

# 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



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,何焜(4724)

KrBr<sup>+</sup> 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)

# 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

(中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院, 青岛 266071)

**摘要:** 运用环保技术评估体系, 提出石油炼制过程中典型恶臭污染源治理技术评价指标体系, 并对已应用的治理技术进行全面评估, 从而筛选出炼油污水处理场废气、酸性水罐罐顶气、冷焦水罐/油品中间罐/污油罐罐顶气、氧化脱硫醇尾气和油品装卸挥发气的最佳可行技术。

**关键词:** 环保技术评估体系; 环保治理技术评价指标体系; 恶臭污染源; 最佳可行技术

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)12-4771-08

## Evaluation of Treatment Technology of Odor Pollution Source in Petrochemical Industry

MU Gui-qin, SUI Li-hua, GUO Ya-feng, MA Chuan-jun, YANG Wen-yu, GAO Yang

(SINOPEC Qingdao Safety Engineering Institute, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Using an environmental technology assessment system, we put forward the evaluation index system for treatment technology of the typical odor pollution sources in the petroleum refining process, which has been applied in the assessment of the industrial technology. And then the best available techniques are selected for emissions of gas refinery sewage treatment plant, headspace gas of acidic water jars, headspace gas of cold coke jugs/intermediate oil tank/dirty oil tank, exhaust of oxidative sweetening, and vapors of loading and unloading oil.

**Key words:** environmental technology assessment system; evaluation index system for treatment technology; odor pollution sources; the best available techniques

在石油炼制过程中, 原油经过加热、加压、催化等过程, 会产生大量的有毒有害物质, 如硫化氢、氨、硫醇类、硫醚类、胺类、挥发烃类等<sup>[1]</sup>, 这些物质中大多数是恶臭物质, 有些即使臭味不大, 但对人体的危害却很大, 在生产、运输过程中, 它们以排放、挥发、泄漏等方式进入大气后, 会引起周围环境不同程度的污染, 从而影响人们的身体健康<sup>[2]</sup>. 2010 年国务院办公厅正式地从国家层面上提出挥发性有机物(VOCs)防治工作的要求, 将 VOCs 和二氧化硫、氮氧化物与颗粒物一起列为改善大气环境质量的优控重点污染物. 2012 年 10 月发布的国家《重点区域大气污染防治“十二五”规划》中, 针对重点区域的挥发性有机物污染防治制定了控制目标, 确定了 2012 ~ 2015 年的工业 VOCs 治理和油气回收重点工程项目, 全国性 VOCs 控制的序幕已拉开.

根据排放源的不同, 炼油恶臭污染源可以分为污水处理场废气、酸性水罐罐顶气、冷焦水罐/油品中间罐/污油罐罐顶气、氧化脱硫醇尾气、油品装车 and 装船油气等<sup>[3]</sup>. 恶臭治理技术可分为销毁技术和回收技术, 其中销毁技术包括热力焚烧、催化燃烧和生物技术等, 回收技术包括吸收技术、冷凝技术、吸附技术和膜分离技术等<sup>[4~14]</sup>, 具体见图 1<sup>[15]</sup>.

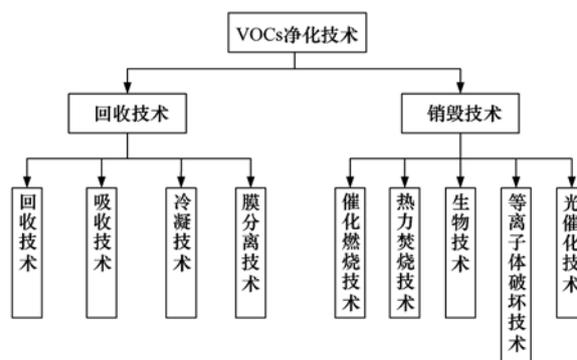


图 1 VOCs 净化技术

Fig. 1 VOCs purification techniques

针对不同的恶臭污染源, 现有技术的治理效果如何, 哪些技术为最佳可行, 需要通过技术评估来得出. 目前石化行业应用的恶臭处理技术有吸收法(碱液吸收、胺液吸收和低温柴油吸收等)、生物法、吸附法、催化氧化(燃烧)法、等离子体法、膜分离法等<sup>[16~22]</sup>.

收稿日期: 2013-07-01; 修订日期: 2013-08-20

作者简介: 牟桂芹(1969~), 女, 硕士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为清洁生产、污染治理技术和节能优化技术, E-mail: mugq. qday@sinopec.com

## 1 环保技术评估体系

环保技术评估体系<sup>[23]</sup>分为两个层次,第一级指标有5个要素,分别是环境效益、技术可行性、经济合理性、可实施性和运行管理复杂性。第二级指标有22个指标,环境效益包括污染物去除率、稳定达标率、二次污染等3个指标,技术可行性包括已推广情况、技术指标、安全性、技术稳定性、设备寿命等5个指标,经济合理性包括投资费用、运行成本、能耗、经济效益等4个指标,可实施性包括对生产的影响、改造幅度、施工周期、技术配套程度、占地面积、周边环境等6个指标,运行管理复杂性包括操作难易程度、人工需求、操作环境、维修管理等4个指标,具体评分标准见表1。

