ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第12期

Vol.34 No.12

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

双奖期刊

环境科学
(HUANJING KEXUE) ENVIRONMENTAL SCIENCE
第 34 卷 第 12 期
2013 年 12 月 15 日

目 次

序 …… 郝郑平(4503)
南京北郊大气 VOCs 体积分数变化特征 …… 安俊琳,朱彬,李用宇(4504)
天津中心城区环境空气挥发性有机物污染特征分析 …… 翟增秀,邹克华,李伟芳,王亘,翟友存(4513)
南京市北郊夏季挥发性有机物的源解析 …… 杨辉,朱彬,高晋徽,李用宇,夏丽(4519)
上海市春季臭氧和二次有机气溶胶生成潜势的估算 …… 崔虎雄(4529)
四川省典型人为污染源 VOCs 排放清单及其对大气环境的影响 …… 韩丽,王幸锐,何敏,郭卫广(4535)
武汉市秸秆燃烧 VOCs 排放估算及管理对策 …… 黄碧捷(4543)
北京市冬季灰霾期 NMHCs 空间分布特征研究 …… 段菁春,彭艳春,谭吉华,郝吉明,柴发合(4552)
广州市中心城区环境空气中挥发性有机物的污染特征与健康风险评价 …… 李雷,李红,王学中,张新民,温冲(4558)
天津某家具城挥发性有机物健康风险评估 …… 张银, 王秀艳, 高爽(4565)
废旧有机玻璃再生利用行业挥发性有机物 (VOCs)排放特征研究 …… 王浙明,徐志荣,叶红玉,许明珠,王晓星(4571)
农药企业场地空气中挥发性有机物污染特征及健康风险 …… 谭冰,王铁宇,庞博,朱朝云,王道涵,吕永龙(4577)
电子产品加工制造企业挥发性有机物(VOCs)排放特征 …… 崔如,马永亮(4585)
汽车涂料生产环节 VOCs 的排放特征及安全评价 …… 曾培源,李建军,廖东奇,涂翔,许玫英,孙国萍(4592)
载人汽车室内空气 VOCs 污染的指标评价 …… 陈小开, 程赫明, 罗会龙(4599)
基于 GC-MS 的烹调油烟 VOCs 的组分研究 …… 何万清,聂磊,田刚,李靖,邵霞,王敏燕(4605)
VOCs 污染场地挖掘过程的环境健康风险评价 …… 房增强,甘平,杨乐,戴子瑜,祁世鸿,贾建丽,何绪文 (4612)
挥发性有机物污染场地挖掘过程中污染扩散特征 …… 甘平, 杨乐巍,房增强,郭淑倩,于妍,贾建丽(4619)
土壤中苯向大气挥发过程的影响因素和通量特征研究 ……
…… 杜平,王世杰,赵欢欢,伍斌,韩春媚,房吉敦,李慧颖,细见正明,李发生(4627)
土壤组分对四氯乙烯吸附解吸行为的影响 …… 胡林,邱兆富,何龙,窦颖,吕树光,隋倩,林匡飞(4635)
自来水常规和深度处理工艺中挥发性有机物的变化规律 …… 陈锡超,罗茜,陈虎,魏孜,王子健,许科文 (4642)
杭州市典型企业废水中挥发性有机物排放特征及其评价 …… 陈峰,徐建芬,唐访良,张明,阮东德 (4649)
维生素 C 工业废水处理系统 VOCs 污染特性 …… 郭斌,律国黎,任爱玲,杜昭,邢志贤,韩鹏,高博,刘淑娅(4654)
新型生物滴滤填料性能评价 …… 梅瑜,成卓韦,王家德,活泼(4661)
微量臭氧强化生物滴滤降解甲苯性能研究 …… 张超,赵梦升,张丽丽,陈建孟(4669)
BF 和 BTF 工艺去除 DCM 性能比较 …… 潘维龙,於建明,成卓韦,蔡文吉(4675)
改性 13X 沸石蜂窝转轮对甲苯的吸附性能研究 …… 王家德,郑亮巍,朱润晔,俞云锋(4684)
转轮吸附法处理有机废气的研究 …… 朱润晔,郑亮巍,毛玉波,王家德(4689)
活性炭吸附有机蒸气性能的研究 …… 蔡道飞,黄维秋,王丹莉,张琳,杨光(4694)
UV-生物过滤联合降解苯乙烯废气的研究 …… 沙昊雷,杨国靖,夏静芬(4701)
蜂窝状 ZSM-5 型分子筛对丙酮和丁酮吸附性能研究 …… 杜娟, 栾志强, 解强, 叶平伟, 李凯, 王喜芹(4706)
内浮顶油罐“小呼吸”对环境影响过程的分析 …… 吴宏章,黄维秋, 杨光, 赵晨露, 王英霞, 蔡道飞 (4712)
基于 Tanks 4.0.9d 模型的石化储罐 VOCs 排放定量方法研究 …… 李靖,王敏燕,张健,何万清,聂磊,邵霞(4718)
铜铈复合氧化物上石化行业典型 VOCs 的氧化行为与动力学 …… 陈长伟,于艳科,陈进生,何炽(4724)
$KrBr^*$ 准分子灯直接光解一甲胺气体 …… 赵洁, 刘玉海, 韦连梅, 叶招莲, 张善端(4734)
异味混合物中组分浓度与其强度贡献关系研究 …… 颜鲁春,刘杰民,付慧婷,孙媛,林文辉(4743)
挥发性有机污染物排放控制标准制订中的关键技术问题研究 …… 江梅,张国宁,任春,邹兰,魏玉霞 (4747)
挥发性有机污染物排放控制标准体系的建立与完善 …… 江梅,张国宁,邹兰,魏玉霞,张明慧(4751)
我国 VOCs 的排放特征及控制对策研究 …… 王铁宇,李奇锋,吕永龙(4756)
固定源废气 VOCs 排放在线监测技术现状与需求研究 …… 王强,周刚,钟琪,赵金宝,杨凯(4764)
石化行业炼油恶臭污染源治理技术评估 …… 牟桂芹,隋立华,郭亚逢,马传军,杨文玉,高阳(4771)
植物源挥发性有机化合物排放清单的研究进展 …… 谢军飞,李延明(4779)
基于动态 CGE 的挥发性有机污染物 VOCs 排放预测和控制研究 …… 刘昌新,王宇飞,郝郑平,王铮(4787)
《环境科学》第 34 卷(2013 年)总目录 …… (4792)
《环境科学》征订启事(4717) 《环境科学》征稿简则(4742) 信息(4528, 4626, 4693, 4700)

