

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第3期

Vol.37 No.3

**2016**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

一种气溶胶测量仪器标定系统的设计及性能评估 ..... 陈小彤, 蒋靖坤, 邓建国, 段雷, 郝吉明 (789)

空气细菌真菌污染的分级评价构建方法 ..... 张华玲, 姚大军, 张雨, 方子梁 (795)

2014年北京APEC期间大气醛酮污染物的污染特征与来源分析 ..... 何晓朗, 谭吉华, 郭送军, 马永亮, 贺克斌 (801)

北京市夏季不同O<sub>3</sub>和PM<sub>2.5</sub>污染状况研究 ..... 王占山, 张大伟, 李云婷, 董欣, 孙瑞雯, 孙乃迪 (807)

2013年1月南京北郊霾天气气溶胶的光学特性 ..... 王利朋, 马嫣, 郑军, 崔芬萍, 周瑶瑶 (816)

上海典型持续性PM<sub>2.5</sub>重度污染的数值模拟 ..... 常炉予, 许建明, 周广强, 吴剑斌, 谢英, 余钟奇, 杨辰 (825)

厦门室内多溴二苯醚的沉降通量、季节变化与人体暴露水平 ..... 韩文亮, 刘豫, 陈海明, 陈兴童, 范涛 (834)

复合催化膜生物反应器处理一氧化氮废气研究 ..... 黎宝仁, 陈洲洋, 王剑斌, 张再利, 樊青娟, 魏在山 (847)

环胶州湾污水处理厂排放口溶解有机氮生物可利用潜力研究 ..... 孔秀君, 张鹏, 杨南南, 梁生康 (854)

面向GOCI数据的太湖总磷浓度反演及其日内变化研究 ..... 杜成功, 李云梅, 王桥, 朱利, 吕恒 (862)

三峡库区支流澎溪河水华高发期环境因子和浮游藻类的时空特征及其关系 ..... 周川, 蔚建军, 付莉, 崔玉洁, 刘德富, 姜伟, Douglas Haffner, 张磊 (873)

三峡库区消落带水体DOM不同分子量组分三维荧光特征 ..... 陈雪霜, 江韬, 卢松, 魏世强, 王定勇, 闫金龙 (884)

黄河河南段水体中正构烷烃的分布特征与来源解析 ..... 冯精兰, 席楠楠, 张飞, 刘书卉, 孙剑辉 (893)

岩溶地下河流域表层土壤有机氯农药分布特征及来源分析 ..... 谢正兰, 孙玉川, 张媚, 余琴, 徐昕 (900)

长期不同耕作方式下紫色水稻土和上覆水中汞及甲基汞的分布特征 ..... 王欣悦, 唐振亚, 张成, 王永敏, 王定勇 (910)

长江口沉积物重金属赋存形态及风险特征 ..... 尹肃, 冯成洪, 李扬颀, 殷立峰, 沈珍瑶 (917)

涌湖表层沉积物营养盐和重金属分布及污染评价 ..... 熊春晖, 张瑞雷, 吴晓东, 冯立辉, 王丽卿 (925)

三峡库区典型支流库湾消落带沉积泥沙特征及重金属评价 ..... 王永艳, 文安邦, 史忠林, 严冬春, 朱波, 唐家良 (935)

海河干流水产品汞污染特征及摄入风险评估 ..... 童银栋, 张巍, 邓春燕, 王学军 (942)

三峡库区干支流落干期消落带土壤可转化态氮含量及分布特征 ..... 何立平, 刘丹, 于志国, 周斌, 杨振宇, 兰国新, 郭冬琴, 林俊杰 (950)

三峡水库消落带土壤与优势植物淹水后对土-水系统汞形态的影响 ..... 梁丽, 王永敏, 张成, 余亚伟, 安思危, 王定勇 (955)

不同灌溉模式下水稻田径流污染试验研究 ..... 周静雯, 苏保林, 黄宁波, 管毓堂, 赵堃 (963)

富营养化城市景观水体表观污染下的悬浮颗粒物粒度分布特征 ..... 贡丹燕, 潘杨, 黄勇, 包伟, 李倩倩 (970)

间歇曝气对垂直潜流人工湿地脱氮效果的影响 ..... 汪健, 李怀正, 甄葆崇, 刘振东 (980)

非水溶性醌加速菌GWF生物还原高氯酸盐的研究 ..... 张媛媛, 郭延凯, 张超, 梁晓红, 田秀蕾, 牛文钰, 廉静, 郭建博 (988)

紫外辐射对腐殖酸溶液理化性质及其混凝性能的影响 ..... 王文东, 张轲, 范庆海, 郑丹 (994)

类水滑石复合材料吸附去除水中硫酸根离子 ..... 顾怡冰, 马邕文, 王金泉, 王艳, 关泽宇 (1000)

富里酸对重金属在沉积物上吸附及形态分布的影响 ..... 李雨清, 何江, 吕昌伟, 樊明德, 王维, 张瑞卿, 谢志磊, 汪精华, 于波, 恩和, 丁涛 (1008)

铁有机骨架材料的快速合成及对阴离子染料的吸附性能 ..... 孙德帅, 刘亚丽, 张晓东, 秦婷婷 (1016)

富里酸-膨润土复合体对氟的吸附特性 ..... 方敦, 田华婧, 叶欣, 何次利, 但悠梦, 魏世勇 (1023)

3种低分子量有机酸对紫色土吸附非的影响 ..... 谢黎, 陈本寿, 张进忠, 卢松, 江韬 (1032)

HDTMA改性蒙脱土对土壤Cr(VI)的吸附稳定化研究 ..... 蒋婷婷, 喻恺, 罗启仕, 吉敏, 林匡飞 (1039)

水热处理时间对污泥中氮磷钾及重金属迁移的影响 ..... 王兴栋, 林景江, 李智伟, 赵焕平, 余广炜, 汪印 (1048)

煤制气废水总酚负荷对反硝化的抑制效应研究 ..... 张玉莹, 陈秀荣, 王璐, 李佳慧, 徐燕, 庄有军, 于泽亚 (1055)

硫自养反硝化耦合厌氧氨氧化脱氮条件控制研究 ..... 周健, 黄勇, 刘忻, 袁怡, 李祥, 完颜德卿, 丁亮, 邵经纬, 赵蓉 (1061)

低温下活性污泥膨胀的微生物群落结构研究 ..... 端正花, 潘留明, 陈晓欧, 王秀荣, 赵乐军, 田乐琪 (1070)

游离氨(FA)耦合曝气时间对硝化菌活性的抑制影响 ..... 孙洪伟, 吕心涛, 魏雪芬, 赵华南, 马娟, 方晓航 (1075)

1株*Arthrobacter arilaitensis* 菌的耐冷异养硝化和好氧反硝化作用 ..... 何腾霞, 倪九派, 李振轮, 孙权, 冶青, 徐义 (1082)

海洋菌株y3的分离鉴定及其异养硝化-好氧反硝化特性 ..... 孙庆花, 于德爽, 张培玉, 林学政, 徐光耀, 李津 (1089)

几种不同方法估算农田表层土壤固碳潜力:以甘肃庄浪县为例 ..... 师晨迪, 许明祥, 邱宇洁 (1098)