由于各指标权重不同,需要对各二级指标进行赋值,具体分值见表2。

## 2 恶臭污染源治理技术评价

### 2.1 污水处理场废气治理

污水处理场废气的特点是气量大(平均为 $11\,422\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ),硫化氢浓度较低(平均为 $9.1\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),非甲烷总烃不高(平均为 $1\,291\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),大部分污染物可溶于水,气量稳定,各治理技术对比见表3。

从生物法、催化燃烧、碱液吸收、吸附和等离子体技术对污水处理场废气的治理情况来看,生物法对非甲烷总烃去除效果不及催化燃烧,但稳定达标率比催化燃烧高(由于污水处理场废气非甲烷总烃浓度低,未达到催化燃烧最佳燃烧浓度 $1\,400\sim 6\,000\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),且投资与运行成本低,占地面积小,装置需要适宜的湿度、足够的停留时间以保证污染物能够溶解于水中并被微生物细胞吸收代谢;等离子体技术用于处理污水处理场废气的效果最好,稳定达标率最高,但投资与运行成本相对较高(投资是生物法的1.7倍,运行费用是生物法的10.7倍)。

### 2.2 酸性水罐废气治理

酸性水罐恶臭气体的特点是废气量不高,一般为 $100\sim 400\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ,但废气组分中硫化氢、氨和烃类含量高,硫化氢和氨可高达 $\text{几}\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、烃类达到 $\text{几十}\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。各治理技术对比见表4。

从酸性水罐罐顶气治理效果来看,碱液吸收、胺液吸收、超重力氧化吸收-脱硫和低温柴油吸收这4种工艺均不能使罐顶气主要污染组分实现达标

排放。碱液吸收、胺液吸收和超重力氧化吸收仅对硫化氢和氨有去除效果,对非甲烷总烃的去除效果较差;低温柴油吸收-脱硫对硫化氢和非甲烷总烃去除效果相对较好,但非甲烷总烃仍不能实现稳定达标排放。因此对酸性水罐罐顶气治理建议采用胺液吸收除硫、水洗除氨后引入燃气锅炉焚烧回收热量,胺液吸收的硫化氢去硫磺车间制硫磺,含氨废水进入气提装置回收氨气进行氨精制,能够彻底实现达标排放。

### 2.3 冷焦水罐、污油罐、中间罐废气治理

冷焦水罐、污油罐、中间罐恶臭气体的特点是气量小(平均为 $362\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ),硫化氢浓度中等(平均为 $164\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),氨浓度不高(平均为 $101\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),非甲烷总烃适中(平均为 $7\,018\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),见表5。

从冷焦水罐、污油罐、中间罐的恶臭气体治理情况来看,碱液吸收和固定床吸附仅对硫化氢和氨有去除效果,对非甲烷总烃几乎没有去除效果;低温柴油吸收对硫化氢和氨的去除效果比催化燃烧好,但催化燃烧对非甲烷总烃去除效果比低温柴油吸收-脱硫好,且稳定达标率高,投资与运行成本低。因此对冷焦水罐、污油罐、中间罐罐顶气治理建议采用催化燃烧技术,可将多个罐呼吸阀连通后先脱硫后燃烧,不仅能起到均质均量的作用,而且可以降低能耗。

### 2.4 氧化脱硫醇尾气治理

氧化脱硫醇尾气,含VOCs、有机硫化物和硫化氢等,非甲烷总烃浓度为 $15\sim 51\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,气体流量 $100\sim 200\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ,压力 $0.1\text{ MPa}$ ,详细技术介绍见表6。

对于氧化脱硫醇尾气,目前应用的处理技术仅有低温柴油吸收技术,该技术对有机硫化物和非甲烷总烃有较好的去除效果,且可回收液态烃和汽油,非甲烷总烃排放达到设计要求。

### 2.5 油品装车和装船油气回收

油品装车、装船过程中会挥发气体的特点是气量小(平均为 $450\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ),仅装车时才排放,非甲烷总烃浓度非常高(平均为 $100\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ),技术对比见表7。

因此对油品装车、装船过程中会挥发气治理建议根据介质的理化性质合理选择回收技术,例如组分较为单一,可选择膜分离法进行回收;组分较为复杂,可灵活选择活性炭吸附和低温柴油吸收等技术。

