

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第2期

Vol.35 No.2

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国环境空气中颗粒物达标统计要求研究 王帅,丁俊男,王瑞斌,李健军,孟晓艳,杨彬,林宏 (401)

北京城区 PM_{2.5} 中致癌重金属季节变化特征及其来源分析 陶俊,张仁健,段菁春,荆俊山,朱李华,陈忠明,赵岳,曹军骥 (411)

北京地区冬春 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 污染水平时空分布及其与气象条件的关系 赵晨曦,王云琦,王玉杰,张会兰,赵冰清 (418)

北京市 PM_{2.5} 可吸入颗粒物反演及其时空分布分析 王艳慧,肖瑶 (428)

杭州市春季大气超细颗粒物粒径谱分布特征 谢小芳,孙在,杨文俊 (436)

春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征 王红磊,朱彬,沈利娟,刘晓慧,张泽锋,杨洋 (442)

南京市大气颗粒物中有机碳和元素碳粒径分布特征 吴梦龙,郭照冰,刘凤玲,刘杰,卢霞,姜琳娟 (451)

忻州市环境空气 PM₁₀ 中有机碳和元素碳污染特征分析 史美鲜,彭林,刘效峰,牟玲,白慧玲,刘凤娟,杨花 (458)

广州某工业区大气中 PCDD/Fs 含量水平及其季节性变化特征 青亮,苏原,苏青,张素坤,任明忠 (464)

燃煤电厂锅炉 PM_{2.5} 排放危害度评价模型建立及案例分析 史妍婷,杜谦,高建民,边昕,王知涛,董鹤鸣,韩强,曹阳 (470)

中国南海大气降水化学特征 肖红伟,龙爱民,谢露华,肖化云,刘丛强 (475)

临安本底站酸雨长期观测特征分析 李正泉,马浩,毛裕定,冯涛 (481)

北京城区大气气溶胶沉降特征研究 贺成武,任玉芬,王效科,毛宇翔 (490)

烟雾箱与数值模拟研究苯和乙苯的臭氧生成潜势 贾龙,徐永福 (495)

祁连山老虎沟 12 号冰川积雪中飞灰颗粒物的特征 董志文,秦大河,秦翔,杜志恒,陈记祖,任贾文 (504)

生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究 羌宁,王红玉,赵爱华,袁文祥,邵俊,陈檬 (513)

生物滴滤塔处理苯酚气体研究 何觉聪,黄倩茹,陈洲洋,叶杞宏,罗雨薇,魏在山 (520)

国 V 柴油机燃用丁醇-柴油混合燃料颗粒粒径分布特性试验研究 楼狄明,徐宁,范文佳,张涛 (526)

翻堆频率对猪粪条堆肥过程温室气体和氨气排放的影响 赵晨阳,李洪枚,魏源送,钟佳,郑嘉嘉,韩圣慧,万合锋 (533)

CuBr₂ 分解缓释-膜催化对零价汞的氧化性能研究 胡林刚,瞿赞,晏乃强,郭永福,谢江坤,贾金平 (541)

浙闽沿海岸域总溶解态无机锡的分布及影响因素研究 张许州,任景玲,刘宗广,樊孝鹏,刘诚刚,吴莹 (547)

基于双向算法的湖库允许纳污负荷量计算及案例 贾海峰,郭羽 (555)

北京平原区第四系地下水污染风险评价 郭高轩,李宇,许亮,李志萍,杨庆,许苗娟 (562)

不同季节辽河口营养盐的河口混合行为 张晋华,于立霞,姚庆祯,田琳 (569)

太湖南运河入湖河口沉积物氮素分布特征 马久远,王国祥,李振国,张佳,周锋,魏宏农,欧媛 (577)

亚热带地区潜流人工湿地木本植物筛选与净化潜力评价 陈永华,吴晓芙,郝君,陈明利,朱光玉 (585)

潜流人工湿地基质结构与水力特性相关性研究 白少元,宋志鑫,丁彦礼,游少鸿,何珊 (592)

凤眼莲对铜绿微囊藻生长及藻毒素与营养盐释放的影响 周庆,韩士群,严少华,宋伟,刘国锋 (597)

不同预氧化剂对长江原水氯(胺)化 DBPs 生成潜能的影响 田富箱,徐斌,荣蓉,陈英英,张天阳,朱贺振 (605)

溴化十六烷基吡啶改性沸石对水中菲的吸附作用 李佳,林建伟,詹艳慧,陈祖梅,王鹏钧 (611)

四环素光催化降解特性与选择性研究 宋晨怡,尹大强 (619)

微生物电解系统生物阴极的硫酸盐还原特性研究 符诗雨,刘广立,骆海萍,张仁铎,章莹颖 (626)

市政污水 A/DAT-IAT 系统中溶解性有机物表征与生态安全 杨赛,周启星,华涛 (633)

膜-生物反应器处理高盐废水膜面污染物特性研究 李彬,王志伟,安莹,吴志超 (643)

臭氧-曝气生物滤池组合工艺处理石化二级出水的试验研究 刘明国,吴昌永,周岳溪,高祯,王佩超,杨琦,董德 (651)

厌氧生物法处理果胶废水的研究 陈兵兵,杨春平,黎想,代传花,彭蓝艳 (657)

氧氟沙星在碳纳米管上的吸附机制研究 赵兴兴,于水利,王哲 (663)

平菇菌糠对废水中铜离子的生物吸附性能 胡晓婧,戴婷婷,顾海东,金羽,曲娟娟 (669)

基于流态化作用的吸附反应动力学和穿透特征 王君,王瑶,黄星,袁益龙,陈瑞晖,周航,周丹丹 (678)

广州城市污泥中重金属形态特征及其生态风险评价 郭鹏然,雷永乾,蔡大川,张涛,吴锐,潘佳翎 (684)

中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究 张小敏,张秀英,钟大洋,江洪 (692)

废旧电容器封存点土壤中的 PCBs 污染特征和健康风险评价 周玲莉,吴广龙,薛南冬,杨兵,李发生,丁琼,周丹丹,燕云仲,刘博,韩宝禄 (704)

深圳市表层土壤多环芳烃污染及空间分异研究 章迪,曹善平,孙建林,曾辉 (711)

洋河流域万全段重金属污染风险及控制对策 谭冰,王铁宇,朱朝云,李奇峰,徐笠,吕永龙 (719)

施用组配固化剂对盆栽土壤重金属交换态含量及在水稻中累积分布的影响 曾卉,周航,邱琼瑶,廖柏寒 (727)

螯合剂复配对实际重金属污染土壤洗脱效率影响及形态变化特征 尹雪,陈家军,吕策 (733)

Pseudomonas sp. QJX-1 的锰氧化特性研究 周娜娜,柏耀辉,梁金松,罗金明,刘锐平,胡承志,袁林江 (740)

$n(\text{NO}_3^- - \text{N})/n(\text{NO}_2^- - \text{N})$ 对混培养菌与纯培养菌同步脱氮除硫的影响 陈子爱,陈会娟,魏本平,刘刚金,邓良伟,吴力斌 (746)

杭州市空气微生物群落碳代谢特征研究 龚婵娟,许晶,方治国,楼秀芹,欧阳志云 (753)

鼠李糖脂逆胶束体系中纤维素酶的后萃研究 赵艳鸽,袁兴中,黄华军,崔凯龙,彭馨,彭子原,曾光明 (759)

黄海常见鱼类体内汞含量的种内和种间差异研究 朱艾嘉,许战洲,柳圭泽,邓丽杰,方宏达,黄良民 (764)

3 种 PAEs 对蚯蚓的毒性作用和组织酶活性影响的研究 王艳,马泽民,吴石金 (770)

新型保水剂应用于土壤-小白菜系统的环境安全评价 李希,贺纪正,郑袁明,郑明兰 (780)

黄河三角洲翅碱蓬湿地硫化氢和羧基硫磺排放动态研究 李新华,郭洪海,杨丽萍,朱振林,孙晓青 (786)

农田土壤 N₂O 产生的关键微生物过程及减排措施 朱永官,王晓辉,杨小茹,徐会娟,贾炎 (792)

《环境科学》征订启事(691) 《环境科学》征稿简则(800) 信息(489,519,591,791)

我国环境空气中颗粒物达标统计要求研究

王帅¹, 丁俊男¹, 王瑞斌^{1*}, 李健军¹, 孟晓艳¹, 杨彬², 林宏²

(1. 中国环境监测总站, 北京 100012; 2. 沈阳市环境监测中心站, 沈阳 110016)

摘要: 基于世界卫生组织 (WHO) 和美国制定颗粒物达标统计要求的原则, 利用我国 120 个城市 2005 ~ 2012 年可吸入颗粒物 (PM_{10}) 的实际监测数据, 通过统计回归法、比例反推法和控制图法对我国不同地理区划城市的颗粒物达标统计要求进行了分析研究. 结果表明, 当我国城市 PM_{10} 浓度达到年均值标准时, 大多数城市 PM_{10} 日均值的达标率均在 95.0% 以上, 平均为 97.1%; 其中华北、西北地区城市的平均达标率为 96.3%, 东北地区城市平均达标率为 96.6%, 华东、中南地区城市平均达标率为 97.2%, 西南地区城市平均达标率为 98.1%. 当我国 PM_{10} 达标统计要求等于 97 百分位数时, 日均值标准和年均值标准的控制力度基本匹配, 当达标统计要求高于 97 百分位数时, 日均值标准成为控制性标准, 反之年均值标准成为控制性标准. 综合考虑我国城市 PM_{10} 浓度统计特征、百分位数的稳健性和对人体健康的保护性等方面因素, 我国宜选择 95 百分位数作为我国目前的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的日均值达标统计要求.

