

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

**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

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放 ..... 何吉成 ( 1 )

北京上甸子站气相色谱法大气 CH<sub>4</sub> 和 CO 在线观测方法研究 ..... 汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新 ( 8 )

2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子 ..... 朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥 ( 13 )

广东东江流域多氯萘的大气沉降研究 ..... 王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干 ( 20 )

塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征 ..... 段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳 ( 26 )

紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究 ..... 王灿,席劲瑛,胡洪管,姚远 ( 32 )

春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征 ..... 丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁 ( 37 )

春季胶州湾海水汞的形态研究 ..... 许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒 ( 42 )

丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素 ..... 蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风 ( 48 )

塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化 ..... 陈永金,李卫红,董杰,刘加珍 ( 55 )

某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟 ..... 马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱 ( 64 )

北京市城市降雨径流水质评价研究 ..... 侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平 ( 71 )

重庆市路面降雨径流特征及污染源解析 ..... 张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云 ( 76 )

沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究 ..... 陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文 ( 83 )

Pd/TiO<sub>2</sub> 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究 ..... 张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣 ( 88 )

pH 值对纳米零价铁吸附降解 2,4-二氯苯酚的影响 ..... 冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄 ( 94 )

给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究 ..... 陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超 ( 104 )

安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价 ..... 宋大平,庄大方,陈巍 ( 110 )

染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析 ..... 曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓 ( 117 )

间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究 ..... 谢志刚,邱雪敏,赵燕玲 ( 124 )

pH 及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响 ..... 庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕 ( 129 )

硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究 ..... 吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭 ( 135 )

农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用 ..... 徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华 ( 142 )

高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究 ..... 廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕 ( 147 )

活性污泥对四环素的吸附性能研究 ..... 陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方 ( 156 )

加油站油类污染物自然衰减现场试验研究 ..... 贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌 ( 163 )

生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法 ..... 宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新 ( 169 )

利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为 MUCT 工艺运行控制参数 ..... 王晓玲,尹军,高尚 ( 175 )

数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响 ..... 董峰,张捍民,杨凤林 ( 181 )

不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响 ..... 刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站 ( 191 )

间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究 ..... 曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联 ( 197 )

鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究 ..... 陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英 ( 203 )

北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估 ..... 陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐 ( 208 )

外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究 ..... 杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕 ( 216 )

赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建 ..... 朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春 ( 222 )

邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究 ..... 别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇 ( 228 )

纳米 TiO<sub>2</sub> 对短裸甲藻的毒性效应 ..... 李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇 ( 233 )

苏州河底泥 3 种内分泌干扰物的空间分布及环境风险 ..... 李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟 ( 239 )

电子废物拆解区农业土壤中 PCNs 的污染水平、分布特征与来源解析 ..... 王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟 ( 247 )

洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险 ..... 刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建 ( 253 )

湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价 ..... 刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治 ( 260 )

广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律 ..... 项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵 ( 266 )

缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究 ..... 吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋 ( 273 )

可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复 ..... 付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富 ( 280 )

胡敏酸对汞还原能力的测定和表征 ..... 江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅 ( 286 )

Zn(II) 对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响 ..... 黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅 ( 293 )

油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究 ..... 张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉 ( 299 )

利用 PCR-DGGE 分析未开发油气田地表微生物群落结构 ..... 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强 ( 305 )

黄土高原六道沟流域 8 种植物根际细菌与 AMF 群落多样性研究 ..... 封晔,唐明,陈辉,丛伟 ( 314 )

鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析 ..... 张健,关连珠,颜丽 ( 323 )

杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响 ..... 赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健 ( 329 )

《环境科学》征稿简则(7) 《环境科学》征订启事(19) 信息(47,70,202,304)

# 30年来中国民航运输行业的大气污染物排放

何吉成

(交通运输部规划研究院环境资源所,北京 100028)

**摘要:** 民航是我国重要的交通运输方式之一,但我国民航运输行业的大气污染物排放问题报道较少. 根据中国民航统计部门逐年统计数据,采用基于燃料消耗量的排放因子法,估算了1980~2009年中国民航飞机的大气污染物排放量,并分析了大气污染物排放强度及其变化. 结果表明,30年来中国民航飞机SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>和HC排放量逐年增多,分别由1980年的0.031、0.189、0.225和0.314万t增至2009年的1.183、7.298、8.705和12.159万t,排放量年均增加分别为0.0397、0.245、0.292和0.408万t. SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>和HC的排放强度呈降低趋势,其值分别由1980年的0.624、3.806、4.53和6.322 g·(t·km)<sup>-1</sup>降至2009年的0.275、1.697、2.025和2.828 g·(t·km)<sup>-1</sup>. 中国民航运输行业所排放的SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>占全国总排放量的比重很低,与其他行业排放量相比,中国民航运输行业所排放的大气污染物量也较小.

