

汽车新颜色投产前的工艺验证

牟彬, 段雪娜, 李飞, 李明哲, 徐平起
(浙江吉利汽车有限公司宁波杭州湾分公司, 浙江 宁波 315336)

摘要: 随着汽车产业的迅猛发展, 车型项目开发周期不断缩短, 新颜色开发的时间窗口也相应减少。针对汽车涂装新颜色投产过程中因施工性调试周期不足而引发的进度延误与成本增加问题, 以某主机厂采用的B1B2紧凑型涂装工艺为例, 提出了一种基于实验室模拟现场施工参数的预验证方法。通过在实验室阶段系统性地测试喷幅、重叠率、转速等关键参数对膜厚、色差及外观等核心指标的影响, 构建了与生产线相匹配的技术参数数据库。研究表明, 通过提前在实验室进行系统化的模拟喷涂, 能够为现场调试提供科学指导。该预验证模式不仅显著缩短了投产周期, 还有效降低了调试成本。

关键词: 汽车; 颜色; 工艺验证; 喷幅; 色差; 外观

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)06-0035-06

Process Verification of New Car Colors before Production

MOU Bin, DUAN Xue-na, LI Fei, LI Ming-zhe, XU Ping-qi

(Zhejiang Jirun Automobile Group Co., Ltd., Ningbo Hangzhou Bay Branch, Ningbo 315336, Zhejiang, China)

Abstract: With the rapid development of the automotive, the development cycle of vehicle models has been continuously shortened, and the time window for new color development has also decreased accordingly. In response to the problems of schedule delays and cost increases caused by insufficient construction property debugging cycles during the production launch of new automotive coating colors, this paper takes the B1B2 compact coating process adopted by a certain OEM as an example and proposes a pre-verification method based on laboratory simulation of on-site construction parameters. By systematically testing the influence of key parameters such as spray width, overlap rate, and rotational speed on core indicators such as film thickness, color difference, and appearance in the laboratory stage, a technical parameter database matching the production line was constructed. The research results show that systematic simulation spraying in the laboratory in advance can provide scientific guidance for on-site debugging. This pre-verification mode not only significantly shortens the production launch cycle but also effectively reduces debugging costs.

Key words: automobile; color; process verification; spray width; color difference; appearance

0 引言

随着汽车行业的发展以及新技术的不断涌现, 汽车涂料颜色也越来越多样化。同时市场竞争越来越激烈, 为快速响应市场需求, 工业化投产需要在满足各种性能的前提下, 尽可能缩短时间。汽车整体外观及外饰

件好看与否, 不只与涂料本身相关, 喷涂施工性对涂料特性的完整诠释起到决定性作用, 故在涂装行业有“三分油漆、七分涂装”的经典总结。这句俚语充分说明涂料在现场施工时能否取得好的外观效果, 施工性的调试优化起到了决定性的作用。然而在油漆开发过程中大家首先关注涂料本身的色彩效果, 往往降低了对施工性的关注, 导致新车型投产阶段调试问题频出, 轻则影响项目进度, 重则前期涂料开发工作全部作废, 需要重新开发。本文重点从涂料投产的施工性验证进行分

收稿日期: 2024-11-22

作者简介: 牟彬(1981—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事汽车涂料开发及涂装工艺研究工作。E-mail: bin.mou@geely.com。

析,并结合实际应用情况进行经验总结。

1 新颜色投产调试流程

汽车新颜色设计开发由涂料供应商与主机厂共同确认颜色,完成实验室性能验证,进入生产线验证施工性能。施工过程的可行性验证是汽车颜色开发最终成败与否最关键的过程^[1]。国内某主流汽车主机厂车型新颜色投产主要流程为:颜色开发→性能验证→投罐→喷幅测试→膜厚测试→颜色优化→外观优化。

