

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第9期

Vol.33 No.9

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国4个WMO/GAW本底站大气CH ₄ 浓度及变化特征	方双喜,周凌晔,许林,姚波,刘立新,夏玲君,王红阳	(2917)
我国东北地区大气降水稳定同位素特征及其水汽来源	李小飞,张明军,马潜,李亚举,王圣杰,汪宝龙	(2924)
2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析	李婷苑,邓雪娇,范绍佳,吴兑,李菲,邓涛,谭浩波,蒋德海	(2932)
厦门市冬春季灰霾期间大气PM ₁₀ 中多环芳烃的污染特征及来源分析	钱冉冉,闫景明,吴水平,王新红	(2939)
气溶胶OCEC切割点确定方法改进及应用	王莉华,董华斌,闫才青,曾立民,郑玫,张延君,刘久萌,Weber R J	(2946)
松花江上游夹皮沟金矿土壤与大气汞污染特征	张刚,王宁,王媛,刘特,艾建超	(2953)
河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究	赵亚娟,龚巍巍,栾胜基	(2960)
印刷电路板(PCB)厂挥发性有机物(VOCs)排放指示物筛选	马英歌	(2967)
烹调油烟中挥发性有机物的排放初探	何万清,田刚,聂磊,曲松,李靖,王敏燕	(2973)
生物滴滤塔降解甲苯废气长期运行生物膜相特性研究	胡俊,郑江玲,吴越新,张丽丽,陈建孟	(2979)
分期布液生物滴滤床净化H ₂ S废气性能研究	刘春敬,李坚,刘佳,彭淑婧,李超,陈英,何洪	(2987)
粉煤灰综合利用过程中汞的二次释放规律研究	孟阳,王书肖	(2993)
太湖、巢湖水体总悬浮物浓度半分析反演模型构建及其适用性评价	刘忠华,李云梅,檀静,郭宇龙,周莉,刘阁	(3000)
巢湖水质与流域农业投入的关联性研究	张燕,高翔,张洪	(3009)
巢湖十五里河水花生生长区沉积物及间隙水中营养盐的基本特性	李如忠,李峰,周爱佳	(3014)
巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价	刘恩峰,杜臣昌,羊向东,沈吉	(3024)
巢湖周边表土中有机质、全氮和全磷空间分布及其相关性	陈书琴,储昭升,胡社荣,刘俊,王长春,王曼	(3031)
丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究	雷沛,张洪,单保庆	(3038)
水温分层对三峡水库香溪河库湾春季水华的影响	刘流,刘德富,肖尚斌,孔松,陈媛媛,方小凤	(3046)
平水期和丰水期殷村港污染物浓度时空变异比较研究	杨晓英,罗兴章,郑正,方淑波	(3051)
江苏西部湖泊沉积物营养盐赋存形态和释放潜力差异性分析	刘涛,胡志新,杨柳燕,肖琳,席北斗,许其功	(3057)
太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价	甘树,卢少勇,秦普丰,金相灿,焦伟,王佩	(3064)
南四湖流域种植业面源污染氮磷源解析研究	刘静,路风,杨廷钊,徐娜,王田妮	(3070)
珠江水体中有机物分布、组成及与消毒副产物生成的关系	何洪威,周达诚,王保强,梁艳红	(3076)
东江流域典型乡镇饮用水源地重金属污染健康风险评价	王若师,许秋瑾,张炯,魏群山,颜昌宙	(3083)
深圳茅洲河表层沉积物卤代多环芳烃污染研究	孙建林,倪宏刚,丁超,曾辉	(3089)
福建罗源湾潮间带沉积物重金属含量空间分布及其环境质量影响	高文华,杜永芬,王丹丹,高抒	(3097)
渤海湾大型底栖生物群落结构变化及原因探讨	蔡文倩,刘录三,乔飞,林岍璇,周娟	(3104)
地下水污染防治区划体系构建研究	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮	(3110)
北京市平原区地下水污染防治区划不确定性分析	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮	(3117)
川东平行岭谷区典型岩溶含水系统中NO ₃ ⁻ 的存储和运移	杨平恒,袁道先,任幼蓉,谢世友,贺秋芳,胡晓风	(3124)
改性活性炭对水中PFOS的吸附去除研究	董锡臻,石宝友,解岳,王东升	(3132)
水溶液中臭氧和溴离子的反应研究	俞潇婷,张家辉,潘循哲,张仁熙,侯惠奇	(3139)
HPSEC-UV-TOC联用技术测定有机物相对分子质量分布	张晗,董秉直	(3144)
不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOCs)产生机制研究	卢信,冯紫艳,商景阁,范成新,邓建才	(3152)
不同pH下纳米铁镍颗粒对生物降解苯酚的影响	况烨,周琰,王清萍,陈祖亮	(3160)
多级微氧生物流化床预处理高浓度丙烯酸废水	李莎,郑盛之,宋玉栋,周岳溪,朱长军,刘淑玲,潘玲,蒲文晶	(3167)
三级生物膜深度处理腈纶废水生化出水的脱氮研究	徐少阳,蒋进元,周岳溪,崔俊涛,段妮妮	(3172)
改性花生壳对水中镉的动态吸附研究	龙腾,易筱筠,党志	(3177)
硫氰酸根在粒状镁铝复合氧化物上的吸附性能	王秀娟,王海增,孙宝维,韩文军	(3182)
海水生物滤器氨氮沿程转化规律模型	罗荣强,侯沙沙,沈加正,陈珠,刘鹰	(3189)
营养物质缺乏引起的好氧颗粒污泥膨胀及其恢复	张著,高大文,袁向娟,勾倩倩	(3197)
生物表面活性剂强化污泥水解的研究	易欣,罗琨,杨麒,李小明,邓伟光,张植平	(3202)
厌氧氨氧化菌的富集培养与分子鉴定	刘冬英,邱艳玲,袁宪正,师晓爽,郭荣波	(3208)
阿特拉津降解菌株的分离、鉴定及降解特性研究	李绍峰,朱静,李铁晶	(3214)
农业废物堆肥中高产漆酶新菌株的分离鉴定及酶学性质研究	任秀娟,范长征,鲁伦慧,王聪,曾光明	(3220)
糖蜜酒精废水脱色微生物的筛选及鉴定	李必金,刘幽燕,贺锴,滕芳明,何熙璞,李青云	(3228)
餐厨垃圾乳酸发酵过程中的微生物多样性分析	刘建国,汪群慧,王爽,孙晓红,仇天雷,李焕	(3236)
共价功能化对单壁碳纳米管产生DNA损伤和活性氧的影响研究	吴仁人,陶雪琴,党志,李开明,蔡美芳	(3241)
<i>Geobacter sulfurreducens</i> 对汞的甲基化及其影响因素研究	邹嫣,司友斌,颜雪,陈艳	(3247)
单一与复合胁迫下油菜对镉、铅的吸收效应	武文飞,南忠仁,王胜利,赵转军,周婷	(3253)
金铜矿下游农户家养番鸭体内重金属分布特征及其评价	杭小帅,梁斌,王文林,王霞,李维新	(3261)
环境激素氯菊酯对萼花臂尾轮虫繁殖的影响	董学兴,杨家新,吕林兰,赵卫红,於叶兵	(3266)
地聚物固化生活垃圾焚烧飞灰固化体抗氧化硫杆菌腐蚀性能的研究	金漫彤,孙鑫,董海丽,金赞芳	(3272)
焚烧飞灰高温过程中重金属的挥发及其氯化特征	刘敬勇,孙水裕	(3279)
城市废弃物处理温室气体排放研究:以厦门市为例	于洋,崔胜辉,林剑艺,李飞	(3288)
NPEOs及其代谢产物在城市污水处理厂中的归趋分析	连静,刘俊新	(3295)
《环境科学》征订启事(3037)	《环境科学》征稿简则(3151)	信息(2999,3030,3096,3227)

