

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第10期

Vol.36 No.10

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

基于细颗粒物来源追踪技术的2013年12月上海市严重污染过程中PM _{2.5} 的源贡献分析·····	李莉, 安静宇, 严茹莎 (3543)
华北地区乡村站点(曲周)夏季PM _{2.5} 中二次无机组分的生成机制与来源解析·····	陈仕意, 曾立民, 董华斌, 朱彤 (3554)
成都市大气PM _{2.5} 中有机磷阻燃剂的污染水平及来源·····	印红玲, 李世平, 叶芝祥, 杨迎春, 梁金凤, 游俊杰 (3566)
不同生物质燃烧排放多环芳烃及糖醇类化合物的模拟研究·····	黄帅, 黄欣怡, 吴水平, 胡清华, 陈晓秋 (3573)
北京地区大气消光特征及参数化研究·····	陈一娜, 赵普生, 何迪, 董璠, 赵秀娟, 张小玲 (3582)
光助芬顿反应催化降解气体中甲苯·····	郑思灿, 陈天虎, 刘海波, 邹雪华, 朱承驻, 陈冬 (3590)
遗体火化二噁英类排放水平及影响因素·····	尹文华, 于晓巍, 韩静磊, 冯桂贤, 付建平, 杨艳艳, 鞠勇明, 张素坤 (3596)
我国餐厨废物生化处理设施恶臭排放特征分析·····	张妍, 王元刚, 卢志强, 韩萌, 商彬彬, 曹阳, 张君 (3603)
太湖湖表反照率时空特征及影响因子·····	曹畅, 李旭辉, 张弥, 刘寿东, 肖薇, 肖启涛, 徐家平 (3611)
基于GOCI影像的太湖水体漫滩系数遥感反演·····	王珊珊, 李云梅, 王桥, 吕恒 (3620)
河口盐度梯度下短叶茳苳沼泽湿地土壤间隙水溶解性甲烷时空特征·····	杨平, 张子川, 杜威宁, 黄佳芳, 全川 (3633)
石家庄市土壤水分运移的稳定同位素特征分析·····	陈同同, 陈辉, 韩璐, 邢星, 付阳阳 (3641)
长寿湖水库垂直剖面不同形态汞的季节变化特征及其影响因素·····	白薇扬, 张成, 唐振亚, 赵铮, 王定勇 (3649)
三峡库区消落带4种典型植物根际土壤养分与氮素赋存形态·····	王晓峰, 袁兴中, 刘红, 张磊, 尉建军, 岳俊生 (3662)
湖泊水-沉积物界面DIC和DOC交换通量及耦合关系·····	王伟颖, 吕昌伟, 何江, 左乐, 颜道浩 (3674)
水体扰动条件下物质在沉积介质中的迁移·····	李邵龙, 陈道毅 (3683)
城市道路径流的排污特征·····	武俊良, 任玉芬, 王雪梅, 王效科, 陈利顶, 刘刚才 (3691)
杭州市余杭区典型农村暴雨径流污染特征·····	段圣辉, 赵钰, 单保庆, 唐文忠, 张文强, 张淑珍, 郎超 (3697)
海水淡化超滤-反渗透工艺沿程溴代消毒副产物变化规律·····	杨哲, 孙迎雪, 石娜, 胡洪管 (3706)
天然有机物和电解质对水中C ₆₀ 凝聚行为的影响·····	方华, 荆洁, 于江华, 王钰葶 (3715)
铅改性高岭土原位改良技术控制重污染河道底泥磷释放效果·····	王虹, 林建伟, 詹艳慧, 章喆, 王笛入 (3720)
污水管网中无机氮类营养盐变迁规律·····	金鹏康, 焦丁, 任武昂 (3730)
微好氧水解酸化在石化废水预处理中的应用研究·····	朱晨, 吴昌永, 周岳溪, 伏小勇, 陈学民, 邱延波, 吴晓峰 (3738)
倒置A ² /O-MBR组合工艺处理生活污水效能及膜污染特性·····	王旭东, 马亚斌, 王磊, 杨怡婷, 黄丹曦, 夏四清 (3743)
高氨氮对具有回流的PN-ANAMMOX串联工艺的脱氮影响·····	李祥, 崔剑虹, 袁砚, 黄勇, 袁怡, 刘忻 (3749)
苯甲酸盐厌氧驯化体系中三氯乙烯的还原脱氯特性·····	李姜维, 杨晓永, 胡安谊, 于昌平 (3756)
驯化污泥厌氧还原脱氯促进2,4,6-三氯酚矿化及胞外呼吸脱氯途径·····	宋佳秀, 李玲, 盛凡凡, 郭翠香, 张永明, 李祖元, 王天丽 (3764)
苯酚对厌氧氨氧化污泥脱氮效能长短期影响·····	杨朋兵, 李祥, 黄勇, 朱亮, 崔剑虹, 徐彬彬 (3771)
连续流好氧颗粒污泥系统处理低COD/N实际生活污水的工艺优化·····	鲁磊, 信欣, 鲁航, 朱辽东, 谢思建, 武勇 (3778)
FNA对好氧吸磷的长期抑制及污泥吸磷方式转化·····	马娟, 李璐, 俞小军, 孙雷军, 孙洪伟, 陈永志 (3786)
污水处理厂不同工艺的污泥脱水效能分析及其影响因素研究·····	刘吉宝, 李亚明, 吕鑑, 魏源送, 杨敏, 郁达伟 (3794)
残留过氧化氢对微波-过氧化氢-碱预处理后污泥水解酸化的影响·····	贾瑞来, 刘吉宝, 魏源送, 才兴 (3801)
大围山典型森林土壤有机氮垂直分布特征·····	丁咸庆, 马慧静, 朱晓龙, 陈珊, 侯红波, 彭佩钦 (3809)
缙云山不同土地利用方式对土壤活性有机碳、氮组分的影响·····	祁心, 江长胜, 郝庆菊, 李鉴霖 (3816)
三峡库区典型退耕还林模式土壤养分流失控制·····	吴东, 黄志霖, 肖文发, 曾立雄 (3825)
坡位与土层对喀斯特原生林土壤微生物生物量与丰度的影响·····	冯书珍, 苏以荣, 张伟, 陈香碧, 何寻阳 (3832)
不同种植方式对亚热带红壤微生物多样性的影响·····	沈冰洁, 祝贞科, 袁红朝, 葛体达, 王久荣, 陈明利, 吴晓英, 吴金水 (3839)
有色冶金区土壤-玉米系统汞累积及健康风险·····	纪小凤, 郑娜, 王洋, 刘强, 张静静 (3845)
改良剂对4种木本植物的铅锌耐性、亚细胞分布和化学形态的影响·····	陈永华, 张富运, 吴晓英, 梁希, 袁斯文 (3852)
菹草乙酸酯组分抑藻活性物质的分离纯化和鉴定·····	孙颖颖, 苏振霞, 浦寅芳, 肖辉, 王长海 (3860)
血吸虫病疫区水生生物体内氯苯化合物的污染特征与潜在风险·····	李昆, 赵高峰, 周怀东, 赵健, 张盼伟, 刘巧娜, 王兴勋, 刘晓茹 (3866)
生物传感细胞ADP1_pWHLux在水环境急性毒性检测中的应用·····	唐慧, 宋一之, 姜博, 陈光玉, 贾建丽, 张旭, 李广贺 (3872)
虹鳟鱼鳃及肝脏多种CYP1基因表达模式作为生物标志物监测海河水污染状况·····	高锴, 闫佩, 檀翠玲, 罗彦鹤, 孙静, Maria E. Jönsson, Ingvar Brandt, 唐运平 (3878)
纳米氧化锌对斑马鱼肝脏的毒性效应·····	刘林, 赵群芬, 金凯星, 朱帅旗, 王小飞, 吕佳昀 (3884)
黄连根茎浸提物对隆线蚤的急性毒性作用·····	陈亚楠, 袁玲 (3892)
发酵稻壳对亚铁离子和硫离子的吸附-解吸附特性·····	谢晓梅, 廖敏, 华嘉媛, 陈娜, 张楠, 徐培智, 解开治, 徐昌旭, 刘光荣 (3896)
搅拌棒吸附萃取-气相色谱-质谱联用测定海水中邻苯二甲酸酯·····	高晨晨, 李锋民, 卢伦, 孙玥 (3906)
COD组分分析的实验条件及结果可靠性分析·····	李志华, 张银, 韩杏, 余科, 李汝佳 (3913)
养猪废水和污泥中11种兽用抗生素的同时分析技术及其在生物降解过程的应用·····	丁佳丽, 刘锐, 郑炜, 余卫娟, 叶朝霞, 陈吕军, 张永明 (3918)
土壤微生物产电技术及其潜在应用研究进展·····	邓欢, 薛洪婧, 姜允斌, 钟文辉 (3926)
《环境科学》征订启事 (3553)	
《环境科学》征稿简则 (3589)	
信息 (3705, 3755, 3763, 3800)	