**关键词:** 中国民航; 飞机; 大气污染物; SO<sub>2</sub>; CO; HC; NO<sub>x</sub>

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)01-0001-07

## Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years

HE Ji-cheng

(Division of Environment and Resources Research, Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China)

**Abstract:** Although aircrafts are of great importance in transportation in China, there has been rare study on air pollutant emissions of aircrafts until now. Based on the annually statistical data collected by the Statistic Center of Civil Aviation of China, using the emission factor method derived from fuel consumption, the air pollutant emissions of aircrafts during 1980-2009 were calculated, and their emission intensities and dynamic characteristics were analyzed. The results show that the emissions of SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> and HC from aircrafts of China Civil Aviation increased from 0.31 thousand, 1.89 thousand, 2.25 thousand and 3.14 thousand tons in 1980 to 11.83 thousand, 72.98 thousand, 87.05 thousand and 121.59 thousand tons in 2009, indicating a increase of 0.397 thousand, 2.45 thousand, 2.92 thousand and 4.08 thousand tons per year, respectively. The emission intensities of SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> and HC decreased significantly from 0.624, 3.806, 4.53 and 6.322 g·(t·km)<sup>-1</sup> in 1980 to 0.275, 1.697, 2.025 and 2.828 g·(t·km)<sup>-1</sup> in 2009, respectively. SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> emissions of aircrafts of China Civil Aviation accounted very little of each total emissions in China, and the air pollutant emissions from aircrafts of China Civil Aviation was less than those from other industries in China.

**Key words:** civil aviation of China; aircraft; air pollutant; SO<sub>2</sub>; CO; HC; NO<sub>x</sub>

交通运输行业是重要的终端用能行业,随着我国客货运输量的快速增长,交通运输行业的化石能源消耗量逐年攀升. 交通运输工具燃烧化石燃料会排放多种大气污染物,其中SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等气体是影响大气环境质量的重要污染物,受到科学家和公众的普遍关注<sup>[1~5]</sup>. SO<sub>2</sub>可对呼吸系统造成伤害,还可导致硫酸型烟雾<sup>[6,7]</sup>,NO<sub>x</sub>和CO可以引发城市光化学烟雾污染<sup>[8,9]</sup>. 我国交通运输体系主要由公路、铁路、航空、水运、管道这5种运输方式构成,在我国交通运输行业的大气污染物排放研究方面,主要关注公路车辆尤其是城市机动车的排放问题<sup>[10~14]</sup>,徐雨晴等<sup>[15]</sup>对33年来我国铁路运输行业的大气污染物排放状况进行了研究. 比较而言,对飞机、船舶等非道路移动源的排放问题研究较少<sup>[16]</sup>. 随着我国经济的快速发展,近20年

来我国民航运输业每年以20%左右的速度递增<sup>[17]</sup>,民航运输总周转量已经连续数年位居世界第二位<sup>[18]</sup>,成为名副其实的航空大国. 民航飞机发动机燃烧航空燃油会直接排放SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>和HC(碳氢化合物)等大气污染物. 目前我国已有的研究工作主要关注飞机起飞着陆过程中机场附近的近地面污染气体排放<sup>[19,20]</sup>和巡航状态的NO<sub>x</sub>排放问题<sup>[21~23]</sup>,但对整个民航运输行业多年来的大气污染物排放量及排放强度变化的研究工作还未见报道. 本研究基于我国民航行业逐年来的统计数据来估算大气污染物排放量,探讨30年来我国民

收稿日期: 2011-02-14; 修订日期: 2011-04-28

基金项目: 中国气象局2011年气候变化专项(CCSF2011-14)

作者简介: 何吉成(1976~),男,博士,副研究员,主要研究方向为交通运输行业环境、能源、自然灾害、温室气体和大气污染物排放等, E-mail: jichenghe@gmail.com

航空运输行业的大气污染物排放规律及其强度变化,并与铁路机车和公路汽车排放情况进行了比较,分析了民航运输行业大气污染物排放占全国排放总量的比重及其变化,以期为我国民航运输行业制定节能减排对策提供参考。

## 1 数据来源与计算方法

### 1.1 数据来源及说明

本研究中我国民航飞机逐年耗油量、货邮周转量和旅客周转量等数据来自我国民航统计部门的年鉴类统计资料<sup>[24]</sup>。民航飞机的航空燃油分为航空汽油(aviation gasoline)、喷气机汽油(jet gasoline)和喷气机煤油(jet kerosene),20世纪80年代以来我国民航飞机广泛使用的燃料是喷气机煤油<sup>[25]</sup>,因此我国民航飞机的大气污染物排放主要是消耗喷气机煤油导致的污染气体排放。

### 1.2 大气污染物排放量的计算方法

民航飞机大气污染物排放量的估算采用基于燃油消耗量的排放因子法,我国民航主流机型是波音系列和空客系列,但飞机具体型号较多,在年度统计上,只有总的燃油消耗量,没有对不同型号飞机的燃油消耗状况分别进行统计。若要获得不同型号民航飞机的燃油消耗状况和污染物排放水平,不仅十分困难,而且意义不大,采用燃油消耗总量和平均排放因子来定量分析我国民航飞机污染物排放状况更实际一些。飞机的飞行过程分为滑行、起飞、爬升、巡航、进近和着陆几个阶段<sup>[17]</sup>,其中滑行、起飞、爬升、进近和着陆又称为起飞着陆(LTO)循环,因此飞机飞行过程一般被分为LTO阶段和巡航阶段,其中巡航阶段大约要消耗90%左右的燃油<sup>[26]</sup>。LTO阶段的污染物排放问题十分复杂,它取决于飞机型号、配属的发动机型号、发动机工作模式、燃油流速等多种因素,我国民航飞机型号种类繁多、飞机型号与发动机型号并非完全一一对应<sup>[19]</sup>,这些因素造成估算我国民航飞机LTO阶段的污染物排放十分困难,考虑到大量的燃油消耗和污染物排放主要发生在巡航阶段,因此本研究只估算巡航阶段的民航飞机污染物排放量。适当的排放因子对获得可靠的估算结果较为重要,在本研究中,采用刘高恩等<sup>[20]</sup>的飞机发动机排气污染物试验测定数据来获得民航飞机大气污染物的排放因子。