城市废弃物处理温室气体排放研究:以厦门市为例

于洋^{1,2}, 崔胜辉^{1,2}*, 林剑艺^{1,2}, 李飞^{1,2}

(1. 中国科学院城市环境研究所城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021; 2. 厦门市城市代谢重点实验室, 厦门 361021)

摘要: 城市废弃物处理是城市人为活动产生温室气体的来源之一。参考 IPCC 国家温室气体清单指南 2006 推荐的方法建立了厦门市废弃物处理的温室气体排放计算模型, 对厦门市 2005~2010 年废弃物处理的温室气体排放情况进行了估算, 包括固体废物废弃物填埋、焚烧以及污水处理等过程。结果表明, 2005 年温室气体总排放量折合二氧化碳当量 (CO_2e) 为 406.3 kt, 2010 年温室气体总排放量 (以 CO_2e 计) 达到 704.6 kt, 随着废水处理工艺的提高和城市生活垃圾量的迅速增长, 主要排放源由废水处理转变为固体废物废弃物填埋。2005 年填埋产生的温室气体排放占固体废物废弃物处理排放量的 90% 左右, 2010 年所占比例下降到 75%。厦门市废水处理温室气体排放量 2007 年最高, 以 CO_2e 计达到 325.5 kt, 化学原料及化学品制造业从 2005~2010 年一直是厦门市 CH_4 排放量最高的产业, 占工业废水处理 CH_4 排放总量的 55% 以上。

关键词: 厦门市; 固废填埋; 固废焚烧; 污水处理; 温室气体

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)09-3288-07

Study on Greenhouse Gas Emissions from Urban Waste Disposal System: A Case Study in Xiamen

YU Yang^{1,2}, CUI Sheng-hui^{1,2}*, LIN Jian-yi^{1,2}, LI Fei^{1,2}

(1. Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China; 2. Xiamen Key Laboratory of Urban Metabolism, Xiamen 361021, China)

Abstract: Waste disposal is one of the sources of greenhouse gas (GHG) emissions from urban human activities. According to the method recommended by IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006, a calculation model was established to assess GHG emissions of waste disposal in Xiamen. Then GHG emissions from waste disposal in Xiamen during the year of 2005-2010 were estimated, including solid waste landfill, solid waste incineration and wastewater treatment. The results showed that total GHG emissions quantified in carbon dioxide equivalents (CO_2e) from waste disposal was 406.3 kt in 2005, and increased to 704.6 kt in 2010. Because of the improvement of wastewater treatment process and rapid increasing municipal solid waste (MSW), the main source of emissions was from wastewater treatment turning to solid waste landfill. GHG emissions from solid waste landfill accounted for about 90% of total emissions from solid waste disposal process in 2005, and the proportion decreased to 75% in 2010. GHG emissions (quantified in CO_2e) from waste water treatment reached the highest value 325.5 kt in 2007. Chemical raw materials and chemical industry have been the highest CH_4 emission industry during 2005-2010, which accounted for more than 55% of total CH_4 emission from industrial wastewater treatment.

Key words: Xiamen; solid waste landfill; solid waste incineration; wastewater treatment; greenhouse gas (GHG)

随着城市化进程的发展, 人类和社会活动产生的二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亚氮(N_2O)等温室气体排放量的增加造成了全球气候变暖^[1~5]。我国城市废弃物产生量随着城市化进程不断增长, 包括城市固体废物量和城市污水量的持续增加。目前, 全球年均垃圾增长量约为 $100 \text{ 亿 t} \cdot \text{a}^{-1}$, 全球由于废弃物处理释放 CH_4 约 $2000 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1} \sim 7000 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[6~9]。以美国为例, 2006 年生活垃圾填埋产生 CH_4 量是人为排放 CH_4 总量的 23%, 而我国城市生活垃圾处理 CH_4 排放量也不容乐观, 江浙沪地区生活垃圾填埋产生的 CH_4 量占到该区域 CH_4 排放量的 19%, 仅次于农业活动产生的 CH_4 排放量^[10,11]。此外, 污水处理会造成 CH_4 、 N_2O 等温室气体的排放。我国城市污水量

随着用水量的增加而迅速增加, 由 20 世纪 70 年代的 $146 \text{ 亿 m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ 增加到 2010 年的 $620 \text{ 亿 m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$, 废水处理工程也成为持续而庞大的温室气体发生器^[12~15]。

国内外学者对废弃物处理的温室气体排放的计算方法研究已取得不少成果。目前, 对废弃物填埋的 CH_4 排放计算方法主要包括动力学模型和统计学模型 2 种类型, 其中, 统计学模型根据废弃物处理量计算可能产生的 CH_4 量, 而动力学模型则可得出

收稿日期: 2011-11-19; 修订日期: 2012-02-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71003090); 环境保护公益性行业科研专项经费 (201009055)

作者简介: 于洋 (1986~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境管理与城市规划, E-mail: yuy@iue.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: shcui@iue.ac.cn

废弃物产气周期中的 CH_4 分布情况^[16,17]。对于污水处理温室气体排放量的计算,出现了基于碳平衡的碳排算法以及美国提出的联邦碳排计算方法^[12]。政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的国家温室气体清单指南 2006 总结了各地的温室气体排放计算方法,第五卷提供了废弃物处理的温室气体排放量的计算方法^[18]。印度德里市采用 IPCC 国家清单指南和欧盟大气污染物和温室气体排放清单指导手册(EMEP/EFA)核算了包括废弃物处理部门的 GHG 排放情况,伦敦、纽约、北京等城市也依据清单指南分别进行过较为全面的 GHG 排放核算^[19~21]。本研究在前人研究的基础上,参考了 IPCC 国家温室气体清单指南和我国省级温室气体清单编制指南中的方法和部分参数,结合厦门市的垃圾成分、工业发展特点,建立了厦门市固体废弃物处置和污水处理的温室气体排放计算模型,估算了厦门市 2005~2010 年废弃物处理的温室气体排放量,可为厦门市低碳城市的建设提供依据,并为其其他城市的碳排放清单核算提供借鉴和参考。另外,由于在废弃物处理过程中需要消耗源于化石燃料的电能,有学者认为应将其纳入废弃物处理的碳排计算,但由于目前还没有统一、成熟的计算方法,且在城市温室气体排放清单编制中,此部分间接碳排应纳入能源部分进行核算,因此该部分不纳入本研究的计算。

