

# 汽车车身喷漆废气的排放分析及处理措施

谢文林 ( 中国汽车技术研究中心 天津 300162 )

**摘要：**根据 GB 16297—1996 大气污染物综合排放标准，对汽车车身喷漆产生的甲苯、二甲苯和非甲烷总烃及过喷漆雾等的排放量要达到限值要求。需对其喷漆、流平和烘干工序产生的废气进行分析。烘干室采用直接燃烧法处理，净化效率达 98% 以上，易达标；在喷漆排放的 VOC 中，由于是采用大风量稀释，所以排放浓度不超标，但排放速率随着产量的增加而加大，一般可用二甲苯计算排放速率确定排气筒高度。

汽车涂装车间要对工件进行漆前处理、电泳和喷漆。涂漆工序包括喷漆、流平和烘干，在这些工序中会产生有机废气 ( VOC ) 及过喷漆雾，在喷漆室处理过喷漆雾装置的循环水系统中要添加絮凝剂，使废气及过喷漆雾与循环水充分接触，形成废漆渣，循环水要进行漆渣处理，还要定期排放循环水。根据 GB 16297—1996 大气污染物综合排放标准，对喷漆产生的甲苯、二甲苯和非甲烷总烃及过喷漆雾 ( 颗粒物 ) 等的排放量要达到限值要求。本文以某种车型的轿车为例对其喷漆、流平和烘干工序产生的废气进行分析并简要说明处理措施。

## 1 分析条件及数据

a. 确定年生产量、全年工作日、几班制生产、设备利用率、每小时涂装生产能力。本文以 15 辆/h 为例。

b. 确定涂漆种类。本例中有 50% 的车身面漆采用金属闪光漆，即面漆包括金属底色漆 ( BC ) 及罩光漆 ( CC )，另 50% 采用本色漆。采用聚酯中涂漆、金属闪光漆为丙烯酸聚酯金属底色漆和丙烯酸罩光漆；本色漆为丙烯酸漆。中涂层膜厚为 35 $\mu\text{m}$ ，BC 15 $\mu\text{m}$  / CC 35 $\mu\text{m}$ ，本色漆 40 $\mu\text{m}$ 。

c. 确定工艺方案。本例中涂和面漆的喷漆、流平和烘干共用一条生产线，因此该线的车身通过能力为 30 辆/h。为满足个性化的需求，还设计了一条多功能喷漆线，可对 20% 的车身进行套色和对 20% 的车身进行返修。

d. 确定 VOC 排气筒的位置及数量。根据 GB 16297—1996 规定：

(1) 新污染源的排气筒一般不应低于 15m。若某新污染源的排气筒必须低于 15m 时，其排放速

率标准值按外推法的计算结果再严格 50% 执行。

(2) 两个排放相同污染物的排气筒，若距离小于其几何高度之和，应合并视为一根等效排气筒。若有 3 根以上的近距排气筒，且排放同一种污染物时，应以前 2 根的等效排气筒依次与第 3、4 根排气筒取等效值。

(3) 本标准还规定排气筒高度除须遵守排放标准外，还应高出周围 200m 半径范围的建筑 5m 以上，不能达到该要求的排气筒，因按其高度对应的标准排放速率值严格 50% 执行。

本例中涂/面漆喷漆室及流平室和多功能喷漆室及流平室共设一个排气塔。中涂/面漆烘干室及多功能烘干室各设一个排气筒。考虑 2 个烘干室排气筒距离小于其几何高度之和，所以合并视为一根等效排气筒，而等效排气筒排放速率按上述排放标准附录 A 规定应为 2 个烘干室排气筒污染物排放速率之和。所以，本例将 2 个烘干室合并一起计算废气排放速率及浓度；喷漆排气塔与烘干室的距离将不小于其几何高度之和，所以不必按等效排气筒考虑。

e. 确定喷涂方法。本例车身外表面采用自动静电喷漆，除喷涂第 2 道金属底色漆时采用空气枪喷涂外，其余均采用静电涡轮杯喷涂；车身内表面喷漆及自动喷漆后的检查、补漆工位及多功能喷漆线采用手工喷漆。因此，油漆的平均涂着率按 75% 计算，即有 25% 的过喷漆雾需要处理。

f. 确定涂料品种、用量及工作漆中各种 VOC 的含量。本例采用某油漆厂生产的有机溶剂型中涂漆和面漆 ( 考虑到返修及套色用量 )，油漆厂提供的原漆由固体分和溶剂等组成，喷漆时所用工作漆中要另外加入稀释剂。其产生有排放限值要求的废气

为二甲苯、甲苯、非甲烷总烃及过喷漆雾(颗粒物) 固体分和稀释剂含量见表 1。

本例每辆车各种油漆用量及其工作漆中溶剂、

表 1 每辆车原漆用量和工作漆稀释剂加入的质量百分比

项目	原漆平均用量, kg/辆	其中		工作漆加入稀释剂为原漆的质量百分比, %
		固体分质量百分比, %	溶剂质量百分比, %	
中涂漆	3.4	66.1	33.9	20~30
面漆:				
1.金属闪光漆				
金属底色漆	2.7	25	75	15
罩光漆	3.2	54.6	45.4	25
2.单色漆	3.4	67	33	15