通常情况下,喷幅测试和膜厚测试在涂料体系无明显变化的前提下,很快可以得到良好的结果,但色差及外观调试,往往需要较长的时间。为了缩短现场调试时间以及节约调试费用,必须在投产前,在涂料开发时同步进行涂料工艺验证,主要在实验室模拟现场施工状态,给现场调试提供参考依据。本文以某主机厂某B1B2工艺(紧凑型工艺,在烘干的电泳层上先后进行B1、B2色漆喷涂、清漆喷涂后烘干的涂装工艺过程,也称集成工艺或紧凑型工艺等)为例,对颜色投产前的工艺验证进行探讨。该基地选用ABB喷涂机器人,搭配ABB喷涂旋杯,雾化器及旋杯型号,机器人喷涂设备型号如表1所列。

表1 喷涂设备型号

喷涂位置	雾化器型号	旋杯型号
BC1	RB1000-EXT	70
BC2	RB1000-EXT	70
CC	RB1000-SSD	70

注:BC1为B1B2紧凑型工艺中第一涂层,作为抗紫外线涂层;BC2为第二涂层,实现颜色效果;CC为清漆涂层。

投产前在实验室根据涂料要投入该基地的设备型号,使用选定的涂料在实验室先进行基础参数摸底测试,测试验证主要项目本文将详细介绍。

2 施工性验证

2.1 喷幅测试

喷幅测试是得到一个均匀膜厚、优良性能和外观的基本保证。此部分工作是漆膜现场调试工作的重要内容,工作量相对较大,为了确保分层膜厚采集的准确性,要求每次喷涂必须在电泳车身上完成,这样一个车型一个颜色的调试会耗费5~7台的白车身,喷涂后的车身外观质量差,只能用于碰撞、台架等基础试验,不可用于展销、广宣等试验车辆。为了节约成本,减少白车身的使用,实验室进行充分模拟,采集足够多的数据,能有效指导现场膜厚测试,达到节约成本和提升效率的双重目的^[2]。而要做好膜厚均匀性,喷幅测试是一项重要工作。

喷幅测试是指在1000mm长度的板材上,以中心原点0为基准点,±350mm内每10mm测量一个点,获得最大值膜厚值T,定义膜厚数值为0.5T两个点之间的间距为喷幅,如图1所示。

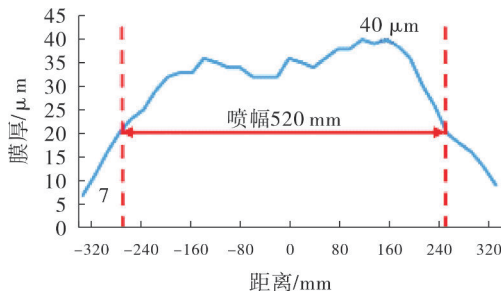


图1 喷幅测量示意

重叠率是指在确定了轨迹间距后,选择合适的喷幅,喷涂后重复喷涂的比例。例如,轨迹间距120mm,喷幅均为480mm,相邻两枪重叠360mm,则重叠率=(360/480)×100%=75%,重叠率示意如图2所示。

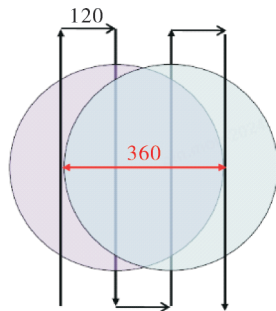


图2 重叠率示意

轨迹间距和重叠率是喷幅选择的依据,按照设定好的轨迹间距和希望达到的重叠率,从而计算出喷幅,选择合适的喷涂参数。通常情况下,中涂/BC1选择66%重叠率,色漆选择75%重叠率,清漆选择66%重叠率。图3为两种喷幅选择,预期重叠率为75%,左侧为正确的喷幅,右侧为错误喷幅。