关键词: 环境空气质量标准; 标准达标统计要求; 颗粒物; 百分位数; 比例反推法; 达标率

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)02-0401-10

Form of the Particulate Matter Ambient Air Standards in China

WANG Shuai¹, DING Jun-nan¹, WANG Rui-bin¹, LI Jian-jun¹, MENG Xiao-yan¹, YANG Bin², LIN Hong²

(1. China National Environmental Monitoring Center, Beijing 100012, China; 2. Shenyang Environmental Monitoring Center, Shenyang 110016, China)

Abstract: Based on the principles from the World Health Organization (WHO) and the United States, an analysis was conducted to study the form of 24-hour standard of particulate matter in China by methods of statistical regression, proportional rollback and controlling contrast maps, using the monitoring data of inhalable particulate matter (PM_{10}) from 120 cities in China during year 2005 to 2012. It was found that for cities in China, when the annual arithmetic mean of PM_{10} was equal to the national standard, the non-exceedance rates of daily average PM_{10} in most cities were higher than 95.0%, and the average rate for all cities was 97.1%. The average non-exceedance rate was 96.3% for cities in North China and Northwest China, 96.6% for Northeast China, 97.2% for East China and Central South China, and 98.1% for Southwest China. When the 97th percentile was chosen as the form of 24-hour standard of particulate matter for China, the 24-hour standard had an equal controlling strength with the annual standard. The 24-hour standard will become the controlling standard when larger percentiles were chosen, otherwise the contrary. By considering together the statistical characteristics of PM_{10} level in China, the robustness of the percentiles and protection of human health, the 95th percentile was suitable as the preferred form of the 24-hour standard of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in China.

Key words: ambient air quality standard; form of standard; particulate matter; percentile; proportional rollback method; non-exceedance rates

可吸入颗粒物 (PM_{10}) 和细颗粒物 ($PM_{2.5}$) 是空气中一类重要的污染物, 由于其成分复杂且具有显著的人体健康危害^[1-3], 因而是各国环境空气质量标准中的重要指标. 我国 2012 年修订的《环境空气质量标准》^[4] 将 $PM_{2.5}$ 首次纳入到基本评价指标中, 同时收严了 PM_{10} 的年均值标准浓度限值, 使我国的颗粒物标准在浓度限值方面与世界卫生组织 (WHO) 的过渡时期目标 1^[5] 的浓度限值相同, 逐渐与世界接轨. 然而, 各国在制定浓度限值标准的同时还规定了达标统计要求^[6]. 达标统计要求是指所制定的浓度限值的统计学含义, 即判定某地区是否符合浓度限值标准时采用的统计方法. 如美国 PM_{10} 日均值浓度限值标准为 $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 其达标的统计

要求是 3 a 内平均每年允许超标 1 d, 否则即认为该地区不满足 PM_{10} 日均值标准要求. 我国环境空气质量标准中没有规定 PM_{10} 日均值在一年或多年平均内允许超标几天, 国内相关方面研究很少也很薄弱, 本研究通过调研和分析国外达标统计要求制定过程中的主要依据, 结合我国长期的颗粒物监测数据资料, 对我国颗粒物日均值达标统计要求的选取进行了开创性研究, 有关成果对我国建立完善的环境空气质量标准体系具有重要的参考价值.

收稿日期: 2013-04-24; 修订日期: 2013-08-02

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项 (201009001-4)

作者简介: 王帅 (1982 ~), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为环境空气质量监测与评价, E-mail: wangshuai@cnemc.cn

* 通讯联系人, E-mail: wangrb@cnemc.cn

1 材料与方法

1.1 资料来源

通过文献检索,收集整理 WHO《空气质量准则》以及美国、欧盟、英国、印度、澳大利亚、中国香港、日本等国家和地区的环境空气颗粒物标准、编制说明及技术指导文件。收集整理我国 120 个城市 2005~2012 年可吸入颗粒物日均值监测数据,数据来自中国环境监测总站日报数据及历年中国环境质量报告书。该时段内 120 个城市颗粒物浓度呈整体下降趋势,可吸入颗粒物的城市整体平均浓度由 $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 下降到 $82 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

1.2 分析方法

利用统计回归法、比例反推法和控制图法等 3 种方法进行我国颗粒物达标统计要求研究。

1.2.1 统计回归法

统计回归法是通过通过对实测数据的回归分析得出颗粒物年均值和日均值达标率间关系的方法。一般来说,城市颗粒物的年均值越高,其日均值达标率就越低,日均值达标率可用年均值的单调递减函数来表征。目前的研究表明环境空气中颗粒物浓度分布近似服从以下几类统计分布函数:对数正态分布、韦伯分布、皮尔逊第 V 型分布、伽玛分布等,其中对数正态分布被认为能够较好地描述环境空气中颗粒物浓度分布特征^[7~12]。当样品量足够大时,通过回归经验曲线,便可以得出日均值达标率与年均值的对应关系,从而确定出我国的颗粒物达标统计要求。

1.2.2 比例反推法

比例反推法的理论依据是同一个城市或地区颗粒物日均值浓度的统计分布规律是相对稳定的,低浓度年份数据可由高浓度年份数据进行等比例削减来反推。这一方法在美国得到了实际监测数据的验证,并被广泛应用于美国颗粒物标准修订和健康风险评价中^[13,14]。该方法的特点是通过已知年份的实际监测数据,可以预测其他年份的污染物浓度分布情况,从而可用于空气质量的宏观管理和规划。比例反推法的处理步骤是:①根据已知年份的颗粒物日均值浓度序列计算已知年份的颗粒物年均值;②计算所得年均值与目标年均值(中国的颗粒物年均值二级标准)的比值;③将已知年份的颗粒物日均值浓度序列整体除以该比值,得到新的日均值浓度序列;④计算新构造的浓度序列的日均值达标率。通过这种方法可以构造出不同城市达到年均值标准时的日均值浓度分布情况。

将 2005~2012 年 120 个城市 8 a 的日均值浓度序列按照比例反推法进行处理,使得城市的年均值正好等于国家二级标准($70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。由于比例系数过大或过小容易造成估算结果不确定性增加,因此选取了初始年均值在 $49 \sim 126 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间的浓度序列作为有效数据序列,共计 850 个浓度序列,涵盖了 118 个城市(海口和三亚由于年均值较低被剔除)。为考察不同地理区划范围的差异,分别统计华北、东北、华东、中南、西南和西北城市日均值达标率的分布特征。

1.2.3 控制图法

控制图法^[15]是美国 EPA 在比较颗粒物年均值标准和日均值标准的控制力度时采用的一种方法,适用于比较同一种污染物的两个不同统计指标的相对强弱关系。例如美国使用控制图法比较了其 $\text{PM}_{2.5}$ 年均值标准($12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)和日均值标准(98 百分位数不超过 $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)中哪个指标对达标具有主导性作用。与前面两种正向推理方法不同,控制图法更适用于对多个不同备选方案的验证和比较,从而提供有关的决策信息。利用 120 个城市 2010~2012 年日均值数据,分别绘制了不同日均值达标统计要求与年均值标准间的控制关系图。

