

客车车身油漆鲜映性的影响因素及优化方法

朱 广, 楚家俊, 傅赞果, 宋海泉, 黄斐荣

(比亚迪汽车工业有限公司, 广东 深圳 518118)

摘 要:针对客车制造过程中车身油漆的鲜映性问题,深入分析鲜映性的影响因素,并提出优化方法。

关键词:客车车身; 油漆; 鲜映性; 影响因素; 优化方法

中图分类号:U466

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2024)05-0051-05

Influence Factors and Optimization Methods of Distinctness of Image in Bus Body Paint

ZHU Guang, CHU Jiajun, FU Yunguo, SONG Haiquan, HUANG Feirong

(BYD Automobile Industry Co., Ltd., Shenzhen 518118, China)

Abstract: Regarding the Distinctness of Image issues in bus body paint during bus manufacturing, the authors deeply analyze the factors that influence the Distinctness of Image and propose optimization methods.

Key words: bus body; paint; Distinctness of Image; influence factors; optimization method

评价客车涂装质量的基本性能指标主要包括颜色、光泽、橘皮等,而鲜映性(Distinctness of Image, DOI)则是高端客车车型进一步追求的指标。鲜映性是衡量漆膜表面成像清晰程度的指标,为保证高端客车的油漆外观质量,鲜映性指标是不可忽视的。目前国内针对鲜映性的专项研究还很少,其深层机理还没有形成被广泛认同的体系。

本文先对油漆鲜映性的影响因素进行理论分析,然后结合客车涂装工艺提出具体的优化方法。

1 油漆鲜映性的影响因素分析

1.1 鲜映性的测量原理

油漆外观质量与光学现象息息相关,其中光反射受表面波纹结构影响。鲜映性主要取决于尺寸小于2 mm的表面波纹结构;光泽度是衡量漆膜表面光反射能力的指标,其取决于尺寸小于0.1 mm的表面波纹结构;橘皮短波、长波是衡量漆膜表面波纹特征的指标,分别对应0.3~1.2 mm和1.2~12 mm的波纹

结构^[1]。鲜映性越好的油漆表面,其波纹结构越少,漆膜的光泽度会越高、橘皮效应会更轻。换言之,鲜映性是保证光泽度和橘皮短波的充分条件。

鲜映性的评价指标就是DOI的值,即漫反射角以内的镜面反射光与入射光强度的比值^[2]。DOI值越大,意味着成像越清晰,即鲜映性越好。对于高光泽表面,反射光强度与入射光强度近似相等,因此允许偏差角内的镜面反射光代替入射光进行计算。如图1所示,DOI的具体测量方法如下:通常以入射角为 θ 的光线照射漆膜表面,测定其镜面反射角 θ 反射光的强度 $I_{\theta+\psi}$ (允许偏差角为 ψ)和漫反射角 $\pm\varphi$ 以外的漫反射光强度 $I_{\theta\pm\varphi}$,计算公式见式(1)。

$$DOI = \frac{(I_{\theta+\psi} - I_{\theta+\varphi}) + (I_{\theta-\psi} - I_{\theta-\varphi})}{I_{\theta+\psi} + I_{\theta-\psi}} \times 100\% \quad (1)$$

测试光入射角越小越容易受到表面波纹结构影响,因此小角度的测试角更能反映油漆鲜映性的优劣,一般采用 $20^\circ \sim 30^\circ$ 的入射角 θ 测定车身油漆的DOI值。通常将允许的偏差角 ψ 定在 $0^\circ \sim 0.1^\circ$ 范围

