

汽车密封胶表面波纹外观问题分析及优化

李泽华, 张嘉兴, 张 硕

(北京奔驰汽车有限公司, 北京 100176)

摘要: 本文主要对某汽车厂细密封喷涂机器人喷涂的密封胶表面波纹外观问题的产生原因进行梳理、探究和分析,并结合实际的喷涂情况筛选出了枪嘴设计、喷涂角度、喷涂速度、喷涂流量和喷涂距离 5 个可控参数,通过控制变量法设置了多组对照测试,观察最终呈现状态的变化趋势后,针对其做出了优化和改进措施,以实现优化密封胶外观的目的。所得的结论可以给细密封喷涂机器人喷涂过程中一些常用参数设定提供参照思路,具有一定的工程应用价值。

关键词: 细密封;密封胶;外观;表面波纹

中图分类号:TQ639

文献标志码:A

文章编号:1007-9548(2026)01-0065-04

Automobile PVC Surface Wave Appearance Issue Analyzation and Optimization

LI Ze-hua, ZHANG Jia-xing, ZHANG Shuo

(Beijing Benz Automatic Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: This paper mainly sorts out, explore and analyzes the reasons of PVC surface appearance wave issues which applied by fine sealing robot in an automobile factory. Then combined with the actual spraying situation to filter five controllable parameters including nozzle design, spraying angle, spraying speed, spraying flow rate and spraying distance, after setting up multiple comparative tests using the control variable method, and observing the variation trend of the final presentation state, final make a series optimization and improvement measures to achieve the purpose of PVC appearance improvement. The conclusions obtained in this paper can provide some reference for the setting of some common parameters in the process of fine seal spraying robot and have a certain engineering application value.

Key words: fine sealing; PVC; appearance; surface wave

0 引言

随着越来越多的汽车制造厂对四门两盖的密封胶(PVC)外观质量关注度逐渐提高,细密封喷涂机器人的工艺应用也越来越广。在某汽车厂对细密封喷涂机器人的应用过程中发现,其喷涂烘烤完后的密封胶表面会出现清晰明显的波纹纹路,而这也会导致部分客户对其外观质量的不满^[1]。为了解决和优化这类问题,本文通过细致分析和对比各细密封喷涂机器人工艺应

用和参数设定的区别,探究出其波纹纹路的形成原因和改进思路,以实现密封胶外观质量的优化目的。

1 密封胶工艺基本情况介绍

在涂装工艺过程中,PVC作为车身密封和防腐重要的一环,对车身的密封和腐蚀性能提升起着重要的作用,并且针对一些覆盖件的客户可见区域,其外观呈现出的效果也是需要重点关注的内容。

图1为常见的四门两盖焊缝PVC密封示意,PVC需要喷涂在装焊板材折边焊缝位置,对折边焊缝密封严密,以保证车身的密封功能和腐蚀性能。某汽车制造厂的某车型由于该区域属于客户可见区域,因此PVC喷涂的表面外观效果也是需要重点关注和评估的。从外观层面而言,PVC应具备胶条整体平顺、过渡平滑、

收稿日期:2024-06-13

作者简介:李泽华(1995—),男,硕士,工程师,主要从事涂装PVC相关工艺、设备、生产线规划及新车型导入集成工作。E-mail:lizh05@bbac.com.cn。

表面平整均匀等特点^[2-3]。

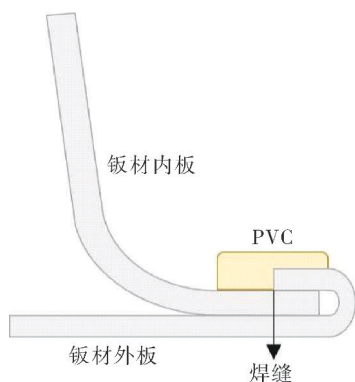


图1 PVC喷涂在后盖板材上的示意

某汽车厂在对车身后盖实施细密封喷涂机器人工艺喷涂过程中发现,其喷涂出的PVC表面会出现明显的波纹效果,当客户打开后盖的时候,在一定程度上影响客户的体验。因此消除掉波纹效果,保证PVC的良好外观质量至关重要。

2 密封胶表面波纹问题介绍

图2为基于某汽车厂某车型的后备厢盖密封胶喷涂效果,可以清晰地看见喷涂完后的PVC表面有着明显的波纹效果,尽管其对于折边的焊缝覆盖良好,密封和防腐功能得到保证,但这种明显的波纹效果会较大程度上影响客户的观感体验。此外,这类表面波纹在烘烤后或经过后续的色漆、清漆工艺之后也无法淡化和消除。因此解决和优化这类问题,必须从根源上去分析和遏制。本文主要通过差异对比、关键参数识别和关键参数的控制来锁定该问题产生的核心原因,并确定后续的优化和调整思路。