挥发性有机污染物排放控制标准制订中的关键技术问题研究

江梅,张国宁*,任春,邹兰,魏玉霞
(中国环境科学研究院,北京 100012)

摘要: 研究分析了挥发性有机污染物排放标准制订中 4 个关键技术问题: 污染因子选择、控制指标确定、限值的确定以及技术管理措施. 结果表明,应根据毒性和光化学反应性选择污染因子; 确定控制指标应既考虑有组织控制指标,又考虑无组织的控制指标; 确定排放限值应明确是基于控制技术还是基于健康风险; 同时制定技术管理措施以通过源头和过程控制挥发性有机污染物排放.

关键词:挥发性有机物; 排放标准; 污染因子; 控制指标; 排放限值
中图分类号: X32 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2013)12-4747-04

Study on Key Technical Problems in the Development of Volatile Organic Pollutants Emission Standards

JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, REN Chun, ZOU Lan, WEI Yu-xia
(Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: This paper analyzes four key technical problems in the development of volatile organic pollutants emission standards, which are the selection of pollution factors, determination of control indicators, determination of emission limits and the technical management measures. Pollution factors should be taken into account, according to toxicity and photochemical reactivity. Both organized and unorganized control indicators should be considered to determine control indicators. Emission limits should be confirmed, which are based on the control techniques or on the health risks. Technical management measures should be established through the source and process control of volatile organic compounds.

Key words: volatile organic compounds(VOCs); emission standards; pollution factors; control indicators; emission limits

近年来,我国一些地区酸雨、灰霾和光化学烟雾等区域性大气污染问题日益突出. 挥发性有机物(VOCs)是形成大气臭氧和细粒子的重要前体物. 为解决此类区域大气污染问题,我国“十二五”期间,将重点加强对 VOCs 的排放控制,在京津冀、长三角和珠三角等重点地区开展区域大气污染联防联控[1],这是我国继烟尘、二氧化硫之后,对区域性污染物、危险大气污染物实施控制的重要举措. 为适应新形势下环境管理需要,需要制订控制 VOCs 的污染物排放标准.

