

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第4期

Vol.36 No.4

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

中美空气质量指数(AQI)对比研究及启示	高庆先,刘俊蓉,李文涛,高文康(1141)
2013年1月北京市PM _{2.5} 区域来源解析	李璇,聂滕,齐珺,周震,孙雪松(1148)
2013年1月北京市一次空气重污染成因分析	程念亮,李云婷,张大伟,聂滕,邱启鸿,徐文帅(1154)
上海大气总悬浮颗粒物中金属的可溶性特征	常燕,冯冲,瞿建国,张经(1164)
厦门春季PM ₁₀ 中PAHs成分谱特征及其与气象要素相关性分析	张健,樊曙先,孙玉,张悦,魏锦成(1173)
硫氧同位素示踪南京北郊大气PM _{2.5} 中硫酸盐来源	魏英,郭照冰,葛鑫,祝胜男,姜文娟,石磊,陈姝(1182)
结合激光雷达分析2014年春季南京地区一次大气污染过程	包青,贺军亮,查勇,程峰,李倩楠(1187)
春季华东高山背景区域PM _{2.5} 和PM _{2.5-10} 中水溶性无机离子特征	苏彬彬,张智胜,陶俊,许梹洋,纪贤鑫,刘心东,张若宇(1195)
落叶燃烧排放的颗粒物及有机碳、元素碳的研究	杨伟宗,刘刚,李久海,徐慧,吴丹(1202)
四川省秸秆露天焚烧污染物排放清单及时空分布特征	何敏,王幸锐,韩丽,冯小琼,毛雪(1208)
深圳市船舶排放清单与时空特征研究	杨静,尹佩玲,叶斯琪,王水胜,郑君瑜,区家敏(1217)
超细颗粒通过建筑狭缝的传输特性	孙在,陈秋方,蔡志良,杨文俊,汪晗(1227)
空调病房真菌气溶胶浓度及粒径分布特征	张华玲,冯鹤华,方子梁,王本栋,李丹(1234)
基于氢氧稳定同位素的黄土高原云下二次蒸发效应	靳晓刚,张明军,王圣杰,朱小凡,董蕾,任正果,陈粉丽(1241)
黄河小浪底水库水沙调控对DOC输送的影响	张永领,王明仕,董玉龙(1249)
调水调沙工程长期实施对黄河口近岸沉积物粒度分布与黏土矿物组成特征的影响	王苗苗,孙志高,卢晓宁,王伟,王传远(1256)
春季生物作用对山地岩溶池水地球化学特征的影响	于正良,杨平恒,赵瑞一,李林立,张琳,童小容,罗刚(1263)
降雨期间岩溶城镇区地下水重金属变化特征及来源解析	任坤,杨平恒,江泽利,王尊波,师阳,王凤康,李晓春(1270)
北江和珠江广州河段水体的三卤甲烷风险评价	钟惠舟,韦朝海(1277)
丰水期洪湖水水质空间变异特征及驱动力分析	李昆,王玲,李兆华,王祥荣,陈红兵,吴忠,朱鹏(1285)
三峡库区典型干-支流相互作用过程中的营养盐交换:以梅溪河为例	操满,傅家楠,周子然,邓兵,王雨春,汪福顺(1293)
营养盐输入对太湖水体中磷形态转化及藻类生长的影响	王睿喆,王沛芳,任凌霄,王超,王颖雪(1301)
一小型藻华池塘浮游植物群落动态及其影响因子研究	杨文,朱津永,张克鑫,万莉,陆开宏(1309)
昌黎生态监控区夏季浮游植物群落年际变化特征分析	梁晓林,杨阳,王玉良,张月明,赵志楠,韩晓庆,张鉴达,高伟明(1317)
河道曝气提升河流水质的WASP模型研究	朱文博,王洪秀,柳翠,张建,梁爽(1326)
γ辐射降解水中的盐酸丙沙星的研究	祝胜男,郭照冰,赵永富,葛鑫,魏英,陈姝,王静(1332)
电化学氢化物发生法处理含锑废水及对锑的回收	陈京晶,张国平,李海霞,付志平,欧阳小雪,吴琼(1338)
Fe-MCM-41催化臭氧氧化间甲酚废水	孙文静,王亚旻,卫皇墨,王森,李旭宁,李敬美,孙承林,安路阳(1345)
生物阳极及其反转为生物阴极降解氯霉素	孔德勇,梁斌,云慧,王爱杰,任南琪(1352)
308 nm光作用下α-Fe ₂ O ₃ 表面HNO ₃ 的光解	陆军,孙云东,谢晶晶,赵军,邹家骥,朱承强(1359)
L-组氨酸-赤藓红复合膜修饰电极同时检测对苯二酚、邻苯二酚	何家洪,徐强,丁武泉,李强(1365)
酞基功能型高分子生物载体(PET-AQS)制备及催化生物反硝化特性研究	许晴,侯正浩,田秀蕾,牛春梅,郭延凯,廉静,郭建博(1374)
枯草芽孢杆菌对土霉素和2-甲基异冰片的降解动力学特性	马念念,罗国芝,谭洪新,姚妙兰,王晓用(1379)
嗜碱降解菌筛选及其对焦化废水强化处理	李静,李文英(1385)
Fe ³⁺ 对同步硝化反硝化过程氮元素迁移转化及N ₂ O释放的影响	李浩,闫玉洁,谢慧君,贾文林,胡振,张建(1392)
内循环半短程亚硝化工艺运行条件与微生物群落研究	赵志瑞,焦海华,崔丙健,黄迪,曹世超,王云,刘上千,马斌,白志辉(1399)
利用处理含4-氯苯酚模拟废水的剩余污泥培养普通小球藻	王璐,陈秀荣,闫龙,何怡萱,施震东(1406)
进水渗滤液总氮和BOD ₅ /TN对填埋场反应器反硝化和厌氧氨氧化协同脱氮的影响	杨盈盈,陈奕,李明杰,谢冰(1412)
重庆金佛山土壤中PAHs含量的海拔梯度分布及来源解析	师阳,孙玉川,梁作兵,任坤,袁道先(1417)
湖南攸县典型煤矿和工矿区水稻田土壤镉污染特征及污染途径分析	张敏,王美娥,陈卫平,牛俊杰(1425)
沟渠化对三江平原湿地铁元素沉积过程的影响	苏文辉,于晓菲,王国平,栾金花,邹元春(1431)
施用磷酸盐和沸石对土壤镉形态转化的影响	王秀丽,梁成华,马子惠,韩月(1437)
不同条件下皂苷对污染壤土中Cu、Pb的淋洗修复	邓红侠,杨亚莉,李珍,许岩,李荣华,孟昭福,杨亚提(1445)
陕北某化工企业周围污灌区土壤-作物系统重金属积累特征及评价	齐雁冰,楚万林,蒲洁,刘梦云,常庆瑞(1453)
有机无机缓释复合肥对不同土壤微生物群落结构的影响	王菲,袁婷,谷守宽,王正银(1461)
玉米对铅胁迫的响应及体内铅化学形态研究	程海宽,张彪,景鑫鑫,杨素勤,赵鹏,孙晓雪,周志云(1468)
硼锑交互作用对水稻吸收积累锑和硼的影响	向猛,黄益宗,蔡立群,保琼莉,黄永春,王小玲,乔敏,胡莹,金姝兰,李季,王斐(1474)
丛枝菌根真菌对不同含盐量湿地土壤中芦苇生长的影响	郭江源,郭伟,毕娜,付瑞英,赵文静,赵仁鑫,王立新(1481)
滨海区芦苇和香蒲耐盐碱性及除氮磷效果对比研究	陈友媛,孙萍,陈广琳,王宁宁(1489)
不同温度下的土壤微生物呼吸及其与水溶性有机碳和转化酶的关系	吴静,陈书涛,胡正华,张旭(1497)
工业VOCs经济手段和工程技术减排对比性分析	王宇飞,刘昌新,程杰,郝郑平,王铮(1507)
《环境科学》征订启事(1216)	
《环境科学》征稿简则(1248)	
信息(1163,1194,1248,1424)	

