

# 某再生橡胶厂工艺过程 VOCs 排放特征研究

闫昱程<sup>1</sup>,高雪莹<sup>1</sup>,郭利利<sup>1</sup>,李 婕<sup>1</sup>,何秋生<sup>1</sup>,李宏艳<sup>1</sup>,王新明<sup>2</sup>

(1. 太原科技大学环境与安全学院,太原 030024;

2. 中国科学院广州地球化学研究所,有机地球化学国家重点实验室,广州 510630)

**摘 要:**采用罐采样-GC-MS/FID 分析方法对某再生橡胶厂不同工艺过程无组织排放 VOCs 的浓度水平及组分特征进行研究。结果表明,再生橡胶生产过程中芳香烃和 OVOCs 是主要的 VOCs 排放组分,其中以丙酮和苯系物为主,脱硫和冷却过程为主要的排污环节。丙酮、4-乙基甲苯和间二甲苯在各环节的占比都较大,可作为该行业的标志物。芳香烃为冷却堆场和开炼精炼环节中主要的 VOCs 组分,丙酮为脱硫和冷却环节中排放的主要物质。与不同行业的研究进行对比,再生橡胶行业排放的废气中芳香烃占比更大,同时也是 OFP 贡献最大的组分应受到重视。

**关键词:**再生橡胶;VOCs;排放特征;臭氧生成潜势

**中图分类号:**X131.1 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1673-2057.2020.02.004

VOCs 在不同行业的排放特征对减少区域性雾霾事件的发生及国家对重点污染区域的管控有重要意义。随着橡胶制品消耗量与机动车保有量的逐年上升,橡胶行业现已被列为 VOCs (Volatile Organic Compounds) 削减重点行业<sup>[1]</sup>。

国内关于 VOCs 排放特征的研究主要集中在京津冀<sup>[2-3]</sup>、珠三角<sup>[4-5]</sup>及长三角<sup>[6-7]</sup>地区且多围绕道路机动车、生物质燃烧、溶剂使用和工艺过程这四个最主要 VOCs 来源<sup>[8]</sup>。机动车与生物质燃烧排放环节较为单一,主要排放烷烃、烯烃及芳香烃等物质,而溶剂使用及工艺过程环节复杂、原辅材料差异大,不同行业之间的排放水平及特征存在较大差别。

再生橡胶工艺生产废气具有排放强度大、浓度高、组分复杂的特点,大部分企业达不到规模而且没有完善废气的有组织处理或只进行了简单的收集吸附处理,加上再生橡胶工业容易在当地形成一定的产业集群,使其成为造成地区污染的主要排放源之

一,而且目前国内对于再生橡胶工艺过程的研究较少,因此对该行业的研究具有重要意义。本研究根据再生橡胶工艺过程的主要排放环节特点,依据美国环境保护署 TO-15 方法对汾渭平原某再生橡胶厂不同工艺环节进行了无组织样品的采集及分析,以期为再生橡胶行业排放标准的制定提供依据。

## 1 采样与分析

### 1.1 样品的采集

橡胶再生的工艺流程及采样点设置见图 1,为确保样品的代表性将采样点设置在动态脱硫罐泄压口、螺旋冷却输送机出口、胶粉冷却堆场、开炼机及精炼机这 5 个主要 VOCs 排放环节。各采样点采集三个平行无组织排放样品来保证样品的准确性,采集时均使用预先清洗好的 3.2L 内部硅烷化处理的 Summa 采样罐 (Entech, USA) 进行采集,除胶粉冷却堆场采集时将 Summa 罐放置在堆场距堆料 1

收稿日期:2019-11-01

基金项目:国家自然科学基金(41172316);海外及港澳学者合作研究基金项目(41728008)