2 结果与分析

2.1 国外颗粒物标准现状分析

国外颗粒物标准主要包括年均值浓度限值标准、日均值浓度限值标准以及相应的达标统计要求,如表 1 所示。由于颗粒物的健康效应主要体现为长期的慢性健康危害,因此各国优先制定和执行年均值标准^[5],日均值标准定位于为年均值标准提供必要的补充,用来控制短期高浓度暴露导致的健康危害。其中,WHO 的颗粒物过渡时期目标 1 的浓度限值与我国相同,并规定了日均值标准一年最多只允许超标 3 次。美国 $\text{PM}_{2.5}$ 的日均值浓度限值标准为 $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,要求连续 3 a 内每年 98 百分位浓度的平均值不得超标。欧盟 PM_{10} 日均值浓度限值标准为 $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,与 WHO 的导则值相同,但要求一年超标次数不超过 35 次。澳大利亚则规定 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的日均值标准分别为 $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,且 1 a 最多允许超标 5 d。可以看出,不同国家颗粒物的日均值浓度限值标准并不相同,且即使浓度限值标准相同其达标统计要求也有所不同。

由表 1 还可以看出日均值标准达标统计要求主要有 3 种不同的表述方式:WHO 和美国主要使用百

分位数形式,其他国家主要采用最大允许超标天(次)数形式,印度使用了允许超标率的形式.百分位数形式、允许超标次数和超标率等表述方式的本质是基本一致的,例如 98 百分位数达标相当于超标率不超过 2%,约合 1 a 的超标天(次)数不超过 7 d. 但不同表述形式对实际环境管理的引导性有所

不同,百分位数形式偏重于对重污染程度的反映,而超标天数和超标率偏重于与浓度限值标准间的比较.另外,百分位数对应着一个具体的浓度值,直接反映了超标天的污染严重程度,而超标天数和超标率只能反映有多少天超标,无法反映出超标天的污染程度.

表 1 国外部分国家或地区的颗粒物环境空气质量标准

Table 1 Ambient air quality standards for particulate matter in some countries and regions

国家或地区标准	项目	年均值标准	日均值标准限值及达标统计要求
WHO 过渡时期目标 1 ^[5]	PM _{2.5}	35 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	99 百分位数不超过 75 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
	PM ₁₀	70 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	99 百分位数不能超过 150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
美国 ^[16]	PM _{2.5}	12 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	98 百分位数的 3 a 平均不能超过 35 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
	PM ₁₀	无	150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 连续 3 a 平均每年超标不超过 1 次
欧盟 ^[17]	PM _{2.5}	25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	没有规定
	PM ₁₀	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 1 a 不超过 35 次
英国 ^[18]	PM _{2.5}	25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	没有规定
	PM ₁₀	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 1 a 不超过 35 次
澳大利亚 ^[19]	PM _{2.5}	8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 1 a 允许超标 5 d
	PM ₁₀	无	50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 1 a 允许超标 5 d
中国香港 ^[20]	PM _{2.5}	无	无
	PM ₁₀	55 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	180 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 1 a 不超过 1 次
日本 ^[21]	PM _{2.5}	15 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	35 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
	PM ₁₀	无	0.1 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$
印度 ^[22]	PM _{2.5}	40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	60 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 允许 2% 超标, 连续超标不能超过 2 d
	PM ₁₀	60 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 允许 2% 超标, 连续超标不能超过 2 d

2.1.1 WHO 的颗粒物标准编制依据分析

WHO 在制定颗粒物标准时,主要依据颗粒物的急性和慢性健康效应以及颗粒物年均值和日均值间的统计关系来确定,其推导过程如图 1 所示.根据 PM_{2.5}急性和慢性暴露队列研究的成果^[23,24],WHO 首先确定了 PM_{2.5}年均浓度的导则值(AQG)为 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,随后根据 PM_{2.5}慢性暴露致死的剂量-效应关系确定了 3 个过渡时期目标值(15、25 和 35 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).由于单一的 PM_{2.5}导则值无法防护粗颗粒物(PM_{2.5-10})导致的健康危害,WHO 按照 PM_{2.5}与 PM₁₀比例系数为 0.5 的关系,制定 PM₁₀的年均值导则值.在 PM_{2.5}和 PM₁₀年均值确定后,通过年均值与日均值浓度间的统计关系,选取日均值浓度序列的第 99 百分位数作为 PM_{2.5}和 PM₁₀的日均值导则值和过渡时期目标值,并给出了各取值下的健康风险^[5].

由图 1 推导过程可以看出 WHO 首先确定了达标统计要求(即 99 百分位数),然后根据年均值与日均值间的统计关系才得出了日均值导则值.虽然 WHO 没有给出为何选择 99 百分位数,但从统计意

义上不难理解,百分位数越高即允许超标天数越少,更有利于保护人体健康.可以推测,如果 WHO 没有选择 99 百分位数,而是选择 98 百分位数,那么得出

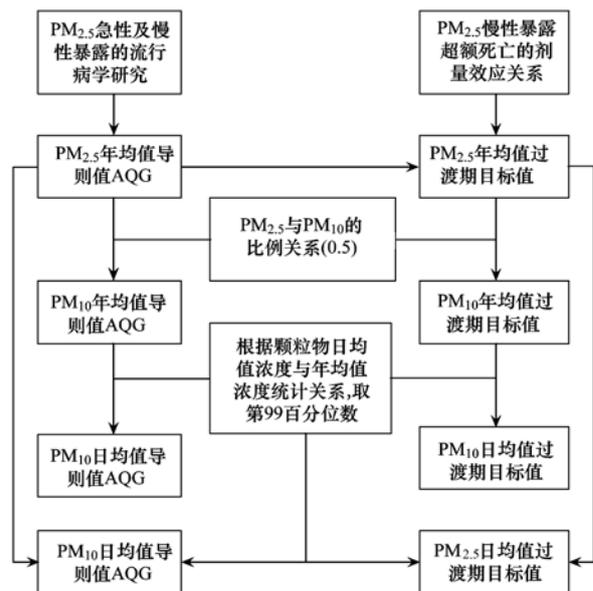


图 1 WHO 制定环境空气颗粒物标准的逻辑推导过程示意

Fig. 1 Logical deduction of ambient air quality standards for particulate matter by WHO

的日均值导则值和过渡时期目标值显然比当前的取值更低,即年均值导则值、日均值导则值和日均值达标统计要求间具有一定的对应关系。

2.1.2 美国 EPA 的颗粒物标准编制依据

美国自 1971 年开始制定颗粒物标准,在制定颗粒物的年均值和日均值标准时,主要依据颗粒物的慢性和急性健康风险评价研究成果而制定. 与 WHO 类似,美国 1997 年首次制定 PM_{2.5} 的年均值和日均值标准时,也是先确定了日均值达标统计要求,再确定日均值浓度限值标准. 美国 EPA 在当时制定达标统计要求时主要考虑的因素为指标的稳健性和对人体健康的保护性. 从稳健性来说百分位数越小越好,但随着百分位数的降低,允许的超标天数也会增加,不利于保护人体健康. 美国 EPA 综合考虑各方面因素而最终使用了 98 百分位数作为达标统计要求^[25].

美国 2006 年以及 2012 年对标准再次进行修订

时,日均值达标统计要求一直未作更改,而是对浓度限值标准进行了修订,例如 2006 年美国将 PM_{2.5} 的日均值标准由 1997 年的 65 μg·m⁻³ 加严到 35 μg·m⁻³. 在这次修订过程中,美国除了考虑健康风险评价研究成果外,也注意到了 PM_{2.5} 的年均值标准与 PM_{2.5} 日均值标准间控制力度的匹配问题. 美国 EPA 在审议颗粒物标准时认为,年均值标准有利于控制全国细颗粒物浓度的均匀下降,且其健康效应的证据比日均值标准更有力,因此不宜让日均值标准成为控制性因素^[26]. 即当评价地区的颗粒物浓度满足年均值标准时,大部分地区也应基本能够满足日均值标准的达标统计要求. 基于这一考虑,2012 年美国将 PM_{2.5} 年均值标准由 2006 年的 15 μg·m⁻³ 加严到 12 μg·m⁻³,PM_{2.5} 日均值标准未作修改^[16].