中美空气质量指数 (AQI) 对比研究及启示

高庆先¹, 刘俊蓉^{1,2}, 李文涛^{1,2}, 高文康³

(1. 中国环境科学研究院气候中心, 北京 100012; 2. 甘肃农业大学林学院, 兰州 730070; 3. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100191)

摘要: 对中美两国空气质量指数 (AQI), 特别是颗粒物分指数进行了对比研究, 并利用 2013 年 4 月至 12 月期间, 中国环境监测总站发布的环境空气质量监测数据, 开展了典型大气污染过程的分析. 结果表明, 中国环境空气质量标准的研究、制订和发布起步虽晚但发展很快, 所包含的污染物指标更全面, 能够客观地反映出中国空气污染的特征, 也更贴近居民对空气质量的切身感受; 中美计算颗粒物小时 AQI 采用的方法不同, 对比发现中国采用颗粒物 24 h 平均浓度限值代替 1 h 平均浓度限值的计算方法会将污染等级倾向于严重化; 中国在计算颗粒物 AQI 时设定的颗粒物浓度限值存在的问题, 导致 AQI < 200 时, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比值出现与实际不符的现象; 对奥体中心监测点数据分析显示, AQI < 50 时, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值小于 0.5, 且 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比值随着污染指数等级的增大而增大. 建议尽早修订和调整颗粒物实时报的浓度限值和计算方法.

关键词: 空气质量指数; 分级浓度限值; 环境空气质量标准; $PM_{2.5}$; PM_{10}

中图分类号: X651 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)04-1141-07 DOI: 10.13227/j.hj.kx.2015.04.001

Comparative Analysis and Inspiration of Air Quality Index Between China and America

GAO Qing-xian¹, LIU Jun-rong^{1,2}, LI Wen-tao^{1,2}, GAO Wen-kang³

(1. Center for Climate Change Impact Research, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100191, China)

Abstract: Research on the differences of air quality index (AQI) especially AQI of particulate matters between China and America and analysis of hourly monitored readings from April to December in 2013 released by Environmental Monitoring Station of China indicated that: ① Although China lagged behind America in formulating and publishing of AQI standards, the AQI standards published in 2012 in China covered more pollutant indexes than before and could objectively reflect the characteristics of air pollution in China, and were more close to the residents's feeling about air quality. ② The methods adopted for calculation of particulate matter hourly AQI were different in China and America, and the comparison revealed that the calculation method adopted by China using the 24 h average concentration breakpoint of particulate matters to replace the 1 h average concentration breakpoint would enhance the severity of the pollution level. ③ The breakpoint of $PM_{2.5}$ -24 h in China was less rigorous than that in America when AQI < 200, which led to the inconsistency between the ratio of $PM_{2.5}/PM_{10}$ and the real situation in China. ④ Analysis on the monitoring readings from station of Beijing Olympic Sports Center showed that when AQI < 50, the ratio of $PM_{2.5}/PM_{10}$ was less than 0.5 and increased with the increasing of AQI. Correction and adjustment of particulate matter real-time calculation method and breakpoints of $PM_{2.5}$ and PM_{10} were suggested in China.

Key words: air quality index (AQI); breakpoints; ambient air quality standards; $PM_{2.5}$; PM_{10}

环境空气质量标准的建立, 可以为环境空气质量、保护人体健康、维护生态环境安全, 促进人与社会、自然和谐可持续发展发挥积极作用^[1,2]. 20 世纪 70 年代, 美国最先构建了污染标准指数 (pollution standards index, PSI), 将多个污染物的信息整合在一个指标体系中, 通过发布污染标准指数, 指导人们的日常生活行为^[3]. 随后, 世界各国基于各自的空气质量状况陆续建立了适合本国特色的空气质量指数发布系统, 如中国的 API (air pollution index) 和 AQI (air quality index), 美国的 PSI 和 AQI, 英国的每日空气质量指数 (daily air quality

index, DAQI), 澳大利亚的区域污染指数 (regional pollution index, RPI) 及澳大利亚新南威尔士州的区域环境空气质量指数 (regional air quality index, RAQI) 等^[4].

目前, 空气污染成为中国政府部门和普通老百姓关注的热点, 很多学者对中国环境空气质量评价进行了相关研究, 并提出了目前存在的问题和改进

收稿日期: 2014-09-24; 修订日期: 2014-11-21

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项 (201409027)

作者简介: 高庆先 (1962 ~), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为大气环境与气候变化领域, E-mail: gaoqx@craes.org.cn

建议^[5~7],但深入开展中国和美国等发达国家空气质量指数间的对比研究尚不多见;在可吸入颗粒物为主要污染因子的情景下,有关 PM_{2.5}在 PM₁₀中所占的比例已有大量研究^[8~12],但大部分是针对中国各城市不同季节、区域和污染源场合等空气污染情景下分析 PM_{2.5}和 PM₁₀浓度的比值关系,缺乏对 AQI 标准中设定的 PM_{2.5}和 PM₁₀浓度限值的合理性研究.本研究旨在通过文献调研和实时空气质量监测数据的分析,对中国和美国的空气质量指数(AQI)计算方法进行深入的比较分析,对中国目前 AQI 的现状和存在问题进行剖析,以期对未来中国 AQI 的修订提出意见和建议.