大气污染物排放标准是根据环境质量标准、污染控制技术、经济条件,对排入环境中的有害物质和产生危害的各种因素所做的限制性规定,是对大气污染源进行控制的标准,它直接影响到我国大气环境质量目标的实现[2]. VOCs 是除颗粒物外第二大分布广泛和种类繁多的大气污染物,制订 VOCs 的污染物排放标准是一个系统工程,既要涉及健康和环境风险,又要考虑经济技术可行性,需要研究解决一系列关键技术问题,主要包括:污染因子的选择、控制指标的确定、限值确定的依据是基于技术还是基于人体健康等. 这些问题处理得当,才能使标准科学合理.

1 控制因子

从污染因子中筛选确定标准的控制因子,一般会考虑以下因素(但不限于):①污染物排放量; ②污染物危害程度; ③污染控制技术的成熟度与经济承受性; ④污染物采样、分析方法的配套性. 这 4 个因素中,污染物危害程度是最主要的因素,因为对于危害大的污染物,即使排放量不大,也需要进行控制. VOCs 不同于其他污染物,其造成的危害主要表现在 3 个方面:①部分具有毒性和致癌性; ②参与了光化学烟雾反应; ③参与了大气中二次气溶胶的形成[3]. 下面就 VOCs 的危害展开说明.

收稿日期: 2013-06-30; **修订日期**: 2013-07-30
基金项目: 国家科技支撑计划关键技术标准推进工程项目(2006BAK04A04)
作者简介: 江梅(1969~),女,副研究员,主要研究方向为大气环境标准研究与制订,E-mail:jiangmei@craes.org.cn
* 通讯联系人,E-mail:zhanggn@craes.org.cn

1.1 考虑毒性

部分 VOCs 具有毒性和致癌性,危害人体健康,属于有害空气污染物(HAPs). 美国 1990 年公布的《清洁空气法修正案(Clean Air Act Amendments)》列出了 189 种有害空气污染物(后来有所删减,目前为 187 种),VOCs 即占了 70% 以上. 美国环保局实施城市有毒空气污染物削减战略[4],筛选出 33 种对城市地区公众健康具有较高风险的污染物,其中 19 种属于 VOCs. 我国台湾地区依据各种 HAPs 对人体健康及环境品质的危害性大小,并考虑各种 HAPs 的致癌性潜能、运作量多寡、生物浓缩性大小,以及急性毒性程度等因素,筛选出 30 种建议优先控制的 HAPs,其中 21 种为 VOCs、4 种重金属、3 种酸气及 2 种其他污染物[5]. 另外,我国《工业场所有害因素职业接触限值 化学有害因素》(GBZ 2.1-2007)[6]所列的有害物,绝大多数也是 VOCs.

VOCs 最主要的健康影响在于长时间低浓度暴露下将使人体致癌几率增加. 联合国的国际癌症研究局(International Agency for Research on Cancer, IARC)[7],依据人类流行病学与动物实验研究的资料,将有害物质分为 1:致癌证据充分; 2A:可能对人致癌; 2B:可疑对人致癌; 3:现有的证据不能对人类致癌性进行分类; 4:对人类可能是非致癌物.

1.2 考虑光化学反应性

大部分的 VOCs 具有高度的光化学反应性,在阳光下经由紫外线照射,这些 VOCs 与大气中其它化学成分,如 NO 反应,形成高浓度的臭氧及其它过氧化物如 PANs. 臭氧是强氧化剂,会刺激和破坏深呼吸道黏膜和组织,对眼睛有轻度刺激性. 据实验研究,臭氧的嗅阈值为 0.02 $mg\cdot m^{-3}$, 0.2 ~ 0.94 $mg\cdot m^{-3}$时对鼻和喉头黏膜有刺激作用, 0.6 ~ 1.0 $mg\cdot m^{-3}$时对眼睛有刺激, 1.0 $mg\cdot m^{-3}$引起肺活量减少, 1.88 ~ 18.8 $mg\cdot m^{-3}$时可出现咳嗽、胸痛、呕吐等症状,20 $mg\cdot m^{-3}$时引起肺气肿[8]. VOCs 的光化学反应性可以通过光化学臭氧生成潜势(photochemical ozone creation potential,POCP)、最大增量反应活性和等效丙烯浓度等来评价[9~11],本研究以 POCP 为评价参数.

综上,对 IARC 中确认为 1 类物质或 2A 类物质,或其他国家和地区优先控制的 VOCs,或 POCP 大于 85[12,13]的物质作为筛选原则,确定 VOCs 优先控制名录.