民航飞机的SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>和HC年排放量计算公式为:

$$P_{ij} = \frac{Y_i \times 0.9 \times K_j}{10^3} \quad (1)$$

式中, $P_{ij}$ 为民航飞机*i*年所排放的*j*种大气污染物数量(万t), $Y_i$ 为民航飞机*i*年的航空燃油消耗量(万t),0.9表示巡航阶段飞机消耗的燃油比例, $K_j$ 为民航飞机*j*种大气污染物的排放因子。刘高恩等<sup>[20]</sup>测定了飞机发动机在30%和85%额定推力状态下的CO、NO<sub>x</sub>和HC排放因子,巡航阶段飞机发动机推力一般为额定推力的70%<sup>[22]</sup>,基于刘高恩等<sup>[20]</sup>试验测定数据,可以估算出巡航阶段CO、NO<sub>x</sub>和HC的排放因子,其值分别为6.17、7.36和10.28 g·kg<sup>-1</sup>,巡航阶段SO<sub>2</sub>排放因子取1 g·kg<sup>-1</sup><sup>[19]</sup>。

### 1.3 大气污染物排放强度的计算方法

在民航运输统计中,旅客周转量(人·km)和货邮周转量(t·km)分别进行了统计,但没有将货运和客运各自的燃油消耗量分开进行统计。一般采用运输总周转量作为反映每年实际完成的旅客、货物周转量的综合指标,采用换算吨公里作为计量运输总周转量的单位,为了简洁起见,以下将换算吨公里简称为t·km。过去每位旅客按75 kg来折算,从2001年开始,采用国际通行的统计口径,每位旅客按90 kg来折算<sup>[24]</sup>,为了便于比较,本研究统一采用90 kg来折算旅客周转量。针对我国民航运输行业特点,笔者设定民航飞机某种大气污染物排放强度为单位运输总周转量的排放量,具体为每换算吨公里的污染物排放量。

## 2 我国民航飞机大气污染物排放量及排放强度

### 2.1 排放量

1980~2009年我国民航飞机的SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>和HC的排放量变化基本相似,均呈逐年上升之势。具体而言,SO<sub>2</sub>由1980年的0.031万t增至2009年的1.183万t,年均排放量为0.351万t,年均增长量达0.0397万t,其中1990年增至0.1万t以上,2002年增至0.5万t以上,2007年以后超过1.0万t[图1(a)]。就CO来说,其排放量由1980年的0.189万t增至2009年的7.298万t,年均排放量为2.168万t,年均增长量达0.245万t,其中1987年增至0.5万t以上,1993年增至1.0万t以上,2006年以后增至5万t以上[图1(b)]。就NO<sub>x</sub>而言,其排放量由1980年的0.225万t增至2009年的8.705万t,年均排放量为2.586万t,年均增长量为0.292万t,其中1992年增至1.0万t以上,2004年以后增至5万t以上[图1(c)]。HC排放量则由1980年的0.314

万 t 增至 2009 年的 12.159 万 t, 年均排放量为 3.612 万 t, 年均增长量达 0.408 万 t, 其中 1990 年增至 1.0 万 t 以上, 2002 年以后增至 5.0 万 t 以上 [图 1(d)].

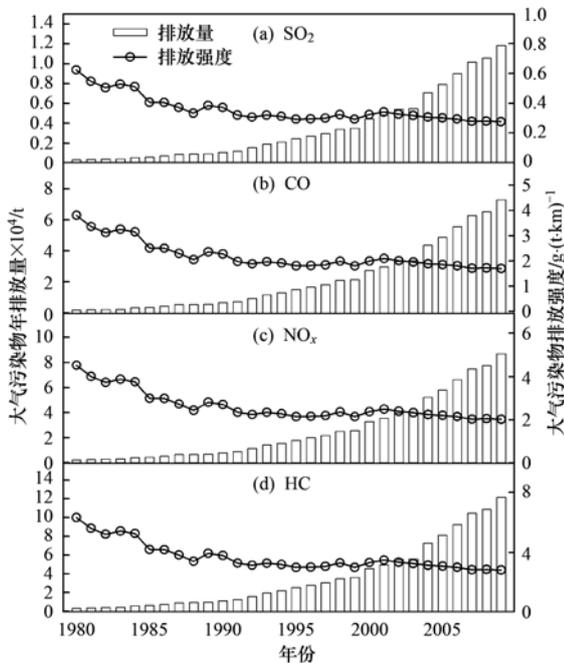


图1 我国民航飞机  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  和 HC 逐年排放量及强度

Fig. 1 Annual  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  and HC emissions and their intensities of aircraft in China

## 2.2 排放强度

$\text{SO}_2$  的排放强度由 1980 年的  $0.624 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  降至 2009 年的  $0.275 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ , 年均降低  $0.012 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ , 其中 1985 年降至  $0.5 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  以下, 1987 年以后降至  $0.4 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  以下, 1980 ~ 2009 年年均排放强度为  $0.359 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  左右 [图 1(a)]. 就 CO 而言, 其排放强度由 1980 年的  $3.806 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  降至 2009 年的  $1.697 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ , 年均降低  $0.0727 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ , 其中 1985 年降至  $3.0 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  以下, 1980 ~ 2009 年年均排放强度为  $2.214 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  [图 1(b)]. 就  $\text{NO}_x$  来说, 其排放强度由 1980 年的  $4.53 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  降至 2009 年的  $2.025 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ , 年均降低  $0.086 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ , 其中 1982 年降至  $4.0 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  以下, 1986 年降至  $3.0 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  以下, 1980 ~ 2009 年年均排放强度为  $2.64 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  [图 1(c)]. HC 排放强度则由 1980 年的  $6.322 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  降至 2009 年的  $2.828 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ , 年均降低  $0.120 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ , 其中

1985 年降至  $5.0 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  以下, 2007 年以后降至  $3.0 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  以下, 1980 ~ 2009 年年均排放强度为  $3.69 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  [图 1(d)].