不同耕作方式下土壤水分状况对土壤呼吸的初期影响 ..... 张延, 梁爱珍, 张晓平, 陈升龙, 孙冰洁, 刘四义 (1106)

绿肥间作和秸秆覆盖对冬季油菜根际土壤有机碳及土壤呼吸的影响 ..... 周泉, 王龙昌, 熊瑛, 张赛, 杜娟, 赵琳璐 (1114)

黑岱沟露天煤矿排土场不同植被复垦土壤酶活性及理化性质研究 ..... 方瑛, 马任甜, 安韶山, 赵俊峰, 肖礼 (1121)

黄土丘陵区退耕时间序列梯度上草本植被群落与土壤C、N、P、K化学计量学特征 ..... 张海东, 汝海丽, 焦峰, 薛超玉, 郭美丽 (1128)

包头某铝厂周边土壤重金属的空间分布及来源解析 ..... 张连科, 李海鹏, 黄学敏, 李玉梅, 焦坤灵, 孙鹏, 王维大 (1139)

砷污染土壤复合淋洗修复技术研究 ..... 陈寻峰, 李小明, 陈灿, 杨麒, 邓琳静, 谢伟强, 钟宇, 黄斌, 杨伟强, 张志贝 (1147)

以预处理剩余污泥为燃料MFC产电性能及不连续供电的可行性 ..... 赵艳辉, 赵阳国, 郭亮 (1156)

废弃物焚烧飞灰中持久性自由基与二噁英及金属的关联探究 ..... 王天娇, 陈彤, 詹明秀, 郭颖, 李晓东 (1163)

淘汰落后产能政策对我国重点工业行业二噁英类减排的影响 ..... 耿静, 吕永龙, 任丙南, 王铁宇 (1171)

《环境科学》征订启事 (1138) 《环境科学》征稿简则 (1155) 信息 (824, 853, 883)

# 淘汰落后产能政策对我国重点工业行业二噁英类减排的影响

耿静<sup>1,2</sup>, 吕永龙<sup>2</sup>, 任丙南<sup>1</sup>, 王铁宇<sup>2</sup>

(1. 三亚学院海南省生态文明研究基地, 三亚 572022; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

**摘要:** 淘汰落后产能可以显著降低由工业热过程排放的非故意产生类持久性有机物污染物. 对该类政策带来的二噁英类污染物减排进行估算可以客观评价我国在履行《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》所做出的努力和贡献. 作者曾对 2006 ~ 2010 年间淘汰落后产能政策的减排影响作过分析, 本研究拟在此基础上根据我国 2010 ~ 2013 年关停的落后产能情况, 估算得出电力行业、焦炭行业和钢铁行业(含铁合金)由于关闭落后产能累计带来的二噁英类向大气减排(以 I-TEQ 计, 下同)分别约 86.13、133.94 和 78.78 g·a<sup>-1</sup>. 除了上述提到的重点工业部门, 关闭落后产能涉及到的水泥、电石、金属冶炼、造纸等行业也会由于政策的实施而减少二噁英类的排放, 该研究为以后进行全面评估提供了思路和方法支持.

**关键词:** 落后产能; 二噁英类; 减排; 估算; 电力; 焦炭; 钢铁

中图分类号: X22 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)03-1171-08 DOI: 10.13227/j.hjkk.2016.03.049

## Effects of Eliminating Backward Production Capacities on Reduction of Dioxin Emissions in Key Industries

GENG Jing<sup>1,2</sup>, LÜ Yong-long<sup>2</sup>, REN Bing-nan<sup>1</sup>, WANG Tie-yu<sup>2</sup>

(1. Hainan Research Center for Ecological Civilization, Sanya University, Sanya 572022, China; 2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract:** Phase-out of backward production facilities can significantly reduce the emissions of unintentional persistent organic pollutants from the industrial thermal process. An estimation of reduced dioxin emissions due to closure of backward production capacities is valuable to objectively evaluate China's efforts in and contribution to performing the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Our group previously evaluated environmental effects of the phase-out of backward production facilities on dioxin emissions from 2006 to 2009. Based on the above study, due to the phase-out of backward production capacities from 2010 to 2013, the reductions in dioxin emissions to air from power generation sector, coke sector, and iron & steel (including ferroalloy) sector were estimated to be 86.13, 133.94 and 78.78 g·a<sup>-1</sup>, respectively. Because the emission factors used in this paper are a little bit conservative, the actual reduced emissions may be greater than the estimated values. Besides the industrial sectors mentioned above, reduced dioxin emissions can also be estimated in more industrial sectors such as cement, calcium carbide, metal smelting and papermaking sectors. The paper also provided methods for the future comprehensive evaluation of dioxin reduction.

**Key words:** backward production capacity; dioxin; emission reduction; estimation; power industry; coke industry; iron and steel industry

### 1 研究背景

加快淘汰落后产能是我国转变经济发展方式、调整经济结构、提高经济增长质量和效益的重大举措,是加快节能减排、积极应对全球气候变化的迫切需要,是走中国特色新型工业化道路、实现工业由大变强的必然要求. 自从 2007 年国务院发布《关于印发节能减排综合工作方案的通知》(国发[2007]15 号)以来,我国通过明确淘汰落后产能总体目标、制定实施淘汰方案,将所涉及行业的淘汰目标任务分解到市、县,落实到具体企业,并充分综合运用法律、经济、技术和必要的行政手段,确保

了各年按期实现淘汰落后产能的各项目标. 为实现节能减排的目标,推进淘汰落后产能任务,2011 年 12 月,工业和信息化部向各省、自治区、直辖市人民政府下达了“十二五”期间工业领域 19 个重点行业淘汰落后产能目标任务(工信部产业[2011]612 号),比“十一五”淘汰落后产能增加了 7 个行业,有 6 个原有行业的淘汰落后产能任务比“十一五”有所增加. 2012 年,国务院印发了《节能减排“十二五”

收稿日期: 2015-09-21; 修订日期: 2015-11-04

基金项目: 海南省自然科学基金项目(413129); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-TZ-12)

作者简介: 耿静(1980~),女,博士,副教授,主要研究方向为环境管理, E-mail: smallgeng@163.com

规划》(国发[2012]40号),将淘汰落后产能作为一项主要任务进行安排,规划中要求淘汰21个行业落后产能.按照淘汰落后产能目标任务,工业和信息化部每年发布《工业行业淘汰落后产能企业名单》,向社会公布每年下达到各地区的淘汰落后产能企业名称、生产线类型、产能等情况.同时,工业和信息化部、国家能源局来年都发布各行业淘汰落后产能目标任务完成情况,并通报未完成地区和企业.

为了减少和消除持久性有机污染物的排放,2004年5月17日《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》正式生效,当前纳入公约控制的持久性有机污染物已有23种,由工业热过程排放的非故意产生类持久性有机污染物二噁英类、多氯联苯、六氯苯都在控制名单中.为了履行《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》,2007年,国务院批准了由环境保护部会同13个相关部委组织编制的《中国履行〈关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约〉国家实施计划》;2010年环境保护部联合9部委发布了《关于加强二噁英污染防治的指导意见》(环发[2010]23号);2012年,环境保护部通过《全国主要行业持久性有机污染物污染防治“十二五”规划》;目前,已经编制完成的《二噁英污染防治技术政策》也即将公布.

