

PVC 机器人枪嘴更换周期的建立

田孟轲, 刘峰, 王飞, 杨宝祥, 杜尚垒, 张海波
(北京奔驰汽车有限公司, 北京 100176)

摘要: 以 PVC 机器人经常使用的 3D 枪嘴、旋转枪嘴、FAD 枪嘴和针形枪嘴为例, 详细研究了枪嘴磨损对机器人喷涂胶形的影响, 通过分析枪嘴宽度或直径与喷涂胶宽及各枪嘴涂胶总长度的关系, 确立了 PVC 机器人枪嘴更换周期, 有效避免了枪嘴未及时按期更换造成的批量质量问题, 规范了枪嘴管理制度。

关键词: 密封胶; 枪嘴; 胶形; 周期

中图分类号: TQ639 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2025)04-0036-05

Establishment of PVC Robot Nozzle Changing Cycle

TIAN Meng-zhe, LIU Feng, WANG Fei, YANG Bao-xiang, DU Shang-lei, ZHANG Hai-bo
(Beijing Benz Automotive Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: This article shows four examples about 3D nozzle, swirl nozzle, FAD nozzle and needle nozzle that PVC robot often use. It researches the influence from nozzle broken to robot application spray pattern in detail. Through the relationship analysis between the nozzle width or diameter, spray pattern width and the total application length of all the nozzles, PVC robot nozzle changing cycle is established. It avoids the batch quality issues that originated from the nozzle not changed in time effectively, the nozzle management system is also regulated.

Key words: PVC; nozzle; spray pattern; cycle

0 引言

为了深入研究 3D 枪嘴宽度、旋转枪嘴直径、FAD 枪嘴直径和针形枪嘴直径与机器人喷涂 PVC 胶条宽度的定量关系, 采用胶形测试的试验方法对相同涂胶流量下 PVC 胶条宽度进行测量。对于 3D 枪嘴和旋转枪嘴, 选择测试车主地板前部作为实车 PVC 密封性及干涉性试验区域, 对于 FAD 枪嘴和针形枪嘴, 分别选择测试车尾门和车顶作为实车 PVC 外观及残胶试验区域。应用胶形测试中机器人涂胶参数对各试验区域进行喷涂, 经过 PVC 烤箱后验证密封性、干涉性、外观及残胶状态。通过实车喷涂质量验证结果总结枪嘴磨损程度与 PVC 涂胶质量的关系, 以保证质量为前提进

一步确立 PVC 机器人枪嘴更换周期, 建立完善的枪嘴应用管理制度^[1]。

1 PVC 机器人 3D 枪嘴更换周期的建立

PVC 3D 枪嘴应用于 3D 机器人的密封胶喷涂, 3D 机器人枪头中包括 3 个 3D 枪嘴, 分别为 0°、45°和 90°, 3 个枪嘴代表不同的喷涂方向和姿态。每个 3D 机器人不同角度的枪嘴喷涂 PVC 胶的长度不同, 对于相同的车型来说, 全车 PVC 胶总长度是一个确定数值, 根据各机器人站机器人数量、种类和布局对机器人工作负荷进行有效分配, 应用离线程序编写软件 3D-online 对各 3D 机器人 0°、45°、90°枪嘴涂胶长度进行模拟并统计, 见表 1。

由于 3D 枪嘴经过一段时间应用后发生机械磨损, 导致枪嘴中部宽度增加, 如图 1 所示。因此, 在机器人涂胶流量不变的情况下, 磨损后枪嘴中的 PVC 胶会优先通过枪嘴中部宽度较大区域, 从而造成 PVC 胶条宽度变小, 厚度增加。胶条宽度变小会导致焊缝密封不

收稿日期: 2024-02-17

作者简介: 田孟轲(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事汽车涂装车间密封胶机器人涂胶轨迹的设计、程序的编写和优化工作。E-mail: tianmzh@bbac.com.cn。