## 2.3 与其它交通方式排放量的比较

徐雨晴等<sup>[15]</sup>基于铁路部门的统计数据估算了 1975 ~ 2007 年中国铁路机车大气污染物逐年排放量, 与铁路机车排放相比 [图 2], 1994 年以前, 民航飞机排放  $\text{SO}_2$  很少, 不到铁路机车排放量的 1%, 从 2000 年开始, 民航飞机与铁路机车的  $\text{SO}_2$  排放量差距逐渐缩小, 2002 年民航飞机的排放量已经达到铁路机车的一半, 2007 年已接近后者的 90%, 1980 ~ 2007 年期间民航飞机  $\text{SO}_2$  排放量占铁路机车  $\text{SO}_2$  排放量的平均比例为 16.8% [图 2(a)]. 就 CO 来说, 1998 年以前, 民航飞机排放量不到铁路机车排放量的 10%, 但从 1998 年以后, 民航飞机排放量逐步接近铁路机车的排放量, 2003 年超过铁路机车的排放量, 2007 年已是后者的 1.7 倍, 1980 ~ 2007 年期间民航飞机 CO 排放量占铁路机车 CO 排放量的平均比例为 33.6% [图 2(b)]. 与铁路机车相比, 民航飞机的  $\text{NO}_x$  排放量一直较低, 1997 年以前, 民航飞机排放量不到铁路机车排放量的 10%, 2004 年超过 20%, 2007 年接近 30%, 1980 ~ 2007 年期间民航飞机  $\text{NO}_x$  排放量占铁路机车  $\text{NO}_x$  排放量的平均比例仅有 10.5% [图 2(c)]. 就 HC 而言, 1997 年以前, 民航飞机排放量不到铁路机车排放量的 10%, 但从 1997 年以后, 民航飞机排放量逐步接近铁路机车的排放量, 2001 年就超过铁路机车的排放量, 2005 年已是后者的 3.1 倍, 2007 年是后者近 4 倍, 1980 ~ 2007 年期间民航飞机 HC 排放量占铁路机车 HC 排放量的平均比例为 75.2% [图 2(d)].

国家环保部估算了 1980 ~ 2009 我国汽车  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  和 HC 的排放量<sup>[27]</sup>, 结合本研究的计算结果可看出 (图 3), 我国民航飞机  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  和 HC 排放量占全国汽车排放量的比重较低,  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  和 HC 占后者的平均比重分别为 1.21‰、7.71‰ 和 15.56‰, 但其比重均呈上升之势, 分别由 1980 年的 1.00‰、4.39‰ 和 9.97‰ 升至 2009 年的 2.39‰、16.37‰ 和 33.86‰.

## 3 讨论

在我国环境状况逐年统计资料中, 大气污染物中只有  $\text{SO}_2$  和烟尘的全国逐年排放量数据较为连续和完整. 根据文献 [28 ~ 30], 对我国 1985 ~ 2007 年  $\text{SO}_2$  排放量的统计数据, 结合本研究的计算结果可

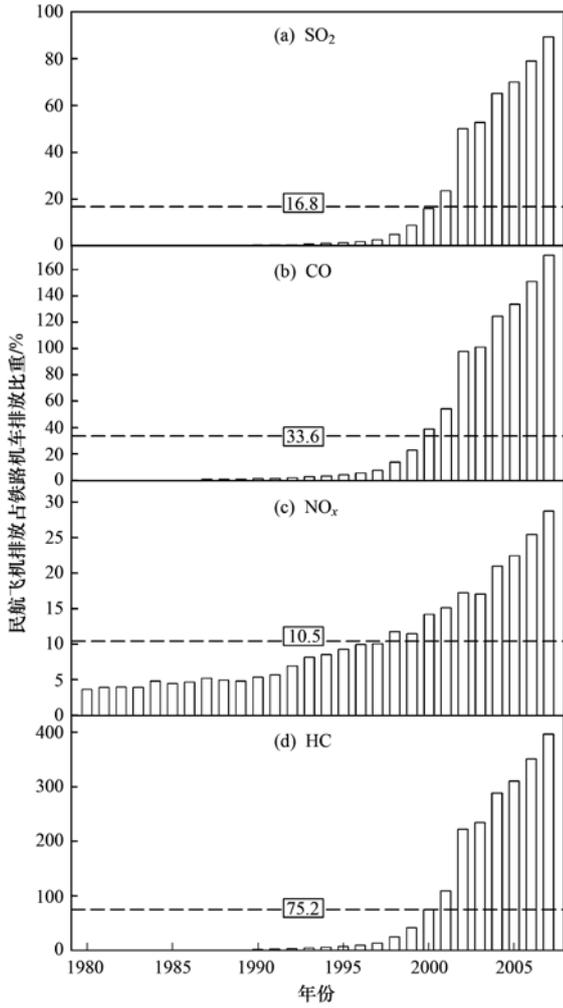


图2 民航飞机 SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub> 和 HC 排放量占  
铁路机车排放量的比重

Fig. 2 Percentage of SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> and HC emissions of aircraft  
to the emissions of locomotives in China

看出,我国民航飞机 SO<sub>2</sub> 排放量占全国 SO<sub>2</sub> 排放量的比重很小,1985 ~ 2007 年的平均比重只有 0.168%,但比重在逐年上升,由 1985 年的 0.045% 增至 2007 年的 0.412%,年均增长 0.017% (图 4).

