 工艺特点

1) 优异的外观效果：黑色清漆套色工艺能够在保

证汽车表面光泽度的同时，呈现出丰富的色彩层次，橘皮和鲜映性等外观质量也得到了明显的提升。

2) 环保性能：黑色清漆套色免打磨工艺，减少了颗粒物和沉降废水的排放，同时减少了水性色漆的二次喷涂和水分烘干工序，减少了废气排放和处理，有利于减少环境污染。

3) 良好的耐候性：黑色清漆具有较高的耐冲击、耐划伤、耐紫外线、耐酸碱和耐水性能，能够有效满足面漆防护质量要求。

4) 较低的施工成本: 黑色清漆套色工艺简化了涂装流程, 减少了打磨辅材的定额消耗和相应的人工费用、设备运行能耗, 降低了单车制造成本。

2.3 黑色清漆套色工艺在汽车涂装中的应用

黑色清漆套色工艺在汽车涂装中的应用主要体现在以下几个方面。

1) 轿车领域: 黑色清漆套色工艺在轿车领域应用广泛, 尤其是豪华品牌车型, 通过黑色清漆套色工艺能够展现出独特的质感。

2) SUV 领域: SUV 车型采用黑色清漆套色工艺, 以凸显其硬朗的外观风格。

3) 新能源汽车领域: 新能源汽车注重环保性能, 黑色清漆套色工艺的低运行成本、低辅材消耗以及低污染排放符合其发展需求。

2.4 关键技术点

鉴于黑色清漆套色实现的工艺路线, 关键技术点包括以下几个方面。

1) 黑色清漆套色在完整涂装工艺后进行, 套色区域膜厚增加 35~55 μm , 套色分色线的选择尤为重要, 一般会选择 A 柱和翼子板交界以及门洞止口作为理想的位置, 以避免突兀的分色边线;

2) 黑色清漆的烘烤工艺窗口选择: 因车身主色区域需要经过两轮面漆烘干炉的高温烘烤, 色差会有偏黄的变化趋势, 尤其在浅色车身上最为明显。所以在材料的选择上, 以高固含 2K 黑色清漆为主, 固化剂质量比例(2:1)的提高, 大大降低了黑色清漆烘干所需的热量, 经烘干性验证, 120 $^{\circ}\text{C}/20\text{ min}$ 的设备参数即可满足工艺要求, 降低了车身主色区域过度烘烤的风险。

3 黑色清漆套色工艺的经济性对比分析

参考表 1 套色工艺对比, 减少对比差异项, 对遮蔽方式相同的套色模式一和套色模式四进行对比, 套色生产模式为独立套色线作业, 主要从设备、材料、生产效率和环保 4 个方面展开分析, 相同部分不进行对比数据的展开, 表 2 为对比差异项。

表 2 对比差异项

项目名称	套色模式一	套色模式四	备注
套色遮蔽	有	有	
套色打磨、擦净	有	无	对比项
套色色漆喷涂	有	无	对比项
套色水分烘干强冷	有	无	对比项
套色清漆喷涂	有	有	
套色烘干	有	有	

3.1 设备投资、运行对比

从表 2 可以看出, 设备投资和运行方面的差异主要为色漆喷漆室、喷漆机器人、水分烘干强冷室、废气处理及送风空调设备的投资和运行差异, 按照基础数据进行不同工艺涂装路线的规划建设, 套色模式四在设备投资方面可节约 300 万元, 单车运行费用可节约 35 元/台, 表 3 为对比基础数据。

表 3 对比基础数据

项目	基础数据	项目	基础数据
车身尺寸/mm	5 000×2 200 ×1 600	机器人喷漆	75
车身主色面积/ m^2	12	上漆率/%	
车身套色面积/ m^2	1	烘干节距/mm	5 600
套色节拍/JPH	10	喷漆节距/mm	7 500
烘干工艺时间/min	30	闪干工艺时间/min	8
		强冷工艺时间/min	3

3.2 材料成本对比

黑色清漆套色工艺在工艺流程上减少了水性色漆的喷涂工艺要求, 按照套色区域面积 1 m^2 , 色漆膜厚 20 μm , 机器人上漆率 75%, 节拍 10 JPH 进行主材及辅材耗量计算, 每台车油漆成本可节约 5 元; 油漆过喷量 0.02 kg/台, 干式纸箱容漆率按照 18 kg/个、单价 200 元/个进行计算, 周期性过滤材料单台节约 0.22 元/台, 年主辅料消耗可节约 30 余万元。

3.3 生产效率对比

套色浅打磨工时按照 $\text{m}^2/(200\text{ s}\cdot\text{人})$ 计算, 打磨面积 10 m^2/h , 单位时间打磨总工时 2 000 s, 合 33 min, 可减少 6 个人打磨作业, 提升节拍 5 JPH, 套色生产效率提高 100%, 依据经济性评估细则, 年经济性效率节约 90 万元。

4 黑色清漆套色漆膜质量测试评估

对黑色清漆套色质量进行促进耐候性测试评估, 评估方法按照 QC/T 17—1997 《汽车零部件耐候性试验一般规则》细则进行, 试验检测信息如下。

试验样品 1: 电泳+黑色清漆。

试验样品 2: 电泳+中涂+黑色清漆。

样品处理环境: 样品预先在温度 22~26 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 30%~70% 的实验室条件下放置 24 h 以上。

检测设备: TSTJ-T-075 氙灯老化箱, TSTJ-M-031X-rite 色差仪, TSTJ-M-020 光泽仪美工刀, TJST-T-077 划格器, 3M610 胶带 (20210702)。