选择污染因子时,控制名录中属于 IARC 1 类物质,无论排放量多少都应作为控制因子; 控制名录中的其他污染物考虑排放量因素,若排放量较大,则选为控制因子.

2 控制指标

控制指标选择应考虑以下因素(但不限于):①工艺特征; ②指标原理; ③监测实施的简便易行.

考虑 VOCs 工艺特点,按排放形式,可区分为固定管道排放与逸散性排放两大类. 固定管道排放是指污染物经由排气筒(烟囱)的有组织排放. 逸散性排放是指工艺操作中不经排气筒的污染物无组织逸散,包括设备与管线组件泄漏、挥发性有机液体储运以及废水收集、处理和储存设施的逸散.

2.1 有组织排放控制指标[14~17]

有组织排放控制指标可考虑排放浓度、净化效率、集气效率三项控制指标.

排放浓度是最常见的控制方式. 排放浓度可以是单个物质的浓度,也可以是 VOCs 各物质总和的浓度,如非甲烷总烃和总 VOCs 指标.

净化效率是指污染治理设备的处理效率. 由于净化效率与废气的初始浓度有关系,一般与排放浓度只要满足一项即可. 例如在美国大气污染物排放标准中,排放浓度与净化效率指标都有规定,但两者之间是“或”的关系; 在《上海市生物制药行业污染物排放标准》[18](DB 31/373-2010)中规定总挥发性有机物年排放量大于 900 kg,处理设施的最低处理效率≥85%.

有机废气收集效率是净化处理系统所收集的废气量占总废气量百分比. 收集效率的高低决定了被捕集处理的废气量,即收集效率越高,无组织排放的污染物就越少. 目前应尽可能要求对 VOCs 废气进行收集,将无组织逸散转变为有组织排放进行控制.

以上控制指标的单独或组合应用,应根据实际情况确定.

2.2 无组织排放控制指标[14,19]

根据 VOCs 逸散排放特点,对无组织逸散(设备、管线组件泄漏、储罐及装载设施逸散、废水液面挥发)进行控制.

对设备与管线组件逸散排放通过设置设备与管线组件泄漏的最高允许限值来控制,超过此限值,需要对设备与管线组件进行修复.

对于挥发性有机液体储运过程的控制,主要是规定一些设备性能(如浮顶罐密封)和设施配套(如安装蒸气收集系统)的要求. 应对挥发性较大的有机液体(如汽油,Fingas[20]实验证明汽油在干

空气中 80 min 内可蒸发 80%),以及虽然挥发度不高,但形成臭氧潜势较大的有机液体进行控制,如二甲苯等.

废水处理、储存设施,通过液面上 VOCs 浓度限值来控制,超过此限值,则应加盖密闭,并收集气体净化处理.

2.3　总量控制指标

排放速率是一定高度排气筒在单位时间内的排放量. 最高允许排放速率是以环境空气质量标准为控制目标,在大气污染物稀释扩散规律的基础上计算得出的.《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)中规定不同排气筒的高度执行不同的排放速率,是有组织排放的总量控制指标. 由于目前普遍环境容量不足,应用本指标时可不按排气筒高度规定不同的限值,而是规定统一的排放速率,如《广东省印刷行业挥发性有机化合物排放标准》(DB 44/815-2010)[21].

容许逸散率为无组织排放 VOCs 总量占总有机溶剂投入量的百分比. 单位产品排污量体现了同类企业、同类工艺之间的排污公平,为基本控制指标,但由于涉及到产品的计量,对很多工业行业来说实施存在难度,因此对于连续稳定的生产工艺,常常采用简便的排放浓度指标加以控制. 如欧盟有机溶剂使用指令(1999/13/EC 指令)[22] 基于物料平衡的 VOCs 排放总量控制方法,提出了逸散率(%)和单位产品排放量($g \cdot kg^{-1}$,单位产品溶剂损耗量或 $g \cdot m^{-2}$,单位涂装面积 VOCs 排放量)指标.

3　排放限值确定

3.1　基于污染控制技术

通过对清洁生产工艺、污染治理措施的技术经济评估确定排放限值,是工业行业大气污染物排放标准制订的主要依据. 排放限值确定应充分考虑通过改变工艺、原料替代或其它改进,减少污染物排放量或消除污染物排放的可能性; 考虑污染物释放后污染治理措施收集、捕获、处理污染物的有效性(处理能力、净化效率、运行稳定性等); 考虑采取清洁生产工艺和/或污染治理措施的合理成本,以及取得的环境效益,需要在成本和效益之间取得平衡[23].