收稿日期:2024-03-03。

第一作者:朱 广(1975—),男,助理工程师;主要从事客车油漆外观质量提升的研究工作。E-mail:495942258@qq.com。

通讯作者:傅赞果(1998—),男,硕士;主要从事客车油漆外观质量提升的研究工作。E-mail:570967626@qq.com。

内,漫反射角 φ 定在 $0.3^{\circ}\sim 0.6^{\circ}$ 范围内。

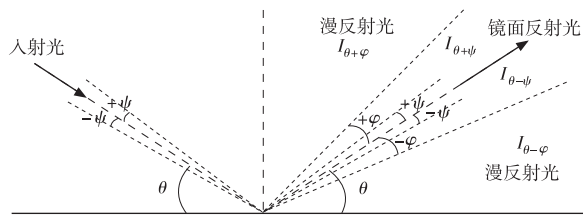


图 1 鲜映性的测量示意图

1.2 漆膜成分影响因素

漆膜成分主要包含成膜物质(主要为有机树脂)、颜料和少量助剂。漆膜不同的组成成分会影响漆膜表面光的反射,导致漆膜鲜映性出现差异,尤其是外层的面漆和清漆。漆膜对光的反射由漆膜内的微观粒子实现,粒子的类型、粒径和形状都会对光反射产生影响。

素色漆膜的粒子类型主要包括有机树脂粒子和颜料粒子。有机树脂粒子包含碳基高分子和有机硅高分子,高分子的聚合度越高,分子量越大,反射光的散布越小,鲜映性越高^[3]。颜料粒子包含无机颜料和有机颜料,无机颜料粒子稳定性好,多为晶型,吸收光的能力较强,但反射光强较小,因此鲜映性略差;有机颜料粒子稳定性差,多为非晶型,吸收光的能力较弱,但反射光强较大,鲜映性优于无机颜料粒子。此外,闪光漆中除了有树脂粒子和颜料粒子,还有铝粉颗粒或云母颗粒,这两种颗粒都会造成反射光路径的改变^[4],因此其 DOI 的测量值偏低,而目视的反射映像却较为清晰,所以应区分闪光漆与素色漆的鲜映性指标值。

粒子大小对漆膜表面波纹结构有较大影响。漆膜粒子粒径较大时($0.5\sim 1\text{ }\mu\text{m}$),波纹结构尺寸随之增大,大波纹结构较多;粒径较小时($0.1\sim 0.3\text{ }\mu\text{m}$),漆膜表面的波纹结构尺寸随之减小,大波纹结构会更少,但漆膜粒径过小会导致漆膜附着力下降。因此,适当减小漆膜粒径有利于漆膜鲜映性的提高。

漆膜粒子的典型类型包括砂型粒子、球型粒子和晶型粒子(表 1)。其中,球型粒子(多为有机物)表面光滑,反射光的散布较小,最有利于油漆鲜映性的提高。砂型和晶型粒子(二者多为无机物)表面粗糙,反射光散布较大。粒子总含量相同时,球型粒子的占

比越大,鲜映性越高。

表 1 漆膜粒子典型类型

粒子类型	图示	粒径/ μm	粒子作用	不利影响
砂型		10~30	增加漆膜硬度和耐磨性	降低漆膜光泽度
球型		5~10	增加漆膜光泽度	降低漆膜硬度
晶型		5~50	增加漆膜附着力、遮盖力	降低漆膜光泽度

1.3 表面特征影响因素

漆膜的表面特征会影响光的反射,表面越粗糙,大波纹结构越多,反射光的散布区间就越大,镜面反射越弱,因此鲜映性越差。漆膜的表面特征体现为众多的波纹结构^[5],在轮廓上连接相邻波谷并包含单个波峰的波纹结构(称为波纹结构单元)。根据漆膜表面结构单元的尺寸大小可将表面特征分为粗糙度 R_a 和波纹度 W_{ca} 。表面结构单元的宽度为相邻同种表面结构波峰的跨度 L ,粗糙度 R_a 与波纹度 W_{ca} 的结构单元示意图如图 2 所示。其中粗糙度的结构单元宽度 $<1\text{ mm}$,波纹度的结构单元宽度 $\geq 1\text{ mm}$ 。漆膜表面的粗糙度 R_a 为粗糙度结构单元相对参考线(粗糙度结构波谷连线)的平均高度,即图 2 中 $R_a = \sum_{i=1}^n R_i/n$, ($i = 1, 2, \cdots, n$);漆膜表面的波纹度 W_{ca} 为其波纹度结构单元相对表面水平线的平均高度,即图 2 中 $W_{ca} = \sum_{j=1}^m W_{cj}/m$, ($j = 1, 2, \cdots, m$)。由于鲜映性受到尺寸小于 2 mm 的波纹结构影响,因此粗糙度和波纹度特征均与鲜映性相关。