良风险增加,存在肥皂水吹试漏水及车身腐蚀风险。胶条厚度增加会导致 PVC 与总装安装平面干涉风险升高,造成总装无法按照工艺装配或装配后存在配件脱落风险。而且当夏季 PVC 温度较高,PVC 材料相对黏度较低时,涂胶过厚会因重力作用造成坠胶,坠胶会导致焊缝附近涂胶量骤减,焊缝密封性及防腐性能变差^[2]。如果残胶坠落至总装安装位置会对装配过程造成干涉,总装因此产生额外的质量停线及返修时间,影响总装产量和质量的完成。涂胶过厚会导致外观可见区域客户观感降低,不利于销量目标的实现。

表 1 PVC 3D 机器人枪嘴涂胶长度

机器人站	机器人	枪嘴涂胶长度/m		
		0°	45°	90°
车身机器人 1 站	R61	7.990	2.769	0
	R13	1.675	2.656	0
车身机器人 2 站	R23	1.892	2.652	0
	R11	7.866	3.379	0.956
车底机器人 1 站	R12	4.449	2.62	4.016
	R21	7.019	3.841	1.830
	R22	4.026	2.759	3.983
车底机器人 3 站	R15	7.422	5.192	0
	R25	7.904	5.103	0
总涂胶长度		50.243	30.971	10.785

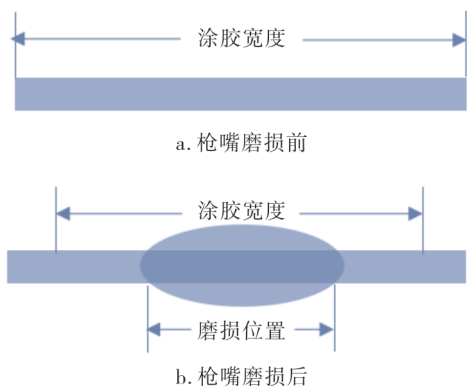


图 1 PVC 3D 机器人枪嘴磨损前后涂胶宽度变化示意

对于同种车型生产过程来讲,3D 枪嘴单车涂胶长度越大,枪嘴达到相同磨损程度的时间越短,枪嘴更换频次越高。由各 3D 机器人各枪嘴涂胶长度可知,0°枪嘴涂胶长度最大,总长度为 50.243 m,45°枪嘴涂胶长度次之,总长度为 30.971 m,90°枪嘴涂胶长度最小,总长度为 10.785 m。因此,0°枪嘴在 PVC 喷涂过程中由于姿态、枪距等优势得到了最为广泛的应用,是枪嘴更换重点关注的对象。为了定量确定枪嘴磨损程度对 PVC 涂胶质量的影响,我们选用单车涂胶长度最大的

车身机器人 R61 0°枪嘴,每周利用设备维护保养等非生产时间进行胶形测试和车身喷涂测试,对枪嘴及测试板胶条的宽度进行测量,对喷涂后干胶车身 3 个试验点进行肥皂水吹试和总装安装测试,结果见表 2。

表 2 3D 枪嘴胶形测试和车身喷涂测试结果

周	枪嘴宽度/mm	PVC 宽度/mm	肥皂水吹试	总装安装测试
1	0.30	18.3	合格	合格
2	0.30	18.3	合格	合格
3	0.31	17.5	合格	合格
4	0.32	16.3	合格	合格
5	0.35	12.6	合格	合格
6	0.37	10.5	合格	合格
7	0.41	8.1	合格	合格
8	0.43	7.6	合格	合格
9	0.44	7.1	合格	合格
10	0.46	6.8	合格	合格
11	0.47	6.7	漏水	干涉