排放限值确定应兼顾技术上可行、经济上合理、环境效益突出 3 个方面. 成本与效率是 VOCs 排气处理方法选择时最重要的考虑因素. 表 1 比较了各种 VOCs 排气处理方法的成本效率及适合 VOCs 的浓度范围[24~26]. 各种 VOCs 控制技术可达到的 VOCs 去除率与初始浓度有关. 通常燃烧法的 VOCs 去除率很高(> 98% ~ 99%),可使排放浓度低于 20 $mg \cdot m^{-3}$. 吸附法、吸收法的 VOCs 去除率在 95% 以上,通常排放浓度可控制在 100 $mg \cdot m^{-3}$ 以下.

表 1　各种 VOCs 末端控制技术的效率与成本[1)]

Table 1　Efficiency and cost of VOCs control techniques

控制技术	低浓度废气		高浓度废气		说明
	效率	成本	效率	成本	
热力燃烧	高	高	高	中	适合高浓度废气
催化燃烧	高	中	中	中	适合已知成分的低浓度废气
活性炭吸附	高	高	中	中	适合变动成分的低浓度废气
吸收/洗涤	很低	高	高	中	适合变动成分的高浓度废气
冷凝	很低	高	中	低	适合已知成分的很高浓度废气
臭氧氧化	高	高	高	中	适合变动成分的低浓度废气
生物处理	中高	低	低	低	适合低浓度生物可分解的废气

1)废气浓度($mg \cdot m^{-3}$):低 < 300,高 > 5000; 效率(%):低 < 80,中 80 ~ 95,高 > 95

3.2　基于健康和环境风险

如果采取了合理可行的污染控制技术后仍存在较大的健康和环境风险,则可能制订更加严格的排放限值,此时控制技术退为次要因素,健康和环境风险成为主要考虑.

对于毒性小的 VOCs,排放限值确定以技术为主; 对于毒性大的 VOCs,排放限值确定以人体健康为主,以期达到保护人体健康的要求. 如德国“空气保洁技术指南”TALuft[27] 中对致癌性物质分为三级,Ⅰ为毒性最强,Ⅱ、Ⅲ级毒性依次减弱,相应地排放限值也越严格. 指南规定Ⅰ级致癌物的总质量流量不超过 0.15 $g \cdot h^{-1}$ 或总质量浓度不超过 0.05 $mg \cdot m^{-3}$; Ⅱ级致癌物总质量流量不超过 1.5 $g \cdot h^{-1}$ 或总质量浓度不超过 0.5 $mg \cdot m^{-3}$; Ⅲ级致癌物总质量流量不超过 2.5 $g \cdot h^{-1}$ 或总质量浓度不超过 1 $mg \cdot m^{-3}$.

4 技术管理措施

大气污染物排放标准不可单纯理解为限值标准,从广义上讲,包括任何为有效控制污染所做的技术性、管理性规定,在这方面美国和欧盟有很好的经验. 美国在《清洁空气法》中明确要求,如果规定或执行一项限值标准不可行,应制订关于设计、设备、工艺操作或运行的标准,以及它们的组合,来代替限值标准.

鉴于 VOCs 易挥发特点,结合具体行业,对于 VOCs 无组织逸散,制订一些合理的技术管理规定,从源头或过程控制 VOCs 的排放,在污染控制上会更有效. 如对易挥发性液体储罐要求采用高效密封方式; 对设备与管线组件 VOCs 泄漏建立巡检制度; 对于废水挥发液面加盖封闭等. 对涂装、印刷等行业,要求涂料、油墨、粘胶剂、有机溶剂等原辅材料储存在密封容器中; 有机溶剂转移、设备清洗过程中,应尽可能减少 VOCs 排放; 废弃的涂料桶、有机溶剂容器或胶水桶在移交专门的回收处理机构前,应封盖存储.

参考文献:

[1] 国务院办公厅. 国务院办公厅转发环境保护部等部门关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知[EB/OL]. http://zfs.mep.gov.cn/fg/gwyw/201005/t20100514_189497.htm, 2011-06-29.

[2] 国家环境保护总局科技标准司.《环境标准实施指南》-大气污染物排放标准分册[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1999. 1-5.