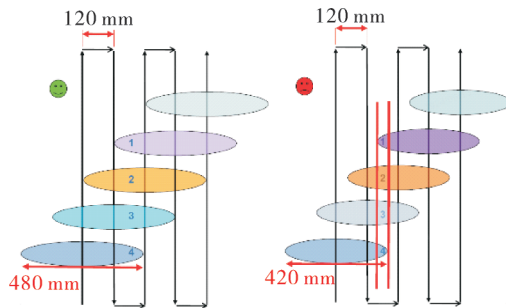


图3 喷幅对重叠率的影响

根据膜厚要求及油漆的固体分参数,参考模拟仿真结果并结合工艺工程师的经验,确定喷涂所用的TCP速度、出漆量、旋杯转速、成形空气量及静电高压的大致范围;在此范围内选取参数组合进行喷板测试,得到合适的喷幅;使用最佳喷幅对应的参数进行喷板测试并进行微调,得到均匀性较好的膜厚;选取最佳膜

厚对应的参数作为喷车测试的数据,以便获得均匀的整车膜厚。

不同的喷涂站,由于涂料的特性不一样,喷幅会出现差异。以某一知名品牌涂料进行测试验证,BC1为中灰色,BC2为一略带变色的蓝色,CC为双组分清漆,测试结果如表2~4所列。

表2 BC1 喷幅测试结果

序号	喷涂站	流量/(mL·min ⁻¹)	转速/(kr·min ⁻¹)	成形空气 1/(L·min ⁻¹)	成形空气 2/(L·min ⁻¹)	电压/kV	枪距/mm	枪速/(mm·s ⁻¹)	喷幅/mm
1	BC1	320	45	230	150	70	200	500	450
2	BC1	320	45	280	150	70	200	500	440
3	BC1	320	45	330	150	70	200	500	400
4	BC1	320	48	230	180	70	200	500	520
5	BC1	320	48	280	180	70	200	500	420
6	BC1	320	48	330	180	70	200	500	390
7	BC1	320	50	230	150	70	200	500	510
8	BC1	320	50	280	150	70	200	500	470
9	BC1	320	50	330	150	70	200	500	480
10	BC1	350	45	230	150	70	200	500	530
11	BC1	350	45	280	150	70	200	500	460
12	BC1	350	45	330	150	70	200	500	430
13	BC1	350	48	230	180	70	200	500	500
14	BC1	350	48	280	180	70	200	500	480
15	BC1	350	48	330	180	70	200	500	450
16	BC1	350	50	230	150	70	200	500	570
17	BC1	350	50	280	150	70	200	500	540
18	BC1	350	50	330	150	70	200	500	460

表3 BC2 色漆层喷幅测试结果

序号	喷涂站	流量/(mL·min ⁻¹)	转速/(kr·min ⁻¹)	成形空气 1/(L·min ⁻¹)	成形空气 2/(L·min ⁻¹)	电压/kV	枪距/mm	枪速/(mm·s ⁻¹)	喷幅/mm
1	BC2	200	45	200	100	70	200	600	350
2	BC2	200	45	250	100	70	200	600	320
3	BC2	200	45	300	100	70	200	600	290
4	BC2	200	50	200	100	70	200	600	360
5	BC2	200	50	250	100	70	200	600	330
6	BC2	200	50	300	100	70	200	600	360
7	BC2	200	50	200	150	70	200	600	330
8	BC2	200	50	250	150	70	200	600	330
9	BC2	200	50	300	150	70	200	600	310
10	BC2	260	45	200	100	70	200	600	390
11	BC2	260	45	250	100	70	200	600	380
12	BC2	260	45	300	100	70	200	600	360
13	BC2	260	50	200	100	70	200	600	460
14	BC2	260	50	250	100	70	200	600	410
15	BC2	260	50	300	100	70	200	600	390
16	BC2	260	50	200	150	70	200	600	440
17	BC2	260	50	250	150	70	200	600	330
18	BC2	260	50	300	150	70	200	600	360