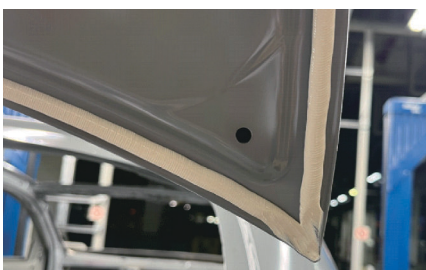


图2 后备厢盖PVC喷涂的波纹效果

3 问题初步分析

为了确定后续的优化思路,首先需要确认的就是波纹问题产生的潜在因素,才能对症下药。通过观察整个后盖PVC的外观,发现该波纹效果主要集中在右侧铰链附近的拐角位置,而在其他平顺笔直区域的焊缝位置,其表面波纹的效果明显淡化,基于此可以初步判

定其设备能力不存在明显的缺陷,具备喷涂无明显波纹PVC的能力。

排除掉设备能力的影响后,那么需要关注的就是覆盖件本身的焊缝设计、制造及程序设定相关因素。而通过对比左右侧铰链的波纹形态及焊缝状态时发现,其白车身的焊缝结构基本对称一致,但其呈现的波纹效果也不完全相同。

基于上述信息,可以排除掉焊缝结构设计和设备能力的问题,那么需要聚焦的就是程序方面的设定。通过以往的经验总结,排除掉一些无关或者低干扰的因素,再次缩小范围后主要锁定在喷涂参数的设定上,我们从中筛选出5类能够对PVC喷涂形态产生较大程度影响的参数:枪嘴设计、喷涂角度、喷涂速度、喷涂流量、喷涂距离。

为了清晰明确地探究这些参数对波纹效果的贡献程度,采用控制变量法对其进行逐步比对和验证。

4 不同工艺及参数对比

首先,将这5类参数根据现场的实际使用情况分别调取常用或相邻的值,并喷涂在现场的标准板材上。通过比对不同参数下喷涂的PVC表面状态,得出最优的参数组合。在实际的参数范围设定过程中,相较于实际生产过程中扩大了范围,以扩大不同范围参数设定条件对外观的影响,便于后续更好地体现和验证。

表1为后续试验所设定的不同参数组合:为了保证机器人可达性,枪嘴设计类型包括0°和45°枪嘴;为了保证整体姿态的流畅性,喷涂角度分为60°、90°和120°三类;为了平衡节拍、膜厚和外观影响等,喷涂速度分为150 mm/s、200 mm/s和250 mm/s三类;为了确保出胶的密封质量,喷涂流量分为4 mL/s、6 mL/s和8 mL/s;为了规范出胶形态和安全喷涂距离,喷涂距离分为5 mm、8 mm和10 mm。

表1 不同参数设定组合

枪嘴设计	喷涂角度/ (°)	喷涂速度/ (mm·s ⁻¹)	喷涂流量/ (mL·s ⁻¹)	喷涂距离/ mm
0°枪嘴	60	150	4	5
	90	200	6	8
	120	250	8	10
45°枪嘴	60	150	4	5
	90	200	6	8
	120	250	8	10

为了快速简洁地识别出各参数变化对PVC外观影响的趋势,需要选中一组稳定的数据作为参照值。在这里,我们将90°的喷涂角度、200 mm/s的喷涂速度、6 mL/s的喷涂流量和8 mm的喷涂距离作为通用参数