1 研究区概况

厦门市地处 $118^{\circ}04'04''\text{E}$ 、 $24^{\circ}26'46''\text{N}$,位于我国东南沿海,背靠漳州、泉州平原,濒临台湾海峡。全市陆地面积 $1\,565\text{ km}^2$,海域面积 390 km^2 ^[22]。厦门市设 6 个行政区,本岛由思明区、湖里区构成,岛外包括海沧区、集美区、同安区、翔安区,共 21 个街道,15 个镇。随着社会、经济的快速发展,厦门市废弃物总量日趋增长,2000 年厦门市人均生活垃圾产生量为 $215.3\text{ kg}\cdot(\text{a}\cdot\text{人})^{-1}$,2010 年达到 $414.3\text{ kg}\cdot(\text{a}\cdot\text{人})^{-1}$ ^[23]。厦门市 2008 年以前城市固体废弃物全部进行填埋处理,危险、医疗废物进行焚烧处理,2008 年垃圾焚烧发电厂试运营,2009 年正式投入使用,部分城市生活垃圾、污泥等可进行焚烧处理,而填埋处理比例仍占 80% 左右。厦门市废水排放量快速增长,2005 年全市排放废水总量 17 203 万 t,2010 年增至 24 366 万 t,增幅达到 41.6%,全市运行的污水处理厂数量也相应由 7 座增长至 11 座。

2 数据来源与计算方法

本研究以厦门市行政边界(含郊区的农村)为核算边界,核算范围包括 2005~2010 年厦门市固体废弃物处理(包括城市生活固废、医疗固废、危险固废、污水污泥)、生活污水处理、工业废水处理过程产生的 GHG 排放。由于厦门市工业废弃物历年的综合利用率达 95% 以上,近些年更是达到 100%,剩余部分随生活垃圾一同处理,并无单独统计,因此在本研究中纳入城市生活垃圾计算。厦门市农村生活固废没有统一的垃圾清运系统,故本研究将农村生活固废处理的 GHG 排放以露天焚烧的方式进行核算,而农业活动产生的秸秆等作物焚烧不包含在本研究的计算中。

2.1 数据来源

固体废弃物填埋 GHG 排放量核算所需数据包括城市固体废弃物填埋量、污泥填埋量、城市固体废弃物(MSW)组成成分、填埋气回收量,通过厦门市市容环卫处调研获得;固体废弃物焚烧 GHG 排放量核算所需调研数据包括城市生活固体废弃物、危险废弃物、医疗废弃物、污泥的焚化量,通过厦门市市容环卫处和厦门市水务局调研获得,人口数据取自文献^[22];废水处理 GHG 排放量计算所需数据包括生活污水有机物总量、污水处理厂去除有机物量、排入环境有机物量、工业各行业(饮料制造业、纺织业、化学原料制造业、金属制品业、橡胶制品业等厦门市工业污染源普查涵盖的 35 个行业)排放废水的有机物总量、以及就地处理去除的有机物量,取自文献^[24],各工业行业废水 CH_4 修正因子及其他计算参数均采用文献^[18,25]推荐的缺省值。

2.2 计算方法

2.2.1 固体废弃物填埋

固体废弃物填埋是 CH_4 的主要排放源之一,随着填埋的垃圾不断累积, CH_4 排放量也随之增长。由于产生的 CH_4 可以回收用于发电,排放量为产生量与回收量之差。本研究采用 IPCC 国家温室气体清单指南 2006 推荐的一阶动力衰减(FOD)方法,该方法考虑了历史填埋垃圾对填埋气体的贡献,而厦门市的垃圾填埋场 1997 年正式投入使用,因此该部分基于 1997 年以来的历史填埋垃圾数据进行核算,计算公式如下所示。

(1) DOC 和可降解 DOC 的计算

$$\text{DOC} = \sum_i (\text{DOC}_i \times W_i) \quad (1)$$

$$\text{DDOCm} = W \times \text{DOC} \times \text{DOC}_f \times \text{MCF} \quad (2)$$

式中, DOC 为 MSW 可降解有机碳的百分比^[18]; DOC_i 各组分 i 中可降解有机碳的百分比^[18]; W_i 为各组分所占的百分比; DDOCm 为填埋场所累积的可降解 DOC 质量; W 为填埋场累积的废弃物总质量; DOC_f 为可分解的 DOC 比例, 取 0.5; MCF 为累积年份有氧分解的 CH_4 修正因子, 取 1.0.

(2) CH_4 排放量的计算

$$\text{DDOCma}_T = \text{DDOCmd}_T + (\text{DDOCma}_{T-1} \times e^{-k}) \quad (3)$$

$$\text{DDOCm}_{\text{decomp}T} = \text{DDOCma}_{T-1} \times (1 - e^{-k}) \quad (4)$$

$$E_{\text{CH}_4T} = (\text{DDOCm}_{\text{decomp}T} \times F \times 16/12 - R_T) \times (1 - \text{OX}_T) \quad (5)$$

式中, T 为清单年份; DDOCma_T 为 T 年末固体废弃物处理系统 (SWDS) 累积的 DDOCm; DDOCma_{T-1} 为 $(T-1)$ 年年终时累积的 DDOCm; DDOCmd_T 为 T 年累积到 SWDS 的 DDOCm; $\text{DDOCm}_{\text{decomp}T}$ 为 T 年 SWDS 分解的 DDOCm; k 为反应常量, 取值为 0.17; E_{CH_4T} 为 T 年排放的 CH_4 量; F 为垃圾填埋气体中的 CH_4 比例, 取 0.5; R_T 为 T 年回收的 CH_4 量; OX_T 为 T 年的氧化因子, 取 0.

2.2.2 固体废弃物焚烧

固体废弃物焚烧包含集中焚烧和露天燃烧两部分, 其中, 露天燃烧主要针对农村生活固废, 主要产生 CO_2 的排放, 还有少量的 CH_4 、 N_2O 排放. 根据 IPCC 国家温室气体清单指南 2006 中推荐的温室气体核算分类, 城市废弃物处理部分不包含农业活动中秸秆等作物的焚烧, 因此秸秆等作物的焚烧不纳入本研究的露天焚烧部分.

