



上海市 PM_{10} 浓度四季遥感模型研究

李薛^{①②*}, 龚绍琦^{②③}, 付东洋^①, 张莹^①, 刘大召^①, 丁又专^①, 李懿超^②, 孙庆飞^②, 顾超^②, 许智棋^②

① 广东海洋大学 海洋遥感与信息技术实验室, 广东 湛江 524088;

② 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044;

③ 南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210046

* 联系人, E-mail: fdy163@163.com

2014-11-10 收稿, 2015-08-31 接受

国家海洋公益专项(201305019); 广东省自然科学基金资助项目(2014A030313603); 广东省科技计划项目(2013B030200002); 浙江省博士后基金资助项目(BSH1301015); 广东海洋大学创新强校项目(GDOU2014050226); 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室开放课题; 江苏省级大学生实践创新训练计划项目(201313982015Y)

摘要 通过分析 2001—2012 年上海市 PM_{10} 浓度(由 API(Air Pollution Index)转化得到)的变化规律, 构建了上海市 PM_{10} 浓度的遥感反演模型。结果表明: 1) 上海市 PM_{10} 浓度存在季节性变化, 应分别建立遥感反演模型。2) 分析 MODIS 气溶胶光学厚度(Aerosol Optical Depth, AOD)产品与 PM_{10} 浓度之间的相关性发现, AOD 须经过垂直和湿度订正才可与 PM_{10} 建立较好的关系。3) 结合垂直和湿度订正分别建立的上海市 PM_{10} 浓度春夏秋冬四季的遥感反演模型均通过了拟合度检验, 其中春季模型采用指数函数、夏季和秋季模型采用二次多项式函数、冬季采用幂函数、全年采用二次多项式函数, 利用此四季模型反演上海市 PM_{10} 浓度具有较高的可信度。

关键词

API
 PM_{10} 浓度
MODIS
AOD
遥感模型

近年来大气污染物排放总量迅速增加, 区域环境条件恶化, 使得区域范围的臭氧浓度大幅度升高、能见度降低, 导致生态环境和国民健康遭受严重影响(李启华等, 2012; 庞杨等, 2013)。同样, 大气污染对于特大城市的上海来说显然是不容忽视的问题。

对城市空气质量状况的监测可以通过卫星遥感来实现, 卫星遥感具有范围大、周期性、对地观测快速等特点, 是城市环境监测手段的未来发展趋势。因此, 利用遥感手段监测上海市可吸入颗粒物 PM_{10} 浓度具有重要的科学意义。Engel-Cox et al.(2004)研究指出利用类似 MODIS(MODerate resolution Imaging Spectrometer)遥感数据在大中天气尺度和大中区域尺度的空气质量监测有重大发展潜力。Yao and Lu(2014)研究表明利用 MODIS 气溶胶产

品可以对 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 进行时空分布监测及其短期预测, 即利用气溶胶光学厚度(Aerosol Optical Depth, AOD)反演 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的空间分布。Chitranshi et al.(2014)利用 MODIS 的 AOD 数据估计位于印度北部阿格拉城市地区 PM_{10} 浓度取得了较好的成果。李成才等(2003, 2005)利用 MODIS 气溶胶光学厚度分析了北京、香港、四川等地气溶胶时空分布特点, 并将 AOD 与地面观测的 PM_{10} 比较, 得到较好的相关性, 认为用 MODIS 气溶胶光学厚度研究城区空气污染具有可行性。何秀等(2010)利用 MODIS 两年的气溶胶光学厚度产品, 通过对其垂直订正和湿度订正, 与地面实测的 PM_{10} 浓度具有较高的相关性, 说明可用气溶胶光学厚度产品进行 PM_{10} 的遥感监测。应用 AOD 产品于 PM_{10} 的监测, 来实现大气污染的大范围大尺度上的宏观监测,

引用格式: 李薛, 龚绍琦, 付东洋, 等. 2016. 上海市 PM_{10} 浓度四季遥感模型研究[J]. 大气科学学报, 39(1): 126-132.