北京地区大气消光特征及参数化研究

陈一娜^{1,2}, 赵普生^{1,3*}, 何迪^{1,3}, 董璠^{1,3}, 赵秀娟^{1,3}, 张小玲^{1,3}

(1. 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089; 2. 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071; 3. 京津冀环境气象预报预警中心, 北京 100089)

摘要: 为了研究大气消光系数的特征及规律, 从2013~2014年在北京地区对大气能见度、气溶胶质量浓度、气溶胶散射系数、黑碳质量浓度、反应性气体以及气象要素开展了系统加强观测, 并对已发表的气溶胶光散射吸湿增长因子 $[f(RH)]$ 拟合方案进行了对比, 系统分析了大气消光特征和影响大气消光能力的关键因子, 最终建立了大气消光系数参数化模型, 探讨不同季节、不同污染条件下参数化方案的特征。结果表明, 气溶胶散射作用占环境总消光作用的94%以上, 在夏秋季, 相对湿度可以使气溶胶的散射能力提升70%~80%。包含气溶胶质量浓度和相对湿度两个因子的参数化模型, 可以较好地体现出气溶胶和相对湿度对大气消光系数的影响机制, 以及消光能力的季节差异。

关键词: 消光系数; 散射系数; 气溶胶; 参数化

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)10-3582-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.10.005

Characteristics and Parameterization for Atmospheric Extinction Coefficient in Beijing

CHEN Yi-na^{1,2}, ZHAO Pu-sheng^{1,3*}, HE Di^{1,3}, DONG Fan^{1,3}, ZHAO Xiu-juan^{1,3}, ZHANG Xiao-ling^{1,3}

(1. Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China; 3. Environmental Meteorology Forecast Center of Beijing-Tianjin-Hebei, China Meteorological Administration, Beijing 100089, China)

Abstract: In order to study the characteristics of atmospheric extinction coefficient in Beijing, systematic measurements had been carried out for atmospheric visibility, $PM_{2.5}$ concentration, scattering coefficient, black carbon, reactive gases, and meteorological parameters from 2013 to 2014. Based on these data, we compared some published fitting schemes of aerosol light scattering enhancement factor $[f(RH)]$, and discussed the characteristics and the key influence factors for atmospheric extinction coefficient. Then a set of parameterization models of atmospheric extinction coefficient for different seasons and different polluted levels had been established. The results showed that aerosol scattering accounted for more than 94% of total light extinction. In the summer and autumn, the aerosol hygroscopic growth caused by high relative humidity had increased the aerosol scattering coefficient by 70 to 80 percent. The parameterization models could reflect the influencing mechanism of aerosol and relative humidity upon ambient light extinction, and describe the seasonal variations of aerosol light extinction ability.

Key words: extinction coefficient; scattering coefficient; aerosol; parameterization

近年来,北京地区大气污染严重,雾霾等大气低能见度事件频繁发生,引发了公众对低能见度事件的广泛关注^[1~3]。能见度的衰减是由大气气体和大气气溶胶共同作用所导致的,大气消光系数代表了光线在大气中传播单位距离时的相对衰减率,大气消光系数可以表示为:

$$\sigma_{\text{ext}} = \sigma_{\text{sp}} + \sigma_{\text{ap}} + \sigma_{\text{sg}} + \sigma_{\text{ag}} \quad (1)$$

式中, σ_{sp} 、 σ_{ap} 、 σ_{sg} 和 σ_{ag} 分别为气溶胶散射系数、气溶胶吸收系数, 气体散射系数和气体吸收系数。当对比感阈为0.05时, 大气能见度 $V(\text{m})$ 与总消光系数之间 $\sigma_{\text{ext}}(\text{m}^{-1})$ 有如下关系: $V = 3/\sigma_{\text{ext}}$ ^[4]。根据2006年美国的IMPROVE报告中指出硫酸盐、硝酸盐和有机气溶胶等的散射作用在多个IMPROVE站点中占到总消光的90%以上^[5], 国内的部分研究中

气溶胶的散射系数占消光系数的比例也超过80%^[6~11]。

为了系统地评估和预测气溶胶的消光作用, 并开展预警预报业务应用, 且考虑到消光系数的物理意义明确, 方便体现出不同因素的综合影响, 所以很多研究中尝试建立气溶胶理化特征与消光系数之间的参数化模型。目前, 国内外对于气溶胶消光系数的参数化方案主要有两种方法。

第一种方法是建立消光系数和气溶胶各主要化

收稿日期: 2015-01-26; 修订日期: 2015-06-22

基金项目: 北京市自然科学基金项目(8131003); 北京市科技新星计划项目(Z131109000413002, xx2013002); 北京市科技计划项目(Z131100006113013); 国家自然科学基金项目(41205121)

作者简介: 陈一娜(1991~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向气溶胶理化特征, E-mail: lenkachen@yeah.net

* 通讯联系人, E-mail: pszhao@ium.cn

学组分质量浓度间的统计关系,此类研究中规模最大的是美国的 IMPROVE 计划,通过此计划,建立了 $\text{PM}_{2.5}$ 各化学组分质量浓度与气溶胶消光水平的定量关系^[5,12]. 国内目前针对二者的关系也开展了相关研究^[13~15]. 具体研究结果表明, $\text{PM}_{2.5}$ 中某种消光化学组分单位质量浓度的散射系数(干散射效率)在不同地区有较大差异^[12,16~19],利用 IMPROVE 关系式计算得到的散射系数可能大大偏离实际观测数据^[20]. 可见单纯利用 $\text{PM}_{2.5}$ 中各化学组分质量浓度与气溶胶散射系数之间建立的关系式,在适用性和准确性上都存在一定问题,因为环境气溶胶的实际物理化学特征较难满足该关系适用的各种假设条件^[21],同样质量浓度的某一化学组分在不同条件下具有不同的粒径分布和光学特征. 此外,该关系式的具体应用过程中,需要提供气溶胶中各主要化学组分的质量浓度,在准确性和时效性上都存在不小难度.