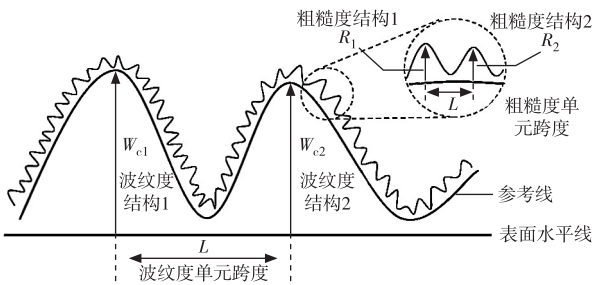


图 2 粗糙度与波纹度结构单元示意图

清漆或双组分面漆的漆膜表面作为最外层的光反射面,其粗糙度、波纹度对鲜映性的影响更大。此外,中涂层是客车涂装工艺流程中对外层表面特征影响最直接、最显著的内层^[6],若中涂层表面的沟壑、凹槽未被面漆填平,则会使外层漆膜流平受到阻碍,形成长短波纹结构,导致面漆最终粗糙度和波纹度增加,鲜映性下降。底漆、基材^[7]的表面特征影响也会延续到外层,但由于多层漆的喷涂与打磨,底漆和基材表面粗糙度对鲜映性的影响比中涂层要小很多,加之基材粗糙度特征会被底漆、中涂漆多层覆盖,因此基材的粗糙度只会影响到面漆的波纹度特征,而不会影响到面漆的粗糙度特征。尽管如此,客车的涂装作业也应避免过于粗糙的基材和底漆表面。

无论每一涂层的表面特征如何,都应以最外层漆膜的表面特征的鲜映性作为考量的最终指标。此外,客车涂装工艺中对鲜映性的要求是总体性的,因此越均匀、平滑的表面特征越有利于鲜映性的提升。

1.4 漆膜缺陷影响因素

在实际涂装作业中,漆膜往往会因多种因素而产生局部的表面缺陷。人工喷涂手法不当,可能导致漏喷、过喷,漏喷位置易漏底,过喷易导致流挂;打磨环境的清洁度较差,可能导致漆膜表面有颗粒;喷涂后的流平时间过短、过早进入烘房会导致漆膜表面起痂子,流平时间过长、过晚进入烘房则可能导致流挂。

漆膜缺陷^[8]会导致漆膜局部的反射光散布增大,反射光强减弱,成像晦暗模糊,鲜映性大幅降低。与表面特征对总体鲜映性的影响相比,漆膜缺陷会引起局部粗糙度异常增大、局部漆膜成分不均,从而导致缺陷处及邻近区域鲜映性严重下降。由于漆膜缺陷会对鲜映性产生巨大的不利影响,在涂装工艺中应极力避免出现此现象。

2 客车车身鲜映性的优化方法

2.1 油漆配方优化

水性漆的树脂成分不溶或难溶于水,通常需要使用水溶性胺作为固化剂,例如环氧树脂需通过酸或酸酐处理,引入羧基与胺中和得到水性环氧漆。丙烯酸则自带羧基,与胺中和得到水性丙烯酸漆。水溶性胺类固化剂的选取和用量都可能影响漆膜的鲜映性,残

留的胺可能会导致漆膜表面的局部成盐加速,增加漆膜表面起伏和表面粗糙度,导致鲜映性出现较大波动^[9]。使用含硅类流平剂有利于水性漆的漆膜流平,从而改善表面特征,提高客车车身的整体鲜映性^[10]。