据田贺忠等<sup>[32]</sup>的研究,1991、1998 和 1999 年我国生物质燃料燃烧排放的 SO<sub>2</sub> 分别为 38.1、31.2 和 33.2 万 t,上述年份我国民航飞机 SO<sub>2</sub> 排放量远低于生物质燃烧的排放量,分别只有前者的 3.1%、10.9%和 10.5%。

我国 NO<sub>x</sub> 排放量统计十分薄弱,直到 2006 年才纳入国家环境统计范围中,因此全国及行业的 NO<sub>x</sub> 排放量数据只能在部分研究工作中获得 (表 1). 通过比较发现,我国民航飞机 NO<sub>x</sub> 年排放量占全国总排放量比重很小,不到 5% (平均值仅为

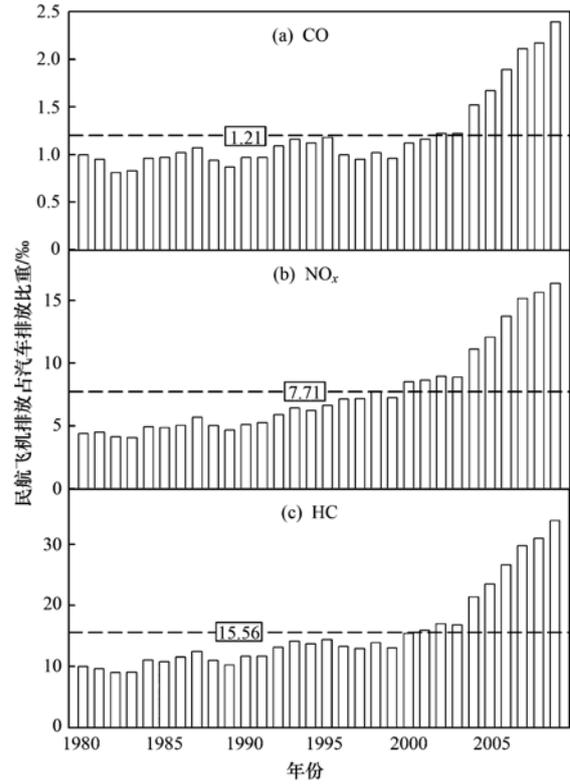


图3 民航飞机 CO、NO<sub>x</sub> 和 HC 排放量占  
全国汽车排放量的比重

Fig. 3 Percentage of CO, NO<sub>x</sub> and HC emissions of aircraft  
to the emissions of vehicles in China

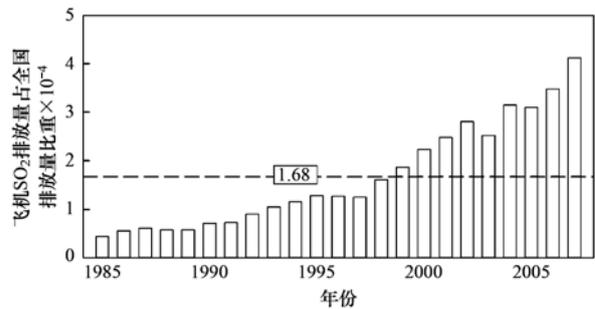


图4 民航飞机 SO<sub>2</sub> 排放量占全国排放量的比重

Fig. 4 Percentage of SO<sub>2</sub> emissions of aircraft to the  
total emissions in China

2.11%)。1991、1998 和 1999 年我国生物质燃料燃烧排放的 NO<sub>x</sub> 分别为 54.9、45.5 和 45.3 万 t<sup>[32]</sup>, 上述年份我国民航飞机 NO<sub>x</sub> 排放量分别只有前者的 1.6%、5.5% 和 5.7%。田贺忠等<sup>[33]</sup> 研究表明 1997 年我国交通运输行业排放了 130.86 万 t NO<sub>x</sub>, 1997 年我国民航飞机共排放了 2.17 万 t NO<sub>x</sub>, 仅占交通运输行业排放总量的 1.7%。

表 1 民航飞机 NO<sub>x</sub> 排放量占全国排放量比重Table 1 Percentage of NO<sub>x</sub> emissions of aircraft to the total emissions in China