注: , 每辆车平均用漆量包括返修及部分车套色用量。

本例各种漆溶剂和稀释剂中各组分的质量百分比含量见表 2。

表 2 各种漆中溶剂和稀释剂各组分的质量百分比含量 %

项目	二甲苯	芳香烃	酯、醇、醚、酮等类	合计
中涂漆: 溶剂	15	60	25	100
稀释剂	0	60	40	100
面漆: 1. 金属闪光漆				
金属底色漆: 溶剂	18	38	44	100
稀释剂	0	41	59	100
罩光漆: 溶剂	0	74	26	100
稀释剂	0	95	5	100
2. 单色漆: 溶剂	11	56	33	100
稀释剂	0	64	36	100

表 2 中的芳香烃不含苯, 其中甲苯含量小于 10% (本例按 10% 估算), 二甲苯已单独列出。非甲烷总烃为二甲苯和芳香烃的总合。

## 2 喷漆室、流平室及烘干室有机废气的产生量分

析

### 2.1 估算出每辆车所用工作漆中固体分及 VOC 的含量

表 3 每辆车工作漆中固体分及 VOC 的含量估算 kg/辆

项目	固体分质量	溶剂质量	稀释剂质量	有机溶剂合计	工作漆质量	工作漆固体分质量含量, %
中涂漆	2.25	1.15	1.02	2.17	4.42	50.85
面漆:						
1.金属闪光漆						
金属底色漆	0.68	2.03	0.41	2.43	3.11	21.74
罩光漆	1.75	1.45	0.80	2.25	4.00	43.68
小计	2.71	4.09	1.36	4.68	7.39	
2.单色漆	2.28	1.12	0.51	1.63	3.91	58.26

注: 中涂漆中, 工作漆加入的稀释剂按原漆质量的 30% 计。

### 2.2 确定每小时产生废气最多的工况

根据大气污染物综合排放标准规定, 最高允许排放浓度是指处理设施后排气筒中污染物任何 1h 浓度平均值不得超过的限值; 最高允许排放速率是指一定高度的排气筒任何 1h 排放污染物的质量不得超过的限值。因此要确定每小时产生废气最多的工况。在本例中车身喷中涂前设有储存线, 车身中涂后设有车身颜色编组站, 可使中涂/面漆线对车身喷中涂和面漆时, 相对集中地喷一类漆, 减少换漆

次数, 节省用漆, 节省清洗喷具用有机溶剂, 有利于环保。因此, 可能有以下几种工况。

- a 某 1 小时内对 30 辆车身全部喷中涂漆;
- b 某 1 小时内对 30 辆车身全部喷涂面漆, 有以下 2 种情况:

(1) 全部喷涂金属闪光漆, 即金属底色漆及罩光漆;

(2) 全部喷涂单色漆。

经对上述各种工况进行分析后, 以全部喷涂金

属闪光漆每小时所用工作漆中含 VOC 的总量最大；且在喷漆室、流平室及烘干室产生的二甲苯、甲苯及非甲烷总烃的废气量也最大；喷漆室产生过喷漆

表 4 喷金属闪光漆其固体分和 VOC 的总量 (30 辆/h) kg/h

工作状况	产量辆/h	原漆用量	固体分	溶剂	稀释剂	有机溶剂合计
全部喷金属闪光漆						
金属底色漆	30	81	20.25	60.75	12.15	72.90
罩光漆	30	96	52.42	43.58	24.00	67.58
小计		177	72.67	104.33	36.15	140.48

表 5 喷金属闪光漆其各种 VOC 的分类总量 (30 辆/h) kg/h

项目	二甲苯	芳香烃	酯、醇、醚、酮等类	合计
金属底色漆：溶剂	10.94	23.09	26.73	60.75
稀释剂	0.00	4.98	7.17	12.15
小计	10.94	28.07	33.9	72.90
罩光漆：溶剂	0.00	32.25	11.33	43.58
稀释剂	0.00	22.80	1.2	24.00
小计	0.00	55.05	12.53	67.58
合计	10.94	83.12	46.43	140.48

