汽车涂装车间旋转胶枪PVC残胶优化

田孟辙

（北京奔驰汽车有限公司，北京 100176）

摘要：为解决后围残胶进入总装车间干涉安装的问题，对聚氯乙烯（PVC）材料、枪嘴温度和机器人喷涂程序进行优化：在不影响涂胶密封性和外观的前提下，提高PVC材料相对粘度和屈服值；降低枪嘴出胶温度，减少残胶的产生；取消后围位置的一对开关枪点，将2道不同的胶合并成同一道胶。结果表明，以上措施消除了后围处PVC残胶，避免了对总装安装平面的干涉影响。

关键词：PVC残胶　材料　温度　机器人程序　人工成本

中图分类号：U466　　**文献标志码：**B　　**DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20240048

Swirl Gun PVC Residue Optimization in Automobile Paint Shop

Tian Mengzhe

(Beijing Benz Automotive Company, Beijing 100176)

Abstract: To solve the quality issues that rear quarter PVC residue interference with assembly shop installation, PVC material, nozzle temperature and robot application program are optimized as following. For PVC material, Relevant viscosity and yield value with the precondition of no influence to the tightness and appearance are increased; The nozzle temperature is reduced and the PVC residue amount is decreased; The gun on-and-off points of rear quarter are cancelled and two adjacent seams are combined to one big seam. The result indicates that the solutions above remove the PVC residue on rear quarter and avoid the PVC interference to assembly installation surface.

Key words: PVC residue, Material, Temperature, Robot program, Labor cost

1 前言

PVC残胶是指车身通过密封胶生产线时，涂胶及刷胶过程中产生的附着在车身上的多余密封胶。在生产过程中，残胶以湿胶形式存在，经过密封胶烤箱后，残胶固化变硬形成干胶贴附于车身，对车身质量造成严重影响[1]。胶残根据来源可分为机器人残胶和手工残胶。残胶大幅提高了车身手工区擦车工位和面漆准备线的劳动强度，特别是当存在残胶的车辆到达精修线时，会降低车间一次交验率，对车间产量和质量造成影响。因此，减少生产过程中密封胶残胶的产生是一项重要而紧迫的任务。

聚氯乙烯（Polyvinyl Chloride，PVC）机器人涂胶程序中的开枪点和关枪点位置是残胶飞溅的高发区[2]。在实际生产中，在左、右后围位置经常发现机器人关枪点甩出的胶丝，会干涉总装车间侧围零部件的安装，导致零件无法安装到位。

选择与产生残胶的关枪点位置接近的另一道胶，将其开枪点删除，通过轨迹点将这2道胶连接成为一道胶，调整该轨迹点姿态，避免机器人与车身发生碰撞。然后在机器人姿态发生变化的位置设置较小的刷子号，避免堆胶影响总装，在机器人姿态平稳的位置设置较大的刷子号，避免涂胶过

作者简介：田孟辙（1988—），男，工程师，硕士学位，研究方向为PVC机器人程序的设计、示教及刷胶点优化，PVC手工人员工作负荷平衡及优化。

参考文献引用格式：

田孟辙. 汽车涂装车间旋转胶枪PVC残胶优化[J]. 汽车工艺与材料, 2024(11): 27-31.

TIAN M Z. Swirl Gun PVC Residue Optimization in Automobile Paint Shop[J]. Automobile Technology & Material, 2024(11): 27-31.

薄或过窄导致PVC漏水。最后对示教完成的程序进行在线自动喷涂，对偏移焊缝的涂胶轨迹进行局部微调。

2 PVC残胶干涉安装问题

车身完成涂装车间全部工艺过程后，经过立体库到达总装车间安装内饰及底盘相关部件，发现后围PVC残胶干涉安装。PVC残胶会导致胶堵安装后与后围板材产生缝隙，严重影响车身密封性，易造成备胎槽进水。因此，对影响胶堵装配的后围PVC残胶进行每日百车缺陷数统计，如表1所示。为保证产品质量，对发生PVC干涉胶堵安装的车身进行停线修复，由此产生的质量停线时间如图1所示。