作者简介:闫昱程(1994-),男,硕士研究生,主要研究方向为挥发性有机物污染防治;通信作者:何秋生教授,E-mail:heqs@tyust.edu.cn。

m 距离处采集其余采样点均手持 Summa 罐于生产设备上方 0.5 m 处进行瞬时采集,样品采集完成后在一周内进行分析。

## 1.2 样品的分析

Summa 罐中的样品首先经过大气预浓缩仪 (Preconcentrator, Entech Modal 7100A) 进行冷凝富集,加热解析后采用 GC-MS/FID 系统 (Agilent 7890A/5975C, USA) 进行分析测定。在高纯氮气作为载气的情况下样品经色谱柱 DB-1 (60 m × 0 mm × 1 μm, Agilent Technology, USA) 进行分离,分离后分为两路进行分析,一路进入 PLOT-Q 柱 (30 mm × 0 mm × 20 μm, Agilent Technology, USA) 由 FID 分析测定 C2-C3 烃类,另一路进入阻尼柱由 MSD 分析测定 C4-C12 烃类。柱箱温度最初为 35 °C 保留 5 min,然后以 5 °C/min 升至 150 °C 保留 7 min,最后以 10 °C/min 升至 200 °C 并保留 4 min,离子源为 EI,离子扫描模式为选择性离子扫描。目标化合物根据样品的保留时间及质谱图定性,通过外标标准曲线法定量,标准曲线使用 PAMS 和 TO-15 (Spectra gases, USA) 标准气体确定,共测定了 102 种物质,包括 29 种烷烃,12 种烯/炔烃,36 种卤代烃,18 种芳香烃,和 7 种含氧 VOCs (OVOCs),在样品分析过程中严格遵循质量控制要求。

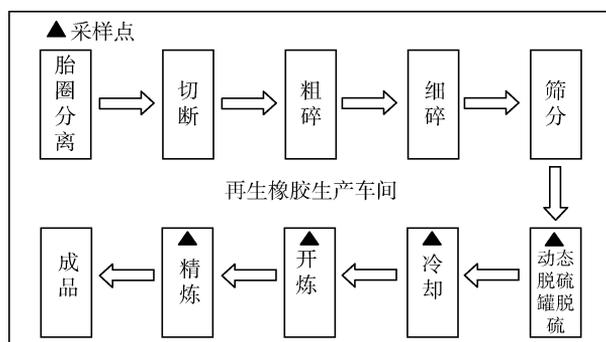


图 1 再生橡胶工艺流程及采样点的设置

Fig. 1 Sampling sites for the rubber reclaiming processes

## 2 结果与讨论

### 2.1 各环节 TVOCs 水平及组分特征

在生产过程中脱硫环节 TVOCs (Total Volatile Organic Compounds) 浓度水平最高其次为冷却环节,其他环节的浓度水平较低且差异不大,各环节 TVOCs 浓度水平及组成情况如表 1 及图 2 所示。在脱硫与冷却环节中 OVOCs 与芳香烃为主要排

放组分,分别占 TVOCs 的 62.36% ~ 69.35% 和 28.52% ~ 34.44%。堆场环节芳香烃占比最大达到 87.57%,而 OVOCs 只占到 4.7%。在开炼与精炼环节中芳香烃的占比最大为 42.49% ~ 61.65%,其次为 OVOCs 19.67% ~ 25.69%,相较于之前环节卤代烃占比增加,其中精炼环节烷烃占比达到 23.35% 高于 OVOCs。再生橡胶的生产工艺比较单一,从原材料到成品之间只有脱硫环节涉及到化学剂的使用,其余环节主要以高温和物理作用力作为生产条件,因此各环节排放的主要 VOCs 物种较为相似,其中丙酮、4-乙基甲苯、间二甲苯在主要生产环节都有检出且占比较大可以作为再生橡胶生产过程中的 VOCs 标志物质。

近年来橡塑行业发展迅速,塑料行业也是潜在的污染源。塑料件生产是电子制造业中的基础也是该行业 VOCs 排放的主要来源之一<sup>[9]</sup>,在王瑞文<sup>[10]</sup>等人的研究中电子制造业塑料件在注塑期间的有组织无处理烟气浓度为 11 000 μg/m<sup>3</sup>,低于本研究主要排放环节的 324 425.71 μg/m<sup>3</sup>。注塑期间的特征 VOCs 为甲基叔丁基酮 (21.20% ± 8.15%)、丙酮 (16.46% ± 11.93%)、异戊烷 (14.32% ± 8.65%)、丙醛 (8.23% ± 1.4%) 及环己烷 (4.96% ± 0.95%),与本研究相同的是 OVOCs 为烟气中的主要组分且丙酮的占比较高,不同的是本研究除 OVOCs 外芳香烃占比最大而在注塑工艺中为烷烃,两者存在差异。

表 1 再生橡胶各工艺环节 TVOCs 及主要化合物的水平  
Tab. 1 The concentrations of TVOCs and characteristic VOCs in various processes

