

基于涂装喷涂参数应用的阈值研究

李先成, 范海波, 贺学军, 唐元元
(长城汽车股份有限公司重庆分公司, 重庆 401121)

摘要: 主要对影响漆膜厚度重要控制因素之一的喷涂扇幅进行研究, 通过 DOE 试验方法建立常用喷涂参数与扇幅之间的函数关系, 利用 Minitab 软件提供的公式拟合出符合要求的理论扇幅, 并对影响扇幅的关键参数进行阈值研究, 选择可用的参数范围指导后续喷涂操作。

关键词: 喷涂参数; 扇幅; 阈值

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)02-0065-03

Research on Threshold Value Based on Application of Coating Spraying Parameters

LI Xian-cheng, FAN Hai-bo, HE Xue-jun, TANG Yuan-yuan
(Great Wall Motor Co., Ltd., Chongqing Branch, Chongqing 401121, China)

Abstract: This paper mainly studies spraying fan width, which is one of the important control factors affecting the thickness of paint film. The functional relationship between common spraying parameters and fan width was established by DOE test method. The formula provided by Minitab software was used to fit the theoretical fan width that meets the requirements, and the threshold of the key parameters affecting the fan width was studied. Select the available parameter range to guide the subsequent spraying operations.

Key words: spraying parameter; fan width; threshold value

0 引言

随着汽车工业的飞速发展, 顾客对汽车品质要求越来越高, 个性化需求凸显, 涂装工程为提供汽车产品的丰富外观和卓越质量, 基于喷涂机器人的精确性及重复性, 越来越多的机械喷涂取代手工作业。在这种趋势中, 对于机器人施工而言, 确保生产工艺的稳定是极其重要的, 喷涂参数的稳定性直接决定着产品好坏和制造成本。

本文着重讨论机器人施工时常用喷涂参数对扇幅的影响, 利用 Minitab 软件将试验数据拟合得到回归方程, 在一定范围内, 能较好地预测扇幅大小, 可参考性较高。

收稿日期: 2023-02-23

作者简介: 李先成(1994—), 男, 本科, 涂装技术员, 主要从事汽车涂装工艺设计规划及管理等工作。E-mail: 1260698357@qq.com。

1 现状调查

统计面涂后序品质问题数据, 面涂线的虚喷、色差、橘皮、流漆等漆面缺陷占比 65%, 进一步现场调查发现缺陷产生机理均来自漆膜厚度的变化, 对漆膜厚度的影响因素分析见图 1。经对相关变化点排查分析, 确认喷涂扇幅是漆膜缺陷产生最不可控的变化因素, 其余特性均可提前探测预防, 故本次主要针对扇幅特性进行研究, 识别影响扇幅变化的流量、转速、整形空气 3 个关键因子制定试验方案, 进行相关性验证。

2 设备和材料

2.1 喷涂设备信息

雾化器 PPH707-EXT, 带旋转杯头, 用于和机器人配套使用的高效喷涂装置; 空气旋杯(直径 50 mm), 靠气动马达带动。杯头旋转产生的离心力使涂料颗粒形成雾化效果; 双整形空气环具备内外整形空气管路, 吹扫和整形独立控制, 进一步提高扇幅控制能力, 增加涂料雾化能力。

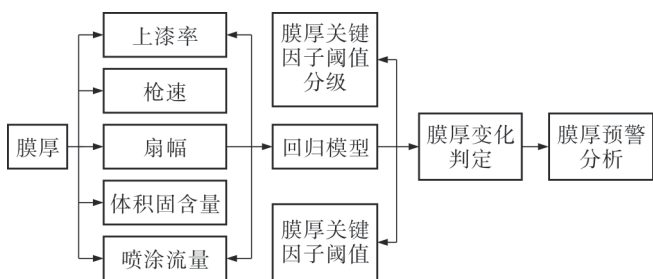


图1 漆膜厚度的影响因素分析

2.2 试验器材

膜厚仪:Fischer FMP30+FGAB1.3;烘箱:线体用正常工艺烘箱;膜厚测量夹具:亚克力板(600 mm×100 mm,夹具平面间隔 2 cm 打孔,共 3 排 30 列,孔径参考膜厚仪探头大小);磷化板(100 mm×600 mm);高温胶带。

2.3 材料信息

BASF 水性色漆(N1 黑),施工黏度 38 s,施工固体分 19%,施工密度 1.03 g/mL。

3 试验方案

选择喷涂参数影响扇幅的 3 个因子——转速、整形空气、流量,按照使用习惯选择水平条件作为试验参数,根据试验条件选用的因子水平,利用 Minitab 软件创建全因子试验,共 250 组试验进行数据收集,见表 1。