值。仅当特定参数被选为变化参数时，会对其进行调整，否则则按照其上述通用参数值设定。其他条件，如温度、PVC 材料等均保持不变，与正常生产条件一致。

某汽车厂为了满足各车型不同设计的后盖喷涂，使用了两款不同设计的枪嘴，以保证后盖喷涂的整体可达性和稳定性，分别为 0° 和 45° 枪嘴，如图 3 所示。

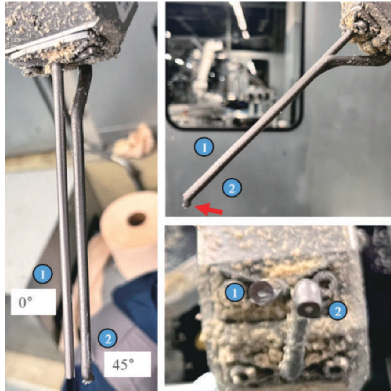


图 3 0° 枪嘴和 45° 枪嘴

虽然二者的出胶口径相同，但是由于枪嘴的拐角弧度不同，其适配的参数可能存在区别。因此，为了排除此干扰因素，我们同时对两款枪嘴按照不同参数条件设定进行了对比。

4.1 喷涂角度

从设备本身而言，枪嘴与喷涂面保持 90° 垂直的角度是最佳的。但由于该汽车厂同时生产 SUV 和轿车，不同类型的车身其后盖的整体结构设计也有着较大的区别，且由于是开盖喷涂，其后盖铰链和撑杆支具会对机器人的喷涂姿态产生干扰和影响。另外为了保证整条胶喷涂的一致性和连贯性，不可能做到所有区域都能够按照理想中完全垂直的角度来喷涂，在一些特定情况下，一定的角度倾斜在所难免。故而探究其喷涂角度对 PVC 表面波纹的影响可以提供优化思路 and 方向。

在正常程序的设定过程中，一般喷涂角度不会倾斜到 60° 和 120°，但在此为了放大喷涂角度带来的影响程度，最终分别设定了 60°、90° 和 120° 三种角度参数，如图 4 所示。

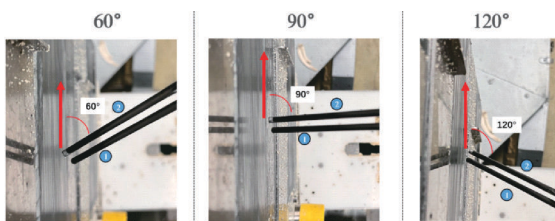


图 4 60°、90° 和 120° 不同喷涂角度示意

接着，我们对两款枪嘴都按照上述设定的通用参数分别进行喷涂，其喷涂效果如图 5 所示。

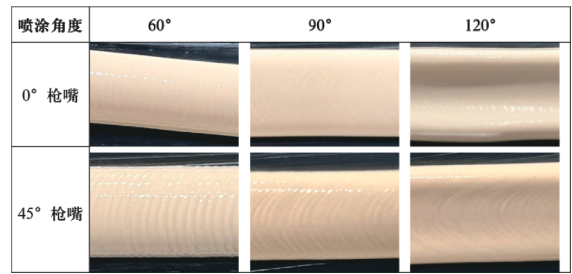


图 5 不同喷涂角度下的 PVC 外观

从最终喷涂出的效果而言，仅横向对比相同枪嘴设计为基础，90° 喷涂角度设定下的喷涂出的 PVC 外观表现状态最佳，表面最为平整，波纹纹路也是最好的；120° 喷涂角度设定下的 PVC 两端翘起，外观表现最差；而 60° 喷涂角度设定下的效果虽不如 90° 喷涂角度，但效果依旧不错。

再将两款不同枪嘴进行纵向对比后发现，0° 枪嘴的整体表现明显更加优异，波纹效果明显更浅。

因此，从喷涂角度和枪嘴设计结合的维度而言，我们可以得出优化的方向：在可达性允许的前提下，尽可能使用 0° 枪嘴，在 90° 喷涂角度或略微小于 90° 的喷涂角度下进行喷涂。

4.2 喷涂速度

为了能够同时保证生产节拍和工艺质量，喷涂速度一直是工艺参数中的常见调整变量，因此判断其对 PVC 外观效果贡献的程度具有重要意义。在此，我们对两款枪嘴都分别设定了 150 mm/s、200 mm/s 和 250 mm/s 三种不同的喷涂速度以探究其影响趋势，如图 6 所示。

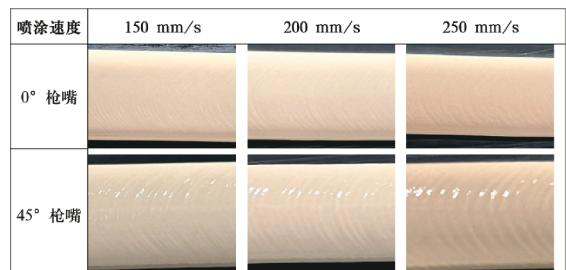


图 6 不同喷涂速度下的 PVC 外观

从喷板效果看来，0° 枪嘴在设定的 3 种不同喷涂速度条件下的 PVC 外观无明显区别，都表现出平整和不明显的表面波纹状态。而 45° 枪嘴表现出相比 0° 枪嘴更为明显的波纹，不过可以看出，喷涂速度的降低，其波纹效果也表现出一定的淡化趋势。呈现此效果的原因可能是速度降低的同时，胶路挤压得更加紧密，从

而使得表面波纹更加致密,导致其波纹效果的淡化。

因此基于上述的结果,可以得出优化方向:在可达性允许的前提下,尽可能使用 0° 枪嘴喷涂,若使用 45° 枪嘴喷涂时,则尽可能保持喷涂速度不要过快。

4.3 喷涂流量

在常用的参数设定中,喷涂流量的数值设定大小能直接影响到出胶的尺寸和形态。为了探究其对PVC外观的影响,我们分别对两款枪嘴设定了4 mL/s、6 mL/s和8 mL/s三种常用的流量数值,其喷涂效果如图7所示。