表 4 清漆层喷幅测试结果

序号	喷涂站	流量/(mL·min ⁻¹)	转速/(kr·min ⁻¹)	成形空气 1/(L·min ⁻¹)	成形空气 2/(L·min ⁻¹)	电压/kV	枪距/mm	枪速/(mm·s ⁻¹)	喷幅/mm
1	CC	330	40	230	100	70	200	400	440
2	CC	330	40	260	100	70	200	400	400
3	CC	330	40	300	150	70	200	400	340
4	CC	330	45	230	100	70	200	400	520
5	CC	330	45	260	100	70	200	400	460
6	CC	330	45	330	150	70	200	400	370
7	CC	330	50	230	100	70	200	400	560
8	CC	330	50	260	100	70	200	400	490
9	CC	330	50	330	150	70	200	400	440

根据以上喷幅测试数据,在车辆喷涂时,可以根据不同的位置、不同的轨迹间距,选择合适的喷涂参数。避免在生产现场多次测试,节约能源和时间。但这些数据只是现场调试的基础,在膜厚测试时还需要对部分参数进行微调以达到均匀的膜厚。

另外,由于涂料供应商的技术路线往往存在差异,在进行这项测试时需要对现场使用的所有品牌涂料进行测试。即便同一品牌的涂料,不同的颜色最终

测试数据也会有差异,在条件允许的情况下,最好能分别测试^[9]。

2.2 色差测试

过往经验表明,新颜色投产过程中,在涂料一定的情况下,色漆的膜厚以及色漆喷涂的转速对颜色影响较大。因此本验证中也以此两种因素进行验证。

2.2.1 不同膜厚对涂料颜色的影响

不同膜厚下的色差见表 5 所列。

表 5 不同膜厚下的色差

序号	膜厚/ μm			25°				45°				75°			
	B1	B2	CC	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
1	17	12	50	0.31	0.29	-0.17	0.46	-0.17	0.41	0.03	0.44	0.03	0.24	-0.07	0.25
2	17	14	50												
3	17	16	50	0.32	-0.19	-0.09	0.38	0.09	0.12	-0.22	0.27	0.04	0.09	-0.09	0.13
4	17	18	50	0.24	0.31	0.28	0.48	0.18	-0.14	-0.46	0.51	0.12	-0.23	-0.33	0.42
5	17	20	50	-0.23	-0.71	0.42	0.86	0.44	-0.39	-0.72	0.93	0.63	-0.55	-0.68	1.08

样本颜色的工程遮盖力为 14 μm , 因此选定 14 μm 厚度作为验证的标准色差值, 验证在不同膜厚下的色差变化情况。通过本试验可以看出, 在 25°测量角, 随着膜厚的增加, L 值逐渐降低, a 值逐渐降低, b 值逐渐升高; 在 45°测量角膜厚的增加, L 值逐渐升高,

a 值逐渐降低, b 值逐渐降低; 在 75°测量角膜厚的增加, L 值逐渐升高, a 、 b 值均呈现降低状态。当膜厚超过 18 μm 后, 颜色变化加剧, 偏差明显。

2.2.2 旋杯转速对色差的影响

不同旋杯转速下的色差如表 6 所列。

表 6 不同旋杯转速下的色差

序号	旋杯转速/(kr·min ⁻¹)			25°				45°				75°			
	B1	B2	CC	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
1	45	40	45	-0.82	-0.19	-0.23	0.87	0.57	0.36	-0.21	0.71	0.27	0.04	-0.31	0.41
2	45	45	45												
3	45	50	45	1.14	-0.41	0.20	1.23	0.07	0.08	0.08	0.13	-0.14	0.13	-0.04	0.20

针对此颜色, 选用常用的 45 kr/min 作为标准色差值, 旋杯转速的变化, 主要是对 L 值有较明显的影响。随着转速的升高, 25° L 值明显升高, 而 75° L 值降低。