2.2 我国颗粒物达标统计要求分析

我国目前颗粒物标准的现状是日均值和年均值

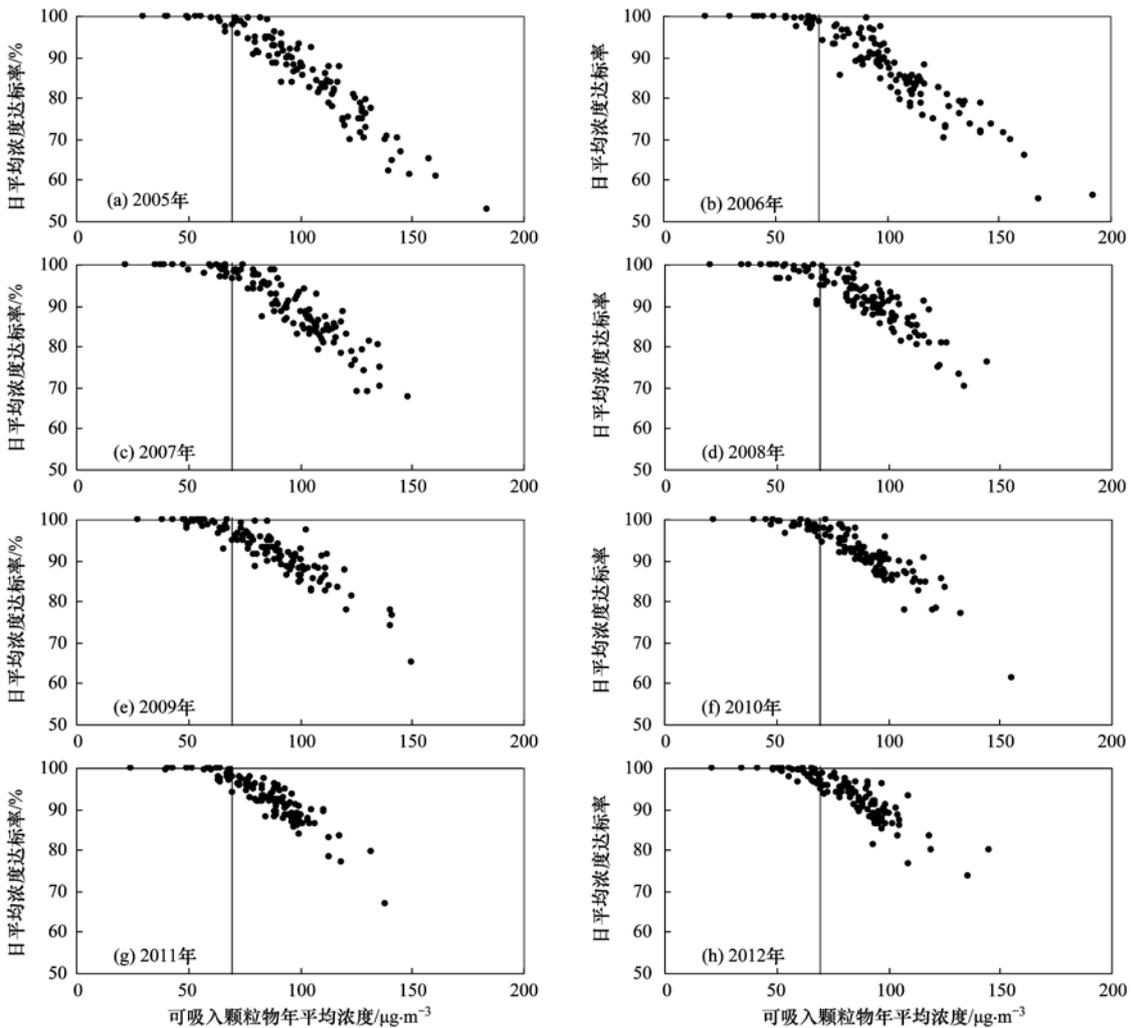


图 2 2005 ~ 2012 年 120 个城市 PM₁₀ 年均值与日均值达标率对应关系

Fig. 2 Plots of annual arithmetic mean and non-exceedance rates of daily mean of PM₁₀ between year 2005 and 2012

浓度限值标准已经确定,需要制定与之相对应的达标统计要求. 由于地域条件、污染特征和评价方法方面的差异,美国或 WHO 的百分位数结果无法直接应用到我国,必须结合我国实际情况确定符合我国国情的达标统计要求. 根据 WHO 和美国的研究结果可以看出,在制定达标统计要求过程中需要综合考虑以下几方面因素:①城市颗粒物年均值浓度与日均值浓度间的统计关系;②颗粒物年均值标准和日均值标准间的控制力度关系;③统计指标的稳定性;④对人体健康的保护性.

2.2.1 统计回归法分析结果

图2所示为2005~2012年120个城市可吸入颗粒物年均值与日均值达标率对应关系图. 从2005~2012年,城市颗粒物年均值浓度呈逐渐下降的趋势,年均值达标城市数量不断增加,即图中数据点逐渐集中趋向于达标区间. 当城市年均值接近国家二级标准($70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)时,绝大多数城市的日均值达标率均大于95.0%. 由于各城市的污染特征不同且

受到年际间气象条件差异的影响,城市日均值达标率具有一定的不确定性和波动性,无法准确预测某一未知年份的日均值达标率.

2.2.2 比例反推法分析结果

首先对比例反推法的适用性进行了验证. 选取颗粒物浓度较高的2005年数据和浓度相对较低的2012年数据,对我国六大地理区划内典型城市的 PM_{10} 日均值浓度分布特征进行了检验,如图3所示. 可以看出对于不同地理区划内的典型城市,2012年 PM_{10} 日均值百分位数浓度与2005年 PM_{10} 日均值百分位数浓度间具有很好的正比例关系,从而验证了比例反推法基本可以适用. 即2012年日均值浓度可由2005年的日均值乘以一定的比例系数而得出,这一比例系数可由2012年年均值与2005年年均值的比值来确定.

按照不同地理区划,分别统计城市日均值达标率的分布频率和累积频率,如图4所示(华北、东北、华东、中南、西南和西北地区的有效数据量分

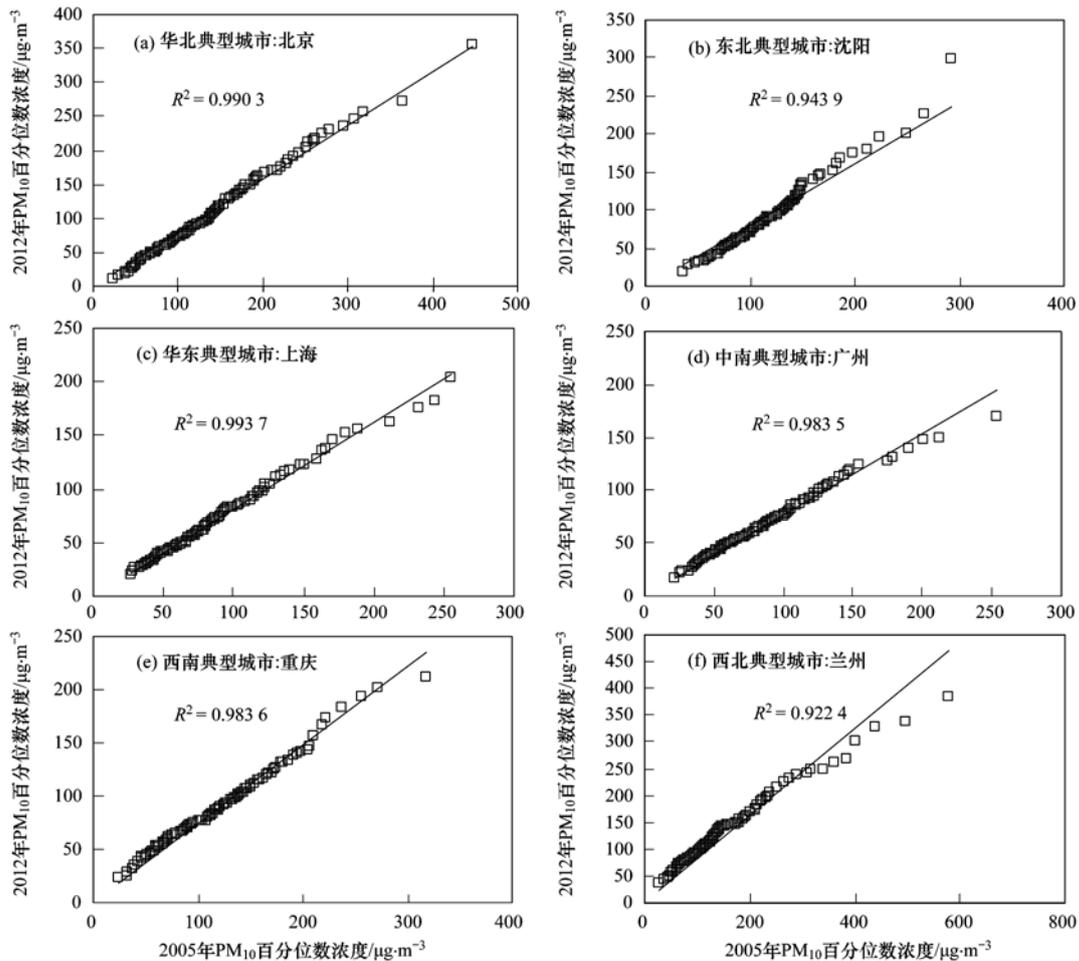


图3 我国六大地理区划内典型城市2005年和2012年 PM_{10} 日均值的相同百分位数的浓度间对比关系

Fig. 3 Plots of concentrations of the same percentages of PM_{10} 24-hour mean between year 2005 and 2012 from typical cities in 6 geographic regions in China