环节	TVOCs	主要 VOCs	浓度 (μg · m <sup>-3</sup> )
脱硫	324 425.71	丙酮	224 959.96
		4-乙基甲苯	79 793.32
		间二甲苯	4 475.81
冷却	45 017.25	丙酮	28 050.78
		4-乙基甲苯	6 475.29
		间二甲苯	4 135.61
堆场	2 459.32	间二甲苯	989.44
		甲苯	391.26
		苯	368.94
开炼	4 237.61	间二甲苯	1 238.93
		丙酮	1 081.21
		4-乙基甲苯	375.32
精炼	1 361.61	丙酮	263.38
		间二甲苯	130.00
		1,2,4-三甲苯	102.42

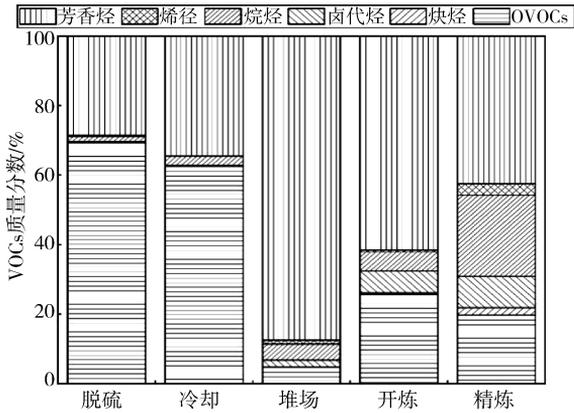


图2 再生橡胶各环节 VOCs 排放组成

Fig 2. VOCs composition during the rubber reclaiming processes

## 2.2 不同工艺环节 VOCs 的排放特征分析

图3为各环节主要VOCs物质排放情况,橡胶脱硫过程排放的废气中丙酮(69.34%)占比最高,其次为4-乙基甲苯(24.59%)。张兰芝<sup>[11]</sup>等人的研究表明橡胶在硫化过程中的主要污染物为甲苯、间二甲苯、对二甲苯及二硫化碳等芳香烃和含硫化合物,本研究脱硫过程排放的废气中丙酮为最主要的物质其次为芳香烃,可能与再生橡胶在生产过程中使用了丙酮溶剂对胶粉进行抽提进而控制胶粉的软化程度有关。除丙酮及苯系物等主要物质外1,3-丁二烯、3-甲基己烷及十二烷等物质也有一定的占比,Kwon<sup>[12]</sup>等人指出废旧橡胶轮胎在160℃加热过程中排放的VOCs主要为烷烃、C2-C4 烯烃、苯和甲苯,排除丙酮等化学剂的影响与本研究结果

相似,说明脱硫过程排放的物质主要受工艺及所使用化学剂的影响。

胶粉脱硫后由带有冷却功能的输送带输送至冷却堆场降至室温,冷却输送带出口与脱硫泄压口排放的主要物质相同,占比最高的物质都为丙酮(62.31%),而堆场中降至室温的胶粉与冷却输送机中胶粉排放的丙酮相比只占到了2.75%,再生胶粉释放到环境中的丙酮浓度主要受温度的影响。室温下的胶粉释放到环境中的物质主要为苯系物,其中间二甲苯、甲苯和苯为占比最高的三种物质,分别为40.22%、15.9%、14.99%。废旧橡胶轮胎作为胶粉的原料在制作过程中所用天然橡胶占比约为41.6%,Kamarulzaman<sup>[13]</sup>等人的研究表明天然橡胶在30℃和60℃时挥发到环境空气中的最主要物质为芳香烃,与本研究结果一致,胶粉在常温状态下释放到空气中的物质主要受本身组成成分的影响。

开炼过程芳香烃与OVOCs为主要排放组分其中占比最高的物质为间二甲苯29.24%,丙酮仅次于间二甲苯为25.51%,丙酮比例重新增大的原因可能与温度的升高有关。精炼环节整体排放水平较低,主要组分为芳香烃、烷烃和OVOCs,其中丙酮的比例最高为19.34%,其次为间二甲苯9.55%等苯系物。王刚<sup>[14]</sup>等人在橡胶厂开密炼车间内采集的无组织排放废气中VOCs以甲苯、乙苯和间、对二甲苯为主,与本研究开精炼环节主要污染物相似。