第二种方法是建立消光系数与气溶胶粒径分布之间的关系. 随着监测技术手段的发展,逐渐采用粒度谱仪获得较高时间分辨率和较多等级的气溶胶粒径分布特征. 研究表明,利用粒度谱仪得到的粒径分布结合 Mie 散射理论计算的散射系数和观测的散射系数能够较好地符合^[11]. Chen 等^[22]利用在杨村观测得到的粒度谱、不同模态气溶胶的吸湿增长因子、环境消光系数等,结合 Mie 散射理论,确定影响气溶胶消光能力的主要因素,进而建立了消光系数与气溶胶体积浓度、相对湿度和粗气溶胶体积比的定量关系模型,并得到了很好的验证效果.

建立气溶胶理化特征与消光系数定量关系时,都要考虑气溶胶吸湿增长对散射的影响,一种是通过 H-TDMA 或者分级化学组分观测,计算得到不同粒径气溶胶的吸湿增长参量 κ 值^[22~26],进而计算其吸湿增长情况;另一种是通过人工增湿浊度计观测,或者其他观测结果推算得到环境气溶胶或者某种化学组分的光散射吸湿增长因子 $[f(\text{RH})]$ ^[27~32]. 由于 $f(\text{RH})$ 的物理意义明确,可以直接反映湿度对气溶胶散射的影响,所以在建立消光系数参数化方案时应用较多.

目前北京及周边地区开展的气溶胶吸湿性观测和相关参数化研究中,数据覆盖时间较短,时间代表性和业务应用性较差. 本研究在北京开展系统观测,利用监测资料,评估已发表 $f(\text{RH})$ 的应用效果,确定 $f(\text{RH})$ 的表现形式,进一步建立消光系数参数化方案.

1 材料与方法

1.1 观测点介绍

采样点设置在北京市气象局宝联观测站,站点位于北京市海淀区内西三环和西四环之间的宝联体育公园内,海拔 75.0 m, $39^{\circ}56'N$, $116^{\circ}17'E$. 采样点周围没有大型的污染源,以居民区为主,视野开阔,监测数据可代表典型北京城区大气污染水平. 2004 年开始气溶胶质量浓度,气溶胶干散射系数、吸收系数、反应性气体,及基本气象要素的观测. 从 2013 年 7 月至 2014 年 10 月,对本研究中用到的能见度(总消光系数)、 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度,气溶胶干散射系数,气溶胶吸收系数和 NO_2 浓度等进行加强系统观测.

1.2 观测仪器及数据处理

利用前向散射式能见度仪(Belfort 6000)同步得到大气消光系数和能见度数据,定期清洁传感器和镜头,及进行数据标定;采用 β 射线颗粒物监测仪(BAM-1020)观测得到的 $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度,每月进行设备维护并更换过滤纸带;利用积分式浊度仪(M9003)观测得到气溶胶干散射系数,每周进行仪器标定;利用黑碳测量仪(AE-31)观测得到黑碳气溶胶的质量浓度,以经验公式转化得到气溶胶吸收系数,定期检查光源的稳定性,标定抽气流量,以及控制滤膜载荷量来保证测量质量;利用氮氧化物分析仪(EC9841)观测得到 NO_2 浓度. 将观测得到的所有数据,对异常值进行筛选和剔除,最后统一处理为小时均值,并剔除降水、扬沙、浮尘、吹雪等其他影响大气能见度因素出现的时次.

2 结果与讨论

2.1 气溶胶光散射吸湿增长曲线对比

气溶胶的消光能力主要由气溶胶的化学组成、粒子大小、混合状态等共同决定的,而气溶胶吸湿增长,会改变其尺度分布和复折射指数,对气溶胶的光学特性有着重要的影响. 气溶胶粒子的吸湿特性通常用光散射性吸湿增长因子 $[f(\text{RH})]$ 来表示:

$$f(\text{RH}) = \sigma_{\text{sp}}(\text{RH}) / \sigma_{\text{sp}}(\text{dry}) \quad (2)$$

式中, $\sigma_{\text{sp}}(\text{dry})$ 和 $\sigma_{\text{sp}}(\text{RH})$ 分别是干燥状态和环境湿度下的粒子散射系数. 目前,对于获得 $f(\text{RH})$ 主要有 3 种方法:观测法、直接计算法和间接计算法. 观测法是利用双浊度计或者 H-TDMA 测量吸湿前后气溶胶的散射系数、粒径分布等信息,得到 $f(\text{RH})$; 直接计算法是观测得到干气溶胶的数谱,以及主要消光化学组分的粒径分布信息,评估不同

相对湿度下不同粒径的吸湿增长能力,通过 Mie 散射理论推算出不同相对湿度下气溶胶的 $\sigma_{\text{ext}}(\text{RH})$,进而得到 $f(\text{RH})$; 间接计算法是利用能见度仪测定环境总消光系数 $\sigma_{\text{ext}}(\text{RH})$,气溶胶吸收系数 σ_{ap} ,气体散射系数 σ_{sg} 和气体吸收系数 σ_{ag} ,利用消光系数公式(3),计算得到 $\sigma_{\text{sp}}(\text{RH})$,与观测得到的干气溶胶散射系数 σ_{sp} 比较,最终可以获得 $f(\text{RH})$. 很多研究已经表明 $f(\text{RH})$,可以通过参数化表达为相对湿度(RH)的函数形式,不同地区,不同气溶胶类型所得到的 $f(\text{RH})$ 差距较大,即使同一地区的气溶胶在不同污染条件下 $f(\text{RH})$ 也有所不同. 本研究对在北

京及周边区域研究得到的几个 $f(\text{RH})$ 拟合研究方案进行对比,如表 1 和图 1 所示. Chen 等^[27]和颜鹏等^[30]利用双浊度计观测得到相对湿度 90% 以下的 $f(\text{RH})$. 在相对湿度 90% 以下,颜鹏等的 $f(\text{RH})$ 曲线拟合结果比 Chen 等的结果偏低,利用 $f(\text{RH})$ 拟合公式延伸得到的相对湿度大于 90% 的 $f(\text{RH})$ 曲线急剧升高,数据失真. 而 Chen 等的曲线在相对湿度 90% 以上也处于合理范围,表明利用表 1 中第 3 种 $f(\text{RH})$ 拟合方案能够得到更好的拟合效果. 而 Liu 等^[28,29]的参数化结果与颜鹏等、Chen 等结果差别较大.