别为 101、91、274、192、113 和 79 个)。可以看出华北、东北和西北地区城市日均值达标率的分布频率和累积频率曲线较为相似,基本呈近似对称分布,在 97% 附近存在较为明显的中心趋势,日均值达标率为 100% 的概率较小。其中西北地区城市在达标率较低区间仍有相当分布。华东和中南地区城市的峰值区间较宽,集中在 96% ~ 98% 范围内,其中位数分布在 97% ~ 98% 之间,达标率为 100% 的概率高于北方城市。西南地区城市的达标率则明显高于其他地区,在接近 100% 位置出现峰值。

经计算,华北、东北、华东、中南、西南和西北地区城市日均值达标率的平均值分别为 96.3%、96.6%、97.2%、97.2%、98.1% 和 96.3%。即华

北与西北地区城市日均值达标率最低,其次是东北地区,华东和中南地区城市的达标率好于北方城市,西南地区城市日均值达标率最高。西南地区城市由于自身地理、气候条件等因素,较少受到类似沙尘暴等极端高浓度颗粒物污染的影响,当满足年均值标准时,日均值达标率通常较高。而对于西北地区城市,即使年均值得到了很大改善,季节性的极端污染天气现象仍会对达标率造成一定的影响,而这种非人为因素的影响是很难通过环境管理措施得到改善的。因此在制定全国性的颗粒物达标统计要求时,应充分考虑到地区间的差异。

为考虑全国整体情况,将不同地理区划城市的日均值达标率作为整体进行分析,其分布频率和累

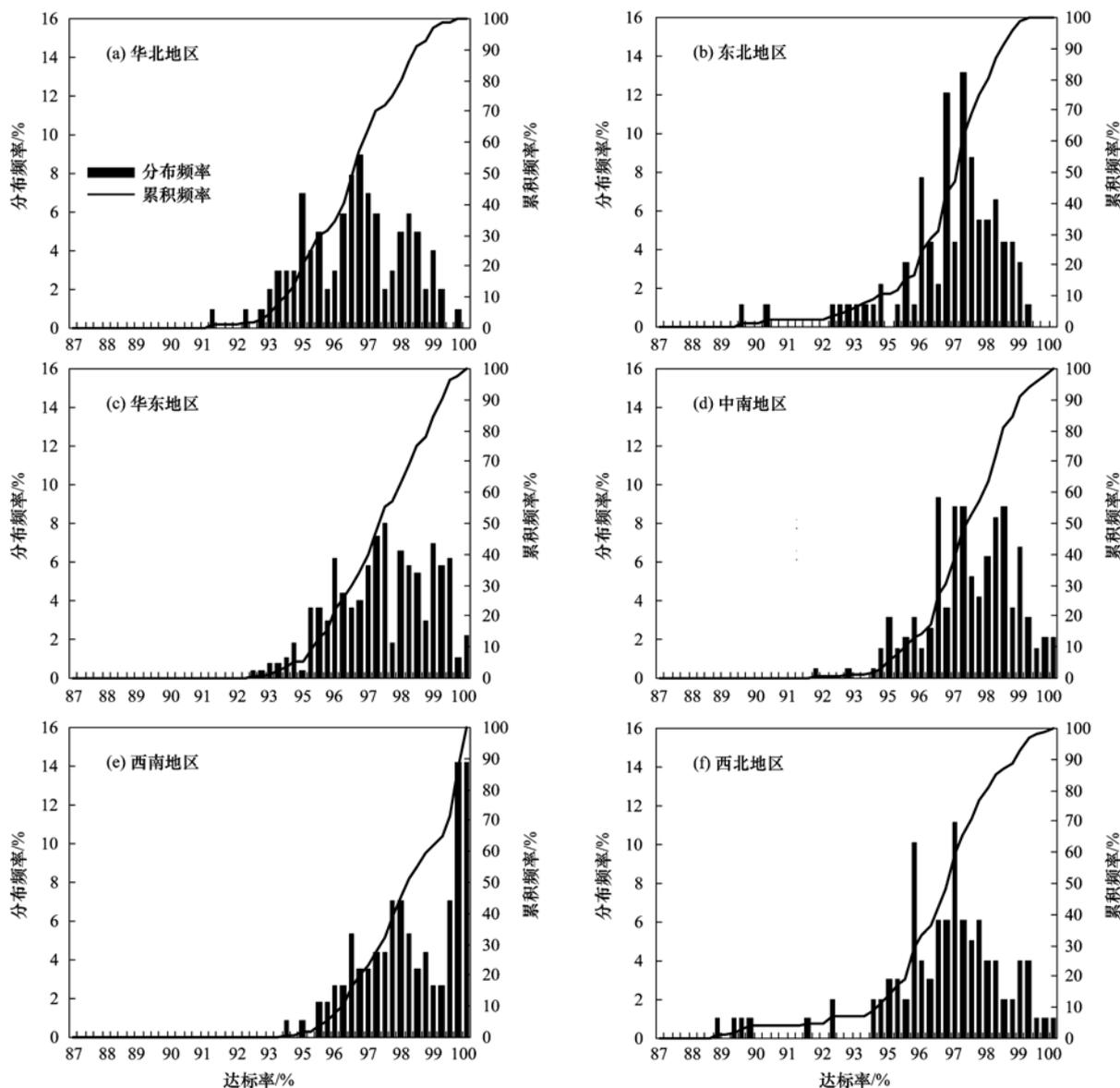


图 4 比例反推法得出的我国六大地理区划城市 PM_{10} 日均值达标率的分布情况

Fig. 4 Distribution characteristics of non-exceedance rates of PM_{10} 24-hour mean in 6 geographic regions in China by method of proportional rollback

积频率曲线如图 5 所示. 可以看出日均值达标率的整体分布服从近似正态分布, 其 25 百分位数、50 百分位数和 75 百分位数对应的达标率分别为 96.2%、97.3% 和 98.4%, 平均值为 97.1%.

2.2.3 控制图法分析

不同颗粒物日均值达标统计要求与年均值标准的控制图如图 6 所示. 按我国年均值和日均值浓度限值标准, 控制图分为 4 个区间, 其中左下方区域代表同时满足年均值和日均值标准, 即颗粒物浓度达标. 可以看出随着百分位数的下降, 百分位数浓度值在整体下移, 左上方区域(年均值达标, 百分位数浓度不达标)内的数据点逐渐减少, 而右下方区域(年均值不达标, 百分位数浓度达标)内的数据点在逐渐上升. 即 99 百分位数和 98 百分位数下日均值

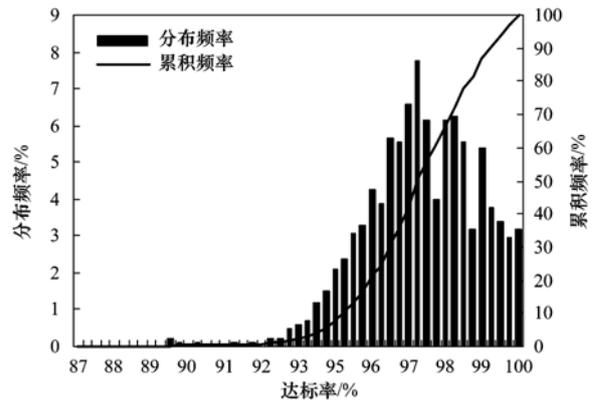


图 5 比例反推法得出的我国城市 PM₁₀ 日均值达标率的分布情况

Fig. 5 Distribution characteristics of non-exceedance rates of PM₁₀ 24-hour mean in cities of China by method of proportional rollback