[3] 邵敏, 董东. 我国大气挥发性有机物污染与控制[J]. 环境保护, 2013, **41**(5): 25-28.

[4] 陈颖, 李丽娜, 杨常青, 等. 我国 VOC 类有毒空气污染物优先控制对策探讨[J]. 环境科学, 2012, **32**(12): 3469-3474.

[5] 高雄市环境保护局空噪科. 有害空气管制现况[EB/OL]. http://61.218.233.198/dispPageBox/AQMPCP.aspx?ddsPageID=AQMPC4&,2011-07-29.

[6] GB Z 2.1-2007, 工业场所有害因素职业接触限值 化学有害因素[S].

[7] IARC. List of Classifications[EB/OL]. http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php, 2011-07-29.

[8] 莫雯. 好臭氧, 坏臭氧[J]. 环境导报, 2003, (22): 10.

[9] 朱彬, 李子华, 肖辉, 等. 非甲烷碳氢化合物的光化学臭氧生成潜势的数值模拟研究[J]. 南京气象学院学报, 2000, **23**(3): 338-345.

[10] 姚青, 韩素芹, 蔡子颖, 等. 2012 年夏季天津城区 BTEX 污染特征与臭氧潜势分析[J]. 中国环境科学, 2013, **33**(5): 793-798.

[11] 马永亮, 谭吉华, 贺克斌, 等. 佛山灰霾期挥发性有机物的污染特征[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3549-3554.

[12] 张国宁, 郝郑平, 江梅, 等. 国外固定源 VOCs 排放控制法规与标准研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3501-3508.

[13] 魏巍. 中国人为源挥发性有机化合物的排放现状及未来趋势[D]. 北京: 清华大学, 2009. 150-153.

[14] 江梅, 张国宁, 魏玉霞, 等. 工业挥发性有机物排放控制的有效途径研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3487-3490.

[15] 修光利, 张萍, 黄雪娟, 等. 工业气态有机污染物排放标准体系研究[J]. 化学世界, 2009, (增刊): 256-259.

[16] 许明珠, 王浙明, 赵多, 等. 浙江发酵制药大气污染物排放标准制订研究[J]. 环境科学与技术, 2013, **36**(4): 195-199.

[17] 修光利, 李莉, 徐捷, 等. 涂料工业污染物特征及排放标准制定方法[J]. 中国涂料, 2006, **21**(5): 11-15.

[18] DB 31/373-2010, 上海市生物制药行业污染物排放标准[S].

[19] 李建伟, 刘新宇, 修光利. VOCs 无组织排放估算方法和控制标准初探[J]. 化学世界, 2010, (10): 632-634.

[20] Fingas M F. Studies on the evaporation of crude oil and petroleum products Ⅱ. boundary layer regulation[J]. Journal of Hazardous Materials, 1998, **57**(1): 41-58.

[21] DB 44/815-2010, 广东省印刷行业挥发性有机化合物排放标准[S].

[22] EU. Council Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations[EB/OL]. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1999L0013:19990329:EN:PDF,2013-06-29.

[23] 周扬胜, 徐成, 张国宁, 等. 我国环境保护标准发展战略[R]. 北京: 中国环境科学研究院, 2005. 24-26.

[24] 王海林, 张国宁, 聂磊, 等. 我国工业 VOCs 减排控制与管理对策研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3462-3468.

[25] 马超, 薛志刚, 李树文. VOCs 排放、污染以及控制对策[J]. 环境工程技术学报, 2012, **2**(2): 103-109.

[26] 栾志强, 郝郑平, 王喜芹, 等. 工业固定源 VOCs 治理技术分析评估[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3476-3486.

[27] Germany. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control-TA Luft) of 24 July 2002[EB/OL]. http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/taluft_engl.pdf, 2013-06-29.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 34 No. 12

Dec. 15, 2013

CONTENTS

Preface ····· HAO Zheng-ping (4503)

Variation Characteristics of Ambient Volatile Organic Compounds (VOCs) in Nanjing Northern Suburb, China ····· AN Jun-lin, ZHU Bin, LI Yong-yu (4504)

Pollution Characterization of Volatile Organic Compounds in Ambient Air of Tianjin Downtown ····· ZHAI Zeng-xiu, ZOU Ke-hua, LI Wei-fang, *et al.* (4513)

Source Apportionment of VOCs in the Northern Suburb of Nanjing in Summer ····· YANG Hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, *et al.* (4519)