(1) CO_2 、 CH_4 、 N_2O 排放量计算

$$E_{\text{CO}_2} = \sum_i (\text{SW}_i \times \text{dm}_i \times \text{CF}_i \times \text{FCF}_i \times \text{OF}_i) \times 44/12 \quad (6)$$

式中, E_{CO_2} 为 CO_2 排放量; i 为焚烧/露天燃烧废弃物类型, 包括城市固体废弃物、危险废弃物、医疗废弃物、污水污泥; SW_i 为焚烧或露天燃烧的固体废弃物类型 i 的总量; dm_i 为焚烧或露天燃烧的废弃物 i 中的干物质含量^[18]; CF_i 为 i 类废弃物干物质中的碳比例^[18]; FCF_i 为 i 类废弃物矿物碳在碳的总含量中的比例^[16]; OF_i 为 i 类废弃物焚烧的氧化因子.

$$E_{\text{CH}_4/\text{N}_2\text{O}} = \sum_i (\text{IW}_i \times \text{EF}_i) \times 10^{-6} \quad (7)$$

式中, $E_{\text{CH}_4/\text{N}_2\text{O}}$ 为 CH_4 或 N_2O 的排放量; IW_i 为焚烧

或露天燃烧的固体废弃物类型 i 的量; EF_i 为 i 类物质焚烧的综合排放因子^[25]; i 为焚烧或露天燃烧废弃物的类型, 包括城市固体废弃物、危险废弃物、医疗废弃物、污水污泥.

(2) 露天焚烧废弃物量计算

$$\text{MSW}_B = P \times P_{\text{frac}} \times \text{MSW}_p \times B_{\text{frac}} \times 365 \times 10^{-6} \quad (8)$$

式中, MSW_B 为城市固体废弃物露天燃烧的总量; P 为人口^[22]; P_{frac} 为燃烧废弃物的人口比例, 取值为农村人口占总人口比例^[22]; MSW_p 为人均每日废弃物产生量; B_{frac} 为燃烧的废弃物量与废弃物处理总量的比例.

2.2.3 废水处理

废水若经厌氧处理或处置, 便会造成 CH_4 排放, 还会造成 N_2O 排放, 废水的 CO_2 排放是生物成因, 不应纳入排放总量. N_2O 排放可出现于处理厂直接排放, 或将废水排入水道、湖泊或海洋后产生的间接排放. 采用 IPCC 推荐的优良做法, 废水处理 N_2O 排放部分计算所得为源自废水处理产生的间接 N_2O 排放量. 废水产生于各种生活、工业, 可以就地处理 (未收集), 可经由下水管道进入污水处理厂集中处理. 本研究将集中处置的工业废水纳入生活污水处理中计算, 就地处理的工业废水单独计算, 计算公式如式 (9)、(10).

(1) 生活污水处理 CH_4 排放

$$E_{\text{CH}_4} = (\text{TOW} \times \text{EF}) - R \quad (9)$$

$$\text{EF} = B_0 \times \text{MCF} \quad (10)$$

式中, E_{CH_4} 为生活污水处理 CH_4 排放总量; TOW 为清单年份的生活污水中有机物总量; EF 为 CH_4 排放因子; R 为清单年份 CH_4 回收量; B_0 指最大产 CH_4 能力 (CH_4/BOD), 取 $0.282 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[25]; MCF 指 CH_4 修正因子, 取 0.165^[25].

(2) 工业废水处理 CH_4 排放

$$E_{\text{CH}_4} = \sum_i [(\text{TOW}_i - S_i) \times \text{EF}_i - R_i] \quad (11)$$

式中, E_{CH_4} 为 CH_4 排放量; i 为不同的工业行业; TOW_i 为 i 行业废水中的可降解有机物总量, 由于工业废水经就地处理后, 一部分进入生活污水管道系统, 其余部分不经下水管道直接排入环境系统, 为不导致重复计算, TOW_i 值采用各工业行业废水就地处理去除的 COD 量与直接排入环境的 COD 量之和^[24]; S_i 为 i 行业以污泥方式清除的有机物总量; EF_i 为 i 行业废水处理的 CH_4 排放因子, 计算公式同 (10)^[25]; R_i 为 i 行业的 CH_4 回收量.

(3) 废水处理 N₂O 排放

$$E_{N_2O} = N_E \times EF_E \times 44/28 \tag{12}$$

$$N_E = (P \times P_r \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) - N_S \tag{13}$$

式中, E_{N_2O} 为 N₂O 的年排放量; N_E 为污水中的氮含量; EF_E 为废水的 N₂O 排放因子; 44/28 为转化系数; P 为人口数; P_r 为每年人均蛋白质消耗量^[22]; F_{NPR} 为蛋白质中氮含量, 取 0.16; $F_{NON-CON}$ 为废水中的非消耗蛋白质因子, 取 1.5^[25]; $F_{IND-COM}$ 为共同排放到下水道系统的工业和商业废水中的蛋白质因子, 取 1.25^[24]; N_S 为随污泥清除的氮量。

3 结果与分析

3.1 固体废弃物处理温室气体排放量估算

厦门市 2005 ~ 2010 年城市生活垃圾成分变化如图 1 所示。厦门市城市生活垃圾成分中厨余所占比例相当大, 2005 年占总量的 38% 左右, 2008 年达到最高, 占总量的 67%, 随后又有不同程度的下降, 2010 年厨余比例下降至 40% 左右。金属、橡胶、玻璃等垃圾所占比例很小, 三者之和不足总量的 5%。纸类等可回收垃圾所占比例, 由 2005 年的 5% 增长至 2010 年的 12%, 可见厦门市生活垃圾资源化潜

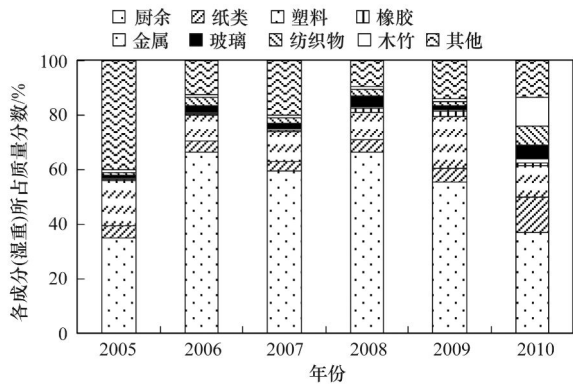


图 1 2005 ~ 2010 年厦门市生活垃圾成分
Fig. 1 Composition of Xiamen's MSW during 2005-2010

力较大。同时, 其他垃圾(灰土、砖瓦陶瓷等)所占比例与 2005 年相比均有不同程度下降。

厦门市 2005 ~ 2010 年固体废弃物温室气体排放情况如表 1 和图 2 所示, 表 1 折合二氧化碳当量 (CO₂e) 的结果按照 CH₄ 和 N₂O 的增温潜势 (GWP) 分别为 CO₂ 的 21 倍和 310 倍计算得出, 图 2 为各温室气体的实际排放量, 以及固体废弃物处理总量, 由于 N₂O 排放量极少, 没有纳入图 2 中。由表 1 可以看出, 填埋处理是温室气体排放的最主要来源, 2005 年占固体废弃物处理的 90% 左右, 2010 年由于垃圾焚烧发电厂的正式运营, 填埋处理的温室气体排放量所占比例下降到 75%。由于废弃物填埋处理成本较低、操作方便、处理量大, 厦门市固体废弃物填埋量巨大, 造成 CH₄ 排放量相对较高, 而 CH₄ 增温潜势远大于 CO₂。