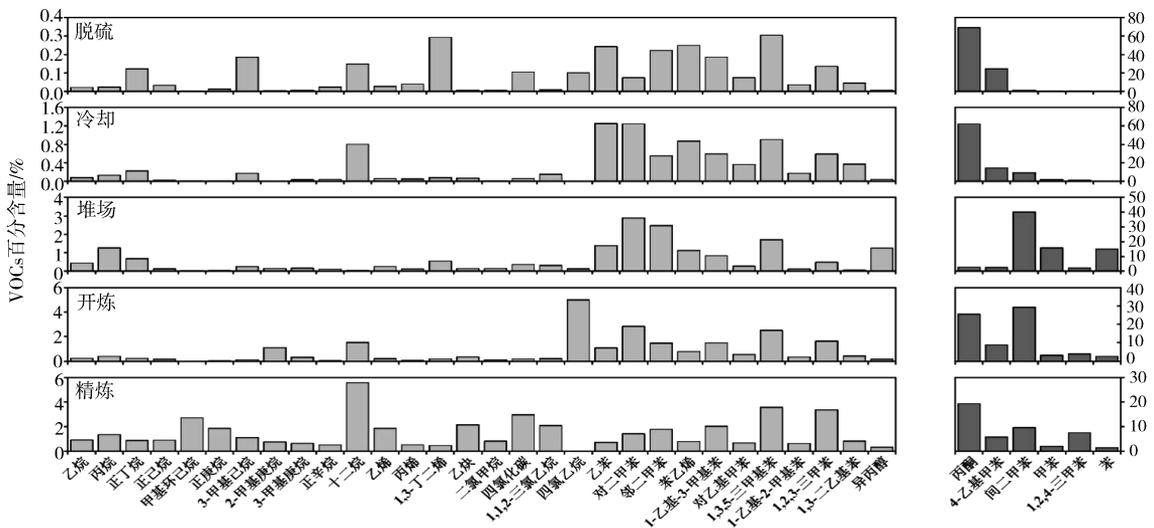


图3 再生橡胶各环节主要 VOCs 源成分谱

Fig. 3 Source profiles of VOCs from the rubber reclaiming processes

## 2.3 VOCs 化学组分特征

### 2.3.1 与其他行业对比

本研究选取 56 种 PAMS 非甲烷碳氢化合物 (NMHCs) 作为统一组分,将不同研究结果进行归一化计算后选取主要组分进行比较。表 2 为本研究主要排放环节与不同地区的造船喷涂直接排放、家具涂装车间无组织排放和印刷店内无组织排放结果的对比,可以看出甲苯与间对二甲苯为 5 个环节中最主要的组分,在冷却、造船喷涂和家具涂装环节中甲苯(8.90%~47.07%)、间对二甲苯(28.58%~47.83%)和乙苯(5.75%~33.22%)为占比最高

的三种组分,而印刷环节以异戊烷(11.72%)、正己烷(8.64%)和甲苯(7.73%)为主,造成差异的主要因为油漆与油墨的组成成分不同,脱硫冷却过程与喷涂涂装过程中芳香烃类化合物都是贡献最大的物种,分别为 70.29%~90.12%和 89.12%~99.25%。再生橡胶与不同行业相比排放废气中的芳香烃占比更大,再生橡胶在生产过程中需要人工操作设备及修剪胶片从而长时间暴露在无组织废气中,而且接触苯及苯系物的水平与多系统疾病患病率呈正相关<sup>[15]</sup>,应加大对再生橡胶行业的重视,制定更加严格的排放标准。

表 2 喷涂、印刷行业与本研究源成分谱比较(%)

Tab. 2 Comparisons of the profiles from spray and printing industry and this study (%)