通过连续 11 周的测试,车身机器人 R61 0°枪嘴宽度由 0.30 mm 逐渐增加至 0.47 mm,而胶形测试涂胶宽度由 18.3 mm 降低至 6.7 mm,说明 3D 枪嘴经过一段时间应用后因中部磨损而变宽,因为 3D 枪嘴喷涂过程中形成 PVC 扇面并涂覆于车身,所以由于枪嘴磨损造成的涂胶宽度下降就更加显著。测试前 10 周,选取的 3 个测量点的肥皂水吹试和总装安装测试结果均无问题。当测试进行至第 11 周时,测试点 1 出现肥皂水吹试密封不良问题,测试点 2 出现干涉总装装配问题,说明此刻由枪嘴磨损造成的胶窄及胶厚现象已经产生 PVC 质量问题,因此必须在质量问题发生前进行枪嘴更换。对其他 3D 枪嘴进行类似的胶形测试和车身喷涂测试,通过测试结果建立各 3D 枪嘴更换周期,见表 3。

表 3 各 PVC 机器人 3D 枪嘴更换周期

机器人站	机器人	枪嘴更换周期/周		
		0°	45°	90°
车身机器人 1 站	R61	10	28	
	R13	47	30	
车身机器人 2 站	R23	42	30	
	R11	10	23	83
车底机器人 1 站	R12	17	30	19
	R21	11	20	43
	R22	19	28	20
车底机器人 3 站	R15	10	15	
	R25	10	15	

2 PVC 机器人旋转枪嘴更换周期的建立

PVC 旋转枪嘴应用于旋转机器人的密封胶喷涂, 旋转机器人枪头只有 1 个枪嘴, 喷涂方向与机器人 6 轴旋转方向垂直。不同旋转机器人枪嘴喷涂 PVC 胶的长度不同, 对各旋转机器人枪嘴涂胶长度进行模拟并统计, 结果见表 4。

表 4 PVC 旋转机器人枪嘴涂胶长度

机器人站	机器人	枪嘴涂胶长度/m
车身机器人 2 站	R71	7.110
	R81	9.100
	R13	6.952
车底机器人 2 站	R14	7.334
	R23	10.308
	R24	7.608
总涂胶长度		48.412

与 3D 枪嘴类似, 旋转枪嘴经过一段时间应用后也会发生机械磨损, 导致枪嘴直径均匀增加, 如图 2 所示。因此, 在机器人涂胶流量不变的前提下, 磨损后枪嘴中的 PVC 胶会以较大直径高速旋转喷出, 从而造成 PVC 胶条宽度变大, 厚度减小。胶条宽度变大会导致 PVC 与总装装配干涉风险升高, 特别在一些焊缝相对螺栓或安装孔较近的位置, 往往是 PVC 干涉问题的高发区。在机盖、后盖等外观可见区域, 胶条喷涂过宽会导致客户目视体验变差。而胶条厚度减小更多的体现为焊缝较大位置的涂胶表面及内部存在沙眼, 甚至产生胶条内部的空气通道, 焊缝密封不良及腐蚀风险增加^[3]。

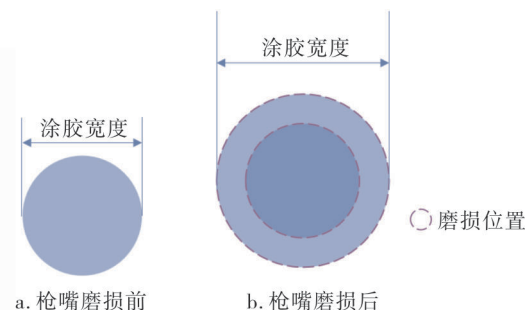


图 2 PVC 旋转机器人枪嘴磨损前后涂胶宽度变化示意

对于同种车型生产过程来讲, 旋转枪嘴单车涂胶长度越大, 枪嘴达到相同磨损程度的时间越短, 枪嘴更换频次越高。同 3D 机器人各枪嘴相比, 旋转枪嘴涂胶长度普遍较长且相差不多, 在 7~10 m 之间。为了定量确定枪嘴磨损程度对 PVC 涂胶质量的影响, 我们选用单车涂胶长度最大的车底机器人 R23 旋转枪嘴, 每周