2005 ~ 2010 年, 厦门市生活垃圾处理量由 60.9 万 t 增加到 102.3 万 t, 年均增长率大约为 11.4%。2009 年之前, 填埋处理产生的温室气体排放量 (以 CO₂e 计) 由 2005 年的 160.0 kt 增长到 371.7 kt, 2010 年又有所下降, 这主要是由于 2009 年以后, 厦门市垃圾填埋场安装了填埋气回收装置, 使部分 CH₄ 回收用于发电。2009 年和 2010 年, 厦门市分别回收 CH₄ 约 948 t 和 3 540 t, 一定程度上减缓了温室气体排放量的增长势头。同时, 2009 年以后, 厦门市垃圾焚烧发电厂正式投入使用, 部分可燃垃圾以焚烧处理代替了原始的填埋处理, 使集中焚烧产生的温室气体排放量从 2008 年开始所占比例逐渐增大。露天焚烧产生的温室气体排放量变化不大, 但所占比例有所下降, 这可能由于虽然人均生活垃圾量增长, 但是垃圾清运范围有所增加以及农村人口比例有所降低, 导致露天焚烧的垃圾总量变化不大。而总体来看, 虽然固体废弃物处理的温室气体排放量呈增长趋势, 但由于填埋气回收、焚烧发电等手段的运用, 其增长速度呈放缓趋势。

表 1 厦门市 2005 ~ 2010 年固体废弃物处理温室气体排放量 (以 CO₂e 计)/kt

Table 1 GHG emissions (quantified in CO₂e) from solid waste disposal during 2005-2010/kt

方式	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
填埋处理	160.0	185.8	253.1	316.4	371.7	366.8
集中焚烧	0.5	0.9	1.9	15.9	76.0	91.5
露天焚烧	27.4	20.0	26.5	25.6	30.4	29.9
总计	187.9	206.7	281.5	357.9	478.1	488.2

3.2 废水处理温室气体排放量估算

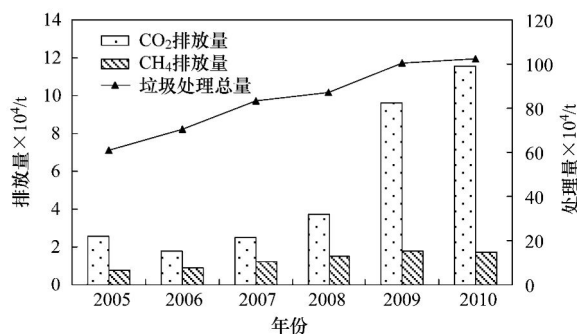
厦门市 2005 ~ 2010 年废水处理的温室气体排放情况如表 2 所示。2005 ~ 2010 年, 厦门市生活污

水排放量由 13 289 万 t 增加至 19 908 万 t, 增长了近 50%, 同时污水中有机物总量也由 7.58 万 t 增加至 8.22 万 t, 而生活污水处理的 CH₄ 排放量和废水处

表 2 2005~2010 年厦门市废水处理温室气体排放

Table 2 GHG emissions from wastewater treatment of Xiamen during 2005-2010

类别		2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
CH ₄ 排放量/kt	生活污水	3.5	3.4	3.6	3.6	3.7	3.8
	工业废水	6.9	7.1	11.9	7.7	6.9	6.5
N ₂ O 排放量/t	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	
合计(以 CO ₂ e 计)/kt		218.4	220.5	325.5	237.3	222.7	216.4

图 2 厦门市固体废弃物处理 CO₂、CH₄ 排放量Fig. 2 CO₂ and CH₄ emissions from solid waste disposal

理的 N₂O 排放总量均保持基本稳定,这可能是由于污水处理工艺提高,有机物、氮的去除率增加所致。工业废水处理的 CH₄ 排放量波动较大,2007 年排放量较高,可能与当年工业废水有机物产生量较高有关。

在工业废水处理方面,肉类加工等食品加工业、造纸业、化学品制造业,以及其他食品和饮料加工业会产生大量含有可降解有机质的废水。厦门市从事食品、饮料制造的企业约有 40 家,从事造纸及纸制品加工的企业 17 家,从事化学原料、化学制品制造业的企业 17 家,因此工业废水处理产生的 CH₄ 排放量高于污水处理产生的 CH₄ 排放量。通过对厦门市 35 个工业行业废水处理产生的 CH₄ 排放量进行计算,得出厦门市工业废水处理产生 CH₄ 排放量最高的 4 个产业为化学原料及化学制品制造业、食品制造业、造纸及纸制品加工业、饮料制造业,如图 3 所示。化学原料及化学制品制造业从 2005~2010 年一直是 CH₄ 排放量最高的产业,占工业废水处理 CH₄ 总排放量的 55% 以上,2007 年以后,该产业产生的 CH₄ 排放量逐步下降,这与得出的工业废水处理 CH₄ 总排放量的变化趋势一致;造纸业、饮料制造业废水处理 CH₄ 排放量 5 a 间比较稳定;食品制造业在 2007 年有较大增长,随后又有所下降。

3.3 厦门市废弃物处理温室气体排放特征

综合固体废弃物处理、废水处理的温室气体排放量,得到厦门市 2005~2010 年废弃物处理的温室气体排放情况,如图 4 所示。6 a 间,废弃物处理产

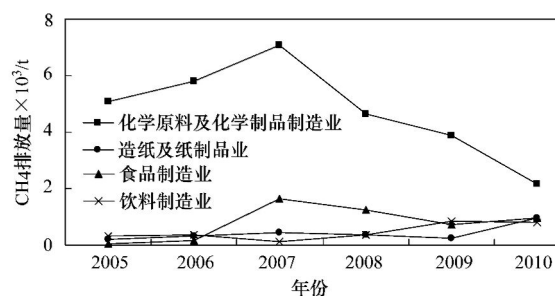
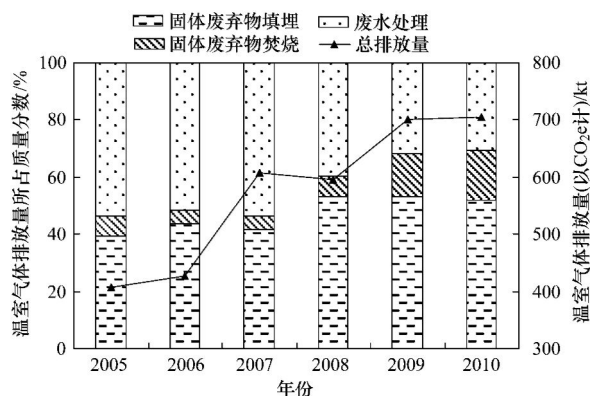
图 3 2005~2010 年厦门市工业废水处理 CH₄ 排放量较高行业Fig. 3 Industries of high CH₄ emission from wastewater treatment in Xiamen during 2005-2010