Li X, Gong S Q, Fu D Y, et al. 2016. Study on the four-season remote sensing models of PM_{10} concentration in Shanghai[J]. Trans Atmos Sci, 39(1): 126-132. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20141110001. (in Chinese).

从而可以弥补现有大气质量监测的不足。

本研究在此基础上,通过上海市 12 a 长时间序列数据进行分析检验,并在此基础上建立更为精细的四季遥感模型,为后续该市 PM_{10} 浓度的遥感监测奠定理论基础。

1 上海市 PM_{10} 数据获取与分析

1.1 上海市空气质量状况

上海地区空气质量数据包括大气污染指数 API (Air Pollution Index)、首要污染物、空气质量级别、空气质量状况等数据,这些数据来自于国家环保局数据中心 (<http://datacenter.mep.gov.cn>)。数据的时间为 2001 年 1 月 1 日—2012 年 12 月 31 日。

统计结果显示:2001 年 1 月 1 日—2012 年 12 月 31 日共 4 565 d,而以 PM_{10} 为主要污染物的天数就有 3 244 d,占全部天数的 71.1%,12 a 以来 PM_{10} 出现频率年均达到 68.41%,由此可见 12 a 来上海主要污染是以 PM_{10} 为主。

而从 2004 年开始 PM_{10} 污染天数有所下降,主要是因为 2004 年开始实施上海市的大气污染整治转化措施,形成了煤烟型和石油型并存的复合型污染,抛弃了原先煤炭为主的烟煤型污染(蒋应时,2004)。但是从 2005 年 PM_{10} 为首要污染物的天数下降比重较小,上海地区 PM_{10} 污染的状况不容乐观(见图 1)。对于上海市而言,空气质量状况的主要关注参数应为 PM_{10} 浓度。

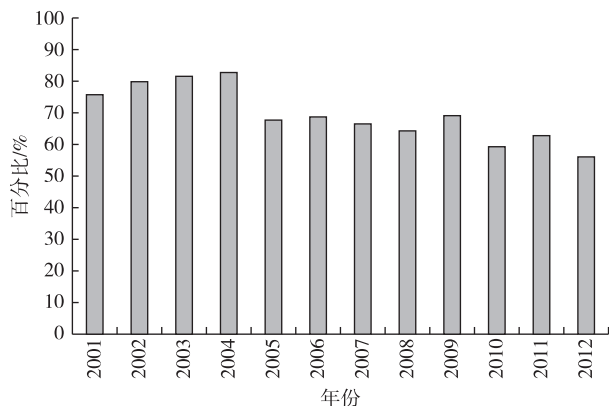


图 1 2001—2012 年上海市 PM_{10} 污染天数比(单位:%)

Fig.1 Ratio of PM_{10} pollution days in Shanghai from 2001 to 2012(units: %)

1.2 PM_{10} 数据的获取

空气污染指数 API 是一种反映和评价空气质量的方法,是将地面监测站测得的 5 种常规的污染物 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、CO 和 O_3 浓度转化为一种无量

纲的数值,取 5 种污染物分指数最大的作为该区域当日的 API,并将其划分成不同的等级可表征空气的质量状况。当 API 中首要污染物为 PM_{10} 时,由 API 计算出上海市 PM_{10} 每日的平均浓度。其计算公式如下:

$$I_x = \frac{c_x - c_{x,j}}{c_{x,j+1} - c_{x,j}} (I_{x,j+1} - I_{x,j}) + I_{x,j} \quad (1)$$

式中: I_x 为污染物 x 的污染分指数,这里 x 为首要污染物 PM_{10} ; $I_{x,j}$ 和 $I_{x,j+1}$ 分别为污染物 x 对应第 j 和 $j+1$ 个转折点的污染分指数, $c_{x,j}$ 和 $c_{x,j+1}$ 分别为污染物 x 对应第 j 和 $j+1$ 个转折点的浓度的阈值,各转折点对应的阈值见表 1(岳辉,2012)。

表 1 空气污染指数对应的污染物浓度限值

Table 1 Pollutant concentration limits corresponding to air pollution index mg/m^3