表 1 恶臭治理技术评估体系

Table 1 Assessment system of control technology for odor pollution sources

一级指标	二级指标	指标分数			
		4	3	2	1
环境效益	污染物实际去除率	硫化氢去除效率 90% 以上; 氨去除效率 90% 以上; 非甲烷总烃去除效率 80% 以上	硫化氢去除效率 75% ~ 90%; 氨去除效率 75% ~ 90%; 非甲烷总烃去除效率 55% ~ 80%	硫化氢去除效率 50% ~ 75%; 氨去除效率 50% ~ 75%; 非甲烷总烃去除效率 30% ~ 55%	硫化氢去除效率 50% 以下; 氨去除效率 50% 以下; 非甲烷总烃去除效率 30% 以下
	稳定达标率	90% 以上(含 90%)	70% ~ 90%(含 70%)	50% ~ 70%(含 50%)	50% 以下
	二次污染	无二次污染发生	二次污染量少, 毒性小, 易处理	有二次污染发生, 需要投资才能处理	二次污染量大, 需要较大量的投资来处理
技术可行性	已推广情况	推广数量 10 套以上	推广数量 5 ~ 10 套	推广数量 2 ~ 5 套	只有一个实例
	技术指标	处于国际领先地位, 对于污染物浓度和排放方式完全适用	处于国内领先地位, 对于污染物浓度和排放方式完全适用	接近国内领先地位, 需要对上游稍作改造	国内一般水平, 需要较大量的资金进行上游改造
	安全性	能够满足所在区域的防爆要求, 建成后可降低周边的危险性	能够满足所在区域的防爆要求, 建成后对周边的危险性无影响	不能满足所在区域的防爆要求, 建成后对周边的危险性无影响	不能满足所在区域的防爆要求, 建成后会增加周边的危险性
	技术稳定性	全年平稳运行, 基本无故障发生	全年平稳运行, 关键设备无故障发生	年平稳运行率在 98% 以上	年平稳运行率低于 98%
	设备寿命	20 a 以上	15 ~ 20 a	10 ~ 15 a	小于 10 a
经济合理性	投资费用	小于 0.5 万元每单位处理能力	0.5 ~ 1 万元每单位处理能力	1 ~ 1.5 万元每单位处理能力	高于 1.5 万元每单位处理能力
	运行成本	污水处理场废气小于 0.01 元每标立	污水处理场废气 0.01 ~ 0.03 元每标立	污水处理场废气 0.03 ~ 0.05 元每标立	污水处理场废气 0.05 以上元每标立
	能耗	很少, 或回收、节省能源效果显著	少, 或能回收能源, 有节能效果	适度	较大
	经济效益	经济效益显著, 不必缴纳排污费	有经济效益, 不必缴纳排污费	投入产出基本持平, 缴纳少量排污费	投入大于产出, 需缴纳一些排污费
	其他	其他小于 0.1 元每标立	其他 0.1 ~ 0.2 元每标立	其他 0.2 ~ 0.3 元每标立	其他 0.3 元每标立以上
可实施性	对生产的影响	没有影响	需降低生产负荷至 80% 以下	需降低生产负荷至 50% 以下	需停工实施
	改造幅度	稍作改造	—	—	彻底改造
	施工周期	不到 3 个月	3 ~ 6 个月	6 个月 ~ 1 a	1 a 以上
	技术配套程度	配套技术完善或不需要配套技术	配套技术基本齐备	配套技术尚不够完善	配套技术不完备或需特殊配套技术
	占地面积	污水处理场废气小于 $80 \text{ m}^2 \cdot (10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$	污水处理场废气 $80 \sim 160 \text{ m}^2 \cdot (10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$	污水处理场废气小于 $160 \sim 400 \text{ m}^2 \cdot (10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$	污水处理场废气大于 $400 \text{ m}^2 \cdot (10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$
		其他小于 $0.175 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$	其他 $1000 \sim 2000 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$	其他 $2000 \sim 3000 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$	其他 $3000 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$ 以上
	周边环境	可显著改善周边环境	对周边环境有改善, 但不明显	对周边环境无影响	使周边环境恶化
管理科学性	操作难易程度	操作容易, 对操作人员技术要求不高	操作容易, 对操作人员技术有一定要求	操作较难, 需要专门培训操作人员	操作难度大, 需要专门培训操作人员
	人工需求	不需增加人员	—	—	需增加人员
	操作环境	工作环境好, 劳动强度小	工作环境一般, 劳动强度较小	工作环境差, 劳动强度一般	工作环境中有有毒物品, 劳动强度较大
	维修管理	设备基本上无技术上的维修	设备维修容易	设备维修需要专门培训	设备维修需要专门技术培训
加分 <sup>1)</sup>	陈述理由				

1) 加分应陈述理由, 最多不超过 10 分

### 3 结论

(1) 生物法适合于处理非甲烷总烃浓度小于

$1000 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  的气量稳定的可溶于水的恶臭气体, 例如污水处理场废气, 且投资与运行成本最低, 对硫化氢和非甲烷总烃的去除率为 60% 以上, 但容易被

表 2 指标相对分数  
Table 2 Index relative score

一级指标	分数	二级指标	分数	一级指标	分数	二级指标	分数
环境效益	169	稳定达标率	89	可实施性	103	对生产的影响	41
		污染物去除率	61			改造幅度	24
		二次污染	19			施工周期	14
技术可行性	145	已推广情况	43			技术配套程度	10
		技术指标	47			占地面积	5
		安全性	23			周边环境	9
		技术稳定性	24	操作难易程度	11		
经济合理性	59	设备寿命	8	管理科学性	24	人工需求	5
		投资费用	25			操作环境	5
		运行成本	12			维修管理	3
		能耗	7			总分	500

表 3 污水处理场废气治理技术对比

Table 3 Comparison of the treatment technology of waste gas from wastewater treatment facilities