表1 优化前PVC残胶日百车缺陷统计 个

日期	1月8日	1月9日	1月10日	1月11日	1月12日
位置1	287	326	301	291	298
位置2	178	186	207	180	159
合计	465	512	508	471	457

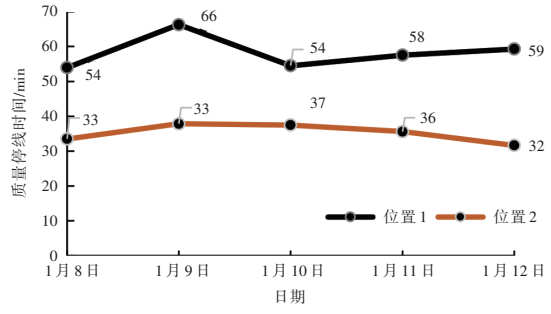


图1 优化前总装日质量停线时间

由表1、图1可知，后围2处安装位置均有PVC残胶产生并与安装位置干涉。2处干涉位置合计约产生残胶缺陷5个/车，处理带来的停线时间约为90 min/天。为解决PVC残胶对装配造成干涉问题，临时在PVC车身手工线尾擦车工位增加后围位置PVC残胶的擦拭工序。

在涂装车间增加人工擦拭PVC残胶工序后，流入总装车间的缺陷数量显著下降，同时，由于清除PVC残胶产生的质量停线时间大幅降低，满足了总装车间的产量要求。2处干涉位置合计产生残胶缺陷约0.2个/车，如表2所示，处理缺陷的停线时间约为5 min/天，如图2所示。

表2 优化后PVC残胶日百车缺陷统计 个

日期	1月15日	1月16日	1月17日	1月18日	1月19日
位置1	13	14	12	12	15
位置2	10	12	9	11	11
合计	23	26	21	23	26

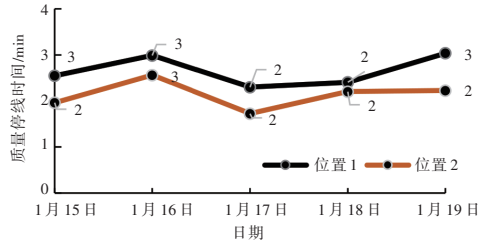


图2 优化后总装日质量停线时间

尽管临时措施大幅降低了缺陷数量和质量停线时间，但增加了擦车工位人工操作时长，提高了工位利用率，同时增加了车身擦拭布及工业乙醇的使用量，提高了人员工作负荷和低值易耗品成本，因此，需要一个从根本上解决PVC残胶产生的方案。

3 PVC残胶干涉总装安装问题原因分析

造成PVC残胶飞溅干涉总装安装问题的原因是多方面的，主要包括PVC材料、喷涂设备温度和喷涂程序[3]。在材料方面，影响PVC施工性能的重要参数是相对粘度和屈服值，且二者具有一定的相关性。喷涂设备对PVC残胶的影响主要为机器人枪嘴的出胶温度，机器人喷涂程序包括涂胶轨迹和参数设置。应通过调整材料、设备温度及喷涂程序最大限度避免残胶缺陷。

3.1 PVC材料参数对残胶的影响

材料的相对粘度和屈服值是影响PVC残胶的2个重要参数，二者往往呈现正相关。当相对粘度和屈服值升高时，PVC材料的保形性提升，从机器人枪嘴喷出时不易产生残胶飞溅，但相对粘度和屈服值过高会使机器人涂胶宽度变小，对焊缝的密封性能变差，易造成焊缝密封不良。当材料相对粘度及屈服值降低时，材料保形性变差，流动性及喷涂飞溅风险升高。由于机器人喷涂起始阶段需要一定的预压力进行机械推动，因此，喷涂飞溅易造成残胶缺陷。选取不同相对粘

度和屈服值的材料进行车身喷涂测试,观察分析相对粘度和屈服值对PVC残胶及密封性的影响,结果如表3所示。

表3　PVC材料参数对残胶及密封性的影响

相对粘度/Pa·s	屈服值/Pa	胶宽/mm	残胶百车缺陷数(FPH)/个	密封不良FPH/个
7.777	329.75	17.1	981	0
8.021	354.78	12.7	673	0
8.281	375.79	10.3	496	0
8.653	412.21	8.2	235	3.7
9.295	476.34	5.3	112	5.6