单组分面漆需要喷涂清漆以提升油漆的亮度,因此清漆与面漆的相对用量应考虑外观鲜映性的要求。适当提高清漆用量有利于外层流平,改善漆膜的表面特征,使油漆表面变平滑,从而提高客车车身油漆的鲜映性。然而,面漆用量过少则会导致外层颜料粒子分布受到中涂表面特征影响,从而分布不均,进而导致局部光反射散布增加,鲜映性下降。在涂装生产前,应验证面漆/清漆用量比例的合理性,以保证车身油漆具有良好的鲜映性。而对于双组分面漆,由于其固含量高、粘度大,其配套稀释剂、固化剂的用量比例需严格控制,粘度过大会导致漆膜流平不充分,粘度过小会导致漆膜流挂。粘度过大或过小都会导致漆膜表面特征粗糙化^[11],鲜映性较差。

闪光漆中的铝粉颗粒或云母颗粒占据一定的比例,其内部粒子的均匀性对表面特征的影响比素色漆更大,即对鲜映性的影响更大。一般来说,铝粉/云母颗粒的粒径更小、取向性更一致、形状更圆整,反射光更集中,有利于鲜映性的提高。尽管闪光漆的鲜映性普遍比素色漆的鲜映性稍低,但合理选用粒径更小、取向性更一致、形状更圆整的铝粉/云母颗粒,有利于提高车身鲜映性。此外,铝粉含量较大的金属闪光漆,应考虑铝粉的稳定性,避免加入酸催化体系的固化剂使铝粉氧化变色,导致鲜映性下降,可考虑使用反应活性较高的醚化氨基树脂作为固化剂。为防止铝粉/云母颗粒的团聚和沉降,还可添加提高黏度的涂料防沉剂,以提升鲜映性。

2.2 喷涂工艺优化

油漆喷涂的工艺参数包括喷涂流率、喷涂距离、旋杯转速等^[12]。针对客车车身喷涂的鲜映性指标,优化喷涂工艺参数应以提高漆膜均匀性和表面平滑性为目的^[13]。

喷涂流率与漆膜表面特征息息相关^[14]。流率过快易导致漆膜成分不均,同时使表面固化速率产生差异,导致大波纹结构增加;流率过慢易产生流挂问题,漆膜在流挂区域流平不充分,表面特征粗糙化。因

此,适当降低喷涂流率有利于鲜映性的优化。

喷涂距离是指喷枪到车身喷涂面的距离。距离过短会使漆雾与喷涂面接触时产生较大的冲击力,漆膜粒子受到冲击后由喷涂中心向四周移动,均匀性降低;距离过长同样易导致流挂问题。因此,适当延长喷涂距离,使漆雾受空气阻力平缓飞行至喷涂面,能够提高漆膜均匀性,从而优化鲜映性。

旋杯转速与喷出面漆的雾化有关,转速过小则面漆雾化不完全,喷出漆雾和漆膜不均匀;转速过大则喷出漆雾过细,漆膜粒子易受到空气阻力影响从而分布不均。为优化鲜映性,应根据相应的喷涂流率和喷涂距离调整旋杯转速,尽可能地使漆膜均匀化,使表面特征更平滑。

为进一步提高车身鲜映性,还可采用面漆湿膜加喷一道 20 μm 厚清漆的方法^[14]以减少反射光散布。

2.3 打磨工艺优化

客车涂装打磨工艺一般指对基材、底漆和中涂漆的打磨。面漆和清漆的表面粗糙度 R_a 一般为 0.1 μm 级,生产中往往不进行打磨。由于各漆层表面特征不一致,且不同的打磨工艺对面漆表面特征的影响不同,因此不同情况下采用不同工艺进行打磨,以提高车身涂层的鲜映性。

基材、底漆表面较为粗糙,对于 R_a 在 1 μm 级的基材,应使用 80~240 目的粗砂纸进行打磨、降低其粗糙度,从而在表面特征的逐层传递下使面漆的波纹度降低^[5],进而提高鲜映性。此外,不同基材、底漆的耐磨性存在差异,更耐磨的表面可适当增加打磨砂纸的粒度,反之则适当减少打磨砂纸的粒度。

中涂层在底漆层之上,其表面特征明显比底漆更平滑, R_a 在 0.5 μm 级左右。因中涂层是最后一道进行打磨的涂层,中涂打磨应尽可能降低表面粗糙度,否则会影响面漆粗糙度和波纹度^[6]。为此,可采用分步打磨方式,先粗后细:首先使用 240~320 目的砂纸打磨掉大的凸起,再使用 400 目的砂纸磨去除粗砂纸打磨产生的沟槽。此外,闪光漆对应的中涂层应采用更细的 600 目砂纸打磨,以防止因打磨过深造成铝粉/云母颗粒脱出而在表面留下打磨凹痕。