进行胶形测试和车身喷涂测试, 对枪嘴直径及测试板胶条的宽度进行测量, 对喷涂后干胶车身 3 个试验点进行肥皂水吹试和总装安装测试, 结果见表 5。

表 5 旋转枪嘴胶形测试和车身喷涂测试结果

周	枪嘴宽度/mm	PVC 宽度/mm	肥皂水吹试	总装安装测试
1	0.90	11.3	合格	合格
2	0.92	11.6	合格	合格
3	0.93	11.8	合格	合格
4	0.96	12.4	合格	合格
5	0.99	13.8	合格	合格
6	1.03	14.9	合格	合格
7	1.07	16.5	合格	合格
8	1.12	18.9	合格	合格
9	1.15	19.7	合格	干涉

通过连续 9 周的测试, 车底机器人 R23 旋转枪嘴宽度由 0.90 mm 逐渐增加至 1.15 mm, 而喷板测试涂胶宽度由 11.3 mm 增加至 19.7 mm, 说明旋转枪嘴经过一段时间应用后因内腔均匀磨损导致直径增大。与 3D 枪嘴相比, 旋转胶枪枪体电机在喷涂过程中产生约 21 000 r/min 的转速, 形成更大的 PVC 喷幅并涂覆于车身, 所以由于枪嘴磨损造成的涂胶宽度增加就更为明显, 再加上旋转枪嘴涂胶长度普遍高于 3D 枪嘴, 这就直接导致了旋转枪嘴更换频次高于 3D 枪嘴。测试前 8 周, 选取的 3 个测量点的肥皂水吹试和总装安装测试结果均无问题。当测试进行至第 9 周时, 测试点 1 和 2 出现干涉总装装配问题, 说明此刻由枪嘴磨损造成的胶宽现象已经产生 PVC 质量问题, 因此必须在质量问题发生前进行枪嘴更换。对其他旋转枪嘴进行类似的胶形测试和车身喷涂测试, 由测试结果建立旋转枪嘴更换周期, 见表 6。

表 6 各 PVC 机器人旋转枪嘴更换周期

机器人站	机器人	枪嘴更换周期/周
车身机器人 2 站	R71	11
	R81	9
	R13	11
车底机器人 2 站	R14	11
	R23	8
	R24	10

3 PVC 机器人 FAD 枪嘴更换周期的建立

FAD 涂胶工艺主要用于车身细密封, 由于其涂胶宽度较窄, 涂胶表面圆润光滑, 机器人开关枪位置残胶

较少,因此广泛用于发动机盖、行李箱盖等外观区域的PVC涂覆^[4]。FAD枪嘴形貌与旋转枪嘴类似,其截面为直径1 mm的圆形小孔,PVC胶以一定的压力和流量通过枪嘴喷涂于车身。FAD枪嘴与旋转枪嘴最根本的区别在于前者在喷涂过程中枪嘴不发生旋转,因此FAD枪嘴的喷幅及胶宽较旋转枪嘴小,同时枪距对涂胶厚度的影响不大^[5]。每个FAD机器人安装2个不同喷涂姿态的枪嘴,对各FAD机器人枪嘴涂胶长度进行模拟并统计,结果见表7。

表7 PVC FAD 机器人枪嘴涂胶长度

机器人站	机器人	枪嘴涂胶长度/m	
		1号枪嘴	2号枪嘴
车身机器人1站	R41	2.537	3.674
	R51	3.123	2.654
总涂胶长度		5.660	6.328

与旋转枪嘴类似,FAD枪嘴应用一段时间后也会发生机械磨损,导致枪嘴直径增大,但由于FAD枪嘴喷涂过程中不发生旋转,因此枪嘴直径增大并不明显。枪嘴磨损对涂胶厚度及宽度的影响很小,但在涂胶压力和流量不变的前提下,磨损后的枪嘴会降低涂胶均匀程度,导致涂胶表面存在严重褶皱,产生外观不良问题。FAD机器人主要用于发动机盖、行李箱盖等客户可见位置喷涂,为了消除PVC表面褶皱对客户目视舒适度的影响,需要定期对枪嘴进行更换。FAD枪嘴更换前后的涂胶状态如图3所示。