年份	全国排放量数据/万 t	全国排放量均值/万 t	民航飞机排放量占全国排放量比重/%
1980	476 <sup>[34]</sup>	476	0.47
1988	784.9 <sup>[35]</sup>	784.9	0.83
1990	840 <sup>[33]</sup> ;842.2 <sup>[35]</sup> ;827.3 <sup>[36]</sup> ;954 <sup>[37]</sup>	865.9	0.91
1995	1 130 <sup>[34]</sup> ;1 199.1 <sup>[37]</sup>	1 164.6	1.54
1996	1 203 <sup>[34]</sup>	1 203	1.66
1997	1 167 <sup>[34]</sup>	1 167	1.86
1998	1 118 <sup>[34]</sup>	1 118	2.24
2000	1 371.9 <sup>[36]</sup> ;1 112.1 <sup>[38]</sup> ;1 135 <sup>[39]</sup>	1 206.3	2.71
2006	1 524 <sup>[31]</sup>	1 524	4.35
2007	1 643 <sup>[31]</sup>	1 643	4.56

就 CO 而言, Tonooka 等<sup>[40]</sup> 估计我国 1990 年的 CO 排放量为 8 740 万 t, Streets 等<sup>[37]</sup> 的估算值为 9 795 万 t, 取平均值为 9 268 万 t, Streets 等<sup>[37]</sup> 估算的我国 1995 年 CO 排放量为 11 267 万 t, 王丽涛等<sup>[41]</sup> 通过清单法估算的我国 2001 年 CO 排放量为  $1.5 \times 10^4$  万 t. 通过对比可以看出, 我国民航飞机 1990、1995 和 2001 年的 CO 排放量分别只占全国总排放量的 0.07‰、0.13‰ 和 0.20‰. Streets 等<sup>[37]</sup> 认为 1995 年我国交通运输行业排放的 CO 占全国总排量的 22%, 为 2 478.7 万 t, 按此数估算的话, 1995 年我国民航飞机 CO 排放量仅占全国交通运输行业排放量的 0.61‰.

本研究是基于燃油消耗量和平均排放因子来估算中国民航飞机大气污染物排放量的, 燃油类型是 20 世纪 80 年代以来我国民航飞机广泛使用的喷气机煤油. 喷气机煤油是由直馏馏分、加氢裂化和加氢精制等组分及必要的添加剂调和而成的一种透明液体, 主要由不同馏分的烃类化合物组成. 我国民航使用的喷气机煤油型号为 Jet A-1, 其最高凝固点温度为  $-47^{\circ}\text{C}$ , 碳氢比为 12:23<sup>[42]</sup>, 其物理特性、化学组成和燃烧性能均有严格的统一规范, 并根据国际标准规格来生产的, 其燃油油质成分和发热量是固定的. 因此本研究不必像地面交通燃烧汽油、柴油等燃料时需要考虑油质成分、燃油型号等因素对污染物排放的影响, 直接采用基于燃油消耗量和平均排放因子来估算中国民航飞机大气污染物排放量是可行的.

航空分为民用航空和军事航空, 民用航空又分为商业航空和通用航空, 我国民航统计部门只对商业航空的燃油消耗有较为详细的统计. 考虑到军事保密, 各国的军事航空机队规模和飞行活动数据一般很难获得, 国外有研究认为 20 世纪 90 年代军事

航空燃油消耗占全球航空燃油消耗总量的 18%, 2002 年这一比例降为 11% 左右<sup>[42]</sup>, 目前尚无法获得我国军事航空的燃油消耗比例数据. 与商业航空相比, 我国工业航空、农业航空、航空科研等通用航空活动较少, 执行飞行活动的多数是小型飞机, 航空燃油消耗量较小, 加之缺乏这方面的数据统计, 因此本研究中只考虑了民航运输中的商业航空部分, 没有对全国各类航空活动造成的大气污染物排放进行分析讨论. 随着以后有关部门统计数据完善, 将农业、救灾等通用航空活动纳入进来, 其估算结果会更全面.

本研究讨论的是我国民航飞机 SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub> 和 HC 这 4 种一次污染物排放情况. 一次污染物在空气中相互作用或与空气的正常组分发生化学反应或者光化学反应而生成新污染物, 称为二次污染物 (secondary pollutant), 如硫酸雾、硝酸雾、光化学烟雾、臭氧、过氧乙酰硝酸酯等, 二次污染物毒性一般较一次污染物强, 其对生物和人体的危害也要更严重. 但二次污染物的形成机制十分复杂, 因此民航飞机大气污染物的化学变化以及引发的二次污染物问题有待进一步去分析探讨.

#### 4 结论

(1) 1980 ~ 2009 年, 我国民航飞机的 SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub> 和 HC 的排放量均呈增长之势. SO<sub>2</sub> 由 1980 年的 0.031 万 t 增至 2009 年的 1.183 万 t, 年均增加 0.039 7 万 t; CO 由 1980 年的 0.189 万 t 增至 2009 年的 7.298 万 t, 年均增长 0.245 万 t; NO<sub>x</sub> 由 1980 年的 0.225 万 t 增至 2009 年的 8.705 万 t, 年均增长 0.292 万 t; HC 则由 1980 年的 0.314 万 t 增至 2009 年的 12.159 万 t, 年均增长 0.408 万 t.