表面清漆层的打磨易划伤漆膜,大批量生产通常不进行打磨,但采用超细砂纸(>1 000 目)进行精打

磨对鲜映性的提高也会有一定的贡献^[15],可应用于高端车型的小批量生产。

打磨工艺应严格规定打磨的方式,例如纵向和横向交叉各打磨一遍,以避免发生漏打磨和过打磨导致表面均匀性下降、局部鲜映性变差。

2.4 闪干工艺优化

闪干是湿漆膜进入烘房烘烤前的重要工艺。闪干工艺的优劣决定了垂直面漆膜的流平过程,直接影响表面波纹度,从而对车身鲜映性也有一定的影响^[16]。闪干时间过短则漆膜难以完全流平,使表面特征不佳;闪干时间过长则会产生流挂现象,流挂局部的波纹度显著增加。

设置闪干时间时应充分考虑膜层厚度、环境温度和湿度。对于常温常湿下的一般面漆厚度,一般闪干 10~15 min 即可使车身各区域漆膜充分流平。过厚的漆膜(>60 μm)、较低的温度(<5 $^{\circ}\text{C}$)和较大的湿度(>90%)都是不利于流平的因素,在这些条件下应适当延长闪干时间,使漆膜充分流平,以提高车身的鲜映性。

2.5 施工环境优化

施工环境中对鲜映性影响较大的因素包括环境温度、环境湿度和悬浮颗粒度。若环境温度低于 5 $^{\circ}\text{C}$ 则会导致面漆雾化不均匀,漆膜流平困难,产生漆膜表面特征恶化的现象^[17];若环境温度高于 35 $^{\circ}\text{C}$ 则会导致面漆雾化过快,漆膜过早固化,导致漆膜表面均匀性不佳。若环境湿度高于 90% 则会引起面漆雾化不均,漆膜流平缓慢,表面特征粗糙;若环境湿度低于 30% 则会导致面漆雾化快、漆膜固化早,也易产生表面粗糙不均的现象。应采取适当的措施对不合适的环境条件进行控制。

另外,施工环境的悬浮颗粒度也会影响漆膜的表面特征。空气中的悬浮颗粒过多会附着在漆膜表面形成颗粒缺陷,严重影响鲜映性^[18],应采用定期通风的方式使喷房、烘房的悬浮颗粒度保持在较低水平。

3 结束语

目前汽车行业普遍没有对鲜映性进行深入、系统的研究。本文从鲜映性的评价指标入手,分析了漆膜成分、表面特征和漆膜缺陷对油漆鲜映性的影响机

理。根据鲜映性的影响因素,介绍了优化油漆配方、喷涂工艺、打磨工艺、闪干工艺、施工环境等改善客车车身涂层鲜映性的措施。

参考文献:

- [1] 李国波. 中涂质量影响油漆车身综合外观水平(NAP 值)案例解析[J]. 电镀与涂饰, 2008(11): 58-60.
- [2] 蔡捷, 黄道兵, 杜蓉, 等. 钢板表面形貌对汽车外板涂装质量的影响研究[J]. 武汉工程职业技术学院学报, 2014, 26(4): 30-32.
- [3] 冯立明, 管勇. 涂装工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017: 35-42.
- [4] 许朋辉, 王海燕. 桔皮鲜映性仪用于面漆的外观改善[J]. 客车技术与研究, 2008, 30(6): 32-35.
- [5] 卢琳, 任玉苓, 温乃盟, 等. 有机涂层钢板鲜映性影响因素的研究[J]. 表面技术, 2010, 39(2): 14-18.
- [6] 何章翔. 油漆车身橘皮控制研究[J]. 现代涂料与涂装, 2011, 14(4): 42-43.
- [7] 刘国锋, 曹兆斌, 赵珺, 等. 影响重型汽车涂装橘皮等级的因素[J]. 电镀与涂饰, 2013, 32(6): 69-72.
- [8] 孟东阳, 刘安心, 殷勇青. 影响商用车车身面漆涂层质量的部分因素[J]. 涂料工业, 2006, 36(7): 50-51.