表 1 已发表的北京及周边地区 $f(\text{RH})$ 主要拟合方案
Table 1 Published fitting schemes for $f(\text{RH})$ in Beijing and surrounding areas

参数化方案	观测地点	观测时间	获取方法	文献
RH 二次多项式形式: $f(\text{RH}) = a + b \times (1 - \text{RH}/100)^{-1} + c \times (1 - \text{RH}/100)^{-2}$	北京	2005-12-07 ~ 2005-12-22	观测法	[30]
RH 幂函数形式: $f(\text{RH}) = 1 + a \times (1 - \text{RH}/100)^{-b}$	北京	2006-07-01 ~ 2006-07-31/2007-10-24 ~ 2007-11-09	间接计算法	[28,29]
或 $f(\text{RH}) = 1 + a \times (\text{RH}/100)^b$	宝坻	2006-04-24 ~ 2006-05-15	观测法	[32]
RH 幂指数形式: $f(\text{RH}) = a \times (1 - \text{RH}/100)^{-b \times (\text{RH}/100)}$	武清	2009-10 ~ 2010-01	观测法	[27]

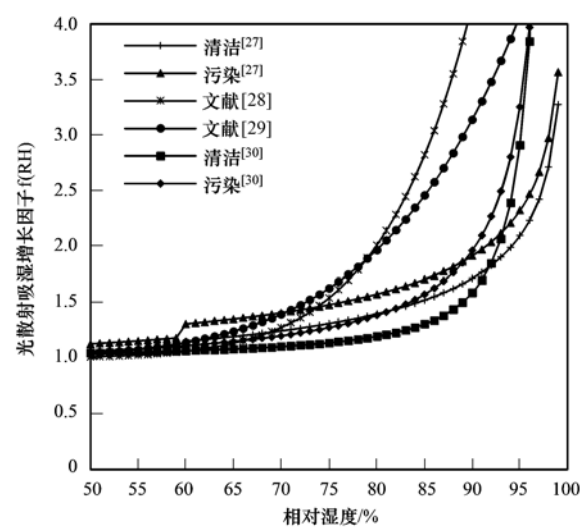


图 1 北京及周边地区相关研究中光散射吸湿性增长因子 $f(\text{RH})$ 对比
Fig. 1 Comparison of $f(\text{RH})$ from related studies in Beijing and surrounding areas

2.2 大气消光系数特征分析

由于本研究未开展 $f(\text{RH})$ 观测,结合上面北京及周边地区已发表的 $f(\text{RH})$ 曲线的评估分析,决定将 Chen 等^[27]观测得到 $f(\text{RH})$ 拟合公式应用到本研究中. Chen 等的观测时间为 2009 年 10 月至 2010 年 1 月,主要为秋冬季,所以本研究将 Chen 等的拟

合公式应用到本研究秋冬季的数据中进行评估分析.

将本研究观测资料中 2013 年 10 月至 2014 年 1 月期间(与 Chen 等 $f(\text{RH})$ 观测相同月份)的气溶胶干散射系数、相对湿度、气溶胶吸收系数、 NO_2 观测资料代入公式(3)计算大气总消光系数:

$$\sigma_{\text{ext-c}}(\text{RH}) = \sigma_{\text{sp}}(\text{dry}) \times f(\text{RH}) + \sigma_{\text{ap}} + \sigma_{\text{sg}} + \sigma_{\text{ag}}$$

(3)

式中, $\sigma_{\text{ext-c}}(\text{RH}) (\text{Mm}^{-1})$ 为计算得到的总消光系数; $\sigma_{\text{sp}}(\text{dry}) (\text{Mm}^{-1})$ 为观测得到的干气溶胶散射系数; $\sigma_{\text{ap}} (\text{Mm}^{-1})$ 为气溶胶吸收系数,由测量得到的 880 nm 波长处黑碳质量浓度 $M_{\text{BC}} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$ 和经验公式 $\sigma_{\text{ap}} = 8.28 \times M_{\text{BC}} + 2.23$ 计算得到^[33]; $\sigma_{\text{ag}} (\text{Mm}^{-1})$ 为气体吸收系数,由 $\text{NO}_2 (10^{-9} \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3})$ 和经验公式 $\sigma_{\text{ag}} = 0.33 \times V_{\text{NO}_2}$ 计算得到; $\sigma_{\text{sg}} (\text{Mm}^{-1})$ 为气体散射系数,采用经验值 15Mm^{-1} ^[29]. 计算中包括相对湿度 $\leq 99\%$ 的所有有效观测数据. 其中 $f(\text{RH})$ 拟合公式为:

$$f(\text{RH}) = 1.02 \times (1 - \text{RH}/100)^{-0.21 \times \text{RH}/100}$$

$$\text{RH}/100 < 0.6$$

$$f(\text{RH}) = 1.08 \times (1 - \text{RH}/100)^{-0.26 \times \text{RH}/100}$$

$$\text{RH}/100 \geq 0.6$$

(4)

将利用公式(3)加和计算出的环境总消光系数 $\sigma_{\text{ext-c}}(\text{RH})$,与能见度仪测量得到的总消光系数 $\sigma_{\text{ext}}(\text{RH})$ 进行对比,图2为对比结果. 可以看到,利用观测资料和已有 $f(\text{RH})$ 曲线计算得到的消光系数与观测值之间有良好的符合程度.

表2为2013年9月至2014年8月,秋季(9~11月)、冬季(12月~次年2月)、春季(3~5月)和夏季(6~8月)及不同污染条件下,观测得到的气体吸收系数 σ_{ag} ,气溶胶吸收系数 σ_{ap} ,干气溶胶散射系数 $\sigma_{\text{sp}}(\text{dry})$,以及利用 $f(\text{RH})$ 计算得到的环境气溶胶散射系数 $\sigma_{\text{sp}}(\text{RH})$ 的平均值(仅秋冬季). 从结果中可以得出,环境总消光中,气溶胶散射作用超过90%,在不同季节中,不同消光类型有很大的差距. 秋季较高相对湿度造成的气溶胶吸湿增长,可以使气溶胶的消光系数提高80%;在不同污染条件下,随着气溶胶质量浓度的升高,气溶胶消光作用明显加强. 大气中气体的消光作用比较弱,对环境总消光贡献小.

近年来,在北京以及附近区域也进行了一些气溶胶光学特性的观测研究,表3中给出部分观测结果. 结合本研究的观测结果综合分析发现,城区

气溶胶的散射和吸收系数明显高于上甸子,城区气溶胶散射吸收系数都有逐年增大的趋势,说明北京城区的气溶胶散射能力增强;城区气溶胶吸收系数近几年降低明显,说明黑碳气溶胶的排放量较前几年有所减少,可能和控制燃煤、提高油品、汽车限行等环保政策的执行有关;此外,夏秋两季的气溶胶散射作用比其他两季更强.

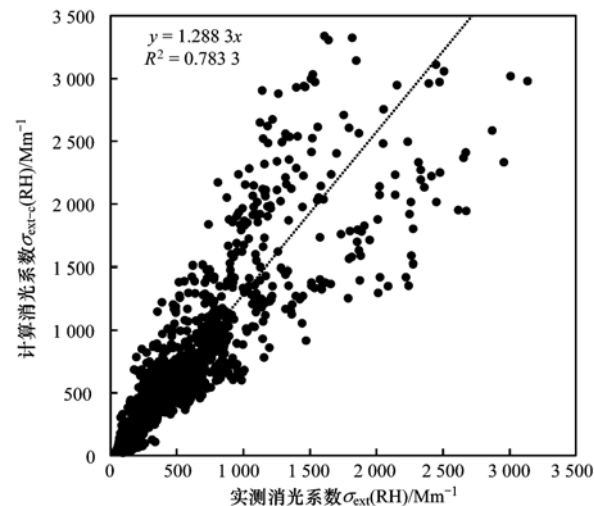


图2 $\sigma_{\text{ext-c}}(\text{RH})$ 和 $\sigma_{\text{ext}}(\text{RH})$ 对比

Fig. 2 Comparison of $\sigma_{\text{ext-c}}(\text{RH})$ and $\sigma_{\text{ext}}(\text{RH})$