编号	VOCs 组分	脱硫	冷却	造船喷涂 <sup>[7]</sup>	家具涂装 <sup>[4]</sup>	印刷 <sup>[4]</sup>
		车间无组织排放		直接排放	车间无组织排放	店内无组织排放
1	乙烷	0.38	0.37	0.20	0.00	4.78
2	丙烷	0.43	0.62	0.15	0.00	3.92
3	异丁烷	0.69	0.16	0.36	0.02	3.93
4	正丁烯	5.33	0.37	0.28	0.09	4.08
5	环戊烷	1.50	0.03	0.01	0.00	1.26
6	异戊烷	0.09	0.07	5.18	0.04	11.72
7	正戊烷	1.29	0.10	2.36	0.03	2.99
8	甲基环戊烷	0.05	0.02	0.01	0.07	4.31
9	环己烷	0.95	0.08	0.01	0.03	1.14
10	2,2-二甲基丁烷	2.25	0.00	0.01	0.00	0.15
11	2-甲基戊烷	4.12	0.28	0.05	0.01	2.73
12	3-甲基戊烷	0.03	0.02	0.02	0.01	2.10
13	正己烷	0.61	0.14	0.14	0.09	8.64
14	2,3-二甲基戊烷	1.96	0.41	0.01	0.00	0.38
15	3-甲基己烷	3.38	0.80	0.01	0.01	0.83
16	正庚烷	0.23	0.04	0.01	0.00	2.03
17	正壬烷	0.75	1.77	0.15	0.04	0.14
18	十一烷	1.29	1.18	0.01	0.00	0.28
19	乙烯	0.48	0.28	0.25	0.00	2.73
20	丙烯	0.72	0.22	0.06	0.06	1.06
21	1-丁烯	0.00	0.00	0.03	0.00	2.23
22	异戊二烯	0.09	0.01	0.02	0.00	3.96
23	乙炔	0.12	0.32	0.05	0.00	3.33
24	苯	3.28	1.19	0.05	1.24	4.44
25	甲苯	6.90	8.90	15.83	47.07	7.73
26	间/对-二甲苯	26.50	47.83	28.58	29.48	5.88
27	乙苯	4.44	5.75	33.22	11.48	2.85
28	邻-二甲苯	4.06	2.54	6.83	9.55	1.68
29	苯乙烯	4.55	3.99	0.44	0.33	1.62
30	1,2,3-三甲苯	2.48	2.72	0.19	0.01	0.18
31	1,2,4-三甲苯	6.17	5.43	1.24	0.03	0.50
32	1,3,5-三甲苯	5.57	4.16	0.36	0.04	0.13

表2(续)

编号	VOCs 组分	脱硫	冷却	造船喷涂 <sup>[7]</sup>	家具涂装 <sup>[4]</sup>	印刷 <sup>[4]</sup>
		车间无组织排放		直接排放	车间无组织排放	店内无组织排放
33	间-乙基甲苯	3.41	2.72	1.36	0.02	0.37
34	正丙苯	0.75	1.51	0.44	0.00	0.24
35	对-乙基甲苯	1.36	1.68	0.56	0.00	0.17
36	间-二乙基苯	0.82	1.70	0.02	0.00	0.50

注:表中的百分比是基于56种PAMS(Photochemical monitoring assessment station)VOCs进行归一化计算所得。

### 2.3.2 臭氧生成潜势

挥发性有机物被认为是臭氧和SOA(Secondary Organic Aerosols)的重要前体物,SOA又是严重灰霾事件中PM<sub>2.5</sub>的重要贡献物质<sup>[16]</sup>,有效控制VOCs对于缓解中国的O<sub>3</sub>污染非常重要<sup>[17]</sup>。

$$OFP_{ij} = \sum_{i=1}^n f_{ij} \times MIR_i \quad (1)$$

式中: $OFP_{ij}$ 为环节j中物种i的臭氧生成潜势,g O<sub>3</sub>/g VOCs; $f_{ij}$ 为环节j中物种i的质量浓度,g O<sub>3</sub>/g VOCs; $MIR_i$ 表示组分i的最大反应增量,g O<sub>3</sub>/g VOCs, $MIR$ (Maximum Increment Reactivity)系数来源于文献<sup>[18]</sup>。

计算结果如表3所示,堆场环节OFP最高为

表3 再生橡胶各环节VOCs臭氧生成潜势(g O<sub>3</sub>/g VOCs)

Tab.3 Ozone formation potential of VOCs emitted from the rubber reclaiming processes(g O<sub>3</sub>/g VOCs)