转速降低或者升高对 a 、 b 影响较小。

2.3 外观测试

良好的漆膜外观一直是车企追求的目标, 通过市

场调查,油漆外观已成为客户买车的重要考虑因素^[4]。在新颜色投产过程中,针对外观的调试,往往需要持续很长一段时间,一般均需要持续 1~2 个月,对于一些

特殊颜色可能持续半年以上。

2.3.1 中涂(BC1)膜厚对外观的影响

不同 BC1 膜厚下的外观数据如表 7 所列。

表 7 不同 BC1 膜厚下的外观数据

序号	流平方式	膜厚/ μm				外观	
		BC1	色漆	清漆	LW	SW	DOI
1	水平	14	14	50	1.5	9.6	91.8
2	水平	16	14	50	1.3	8.7	92.1
3	水平	18	14	50	1.2	10.3	92.7
4	水平	20	14	50	1.5	9.2	92.0
5	水平	22	14	50	1.9	11.0	91.4
6	垂直	14	14	50	4.8	11.9	91.1
7	垂直	16	14	50	4.5	10.5	91.4
8	垂直	18	14	50	4.0	9.2	92.6
9	垂直	20	14	50	4.6	10.6	92.2
10	垂直	22	14	50	4.9	12.5	91.3

综合水平和立面外观数据,在色漆和清漆不变动的情况下,中涂维持在 18 μm 外观数据最佳。

2.3.2 色漆膜厚对外观的影响

不同色漆膜厚下的外观数据如表 8 所列。

表 8 不同色漆膜厚下的外观数据

序号	流平方式	膜厚/ μm				外观	
		BC1	色漆	清漆	LW	SW	DOI
1	水平	18	12	50	1.2	9.2	92.9
2	水平	18	14	50	1.3	10.1	92.6
3	水平	18	16	50	1.4	11.3	91.9
4	水平	18	18	50	1.3	11.5	92.0
5	水平	18	20	50	1.6	11.9	91.5
6	垂直	18	12	50	4.0	8.9	92.1
7	垂直	18	14	50	3.9	10.5	92.4
8	垂直	18	16	50	4.2	11.3	91.9
9	垂直	18	18	50	4.8	12.2	91.7
10	垂直	18	20	50	5.6	12.6	90.9

在 BC1 和清漆膜厚不变的情况下,色漆膜厚增加,外观数据呈逐渐降低的趋势。综合考虑颜色的工程遮盖力,此处选用 14 μm 作为初期调试的膜厚基础。

2.3.3 色漆成膜比例对外观的影响

金属漆的施工过程中,为了取得更好的颜色效果,一般都采用两次成膜的喷涂方式。但两站的膜厚比例也会对外观产生一定的影响。本文选用此颜色,对常用的 3:7、4:6、5:5、6:4、7:3 几种比例进行喷板模拟,选择外观最好的成膜比例。不同色漆成膜比例外观数据如表 9 所列。

不同成膜比例导致色漆喷涂后的润湿状态不一样,合适的流平状态是取得良好外观的基础。通过本

模拟试验可以看出,针对此颜色,在 6:4 的状态下会获得较好的漆膜流平性和鲜映性。

2.3.4 清漆膜厚对外观的影响

不同清漆膜厚的外观数据如表 10 所列。

复合涂层的流平性随着清漆膜厚的增加而表现越来越好,但当清漆膜厚达到 65 μm 时,DOI 出现了明显的下降。这主要是由清漆材料的特性所决定,因此在选择清漆膜厚时需要注意流平性与鲜映性的平衡,并非越厚外观状态越好,膜厚与鲜映性之间存在最佳平衡点。