1 资料与方法

1.1 资料

空气污染数据:本研究所用的空气污染数据均来自中国环境监测总站全国城市空气质量实时发布平台(<http://113.108.142.147:20035/emcpublish/>)发布的奥体中心监测站逐小时和日平均的 AQI 和各类污染物(SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀、O₃、CO 等)的数据,数据期间为 2013 年 4 月 18 日至 2013 年 12 月 31 日.

中美 AQI 标准和技术规定:中国空气质量标准来自国家环境保护部发布的《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)、《环境空气质量指数(AQI)技术规范(试行)》(HJ 633-2012)(下称《规定》);美国标准来自美国环境保护署(EPA)官网(<http://www.epa.gov/>)发布的一系列标准和技术规范,包括《每日空气质量报告技术帮助文档——空气质量指数(AQI)》、《环境空气质量标准(NAAQS)》、《空气质量指数(AQI)》等.

1.2 方法

本研究首先使用了文献对比分析法,通过文献收集,整理中国和美国空气质量指数及信息发布的发展历程,深入分析和比较中美两国 AQI 相关工作的最新进展,并对其评价指标、污染物项目分级浓度限值进行对比分析;然后基于环境保护部发布的《规定》给出的空气质量分指数(IAQI)和 AQI 计算方法,对环境监测总站在 2013 年 4 月 18 日至 2013 年 12 月 31 日期间发布的 AQI 和各类污染物数据进行统计分析,并选取典型空气污染过程,剖析典型大气污染过程颗粒物的特征.

AQI 的计算步骤:①对照《规定》表 1 中的分级浓度限值分别计算 IAQI_p,见式(1);②依据公式

(1)计算各污染物的 IAQI_p,并根据公式(2)选择 IAQI_p 的最大值确定为 AQI;③确定空气质量级别、类别及表示颜色、影响与建议措施.

(1) IAQI 计算方法

$$\text{IAQI}_p = \frac{\text{IAQI}_{\text{Hi}} - \text{IAQI}_{\text{Lo}}}{\text{BP}_{\text{Hi}} - \text{BP}_{\text{Lo}}} (C_p - \text{BP}_{\text{Lo}}) + \text{IAQI}_{\text{Lo}} \quad (1)$$

式中,IAQI_p指污染物项目 p 的空气质量分指数;C_p指污染物项目的质量浓度值;BP_{Hi}指《规定》表 1 中与 C_p 相近的污染物浓度限值的高位值;BP_{Lo}指《规定》的表 1 中与 C_p 相近的污染物浓度限值的低位值;IAQI_{Hi}指《规定》表 1 中与对应的 BP_{Hi}空气质量分指数;IAQI_{Lo}指表 1 中与 BP_{Lo}对应的空气质量分指数.

(2) AQI 计算方法

$$\text{AQI} = \max \{ \text{IAQI}_1, \text{IAQI}_2, \text{IAQI}_3, \dots, \text{IAQI}_n \} \quad (2)$$

式中,IAQI 指空气质量分指数;n 指污染物项目.

2 结果与讨论

2.1 中美 AQI 及发布的演变历程

美国是世界上最早使用污染指数综合表征空气质量的国家,美国环境保护署(EPA)先后发布了 PSI 和 AQI,该指数能够向公众提供及时、准确、易于理解的城市地区空气质量状况,同时可以用来进行环境现状评价、回顾性评价和趋势评价,在国际上有很大的影响力,在世界范围内也得到了广泛的应用^[13].中国早在 1997 就引进了空气污染指数这一概念,最初的污染物仅有 3 个,即 SO₂、NO_x 和 TSP,随着研究的深入和人们环境保护意识的提高,空气质量指数日益受到重视.表 1 给出了中美两国空气质量指数的发展历程,从中可以看出,近十几年来,美国不断对其空气质量指数进行更新,其 AQI 污染物项目和发布时段都发生了很大的变化^[4].相比较而言,中国 1982 年颁布实施并于 1996 年修订且在 2000 年修改的国家环境空气质量标准(GB 3095-1996),在 2012 年 2 月 29 日国家环保部发布《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)^[14]和《环境空气质量指数(AQI)技术规范(试行)》(HJ 633-2012)^[15]后废止.

由表 1 可见:①中美两国空气质量指数的指标均呈不断增长趋势,中国环境空气质量标准制定得相对较晚,但发展很快;②从美国 AQI 污染物项目及取值时间发展历程可以看出,美国从一

开始就确定了 NO₂、CO 和 O₃ 等气态污染物浓度限值及取值时间,相比较而言,中国对 NO₂、CO、O₃ 的关注较晚;③ 2012 年以后,中国 AQI 指标在原来的基础上进行了全面的扩充,24 h 平均浓度限值中增加了 CO 和 PM_{2.5},1 h 平均浓度限值中增加了 SO₂ 和 NO₂,8 h 平均浓度限值中增加了

O₃,指标总量达 10 个,高于美国,排名世界第一,这也充分体现了中国目前复合性污染的特征.中国全面扩充后的污染物指标更加能够客观如实地反映中国空气污染特征,贴近市民对空气质量的切身感受,成为目前及以后中国环境空气质量管理和信息发布的主要方式.

表 1 中美空气质量指数发展历程

Table 1 Development of air quality index in China and America

国家	指数名称	年份	指标数量	污染物项目及取值时间		
				24 h 平均	1 h 平均	8 h 平均
中国 ^[4, 15]	API	1997 ~ 1999	3	SO ₂ , NO _x , TSP		
	API	2000 ~ 2011	5	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀	CO, O ₃	
	AQI	2012 至今	10	SO ₂ , NO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2.5}	SO ₂ , NO ₂ , CO, O ₃	O ₃
美国 ^[16 ~ 19]	PSI	1971 ~ 1993	5	SO ₂ , TSP	O ₃ , NO ₂	CO
	PSI	1994 ~ 1998	5	SO ₂ , PM ₁₀	O ₃ , NO ₂	CO
	AQI	1999 ~ 2010	7	SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	O ₃ , NO ₂	CO, O ₃
	AQI	2011 至今	8	SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	O ₃ , SO ₂ , NO ₂	CO, O ₃

2.2 中美 AQI 计算方法比较分析

AQI 的计算是表征一个地区空气质量的关键,对比中美两国 AQI 的技术规范发现,中美两国 AQI 计算公式一致[见公式(1)和(2)],污染物项目的浓度限值则是根据各国的实际情况设定^[15,16].中美两国 AQI 技术规范中 SO₂、NO₂、CO 有 24 h 和 1 h 浓度限值,臭氧 8 h 和 1 h 有浓度限值,PM_{2.5}和 PM₁₀只有 24 h 浓度限值而没有 1 h 浓度限值,理论上讲,无法计算得到 PM_{2.5}和 PM₁₀的 1 h 分指数,即 AQI 的实时报发布的污染物 IAQI 应只包括 SO₂、NO₂、CO 和 O₃ 的信息.而在实际发布中,中国和美国分别采用不同的方法计算并发布 PM_{2.5}和 PM₁₀的分指数,并在各自空气质量信息实时发布平台实时发布颗粒物的 AQI.