图 4 厦门市 2005~2010 年废弃物处理温室气体排放

Fig. 4 GHG emissions from waste disposal in Xiamen during 2005-2010

生的温室气体排放量增长较为迅速,2005 年总排放量(以 CO₂e 计)为 406.3 kt,2010 年总排放量(以 CO₂e 计)已达到 704.6 kt,增长了近 73.4%。其中,2007 年增长幅度较大,一方面由于垃圾填埋量的增加,另一方面由于 2007 年工业废水有机物产生量达到最高,导致处理过程产生的 CH₄ 量较大,2008 年工业废水有机物产生量、处理过程的 CH₄ 排放量又有所下降,因此,温室气体总量增长不明显。2009 年以后,由于多种减排措施的实行,温室气体排放量增长速度大为减缓。2007 年以前,废水处理是废弃物处理部分温室气体最主要的排放源,随着废水处理工艺的提

发电厂的投入使用减少了废弃物的填埋量,导致废弃物焚烧的温室气体排放所占比例有所提高。由于填埋处理的排放因子大于焚烧处理,且 CH_4 的增温潜势高于 CO_2 ,处理同样质量的城市生活固体废弃物,填埋产生的温室气体排放量(折合 CO_2e)约为焚烧处理的 17 倍左右。尽管近几年厦门市垃圾填埋产生的 CH_4 有所回收利用,但回收率在 15% 左右,大量的 CH_4 气体仍排放到环境中,综合来看,推进可燃垃圾的焚烧处理总体上更利于温室气体的减排。

4 不确定性分析

估算 GHG 排放量存在不确定性,包括方法的不确定性和数据的不确定性两方面。在估算固废填埋 CH_4 排放量时,采用 IPCC 推荐的一阶衰减法相对于其他方法能较为全面地考虑历史填埋垃圾对填埋气体的贡献,但对历史数据要求较高。另一方面,方法的不确定性还来自参数选取的不确定,IPCC 提供的缺省国家值可能与厦门地区的参数值不完全相符,如固体废弃物的可分解有机碳比例 DOC_f 和 CH_4 排放修正系数 MCF。估算废弃物焚烧、污水处理 GHG 排放量时采用的是排放因子法,主要的不确定性来自于排放因子的选取。由于城市清单的排放因子相对国家排放因子要求更具针对性,最好通过检测机构、调查资料等方法获得,但是由于目前国内大多数城市均未开展此类调查、检测,具体资料无法获得,故本研究的排放因子采用了省级温室气体清单编制指南和 IPCC 推荐的国家排放因子进行计算。另外,调研获得的统计数据也存在不确定性,主要由统计部门统计口径、调查程度的精确性决定。在估算露天焚烧温室气体排放时,不确定性较大,主要缘于不确定进行垃圾露天焚烧的具体人口数以及露天焚烧的生活废弃物总质量。估算废水处理温室气体排放量时,最大产 CH_4 能力等数据也存在不确定性。

为了降低计算结果的不确定性,本研究在计算时尽量采用厦门市的本地数据和参数,如各类废弃物处理量、MSW 组成成分、 CH_4 回收量、各行业工业废水可降解有机质量等数据均通过调研获得。此外,在计算填埋的 CH_4 排放量时,虽然 IPCC 国家温室气体清单中指出,可以用清单编制年份作为起始年份进行估算,但考虑到本研究的时间跨度较小,若采用 2005 年作为起始年份估算填埋的 CH_4 排放量误差较大,因此,本研究以填埋场 1997 年投入使用以来的历史数据为基础,估算了 CH_4 排放量,与实

际值更为接近。IPCC 报告中指出,采用不同的参数通过同样的方法计算得到的 GHG 排放量可能相差很多。因此,在对厦门市自然地理条件、废弃物管理方法、处置方式均进行了深入调研的基础上,选取了 IPCC 报告提供的适当参数值进行计算,包括 CH_4 排放修正系数 MCF、氧化因子 OX_f 等。此外,在计算废水处理 N_2O 排放量时,本研究并没有采用国家水平的人均蛋白质消费量进行计算,而是根据不同年份的厦门市人均消费氮量进行计算,更具针对性。由于城市边界相对于国家边界更为模糊,有些城市自身产生的废弃物会在边界以外的其他地区进行处理,导致实际排放量高于估算量,而厦门市废弃物管理相对完善,自身产生的废弃物均在本地进行处理,避免了这一情况,加强了本研究计算结果的准确性。

5 结论

(1) 计算了 2005 ~ 2010 年厦门市废弃物处理的温室气体排放情况,包括填埋、焚烧、污水处理 3 部分,计算结果折合 CO_2e ,2005 年总排放量为 406.3 kt,2010 年总排放量达到 704.6 kt,随着废水处理工艺的提高和城市生活垃圾量的迅速增长,主要排放源由废水处理转变为固体废弃物填埋。由于废弃物填埋处理成本较低、操作方便、处理量大,厦门市固体废弃物填埋量巨大,造成 CH_4 排放量相对较高。2009 年,垃圾焚烧发电厂的投入使用减少了废弃物的填埋量,并且焚烧废弃物的温室气体排放比例有所提高,有助于减少 CH_4 的排放。化学原料及化学品制造业在 2005 ~ 2010 年一直是 CH_4 排放量最高的产业,占工业废水处理 CH_4 总排放量的 55% 以上。

(2) 由于厦门市废弃物处理的温室气体排放量呈逐年增长趋势,建议通过生活垃圾分类收集、合理推进废品回收业发展,以提高废弃物回收利用率,减少废弃物处理量。同时,厨余垃圾厌氧消化处理、垃圾填埋气收集、垃圾焚烧发电等方法可以减少温室气体排放,并对缓解能源短缺有一定作用。此外,节约水资源、推行中水回用、改善污水处理工艺、推行污泥制肥、制砖,都可对厦门市温室气体减排有一定作用。

参考文献:

- [1] Kennedy C, Steinberger J, Gasson B, *et al.* Greenhouse gas emissions from global cities [J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, 43(19): 7297-7302.