我国由于众多工业产品在世界的产量位居第一,产业结构处于不断优化调整中,二噁英类排放源较多,排放量较大.郑明辉等<sup>[1]</sup>在《中国二噁英类 POPs 排放清单研究》中估算了2004年我国各类源二噁英类的排放量,排放源主要集中在废弃物焚烧、钢铁生产、有色金属冶炼、发电和供热、含氯化学品的生产和使用等方面.

目前,我国除了通过制定重点行业排放标准和相关政策减少二噁英类排放外,应该重视淘汰落后产能政策带来的二噁英类减排的影响.因为列入淘汰的生产设施工艺落后,污染物控制技术水平较低,污染物的排放浓度比规模大且配有高效污控设施的企业要高许多.关停淘汰落后产能不仅可以减少常规污染物的排放,也能大大削减由工业热过程随烟气、残渣等进入环境的二噁英类持久性有机污染物<sup>[2,3]</sup>.而我国目前对淘汰落后产能所减排的污染物进行核算时,主要采用监测数据法、物料衡算法、排放系数法和比率估算法对减排的化学需氧量、二氧化硫和氮氧化物进行核算.在此过程中降低的持久性有机污染物排放较少被关注.因此,对淘汰落后产能政策的污染物减排效果缺乏综合全面的评

价,这将在很大程度上低估环境政策的减排效果,不能全面反映我国在全球气候变化领域做出的努力.本课题组曾对2006~2009年关停落后产能减少的二噁英类进行了估算<sup>[2]</sup>.本文将在上次研究的基础上,对2010~2013年淘汰落后产能政策对电力行业、焦炭行业和钢铁行业(含铁合金)减排的二噁英类进行评价,以充分认识政策实施的环境效益和影响力.此外国家“十二五”环境污染减排战略实施从单一污染物的总量控制向多种污染物协同控制转变,通过评价将为认识淘汰落后产能政策带来的多种污染物协同控制作用提供更科学的数据支撑.

## 2 淘汰落后产能政策对电力行业二噁英类减排的影响

### 2.1 电力行业关停落后小火电机组情况

图1列出了从“九五”期间到目前我国关停的小火电机组的装机容量.数据显示淘汰小火电机组的工作早在“九五”期间就已启动,在此期间全国共关停小火电机组9640 MW.“十五”期间,国家发改委曾计划关停15000 MW的小火电机组,但实际只完成了8300 MW,这主要是由于国家在这一时期电力供应紧张,小火电由于建设周期短、投资少、见效快而数量急剧增加,关停小火电的进程变得非常缓慢.大量小火电机组的建设,使我国2005年全国火电平均单机容量仅为60.9 MW,单机容量100 MW以下的小火电机组有115 GW,占火电装机容量的29.6%.全国发电用煤占全国煤炭消费总量的近50%和一次能源消费总量的36%,电力行业排放二氧化硫占全国排放总量的53%.但从2006年开始,随着我国发布了一系列政策实施关停计划,小火电的关停力度开始逐年加大.“十一五”期间的前4年,就关停小火电机组60380 MW,提前实现“十一五”关停50000 MW小火电的目标.2009年关停小火电机组的数量和容量达到了历史最高值,关停机组容量高达26170 MW.2010年后由于小火电机组数量在我国占比降低,电力行业的节能减排压力有所减缓,电力结构调整取得成效,关停落后机组容量呈现了逐年降低的趋势.国务院印发的《节能减排“十二五”规划》中要求,电力行业在“十二五”期间,淘汰小火电20000 MW,淘汰对象包括在大电网覆盖范围内,单机容量在100 MW及以下的常规燃煤火电机组,单机容量在50 MW及以下的常规小火电机组,以发电为主的燃油锅炉及发电机组(50 MW及以下);以及在大电网覆盖范围内,设计寿命期满

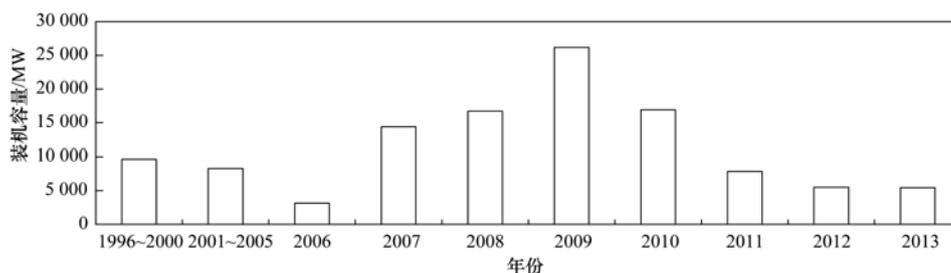


图 1 各阶段关停小火电机组的装机容量

Fig. 1 Phase-out of small-sized power capacities at different stages

的单机容量在 200 MW 及以下的常规燃煤火电机组. 从 2011 ~ 2013 年的完成情况来看, 3 年累计关停 18 792 MW, 已经接近关停目标.

## 2.2 电力行业关停落后小火电机组减排的二噁英类污染物(2010 ~ 2013 年)

由于燃煤电厂燃料中硫含量高于氯含量, 硫与氯原子发生反应, 消耗了二噁英类生成所需要的氯源, 抑制了二噁英类的形成<sup>[4]</sup>. 因此, 关于燃煤电厂二噁英类排放的报道很少.

联合国环境规划署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 发布的《二噁英和呋喃排放识别和量化标准工具包 2 版》(UNEP《工具包》) 中建议燃煤发电锅炉二噁英类的大气排放因子 (以 I-TEQ 计, 下同) 是  $10 \mu\text{g}\cdot\text{TJ}^{-1}$ <sup>[5]</sup>. 欧盟在排放估算中建议, 若没有实际检测数据, 建议燃煤电厂选用 (以燃煤量计)  $0.1 \sim 0.4 \mu\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$  排放因子; 中小型工业燃煤锅炉选用  $0.5 \sim 1.5 \mu\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$  排放因子<sup>[6]</sup>.

关停的小火电在计算其减少的二噁英类排放时, 合理选择排放因子是估算的前提. 据国家电力监管委员会和国家发展改革委员会发布的《2007 年度关停小火电机组情况通报》显示, 关停的小火电机组平均装机容量仅为 26 MW, 平均服役 27 a, 平均供电煤耗  $483 \text{ g}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$ . 因此, 在估算我国关停小火电机组排放时, 排放因子选取国外中小型工业燃煤锅炉的排放因子. 按照欧盟提供的中小型工业燃煤锅炉选用  $0.5 \sim 1.5 \mu\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$  的排放因子, 选取其中间值  $1.0 \mu\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$  作为本研究小火电机组的排放因子.

二噁英类的减排量可以按照如下公式 (1) 计算<sup>[2]</sup>:

$$\text{ERE} = \text{IC} \times t \times \text{CC} \times \text{EF} \times 10^{-9} \quad (1)$$

式中, ERE 为淘汰小火电减少的二噁英类排放量 ( $\text{g}\cdot\text{a}^{-1}$ ); IC 为小火电机组的装机容量 (MW);  $t$  为机组年运行时间 ( $\text{h}\cdot\text{a}^{-1}$ ); CC 为每千瓦时供电煤耗 [ $\text{g}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$ ]; EF 为二噁英类排放因子

( $\mu\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ ).