表3中3号参数组合为当前现场实际使用的材料性能参数。相对粘度和屈服值的降低有利于增大胶宽,从而提升材料的密封性能,但残胶数量也随之成倍增加,不利于PVC残胶问题的解决。而提升材料相对粘度和屈服值可以显著减少残胶缺陷数量,但涂胶宽度随着材料粘度和屈服值的升高而显著下降,导致密封不良百车缺陷有所升高。当材料相对粘度增大至8.653 Pa·s时,车身密封不良百车缺陷数升高至3.7个,接近现阶段质量目标(4个)。当材料相对粘度增大至9.295 Pa·s时,车身百车密封不良缺陷数已高达5.6个,超出质量目标要求。因此,提升材料相对粘度和屈服值虽然可以有效改善机器人枪嘴产生残胶飞溅的百车缺陷数,但对PVC密封性的不良影响较为明显,胶宽随相对粘度和屈服值的升高而降低导致材料密封性能变差,存在一定的密封不良及腐蚀风险。

3.2　PVC枪嘴温度对残胶的影响

PVC喷涂设备主要指机器人及供胶系统,对残胶影响较大的是机器人枪嘴出胶温度。PVC材料对温度较为敏感,其相对粘度和屈服值随材料温度的降低而升高,较高的相对粘度和屈服值可以减少机器人喷涂过程中的残胶飞溅,减少残胶缺陷。因此,选取不同枪嘴温度下的材料进行车身喷涂测试,研究分析涂胶宽度、残胶百车缺陷数量和密封不良百车缺陷数量与温度的关系,结果如表4所示。

表4　PVC枪嘴温度对残胶及密封性的影响

枪嘴温度/℃	胶宽/mm	残胶FPH/个	密封不良FPH/个
20.4	7.8	145	4.9
24.1	10.8	241	2.9
28.2	16.0	501	0
31.1	18.3	554	0
32.6	20.1	823	0

由表4可知,3号参数组合为正常生产过程中枪嘴温度对残胶及密封性的影响,虽然残胶百车缺陷数量较高,但不会出现密封不良,车身的密封性和防腐蚀性能得到保证。为解决PVC残胶飞溅问题,将测试温度逐渐降低,发现涂胶宽度变窄的同时,残胶百车缺陷数量开始下降,但并未降低至接近无残胶的水平。由于胶宽随温度的降低而减小,密封不良百车缺陷数量明显增加,车身漏水及腐蚀风险升高。升高枪嘴喷涂温度虽然可以降低密封不良百车缺陷数,但随着温度上升及胶宽的提高,残胶百车缺陷数量显著增加,不利于解决残胶缺陷问题,因此,需要通过其他方法实现对PVC残胶的控制。

3.3　PVC喷涂程序对残胶的影响

由于机器人在涂胶过程中存在开枪点和关枪点,开、关枪点附近密封胶运动状态的显著变化无法避免,因此,无法从根本上消除残胶。为最大程度降低残胶对车身质量的影响,可以对机器人开关枪点附近的程序参数进行优化,控制残胶胶量和残胶位置。机器人程序主要参数如表5所示。

表5　PVC机器人程序参数对残胶及密封性的影响

参数	优化前	优化后	残胶FPH/个	密封不良FPH/个
流量/mL·s^{-1}	8	5	187	0
加速度/mm·s^{-2}	8 000	7 000	458	0
速度/mm·s^{-1}	200	150	443	0
Z向位置/mm	495.14	513.06	399	0
转速/r·min^{-1}	21 000	20 000	484	0
枪距/mm	50	20	231	0

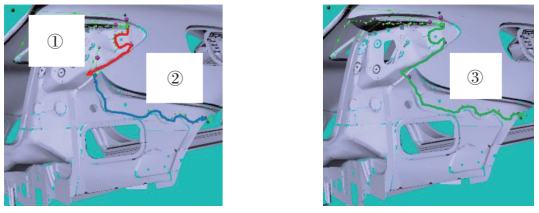
当机器人涂胶流量增大时,涂胶过程中甩出的残胶增多。降低机器人位于开关枪点前的刷子