- [2] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, *et al.* Human domination of earth's ecosystems [J]. *Science*, 1997, **277** (5325): 494-499.
- [3] 余国泰. 城市固废(生活垃圾)中甲烷排放量[J]. *环境科学进展*, 1997, **5**(2): 67-74.
- [4] Pan L Y, Lin T, Xiao L S, *et al.* Household waste management for a peri-urban area based on analyzing greenhouse gas emissions for Jimei District, Xiamen, China[J]. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2010, **17**(4): 342-349.
- [5] 潘玲阳, 吝涛, 崔胜辉, 等. 半城市化地区家庭生活垃圾特征及低碳对策: 以厦门市集美区为例[J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(10): 2319-2328.
- [6] Fadel M E, Massoud M. Methane emissions from waste water management[J]. *Environmental Pollution*, 2001, **114**(2): 177-185.
- [7] 徐新华, 王昕, 姜虹, 等. 江浙沪地区废物温室气体排放及减排措施[J]. *污染防治技术*, 1996, **9**(3): 38-40.
- [8] 罗婷文, 欧阳志云, 王效科, 等. 海口市生活垃圾碳输出研究[J]. *环境科学*, 2004, **25**(6): 154-158.
- [9] 陈操操, 刘春兰, 李铮, 等. 北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估[J]. *环境科学*, 2012, **33**(1): 208-215.
- [10] IPCC. Practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories[EB/OL]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>, 2011-09-30.
- [11] 徐新华, 汪大辉, 张清宇, 等. 江苏省温室气体排放研究[J]. *环境导报*, 1996, **13**(2): 4-6.
- [12] 王洪臣. 城镇污水处理领域的碳减排[J]. *给水排水*, 2010, **36**(12): 1-4.
- [13] 叶雯, 刘美南. 我国城市污水再生利用的现状与对策[J]. *中国给水排水*, 2002, **18**(12): 31-33.
- [14] 赵天涛, 阎宁, 赵由才. 环境工程领域温室气体减排与控制技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [15] 黄耀. 中国的温室气体排放、减排措施与对策[J]. *第四世纪研究*, 2006, **26**(5): 722-732.
- [16] 王伟, 韩飞, 袁光钰, 等. 垃圾填埋场气体产量的预测[J]. *中国沼气*, 2001, **19**(2): 20-24.
- [17] 杜吴鹏. 城市固体废弃物(MSW)填埋处理温室气体——甲烷排放研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2006. 1-83.
- [18] IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006[R]. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Tokyo, Japan, 2007. 1.1-6. 29.
- [19] Gurjar B R, Van Aardenne J A, Lelieveld J, *et al.* Emission estimates and trends (1990-2000) for megacity Delhi and implications[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(33): 5663-5681.
- [20] Dhakal S, Kaneko S, Imura H. CO₂ Emissions from energy use in East Asian mega-cities: driving factors, challenges and strategies[M]. Honolulu Hawaii: East West Center, 2004.
- [21] 陈操操, 刘春兰, 田刚, 等. 城市温室气体清单评价研究[J]. *环境科学*, 2010, **31**(11): 2780-2787.
- [22] 厦门市统计局. 厦门经济特区年鉴2001-2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2011.
- [23] 厦门市市容环境卫生管理处. 厦门市城市生活垃圾源头管理对策研究报告[R]. 厦门, 2010. 1-30.
- [24] 厦门市环境保护局. 厦门市环境统计及城考资料汇编 2005-2010[M]. 厦门, 2005-2010.
- [25] 中国发展和改革委员会. 省级温室气体清单编制指南[R]. 北京, 2011. 84-105.