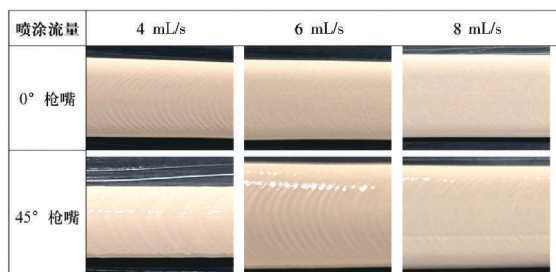


图7 不同喷涂流量下的PVC外观

通过细节对比,我们可以发现一个趋势:随着流量的增大,两款枪嘴喷涂出的PVC胶宽在增大的同时,表面的波纹由于愈发致密,而呈现出淡化的趋势。造成这一现象的原因很有可能是流量增大同时,其喷涂压力也会相应地增大,最终使喷涂在板材上的胶层均匀致密,从而使得波纹效果的淡化。不过流量设定太大,也会导致胶过宽,胶边缘溢出板材边沿等产生外露可见的风险,因此需要把握一定的平衡。

根据此现象,后续在程度调试过程中,在保证不外露可见和均匀一致性的前提下,尽可能使用较大的喷涂流量,以保证其良好的外观。

4.4 喷涂距离

细密封喷涂机器人的枪嘴由于其喷涂方式的特殊性,其喷涂枪距相比于传统的3D枪嘴更近,而枪距的大小也会影响到PVC喷涂到板材上的冲击力,进而影响最终呈现的形态外观。在此我们分别对两款枪嘴设定了5 mm、8 mm和10 mm的枪距,其喷涂效果如图8所示。

从图8可以看出,当喷涂距离越小时,两款枪嘴喷涂出的PVC表面波纹效果越淡,并且PVC形态也表现得愈发规整,外观形貌也越佳。不过对比而言, 0° 枪嘴整体的表现依然优于 45° 枪嘴。不过考虑到喷涂距离越小,其潜在的碰撞风险也就越大,且装焊折边偶尔会溢出一些装焊胶,距离过近很有可能会导致枪嘴的刚蹭变形。因此在实际的程序设定过程中,应该根据现场的实际情况去平衡碰撞风险和外观质量。

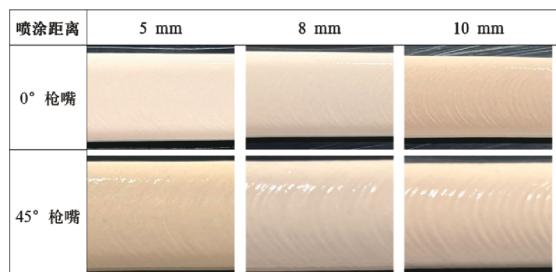


图8 不同喷涂枪距下的PVC外观

5 优化思路确认

通过上述5类参数的对比测试,可以基本确定在常用参数设定范围内优化PVC表面波纹的调整方向。

1)在设备可达性允许的前提下, 0° 枪嘴的喷涂效果更佳;

2)喷涂角度应尽可能设定为 90° 垂直喷涂,当姿态过渡变换、铰链或撑杆干涉导致无法垂直喷涂时,应尽可能控制喷涂方向呈锐角喷涂,避免钝角喷涂;

3)当使用 0° 枪嘴喷涂时,喷涂速度设定影响不大,但当使用 45° 枪嘴喷涂时,整体的喷涂速度不宜过快;

4)在不会导致胶外露可见或者干涉为前提时,喷涂流量可以设定相对较大一些,既可以保证良好的外观效果,也能够减少焊缝密封不良的风险;

5)缩短枪嘴与钣金喷涂面的距离可以有效地优化和改善外观质量,但需要考虑到装焊折边状态和装焊胶溢出情况等,防止由于喷涂距离过近而造成枪嘴的刚蹭和碰撞。

6 可行性工艺参数调整

确定了优化思路后,对于此类问题的解决就简单易很多。针对之前右下角铰链位置处的外观不良进行上述5个参数的逐一核实,并和得出的结论进行比对,发现其喷涂速度、喷涂距离还有一定的优化空间。因此,按照上述的思路进行参数适配性的修正,最终喷涂出的后盖PVC外观效果也呈现了明显的优化和改善,波纹效果淡化了许多,如图9所示。



图9 参数适配性调整后的PVC外观

(下转第72页)