2.2.1 美国颗粒物 IAQI 计算方法分析

为给公众提供颗粒物污染的最新信息,美国空气质量信息发布平台(<http://www.airnow.gov/>)利用从全国各地监测点监测到的细颗粒物(PM_{2.5})的小时数据生成了颜色分级地图,并给出其空气质量指数.为了生成颗粒物的颜色分级地图,美国采用临近预报法(NowCast)计算颗粒物 AQI 值. NowCast 算法步骤如下(表 2):① 利用最近 12 h 监测到的 PM_{2.5}的小时浓度值,计算出其极差;② 利用极差算出一个变化率,根据变化率得出表征污染贡献的权重值;③ 利用该权重值和颗粒物浓度计算出 PM_{2.5}空气质量分指数.该算法能够快速响应变化的空气质量状况,比如火灾期间的天气状况.此外,该算法的改进能够在空气质量

表 2 美国 PM_{2.5}和 PM₁₀临近预报(NowCast)计算方法¹⁾

Table 2 NowCast method for computing the concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ in America

步骤	计算方法	举例说明
1	计算过去 12 h 颗粒物监测值浓度变化极差,它反映了 PM 浓度在过去 12 h 的变化程度;极差 = 最大浓度值 - 最小浓度值	举例:监测到的 12 h 颗粒物浓度(单位: $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$):50、80、75、90、82、53、64、74、21、10、16、13. 极差 = 90 - 10 = 80 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
2	用极差(80 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)除以 12 h 内浓度最大值(90 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)得出过去 12 h 颗粒物浓度的变化率	80/90 = 0.89
3	用 1 减去变化率得出权重因子,权重因子必须在 0.5 ~ 1 之间.如果计算出的权重值小于 0.5,则取权重值为 0.5	权重: 1 - 0.89 = 0.11, 小于 0.5, 所以权重值为 0.5
4	以当前时间为零点向前倒推,用 12 h 的浓度值分别乘以权重值的第 $n-1$ 次幂,并将其累加求	$13 \times (0.5)^0 + 16 \times (0.5)^1 + 10 \times (0.5)^2 + 21 \times (0.5)^3 + 74 \times (0.5)^4 + \dots +$
5	实时报值等于上述值的和除以权重值 0 ~ 11 次幂的和	$\frac{13 \times (0.5)^0 + 16 \times (0.5)^1 + 10 \times (0.5)^2 + 21 \times (0.5)^3 + 74 \times (0.5)^4 + \dots + 50 \times (0.5)^{11}}{(0.5)^0 + (0.5)^1 + (0.5)^2 + (0.5)^3 + (0.5)^4 + \dots + (0.5)^{11}}$ = 17.4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

1) 数据来源 <http://airnow.supportportal.com/link/portal/23002/23002/Article/16118/How-Does-AirNow-Make-the-Current-PM2-5-Air-Quality-Index-AQI-maps>

差时及时提醒公众注意防范;而空气质量优时,提醒公众可以进行户外运动。

2.2.2 中国颗粒物 IAQI 计算方法分析

由于目前发布的技术指南中没有明确给出 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 小时 AQI 的计算方法,中国环境监测总站网站上规定“颗粒物 1 h 浓度的 AQI 的分级浓度限值参照 24 h 浓度的 AQI 分级浓度限值”。通过对 2013 年 4 月 18 日至 2013 年 12 月 31 日期间北京奥体中心监测站的数据分析,选取 AQI 技术规范表 1^[15] 中 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的 24 h 浓度限值计算颗粒物 AQI 值,考虑到目前多数情况下北京地区空气污染的首要污染物是 $PM_{2.5}$ ^[20],本研究仅计算了 $PM_{2.5}$ IAQI 分指数并进行对比分析。这里所说的一致性主要是指基于环境监测总站发布的污染物监测数据,利用公式(1)计算得到的 $PM_{2.5}$ 空气质量分指数与网上发布的 AQI 的一致程度。这一数据可以反映出目前北京的首要污染物还是以 $PM_{2.5}$ 为主这一事实。

表 3 给出了结果与发布数据的比较以及 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值情况。可以看出,在重度和严重污染的情况下,计算与发布的一致性达 100%,说明北京奥体中心严重污染和重度污染情况下首要污染物是 $PM_{2.5}$;在天气状况为良、轻度污染和中度的污染时一致性分别为 68.3%、96.3% 和 98.6%,在轻度污染和中度污染情况下,北京奥体中心仍有 95% 以上的情况以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物,在良好天气情况下还有 68% 的情形是以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物;在优的情况下没有污染物作为首要污染物,故不计算 AQI 分指数进行一致性分析。从这些数据分析可以看出,目前北京奥体中心首要污染物为 $PM_{2.5}$ 。表 3 中同

时还给出了不同等级天气情况下 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的值,可见在不同污染等级下 $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中所占的比例是不一样的,在严重和重度污染情况下,由于 $PM_{2.5}$ 主要来自于二次污染物,导致 $PM_{2.5}$ 占 PM_{10} 的比例高达 90% 以上,而在空气质量为优的情况下, $PM_{2.5}$ 仅占 PM_{10} 的 46%。

表 3 2013-04-18 ~ 2013-12-31 $PM_{2.5}$ AQI 分

指数一致性分析与 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 的比值

Table 3 Consistent analysis of Individual AQI of $PM_{2.5}$ and the ratio of $PM_{2.5}$ to PM_{10} from 2013-04-18 to 2014-12-31

IAQI $PM_{2.5}$	计算与发布一致性		$PM_{2.5}/PM_{10}$	
	时次	一致性/%	比值	有效时次
0 ~ 50	1 699	—	0.46	1 449
51 ~ 100	1 365	68.3	0.63	1 063
101 ~ 150	879	96.3	0.75	714
151 ~ 200	469	98.6	0.81	337
201 ~ 300	626	100	0.86	500
301 ~ 400	176	100	0.91	143
401 ~ 500	19	100	0.92	13