根据 2010 ~ 2013 年全国淘汰落后产能目标任务完成情况公告显示, 各年关停小火电机组的装机容量数值见表 1<sup>[7]</sup>. 《电监会发 2012 年统调常规燃煤机组利用小时数情况》中指出 2012 年全国统调 (省级以上调度) 公用常规燃煤机组平均利用小时数为 5 080 h. 分容量看, 全国 1 000、600、300 MW 等级利用小时数分别为 5 961、5 274、4 996 h. 由于关闭机组均为小型机组, 在公式中每年均选取 4 996 h 为燃煤机组年运行时间. 根据国家电力监管委员会和国家发展和改革委员会《2007 年度关停小火电机组情况通报》, 2007 年关停的小火电机组平均供电煤耗为  $483 \text{ g}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$ , 在公式中每年均选取此数为每千瓦时供电煤耗. 二噁英类排放因子取  $1.0 \mu\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ . 减少的二噁英类向大气排放量计算结果见表 1, 从 2010 ~ 2013 年, 累计使年排放量减少约 86.13 g.

表 1 关停落后小火电机组减少的二噁英类排放量

Table 1 Reduction of dioxin emissions by eliminating small power units

年份	关闭的装机容量 /MW	减少的二噁英类排放量 / $\text{g}\cdot\text{a}^{-1}$
2010	16 900	40.78
2011	7 840	18.92
2012	5 512	13.30
2013	5 440	13.13
总计	35 692	86.13

若将上述估算数据和本课题组曾估算的 2006 ~ 2009 年淘汰落后产能二噁英类减排数据相结合, 能全面地反映我国自 2004 年履行《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》以来在二噁英类污染物减排所做的贡献. 2006 ~ 2009 年关停小火电机组容量累计高达 60 380 MW, 带来的二噁英类向大气减排约  $145.70 \text{ g}\cdot\text{a}^{-1}$ . 因此, 2006 ~ 2013 年累计使年排放量减少 231.83 g. 2004 年我国化石燃料电厂二噁英类向大气年排放量约为  $248.4 \text{ g}^{[1]}$ . 可见, 8 年淘汰落后产能使年排放量减少的数值相当于整个

行业 2004 年排放量的 93%。

### 3 淘汰落后产能政策对焦炭行业二噁英类减排的影响

#### 3.1 焦炭行业淘汰落后产能情况

2007 年《国务院关于印发节能减排综合性工作方案的方案的通知》(国发[2007]15 号)提出了“十一五”焦炭行业淘汰炭化室高度 4.3 m 以下的小机焦产能需达到 8 000 万 t。实际“十一五”期间累计淘汰落后焦炭落后产能约 10 538 万 t, 超额 32% 完成任务。“十二五”期间, 工业和信息化部下达的工业领域 19 个重点行业淘汰落后产能目标任务中和国务院印发的《节能减排“十二五”规划》中要求, 焦炭行业需淘汰焦炭 4 200 万 t, 包括土法炼焦(含改良焦炉), 单炉

产能 7.5 万 t·a<sup>-1</sup> 以下的半焦(兰炭)生产装置, 炭化室高度小于 4.3 m 焦炉(3.8 m 及以上捣固焦炉除外)。按照工业和信息化部工业行业淘汰落后产能企业名单公告, 表 2 列出了焦炭行业 2010~2013 年国家下达的淘汰产能目标任务、涉及企业数和工业和信息化部、国家能源局发布的焦炭行业淘汰落后产能目标任务完成情况<sup>[7,8]</sup>。从中可以看出, 焦炭行业每年的实际完成情况均高于目标任务。从淘汰企业名单上看, 2010 年后淘汰的焦炭生产线基本上是小机焦, 其中个别地区如新疆和宁夏在 2010~2011 年期间还留有少量兰炭炉和土焦生产线被关停, 表明我国焦炭行业在基本实现了淘汰土焦、改良焦的基础上, 主要是加快对炭化室高度在 4.3 m 以下小机焦炉和半焦炉等的淘汰。

表 2 焦炭行业淘汰落后产能情况(2010~2013 年)

Table 2 Phase-out of backward production capacities in coke industry from 2010 to 2013

年份	下达关停的小机焦		下达关停的土焦、兰炭(半焦)、改良焦		下达任务合计		实际关停情况
	企业数/个	产能/万 t	企业数/个	产能/万 t	企业数/个	产能/万 t	产能/万 t
2010	167	2 352.5	25	234.0	192	2 586.5	2 533
2011	74	1 864.9	13	110.6	87	1 975.5	2 006
2012	72	1 977.0	11	299.0	83	2 276.0	2 493
2013	38	1 517.8	11	172.5	49	1 690.3	2 400
总计	351	7 712.2	60	816.1	411	8 528.3	9 432

#### 3.2 焦炭行业淘汰落后产能减排的二噁英类污染物(2010~2013 年)

UNEP《工具包》建议对于配有尾气处理装置的现代焦化企业, 大气中二噁英类的排放因子可以选用 0.3 μg·t<sup>-1</sup>; 对于没有尾气处理装置的焦化厂, 二噁英类的排放因子可以选用 3 μg·t<sup>-1</sup>。Liu 等<sup>[9]</sup>证实采用不同炼焦技术和不同尾气处理装置的炼焦企业二噁英类排放有很大差别。该研究表明, 对一个年产 20 万 t 的焦化企业的装煤和推焦两个环节经除尘后产生的烟气进行检测, 二噁英类的排放浓度(以 WHO-TEQ 计)为 1 697.7 pg·m<sup>-3</sup>。从企业淘汰名单来看, 小机焦生产线占了绝大多数, 每座焦炉的产能以 10 万 t 居多, 因此本研究中选用文献<sup>[9]</sup>中年产 20 万 t 焦化企业所测二噁英类排放数据, 其大气排放因子大约为 1.42 μg·t<sup>-1</sup> 进行减排估算。在淘汰生产线中, 还有少部分兰炭炉和土焦炉生产线, 这类生产线由于产能较低, 因此它们没有能力配套环保设施, 其二噁英类排放因子要较一般小机焦高出许多, 但由于其淘汰数量占比较少, 此处没有分别计算, 均采用和小机焦相同的排放因子。表 3 列出了 2010~2013 年淘汰落后焦炭生产线所减排的二噁英类, 累计使二噁英类向大气年排放量减少

133.94 g。估算中由于兰炭炉和土焦炉采用了比实际情况要低的排放因子, 还有部分较小规模的机焦基本没有尾气除尘装置也采用了低排放因子, 所以焦炭行业由于关停落后产能实际带来的二噁英类减排量要大于上述估算结果。

表 3 淘汰落后焦炭产能减少的二噁英类排放量

Table 3 Reduction of dioxin emissions by eliminating backward production capacities in coke industry

年份	焦炭淘汰产能 / 万 t	减少的二噁英类排放量 / g·a <sup>-1</sup>
2010	2 533	35.97
2011	2 006	28.49
2012	2 493	35.40
2013	2 400	34.08
总计	9 432	133.94