注：二甲苯、甲苯及非甲烷总烃分别为 10.94、8.31 及 94.06。

### 2.3 确定在喷漆室、流平室及烘干室产生有机废气的比例

本例在喷漆室、流平室及烘干室产生 VOC 的比例见表 6。

表 6 在喷漆室、流平室及烘干室 VOC 产生量比例

项目	喷漆室	流平室	烘干室
金属底色漆	60%	35%	5%
罩光漆	50%	20%	30%

### 2.4 确定在喷漆室、流平室及烘干室各种 VOC 的产生量

喷金属底色漆及罩光漆时，喷漆室废气及过喷漆雾和一半的流平室废气经喷漆室底部水循环系统絮凝处理后，其中二甲苯及芳香烃可吸收

5% (被包裹在漆渣中)，酯、酮、醚、醇等类可吸收 13% (部分溶解在水中，部分被包裹在漆渣中)；过喷漆雾中的油漆固体分与喷漆室底部水充分接触，其漆雾被加入絮凝剂的水充分吸收形成漆渣，其净化效率在 95% 以上，故排放的过喷漆雾很少，且风量很大，故可忽略不计；流平室另一半废气与喷漆室废气合并成一个排气塔大风量、低浓度高空排放；烘干室采用直接燃烧法处理，净化效率达 98% 以上。经以上处理后，喷漆室、流平室及烘干室每小时各自产生和排放的 VOC 量见表 7。

表 7 各室内各种 VOC 的产生量及排放量 kg/h

项目	二甲苯	芳香烃		非甲烷总烃合计	
		合计	甲苯		
喷漆室	产生量小计	6.56	44.37	4.44	50.93
	排放量小计	6.23	42.15	4.22	48.38
流平室	产生量小计	3.83	20.83	2.08	24.66
	排放量小计	3.73	20.31	2.03	24.04
烘干室	产生量小计	0.55	17.92	1.80	18.47
	排放量小计	0.01	0.36	0.04	0.37

## 3 确定喷漆室、流平室及烘干室 VOC 排气筒的高度

### 3.1 确定相关 VOC 排气筒每小时的排放速率和排放浓度

首先要确定各排放废气设备组合后的排气筒

排气量。喷漆室、流平室设置 1 个总排风塔，烘干室单独设排气筒，根据其排气量确定各自二甲苯、甲苯、非甲烷总烃的排放速率和排放浓度见表 8。

表 8 排风塔及烘干室排气筒 VOC 的排放速率和排放浓度

设备名称		喷漆室、流平室排风塔	烘干室排风筒
排放速率 kg/M <sup>2</sup>	二甲苯	9.96	0.01
	甲苯	6.25	0.04
	非甲烷总烃	72.42	0.37
排放速率 kg/M <sup>2</sup>	二甲苯	11.06	6.25
	甲苯	6.94	2.50
	非甲烷总烃	80.47	23.13

#### 4 确定排气筒高度

通常新建汽车厂位于一般工业区，环境空气质量功能分类为二类（见 GB 3095—1996 环境空气质量标准）。按 GB 16297—1996 规定：

- 位于二类区的污染源（包括新建、扩建、改建）执行二级标准，即本标准表 2 所列标准值；
- 任何一个排气筒必须同时遵守最高允许排放浓度和最高允许排放速率限值的要求。

本例烘干室排气筒高度为 15m，即可满足该标准各项规定的要求；而喷漆室和流平室的废气因用大风量稀释，所以排气浓度并不高，但二甲苯、甲苯及非甲烷总烃的排放速率较高。按该标准排风塔高度为 40m 可满足排放标准（见表 9）要求。

表 9 新污染源大气污染物排放限值（摘录）

污染物	最高允许排放浓度 mg/m <sup>3</sup>	最高允许排放速率， kg/m <sup>3</sup>	
		排气筒高度,m	二级
甲苯	40	15	3.1
		40	30
二甲苯	70	15	1.0
		40	10
非甲烷总烃	120(使用溶剂汽油或其它混合烃类)	15	10
		40	100
颗粒物	120	40	39

#### 5 需要说明的问题

a. 采用先进的涂装工艺，中涂、面漆以静电旋杯喷涂为主，由机械人自动仿形，出漆量及喷涂图形根据车身不同位置调整到最佳状态，可使油漆利用率提高到 90% 以上，因此可大大减少油漆用量，从而减少有机溶剂对环境的污染。

中涂、面漆采用水性漆是从根本上解决喷漆对环境污染的有效措施，特别是金属底色漆对

VOC 排放的贡献高达 50% 左右。

b. 在进行喷漆过程中白车身涂漆面积、涂层厚度、用漆品种、涂装工艺方法都会对排放数据造成影响，关键是涂装工艺方法，这直接影响油漆利用率，影响有机溶剂排放量，因此应规模化生产，提高喷漆的自动化程度。在产量较低时，可采用手工静电喷漆。采用自动控温的集中供漆系统及尽量减少换漆次数、在高洁净环境中喷漆等都是行之有效的措施。

c. 烘干室采用直接燃烧法处理，净化效率达 98% 以上，易达标；在喷漆排放的 VOC 中，由于是采用大风量稀释，所以排放浓度不会超标，而排放速率随着产量的增加而加大。对汽车涂装所用漆中各种溶剂的量，二甲苯相对较多，而且限值要求严格，通常作为特征污染物应予考核，一般可用二甲苯计算排放速率确定排气筒高度，同时要考虑一些不确定因素的影响而适当加大排气筒的高度。

d. 水循环系统及漆渣处理装置会有少量有机溶剂外溢，这属于无组织排放，要采取局部通风措施。

参考文献（略）  
（投稿日期 2005-08-30）