一级指标	二级指标	技术				
		生物法	催化燃烧法	吸附法	碱液吸收法	低温等离子体
环境效益	污染物实际去除率	硫化氢平均去除率为 66.7%	硫化氢平均去除率为 60%	—	硫化氢平均去除率为 81.5%	硫化氢平均去除率为 60%
	稳定达标率	非甲烷总烃平均去除率为 61%	非甲烷总烃平均去除率为 94.5%	非甲烷总烃平均去除率为 45.5%	—	非甲烷总烃平均去除率为 94.3%
		非甲烷总烃达标率为 56.3%	非甲烷总烃达标率为 50%	非甲烷总烃达标率为 50%	非甲烷总烃达标率为 50% 以下	非甲烷总烃达标率为 100%
	二次污染	无	无	吸附剂吸附饱和后需要厂家回收处理	产生的碱渣需要进行处理	尾气中的臭氧需消除
技术可行性	已推广情况	16 套	6 套	2 套	5 套	1 套
	技术指标	硫化氢设计去除率为 97.7%	硫化氢设计去除率为 98.7%	—	硫化氢设计去除率为 99%	硫化氢设计去除率为 75%
		非甲烷总烃设计去除率为 81.4%	非甲烷总烃设计去除率为 97.1%	非甲烷总烃设计去除率为 70%	—	非甲烷总烃设计去除率为 90%
	安全性	高	对区域防爆等级有一定要求	高	高	对区域防爆等级有一定要求
	技术稳定性	在污水异常排放期间产生的高浓度废气会直接冲击生物膜,造成生物处理能力急剧下降,尾气烃类、苯系物等主要指标无法达标				
	设备寿命	13 a	13 a	15 a	13 a	10 a
经济合理性	投资费用	单位处理能力投资为 360.9 元/单位处理能力	催化燃烧为 1 863.7 元/单位处理能力	吸附法为 1150 元/单位处理能力	碱液吸收为 233.0 元/单位处理能力	等离子体法为 600 元/单位处理能力
	运行成本	42.5 元/每万标立	1 088.3 元/每万标立	276.8 元/每万标立	74.4 元/每万标立	456.0 元/每万标立
	能耗	电耗已计入运行成本,无其他能耗	电耗已计入运行成本,无其他能耗	无	电耗已计入运行成本,无其他能耗	电耗已计入运行成本,无其他能耗
	经济效益	无	无	无	无	无
可实施性	对生产的影响	无	无	无	无	无
	改造幅度	无	无	无	无	无
	施工周期	5 个月	13 个月	4 个月	6 个月	4 个月
	技术配套程度	生物法可以通过特效菌种培养,提高生物法处理能力;没有配备在线总烃分析仪,无法防止高浓度废气冲击生物菌落				
	占地面积	127.6 m <sup>2</sup> ·(m <sup>3</sup> ·h) <sup>-1</sup>	185 m <sup>2</sup> ·(m <sup>3</sup> ·h) <sup>-1</sup>	270 m <sup>2</sup> ·(m <sup>3</sup> ·h) <sup>-1</sup>	245 m <sup>2</sup> ·(m <sup>3</sup> ·h) <sup>-1</sup>	623 m <sup>2</sup> ·(m <sup>3</sup> ·h) <sup>-1</sup>

续表 3

一级指标	二级指标	技术				
		生物法	催化燃烧法	吸附法	碱液吸收法	低温等离子体
可实施性	周边环境	无	无	无	无	等离子法会产生臭氧, 如果处理不当, 会引起装置周边臭氧浓度超标
管理科学性	操作难易程度	全自动控制	半自动控制	半自动控制	—	全自动控制
	人工需求	定编 1 人	定编 1 人	定编 1 人	定编 1 人	定编 1 人
	操作环境	适宜	适宜	适宜	适宜	适宜
	维修管理	生物法塔体设备易出现腐蚀穿孔	催化燃烧法易出现阻火器堵塞、仪表连锁故障	—	—	—

表 4 酸性水罐废气治理技术对比

Table 4 Comparison of the treatment technology of waste gas from acidic water tank