- [9] 江勤, 邱绕生, 李纯, 等. 高鲜映性水性丙烯酸氨基烘烤涂料的开发与研究[J]. 涂料技术与文摘, 2012, 33(5): 13-15.
- [10] 刘汉功, 张汉青, 狄志刚, 等. 水性双组分聚氨酯面漆流平性的研究[J]. 涂料工业, 2021, 51(6): 13-19.
- [11] 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.
- [12] 胡玲, 陈向, 黄茂韶, 等. 客车车身油漆色差原因及控制[J]. 客车技术与研究, 2024, 46(1): 59-62.
- [13] 陈珂. 面漆桔皮分析与对策[J]. 汽车工艺与材料, 2006(10): 29-33.
- [14] 魏新战, 张充. 关于驾驶室主色漆膜厚外观质量均匀性提升的研究[J]. 汽车实用技术, 2017(15): 178-179.
- [15] 李蓬勃, 李抗战, 陈文昌, 等. 面漆精加工工艺[J]. 电镀与涂饰, 2020, 40(8): 608-612.
- [16] 许文彬. 客车素色面漆橘皮的成因及预防[J]. 现代涂料与涂装, 2019, 22(2): 24-26.
- [17] 宋海泉, 朱广, 郭瑞, 等. 客车车身油漆外观光泽影响因素及提升措施[J]. 客车技术与研究, 2024, 46(2): 55-58.
- [18] 宾春兰. 浅析汽车面漆漆膜鲜映性提高的措施[J]. 装备制造技术, 2013(7): 114-115.

(上接第45页)

动桥啸叫噪声的主要来源。可通过对行星排齿轮和一级减速齿轮做微观修形,以降低电驱动桥的啸叫噪声,提升电动客车的乘坐舒适度。

参考文献:

- [1] 陈志龙, 程方斌, 常颖. 一种集成电驱桥的整车应用匹配设计及验证[J]. 客车技术与研究, 2022, 44(6): 18-21.
- [2] 刘栋, 高一博, 雷俊鹏, 等. 新能源重车电驱总成技术路线研究[J]. 重型汽车, 2023(4): 6-7.
- [3] 臧怀泉, 戴彦, 张素燕, 等. 一种基于相对滑移率的电动汽车电子差速控制方法研究[J]. 机械工程学报, 2017, 53(16): 112-119.
- [4] 王军年, 倪健士, 杨斌, 等. 电动汽车转矩定向分配差速器建模与动态仿真[J]. 汽车工程, 2020, 42(4): 491-497.
- [5] 武冬梅, 张子威, 徐宏明, 等. 电驱桥商用车的振动特性分析和悬架参数匹配[J]. 武汉理工大学学报, 2020, 42(7):

66-72.

- [6] 金文辉, 邓欣, 段龙杨, 等. 某电驱桥车型 Moan 噪声分析与优化控制[J]. 噪声与振动控制, 2021, 41(4): 270-275.
- [7] 李钰杰. 一体化电驱桥的电磁噪声研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2021.
- [8] 曾梦媛. 纯电动客车振动源识别与振动传递特性试验研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2020.
- [9] 黄月芹, 黄显淞, 李春楠. 电动汽车电驱桥啸叫特性识别与研究[J]. 机械设计与制造, 2023(2): 177-180.
- [10] 周明浩, 陈闯, 汪海洪. 永磁同步电机振动噪声仿真研究[J]. 客车技术与研究, 2023, 45(6): 14-19.
- [11] 卢晓莉, 刘晓晴. 客车 NVH 主观评价方法的初步探讨[J]. 客车技术与研究, 2008, 30(5): 19-22.
- [12] 吕良远, 周炳松, 余云飞, 等. 基于模态分析的电驱动桥噪声优化[J]. 客车技术与研究, 2023, 45(6): 33-36.