### 4 淘汰落后产能政策对钢铁行业(含铁合金)二噁英类减排的影响

#### 4.1 钢铁行业(含铁合金)淘汰落后产能情况

“十一五”期间我国累计淘汰炼铁落后产能约 11 172 万 t, 炼钢落后产能约 6 638 万 t, 铁合金落后产能约 663 万 t, 分别超额 12%、21%、66%, 完成制定任务。“十二五”期间, 国务院印发的《节能减排“十二五”规划》以及工业和信息化部下达的工业领

域 19 个重点行业淘汰落后产能目标任务中,提高了对炼铁、炼钢铁合金淘汰生产线的要求,要求淘汰 400 m<sup>3</sup> 及以下高炉炼铁产能 4 800 万 t、年产 30 万 t 及以下转炉、电炉炼钢产能 4 800 万 t、6 300 kVA 以下铁合金矿热电炉、3 000 kVA 以下铁合金半封闭直流电炉、铁合金精炼电炉 740 万 t。按照工业和信

息化部工业行业淘汰落后产能企业名单公告,表 4 和表 5 分别列出了炼铁、炼钢工业和铁合金工业 2010~2013 年国家计划淘汰产能目标任务和工业和信息化部、国家能源局发布的钢铁行业淘汰落后产能目标任务完成情况<sup>[7,8]</sup>。从中可以看出,钢铁行业每年的实际完成情况均高于下达的目标任务。

表 4 炼铁、炼钢淘汰落后产能情况(2010~2013 年)

Table 4 Phase-out of backward production capacities in iron and steel industrial sectors from 2010 to 2013

年份	炼铁			炼钢				
	下达关停产能 /万 t	企业数 /个	生产线 /座	实际关停产能 /万 t	下达淘汰产能 /万 t	企业数 /个	生产线 /座	实际关停产能 /万 t
2010	3 524.6	175	223	4 100	876.4	28	64	1 186
2011	3 122.4	96	138	3 192	2 794.1	58	153	2 846
2012	1 075.6	28	40	1 078	879.4	24	56	937
2013	277.0	9	13	618	697.9	24	58	884
总计	7 999.6	308	414	8 988	5 247.8	134	331	5 853

表 5 铁合金淘汰落后产能情况(2010~2013 年)

Table 5 Phase-out backward production capacities in ferroalloy industrial sector from 2010 to 2013

年份	下达关停的铁合金		实际关停情况 产能/万 t
	企业数/个	产能/万 t	
2010	143	171.9	246
2011	171	211.0	213
2012	261	309.8	326
2013	185	195.9	210
总计	760	888.5	995

#### 4.2 钢铁行业(含铁合金)淘汰落后产能减排的二噁英类污染物(2010~2013 年)

钢铁行业中铁矿石烧结和电弧炉炼钢是二噁英类生成和排放的主要工业源<sup>[10-12]</sup>。因此,我国针对钢铁行业这两个生产过程中二噁英类排放研究较多<sup>[13,14]</sup>。UNEP《工具包》对铁矿石烧结和电弧炉炼钢这两个环节产生的二噁英进行了综述报道,并对不同工艺的生产线给出了建议使用的排放因子<sup>[5]</sup>。

在计算二噁英类削减量时,根据淘汰产能涉及企业情况,针对钢铁行业的高炉炼铁、转炉和电炉炼钢和电炉铁合金冶炼这 3 个环节进行减排核算。我国目前针对高炉炼铁二噁英类排放还没有研究报告。针对炼钢企业, Li 等<sup>[15]</sup>测定了 5 座转炉炼钢的二噁英类排放情况,其中烟气中二噁英类的排放水平(以 WHO-TEQ 计)为 1.84~10.3 pg·m<sup>-3</sup>。Zou 等<sup>[16]</sup>测定的电弧炉炼钢企业二噁英类大气排放因子为 3 160 ng·t<sup>-1</sup>。我国编写的《中国履行〈关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约〉国家实施计划》中对 2004 年二噁英类排放估算时,采用了 UNEP《工具包》中提供的高炉、转炉和电弧炉向大气排放

因子(以 I-TEQ 计,下同),分别为 0.01、0.1 和 3 μg·t<sup>-1</sup>。本研究在对炼铁和炼钢工业由于关闭落后产能而减少的二噁英类排放进行估算时,也采纳该计划中所使用的排放因子。对于炼铁选取二噁英类排放因子为 0.01 μg·t<sup>-1</sup>,对于转炉炼钢选取二噁英类排放因子为 0.1 μg·t<sup>-1</sup>,电炉和中频炉选取二噁英类排放因子为 3 μg·t<sup>-1</sup>。

铁合金是钢铁工业和机械铸造行业必不可少的重要原料之一,其主要用途:一是作为脱氧剂,消除钢液中过量的氧;二是作为合金元素添加剂,改善钢的质量与性能。我国生产铁合金主要采用电炉工艺,电炉可分为敞口电炉、半封闭电炉和封闭电炉,目前采用半封闭电炉居多。半封闭电炉生产铁合金过程中,矿石中大量的金属因高温而挥发到烟气。对于电炉铁合金烟气中二噁英含量方面的数据报道很难查询,近期黄凤兰等<sup>[17]</sup>对电炉铁合金飞灰中二噁英类的分布特征进行了报道,浓度范围为 33.792~88.125 ng·g<sup>-1</sup>。Lv 等<sup>[18]</sup>对我国使用冲天炉的铸铁企业二噁英类监测数据显示,二噁英类大气排放因子约为 2 719 ng·g<sup>-1</sup>。介于淘汰落后铁合金企业主要以电炉生产为主,因此对于铁合金工业由于关闭落后产能而减少的二噁英类排放进行估算时,采用和电炉炼钢同样的排放因子 3 μg·t<sup>-1</sup>。

由于 2010~2013 年工业和信息化部、国家能源局发布的炼钢工业淘汰落后产能目标任务完成情况中没有将电炉炼钢和转炉炼钢分别统计,而这两种炉型的排放因子不同,因此,在计算二噁英类减排时,炼钢工业对应的产能是根据工业和信息化部淘汰落后产能企业名单中下达的淘汰产能,不是实际

淘汰产能. 炼铁工业和铁合金工业不涉及此问题, 因此在计算二噁英类减排时选用的淘汰产能是实际淘汰产能. 据此, 2010~2013 年淘汰落后炼铁、炼钢和铁合金企业累计可以使二噁英类向大气年排放量减少约为 78.78 g, 见表 6.