污染指数	污染物浓度				
API	SO_2 (日均值)	NO_2 (日均值)	PM_{10} (日均值)	CO (日均值)	O_3 (日均值)
50	0.05	0.08	0.05	5.00	0.12
100	0.15	0.12	0.15	10.00	0.20
200	0.80	0.28	0.35	60.00	0.40
300	1.60	0.57	0.42	90.00	0.80
400	2.10	0.75	0.50	120.00	1.00
500	2.62	0.94	0.60	150.00	1.20

本文计算浓度(I_x)的方法主要为:首先收集 2001 年 1 月 1 日—2012 年 12 月 31 日连续 12 a 上海市首要空气污染物为 PM_{10} 的日期的空气污染指数(API)值,根据表 1 得到 C_x 和 $C_{x,j}$,以及相应的 $C_{x,j+1}$ 和 $C_{x,j}$,然后利用上述计算公式(1)反推即可求出浓度。

1.3 PM_{10} 浓度季节性统计分析

根据上述通过 API 转换 PM_{10} 浓度的方法,计算上海市 2001 年 1 月 1 日—2012 年 12 月 31 日 PM_{10} 的日浓度,并求得 PM_{10} 的年平均值(图 2)。由图 2 可见,2002 年以来上海市的 PM_{10} 年平均值呈下降趋势,说明 PM_{10} 污染有所降低,但是下降不是很明显, PM_{10} 浓度依然很高,污染依然严重。 PM_{10} 浓度的 12 a 日均值达到 $0.115 \text{ mg}/\text{m}^3$,超过国家空气质量的二级标准(国家环境保护部 GB:3095-2012), PM_{10} 严重影响着上海市大气质量状况。

统计 PM_{10} 浓度四季变化(图 3,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月和次年 1、2

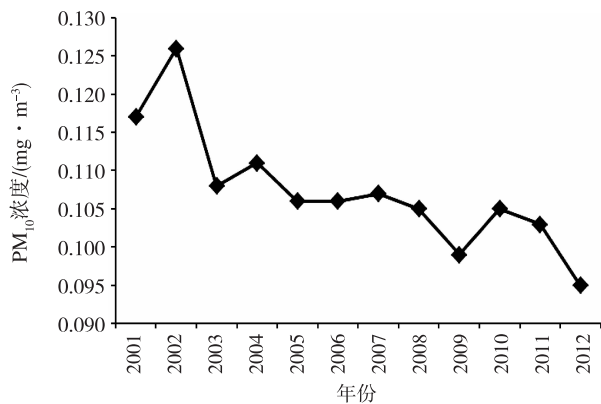


图2 2001—2012年上海市PM₁₀浓度年平均值(单位:mg/m³)

Fig.2 Annual mean of PM₁₀ concentration in Shanghai from 2001 to 2012(units:mg/m³)

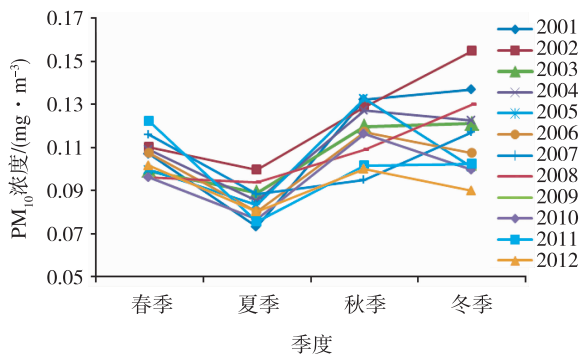


图3 2001—2012年上海市PM₁₀浓度季平均值(单位:mg/m³)

Fig.3 Quarterly averages of PM₁₀ concentration in Shanghai from 2001 to 2012(units:mg/m³)

月为冬季,下同)。上海市的PM₁₀浓度随季节有着显著地变化,即在不同季节期间,上海市PM₁₀浓度有所不同。每年PM₁₀浓度随季节有规律的变化,各季节变化趋势较为相同,根据上海市年月均气象资料(表2),夏季上海市处于多雨时期,雨水对于PM₁₀有很好的清除作用,PM₁₀浓度处于低谷期,空