组分		脱硫	冷却	堆场	开练	精炼
烷烃	正丁烷	0.140 5	0.258 3	0.786 9	0.248 3	0.995
	2-甲基戊烷	0.339 2	0.092 3	0.352 1	0.115	0.635 9
	甲基环己烷	0.005	0.015 3	0.043 6	0.028 5	4.603 6
	其他烷烃	1.301 1	1.707 7	3.292 5	4.209 7	18.753 7
烯/炔烃	乙烯	0.238 2	0.548 7	2.364 9	1.901 3	16.619 2
	正丁烯	2.843 4	0.781 1	5.384	1.646 3	4.414
	其他烯/炔烃	0.747 4	1.024 3	2.797 6	2.211 1	13.387 2
卤代烃	1,2-二氯丙烷	0.003 3	0.008 6	0.040 2	0.054 5	0.110 7
	其他卤代烃	0.02	0.056 2	0.195 6	0.215 2	0.931 2
芳香烃	间二甲苯	13.451 2	89.570 7	392.139 8	285.057	93.088 6
	1,2,4-三甲苯	3.004 6	10.503 1	19.075 6	35.316 5	66.722 5
	4-乙基甲苯	109.202 9	63.865 1	10.871 2	39.324 7	25.543 7
	其他芳香烃	12.593	53.480 2	152.465	115.765 5	145.301 8
OVOCs	丙酮	24.962 8	22.432	0.988 7	9.185 3	6.963 5
	其他OVOCs	0.006 6	0.032 1	1.781 5	0.115 8	0.207 8
TVOCs		168.859 2	244.375 8	592.579 3	495.394 7	398.278 5

## 3 结论

(1)再生橡胶工艺过程中VOCs物种主要为芳香烃和OVOCs,其中以苯系物及丙酮为主。脱硫和冷却过程是VOCs的主要来源环节。

592.58 g O<sub>3</sub>/g VOCs,其次为开练精炼环节,冷却和脱硫环节最低,芳香烃为再生橡胶生产时OFP的主要贡献组分占到各环节贡献率的81%~97%。在堆场、开练和精炼环节中间二甲苯为主要贡献物质占TVOCs的66%、57%和23%,脱硫环节4-乙基甲苯与丙酮为主要贡献物质分别占64%和14%,冷却环节为间二甲苯和4-乙基甲苯分别占36%和26%。芳香烃对再生橡胶生产、家具喷涂(95.5%)及汽车喷涂(94.8%)<sup>[19]</sup>的OFP贡献率都比较高,而考虑到OVOCs在再生橡胶实际生产过程中排放浓度较高因此除芳香烃外还应重视OVOCs对OFP的贡献。

(2)再生橡胶生产过程排放的废气中芳香烃较其他行业占比更大。

(3)芳香烃为臭氧生成潜势贡献最大的组分,其中堆场环节OFP值最高,但考虑到OVOCs排放浓度较高也应受到重视。

## 参考文献:

- [1] 陈梦根,尹德才. 橡胶和制鞋行业列入国家重点行业 VOCs 削减 3 年行动计划[J]. 中国橡胶,2016,32(15):18-19.
- [2] 陆思华,白郁华,陈运宽,等. 北京市机动车排放挥发性有机化合物的特征[J]. 中国环境科学,2003,23(2):127-130.
- [3] YUAN B, SHAO M, LU S, et al. Source profiles of volatile organic compounds associated with solvent use in Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(15):1919-1926.
- [4] ZHANG Z, WANG H, CHEN D, et al. Emission characteristics of volatile organic compounds and their secondary organic aerosol formation potentials from a petroleum refinery in Pearl River Delta, China[J]. Science of The Total Environment, 2017, 584-585:1162-1174.
- [5] 王伯光,邵敏,张远航,等. 机动车排放中挥发性有机污染物的组成及其特征研究[J]. 环境科学研究,2006,19(6):75-80.
- [6] MO Z, SHAO M, LU S, et al. Process-specific emission characteristics of volatile organic compounds (VOCs) from petrochemical facilities in the Yangtze River Delta, China[J]. Science of the Total Environment, 2015, 533:422-431.
- [7] 莫伟伟,牛贺,陆思华,等. 长江三角洲地区基于喷涂工艺的溶剂源 VOCs 排放特征[J]. 环境科学,2015(6):1944-1951.
- [8] 王红丽,杨肇勋,景盛翱. 工艺过程源和溶剂使用源挥发性有机物排放成分谱研究进展[J]. 环境科学,2017(6):2618-2628.
- [9] 肖景方,叶代启,刘巧,等. 消费电子产品生产过程中挥发性有机物(VOCs)排放特征的研究[J]. 环境科学学报,2015(6):1613-1619.
- [10] 王瑞文,张春林,丁航,等. 电子制造业塑料件生产过程的挥发性有机物排放特征分析[J]. 环境科学学报,2019,39(1):6-14.
- [11] 张芝兰. 橡胶制品生产过程中有机废气的排放系数[J]. 橡胶工业,2006,53(11):682-683.
- [12] KWON E E, OH J, KIM K. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and volatile organic compounds (VOCs) mitigation in the pyrolysis process of waste tires using CO<sub>2</sub> as a reaction medium[J]. Journal of Environmental Management, 2015, 160:306-311.
- [13] KAMARULZAMAN N H, LE-MINH N, STUETZ R M. Identification of VOCs from natural rubber by different headspace techniques coupled using GC-MS[J]. Talanta, 2019, 191:535-544.
- [14] 王刚,魏巍,米同清,等. 典型工业无组织源 VOCs 排放特征[J]. 中国环境科学,2015(7):1957-1964.
- [15] 盖立奎,宗呈祥,裴宝伟. 苯及苯系物接触人员健康状况调查[J]. 中国病毒病杂志,2007,9(1):64-65.
- [16] HUANG R J, ZHANG Y L, BOZZETTI C, et al. High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China[J]. Nature, 2014, 514(7521):218-222.
- [17] LIANG X, CHEN Xiaofang, ZHANG Jiani, et al. Reactivity-based industrial volatile organic compounds emission inventory and its implications for ozone control strategies in China[J]. Atmospheric Environment, 2017, 162:115-126.
- [18] CARTER W P L. Development of the SAPRC-07 chemical mechanism [J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(40):5324-5335.
- [19] 田亮,魏巍,程水源,等. 典型有机溶剂使用行业 VOCs 成分谱及臭氧生成潜势[J]. 安全与环境学报,2017(1):314-320.