表2 不同条件下各消光类型的消光系数平均值

Table 2 Average light extinction coefficients under different conditions

季节与条件		$\sigma_{\text{ag}}/\text{Mm}^{-1}$	$\sigma_{\text{ap}}/\text{Mm}^{-1}$	$\sigma_{\text{sp}}(\text{dry})/\text{Mm}^{-1}$	$\sigma_{\text{sp}}(\text{RH})/\text{Mm}^{-1}$
不同季节	春季	17.6 ± 7.8	19.0 ± 12.5	348.5 ± 338.3	—
	夏季	6.5 ± 3.2	19.9 ± 9.5	485.9 ± 461.4	—
	秋季	20.0 ± 10.5	27.2 ± 18.0	454.3 ± 446.6	821.5 ± 969.5
	冬季	8.1 ± 8.4	27.8 ± 22.8	412.8 ± 449.2	541.8 ± 636.4
不同污染条件	$20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \leq \text{PM}_{2.5} < 150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	12.5 ± 8.0	20.3 ± 10.4	292.7 ± 214.9	417.3 ± 414.0
	$150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \leq \text{PM}_{2.5} < 250 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	15.3 ± 11.5	37.2 ± 14.8	826.2 ± 310.8	$1\,301.2 \pm 849.0$
	$\text{PM}_{2.5} \geq 250 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	17.2 ± 13.9	57.5 ± 21.4	$1\,317.5 \pm 332.4$	$2\,032.3 \pm 961.8$

表3 北京及周边地区气溶胶光学特性观测研究对比

Table 3 Comparison of aerosol optical properties in Beijing and surrounding areas

项目		文献[6]	文献[7]	文献[8]	文献[9]
采样地点		北京上甸子站	北京大学	海淀宝联站	大气物理研究所
采样时间		2003-04~2005-01	2005-01~2006-09	2008-06~2009-05	2009-06~2010-05
仪器设备		M9003型浊度仪; AE-31型黑碳测量仪	M9003型浊度仪; AE-16型黑碳测量仪	M9003型浊度仪	Aurora1000型浊度仪; AE-31
$\sigma_{\text{sp}}/\text{Mm}^{-1}$	春季	154	243 ± 255	292 ± 277	289
	夏季	190	351 ± 294	— ¹⁾	343
	秋季	215	311 ± 280	286 ± 318	452
	冬季	116	259 ± 284	325 ± 323	356
$\sigma_{\text{ap}}/\text{Mm}^{-1}$	春季	18	45 ± 39	—	35
	夏季	21	54 ± 40	—	58
	秋季	17	67 ± 53	—	92
	冬季	9	58 ± 57	—	70

1) “—”表示文章中没有相关数据

2.3 消光系数参数化方案

2.3.1 概念模型及结果

对于环境总消光作用,气溶胶的散射作用贡献最大,且考虑到真实大气中气溶胶的吸湿增长对消光所造成的影响, $f(RH)$ 被选为参数化的因子之一.此外,气溶胶质量浓度测量比较普遍,为了便于业务应用, $PM_{2.5}$ 质量浓度作为另一个参数化因子.本研究基于这两种因素的影响,同时考虑 $f(RH)$ 的拟合效果,给出一种消光系数参数化方案的概念模型,如公式(5)所示:

$$\sigma_{ext} = a \times M^b \times (1 - RH/100)^{-c \times RH/100} \quad (5)$$

式中, σ_{ext} 、 M 和 RH 分别代表的是消光系数 (Mm^{-1})、 $PM_{2.5}$ 质量浓度 ($\mu g \cdot m^{-3}$) 和相对湿度 (%).

利用2013年7月至2014年10月,共5797组有效小时数据,依据上面的概念模型,进行回归分析得到结果如表4所示.图3为参数化方案计算得到的 σ_{ext-c} 与实测的 σ_{ext} 的对比图.回归系数 b 大致等于1.0,表明在不考虑相对湿度影响下, σ_{ext} 与溶胶质量浓度间的线性关系,这也意味着利用气溶胶质量浓度作为气溶胶消光参数化的因子是合理的.

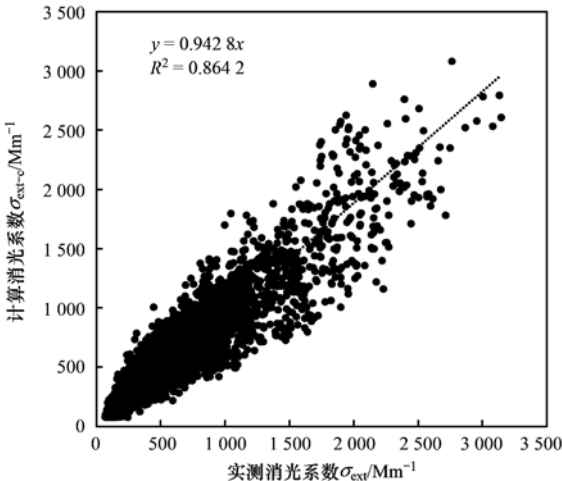


图3 参数化方案计算消光系数 σ_{ext-c} 与实测消光系数 σ_{ext} 对比

Fig. 3 Comparison of σ_{ext-c} and σ_{ext}

2.3.2 不同季节及污染状况下参数化方案

城市气溶胶成分复杂多变,不同季节的气溶胶化学组分、形态大小以及理化特性都呈现一定的差异性.为了探索能见度与气溶胶消光能力之间关系的季节性变化,本研究将观测期的数据以月份划分为:春季(3~5月)、夏季(6~8月)、秋季(9~11

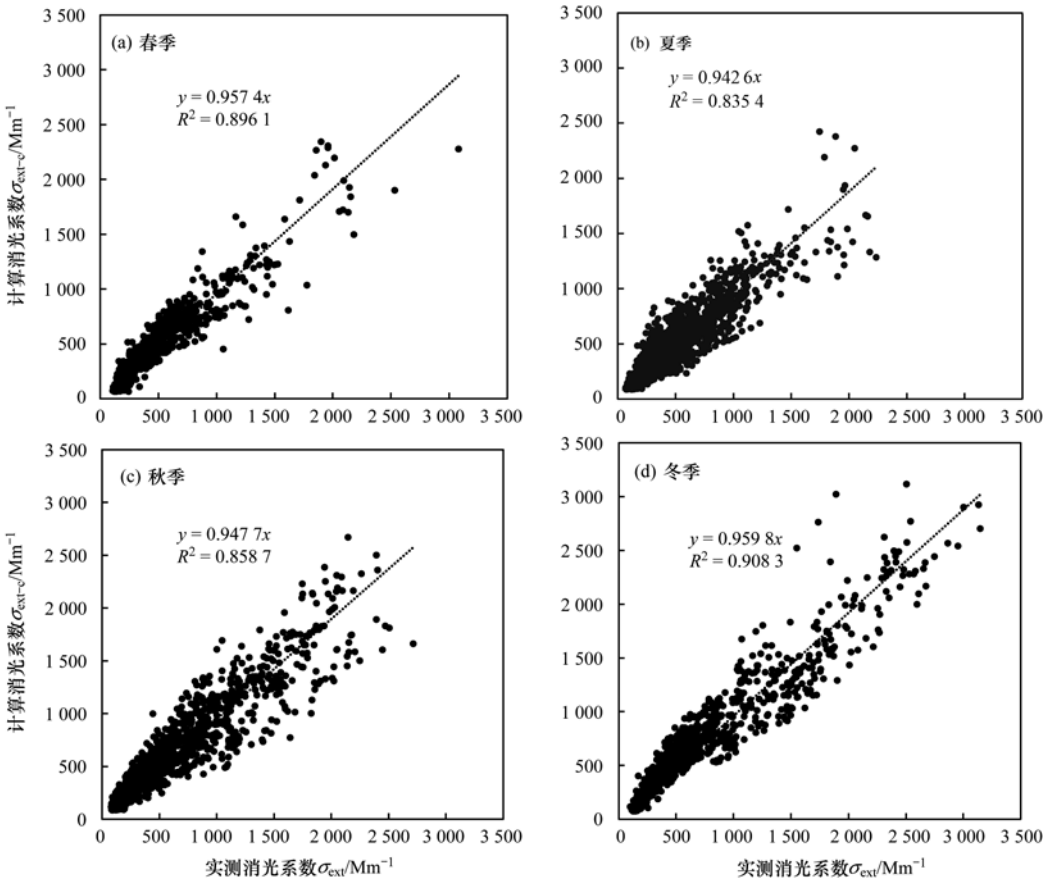


图4 不同季节气溶胶消光参数化方案结果对比

Fig. 4 Comparisons of light extinction coefficients from parameterization schemes in different seasons