为了探讨中国实时报中用 24 h 平均替代小时平均计算 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 空气质量分指数可能会带来的误差,本研究利用《规定》中 SO_2 、 NO_2 和 CO 的 24 h 平均浓度限值代替 1 h 平均浓度限值,分别计算 $IAQI_{SO_2}$ 、 $IAQI_{NO_2}$ 、 $IAQI_{CO}$ 。对比分析各污染物 IAQI 可能产生的误差(表 4),从表 4 可以看出:3 种污染物污染等级会向严重方向偏移,即日均值替代小时值会导致报告的指数偏高。因此,可以推断出,中国实时报发布的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 空气质量指数采用 24 h 平均值代替 1 h 值计算, AQI 污染等级会向严重化方向偏移。因此,建议中国及时修订和调整 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 实时报的计算方法,向公众实时发布科学合理的天气污染情况信息。

表 4 SO_2 、 NO_2 、CO 日均值代替小时均值计算结果

Table 4 Calculation results of using 24 hours breakpoints to replace 1 hour breakpoints of SO_2 , NO_2 , CO

指数等级	级别	SO_2		NO_2		CO	
		小时均值	日均值	小时均值	日均值	小时均值	日均值
0 ~ 50	优	4 889	4 410	4 358	1 278	4 904	4 362
51 ~ 100	良	4	479	450	2 337	74	603
101 ~ 150	轻度污染		4	1	1 153	1	114
151 ~ 200	中度污染				1		
201 ~ 300	重度污染						
301 ~ 400	严重污染						
401 ~ 500							

2.3 中美颗粒物浓度限值的科学性分析

由上述分析可见,在颗粒物成为首要污染物的情况下,颗粒物浓度限值是决定空气质量指数(AQI)是否能客观反映实际的污染状况的关键因素。美国颗粒物的分级浓度限值随着空气质量标准

的修订和相关健康风险评价以及美国空气质量实际情况的研究成果而不断更新且越来越严格^[21~27]。与美国相比,中国颗粒物监测起步较晚,在制定空气质量指标和 AQI 技术规范时, PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 分级浓度限值设定上主要参考的是美国的标准^[4]。对比当

前中美两国 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度限值,图 1 给出了中美 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的分级浓度限值,可以看出,中国 PM_{10} 分级浓度限值与美国的分级完全一致;而在 $IAQI < 200$ 时,中国 $PM_{2.5}$ 的分级浓度限值松于美

国,但在 $IAQI > 200$ 的高浓度限值区域,中国与美国 $PM_{2.5}$ 的分级浓度限值完全一致. 由此可见,中美 $PM_{2.5}$ 的分级浓度限值的差别只是在 $IAQI$ 小于 200 的情况下,即优、良、轻度和中度污染 4 种情况.

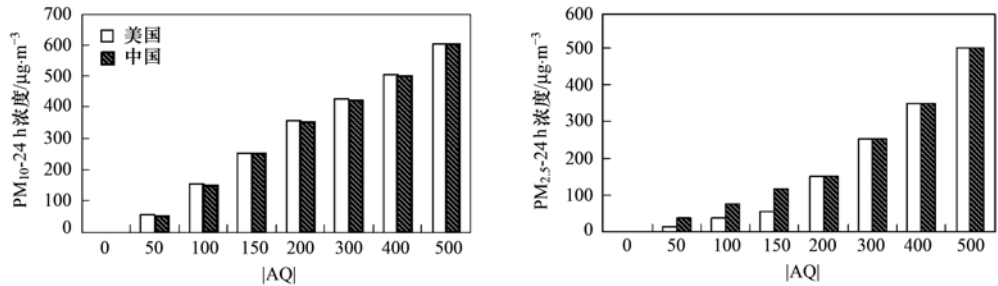


图 1 中美 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ AQI 分级浓度限值比较

Fig. 1 Comparison of PM_{10} and $PM_{2.5}$ breakpoints between China and America

表 5 给出的是中美两国 AQI 计算时使用的浓度限值及 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比值情况,从中可以看出,当 $AQI < 50$ 时,即空气质量为优时,美国 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 浓度限值在 1999、2006 和 2012 年 3 个阶段 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比值分别为 0.30、0.29 和 0.22,呈递减趋势,反映出美国空气质量改善的实际;而中国 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 浓度限值的比值为高达 0.7,是美国的 2~3 倍;当 $AQI < 200$ 时,中国 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比值范围为 0.43~0.7,而美国 1999、2006 和 2012 年 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比值范围分别为 0.30~0.43、0.29~0.42、0.22~0.42; $AQI > 200$ 时,中国和美国不同年份的 $PM_{2.5}/$

PM_{10} 的比值一致. 由此可见, $AQI < 50$ 时,中国的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 浓度限值设置与实际情况存在较大的差异. 如上文所述,在空气质量为优的情况下,北京奥体中心监测数据显示 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 为 0.46,远远小于《规范》中的 0.70; $AQI < 200$ 时,美国 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值越来越严格,而中国 $PM_{2.5}$ 的分级浓度限值松于美国. 综上所述,中国目前的颗粒物分级浓度限值存在一定的修改空间,尚不能够有效地反映我国当前颗粒物污染实际水平,也满足不了环境管理的需求,急需开展相关的研究并对《规范》进行修改和完善,结合中国大气污染的特征完善颗粒物 AQI 计算方法.

表 5 中美 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 浓度限值比值对比情况/ $\mu g \cdot m^{-3}$

Table 5 Comparison of ratios of $PM_{2.5}$ to PM_{10} breakpoints in China and America/ $\mu g \cdot m^{-3}$

AQI	中国 ^[15] 2012 年至今						美国 ^[17~19]					
				1999 年			2006 年			2012 年		
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}/PM_{10}$	PM_{10}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}/PM_{10}$	PM_{10}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}/PM_{10}$	PM_{10}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}/PM_{10}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	50	35	0.70	50	15	0.30	54	15.4	0.29	54	12	0.22
100	150	75	0.50	150	65	0.43	154	40.4	0.26	154	35.4	0.23
150	250	115	0.46	250	100	0.40	254	65.4	0.26	254	55.4	0.22
200	350	150	0.43	350	150	0.43	354	150.4	0.42	354	150.4	0.42
300	420	250	0.60	420	250	0.60	424	250.4	0.59	424	250.4	0.59
400	500	350	0.70	500	350	0.70	504	350.4	0.70	504	350.4	0.70
500	600	500	0.83	600	500	0.83	604	500.4	0.83	604	500.4	0.83