然而, 需要强调的是钢铁行业由于关停落后产能实际带来的二噁英类减排量要大于上述估算结果. 一是对关停的企业二噁英类排放因子选取较保守造成. 如电弧炉炼钢企业, 关停的电弧炉企业规模均较小, 其尾气除尘装置非常简陋, 而且在原料的使用中不进行控制, 使原料较容易掺杂进一些包含重油、塑料的物质, 而这些因素将增大其二噁英类的排放量. UNEP《工具包》建议对于使用受污染的、含有切削油和塑料的废钢的电弧炉, 以及那些配备废钢预热并且操控较差的电弧炉, 选用排放因子为

$10 \mu\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ <sup>[5]</sup>, 因此实际的排放因子可能远大于国家估算中采用的  $3 \mu\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$  排放因子. 此外, 高炉炼铁和转炉炼钢的二噁英类的排放因子选用的是  $0.01 \mu\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$  和  $0.1 \mu\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ , 而一般此类排放因子主要是针对带有较好烟气处理系统的企业, 但关停的这些企业环保设施较落后, 因此实际排放因子要高于所选用的排放因子. 二是对于炼钢行业关停产能选用的是工业和信息化部淘汰落后产能企业名单中下达的淘汰产能, 这个产能要低于实际关停产能. 三是对于重点排放源铁矿石烧结没有进行估算. 国家在对落后钢铁企业关闭的同时, 强调若有与之配套的烧结机等设备也应一并纳入进行淘汰. 但由于烧结机关停的数量没有报道, 因此其产生的减排效应没有被估算. 综合考虑, 钢铁行业实际减排量比估算值要大.

表 6 淘汰落后炼铁、炼钢、铁合金产能减少的二噁英类排放量

Table 6 Reduction of dioxin emissions by eliminating backward production capacities in iron, steel and ferroalloy industries

年份	分类	关停产能/万 t	二噁英排放因子/ $\mu\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$	减少的二噁英类量/ $\text{g}\cdot\text{a}^{-1}$
2010	高炉炼铁	4 100	0.01	0.41
	转炉炼钢	667	0.1	0.67
	电炉、中频炉炼钢	209	3	6.27
	铁合金	246	3	7.38
	全部			14.73
2011	高炉炼铁	3 192	0.01	0.32
	转炉炼钢	2 280	0.1	2.28
	电炉、中频炉炼钢	514	3	15.42
	铁合金	213	3	6.39
	全部			24.41
2012	高炉炼铁	1 078	0.01	0.11
	转炉炼钢	380	0.1	0.38
	电炉、中频炉炼钢	499	3	14.97
	铁合金	326	3	9.78
	全部			25.24
2013	高炉炼铁	618	0.01	0.06
	转炉炼钢	445	0.1	0.45
	电炉、中频炉炼钢	253	3	7.59
	铁合金	210	3	6.30
	全部			14.40
2010~2013	炼铁	8 988		0.90
	炼钢	5 248		48.03
	铁合金	995		29.85
	总计			78.78

除了上述提到的重点工业部门, 关闭落后产能还涉及到水泥、铜冶炼(含再生铜)、电解铝、铅冶炼(含再生铅)、锌冶炼(含再生锌)和造纸等行业. 2010~2013 年国家累计淘汰水泥(熟料及磨机)、铜冶炼(含再生铜)、电解铝、铅冶炼(含再生铅)、锌冶炼(含再生锌)和造纸产能分别为 65 935、229、

155.7、328.1、115.3 和 3 258.3 万 t. 目前我国对这些工业热过程和化学生产中产生的二噁英类污染物均有研究<sup>[19~24]</sup>. 其中的再生有色金属行业和造纸行业已被我国列为二噁英类优先控制的重点排放源. 上述关停的企业同样由于规模小、技术落后、管理水平低, 污染物排放浓度将会更高, 因此, 这些

工业行业部门淘汰落后产能也会显著减少我国二噁英类的排放。

此外,文中仅对向大气中排放的二噁英类进行了减排估算。而工业热过程和化学生产中产生的二噁英类污染物除了随烟气进入环境,也可以随水、产品和残余物进入环境<sup>[25]</sup>。淘汰落后产能可以减少二噁英类向各介质(空气、水、土地、产品、残渣)的排放。

今后随着我国二噁英类监测能力的提高,二噁英类排放因子的不断修正和完善,可以对淘汰落后产能涉及到的行业进行多介质全面减排估算。本文为今后的评估提供了估算思路和方法支持。

## 5 结论

(1)工业生产是二噁英类的重要来源。对于那些技术条件较为落后的小型工业企业,生产工艺运行较不稳定,并且工业尾气排放一般没有配备良好的尾气处理系统,这样大大增加了二噁英类的生成与排放。将电力、水泥、钢铁、焦炭、造纸、化工等行业落后产能大力度进行淘汰,成为我国自“十一五”以来优化产业结构、促进节能减排的重要措施。通过关闭落后产能、提高先进技术的应用,在对能源消耗和常规污染物排放减少的同时,对工业行业的二噁英类减排也起到有效的作用。

(2)2010~2013年电力行业累计关闭落后小火电机组35 692 MW,带来的二噁英类向大气减排约86.13 g·a<sup>-1</sup>。2010~2013年累计关停焦炭产能9432万t,减少二噁英类向大气排放约133.94 g·a<sup>-1</sup>。2010~2013年累计关停炼铁产能8 988万t,减少二噁英类向大气排放约0.90 g·a<sup>-1</sup>;累计5 247.8万t炼钢产能列入淘汰落后产能名单,实际关停任务超额完成,减少二噁英类向大气排放约48.05 g·a<sup>-1</sup>;累计关停铁合金产能994.3万t,减少二噁英类向大气排放约29.83 g·a<sup>-1</sup>。

(3)水泥、铜冶炼(含再生铜)、电解铝、铅冶炼(含再生铅)、锌冶炼(含再生锌)和造纸等行业,均可以由于关闭落后产能带来二噁英类的减排。系统地进行落后产能行业二噁英类减排估算能更全面反映我国履行《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》以来在二噁英类污染物减排所做的贡献。

### 参考文献:

- [1] 郑明辉,孙阳昭,刘文彬. 中国二噁英类持久性有机污染物排放清单研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,2008.
- [2] Geng J, Lu Y L, Wang T Y, *et al.* Effects of energy conservation

in major energy-intensive industrial sectors on emissions of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and polychlorinated dibenzofurans in China [J]. *Energy Policy*, 2010, **38**(5): 2346-2356.

- [3] Wang L, Lu Y L, He G Z, *et al.* Factors influencing polychlorinated dibenzo-*p*-dioxin and polychlorinated dibenzofuran (PCDD/F) emissions and control in major industrial sectors: case evidence from Shandong Province, China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2014, **26**(7): 1513-1522.
- [4] Raghunathan K, Gullett B K. Role of sulfur in reducing PCDD and PCDF formation [J]. *Environmental Science & Technology*, 1996, **30**(6): 1827-1834.
- [5] UNEP Chemicals. Standardized toolkit for identification and quantification of dioxin and furan releases [R]. (2nd ed.). Geneva: UNEP Chemicals, 2005.
- [6] Quass U, Fermann M, Bröker G. The european dioxin emission inventory stage II, Volume 3, assessment of dioxin emissions until 2005 [R]. Germany: European Commission, 2000.
- [7] 工业和信息化部,国家能源局. 2010-2013年年全国淘汰落后产能目标任务完成情况[EB/OL]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293877/n13138101/index.html>.
- [8] 工业和信息化部. 2010-2013年工业行业淘汰落后产能企业名单公告[EB/OL]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293877/n13138101/index.html>.
- [9] Liu G R, Zheng M H, Ba T, *et al.* A preliminary investigation on emission of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins/dibenzofurans and dioxin-like polychlorinated biphenyls from coke plants in China [J]. *Chemosphere*, 2009, **75**(5): 692-695.
- [10] UNEP Chemicals. Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants [R]. Geneva: UNEP Chemicals, 2007.
- [11] Aries E, Anderson D R, Fisher R, *et al.* PCDD/F and “Dioxin-like” PCB emissions from iron ore sintering plants in the UK [J]. *Chemosphere*, 2006, **65**(9): 1470-1480.
- [12] Odabasi M, Bayram A, Elbir T, *et al.* Electric arc furnaces for steel-making: hot spots for persistent organic pollutants [J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, **43**(14): 5205-5211.
- [13] Tian B, Huang J, Wang B, *et al.* Emission characterization of unintentionally produced persistent organic pollutants from iron ore sintering process in China [J]. *Chemosphere*, 2012, **89**(4): 409-415.
- [14] Du B, Zheng M H, Tian H H, *et al.* Occurrence and characteristics of polybrominated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans in stack gas emissions from industrial thermal processes [J]. *Chemosphere*, 2010, **80**(10): 1227-1233.
- [15] Li S M, Zheng M H, Liu W B, *et al.* Estimation and characterization of unintentionally produced persistent organic pollutant emission from converter steelmaking processes [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, **21**(12): 7361-7368.