技术参数: 氙弧灯辐照量 0.51 $\text{W}/\text{m}^2(340\text{ nm})$, 黑标温度(65 \pm 3) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度(50 \pm 10)% , 18 min 湿润+102 min 干燥循环, 测试时间 2 000 h, 使用硼硅酸盐内

外滤光器。

检测要求: $\Delta E \leq 3.0$; 光泽保持率 $\geq 75\%$ (60°), 漆膜无开裂; 在温度 (23 ± 2) $^\circ\text{C}$ 、相对湿度 (50 ± 5)% 的条

件下调节 3 h, 附着力 ≤ 1 级。

外观及性能试验结果见表 4 所列, 测试评价结果为合格。

表 4 外观及性能试验数据

样品	45°色差						ΔE	60°光泽/%			附着力/级	外观	评价	
	试验前			试验后				试验前	试验后	保持率/%				
	L	a	b	L	a	b								
样品 1	1#	1.22	-0.11	-0.30	1.94	-0.10	-0.41	0.75	90.80	90.40	99.6	0	良好	合格
	2#	1.25	-0.09	-0.38	1.79	-0.10	-0.33	0.52	91.10	91.70	100.6	0	良好	合格
	3#	1.31	-0.10	-0.37	1.69	-0.11	-0.30	0.37	91.30	91.30	100.0	0	良好	合格
样品 2	1#	1.23	-0.08	-0.34	1.62	-0.09	-0.37	0.38	91.40	91.80	100.0	0	良好	合格
	2#	1.25	-0.07	-0.36	1.68	-0.09	-0.34	0.42	91.20	90.90	99.7	0	良好	合格
	3#	1.21	-0.09	-0.33	1.75	-0.12	-0.30	0.54	91.60	92.00	100.4	0	良好	合格

5 结语

在汽车制造行业持续追求高品质、低成本与绿色发展的当下, 黑色清漆在车顶套色工艺上的应用研究, 无疑为行业注入了一股创新且高效的活力。通过对工艺规划、生产组织、材料应用、工艺参数以及质量评估等多方面的深入调查与细致分析, 我们得出了具有重要实践价值的结论。

从工艺规划层面来看, 黑色清漆的应用促使车顶套色工艺流程更加科学合理。它优化了各工序之间的衔接, 减少了不必要的中间环节, 使得整个生产过程更加紧凑高效。这种规划上的改进不仅提高了生产效率, 还降低了因工序繁琐而可能产生的质量风险, 为后续的大规模生产奠定了坚实的基础。

在生产组织方面, 该清漆材料的应用推动了生产模式的创新与优化。由于其良好的施工性能和稳定性, 生产线上的人员调配更加灵活, 设备利用率得到显著提升。同时, 生产周期的缩短使得企业能够更快速地响应市场需求, 提高了生产的灵活性和适应性, 增强了企业在激烈市场竞争中的优势。

材料应用上, 黑色清漆展现出了卓越的性能。相较于传统清漆, 它具有更低的挥发性有机化合物(VOC)排放, 符合当下严格的环保要求, 为企业实现绿色生产提供了有力支持。而且, 其高固含的特性使得涂层厚度更容易控制, 一次成膜性更好, 有效减少了涂料的浪费, 降低了材料成本。

工艺参数的精准控制是确保车顶套色质量的关键。通过大量的试验和数据分析, 我们确定了最适合该清漆材料的工艺参数, 如喷涂压力、温度、湿度等。在这些参数的精确调控下, 清漆能够均匀地附着在车顶表面, 形成光滑、致密且具有良好附着力的涂层, 大大提高了产品的外观质量和耐久性。

质量评估结果显示, 黑色套色清漆材料的应用具有明显的提质、降本、改善、增效等精益特点。在质量上, 它满足了客户对感官质量的严苛需求, 车顶套色部分色泽均匀、光泽度高, 与整车外观完美融合, 提升了产品的整体档次。在成本方面, 材料成本的降低和生产效率的提高, 使得企业的生产成本得到有效控制, 增强了产品的市场竞争力。

综上所述, 黑色清漆在车顶套色工艺上的成功应用, 不仅为汽车涂装领域带来了新的技术突破, 还为企业实现可持续发展提供了可行的解决方案。我们有理由相信, 随着该技术的不断完善和推广, 它将在涂装套色批量制造活动中发挥更大的作用, 推动汽车制造行业向更高质量、更环保、更高效的方向迈进。

参考文献:

- [1] 王宗田, 吴贵根, 陈良印. 浅谈涂装节能减排运用[J]. 现代涂料与涂装, 2025(6): 53-56.
- [2] 彭子华, 李智伟, 万晨, 等. 浅谈涂装套色车生产工艺[J]. 现代涂料与涂装, 2024(7): 53-56.
- [3] 段雪娜, 牟彬, 李飞, 等. 机盖曲线套色工艺路线策划浅析[J]. 现代涂料与涂装, 2024(10): 59-62.
- [4] 滕晓倩, 张伦, 袁宝弟. 汽车涂装双色车身产能规划分析[J]. 汽车实用技术, 2023(10): 176-180.
- [5] 袁杨, 朱木名. 黑车顶二合一工艺双组分黑色清漆应用可行性研究[J]. 涂料工业, 2022(11): 56-60.
- [6] 廖章龙, 吴拉, 韦义纲, 等. 基于 3C1B 一次套色工艺调试过程问题解决探讨[J]. 现代涂料与涂装, 2022(6): 37-39.
- [7] 展嘉楠, 孙桂林, 马凤强. 双色车喷涂工艺降本方案浅析[J]. 中国设备工程, 2020(增 2): 144-146.
- [8] 张富家, 邢汶平. 新能源汽车涂装套色技术应用研究[J]. 现代涂料与涂装, 2020(12): 59-62.