3 典型案例分析

为了进一步阐述在不同空气质量情况下 $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中的比例,分别选取 2013 年 4 月和 8 月北京两次典型污染过程,详细分析不同污染等级下 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 的比值(表 6),从表 6 可以看出,4 月 18 日和 25 日以及 8 月 9 日和 18 日,北京奥体中心空气

质量为优,对应的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 值分别为 0.32、0.33、0.48、0.43,均小于 0.5,这一结果与前文所述一致;4 月 22 日和 23 日及 8 月 11 日空气质量为重度污染, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比值均超过 0.80;良的情况下 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比值变化范围较广. 总之,在空气质量为优的情况下 $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中所占的比例一般小于 0.5;随着空气污染程度的加重, $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中

表 6 北京典型污染日 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 浓度比值

Table 6 Ratio of $PM_{2.5}/PM_{10}$ breakpoints in typical pollution days of Beijing

典型过程	监测时间	发布的 AQI	AQI 类别	$PM_{2.5}/\mu g \cdot m^{-3}$	$PM_{10}/\mu g \cdot m^{-3}$	$PM_{2.5}/PM_{10}$
4 月	2013-04-18	38	优	11.09	41.77	0.32
	2013-04-19	78	良	52.67	89.63	0.64
	2013-04-20	93	良	69.42	86.32	0.83
	2013-04-21	170	中度	129.00	161.57	0.81
	2013-04-22	209	重度	164.20	174.05	0.94
	2013-04-23	228	重度	180.26	199.11	0.92
	2013-04-24	138	轻度	91.96	124.35	0.52
	2013-04-25	38	优	11.79	38.67	0.33
	2013-04-26	96	良	64.82	138.12	0.50
	2013-04-27	97	良	65.65	130.52	0.51
	2013-04-28	102	轻度	71.42	118.54	0.58
	2013-04-29	53	良	14.82	62.12	0.27
8 月	2013-08-09	44	优	20.50	43.75	0.48
	2013-08-10	139	轻度	99.56	157.38	0.60
	2013-08-11	204	重度	163.73	198.00	0.84
	2013-08-12	69	良	49.36	59.91	0.84
	2013-08-13	114	轻度	85.88	101.94	0.88
	2013-08-14	93	良	66.75	90.00	0.73
	2013-08-15	158	中度	120.75	144.48	0.87
	2013-08-16	166	中度	127.25	176.37	0.81
	2013-08-17	74	良	43.71	67.95	0.45
	2013-08-18	39	优	12.21	35.14	0.43

所占比例也随之升高;重度污染时,甚至可超过 0.90,说明 $PM_{2.5}$ 是 PM_{10} 中的主要成分。

通过上述案例分析发现,我国现行空气质量指数标准在 $AQI < 200$ 时的颗粒物的分级浓度限值的设置上与实际情况有较大的差异。特别是在空气质量指数为优 ($AQI < 50$) 时,标准中的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 高达 70%,这与实际情况存在严重不符,不能客观地反映我国空气污染的真实状况。建议中国及时修正和调整颗粒物实时报的计算方法;重新科学合理地确定 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 分级浓度限值。

4 结论

(1)中美 AQI 计算公式一致,AQI 标准分级、污染物项目、平均时间和浓度限值等依据各自环境空气质量标准而制定;在 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 空气质量分指数计算中,美国采用 NowCast 计算方法,该算法能够快速响应变化的空气质量状况;中国采用颗粒物 24 h 平均值代替 1 h 平均值计算 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的空气质量分指数的做法会将污染等级严重化。

(2)中国颗粒物浓度限值存在一定的问题,主要表现在 $AQI < 200$ 时的中国 $PM_{2.5}$ 24 h 平均浓度限值评定标准较宽松,由此导致 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值出现与实际不符的现象;在空气质量优的情况下,即

当 $AQI = 50$ 时, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值为 0.7,与实际情况不相符。

(3)北京奥体中心监测点数据分析结果表明, $AQI < 50$ 时, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值小于 0.5,且 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比值随着污染指数的增大而增大。建议中国尽早修订和调整颗粒物实时报的浓度限值并完善其计算方法。

参考文献:

[1] 丁俊男,王帅,赵熠琳,等. 关于环境空气质量评价的一些思考[J]. 环境监控与预警, 2012, 4(5): 38-40.

[2] Fang M, Chan C K, Yao X. Managing air quality in a rapidly developing nation: China[J]. Atmospheric Environment, 2009, 43(1): 79-86.

[3] Cheng W L, Chen Y S, Zhang J F, et al. Comparison of the revised air quality index with the PSI and AQI indices [J]. Science of the Total Environment, 2007, 382(2-3): 191-198.

[4] 王帅,杜丽,王瑞斌,等. 国内外环境空气质量指数分析和比较[J]. 中国环境监测, 2013, 29(6): 58-65.

[5] 陈谊,施洁新,张超. 建立空气质量综合评价指数的探讨[J]. 环境监控与预警, 2012, 4(1): 38-42.

[6] 李锦菊,沈亦钦. 中美两国环境空气质量标准比较[J]. 环境监测管理和技术, 2003, 15(6): 24-26.

[7] Li X F, Zhang M J, Wang S J, et al. Variation characteristics and influencing factors of air pollution index in China [J]. Environmental Science, 2012, 33(6): 1936-43.