CONTENTS

CH ₄ Concentrations and the Variation Characteristics at the Four WMO/GAW Background Stations in China	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, XU Lin, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation over Northeast China and Its Water Vapor Sources	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (2924)
Study on Air Quality and Pollution Meteorology Conditions of Guangzhou During the 2010 Asian Games	LI Ting-yuan, DENG Xue-jiao, FAN Shao-jia, <i>et al.</i> (2932)
Characteristics and Sources of PM ₁₀ -bound PAHs During Haze Period in Winter-Spring of Xiamen	QIAN Ran-ran, YAN Jing-ming, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (2939)
Improvement and Application of the Method for Determination of OCEC Split	WANG Li-hua, DONG Hua-bin, YAN Cai-qing, <i>et al.</i> (2946)
Characteristics of Mercury Pollution in Soil and Atmosphere in Songhua River Upstream Jia-pi-gou Gold Mining Area	ZHANG Gang, WANG Ning, WANG Yuan, <i>et al.</i> (2953)
Pollution Characteristics and Health Assessment of Particulate Mercury in Hebei Rural Households	ZHAO Ya-juan, GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (2960)
Composition and Characteristics of Volatile Organic Chemicals Emission from Printed Circuit Board Factories	MA Ying-ge (2967)
Preliminary Study Concerning Emissions of the Volatile Organic Compounds from Cooking Oils	HE Wan-qing, TIAN Gang, NIE Lei, <i>et al.</i> (2973)
Characteristics of Biofilm Phase During the Long-term Degradation of a Toluene-contaminated Gas Stream Using BTF	HU Jun, ZHENG Jiang-ling, WU Yue-xin, <i>et al.</i> (2979)
Performance of Cross Flow Trickling Filter for H ₂ S Gas Treatment	LIU Chun-jing, LI Jian, LIU Jia, <i>et al.</i> (2987)
Study on Mercury Re-emissions During Fly Ash Utilization	MENG Yang, WANG Shu-xiao (2993)
Construction of Semi-analytical Model for Inversing Total Suspended Matter in Lake Taihu and Assessment of Its Applicability	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, TAN Jing, <i>et al.</i> (3000)
Association Study Between Water Quality of Chaohu Lake and Resources Input in Agriculture of Basin	ZHANG Yan, GAO Xiang, ZHANG Hong (3009)
Sediment and Pore Water Nutrient Characteristics in Growing Zones of <i>Alternanthera philoxeroides</i> in the Shiwuli River, Chaohu Lake	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia (3014)
Enrichment Characteristic of Phosphorus in Surface and Core Sediments of Chaohu Lake and the Pollution Quantification	LIU En-feng, DU Chen-chang, YANG Xiang-dong, <i>et al.</i> (3024)
Spatial Distribution Characteristics and Correlation Analysis of Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphorus in Topsoil Around Chaohu Lake	CHEN Shu-qin, CHU Zhao-sheng, HU She-rong, <i>et al.</i> (3031)
Dynamic Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in the Representative Input Tributaries of Danjiangkou Reservoir	LEI Pei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (3038)
Effects of Thermal Stratification on Spring Blooms in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir	LIU Liu, LIU De-fu, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (3046)
Explore the Spatial and Temporal Patterns of Water Pollution in the Yincungang Canal of the Lake Taihu Basin, China	YANG Xiao-ying, LUO Xing-zhang, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (3051)
Analysis on the Forms and Release Potential of Nutrients in Sediments from Lakes in the West Jiangsu Province	LIU Tao, HU Zhi-xin, YANG Liu-yan, <i>et al.</i> (3057)
Spatial Distribution and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments from Western Lakeside Belt of Lake Taihu	GAN Shu, LU Shao-yong, QIN Pu-feng, <i>et al.</i> (3064)
Source Apportionment of Nitrogen and Phosphorus from Cropping Non-point Source Pollution in Nansi Lake Basin	LIU Jing, LU Feng, YANG Yan-zhao, <i>et al.</i> (3070)
Relationship Between Dissolved Organic Carbon and DBP in the Pearl River Water	HE Hong-wei, ZHOU Da-cheng, WANG Bao-qiang, <i>et al.</i> (3076)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Township Water Sources in Dongjiang River Basin	WANG Ruo-shi, XU Qiu-jin, ZHANG Xian, <i>et al.</i> (3083)
Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments of Maozhou River, Shenzhen	SUN Jian-lin, NI Hong-gang, DING Chao, <i>et al.</i> (3089)
Distribution Patterns of Heavy Metals in Surficial Sediment and Their Influence on the Environment Quality of the Intertidal Flat of Luoyuan Bay, Fujian Coast	GAO Wen-hua, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (3097)
Study on the Changes of Macrobenthos Communities and Their Causes in Bohai Bay	CAI Wen-qian, LIU Lu-san, QIAO Fei, <i>et al.</i> (3104)
Construction of Groundwater Contamination Prevention Mapping System	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (3110)
Uncertainty Analysis of Groundwater Protection and Control Zoning in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (3117)
Nitrate Storage and Transport Within a Typical Karst Aquifer System in the Paralleled Ridge-valley of East Sichuan	YANG Ping-heng, YUAN Dao-xian, REN You-rong, <i>et al.</i> (3124)
Adsorption of Perfluorooctanesulfonate (PFOS) onto Modified Activated Carbons	TONG Xi-zhen, SHI Bao-you, XIE Yue, <i>et al.</i> (3132)
Investigation of the Oxidation Reaction of O ₃ with Bromide Ion in Aqueous Solution	YU Xiao-ting, ZHANG Jia-hui, PAN Xun-xi, <i>et al.</i> (3139)
Determination of the Distribution of Relative Molecular Mass of Organic Matter by High Pressure Size Exclusion Chromatography with UV and TOC Detectors	ZHANG Han, DONG Bing-zhi (3144)
Black Water Bloom Induced by Different Types of Organic Matters and Forming Mechanisms of Major Odorous Compounds	LU Xin, FENG Zi-yan, SHANG Jing-ge, <i>et al.</i> (3152)
Effect of Fe and Fe/Ni Nanoparticles on the Biodegradation of Phenol by BFN at Different pH Values	KUANG Ye, ZHOU Yan, WANG Qing-ping, <i>et al.</i> (3160)
Pretreatment of High-Concentration Acrylic Acid Wastewater by the Multi-Stage Microaerobic Biological Fluidized Bed Reactor	LI Sha, ZHENG Sheng-zhi, SONG Yu-dong, <i>et al.</i> (3167)
Denitrification on Secondary Effluent of Acrylic Fiber Wastewater by Tri-Stage Biofilm Advanced Reactor	XU Shao-yang, JIANG Jin-yuan, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3172)
Dynamic Adsorption of Cadmium (II) in Water on Modified Peanut Shells	LONG Teng, YI Xiao-yun, DANG Zhi (3177)
Adsorption Properties of Thiocyanate Anion on Granular Mg/Al Mixed Oxides	WANG Xiu-juan, WANG Hai-zeng, SUN Bao-wei, <i>et al.</i> (3182)
Model of Regularity of Ammonia Transformation Along Marine Biological Aerated Filter	LUO Rong-qiang, HOU Sha-sha, SHEN Jia-zheng, <i>et al.</i> (3189)
Aerobic Granular Sludge Bulking Due to the Lack of Nutrient and Its Recovery	ZHANG Zhu, GAO Da-wen, YUAN Xiang-juan, <i>et al.</i> (3197)
Enhanced Hydrolysis of Waste Activated Sludge by Biosurfactant	YI Xin, LUO Kun, YANG Qi, <i>et al.</i> (3202)
Enrichment and Identification of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria	LIU Dong-ying, QIU Yan-ling, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (3208)
Isolation, Identification and Characterization of an Atrazine Degrading Bacterium	LI Shao-feng, ZHU Jing, LI Tie-jing (3214)
Isolation, Identification and Enzymological Characterization of a New Fungal with High Laccase Production from Agricultural Waste Composting	REN Xiu-juan, FAN Chang-zheng, LU Lun-hui, <i>et al.</i> (3220)
Screening and Identification of Microorganisms for Decolorization of Molasses Spent Wash	LI Bi-jin, LIU You-yan, HE Kai, <i>et al.</i> (3228)
Analysis of Microbial Community Structure in Lactic Acid Fermentation from Kitchen Waste	LIU Jian-guo, WANG Qun-hui, WANG Shuang, <i>et al.</i> (3236)
Effect of Covalent Functionalization on DNA Cleavage Activity and ROS Formation of Single-Walled Carbon Nanotubes	WU Ren-ren, TAO Xue-Qin, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3241)
Research on Mercury Methylation by <i>Geobacter sulfurreducens</i> and Its Influencing Factors	ZOU Yan, SI You-bin, YAN Xue, <i>et al.</i> (3247)
Uptake Effect of Cd and Pb by Rape Under Single Cd/Pb and Cd-Pb Combined Stress	WU Wen-fei, NAN Zhong-ren, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (3253)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Farming Domestic Muscovy Duck Originated from Au/Cu Mining and Smelting Activities	HANG Xiao-shuai, LIANG Bin, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (3261)
Effects of the Environmental Hormone Cypermethrin on the Reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	DONG Xue-xing, YANG Jia-xin, LÜ Lin-lan, <i>et al.</i> (3266)
Research on Anti-Corrosion of <i>Thiobacillus</i> for the Geopolymer Solidification MSWI Fly Ash	JIN Man-tong, SUN Xin, DONG Hai-li, <i>et al.</i> (3272)
Chlorination Transformation and Volatilization of Heavy Metals in Fly Ash from the Incineration During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3279)
Study on Greenhouse Gas Emissions from Urban Waste Disposal System; A Case Study in Xiamen	YU Yang, CUI Sheng-hui, LIN Jian-yi, <i>et al.</i> (3288)
Fate Analysis of NPEOs and Their Metabolites in Municipal Wastewater Plants	LIAN Jing, LIU Jun-xin (3295)

《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)

2012年9月15日 33卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol.33 No.9 Sep. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人