表 4 不同条件下消光参数化方案的回归结果

95% 置信区间 ($\alpha = 0.05$)		Table 4 Regression results of light extinction parameterization under different conditions			
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>R</i> ²
不同季节	全年数据	3.314	1.038	0.191	0.86
	春季	2.848	1.035	0.233	0.90
	夏季	2.803	1.089	0.191	0.84
	秋季	4.255	0.99	0.176	0.86
	冬季	3.339	1.027	0.324	0.91
不同污染条件	$20\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\leq\text{PM}_{2.5}<150\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	2.875	1.059	0.233	0.77
	$150\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\leq\text{PM}_{2.5}<250\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	4.202	0.981	0.214	0.55
	$\text{PM}_{2.5}\geq 250\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	5.403	0.973	0.119	0.60

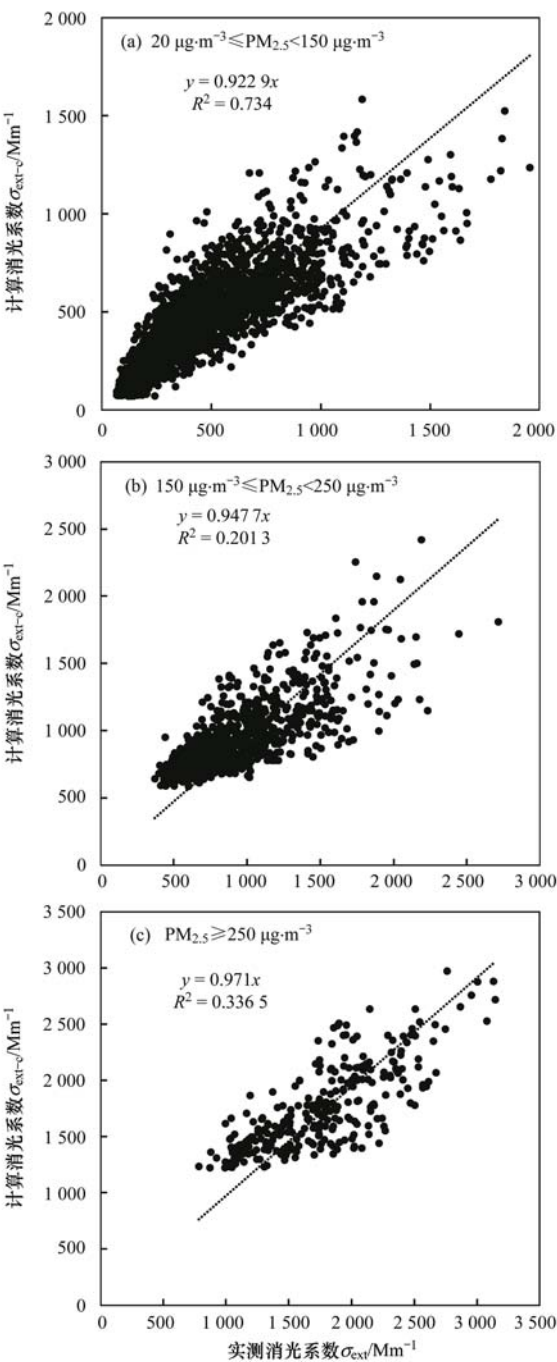


图 5 不同污染条件下气溶胶消光参数化方案结果对比
Fig. 5 Comparisons of light extinction coefficients from parameterization schemes under different polluted conditions

月)以及冬季(12月~次年2月)共4个子数据集, 并对其进行回归分析, 得到回归方程. 此外为了评估不同污染状态下消光系数和PM_{2.5}及相对湿度的关系, 分不同污染程度对参数化方案进行回归, 为避免在低气溶胶浓度下测量设备的不稳定性, 故选用PM_{2.5}浓度大于20 μg·m⁻³以上的数据. 表4分别为不同季节及不同污染状况下的回归结果. 图4~5为不同季节及不同污染状况下, 消光系数利用参数化方案计算值和观测值的对比.

通过分析图4~5发现各季节回归结果都能达到较好效果, 利用拟合公式计算的消光系数和实测消光系数有较高的R², 表明利用此概念模型拟合得到的公式能够较好反映大气中消光的具体特点, 回归系数的不同也反映了不同季节气溶胶物理化学特征的差异. 相比之下, 按照污染程度进行参数化回归得到的结果就差一些, 计算消光系数和实测系数散点图较为分散, R²较低, 主要原因是某一个污染范围内, 气溶胶源自于不同季节, 其消光能力以及湿度影响也会有较大差异, 此外一个污染程度范围对PM_{2.5}浓度以及相对湿度的覆盖范围也有限.

3 结论

- (1) 不同 f(RH) 拟合方案结果存在较大差异, 其中 RH 的幂指数形式对 f(RH) 的拟合结果较为理想.
- (2) 在环境总消光中, 气溶胶的散射作用贡献最大, 且随着气溶胶质量浓度的增加, 其作用更加显著. 气溶胶的吸湿增长特性对气溶胶散射作用影响极大, 在夏秋湿度高的季节, 可使散射能力增加 80% 以上.
- (3) 利用相对湿度和气溶胶质量浓度建立了消光系数参数化方案, 利用方案计算得到的消光系数与实测结果符合程度较好, 且可以体现不同季节中气溶胶的物化特性.

参考文献:

[1] 赵普生, 徐晓峰, 孟伟, 等. 京津冀区域霾天气特征[J]. 中

- 国环境科学, 2012, **32**(1): 31-36.
- [2] Zhao P S, Zhang X L, Xu X F, *et al.* Long-term visibility trends and characteristics in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China[J]. *Atmospheric Research*, 2011, **101**(3): 711-718.
- [3] Zhao P S, Dong F, He D, *et al.* Characteristics of concentrations and chemical compositions for PM_{2.5} in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13**(9): 4631-4644.
- [4] 吴兑, 吴晓京, 朱小祥. 雾与霾[M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- [5] DeBell L J, Gebhart K A, Hand J L, *et al.* Spatial and seasonal patterns and temporal variability of haze and its constituents in the united states report IV[R]. United States; Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, 2006. 1-251.
- [6] Yan P, Tang J, Huang J, *et al.* The measurement of aerosol optical properties at a rural site in Northern China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, **8**(8): 2229-2242.
- [7] He X, Li C C, Lau A K H, *et al.* An intensive study of aerosol optical properties in Beijing urban area[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(22): 8903-8913.
- [8] Zhao X J, Zhang X L, Pu W W, *et al.* Scattering properties of the atmospheric aerosol in Beijing, China[J]. *Atmospheric Research*, 2011, **101**(3): 799-808.
- [9] Jing J S, Wu Y F, Tao J, *et al.* Observation and analysis of near-surface atmospheric aerosol optical properties in urban Beijing[J]. *Particuology*, 2015, **18**: 144-154.
- [10] Garland R M, Schmid O, Nowak A, *et al.* Aerosol optical properties observed during Campaign of Air Quality Research in Beijing 2006 (CAREBeijing-2006): Characteristic differences between the inflow and outflow of Beijing city air[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2009, **114**(D2): D00G04.
- [11] Ma N, Zhao C S, Nowak A, *et al.* Aerosol optical properties in the North China Plain during HaChi campaign: an in-situ optical closure study[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**(12): 5959-5973.
- [12] Pitchford M, Malm W, Schichtel B, *et al.* Revised algorithm for estimating light extinction from IMPROVE particle speciation data[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2007, **57**(11): 1326-1336.
- [13] Xu J, Bergin M H, Yu X, *et al.* Measurement of aerosol chemical, physical and radiative properties in the Yangtze delta region of China[J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(2): 161-173.
- [14] Liu X G, Cheng Y F, Zhang Y H, *et al.* Influences of relative humidity and particle chemical composition on aerosol scattering properties during the 2006 PRD campaign[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(7): 1525-1536.
- [15] 姚婷婷, 黄晓锋, 何玲燕, 等. 深圳市冬季大气消光性质与细粒子化学组成的高时间分辨率观测和统计关系研究[J]. *中国科学: 化学*, 2010, **40**(8): 1163-1171.
- [16] Tang I N. Chemical and size effects of hygroscopic aerosols on light scattering coefficients[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**(D14): 19245-19250.
- [17] Watson J G, Chow J C, Lowenthal D H, *et al.* Aerosol Chemical and Optical Properties during the Mt. Zirkel Visibility Study[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2001, **30**(4): 1118-1125.
- [18] Watson J G. Visibility: science and regulation[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2002, **52**(6): 628-713.
- [19] Malm W C, Day D E. Estimates of aerosol species scattering characteristics as a function of relative humidity[J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(16): 2845-2860.
- [20] Lowenthal D H, Kumar N. PM_{2.5} mass and light extinction reconstruction in IMPROVE[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2003, **53**(9): 1109-1120.
- [21] Lowenthal D H, Rogers C F, Saxena P, *et al.* Sensitivity of estimated light extinction coefficients to model assumptions and measurement errors[J]. *Atmospheric Environment*, 1995, **29**(7): 751-766.
- [22] Chen J, Zhao C S, Ma N, *et al.* A parameterization of low visibilities for hazy days in the North China Plain[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, **12**(11): 4935-4950.
- [23] Hennig T, Massling A, Brechtel F J, *et al.* A tandem DMA for highly temperature-stabilized hygroscopic particle growth measurements between 90% and 98% relative humidity[J]. *Journal of Aerosol Science*, 2005, **36**(10): 1210-1223.
- [24] Swietlicki E, Hansson H C, Hämeri K, *et al.* Hygroscopic properties of submicrometer atmospheric aerosol particles measured with H-TDMA instruments in various environments—a review[J]. *Tellus B*, 2008, **60**(3): 432-469.
- [25] Liu P F, Zhao C S, Göbel T, *et al.* Hygroscopic properties of aerosol particles at high relative humidity and their diurnal variations in the North China Plain[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**(7): 3479-3494.
- [26] Liu H J, Zhao C S, Nekat B, *et al.* Aerosol hygroscopicity derived from size-segregated chemical composition and its parameterization in the North China Plain[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2014, **14**(5): 2525-2539.
- [27] Chen J, Zhao C S, Ma N, *et al.* Aerosol hygroscopicity parameter derived from the light scattering enhancement factor measurements in the North China Plain[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2014, **14**(3): 3459-3497.
- [28] Liu X G, Gu J W, Li Y P, *et al.* Increase of aerosol scattering by hygroscopic growth: Observation, modeling, and implications on visibility[J]. *Atmospheric Research*, 2013, **132-133**: 91-101.
- [29] Liu X G, Li J, Qu Y, *et al.* Formation and evolution mechanism of regional haze: a case study in the megacity Beijing, China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13**(9): 4501-4514.
- [30] 颜鹏, 潘小乐, 汤洁, 等. 北京市区大气气溶胶散射系数亲水增长的观测研究[J]. *气象学报*, 2008, **66**(1): 111-119.
- [31] Eichler H, Cheng Y F, Birmili W, *et al.* Hygroscopic properties

- and extinction of aerosol particles at ambient relative humidity in South-Eastern China[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42** (25): 6321-6334.
- [32] Pan X L, Yan P, Tang J, *et al.* Observational study of influence of aerosol hygroscopic growth on scattering coefficient over rural area near Beijing mega-city[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(19): 7519-7530.
- [33] 吴兑, 毛节泰, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲黑碳气溶胶及其辐射特性的观测研究[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2009, **39** (11): 1542-1553.

《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.hjkx.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:hjkx@rcees.ac.cn;网址:www.hjkx.ac.cn