[8] Wang Y, Zhuang G S, Chen S, et al. Characteristics and

- sources of formic, acetic and oxalic acids in $PM_{2.5}$ and PM_{10} aerosols in Beijing, China[J]. *Atmospheric Research*, 2007, **84**(2): 169-181.
- [9] Ho K F, Lee S C, Chan C K, *et al.* Characterization of chemical species in $PM_{2.5}$ and PM_{10} aerosols in Hong Kong [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(1): 31-39.
- [10] Gu J X, Bai Z P, Liu A X, *et al.* Characterization of atmospheric organic carbon and element carbon of $PM_{2.5}$ and PM_{10} at Tianjin, China[J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2010, **10**: 167-176.
- [11] 沈俊秀, 肖珊, 余琦, 等. 上海市道路环境 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 污染水平[J]. *环境化学*, 2011, **30**(6): 1206-1207.
- [12] 黄鹂鸣, 王格慧, 王荟, 等. 南京市空气中颗粒物 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 污染水平[J]. *中国环境科学*, 2002, **22**(4): 334-337.
- [13] 钟声, 丁铭, 夏文文. 国内外空气污染指数的现状及发展趋势[J]. *环境监控与预警*, 2010, **2**(3): 35-38.
- [14] GB 3095-2012, 环境空气质量标准[S].
- [15] HJ 633-2012 环境空气质量指数(AQI)技术规定[S].
- [16] USEPA. Technical assistance document for the reporting of daily air quality-the air quality index (AQI)[EB/OL]. <http://www.epa.gov/airnow/aqi-technical-assistance-document-sep2012.pdf>, 2013-06-17.
- [17] USEPA. Uniform air quality index (AQI) and daily reporting [EB/OL]. <http://www.gpo.gov/fdsys/granule/CFR-2013-title40-vol6/CFR-2013-title40-vol6-part58-appG/content-detail.html>, 2013-08-14.
- [18] USEPA. Uniform air quality index (AQI) and daily reporting [EB/OL]. <http://www.gpo.gov/fdsys/granule/CFR-2012-title40-vol6/CFR-2013-title40-vol6-part58-appG/content-detail.html>, 2012-08-14.
- [19] 40 CFR Part 50, National ambient air quality standards (NAAQS)[S].
- [20] Zheng M, Salmon L G, Schauer J J, *et al.* Seasonal trends in $PM_{2.5}$ source contributions in Beijing, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(22): 3967-3976.
- [21] Gauderman W J, Avol E, Gilliland F, *et al.* The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age[J]. *The New England Journal of Medicine*, 2004, **351**(11): 1057-1067.
- [22] Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution [J]. *Environmental Pollution*, 2008, **151**(2): 362-367.
- [23] Seaton A, Godden D, MacNee W, *et al.* Particulate air pollution and acute health effects[J]. *The Lancet*, 1995, **345**(8943): 176-178.
- [24] Pope III C A, Dockery D W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2006, **56**(6): 709-742.
- [25] Rosenthal F S, Kuusimäki M, Lanki T, *et al.* Association of ozone and particulate air pollution with out-of-hospital cardiac arrest in Helsinki, Finland: Evidence for two different etiologies [J]. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 2013, **23**(3): 281-288.
- [26] Kaufman J D, Adar S D, Allen R W, *et al.* Prospective study of particulate air pollution exposures, subclinical atherosclerosis, and clinical cardiovascular disease the multi-ethnic study of atherosclerosis and air pollution (MESA Air) [J]. *American Journal of Epidemiology*, 2012, **176**(9): 825-837.
- [27] Adar S D, Sheppard L, Vedal S, *et al.* Fine particulate air pollution and the progression of carotid intima-medial thickness: a prospective cohort study from the multi-ethnic study of atherosclerosis and air pollution[J]. *PLoS Medicine*, 2013, **10**(4): e1001430.