表 1 试验因子水平参数

水平	因子			
	转速/ (kr·min ⁻¹)	整形空气直吹/ (NL·min ⁻¹)	整形空气斜吹/ (NL·min ⁻¹)	流量/ (mL·min ⁻¹)
1	45	100	100	100
2	50	150	150	150
3	……	200	200	200
4	……	250	250	250
5	……	300	300	300

4 试验开展

磷化板左侧粘贴高温胶带膜厚条,置于喷涂背板正中央,通过磷化板中央位置建立一道喷涂轨迹,使得雾化器可以往复运动 3 次,喷涂过程见图 2。喷涂结束后,水平放置,闪干 10 min,放于烘箱 140 °C 烘烤 30 min,取出后待冷却至室温进行测量,然后利用自制的膜厚测量夹具,剖皮法等间距 2 cm 测量共计 87 个点,其中纵向 3 个点求平均值,得到横向膜厚梯度 29 点。通过测量两个最高膜厚一半点的间距,得到有效扇幅大小数据,膜厚测量数据见图 3。

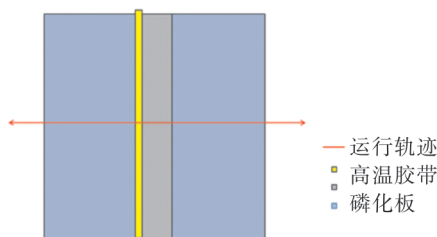


图 2 喷涂示意

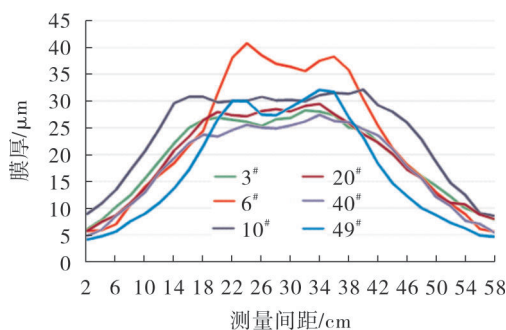


图 3 膜厚测量

5 试验结果分析

按照试验方案,完成 250 组喷涂试验并分别测量有效扇幅,利用 Minitab 软件录入试验结果,分析扇幅大小与转速、整形空气及流量三者的效应关系。其中主效应图表示因子变化最终对结果的影响,斜率越大,影响效果越显著,经软件作图分析,在试验自变量变化范围内,扇幅大小均值变化,其中整形空气的变化对扇幅的影响最大,影响大小排序为:整形空气>流量>转速;另外在扇幅交互作用分析中,交互作用表示各因子之间交互作用的大小,数据之间存在不平行的情况表示有交互作用,数据交叉表示交互作用对结果影响显著,经分析在试验自变量的变化范围内,自变量的交互作用对扇幅大小趋势影响不显著。

6 扇幅 Y 回归分析

6.1 利用 Minitab 软件对试验数据进行处理

利用回归分析得到多元回归方程如下:扇幅 $Y = 222 + 8.64 \text{ 转速} - 1.05 \text{ 整形空气直吹} - 1.06 \text{ 整形空气斜吹} + 0.403 \text{ 流量}$, $S = 69.7896$, $R - S_q = 72.2\%$, $R - S_q(\text{调整}) = 71.8\%$,数据分析及方差分析结果见表 2~3。

表 2 数据分析

自变量	系数	系数标准误差	T	P
常量	222.00	86.72	2.56	0.011
转速	8.640	1.766	4.89	0.000
整形空气直吹	-1.045 20	0.062 42	-16.74	0.000
整形空气斜吹	-1.064 40	0.062 42	-17.05	0.000
流量	0.403 20	0.062 42	6.46	0.000

表3 方差分析

来源	自由度	SS	MS	F	P
回归	4	3 101 591	775 398	159.20	0.000
残差误差	245	1 193 296	4871		
合计	249	4 294 886			

回归方程的显著性检验如下:从方差分析中的结果得出, F 统计量 159.20 的 P 值=0.000<0.05, 所以整体上判定回归方程是显著有效的, 即可靠, 回归方程总效果度量: $R-S_q$ 与 $R-S_{q(调整)}$ 非常接近, 且 $R-S_{q(调整)}$ = 71.8%, 表明拟合的模型可以解释扇面大小 Y 中 71.8% 的变异, 回归方程显著有效。