(2) 就大气污染物排放强度来说, 1980 ~ 2009

年我国民航飞机  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  和 HC 这 4 种污染物的排放强度均逐年降低。 $\text{SO}_2$  由 1980 年的  $0.624 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  降至 2009 年的  $0.275 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ ,  $\text{CO}$  由 1980 年的  $3.806 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  降至 2009 年的  $1.697 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ ,  $\text{NO}_x$  的排放强度则由 1980 年的  $4.53 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  降至 2009 年的  $2.025 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ , HC 排放强度由 1980 年的  $6.322 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$  降至 2009 年的  $2.828 \text{ g} \cdot (\text{t} \cdot \text{km})^{-1}$ 。

(3) 我国民航运输行业所排放的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  占全国总排放量的比重很低,但其比重呈增高态势,与其他行业排放量相比,我国民航运输行业所排放的大气污染物量也较小。

#### 参考文献:

- [1] Wang W X, Chai F H, Zhang K, *et al.* Study on ambient air quality in Beijing for the summer 2008 Olympic Games [J]. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 2008, **1**(1): 31-36.
- [2] Streets D G, Fu J S, Jang C J, *et al.* Air quality during the 2008 Beijing Olympic Games [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(3): 480-492.
- [3] Sun Y, Wang Y S, Zhang C C. Measurement of the vertical profile of atmospheric  $\text{SO}_2$  during the heating period in Beijing on days of high air pollution [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(2): 468-472.
- [4] Shao M, Zhang Y H, Zeng L M, *et al.* Ground-level ozone in the Pearl River Delta and the roles of VOC and  $\text{NO}_x$  in its production [J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, **90**(1): 512-518.
- [5] 潘月鹏,王跃思,胡波,等.北京奥运时段河北香河大气污染观测研究[J].*环境科学*, 2010, **31**(1): 1-9.
- [6] 吴小玲,张斌,艾南山,等.基于小波变换的上海市近 10 年  $\text{SO}_2$  污染指数的变化[J].*环境科学*, 2009, **30**(8): 2193-2198.
- [7] 刘洁,张小玲,徐晓峰,等.北京地区  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_3$  和  $\text{PM}_{2.5}$  变化特征的城郊对比分析[J].*环境科学*, 2008, **29**(4): 1059-1065.
- [8] 安俊琳,李昕,王跃思,等.北京气象塔夏季大气  $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_x$  和  $\text{CO}$  浓度变化的观测实验[J].*环境科学*, 2003, **24**(6): 43-47.
- [9] 薛敏,王跃思,孙扬,等.北京市大气中  $\text{CO}$  的浓度变化监测分析[J].*环境科学*, 2006, **27**(2): 200-206.
- [10] 邓顺熙,董小林.我国山岭公路汽车  $\text{CO}$ 、 $\text{HC}_s$  和  $\text{NO}_x$  排放系数[J].*环境科学*, 2000, **21**(1): 109-112.
- [11] Cai H, Xie S D. Estimation of vehicular emission inventories in China from 1980 to 2005 [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(39): 8963-8979.
- [12] 汪婷,谢绍东.北京奥运交通限行前后街道机动车污染的模拟[J].*环境科学*, 2010, **31**(3): 566-572.
- [13] 傅立新,郝吉明,何东全,等.北京市机动车污染物排放特征[J].*环境科学*, 2000, **21**(3): 68-70.
- [14] 谢绍东,宋翔宇,申新华.应用 COPERT III 模型计算中国机动车排放因子[J].*环境科学*, 2006, **27**(3): 415-419.
- [15] 徐雨晴,何吉成,王长科.33年来中国铁路运输行业的大气污染物排放[J].*环境科学*, 2011, **32**(5): 1217-1223.
- [16] 张礼俊,郑君瑜,尹沙沙,等.珠江三角洲非道路移动源排放清单开发[J].*环境科学*, 2010, **31**(4): 886-891.
- [17] 刘得一.民航概论[M].北京:中国民航出版社,2010.
- [18] 周丽萍.中国民航业的发展:问题与对策[J].*中国民用航空*, 2010, **112**(4): 28-30.
- [19] 夏卿,左洪福,杨军利.中国民航机场飞机起飞着陆(LTO)循环排放量估算[J].*环境科学学报*, 2008, **28**(7): 1469-1474.
- [20] 刘高恩,王华芳,吕品,等.飞机发动机排气污染物的测量[J].*航空动力学报*, 2003, **18**(3): 348-352.
- [21] 黄勇,周桂林,吴寿生.中国上空民航飞机  $\text{NO}_x$  排放量及其分布初探[J].*环境科学学报*, 2000, **20**(2): 179-182.
- [22] 黄勇,吴冬莺,王金涛,等.中国上空民航飞机  $\text{NO}_x$  排放分布再探[J].*北京航空航天大学学报*, 2001, **27**(3): 289-292.
- [23] Liu Y, Isaksen I S A, Sundet J K, *et al.* Impact of aircraft  $\text{NO}_x$  emission on  $\text{NO}_x$  and ozone over China [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, **20**(4): 565-574.
- [24] 中国民用航空局发展计划司.从统计看民航(1992-2010)[M].北京:中国民航出版社,1992-2010.
- [25] 黄强,蔡琦,章晓慧.中国民航减排的压力与对策[J].*交通建设与管理*, 2010, (4): 20-25.
- [26] IPCC 国家温室气体清单计划编写委员会.2006年IPCC国家温室气体清单指南[M].日本:日本全球环境战略研究所,2006.
- [27] 中华人民共和国环境保护部.中国机动车污染防治年报[R].2010.
- [28] 《中国环境年鉴》编辑委员会.中国环境年鉴(1985-1993年)[M].北京:中国环境科学出版社,1986-1994.
- [29] 《中国环境年鉴》编辑委员会.中国环境年鉴(1994-2001年)[M].北京:中国环境年鉴社,1995-2002.
- [30] 国家环境保护总局.中国环境统计年报(2006)[M].北京:中国环境科学出版社,2007.1-15.
- [31] 中华人民共和国环境保护部.中国环境统计年报(2007)[M].北京:中国环境科学出版社,2008.3-16.
- [32] 田贺忠,郝吉明,陆永琪,等.中国生物质燃烧排放  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  量的估算[J].*环境科学学报*, 2002, **22**(2): 204-208.
- [33] 田贺忠,郝吉明,陆永琪.中国商品能源消耗导致的氮氧化物排放量[J].*环境科学*, 2001, **22**(6): 24-28.
- [34] 田贺忠,郝吉明,陆永琪,等.中国氮氧化物排放清单及分布特征[J].*中国环境科学*, 2001, **21**(6): 493-497.
- [35] 王文兴,王玮,张婉华,等.我国  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  排放强度地理分布和历史趋势[J].*中国环境科学*, 1996, **16**(3): 161-167.
- [36] Van Aardenne J A, Carmichael G R, Levy H II, *et al.* Anthropogenic  $\text{NO}_x$  emissions in Asia in the period 1990-2020 [J]. *Atmospheric Environment*, 1999, **33**(4): 633-646.
- [37] Streets D G, Waldhoff S T. Present and future emissions of air pollutants in China:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , and  $\text{CO}$  [J]. *Atmospheric*