一级指标	二级指标	技术			
		碱液吸收	胺液吸收	超重力氧化吸收	低温柴油吸收-脱硫
环境效益	污染物实际去除率	硫化氢平均去除率为 98.4%	硫化氢平均去除率为 100%	硫化氢平均去除率为 96.5%	硫化氢平均去除率为 99.0%
	稳定达标率	硫化氢的达标率为 80%	硫化氢的达标率为 100%	硫化氢的达标率为 66.7%	硫化氢的达标率为 80%
	二次污染	会产生高浓度碱渣	无	会产生高浓度碱渣	无
	非甲烷总烃达标率为 56.3%	非甲烷总烃达标率 50% 以下	非甲烷总烃达标率 50% 以下	非甲烷总烃达标率 50% 以下	非甲烷总烃达标率为 56.3%
技术可行性	已推广情况	14 套	1 套	4 套	2 套
	技术指标	硫化氢设计去除率为 98%	硫化氢设计去除率为 100%	硫化氢设计去除率为 98%	硫化氢设计去除率为 99%
	安全性	对总烃去除效果差, 尾气总烃浓度高, 雷雨天气存在安全隐患	对总烃去除效果差, 尾气总烃浓度高, 雷雨天气存在安全隐患	对总烃去除效果差, 尾气总烃浓度高, 雷雨天气存在安全隐患	—
	技术稳定性	设施投用率为 100%, 但存在循环泵容易堵塞, 如若不能及时发现影响处理效果	设施投用率为 98.6%, 焦化含硫污水罐罐顶气中的焦粉容易引起吸收塔填料堵塞, 需要更换填料	设施投用率为 96.7%	设施的投用率为 100%, 但循环水过滤器易堵塞, 影响柴油预冷及制冷机组正常工作
经济合理性	设备寿命	19 a	20 a	9 a	12 a
	投资费用	0.65 万元每单位处理能力	0.2 万元每单位处理能力	0.71 万元每单位处理能力	1.1 万元每单位处理能力
	运行成本	0.14 元每标立	0.22 元每标立	0.24 元每标立	0.22 元每标立
	能耗	电耗已计入运行成本, 无其他能耗	电耗已计入运行成本, 其他能耗未统计	电耗已计入运行成本, 无其他能耗	电耗已计入运行成本, 其他能耗未统计
可实施性	经济效益	无	胺液吸收后的硫化氢可用于制硫磺, 预计可生产硫磺 0.23 t·a <sup>-1</sup>	无	低温柴油吸收能够回收总烃 12.7 t·a <sup>-1</sup>
	对生产的影响	工艺由于不能自动间歇运行, 设备长期连续运转, 使得酸性水罐罐顶氮封的氮气消耗量大	工艺由于不能自动间歇运行, 设备长期连续运转, 使得酸性水罐罐顶氮封的氮气消耗量大	能够自动启停, 不会对酸性水罐的操作有影响	能够自动启停, 不会对酸性水罐的操作有影响
	改造幅度	无	无	无	无
	施工周期	8 个月	1 个月	6 个月	12 个月
管理科学性	技术配套程度	完善	完善	完善	完善
	占地面积	0.16 m <sup>2</sup> ·(m <sup>3</sup> ·h) <sup>-1</sup>	0.01 m <sup>2</sup> ·(m <sup>3</sup> ·h) <sup>-1</sup>	0.17 m <sup>2</sup> ·(m <sup>3</sup> ·h) <sup>-1</sup>	0.1 m <sup>2</sup> ·(m <sup>3</sup> ·h) <sup>-1</sup>
	周边环境	无	无	无	无
	操作难易程度	自动化水平低, 不仅设备长期连续运转, 无法间歇开启, 增加了电和氮气的消耗, 而且碱液液位无法远传, 对装置连续运转监控水平低	半自动控制	自动控制	自动控制
管理科学性	人工需求	未增加定编人员	未增加定编人员	未增加定编人员	定编人员 2 人
	操作环境	适宜	适宜	适宜	适宜
	维修管理	碱液吸收设施的循环泵容易堵塞, 如若不能及时发现影响处理效果	胺液吸收设施吸收塔填料容易被酸性气中携带的焦粉堵塞, 需要停工更换填料	超重力氧化吸收设施的维修管理较为简单	低温柴油吸收设施循环水过滤器易堵塞, 影响柴油预冷及制冷机组正常工作

表 5 冷焦水罐、污油罐、中间罐废气治理技术对比

Table 5 Comparison of the treatment technology of waste gas from coke quenching water tank, waste oil tank and intermediate tank

一级指标	二级指标	技术			
		碱液吸收	均质脱硫-催化燃烧	低温柴油吸收-脱硫	固定床吸附
环境效益	污染物实际去除率	硫化氢平均去除率为 91.1%	硫化氢平均去除率为 90%	硫化氢平均去除率为 99.8%	硫化氢平均去除率为 99.5%
		非甲烷总烃平均去除率为 51.4%	非甲烷总烃平均去除率为 98%	非甲烷总烃平均去除率为 49.2%	非甲烷总烃平均去除率 50% 以下
	稳定达标率	非甲烷总烃达标率低	非甲烷总烃达标率为 100%	非甲烷总烃达标率低	非甲烷总烃达标率低
	二次污染	碱渣需要进一步处理	无	碱渣需要进一步处理	固定床吸附装置废除臭剂厂家回收处理
技术可行性	已推广情况	13 套	1 套	1 套	3 套
	技术指标	硫化氢设计去除率为 98%	硫化氢设计去除率为 100%	硫化氢设计去除率为 90%	硫化氢设计去除率为 90%
		—	非甲烷总烃设计去除率为 90%	非甲烷总烃设计去除率为 90%	非甲烷总烃设计去除率为 90%
	安全性	高	催化燃烧对区域防爆等级有一定要求	高	高
	技术稳定性	装置的投用率为 100%, 但加新剂时离心泵容易抽空, 需要重新灌泵才能正常使用, 应改为容积泵	装置易出现阻火器堵塞、仪表连锁故障, 影响投用率	装置的投用率为 100%	装置的投用率为 83.6%, 固体吸附剂需要停运更换
	设备寿命	18 a	15 a(催化剂 3 a)	15 a	10 a
	经济合理性	投资费用	1.11 万元每单位处理能力	1.28 万元每单位处理能力	4 万元每单位处理能力
	运行成本	0.20 元每标立	0.60 元每标立	0.55 元每标立	0.08 元每标立
	能耗	电耗已计入运行成本, 无其他能耗	电耗已计入运行成本, 无其他能耗	电耗已计入运行成本, 其他能耗未统计	无能耗
	经济效益	无	无	无	无
可实施性	对生产的影响	由于碱液吸收工艺不能自动间歇运行, 设备长期连续运转, 使得冷焦水罐、污油罐和中间罐罐顶氮封的氮气消耗量大	能够自动启停, 不会对罐的操作有影响	能够自动启停, 不会对罐的操作有影响	能够自动启停, 不会对罐的操作有影响
	改造幅度	无	无	无	无
	施工周期	5 个月	12 个月	5 个月	1 个月
	技术配套程度	碱液吸收装置进口无流量表	完善	完善	完善
	占地面积	$0.26 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$	$0.14 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$	$0.35 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$	$0.02 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$
	周边环境	无	无	无	无
管理科学性	操作难易程度	碱液吸收设备自动化水平低, 不仅设备长期连续运转, 无法间歇开启处理酸性水罐罐顶气大小呼吸的间歇排气, 增加电耗和氮气消耗, 而且碱液液位无法远传, 对装置连续运转监控水平低	催化燃烧基本实现了自动化控制, 仅需定期更换脱硫剂和催化剂	低温柴油吸收为半自动控制	固定床吸附操作安全、简单, 没有用电设备及控制系统, 定期更换废剂, 且厂家回收
	人工需求	未增加定编人员	未增加定编人员	未增加定编人员	未增加定编人员
	操作环境	适宜	适宜	适宜	适宜
	维修管理	碱液吸收设施加新剂时需要两人配合, 配合不好泵容易抽空, 需要重新灌泵才能正常使用	催化燃烧法易出现阻火器堵塞、仪表连锁故障	低温柴油吸收设施循环水过滤器易堵塞, 影响柴油预冷及制冷机组正常工作	固定床吸附维修管理较为简单