- [16] Zou C, Han J L, Fu H Q. Emissions of PCDD/Fs from Steel and Secondary Nonferrous Productions[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, **16**: 279-288.
- [17] 黄凤兰, 张春林, 王伯光, 等. 电炉铁合金飞灰中金属和二噁英分布特性研究[J]. *中国环境科学*, 2014, **34**(4): 869-875.
- [18] Lv P, Zheng M H, Liu G R, *et al.* Estimation and characterization of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs from Chinese iron foundries[J]. *Chemosphere*, 2011, **82**(5): 759-763.
- [19] 刘国瑞, 郑明辉. 非故意产生的持久性有机污染物的生成和排放研究进展[J]. *中国科学: 化学*, 2013, **43**(3): 265-278.
- [20] Chen T, Guo Y, Li X D, *et al.* Emissions behavior and distribution of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and furans (PCDD/Fs) from cement kilns in China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, **21**(6): 4245-4253.
- [21] Ba T, Zheng M H, Zhang B, *et al.* Estimation and characterization of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs from secondary copper and aluminum metallurgies in China [J]. *Chemosphere*, 2009, **75**(9): 1173-1178.
- [22] Hu J C, Zheng M H, Nie Z Q, *et al.* Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxin and dibenzofuran and polychlorinated biphenyl emissions from different smelting stages in secondary copper metallurgy[J]. *Chemosphere*, 2013, **90**(1): 89-94.
- [23] Ba T, Zheng M H, Zhang B, *et al.* Estimation and characterization of PCDD/Fs and dioxin-like PCB emission from secondary zinc and lead metallurgies in China [J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 2009, **11**(4): 867-872.
- [24] 王志芳, 丁琼, 王开祥, 等. 我国典型非木浆造纸二噁英排放研究[J]. *环境科学*, 2012, **33**(2): 574-579.
- [25] Zheng G J, Leung A O W, Jiao L P, *et al.* Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans pollution in China: sources, environmental levels and potential human health impacts [J]. *Environment International*, 2008, **34**(7): 1050-1061.