回归系数的显著性检验: 所有自变量的 P 值<0.05, 说明自变量是显著因子。

6.2 残差分析

残差在数理统计中是指实际观察值与估计值(拟合值)之间的差, 利用 Minitab 软件分析得到残差分析四合一图。

由“残差与观测值顺序”可以看出, 残差数据随机的出现在水平轴上下, 无规则波动, 说明残差值之间是相互独立的, 不存在关联性, 没有系统性的错误, 由“残差和拟合值”能看出, 残差分布均匀, 图形正常, 说明拟合效果较好, 残差是等方差的, 由“正态概率图”能看出, 残差数据符合正态分布, 采用 Ryan-Joiner 正态性检验, 总体呈正态分布, 由“残差直方图”能看出, 残差的大致分布情况, 大部分出现在 ± 90 以内, 分布较好。

由残差图分析可以得出结论: 数据符合我们对于回归的基本假定, 整个线性回归方程与数据拟合较好, 回归方程在试验数据范围内具有较强的预测能力。参数改动时, 可通过公式预测扇幅大小, 也可调节其他相关参数得到满意的扇幅。

6.3 扇幅大小等值线图

利用回归方程得到扇面大小等值线图, 可根据图形快速找到对应扇幅大小的参数, 不再赘述。

7 关键喷涂参数阈值研究

通过以上试验对扇幅与喷涂参数的效应分析可知, 整形空气和流量对扇幅影响在现场最为常见, 且流量的调整是生产中最频繁用于调整的参数。需要注意的是, 调整雾化器的流量时, 一同调整的整形空气雾化和扇幅压力值也会随之发生变化, 要想得到理想的扇幅, 需保证流量和整形空气的设定值与实际值在可控的误差范围内波动, 下面对涉及控制流量、整形空气的相关设备(计量齿轮泵以及整形空气比例阀)进行阈值研究验证。

7.1 齿轮泵阈值研究

以色漆内板机器人为例, 选择某一机器人设定不同梯度下的流量参数进行标定, 计算过程能力(参考 SPC 工具应用方法), 对过程能力 $CPK > 1.33$ 的参数梯度进行应用, 经计算, 该机器人全新齿轮泵控制过程能力在流量低于 100 mL/min 或高于 500 mL/min 的梯度时, 过程能力 $CPK < 1.33$, 不满足稳定使用的需求, 故该新齿轮泵流量参数设定范围宜在 100~500 mL/min, 后期在使用喷涂参数调试品质问题时可借鉴应用。

7.2 整形空气阈值

同理, 以色漆内板机器人为例, 选择某一机器人设定不同梯度下的整形空气参数进行标定, 计算过程能力(参考 SPC 工具应用方法), 对过程能力 $CPK > 1.33$ 的参数梯度进行应用。经计算, 该机器人整形空气斜吹控制过程能力在设定值 250 NL/min、300 NL/min 的梯度时, 过程能力 $CPK > 1.33$, 整形空气直吹参数设定值在 100~400 NL/min 的梯度时, 过程能力 $CPK > 1.33$ 。接下来选择常用的整形空气参数水平进行扇幅偏差验证, 根据扇幅偏差结果, 制定整形空气偏差管理范围, 分别验证整形空气直吹和斜吹偏差在 5%、10%、15%、20% 情况下的有效扇幅。经验证, 整形空气直吹及斜吹偏差值在 5% 以内时, 扇幅无明显变化, 能有效保证品质稳定性, 且在设备保养维护以及备件更换时具有一定的参考性, 也可将相关标准回流至生产控制计划或上层 PFMEA 进行完善。

8 结语

本文通过对喷涂过程中影响扇幅的相关参数进行全因子试验, 收集大量试验数据模拟参数变量与扇幅响应之间的回归关系, 得出设备喷涂参数与扇幅之间的函数关系并进行验证, 以此来完成多元回归模型的建立。但因现场而异, 在实际生产线机器人喷涂施工中, 不同喷涂设备特性不同, 需根据实际情况进行区分, 按本文试验方法进行试验并收集数据, 建立新的回归方程模型实现扇幅变化预测和调整的目的, 以便设计出合适有效的施工扇幅监控体系, 确保生产过程产品特性稳定受控。

参考文献:

- [1] 张明. 浅谈机器人喷涂的膜厚控制[J]. 现代涂料与涂装, 2006(6): 1-3.