高浓度 VOCs 气体冲击。

(2) 低温等离子体技术适用于处理组分相对单一或浓度较低组分复杂的气体, 例如腈纶二甲胺废

气或污水处理场废气, 处理效果好, 稳定达标率高, 系统动力消耗低, 投资与运行成本低于催化燃烧, 高于生物法; 但对于中高浓度混合气体的净化, 有些

表 6 氧化脱硫醇尾气治理技术

Table 6 Treatment technology of waste gas from oxidative sweetening units

一级指标	二级指标	碱液吸收技术
环境效益	污染物实际去除率	总硫的去除率为 82.3%, 非甲烷总烃实际去除率为 81.6%
	稳定达标率	依照该装置的设计标准——《储油库大气污染物排放标准》(GB 20950-2007) 中非甲烷总烃小于 $25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ , 非甲烷总烃的达标率为 100%
	二次污染	不产生二次污染
技术可行性	已推广情况	仅 1 家应用
	技术指标	尾气排放非甲烷总烃浓度低于 $25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$
	安全性	安全可靠
	技术稳定性	装置投用率为 100%
	设备寿命	15 a
经济合理性	投资费用	5.33 万元每单位处理能力
	运行成本	未统计
	能耗	未统计
	经济效益	能回收总烃 $31.1 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$
可实施性	对生产的影响	无
	改造幅度	无
	施工周期	4 个月
	技术配套程度	所需配套技术较为成熟
	占地面积	$0.77 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$
	周边环境	不会对周边环境造成影响
管理科学性	操作难易程度	半自动
	人工需求	未增加编制
	操作环境	操作环境较为友好
	维修管理	维修管理较为简单

表 7 油气回收技术对比

Table 7 Comparison of vapor recovery technologies of petroleum products

指标	油气回收		
	活性炭吸附	低温柴油吸收	膜分离
环境效益	污染物去除率	活性炭吸附装置非甲烷总烃实际去除率 96.0%	90.0%
	稳定达标率	4 套活性炭吸附装置, 达标率为 100%	1 套低温柴油吸收, 达标率为 100%
	二次污染	无	无
技术可行性	已推广情况	4 套	1 套
	技术指标	活性炭吸附非甲烷总烃的设计去除率为 93.8%	85.0%
	安全性	对于区域防爆等级没有要求	对于区域防爆等级没有要求
	技术稳定性	活性炭吸附、低温柴油吸收和膜分离装置均能配合生产装置全年稳定运行, 投用率均达 100%	
	主体设备寿命	20 a(活性炭 5 a)	10 a
经济可行性	单位处理能力	0.91 万元每单位处理能力	0.8 万元每单位处理能力
	投资	0.20 元每标立	0.22 元每标立
	运行成本	—	—
可实施性	经济效益	—	—
	对生产的影响	无	无
	改造幅度	无	无
	施工周期	7 个月	8 个月
	技术配套程度	回收设施不能匹配所有的汽车、火车、轮船的油品装车接口, 偶尔出现鹤管密封不严, 导致油气无法回收	
	单位处理能力	$0.17 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$	$0.12 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$
管理科学性	占地面积	无影响	$0.05 \text{ m}^2 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}$
	周边环境	无影响	
	操作难易程度	半自动	半自动
	人工需求	活性炭吸附、低温柴油吸收和膜分离均未新增人员	全自动
	操作环境	活性炭吸附、低温柴油吸收和膜分离操作环境相似	
维修管理	活性炭吸附、低温柴油吸收和膜分离的维修管理较为简单		