标准的控制力度强于年均值标准; 97 百分位数下

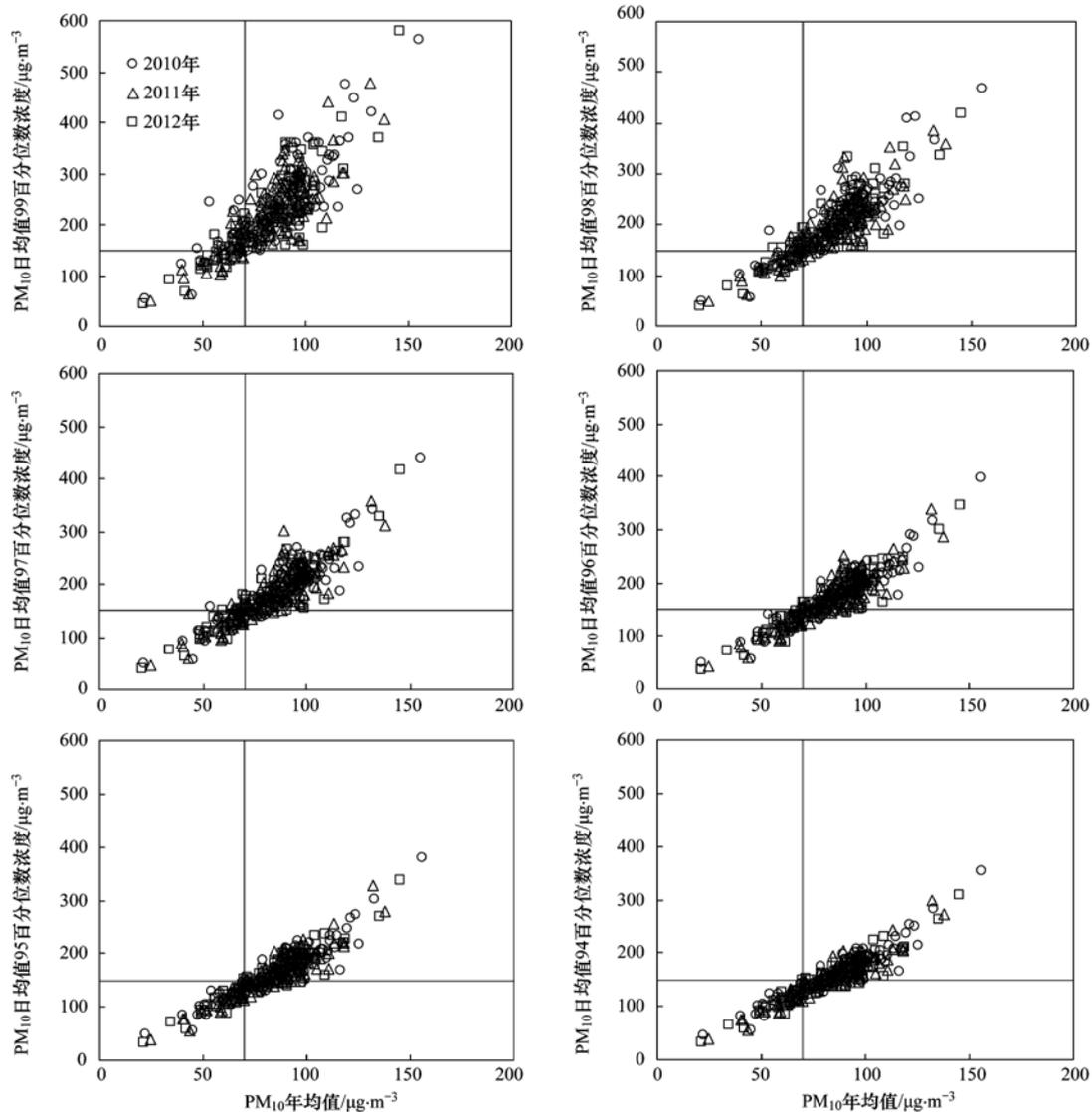


图 6 2010 ~ 2012 年 120 个城市 PM₁₀ 年均值和日均值百分位数关系图

Fig. 6 Plots of percentile concentrations of PM₁₀ 24-hour mean with annual arithmetic mean from 120 cities between year 2010 and 2012

两者基本平衡; 96、95 和 94 百分位数下, 日均值标准的控制力度逐渐弱于年均值标准. 按照美国的原则, 我国不宜选取 99、98 百分位数作为达标统计要求, 从而保证颗粒物年均值标准成为控制性标准.

3 讨论

3.1 达标统计要求的确定

由统计回归法、比例反推法和控制图法的分析结果可以看出, 3 种分析方法的结果是基本一致的, 反映出了我国城市 PM_{10} 年均值和 PM_{10} 日均值间的统计关系. 从统计关系来看, 第 97 百分位数浓度是较为合适的取值, 整体来讲在这一取值下我国城市在满足年均值标准的同时也基本能够满足日均值标准, 即日均值标准与年均值标准的控制力度基本相同. 然而从环境管理和决策的角度讲, 97 百分位数对于某些城市来说可能并不公平, 特别是容易受到沙尘传输等非人为因素影响的西北地区城市. 对比 WHO 标准可以看出虽然我国 PM_{10} 的浓度限值标准与 WHO 过渡时期目标 1 完全相同, 但 WHO 的 99 百分位数却并不适合我国国情, 因为绝大多数城市在年均值达到 $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 时, 均无法满足这一达标统计要求. 这主要是由于国外在判定达标区划时会扣除特殊污染事件^[27,28]. 由于我国目前面向环境管理的评价中没有像国外那样扣除沙尘暴、火山爆发以及重大节日烟花爆竹燃放等特殊事件的影响, 所以应该对该类事件预留一定的空间.

在图 3 中可以看出 93 百分位数以下的低百分位数区间内的线性关系较好, 而高百分位数区间的线性关系则不均匀, 这是因为高百分位数浓度会受到年际间较大偶然因素(如气象条件)的影响. 从这一点来看, 低百分位数更适合于评价环境空气质量的变化情况, 例如可有效反映环境治理工作的成效. 因此从指标稳健性角度来说, 低百分位数优于高百分位数. 当然, 更低的百分位数浓度允许了更多天的超标, 不利于保护人体健康.

图 7 所示为 120 个城市不同百分位数浓度的变异情况. 可以看出随着百分位数的降低, 统计量的发散性降低, 指标逐渐趋向稳定, 受异常数据的干扰影响减小. 其中 98、97 和 96 百分位数的方差下降幅度都在 10% 以上, 95 百分位数开始方差降幅小于 10%. 因此选取第 95 百分位数作为达标统计要求是目前一个相对稳妥的方案. 一方面 95 百分位数考虑到了我国城市 PM_{10} 年均值与日均值间的特定统计关系, 在控制力度方面弱于年均值标准, 与国

外的相关依据是一致的, 达到了完善我国空气质量标准体系的目的. 另一方面, 95 百分位数也兼顾到了部分城市的特殊情况, 其统计稳健性优于 97 百分位数.

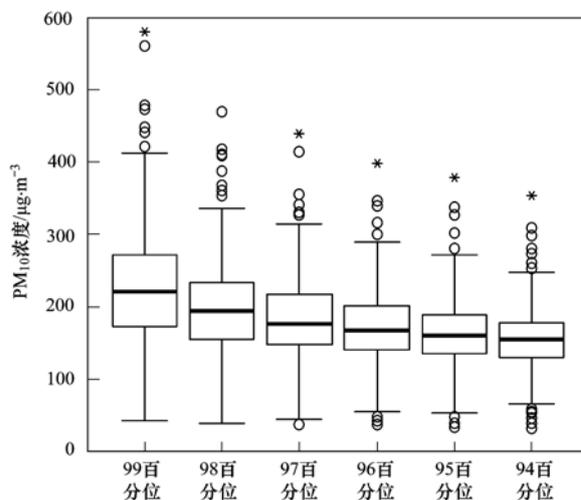


图 7 2010~2012 年 120 个城市不同 PM_{10} 日均值百分位数浓度的盒须图

Fig. 7 Boxplots of percentile concentrations of PM_{10}

24-hour mean from 120 cities between year 2010 and 2012

对于 $PM_{2.5}$, 由于目前实际监测数据量有限, 难以按照上述分析方法研究其年均值和日均值浓度间的统计关系. 但根据 WHO 的有关经验, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的浓度分布有着近似的统计关系, 可采用相同的达标统计要求. 由于我国的 $PM_{2.5}$ 浓度限值标准均参照 WHO 而制定, 因此可将 $PM_{2.5}$ 的达标统计要求也制定为 95 百分位数.