CONTENTS

Comparative Analysis and Inspiration of Air Quality Index Between China and America	GAO Qing-xian, LIU Jun-rong, LI Wen-tao, <i>et al.</i>	(1141)
Regional Source Apportionment of PM _{2.5} in Beijing in January 2013	LI Xuan, NIE Teng, QI Jun, <i>et al.</i>	(1148)
Formation Mechanism of a Serious Pollution Event in January 2013 in Beijing	CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i>	(1154)
Soluble of Metals within TSP in Shanghai	CHANG Yan, FENG Chong, QU Jian-guo, <i>et al.</i>	(1164)
Analysis of Component Spectral Characteristics of PM ₁₀ -Bound PAHs and the Influence of Weather Conditions During Spring in Xiamen	ZHANG Jian, FAN Shu-xian, SUN Yu, <i>et al.</i>	(1173)
Tracing Sources of Sulfate Aerosol in Nanjing Northern Suburb Using Sulfur and Oxygen Isotopes	WEI Ying, GUO Zhao-bing, GE Xin, <i>et al.</i>	(1182)
Analysis of an Air Pollution Process Using LiDAR in Nanjing, Spring of 2014	BAO Qing, HE Jun-liang, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(1187)
Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} and PM _{2.5-10} in Mountain Background Region of East China in Spring	SU Bin-bin, ZHANG Zhi-sheng, TAO Jun, <i>et al.</i>	(1195)
Emission of Particulate Matter, Organic and Elemental Carbon from Burning of Fallen Leaves	YANG Wei-zong, LIU Gang, LI Jiu-hai, <i>et al.</i>	(1202)
Emission Inventory of Crop Residues Field Burning and Its Temporal and Spatial Distribution in Sichuan Province	HE Min, WANG Xing-rui, HAN Li, <i>et al.</i>	(1208)
Marine Emission Inventory and Its Temporal and Spatial Characteristics in the City of Shenzhen	YANG Jing, YIN Pei-ling, YE Si-qi, <i>et al.</i>	(1217)
Characteristic of Ultrafine Particles Transferring Through Building Envelopes	SUN Zai, CHEN Qiu-fang, CAI Zhi-liang, <i>et al.</i>	(1227)
Airborne Fungal Aerosol Concentration and Distribution Characteristics in Air-Conditioned Wards	ZHANG Hua-ling, FENG He-hua, FANG Zi-liang, <i>et al.</i>	(1234)
Effect of Below-cloud Secondary Evaporation in Precipitations over the Loess Plateau Based on the Stable Isotopes of Hydrogen and Oxygen	JIN Xiao-gang, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i>	(1241)
Effect of the Runoff-sediment Control of the Xiaolangdi Reservoir on DOC Transport	ZHANG Yong-ling, WANG Ming-shi, DONG Yu-long	(1249)
Effects of Long-term Implementation of the Flow-Sediment Regulation Scheme on Grain and Clay Compositions of Inshore Sediments in the Yellow River Estuary	WANG Miao-miao, SUN Zhi-guo, LU Xiao-ning, <i>et al.</i>	(1256)
Influences of Biological Processes on Geochemical Characteristics: An Example of a Mountain Karst Pool in Spring Season	YU Zheng-liang, YANG Ping-heng, ZHAO Rui-yi, <i>et al.</i>	(1263)
Variation Characteristics and Sources of Heavy Metals in an Urban Karst Groundwater System during Rainfall Event	REN Kun, YANG Ping-heng, JIANG Ze-li, <i>et al.</i>	(1270)
Risk Assessment of Trihalomethane Production Using the Beijiang River and the Pearl River, Guangzhou as Drinking Water Sources	ZHONG Hui-zhou, WEI Chao-hai	(1277)
Spatial Variability Characteristics of Water Quality and Its Driving Forces in Honghu Lake During High Water-level Period	LI Kun, WANG Ling, LI Zhao-hua, <i>et al.</i>	(1285)
Nutrient Exchange Between Meixi River and Yangtze River Due to the Typical Interaction Process of the Three Gorges Reservoir and Its Tributary	CAO Man, FU Jia-nan, ZHOU Zi-ran, <i>et al.</i>	(1293)
Effects of Nutrient Inputs on Changes of Phosphorus Forms and Phytoplankton Growth in Taihu Lake	WANG Rui-zhe, WANG Pei-fang, REN Ling-xiao, <i>et al.</i>	(1301)
Community Dynamics of Phytoplankton and Related Affecting Factors in a Eutrophicated Small Pond	YANG Wen, ZHU Jin-yong, ZHANG Ke-xin, <i>et al.</i>	(1309)
Yearly Changes of Phytoplankton Community in the Ecology-monitoring Area of Changli, Hebei in Summer	LIANG Xiao-lin, YANG Yang, WANG Yu-liang, <i>et al.</i>	(1317)
Improvement of River Water Quality by Aeration: WASP Model Study	ZHU Wen-bo, WANG Hong-xiu, LIU Cui, <i>et al.</i>	(1326)
Radiolytic Decomposition of Ciprofloxacin Hydrochloride in Aqueous Solution Using γ Irradiation	ZHU Sheng-nan, GUO Zhao-bing, ZHAO Yong-fu, <i>et al.</i>	(1332)
Removal of Antimony in Wastewater by Electrochemical Hydride Generation and the Recovery of Antimony	CHEN Jing-jing, ZHANG Guo-ping, LI Hai-xia, <i>et al.</i>	(1338)
Degradation of <i>m</i> -Cresol with Fe-MCM-41 in Catalytic Ozonation	SUN Wen-jing, WANG Ya-min, WEI Huang-zhao, <i>et al.</i>	(1345)
Bioanode and Inversion of Bioanode to Biocathode for the Degradation of Antibiotic Chloramphenicol	KONG De-yong, LIANG Bin, YUN Hui, <i>et al.</i>	(1352)
Photolysis of Gaseous HNO ₃ on the α -Fe ₂ O ₃ Films Under 308 nm UV Light	LU Jun, SUN Yun-dong, XIE Jing-jing, <i>et al.</i>	(1359)
Simultaneous Determination of Hydroquinone and Catechol Based on L-Histidine-Erythrosine Composite Film Modified Glassy Carbon Electrode	HE Jia-hong, XU Qiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i>	(1365)
Preparation and Characterization of Quinone Functional Polymer Biocarrier (PET-AQS) for Bionitrification Catalysis	XU Qing, HOU Zheng-hao, TIAN Xiu-lei, <i>et al.</i>	(1374)
Kinetic Characteristics of Degradation of Geosmin and 2-Methylisoborneol by <i>Bacillus subtilis</i>	MA Nian-nian, LUO Guo-zhi, TAN Hong-xin, <i>et al.</i>	(1379)
Screening of a Highly Efficient Quinoline-degrading Strain and Its Enhanced Biotreatment on Coking Waste Water	LI Jing, LI Wen-ying	(1385)
Effect of Ferric Iron on Nitrogen Immigration and Transformation and Nitrous Oxide Emission During Simultaneous Nitrification Denitrification Process	LI Hao, YAN Yu-jie, XIE Hui-jun, <i>et al.</i>	(1392)
Running Condition and Bacterial Community Associated with the Partial Nitrification System	ZHAO Zhi-rui, JIAO Hai-hua, CUI Bing-jian, <i>et al.</i>	(1399)
Using Excess Activated Sludge Treated 4-Chlorophenol Contained Waste Water to Cultivate <i>Chlorella vulgaris</i>	WANG Lu, CHEN Xiu-rong, YAN Long, <i>et al.</i>	(1406)
Effects of Total Nitrogen and BOD ₅ /TN on Anaerobic Ammonium Oxidation-Denitrification Synergistic Interaction of Mature Landfill Leachate in Aged Refuse Bioreactor	YANG Ying-ying, CHEN Yi, LI Ming-jie, <i>et al.</i>	(1412)
Altitudinal Gradient Distribution and Source Analysis of PAHs Content of Topsoil in Jinpo Mountain, Chongqing	SHI Yang, SUN Yu-chuan, LIANG Zuo-bing, <i>et al.</i>	(1417)
Characteristics and Inputs of Cd Contamination in Paddy Soils in Typical Mining and Industrial Areas in Youxian County, Hunan Province	ZHANG Min, WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i>	(1425)
Effects of Canalization on the Iron Deposition in Sanjiang Plain	SU Wen-hui, YU Xiao-fei, WANG Guo-ping, <i>et al.</i>	(1431)
Effects of Phosphate and Zeolite on the Transformation of Cd Speciation in Soil	WANG Xiu-li, LIANG Cheng-hua, MA Zi-hui, <i>et al.</i>	(1437)
Leaching Remediation of Copper and Lead Contaminated Lou Soil by Saponin Under Different Conditions	DENG Hong-xia, YANG Ya-li, LI Zhen, <i>et al.</i>	(1445)
Accumulation Characteristics and Evaluation of Heavy Metals in Soil-Crop System Affected by Wastewater Irrigation Around a Chemical Factory in Shenmu County	QI Yan-bing, CHU Wan-lin, PU Jie, <i>et al.</i>	(1453)
Effects of Organic and Inorganic Slow-Release Compound Fertilizer on Different Soils Microbial Community Structure	WANG Fei, YUAN Ting, GU Shou-kuan, <i>et al.</i>	(1461)
Response of Maize to Lead Stress and Relevant Chemical Forms of Lead	CHENG Hai-kuan, ZHANG Biao, JING Xin-xin, <i>et al.</i>	(1468)
Effect of Boron-antimony Interaction on the Uptake and Accumulation of Antimony and Boron by Rice Seedling	XIANG Meng, HUANG Yi-zong, CAI Li-qun, <i>et al.</i>	(1474)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth of Reeds in Wetland Soils with Different Salt Content	GUO Jiang-yuan, GUO Wei, BI Na, <i>et al.</i>	(1481)
A Contrastive Study on Salt-alkaline Resistance and Removal Efficiency of Nitrogen and Phosphorus by <i>Phragmites australis</i> and <i>Typha angustifolia</i> in Coastal Estuary Area	CHEN You-yuan, SUN Ping, CHEN Guang-lin, <i>et al.</i>	(1489)
Soil Microbial Respiration Under Different Soil Temperature Conditions and Its Relationship to Soil Dissolved Organic Carbon and Invertase	WU Jing, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i>	(1497)
Comparison Analysis of Economic and Engineering Control of Industrial VOCs	WANG Yu-fei, LIU Chang-xin, CHENG Jie, <i>et al.</i>	(1507)

《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)

2015年4月15日 第36卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 4 Apr. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行