分子容易被破坏并彻底氧化,而有些分子则不易被破坏或者只是降解而未被彻底氧化,如 C-S 和 S-H 键容易被打开,对臭味的去除效果好。

(3) 催化燃烧法适合于处理非甲烷总烃浓度为  $1\ 400 \sim 6\ 000\ \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$  且硫化氢浓度较低的恶臭气体,投资与运行成本最高,对硫化氢和非甲烷总烃的去除率分别为 60% 和 90% 以上,但硫化氢能够引起催化剂中毒,且贵金属催化剂定期需要更换(3 a 左右),阻火器堵塞和仪表连锁的故障多。

(4) 活性炭吸附法适合于处理非甲烷总烃浓度为  $10\ \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  以上的且硫化氢浓度较低的恶臭气体,尤其是对分子量为  $50 \sim 150\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  的 VOCs 吸附效果较好,对硫化氢的吸附效果较差,对非甲烷总烃的去除率可达 96% 以上。

(5) 低温柴油吸收适合于回收非甲烷总烃浓度为  $10\ \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  以上的且硫化氢浓度较高的恶臭气体,非甲烷总烃去除率可达 90% 以上,硫化氢的去除率可达 30% 以上,但处理效果与粗柴油的沸点和蒸气压等理化性质有很大关系,因此处理效果波动性较大。

(6) 膜分离技术适用于处理高浓度有机废气,是一种高效的分离方法,但系统压降大,动力消耗高。

(7) 碱液吸收和固定床吸附仅能去除大部分硫化氢,消除部分异味,不能使废气中的非甲烷总烃达标。

(8) 由于工业 VOCs 废气成分及性质的复杂性和单一治理技术的局限性,在很多情况下,采用单一技术往往难以达到治理要求,且不经济,利用不同单元治理技术的优势,采用组合治理工艺,不仅可以满足排放要求,同时可以降低净化设备的运行费用。针对特定的含 VOCs 废气的治理,在进行治理方案选择时,应从技术上和经济上进行综合考虑以选择适宜的治理技术。对于高浓度的(通常  $> 1\%$ ) VOCs,一般需要进行有机物的回收,但当没有回收价值或者回收成本太高时,通常采用直接焚烧;对于低浓度的(通常  $< 0.1\%$ ) VOCs,通常没有回收价值或者回收成本很高,目前有很多技术可以选择,如吸附浓缩、生物技术、低温等离子体技术、吸收技术等;对于中等浓度的(通常  $0.1\% \sim 1\%$ ) VOCs,当无回收价值时,一般采用催化燃烧和高温焚烧技术进行治理。

#### 参考文献:

[1] 陈平,陈俊. 挥发性有机化合物的污染控制[J]. 石油化工

环境保护, 2006, 29(3): 20-23.

- [2] 谭淑英,汤心虎,李秀玉,等. 炼油厂恶臭污染的防治[J]. 石化技术与运用, 2004, 22(2): 127-129.
- [3] 瞿梅. 国内炼油厂恶臭污染源及治理技术[J]. 石油化工安全环保技术, 2008, 24(4): 47-50.
- [4] Li Y X, Chen J Y, Sun Y H. Adsorption of multicomponent volatile organic compounds on semi-coke[J]. Carbon, 2008, 46(6): 858-863.
- [5] Kolade M A, Kogelbauer A, Alpay E. Adsorptive reactor technology for VOC abatement [J]. Chemical Engineering Science, 2009, 64(6): 1167-1177.
- [6] 李湘凌,林岗,周元祥,等. 复方液吸收法处理低浓度苯类废气[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2002, 25(5): 794-796.
- [7] Armand B L, Uddholm H B, Vikstrom P T. Absorption method to clean solvent contaminated process air [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 1990, 29(3): 436-439.
- [8] 仇春华,王文君. 生物脱臭技术的现状与展望[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(1): 63-65.
- [9] 李婕,羌宁. 活性炭吸附回收挥发性有机物的研究进展[J]. 化工环保, 2008, 28(1): 24-28.
- [10] 谭明侠,王国军,谢建川. VOC 催化燃烧技术[J]. 工业催化, 2006, 14(增刊): 384-386.
- [11] 秦张峰,关春梅,王浩静,等. 有害废气的低温等离子体脱出研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2001, 22(2): 201-210.
- [12] 宋华,保伟,许根慧. 低温等离子体处理挥发性有机物的研究进展[J]. 化学工业与工程, 2007, 24(4): 356-361.
- [13] 王志伟,耿春香,安慧. 膜法回收有机蒸气进展[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(3): 100-105.
- [14] 邢丹敏,曹义鸣,李晖,等. 膜法有机蒸气回收系统在工业中的应用[J]. 膜科学与技术, 2000, 20(4): 43-46.
- [15] 栾志强,郝郑平,王喜芹. 工业固定源 VOCs 治理技术分析评估[J]. 环境科学, 2011, 32(12): 63-70.
- [16] 邓德刚,韩建华. 碱渣缓和湿式氧化处理工艺的工业应用[J]. 油气田环境保护, 2007, 17(3): 5-8.
- [17] 中国石油化工集团公司安全环保局. 石油石化环境保护技术[M]. 北京:中国石化出版社, 2006. 560-616.
- [18] 陈玉香,刘忠生,王新,等. 石化污水处理场废气催化燃烧处理工业应用[J]. 当代化工, 2006, 35(6): 425-428.
- [19] 张颂光. 污水汽提酸性水罐密闭除臭[J]. 石油化工环境保护, 2005, 28(4): 32-33.
- [20] 郭兵兵,卢琴芳,何凤友,等. 治理炼油污水处理场恶臭污染的试验[J]. 化工进展, 2006, 25(3): 301-304.
- [21] 郭兵兵,王毓仁,何凤友,等. 生物法净化石化企业污水处理场恶臭废气的中型试验[J]. 石油炼制与化工, 2005, 36(5): 66-69.
- [22] 周军. 污水处理场废气生物处理技术开发及工业化应用[A]. 见:中石化集团公司第二次污水处理技术交流会议论文集[C]. 北京:中石化集团公司, 2007, 5: 1-6.
- [23] 李焕,牟桂芹,姜学艳. 中国石化环保技术评估体系研究[J]. 安全、健康与环境, 2012, 12(4): 26-29, 42.