(下转第 110 页)

WEN Biao<sup>1</sup>, LI Hong-yan<sup>1</sup>, HE Qiu-sheng<sup>1</sup>

- (1. School of Environment and Safety, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China;  
2. Liulin Branch Office of Ecology and Environment Bureau of Lvliang City, Shanxi Liulin 033300, China)

**Abstract:** In recent years, the pollution of particulate matter (PM) in the urban area of Liulin County is very serious, so it is very necessary to analyze the relative pollution causes in this region. Based on the data of online air quality monitoring system in Liulin County, this paper analyzes the relationship between atmospheric criteria pollutants and meteorological parameters, and discusses the causes of atmospheric particulate matter pollution. The results indicate that the particulate matter pollution in the urban area of Liulin county was mainly controlled by coal-burning emissions and motor vehicle exhausts, and the bare surface could also bring dust pollution. The aggravation of vehicle exhaust pollution offset the achievements reached by the control of coal combustion activities at some extent. The wind speed in the urban area was so small that the atmospheric pollutants was very easy to accumulate but not easy to disperse, causing the difficulty of air pollution control. Backward trajectory analysis implies that there might be some inflow of pollutants from the southeast and southwest directions. This study could provide some references for the treatment of air pollution in mountainous cities in Fen-Wei Plain.

**Key words:** Liulin, particulate matter, pollution cause, local emission, regional transportation



(上接第 105 页)

## Analysis of Emission Characteristics of VOCs in the Rubber Reclaiming Processes

YAN Yu-cheng<sup>1</sup>, GAO Xue-ying<sup>1</sup>, GUO Li-li<sup>1</sup>, LI Jie<sup>1</sup>,  
HE Qiu-sheng<sup>1</sup>, LI Hong-yan<sup>1</sup>, WANG Xin-ming<sup>2</sup>

- (1. College of Environment and Safety, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China;  
2. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry,  
Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510630, China)

**Abstract:** The levels and compositions of VOCs emitted from the rubber reclaiming processes in a county, Shanxi province, were studied using the GC-MS/FID of canister sampling method. Aromatics and OVOCs, which mainly include acetone and benzene, are major components of VOCs in the rubber reclaiming processes. The desulfurization and cooling process were the main pollutant processes. Acetone, 4-ethyltoluene and m-xylene, which are typical characteristics in this industry, have a great proportion in these processes. Aromatics are the main compositions of VOCs in cooling yard, mixing mill and refining mill and acetone are the main emission during the desulfurization and cooling processes. The proportion of aromatic hydrocarbons in exhaust released from the reclaimed rubber industry are larger than that in other industries. Meanwhile, aromatic hydrocarbons are also the largest contributions of OFP. Thus, that should be given with due attention.

**Key words:** reclaimed rubber, VOCs, emission characteristic, ozone formation potential