点的流量，减少开关枪点瞬时枪嘴中积存的残胶，有利于减少从枪嘴中甩出的残胶胶量。当机器人加速度较大时，机器人运动过程中速度的改变所需时间较短，机器人运动的整体稳定性下降，易产生残胶。降低机器人位于开关枪点前的轨迹点的加速度，有利于减少残胶的甩出，使残胶保持在开、关枪点附近的小范围内。当机器人涂胶速度过快时，机器人运动过程中甩出的残胶较多。因此，可在满足机器人涂胶节拍的前提下降低机器人的运动速度。当机器人涂胶位置距离后围过近时，涂胶过程中产生的残胶易落于后围附近总装安装处。因此，为了减少后围附近残胶，在保证涂胶密封性的前提下，增加了问题位置的涂胶高度，使涂胶位置远离后围。在旋转胶枪对车身焊缝进行喷涂过程中，当胶枪转速过快时，甩出的残胶较多。因此，在保证涂胶密封性和防腐蚀性能的前提下，降低了旋转胶枪转速。对于旋转胶枪，可以适当减小机器人枪嘴与开、关枪点前车身作用面的距离，从而减小枪嘴喷涂扇面，降低残胶飞溅风险。

以上机器人参数优化调整，均未造成问题位置密封不良问题，但也未使残胶百车缺陷数量大幅降低。考虑到密封性及防腐性能的要求，涂胶流量及转速不能过低，Z 向涂胶位置要保证焊缝居中，因此，Z 向位置不能过高，转速不能过低，转速低会导致胶形不够致密而形成胶条中央沙眼，降低喷涂密封性。加速度和速度的减小虽有助于降低残胶百车缺陷数量，但会降低机器人运行节拍，影响产量。减小喷涂枪距可缩小残胶飞溅范围，但不能杜绝残胶的产生，同时会提高涂胶厚度，提高总装安装干涉的风险。

旋转胶枪机器人运动过程中，开、关枪点位置是最容易产生残胶的区域。为控制残胶数量，可考虑调整程序轨迹姿态，减少机器人开关枪点数量，将 2 条 PVC 胶通过添加过渡轨迹点的方法合并为 1 条 PVC 胶，如图 3 所示。对机器人姿态变化较大的位置应用较小刷子号以降低堆胶风险，如图 4 所示。程序轨迹优化可减少 1 组开关枪点，大幅降低残胶的发生率，如图 5 所示。

优化后的程序经过喷涂测试后表明，PVC 残胶百车缺陷数量由约 500 个降低至 0.11 个，密封不良百车缺陷数量降低为 0 个，在保证 PVC 密封性和防腐蚀性能的前提下最大限度减少了 PVC 残胶的产生。



(a)优化前　　(b)优化后

图 3　优化前、后机器人涂胶状态数模



(a)优化前　　(b)优化后

图 4　姿态优化前、后机器人涂胶状态实车



(a)优化前　　(b)优化后

图 5　轨迹优化前、后机器人残胶状态实车

4　成果与收益

由于 PVC 残胶百车缺陷数量的降低，总装因为 PVC 残胶干涉安装造成的清除残胶的质量停线时间显著下降，如图 6、图 7 所示。

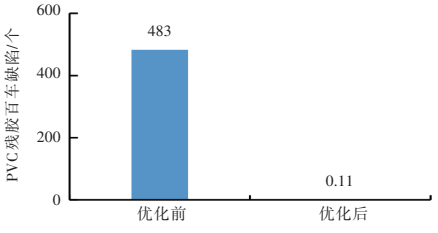


图 6　优化前、后 PVC 残胶百车缺陷数量

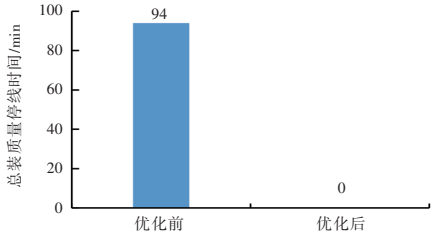


图 7　优化前、后总装质量日停线时间

由于通过机器人程序轨迹及姿态优化取消了 1 组开关枪点，使机器人喷涂过程中几乎不再产生 PVC 残胶，因此，取消了残胶擦拭操作，节约了擦

车溶剂工业乙醇及车身擦拭布，降低了工人工时。

工业乙醇原额定消耗量为44 mL/车，现额定消耗量为40 mL/车，以工业乙醇单价8元/kg、日产量600台计算，全年可节约工业乙醇506.88 kg，如图8所示，全年可节约工业乙醇采购成本4 055.04元。