3 结语

新颜色投产时,若要获得较好的外观状态,同时缩

表9 不同色漆成膜比例外观数据

序号	流平方式	膜厚/ μm			色漆两站成膜比例	外观		
		BC1	色漆	清漆		LW	SW	DOI
1	水平	18	14	50	3:7	1.7	13.3	92.1
2	水平	18	14	50	4:6	2.0	14.3	92.3
3	水平	18	14	50	5:5	1.6	14.0	91.5
4	水平	18	14	50	6:4	1.3	12.3	92.8
5	水平	18	14	50	7:3	1.6	11.9	91.5
6	垂直	18	14	50	3:7	4.7	13.0	91.3
7	垂直	18	14	50	4:6	5.3	14.3	91.0
8	垂直	18	14	50	5:5	4.8	15.3	90.5
9	垂直	18	14	50	6:4	4.8	13.1	92.1
10	垂直	18	14	50	7:3	5.7	12.5	91.4

表10 不同清漆膜厚外观数据

序号	流平方式	膜厚/ μm			外观		
		BC1	色漆	清漆	LW	SW	DOI
1	水平	18	14	45	2.5	11.5	90.8
2	水平	18	14	50	1.4	10.9	90.9
3	水平	18	14	55	1.4	12.1	92.8
4	水平	18	14	60	1.3	11.7	92.4
5	水平	18	14	65	1.2	11.9	91.5
6	垂直	18	14	45	6.2	12.5	90.7
7	垂直	18	14	50	4.9	12.7	90.9
8	垂直	18	14	55	4.2	11.7	91.9
9	垂直	18	14	60	4.0	11.2	92.1
10	垂直	18	14	65	4.1	11.5	90.4

短项目调试周期,节约调试车身使用量,通过对施工性影响较大的几个参数进行试验,证明首先在实验室条件下模拟现场喷涂条件,选用和实际生产基地相同的机器人喷涂设备,能够有效地验证施工喷涂参数的设定范围,从而为后续新颜色投产到基地生产时,提供良好的基础数据调试范围,对投产调试起到指导作用。本案例经过多轮膜厚试验结果表明,此样本颜色随着膜厚的增加在 25° 测量角随着膜厚的增加, L 值逐渐降低, a 值逐渐降低, b 值逐渐升高;在 45° 测量角膜厚的增加, L 值逐渐升高, a 值逐渐降低, b 值逐渐降低;在 75° 测量角膜厚的增加, L 值逐渐升高, a 、 b 值均呈现降低状态。旋杯转速的提升,颜色的 $25^\circ L$ 值会升高, 75° 会降低, a 、 b 值变化不明显。

外观试验表明:色漆的膜厚越厚外观出现变差的趋势,清漆膜厚在 $55\sim 50\mu\text{m}$ 外观最佳,过厚、过薄外观均不理想。色漆两站成膜比例也会对漆膜外观造成影响,本案例颜色按照6:4效果最佳。

本案例由于实验室条件与现场基本一致,对施工影响较大的参数在投罐前先进行了摸底试验,为后续

新颜色投罐到现场之后的调试起到了较好的指导作用,因而通过工艺验证试验,该颜色投产调试时间大大缩短,从常规的投罐到量产2个月的调试周期,缩短到15d即完成所有调试工作,满足该颜色可批量生产的需求,整体项目投资节约调试费用60余万元,为以后新颜色导入该基地,积累调试经验,也为涂料特能能够呈现完美的外观状态提供技术指导依据,为消费者呈现出最靓丽的车身状态,提升产品市场竞争力。

参考文献:

- [1] 刘骁,张思明,毕晓妹,等.浅谈新颜色油漆施工工艺开发与应用[J].现代涂料与涂装,2020(1):46-48.
- [2] 李欣,邹波,易炜.涂装机器人仿形规划与车身外观工艺调试[J].汽车材料与涂装,2019(5):158-161.
- [3] 高孔长.新车型涂装喷涂机器人仿形开发及漆膜调试[J].汽车实用技术,2023(20):140-144.
- [4] 俞锋,占早华,吕正芳,等.涂装喷涂仿形制作和应用全过程质量控制[J].现代涂料与涂装,2023(5):69-72.