CONTENTS

Source Contribution Analysis of the Fine Particles in Shanghai During a Heavy Haze Episode in December, 2013 Based on the Particulate Matter Source Apportionment Technology	LI Li, AN Jing-yu, YAN Ru-sha (3543)
Transformation Mechanism and Sources of Secondary Inorganic Components in PM _{2.5} at an Agriculture Site (Quzhou) in the North China Plain in Summer	CHEN Shi-yi, ZENG Li-min, DONG Hua-bin, <i>et al.</i> (3554)
Pollution Level and Sources of Organic Phosphorus Esters in Airborne PM _{2.5} in Chengdu City	YIN Hong-ling, LI Shi-ping, YE Zhi-xiang, <i>et al.</i> (3566)
Simulation Study of the Emission of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Sugar Alcohols from Biomass Burning	HUANG Shuai, HUANG Xin-yi, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (3573)
Characteristics and Parameterization for Atmospheric Extinction Coefficient in Beijing	CHEN Yi-na, ZHAO Pu-sheng, HE Di, <i>et al.</i> (3582)
Photocatalytic Degradation of Gaseous Toluene by a Photo-Fenton Reaction	ZHENG Si-can, CHEN Tian-hu, LIU Hai-bo, <i>et al.</i> (3590)
Emission of PCDD/Fs from Crematories and Its Influencing Factors	YIN Wen-hua, YU Xiao-wei, HAN Jing-lei, <i>et al.</i> (3596)
Odor Emission Characteristics from Biochemical Treatment Facilities of Kitchen Waste in China	ZHANG Yan, WANG Yuan-gang, LU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (3603)
Temporal and Spatial Characteristics of Lake Taihu Surface Albedo and Its Impact Factors	CAO Chang, LI Xu-hui, ZHANG Mi, <i>et al.</i> (3611)
Remote Sensing Inversion of Diffuse Attenuation Coefficient in Lake Taihu Based on the GOCI Images	WANG Shan-shan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (3620)
Porewater Dissolved Methane in <i>Cyperus malaccensis</i> Marshes Along Salinity Gradient in the Minjiang River Estuary	YANG Ping, ZHANG Zi-chuan, DU Wei-ning, <i>et al.</i> (3633)
Stable Isotopes Characters of Soil Water Movement in Shijiazhuang City	CHEN Tong-tong, CHEN Hui, HAN Lu, <i>et al.</i> (3641)
Seasonal Variations in Vertical Profile of Hg Species and the Influential Factors in Changshou Reservoir	BAI Wei-yang, ZHANG Cheng, TANG Zhen-ya, <i>et al.</i> (3649)
Nutrient Characteristics and Nitrogen Forms of Rhizosphere Soils Under Four Typical Plants in the Littoral Zone of TGR	WANG Xiao-feng, YUAN Xing-zhong, LIU Hong, <i>et al.</i> (3662)
Exchange Fluxes and Coupling Relationship of Dissolved Inorganic Carbon and Dissolved Organic Carbon Across the Water-Sediment Interface in Lakes	WANG Wei-ying, LÜ Chang-wei, HE Jiang, <i>et al.</i> (3674)
Mass Transport in Porous Sediments During a Turbulent Disturbance	LI Shao-long, CHEN Dao-yi (3683)
Characterization of Pollutant Wash-off in the Urban Stormwater	WU Jun-liang, REN Yu-fen, WANG Xue-mei, <i>et al.</i> (3691)
Research of the Stormwater Runoff and Pollution Characteristics in Rural Area of Yuhang District, Hangzhou	DUAN Sheng-hui, ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, <i>et al.</i> (3697)
Formation and Variation of Brominated Disinfection By-products in A Combined Ultrafiltration and Reverse Osmosis Process for Seawater Desalination	YANG Zhe, SUN Ying-xue, SHI Na, <i>et al.</i> (3706)
Effect of Natural Organic Matter and Electrolytes on the Aggregation of C ₆₀ Nanoparticles in Aquatic Systems	FANG Hua, JING Jie, YU Jiang-hua, <i>et al.</i> (3715)
Efficiency of Sediment Amendment with Zirconium-Modified Kaolin Clay to Control Phosphorus Release from Sediments in Heavily Polluted Rivers	WANG Hong, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (3720)
Transformation of Nitrogen Nutrients in the Urban Sewage Pipe Network	JIN Peng-kang, JIAO Ding, REN Wu-ang (3730)
Application of Micro-aerobic Hydrolysis Acidification in the Pretreatment of Petrochemical Wastewater	ZHU Chen, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3738)
Efficacy of A ² /O-MBR Combined Process in Wastewater Treatment and the Characteristics of Membrane Fouling	WANG Xu-dong, MA Ya-bin, WANG Lei, <i>et al.</i> (3743)
Effect of High Ammonium on Nitrogen Removal in an Partial Nitrification-ANAMMOX Process with Reflux System	LI Xiang, CUI Jian-hong, YUAN Yan, <i>et al.</i> (3749)
Reductive Dechlorination of Trichloroethylene by Benzoate-Enriched Anaerobic Cultures	LI Jiang-wei, YANG Xiao-yong, HU An-yi, <i>et al.</i> (3756)
2,4,6-Trichlorophenol Mineralization Promoted by Anaerobic Reductive Dechlorination of Acclimated Sludge and Extracellular Respiration Dechlorination Pathway	SONG Jia-xiu, LI Ling, SHENG Fan-fan, <i>et al.</i> (3764)
Short or Long Term Influence of Phenol on Nitrogen Removal Efficiency of ANAMMOX Sludge	YANG Peng-bing, LI Xiang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (3771)
Process Optimization of Aerobic Granular Sludge Continuous-Flow System for the Treatment of Low COD/N Ratio Sewage	LU Lei, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i> (3778)
Long-Term Inhibition of FNA on Aerobic Phosphate Uptake and Variation of Phosphorus Uptake Properties of the Sludge	MA Juan, LI Lu, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (3786)
Performance and Factors Analysis of Sludge Dewatering in Different Wastewater Treatment Processes	LIU Ji-bao, LI Ya-ming, LÜ Jian, <i>et al.</i> (3794)
Effect of Residual Hydrogen Peroxide on Hydrolysis Acidification of Sludge Pretreated by Microwave -H ₂ O ₂ -Alkaline Process	JIA Rui-lai, LIU Ji-bao, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (3801)
Vertical Distribution Characteristics of Typical Forest Soil Organic Nitrogen in Dawei Mountain	DING Xian-qing, MA Hui-jing, ZHU Xiao-long, <i>et al.</i> (3809)
Effects of Different Land Uses on Soil Active Organic Carbon and Nitrogen Fractions in Jinyun Mountain	QI Xin, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (3816)
Control of Soil Nutrient Loss of Typical Reforestation Patterns Along the Three Gorges Reservoir Area	WU Dong, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (3825)
Effects of Slope Position and Soil Horizon on Soil Microbial Biomass and Abundance in Karst Primary Forest of Southwest China	FENG Shu-zhen, SU Yi-rong, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (3832)
Effects of Different Plantation Type on the Abundance and Diversity of Soil Microbes in Subtropical Red Soils	SHEN Bing-jie, ZHU Zhen-ke, YUAN Hong-zhao, <i>et al.</i> (3839)
Accumulation of Mercury in Soil-maize System of Non-ferrous Metals Smelting Area and Its Related Risk Assessment	JI Xiao-feng, ZHENG Na, WANG Yang, <i>et al.</i> (3845)
Effects of Different Modifier Concentrations on Lead-Zinc Tolerance, Subcellular Distribution and Chemical Forms for Four Kinds of Woody Plants	CHEN Yong-hua, ZHANG Fu-yun, WU Xiao-fu, <i>et al.</i> (3852)
Isolation, Purification and Identification of Antialgal Activity Substances of Ethyl Acetate Extracts from the Submerged Macrophytes <i>Potamogeton crispus</i>	SUN Ying-ying, SU Zhen-xia, PU Yin-fang, <i>et al.</i> (3860)
Distribution Characteristics and Potential Risk of CBs in Aquatic Organisms from Typical Epidemic Areas of Schistosomiasis Prevalence	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (3866)
Application of Whole-cell Biosensor ADPI _p WHlux for Acute Toxicity Detection in Water Environment	TANG Hui, SONG Yi-zhi, JIANG Bo, <i>et al.</i> (3872)
Application of Rainbow Trout CYP1 Gene Expression Patterns in Gill and Liver for Haihe River Bio-monitoring	GAO Kai, YAN Pei, TAN Cui-ling, <i>et al.</i> (3878)
Toxic Effect of Nano-ZnO in Liver of Zebrafish	LIU Lin, ZHAO Qun-fen, JIN Kai-xing, <i>et al.</i> (3884)
Acute Toxicity of <i>Coptis chinensis</i> Rhizome Extracts to <i>Daphnia carinata</i>	CHEN Ya-nan, YUAN Ling (3892)
Adsorption-desorption Characteristics of Fermented Rice Husk for Ferrous and Sulfur Ions	XIE Xiao-mei, LIAO Min, HUA Jia-yuan, <i>et al.</i> (3896)
Application of Stir Bar Sorptive Extraction and Gas Chromatograph Mass Spectrometer to the Phthalic Acid Esters Analysis in Seawater	GAO Chen-chen, LI Feng-min, LU Lun, <i>et al.</i> (3906)
Experimental Conditions and Reliability Analysis of Results of COD Components	LI Zhi-hua, ZHANG Yin, HAN Xing, <i>et al.</i> (3913)
Method for Simultaneous Determination of 11 Veterinary Antibiotics in Piggery Wastewater and Sludge and Its Application in Biological Treatment	DING Jia-li, LIU Rui, ZHENG Wei, <i>et al.</i> (3918)
Research Progress in Technology of Using Soil Micro-organisms to Generate Electricity and Its Potential Applications	DENG Huan, XUE Hong-jing, JIANG Yun-bin, <i>et al.</i> (3926)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年10月15日 第36卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 10 Oct. 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