3.2 对达标评价的影响分析

在增加了达标统计要求后, 对 2010~2012 年 120 个城市的达标城市数量进行了分析, 结果如表 2 所示. 近 3 年内 120 个城市的年均值达标城市数量分别为 27 个、29 个和 36 个. 当增加 97 百分位数达标要求后, 分别有 3、2、5 个城市因此判定为不达标, 这些城市的年均值范围为 $67 \sim 70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 97 百分位数浓度范围为 $154 \sim 180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 当增加 96 百分位数达标要求后, 分别有 2、1、2 个城市因此判定为不达标, 这些城市的年均值范围为 $69 \sim 70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 96 百分位数浓度范围为 $151 \sim 164 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 当增加 95 百分位数达标要求后, 每年各有 1 个城市因此判定为不达标, 这些城市的年均值恰好为 $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 95 百分位数浓度范围为 $151 \sim 153 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 总体来看, 增加 97、96 和 95 百分位数后, 达标城市数量分别降低约 11%、6% 和 3%.

表 2 不同达标要求情景下的 PM₁₀ 达标城市数量

Table 2 Number of attainment cities under different scenarios

年份	总城市数量	年均值达标城市数量	年均值达标且 97 百分位数达标城市数量	年均值达标且 96 百分位数达标城市数量	年均值达标且 95 百分位数达标城市数量
2010 年	120	27	24	25	26
2011 年	120	29	27	28	28
2012 年	120	36	31	34	35

4 结论

(1) 颗粒物达标统计要求的制定是根据颗粒物年均值浓度和日均值浓度间的统计关系、年均值标准和日均值标准控制力度、统计指标的稳定性以及对人体健康的保护性等多方面因素而制定的。

(2) 我国城市 PM₁₀ 的年均值浓度达到国家二级标准时 (70 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 绝大多数城市的 PM₁₀ 日均值达标率均在 95.0% 以上, 但不同地理区划城市间具有较大的差别。其中华北、西北地区城市的平均达标率为 96.3%, 东北地区城市平均达标率为 96.6%, 华东、中南地区城市平均达标率为 97.2%, 西南地区城市平均达标率为 98.1%, 全国整体平均达标率为 97.1%。制定全国统一的达标统计要求时需兼顾不同地理分区间的差异。

(3) 从全国整体水平来看, 当我国颗粒物日均值达标统计要求为 99、98 百分位数时, PM₁₀ 日均值标准的控制力度强于年均值标准; 当达标统计要求为 97 百分位数时, PM₁₀ 日均值标准和年均值标准的控制力度基本匹配; 当达标统计要求为 96 百分位数及以下时, PM₁₀ 年均值标准成为控制性标准。

(4) 百分位数越低, 其指标稳健性越好, 更适用于评价环境空气质量的客观变化情况, 但低百分位数将不利于保护人体健康, 第 95 百分位数适合作为我国目前 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的达标统计要求, 当增加这一达标统计要求后, 我国 PM₁₀ 达标城市数量降低约 3%。

参考文献:

- [1] 杨维, 赵文吉, 宫兆宁, 等. 北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析[J]. 环境科学, 2013, **34**(1): 237-243.
- [2] 姚利, 李杏茹, 郭雪清, 等. 2007 年春节期间北京大气细粒子中正构烷烃的污染特征[J]. 环境科学, 2009, **30**(2): 589-593.
- [3] 宋宇, 唐孝炎, 方晨, 等. 北京市大气细粒子的来源分析[J]. 环境科学, 2002, **23**(6): 11-16.
- [4] GB 3095-2012, 环境空气质量标准[S].
- [5] World Health Organization. Air quality guidelines-global update 2005[R]. Bonn: WHO Regional office for Europe, 2005. 275-280.
- [6] 王宗爽, 武婷, 车飞, 等. 中外环境空气质量标准比较[J]. 环境科学研究, 2010, **23**(3): 253-260.
- [7] Ott W R. A physical explanation of the lognormality of pollutant concentrations [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 1990, **40**(10): 1378-1383.
- [8] Lu H C. The statistical characters of PM₁₀ concentration in Taiwan area [J]. Atmosphere Environment, 2002, **36**(3): 491-502.
- [9] Kan H D, Chen B H. Statistical distributions of ambient air pollutants in Shanghai, China [J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2004, **17**(3): 366-372.
- [10] Mijić Z, Tasić M, Rajšić S, et al. The statistical characters of PM₁₀ in Belgrade area [J]. Atmospheric Research, 2009, **92**(4): 420-426.
- [11] Sharma P, Sharma P, Jain S, et al. An integrated statistical approach for evaluating the exceedance of criteria pollutants in the ambient air of megacity Delhi [J]. Atmospheric Environment, 2013, **70**(8): 7-17.
- [12] 邓启红, 黄柏良, 唐猛, 等. 长沙市大气颗粒物 PM₁₀ 质量浓度的统计分布特性[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, **43**(4): 1567-1573.
- [13] US EPA. Quantitative health risk assessment for particulate matter [EB/OL]. http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/PM_RA_FINAL_June_2010. 2010-6-30.
- [14] Johnson T. A guide to selected algorithms, distributions, and databases used in exposure models developed by the office of air quality planning and standards [EB/OL]. www.epa.gov/ttn/fera/data/human/report052202. 2002-5-22.
- [15] Schmidt M. PM_{2.5} air quality analyses-update [EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/Schmidt041511.pdf>. 2011-4-15.
- [16] US EPA. National ambient air quality standards for particulate matter [EB/OL]. <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-01-15/pdf/2012-30946>. 2013-1-15.
- [17] European Commission. Air quality standards [EB/OL]. <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>. 2013-3-7.
- [18] UK Department of Environment, Food and Rural Affairs. Air quality objectives [EB/OL]. <http://aqma.defra.gov.uk/objectives>. 2007-7-1.
- [19] Australian Government, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities. National standards for criteria air pollutants in Australia [EB/OL]. <http://www.environment.gov.au/atmosphere/airquality/publications/standards.html>. 2009-9-16.
- [20] 香港特别行政区政府环境保护署. 空气素质指标 [EB/OL]. http://pe211.epd-asg.gov.hk/gb/www.epd-asg.gov.hk/tc_

- chi/backgd/hkaqo.html. 2006-12-5.
- [21] Ministry of the Environment Government of Japan. Environmental quality standards in Japan-air quality [EB/OL]. <http://www.env.go.jp/en/air/aq/aq.html>. 1973-5-8.
- [22] Ministry of Environment and Forests, Indian. National ambient air quality standards [EB/OL]. <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/826.pdf>. 2009-11-16.
- [23] Pope C A, Thun M J, Namboodiri M M, *et al.* Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U. S. adults [J]. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 1995, **151**(3): 669-674.
- [24] Dockery D W, Pope C A, Xu X, *et al.* An association between air pollution and mortality in six U S cities [J]. *The New England Journal of Medicine*, 1993, **329**(4): 1753-1759.
- [25] US EPA. National ambient air quality standards for particulate matter [EB/OL]. <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2006-10-17/pdf/06-8477>. 2006-10-17.
- [26] US EPA. Policy assessment for the review of the particulate matter national ambient air quality standards [EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/20110419pmpafinal.2011-4-19>.
- [27] European Commission. Directive 2008/50/ec of the European Parliament and of the Council [EB/OL]. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044;EN.2008-5-21>.
- [28] US EPA. Treatment of air quality monitoring data influenced by exceptional events [EB/OL]. <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2006-03-10/pdf/06-2179>. 2006-3-10.