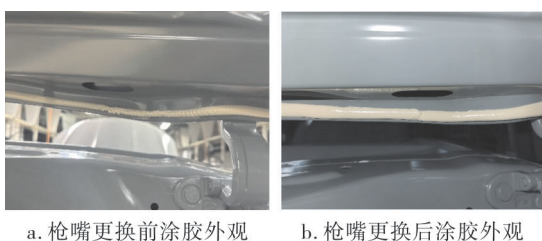


图3 PVC FAD 机器人枪嘴磨损前后涂胶外观变化

以涂胶长度最大的R41 2号枪嘴为例对枪嘴直径、涂胶宽度和涂胶外观随枪嘴磨损程度的变化关系进行定量分析,选取该枪嘴喷涂的行李箱盖的5个位置作为试验点,结果见表8。

由表8可知,随着枪嘴应用时间的增加,枪嘴磨损程度随之增大,但枪嘴直径及涂胶宽度变化不大。当试验进行到第15周时,R41 2号枪嘴喷涂的行李箱盖位置2和位置4发生涂胶褶皱现象,造成PVC外观不良问题。因此,该枪嘴更换周期为14周。由该试验方法可

以建立各FAD枪嘴更换周期,见表9。

表8 FAD枪嘴胶形测试和车身喷涂测试结果

周	枪嘴直径/mm	PVC宽度/mm	外观考核结果
1	1.00	6.1	合格
2	1.00	6.1	合格
3	1.01	6.1	合格
4	1.01	6.1	合格
5	1.01	6.1	合格
6	1.02	6.2	合格
7	1.02	6.2	合格
8	1.03	6.2	合格
9	1.03	6.2	合格
10	1.03	6.2	合格
11	1.04	6.3	合格
12	1.04	6.3	合格
13	1.05	6.3	合格
14	1.05	6.3	合格
15	1.06	6.4	褶皱

表9 各PVC机器人FAD枪嘴更换周期

机器人站	机器人	枪嘴更换周期/周	
		1号枪嘴	2号枪嘴
车身机器人1站	R41	20	14
	R51	16	19

4 PVC机器人针形枪嘴更换周期的建立

PVC机器人针形枪嘴主要用于车顶、前风挡框架和行李箱盖牌照位置的焊缝密封。由于这些喷涂位置均为总装安装区域,存在PVC与安装件发生干涉的质量风险,因此采用低相对黏度和低屈服值的PVC材料进行喷涂^[6]。该材料与针形枪嘴配合应用,喷涂胶形较薄较窄,能够在保证PVC密封性的前提下最大限度降低总装干涉风险。每个喷涂车顶的机器人安装1个针形枪嘴进行喷涂,对各机器人针形枪嘴涂胶长度进行模拟并统计,结果见表10。

表10 PVC针形机器人枪嘴涂胶长度

机器人站	机器人	枪嘴涂胶长度/m
车身机器人2站	R13	1.756
	R23	0.973
总涂胶长度		2.719

由于顶沟胶相对黏度和屈服值较车身胶和车底胶低,因此顶沟胶采用独立的输胶系统进行材料供应。顶沟胶输胶系统只有一级增压器,而车身胶和车底胶输

胶系统有两级增压器，所以顶沟胶输胶系统材料压力不如车身胶和车底胶稳定。随着针形枪嘴应用时长的不断增加，其出胶口逐渐发生磨损，在机器人开关枪等胶压变化位置容易产生残胶飞溅。当残胶飞溅到车身外板外露区域时会产生外观不良等质量问题，同时增加面漆准备工位的打磨工作量。枪嘴更换前后车身外板 PVC 残胶状态如图 4 所示。



a. 枪嘴更换前PVC残胶飞溅 b. 枪嘴更换后无PVC残胶

图 4 PVC 针形机器人枪嘴磨损前后残胶状态变化

为了减少 PVC 残胶对车身漆面外观的影响并降低面漆准备工位的打磨工作量，需要对针形枪嘴磨损状态、涂胶宽度及车身外板 PVC 残胶发生情况进行试验，以涂胶长度较大的 R13 针形枪嘴为例进行说明，选取车顶、前风挡框架和行李箱盖牌照共 4 个试验位置进行分析测试，结果见表 11。