- Environment, 2000, **34**(3): 363-374.
- [38] 孙庆贺, 陆永琪, 傅立新, 等. 我国氮氧化物排放因子的修正和排放量计算: 2000 年 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2004, **5**(2): 90-94.
- [39] Streets D G, Bond T C, Carmichael G R, *et al.* An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000 [J]. Journal of Geographical Research, 2003, **108** (D21): 8809-8831.
- [40] Tonooka Y, Kannari A, Higashino H, *et al.* NMVOCs and CO emission inventory in East Asia [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2001, **130**(1-4): 199-204.
- [41] 王丽涛, 张强, 郝吉明, 等. 中国大陆 CO 人为源排放清单 [J]. 环境科学学报, 2005, **25**(12): 1580-1585.
- [42] Lee D S, Pitari G, Grewe V, *et al.* Transport impacts on atmosphere and climate: aviation [J]. Atmospheric Environment, 2010, **44**(37): 4678-4734.

## 《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站([www.hjxx.ac.cn](http://www.hjxx.ac.cn))进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按 GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过 20 字,少用副标题.

4. 中文摘要不少于 300 字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如 mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用 1, 1.1, 1.1.1 的形式,左起顶格书写,3 级以下标题可用(1), (2)……表示,后缩 2 格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:

**期刊:**作者(外文也要姓列名前).论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页-止页.

**图书:**作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页-止页.

**会议文集:**作者.论文名[A].见(In):编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页-止页.

**学位论文:**作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.

**报告:**作者.论文名[R].出版地:出版单位,出版年.

**专利:**专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.

11. 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在 3 个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.

12. 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市 2871 信箱;邮编:100085;电话:010-62941102,010-62849343;传真:010-62849343;E-mail: [hjxx@rcees.ac.cn](mailto:hjxx@rcees.ac.cn);网址:[www.hjxx.ac.cn](http://www.hjxx.ac.cn)

## CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years .....	HE Ji-cheng ( 1 )
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH <sub>4</sub> and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station .....	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> ( 8 )
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010 .....	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> ( 13 )
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province .....	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> ( 20 )
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert .....	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> ( 26 )
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene .....	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> ( 32 )
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring .....	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> ( 37 )
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring .....	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> ( 42 )
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan .....	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> ( 48 )
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River .....	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> ( 55 )
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill .....	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> ( 64 )
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff .....	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> ( 71 )
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing .....	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> ( 76 )
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration .....	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> ( 83 )
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO <sub>2</sub> .....	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> ( 88 )
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron .....	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> ( 94 )
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System .....	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> ( 104 )
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province .....	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei ( 110 )
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater .....	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> ( 117 )
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon .....	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling ( 124 )
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments .....	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> ( 129 )
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments .....	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> ( 135 )
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues .....	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> ( 142 )
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons .....	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> ( 147 )
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge .....	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> ( 156 )
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station .....	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> ( 163 )
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil .....	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> ( 169 )
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone .....	WANG Xiao-ling, YIN Jun, GAO Shang ( 175 )
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter .....	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin ( 181 )
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System .....	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> ( 191 )
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter .....	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> ( 197 )
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane .....	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> ( 203 )
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing .....	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> ( 208 )
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme .....	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> ( 216 )
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection .....	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> ( 222 )
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i> .....	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> ( 228 )
Toxic Effects of Nano-TiO <sub>2</sub> on <i>Gymnodinium breve</i> .....	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> ( 233 )
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks .....	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> ( 239 )
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area .....	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> ( 247 )
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk .....	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> ( 253 )
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin .....	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> ( 260 )
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China .....	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> ( 266 )
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions .....	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> ( 273 )
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology .....	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> ( 280 )
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury .....	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> ( 286 )
Effect of Zn ( II ) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source .....	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> ( 293 )
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil .....	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> ( 299 )
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE .....	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> ( 305 )
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China .....	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> ( 314 )
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation .....	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li ( 323 )
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions .....	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> ( 329 )

# 《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1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 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

国内外公开发刊