## 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, <i>et al.</i> (4513)
Source Apportionment of VOCs in the Northern Suburb of Nanjing in Summer .....	YANG Hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4552)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in the Downtown Area of Guangzhou, China .....	LI Lei, LI Hong, WANG Xue-zhong, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4571)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric Volatile Organic Compounds (VOCs) in Pesticide Factory .....	TAN Bing, WANG Tie-yu, PANG Bo, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4605)
Health-based Risk Assessment in the Excavating Process of VOCs Contaminated Site .....	FANG Zeng-qiang, GAN Ping, YANG Le, <i>et al.</i> (4612)
Characteristics of Gaseous Pollutants Distribution During Remedial Excavation at a Volatile Organic Compound Contaminated Site .....	GAN Ping, YANG Yue-wei, FANG Zheng-qiang, <i>et al.</i> (4619)
Factors Affecting Benzene Diffusion from Contaminated Soils to the Atmosphere and Flux Characteristics .....	DU Ping, WANG Shi-jie, ZHAO Huan-huan, <i>et al.</i> (4627)
Effects of Soil Compositions on Sorption and Desorption Behavior of Tetrachloroethylene in Soil .....	HU Lin, QIU Zhao-fu, HE Long, <i>et al.</i> (4635)
Occurrence and Distribution of Volatile Organic Compounds in Conventional and Advanced Drinking Water Treatment Processes .....	CHEN Xi-chao, LUO Qian, CHEN Hu, <i>et al.</i> (4642)
Characteristics and Evaluation of Volatile Organic Compounds Discharge in Typical Enterprise Wastewater in Hangzhou City .....	CHEN Feng, XU Jian-fen, TANG Fang-liang, <i>et al.</i> (4649)
Pollution Characteristics of Volatile Organic Compounds from Wastewater Treatment System of Vitamin C Production .....	GUO Bin, LÜ Guo-li, REN Ai-ling, <i>et al.</i> (4654)
Performance Evaluation of Three Novel Biotrickling Packings .....	MEI Yu, CHENG Zhuo-wei, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (4661)
Performance of Trace Ozone-augmented Biological Trickling Filter in Toluene Degradation .....	ZHANG Chao, ZHAO Meng-sheng, ZHANG Li-li, <i>et al.</i> (4669)
Removal Characteristics of DCM by Biotrickling Filter and Biofilter .....	PAN Wei-long, YU Jian-ming, CHENG Zhuo-wei, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4684)
Treatment of Organic Waste Gas by Adsorption Rotor .....	ZHU Run-ye, ZHENG Liang-wei, MAO Yu-bo, <i>et al.</i> (4689)
Study on Adsorption Properties of Organic Vapor on Activated Carbons .....	CAI Dao-fei, HUANG Wei-qiu, WANG Dan-li, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4718)
Oxidation Behavior and Kinetics of Representative VOCs Emitted from Petrochemical Industry over CuCeO <sub>x</sub> Composite Oxides .....	CHEN Chang-wei, YU Yan-ke, CHEN Jin-sheng, <i>et al.</i> (4724)
Direct Photolysis of Methylamine Gas by KrBr* Excilamp .....	ZHAO Jie, LIU Yu-hai, WEI Lian-mei, <i>et al.</i> (4734)
Study on the Relationship Between Odor Intensity and Components Concentrations of Odor Mixture .....	YAN Lu-chun, LIU Jie-min, FU Hui-ting, <i>et al.</i> (4743)
Study on Key Technical Problems in the Development of Volatile Organic Pollutants Emission Standards .....	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, REN Chun, <i>et al.</i> (4747)
Establishment and Improvement of Emission Control Standard System of Volatile Organic Compounds in Industry .....	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZOU Lan, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (4764)
Evaluation of Treatment Technology of Odor Pollution Source in Petrochemical Industry .....	MU Gui-qin, SUI Li-hua, GUO Ya-feng, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
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	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
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	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
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	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