表 11 针形枪嘴胶形测试和车身喷涂测试结果

周	枪嘴直径/mm	枪嘴直径/mm	残胶考核结果
1	0.95	5.9	合格
2	0.95	5.9	合格
3	0.96	5.9	合格
4	0.96	5.9	合格
5	0.97	5.9	合格
6	0.98	5.9	合格
7	0.99	5.9	合格
8	1.00	5.9	合格
9	1.01	5.9	合格
10	1.01	6.0	合格
11	1.02	6.0	合格
12	1.02	6.0	合格
13	1.03	6.0	合格
14	1.03	6.0	合格
15	1.03	6.0	合格
16	1.03	6.0	合格
17	1.04	6.0	合格
18	1.04	6.0	合格
19	1.05	6.1	残胶

由表 11 可知，随着针形枪嘴应用时长的增加，其

出胶位置磨损程度升高，但胶宽增加不明显。在试验的前 18 周末发生 PVC 残胶飞溅等质量问题。从第 19 周开始，试验点 1 出现影响漆面外观的 PVC 残胶飞溅。因此，R13 机器人针形枪嘴更换周期为 18 周。由该试验方法能够确定各针形枪嘴更换周期，见表 12。

表 12 PVC 机器人针形枪嘴更换周期

机器人站	机器人	枪嘴更换周期/周
车身机器人 2 站	R13	18
	R23	32

5 PVC 机器人枪嘴管理制度的建立

为了确保 PVC 机器人涂胶质量状态，避免由于 PVC 机器人枪嘴磨损带来的涂胶宽度及厚度变化对质量状态的影响，在确定 PVC 机器人枪嘴更换周期的基础上建立了相应的管理制度。根据不同枪嘴的应用特点和测试数据对其更换周期进行规定，以枪嘴更换周期为核心制订了《PVC 机器人枪嘴更换记录表》，详细记录枪嘴更换日期、更换前后的枪嘴批次号等信息，形成长期可追溯的完整文件。PVC 机器人枪嘴管理制度的建立实现了 PVC 枪嘴应用制度化、规范化，有效避免了因为 PVC 枪嘴磨损造成的密封不良、外观不良、残胶飞溅、总装干涉等严重质量问题。

6 结语

PVC 机器人枪嘴位于整个喷涂系统终端位置，对喷涂胶形发挥着至关重要的作用。胶形作为影响 PVC 质量的核心因素，是生产管理中需要重点关注的控制领域。通过科学试验的方法确立枪嘴更换周期，在生产过程中形成作业流程与标准体系，并在实践中对其不断完善与发展，极大地稳定了 PVC 机器人涂胶质量状态，为实现高质量高水平产品输出提供了有力保证。

参考文献：

- [1] 何智卿,黄龙武,吴忠喜,等.PVC 胶密封工艺对漏水缺陷预防与控制的探讨[J].涂层与防护,2023,44(9):43-46.
- [2] 张晓清,章健,刘晓春,等.浅析 PVC 机器人喷涂滴胶问题的原因及解决方案[J].上海涂料,2023,61(4):59-61.
- [3] 李劲勇,刘霖,张举全,等.汽车 PVC 涂胶工艺漏雨缺陷分析控制[J].现代涂料与涂装,2022,25(10):45-47.
- [4] 李鸿宇,张龙,张举全,等.PVC 喷涂影响因素探讨[J].现代涂料与涂装,2024,27(8):31-33.
- [5] 刘霖,张举全,夏明星,等.汽车涂装 PVC 密封胶外观优化的研究[J].现代涂料与涂装,2023,26(1):18-20.
- [6] 覃江丁,廖章龙,邓烈雄,等.汽车 PVC 密封胶条开裂因素探讨[J].现代涂料与涂装,2023,26(7):41-43.