CONTENTS

Form of the Particulate Matter Ambient Air Standards in China	WANG Shuai, DING Jun-nan, WANG Rui-bin, <i>et al.</i> (401)
Seasonal Variation of Carcinogenic Heavy Metals in PM _{2.5} and Source Analysis in Beijing	TAO Jun, ZHANG Ren-jian, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (411)
Temporal and Spatial Distribution of PM _{2.5} and PM ₁₀ Pollution Status and the Correlation of Particulate Matters and Meteorological Factors During Winter and Spring in Beijing	ZHAO Chen-xi, WANG Yun-qi, WANG Yu-jie, <i>et al.</i> (418)
Inversion and Spatial-Temporal Distribution Analysis on PM _{5.0} Inhalable Particulate in Beijing	WANG Yan-hui, XIAO Yao (428)
Characterization of Ultrafine Particle Size Distribution in the Urban Atmosphere of Hangzhou in Spring	XIE Xiao-fang, SUN Zai, YANG Wen-jun (436)
Size Distributions of Aerosol During the Spring Festival in Nanjing	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (442)
Size Distributions of Organic Carbon and Elemental Carbon in Nanjing Aerosol Particles	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (451)
Characterization of Organic and Elemental Carbon in PM ₁₀ in Xinzhou City	SHI Mei-xian, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (458)
Seasonal Variation of Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Atmosphere of an Industrial Area, Guangzhou	QING Xian, SU Yuan, SU Qing, <i>et al.</i> (464)
Hazard Evaluation Modeling of Particulate Matters Emitted by Coal-Fired Boilers and Case Analysis	SHI Yan-ting, DU Qian, GAO Jian-min, <i>et al.</i> (470)
Chemical Characteristics of Precipitation in South China Sea	XIAO Hong-wei, LONG Ai-min, XIE Lu-hua, <i>et al.</i> (475)
Analysis of Acid Rain Characteristics of Lin'an Regional Background Station Using Long-term Observation Data	LI Zheng-quan, MA Hao, MAO Yu-ding, <i>et al.</i> (481)
Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition in Beijing Urban Area	HE Cheng-wu, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (490)
Studies of Ozone Formation Potentials for Benzene and Ethylbenzene Using a Smog Chamber and Model Simulation	JIA Long, XU Yong-fu (495)
Characteristics of Fly Ash Particles Deposition in the Snowpack of Laohugou Glacier No. 12 in Western Qilian Mountains, China	DONG Zhi-wen, QIN Da-he, QIN Xiang, <i>et al.</i> (504)
Odor Emission Rate of Municipal Solid Waste from Landfill Working Area	QIANG Ning, WANG Hong-yu, ZHAO Ai-hua, <i>et al.</i> (513)
Gaseous Phenol Removal in a Bio-Trickling Filter	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> (520)
Particulate Distribution Characteristics of Chinese Phrase V Diesel Engine Based on Butanol-Diesel Blends	LOU Di-ming, XU Ning, FAN Wen-jia, <i>et al.</i> (526)
Effects of Turning Frequency on Emission of Greenhouse Gas and Ammonia During Swine Manure Windrow Composting	ZHAO Chen-yang, LI Hong-mei, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (533)
Oxidation of Mercury by CuBr ₂ Decomposition Under Controlled-Release Membrane Catalysis Condition	HU Lin-gang, QU Zan, YAN Nai-qiang, <i>et al.</i> (541)
Distributions and Influencing Factors of Total Dissolved Inorganic Antimony in the Coastal Area of Zhejiang and Fujian	ZHANG Xu-zhou, REN Jing-ling, LIU Zong-guang, <i>et al.</i> (547)
Calculation of Allowable Pollution Loads for Lake and Reservoir Based on Bi-direction Algorithm and Its Case Study	JIA Hai-feng, GUO Yu (555)
Risk Assessment of Quaternary Groundwater Contamination in Beijing Plain	GUO Gao-xuan, LI Yu, XU Liang, <i>et al.</i> (562)
Mixing Behavior of Nutrients in Different Seasons at Liaohe Estuary	ZHANG Jin-hua, YU Li-xia, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (569)
Distribution of Nitrogen in the Sediment of Taige South River Estuary	MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> (577)
Selection and Purification Potential Evaluation of Woody Plant in Vertical Flow Constructed Wetlands in the Subtropical Area	CHEN Yong-hua, WU Xiao-fu, HAO Jun, <i>et al.</i> (585)
Correlation of Substrate Structure and Hydraulic Characteristics in Subsurface Flow Constructed Wetlands	BAI Shao-yuan, SONG Zhi-xin, DING Yan-li, <i>et al.</i> (592)
Impacts of <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms Stress on the Growth Characteristics, Microcystins and Nutrients Release of <i>Microcystis aeruginosa</i>	ZHOU Qing, HAN Shi-qun, YAN Shao-hua, <i>et al.</i> (597)
Effects of Different Pre-oxidants on DBPs Formation Potential by Chlorination and Chloramination of Yangtze River Raw Water	TIAN Fu-xiang, XU Bin, RONG Rong, <i>et al.</i> (605)
Adsorption of Phenanthrene from Aqueous Solution on Cetylpyridinium Bromide (CPB)-Modified Zeolite	LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (611)
Characteristics and Selectivity of Photocatalytic-Degradation of Tetracycline Hydrochloride	SONG Chen-yi, YIN Da-qiang (619)
Characterization of Biocatalysed Sulfate Reduction in a Cathode of Microbial Electrolysis System	FU Shi-yu, LIU Guang-li, LUO Hai-ping, <i>et al.</i> (626)
Characteristics of Dissolved Organic Matter in A/DAT-IAT System for Municipal Wastewater Treatment Based on Ecological Safety	YANG Sai, ZHOU Qi-xing, HUA Tao (633)
Membrane Surface Fouling Properties in MBRs for High-Salinity Wastewater Treatment	LI Bin, WANG Zhi-wei, AN Ying, <i>et al.</i> (643)
Treatment of Petrochemical Secondary Effluent by Ozone-biological Aerated Filter	LIU Ming-guo, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (651)
Treatment of Pectin Wastewater by Anaerobic Biological Process	CHEN Bing-bing, YANG Chun-ping, LI Xiang, <i>et al.</i> (657)
Sorption Mechanism of Ofloxacin by Carbon Nanotubes	ZHAO Xing-xing, YU Shui-li, WANG Zhe (663)
Biosorption Characteristics of Cu ²⁺ by Spent Substrate of Pleurotus Oyster	HU Xiao-jing, ZANG Ting-ting, GU Hai-dong, <i>et al.</i> (669)
Adsorption Dynamics and Breakthrough Characteristics Based on the Fluidization Condition	WANG Jun, WANG Yao, HUANG Xing, <i>et al.</i> (678)
Characteristics of Speciation and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Sewage Sludge of Guangzhou	GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, CAI Da-chuan, <i>et al.</i> (684)
Spatial Distribution and Accumulation of Heavy Metal in Arable Land Soil of China	ZHANG Xiao-min, ZHANG Xiu-ying, ZHONG Tai-yang, <i>et al.</i> (692)
Pollution Patterns and Health Risk Assessment for Polychlorinated Biphenyls in Soils from a Capacitor Storage Site	ZHOU Ling-li, WU Guang-long, XUE Nan-dong, <i>et al.</i> (704)
Occurrence and Spatial Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils from Shenzhen, China	ZHANG Di, CAO Shan-ping, SUN Jian-lin, <i>et al.</i> (711)
Risk Assessment and Countermeasures of Heavy Metals Pollution in Wanquan Segment of Yanghe River	TAN Bing, WANG Tie-yu, ZHU Zhao-yun, <i>et al.</i> (719)
Effects of Group Matching Curing Agent on Exchangeable Pb, Cd, Zn Contents in the Potted Soils and their Accumulation in Rice Plants	ZENG Hui, ZHOU Hang, QIU Qiong-yao, <i>et al.</i> (727)
Impact of Compound Chelants on Removal of Heavy Metals and Characteristics of Morphologic Change in Soil from Heavy Metals Contaminated Sites	YIN Xue, CHEN Jia-jun, LÜ Ce (733)
Characterization of Manganese Oxidation by <i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1	ZHOU Na-na, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (740)
Effects of the Ratio of NO ₃ ⁻ -N to NO ₂ ⁻ -N on the Removal of Sulfide and Nitrogen by Mixed Culture and Pure Culture	CHEN Zi-ai, CHEN Hui-juan, WEI Ben-ping, <i>et al.</i> (746)
Carbon Metabolic Characteristics of Airborne Microbes in Hangzhou	GONG Chan-juan, XU Jing, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (753)
Study on the Backward Extraction of Cellulase in Rhamnolipid Reverse Micelles	ZHAO Yan-ge, YUAN Xing-zhong, HUANG Hua-jun, <i>et al.</i> (759)
Inner- and Inter-Species Differences of Mercury Concentration in Common Fishes from the Yellow Sea	ZHU Ai-jia, XU Zhan-zhou, LIU Gui-ze, <i>et al.</i> (764)
Study on the Effect of Enzymatic Activity and Acute Toxicity of Three PAEs on <i>Eisenia foetida</i>	WANG Yan, MA Ze-min, WU Shi-jin (770)
Environmental Safety Assessment on the New Super Absorbent Polymers Applied into a Soil-Chinese Cabbage System	LI Xi, HE Ji-zheng, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (780)
Study on Dynamics of Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide Emission Fluxes from <i>Suaeda salsa</i> Marsh in the Yellow River Estuary	LI Xin-hua, GUO Hong-hai, YANG Li-ping, <i>et al.</i> (786)
Key Microbial Processes in Nitrous Oxide Emissions of Agricultural Soil and Mitigation Strategies	ZHU Yong-guan, WANG Xiao-hui, YANG Xiao-ru, <i>et al.</i> (792)

《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)

2014年2月15日 35卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 2 Feb. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行