Estimation of the Formation Potential of Ozone and Secondary Organic Aerosol in Shanghai in Spring ····· CUI Hu-xiong (4529)

Inventory and Environmental Impact of VOCs Emission from the Typical Anthropogenic Sources in Sichuan Province ····· HAN Li, WANG Xing-rui, HE Min, *et al.* (4535)

Study on Volatile Organic Compounds Emission of Straw Combustion and Management Countermeasure in Wuhan City ····· HUANG Bi-jie (4543)

Spatial Distribution Characteristics of NMHCs During Winter Haze in Beijing ····· DUAN Jing-chun, PENG Yan-chun, TAN Ji-hua, *et al.* (4552)

Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in the Downtown Area of Guangzhou, China ····· LI Lei, LI Hong, WANG Xue-zhong, *et al.* (4558)

Health Risk Assessment of VOCs from a Furniture Mall in Tianjin ····· ZHANG Yin, WANG Xiu-yan, GAO Shuang (4565)

Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Recycled Waste Polymethyl Methacrylate (PMMA) Industry ··· WANG Zhe-ming, XU Zhi-rong, YE Hong-yu, *et al.* (4571)

Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds (VOCs) in Pesticide Factory ····· TAN Bing, WANG Tie-yu, PANG Bo, *et al.* (4577)

Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission from Electronic Products Processing and Manufacturing Factory ····· CUI Ru, MA Yong-liang (4585)

Emission Characteristics and Safety Evaluation of Volatile Organic Compounds in Manufacturing Processes of Automotive Coatings ····· ZENG Pei-yuan, LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, *et al.* (4592)

Index Assessment of Airborne VOCs Pollution in Automobile for Transporting Passengers ····· CHEN Xiao-kai, CHENG He-ming, LUO Hui-long (4599)

Study on the Chemical Compositions of VOCs Emitted by Cooking Oils Based on GC-MS ····· HE Wan-qing, NIE Lei, TIAN Gang, *et al.* (4605)

Health-based Risk Assessment in the Excavating Process of VOCs Contaminated Site ····· FANG Zeng-qiang, GAN Ping, YANG Le, *et al.* (4612)

Characteristics of Gaseous Pollutants Distribution During Remedial Excavation at a Volatile Organic Compound Contaminated Site ····· GAN Ping, YANG Yue-wei, FANG Zheng-qiang, *et al.* (4619)

Factors Affecting Benzene Diffusion from Contaminated Soils to the Atmosphere and Flux Characteristics ····· DU Ping, WANG Shi-jie, ZHAO Huan-huan, *et al.* (4627)

Effects of Soil Compositions on Sorption and Desorption Behavior of Tetrachloroethylene in Soil ····· HU Lin, QIU Zhao-fu, HE Long, *et al.* (4635)

Occurrence and Distribution of Volatile Organic Compounds in Conventional and Advanced Drinking Water Treatment Processes ····· CHEN Xi-chao, LUO Qian, CHEN Hu, *et al.* (4642)

Characteristics and Evaluation of Volatile Organic Compounds Discharge in Typical Enterprise Wastewater in Hangzhou City ····· CHEN Feng, XU Jian-fen, TANG Fang-liang, *et al.* (4649)

Pollution Characteristics of Volatile Organic Compounds from Wastewater Treatment System of Vitamin C Production ····· GUO Bin, LÜ Guo-li, REN Ai-ling, *et al.* (4654)

Performance Evaluation of Three Novel Biotrickling Packings ····· MEI Yu, CHENG Zhuo-wei, WANG Jia-de, *et al.* (4661)

Performance of Trace Ozone-augmented Biological Trickling Filter in Toluene Degradation ····· ZHANG Chao, ZHAO Meng-sheng, ZHANG Li-li, *et al.* (4669)

Removal Characteristics of DCM by Biotrickling Filter and Biofilter ····· PAN Wei-long, YU Jian-ming, CHENG Zhuo-wei, *et al.* (4675)

Removal of Toluene from Waste Gas by Honeycomb Adsorption Rotor with Modified 13X Molecular Sieves ····· WANG Jia-de, ZHENG Liang-wei, ZHU Run-ye, *et al.* (4684)

Treatment of Organic Waste Gas by Adsorption Rotor ····· ZHU Run-ye, ZHENG Liang-wei, MAO Yu-bo, *et al.* (4689)