## CONTENTS

Development and Performance Evaluation of a Supramicron Particle Generation System for Aerosol Instrument Calibration .....	CHEN Xiao-tong,JIANG Jing-kun,DENG Jian-guo, <i>et al.</i> ( 789 )
Establishment of Assessment Method for Air Bacteria and Fungi Contamination .....	ZHANG Hua-ling, YAO Da-jun, ZHANG Yu, <i>et al.</i> ( 795 )
Chemical Characteristics and Sources of Atmospheric Carbonyls During the 2014 Beijing APEC .....	HE Xiao-lang, TAN Ji-hua, GUO Song-jun, <i>et al.</i> ( 801 )
Different Air Pollution Situations of O <sub>3</sub> and PM <sub>2.5</sub> During Summer in Beijing .....	WANG Zhan-shan, ZHANG Da-wei, LI Yun-ting, <i>et al.</i> ( 807 )
Aerosol Optical Properties in the Northern Suburb of Nanjing During Haze Days in January 2013 .....	WANG Li-peng, MA Yan, ZHENG Jun, <i>et al.</i> ( 816 )
A Numerical Study of Typical Heavy Air Pollution Episode of PM <sub>2.5</sub> in Shanghai .....	CHANG Lu-yu, XU Jian-ming, ZHOU Guang-qiang, <i>et al.</i> ( 825 )
Indoor Deposition Flux, Seasonal Variations and Human Exposure Levels of Polybrominated Diphenyl Ethers in Xiamen, China .....	HAN Wen-liang, LIU Yu, CHEN Hai-ming, <i>et al.</i> ( 834 )
Nitric Oxide Removal with a Fe-TiO <sub>2</sub> /PSF Hybrid Catalytic Membrane Bioreactor .....	LI Bao-ren, CHEN Zhou-yang, WANG Jian-bin, <i>et al.</i> ( 847 )
Potential Bioavailability of Dissolved Organic Nitrogen in the Discharge Outlets of Sewage Treatment Plants Around the Jiaozhou Bay .....	KONG Xiu-jun,ZHANG Peng,YANG Nan-nan, <i>et al.</i> ( 854 )
Inversion Model and Daily Variation of Total Phosphorus Concentrations in Taihu Lake Based on GOCI Data .....	DU Cheng-gong, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> ( 862 )
Temporal and Spatial Distribution of Environmental Factors and Phytoplankton During Algal Bloom Season in Pengxi River, Three Gorges Reservoir .....	ZHOU Chuan, YU Jian-jun, FU Li, <i>et al.</i> ( 873 )
Three-dimensional Fluorescence Spectral Characteristics of Different Molecular Weight Fractionations of Dissolved Organic Matter in the Water-level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas .....	CHEN Xue-shuang, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> ( 884 )
Distribution Characteristics and Source Apportionment of <i>n</i> -Alkanes in Water from Yellow River in Henan Section .....	FENG Jing-lan, XI Nan-nan, ZHANG Fei, <i>et al.</i> ( 893 )
Distribution Characteristics and Source Identification of Organochlorine Pesticides in Surface Soil in Karst Underground River Basin .....	XIE Zheng-lan, SUN Yu-chuan, ZHANG Mei, <i>et al.</i> ( 900 )
Effects of Long-term Different Tillage Methods on Mercury and Methylmercury Contents in Purple Paddy Soil and Overlying Water .....	WANG Xin-yue, TANG Zhen-ya, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> ( 910 )
Speciation and Risk Characteristics of Heavy Metals in the Sediments of the Yangtze Estuary .....	YIN Su, FENG Cheng-hong, LI Yang-yang, <i>et al.</i> ( 917 )
Distribution and Pollution Assessment of Nutrient and Heavy Metals in Surface Sediments from Lake Gehu in Southern Jiangsu Province, China .....	XIONG Chun-hui, ZHAGN Rui-lei, WU Xiao-dong, <i>et al.</i> ( 925 )
Characteristics of Deposited Sediment and Assessment of Heavy Metals in Typical Tributaries Bay Riparian Zone of the Three Gorges Reservoir .....	WANG Yong-yan, WEN An-bang, SHI Zhong-lin, <i>et al.</i> ( 935 )
Pollution Characteristics Analysis and Risk Assessment of Total Mercury and Methylmercury in Aquatic Products of the Haihe Stem River .....	TONG Yin-dong, ZHANG Wei, DENG Chun-yan, <i>et al.</i> ( 942 )
Distribution and Content of Transferable Nitrogen in the Soil of Water Level Fluctuating Zones of Mainstream and Its Tributary of Three Gorges Reservoir Areas During the Dry Period .....	HE Li-ping, LIU Dan, YU Zhi-guo, <i>et al.</i> ( 950 )
Effect of Soil and Dominant Plants on Mercury Speciation in Soil and Water System of Water-Level-Fluctuation Zone in the Three Gorges Area .....	LIANG Li, WANG Yong-min, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> ( 955 )
Runoff Pollution Experiments of Paddy Fields Under Different Irrigation Patterns .....	ZHOU Jing-wen, SU Bao-lin, HUANG Ning-bo, <i>et al.</i> ( 963 )
Grain Size Distribution Characteristics of Suspended Particulate Matter as Influenced by the Apparent Pollution in the Eutrophic Urban Landscape Water Body .....	GONG Dan-yan, PAN Yang, HUANG Yong, <i>et al.</i> ( 970 )
Effect of Intermittent Aeration on Nitrogen Removal Efficiency in Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland .....	WANG Jian, LI Huai-zheng, ZHEN Bao-chong, <i>et al.</i> ( 980 )
Effect of Non-dissolved Quinone on Perchlorate Reduction by Strain GWF .....	ZHANG Yuan-yuan, GUO Yan-kai, ZHANG Chao, <i>et al.</i> ( 988 )
Effects of UV Radiation on the Physicochemical Properties and Coagulation Properties of Humic Acid Solution .....	WANG Wen-dong, ZHANG Ke, FAN Qing-hai, <i>et al.</i> ( 994 )
Removal of Sulfate Ions from Aqueous Solution by Adsorption with Hydrotalcite-like Composite .....	GU Yi-bing, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> ( 1000 )
Effects of Fulvic Acid on Adsorption and Form Distribution of Heavy Metals on Sediments .....	LI Yu-qing, HE Jiang, LÜ Chang-wei, <i>et al.</i> ( 1008 )
Rapid Synthesis of Metal Organic Framework and Its Adsorption Properties on Anionic Dyes .....	SUN De-shuai, LIU Ya-li, ZHANG Xiao-dong, <i>et al.</i> ( 1016 )
Adsorption Properties of Fluorine onto Fulvic Acid-Bentonite Complex .....	FANG Dun, TIAN Hua-jing, YE Xin, <i>et al.</i> ( 1023 )
Influence of Three Low-Molecular-Weight Organic Acids on the Adsorption of Phenanthrene in Purple Soil .....	XIE Li, CHEN Ben-shou, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> ( 1032 )
Adsorptive Stabilization of Soil Cr(VI) Using HDTMA Modified Montmorillonite .....	JIANG Ting-ting, YU Kai, LUO Qi-shi, <i>et al.</i> ( 1039 )
Effects of Hydrothermal Treatment Time on the Transformations of N, P, K and Heavy Metals in Sewage Sludge .....	WANG Xing-dong, LIN Jing-jiang, LI Zhi-wei, <i>et al.</i> ( 1048 )
Inhibition of Denitrification by Total Phenol Load of Coal Gasification Wastewater .....	ZHANG Yu-ying, CHEN Xiu-rong, WANG Lu, <i>et al.</i> ( 1055 )
Element Sulfur Autotrophic Denitrification Combined Anaerobic Ammonia Oxidation .....	ZHOU Jian, HUANG Yong, LIU Xin, <i>et al.</i> ( 1061 )
Changes of Microbial Community Structure in Activated Sludge Bulking at Low Temperature .....	DUAN Zheng-hua, PAN Liu-ming, CHEN Xiao-ou, <i>et al.</i> ( 1070 )
Synergetic Inhibitory Effect of Free Ammonia and Aeration Phase Length Control on the Activity of Nitrifying Bacteria .....	SUN Hong-wei, LÜ Xin-tao, WEI Xue-fen, <i>et al.</i> ( 1075 )
Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification of the Hypothermia Aerobic Denitrification Bacterium: <i>Arthrobacter arilaitensis</i> .....	HE Teng-xia, NI Jiu-pai, LI Zhen-lun, <i>et al.</i> ( 1082 )
Isolation, Identification and Nitrogen Removal Characteristics of a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Strain y3 Isolated from Marine Environment .....	SUN Qing-hua, YU De-shuang, ZHANG Pei-yu, <i>et al.</i> ( 1089 )
Estimation of Topsoil Carbon Sequestration Potential of Cropland Through Different Methods: A Case Study in Zhuanglang County, Gansu Province .....	SHI Chen-di, XU Ming-xiang, QIU Yu-jie ( 1098 )
Priming Effects of Soil Moisture on Soil Respiration Under Different Tillage Practices .....	ZHANG Yan, LIANG Ai-zhen, ZHANG Xiao-ping, <i>et al.</i> ( 1106 )
Effects of Green Manure Intercropping and Straw Mulching on Winter Rape Rhizosphere Soil Organic Carbon and Soil Respiration .....	ZHOU Quan, WANG Long-chang, XIONG Ying, <i>et al.</i> ( 1114 )
Heidaigou Opencast Coal Mine: Soil Enzyme Activities and Soil Physical and Chemical Properties Under Different Vegetation Restoration .....	FANG Ying, MA Ren-tian, AN Shao-shan, <i>et al.</i> ( 1121 )
C, N, P, K Stoichiometric Characteristic of Leaves, Root and Soil in Different Abandoned Years in Loess Plateau .....	ZHANG Hai-dong, RU Hai-li, JIAO Feng, <i>et al.</i> ( 1128 )
Soil Heavy Metal Spatial Distribution and Source Analysis Around an Aluminum Plant in Baotou .....	ZHANG Lian-ke, LI Hai-peng, HUANG Xue-min, <i>et al.</i> ( 1139 )
Mixture Leaching Remediation Technology of Arsenic Contaminated Soil .....	CHEN Xun-feng, LI Xiao-ming, CHEN Can, <i>et al.</i> ( 1147 )
Performance of Electricity Generation and Feasibility of Discontinuous Power Supply of MFC by Using Pretreated Excess Sludge as Fuel .....	ZHAO Yan-hui, ZHAO Yang-guo, GUO Liang ( 1156 )
Correlation of Persistent Free Radicals, PCDD/Fs and Metals in Waste Incineration Fly Ash .....	WANG Tian-jiao, CHEN Tong, ZHAN Ming-xiu, <i>et al.</i> ( 1163 )
Effects of Eliminating Backward Production Capacities on Reduction of Dioxin Emissions in Key Industries .....	GENG Jing, LÜ Yong-long, REN Bing-nan, <i>et al.</i> ( 1171 )

# 《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2016年3月15日 第37卷 第3期

## ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 3 Mar. 15, 2016

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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行