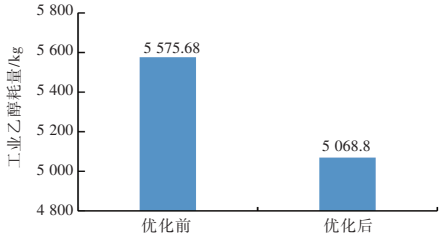


图8　优化前、后工业乙醇年消耗量

车身擦拭布原额定消耗量为2.2片/车，通过取消工人对PVC干涉位置的擦拭操作，现额定消耗量为2片/车，以车身擦拭布单价0.7元/片，日产量600台计算，全年可节约车身擦拭布31 680片，如图9所示。全年可节约车身擦拭布采购成本22 176元。

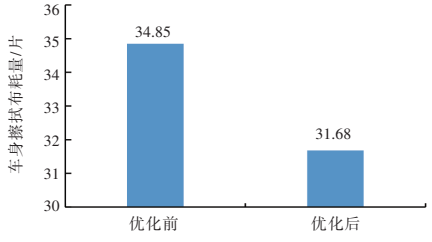


图9　优化前、后车身擦拭布年消耗量

PVC残胶优化完成前擦车工位的工作时长为93 s，优化后擦车工位的工作时长可以降低至90 s。以日产量600台计算，全年可降低擦车工位工作时长132 h，如图10所示。

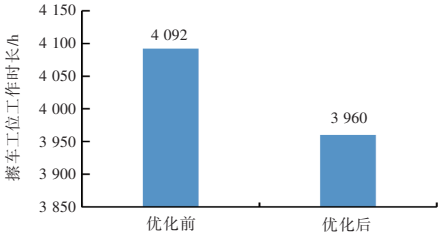


图10　优化前、后擦车工位年工作时长

5　结束语

本文从总装车间反馈PVC残胶干涉安装问题为出发点，对残胶产生的根本原因进行分析。通过对PVC材料参数、机器人枪嘴温度和喷涂程序参数的深入分析，确立了残胶问题解决措施，即对喷涂程序进行优化，减少开关枪点数量，将2条胶合并为1条，最大限度减少了残胶的产生，同时避免了擦车工位对通风口区域的擦拭操作，节约了擦车溶剂工业乙醇和车身擦拭布，降低了擦车工位工作时长。

在实际应用中，旋转胶枪具有360°高自由度喷涂的优势，能够灵活改变喷涂姿态，适合进行复杂焊缝区域的曲线喷涂。但旋转胶枪也具有明显的劣势，主要表现为喷涂速度慢、涂胶宽度窄、开关枪点附近残胶较多等。因此，为提高产能并稳定产品质量输出，计划对机器人站进行改造升级，用精细缝密封（FAD）胶枪替代喷涂外观区域的旋转胶枪，减少旋转胶枪喷涂过程中形成的涂胶表面纹路及开关枪点附近残胶，改善了PVC外观并降低残胶飞溅造成总装安装干涉的风险。将喷涂非外观区域的旋转胶枪用三维（3D）胶枪替代，可以显著提高涂胶速度和涂胶宽度，有助于产能及焊缝密封性的提升。

参考文献：

[1] 程为华, 朱国强, 王义花, 等. 汽车涂装常用密封材料应用及缺陷防治[J]. 现代涂料与涂装, 2015, 18(11): 8-10.

[2] 陈学成. 新车型投产时PVC密封胶问题的分析与对策[J]. 现代涂料与涂装, 2015, 18(4): 59-61.

[3] 李玉杰, 宋扬, 刘涛. 汽车涂装缺陷分析方法及典型缺陷判别[J]. 汽车工艺与材料, 2019(1): 38-45.