Study on Adsorption Properties of Organic Vapor on Activated Carbons ····· CAI Dao-fei, HUANG Wei-qiu, WANG Dan-li, *et al.* (4694)

Degradation of Styrene by Coupling Ultraviolet and Biofiltration ····· SHA Hao-lei, YANG Guo-jing, XIA Jing-fen (4701)

Adsorption Characteristics of Acetone and Butanone onto Honeycomb ZSM-5 Molecular Sieve ····· DU Juan, LUAN Zhi-qiang, XIE Qiang, *et al.* (4706)

Analysis of the Distribution of VOCs Concentration Field with Oil Static Breathing Loss in Internal Floating Roof Tank ····· WU Hong-zhang, HUANG Wei-qiu, YANG Guang, *et al.* (4712)

Study on the Quantitative Estimation Method for VOCs Emission from Petrochemical Storage Tanks Based on Tanks 4.0.9d Model ····· LI Jing, WANG Min-yan, ZHANG Jian, *et al.* (4718)

Oxidation Behavior and Kinetics of Representative VOCs Emitted from Petrochemical Industry over $CuCeO_x$ Composite Oxides ····· CHEN Chang-wei, YU Yan-ke, CHEN Jin-sheng, *et al.* (4724)

Direct Photolysis of Methylamine Gas by KrBr* Excilamp ····· ZHAO Jie, LIU Yu-hai, WEI Lian-mei, *et al.* (4734)

Study on the Relationship Between Odor Intensity and Components Concentrations of Odor Mixture ····· YAN Lu-chun, LIU Jie-min, FU Hui-ting, *et al.* (4743)

Study on Key Technical Problems in the Development of Volatile Organic Pollutants Emission Standards ····· JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, REN Chun, *et al.* (4747)

Establishment and Improvement of Emission Control Standard System of Volatile Organic Compounds in Industry ····· JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZOU Lan, *et al.* (4751)

Characteristics and Countermeasures of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in China ····· WANG Tie-yu, LI Qi-feng, LÜ Yong-long (4756)

Status and Needs Research for On-Line Monitoring of VOCs Emissions from Stationary Sources ····· WANG Qiang, ZHOU Gang, ZHONG Qi, *et al.* (4764)

Evaluation of Treatment Technology of Odor Pollution Source in Petrochemical Industry ····· MU Gui-qin, SUI Li-hua, GUO Ya-feng, *et al.* (4771)

Research Advances on Volatile Organic Compounds Emission Inventory of Plants ····· XIE Jun-fei, LI Yan-ming (4779)

Study of VOCs Emission Prediction and Control Based on Dynamic CGE ····· LIU Chang-xin, WANG Yu-fei, HAO Zheng-ping, *et al.* (4787)

《环境科学》第 6 届编辑委员会

主　编：欧阳自远

副主编：赵景柱　郝吉明　田　刚

编　委：（按姓氏笔画排序）

万国江　王华聪　王凯军　王绪绪　田　刚　田　静　史培军

朱永官　刘志培　汤鸿霄　陈吉宁　孟　伟　周宗灿　林金明

欧阳自远　赵景柱　姜　林　郝郑平　郝吉明　聂永丰　黄　霞

黄　耀　鲍　强　潘　纲　潘　涛　魏复盛

环 境 科 学

（HUANJING KEXUE）

（月刊　1976 年 8 月创刊）

2013 年 12 月 15 日　34 卷　第 12 期（卷终）

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 34　No. 12　Dec. 15, 2013

主　　管	中国科学院	
主　　办	中国科学院生态环境研究中心	
协　　办	（以参加先后为序） 北京市环境保护科学研究院 清 华 大 学 环 境 学 院	
主　　编	欧 阳 自 远	
编　　辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱（海淀区双清路 18 号，邮政编码：100085） 电话：010-62941102，010-62849343 传真：010-62849343 E-mail：hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	
出　　版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717	
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	
发　　行	科 学 出 版 社 电话：010-64017032 E-mail：journal@ mail. sciencep. com	
订 购 处	全国各地邮电局	
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 （北京 399 信箱）	

Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science（HUANJING KEXUE） P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing　100717, China
Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
Domestic		All Local Post Offices in China
Foreign		China International Book Trading Corporation（Guoji Shudian）, P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号：ISSN　0250-3301 / CN　11-1895/X　　**国内邮发代号**：2-821

国 内 定 价：90.00 元　　**国外发行代号**：M 205

国 内 外 公 开 发 行