表2 2001—2010年上海市月平均气象资料(资料来自上海市气象局)

Table 2 Monthly average meteorological datas in Shanghai from 2001 to 2010(Data from Shanghai Meteorological Bureau)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
最高温度/℃	7.60	8.70	12.60	18.50	23.20	27.80	31.80	31.60	27.40	22.40	16.80	10.70
最低温度/℃	0.30	1.10	4.90	10.40	15.30	20.10	24.70	24.70	20.50	14.30	8.60	2.70
温度/℃	4.85	7.04	10.71	15.88	20.95	24.91	29.29	28.74	25.22	20.10	13.91	7.44
降水/mm	73.57	74.78	69.32	85.11	88.87	152.44	150.59	198.46	108.32	128.22	68.62	54.43
湿度/%	71.60	73.60	68.00	67.90	70.00	76.30	73.80	74.40	73.50	68.30	68.80	68.50
日照/h	114.45	105.55	133.22	149.56	166.73	128.95	183.46	188.75	156.02	160.21	129.40	117.07

气质量状况良好;秋季处于夏冬过渡期,PM₁₀浓度有上升趋势;冬季气温普遍较低,逆温频率高且强度大、静风频率高、大气对流不活跃,降水明显减少,不利于污染物向外扩散,加之用煤量急剧增加且主导风向是来自于内陆地区的东北到西北风,北方地区排放的大气污染物经过长距离传输影响上海市,导致环境空气中PM₁₀污染水平整体偏高,超标严重(任屹罡等,2011),PM₁₀浓度达到一年中高峰期,空气质量状况较差;春季气候条件变化较大,空气质量状况出现不稳定性。综上所述,建立PM₁₀浓度遥感反演模型时,不应全年建立一个模型,应分别建立春夏秋冬四季的模型。

2 上海市AOD数据处理与分析

MODIS气溶胶产品达到一定的精度,可以用来反映地面气溶胶信息(王静等,2010)。本研究从NASA官网(<http://ladsweb.nascom.nasa.gov>)下载terra和aqua星的2001—2012年上海市(121.23°E, 31.07°N)的气溶胶光学厚度(AOD)产品。由于AOD反映了气溶胶在大气垂直剖面上的光学性质,而PM₁₀浓度通常是地面水平方向上大气粒子的质量,由重量法测得(Dentener et al., 1996)。为了开展PM₁₀遥感定量研究,提高PM₁₀浓度与AOD之间的相关性,需要进行AOD的垂直订正和湿度订正(李成才等,2003;吴永红等,2009;岳辉,2012)。本研究拟结合垂直和湿度订正两种修正方法来进行分析。

2.1 垂直订正

假设大气水平均匀,AOD(用 τ_a 表示)是在垂直方向上所有高度 z 消光系数 k_a 的积分(薛岩松,2011),即 $\tau_a(\lambda) = \int_0^\infty k(\lambda, z) dz$ 。而气溶胶消光系数 k_a 在垂直方向上随高度增加成指数递减,因此,

$$\tau_a(\lambda) \approx k_a(\lambda) \int_0^\infty \exp(-z/H_A) dz = k_a(\lambda) \cdot H_A。 \quad (2)$$

(2)式中 H_A 为气溶胶标高,单位为 km。由于气溶胶颗粒受大气湍流作用,其分布主要在对流边界层内,因此气溶胶标高 H_A 可近似地用大气混合层厚度 (Mixed Layer Height, MLH) 来代替。这里大气混合层厚度的计算采用国标法进行 (傅为, 2009),由总云量、低云量和太阳高度角确定太阳辐射等级,再根据风速确定大气稳定度,针对不同的大气稳定度,由 10 m 高度的平均风速和地转参数计算出大气混合层高度。

2.2 湿度订正

由于地面测量 PM_{10} 时测量的几乎都是空气颗粒的干质量,而且吸湿性气溶胶的粒径会随着大气湿度有显著变化 (赵文慧等, 2009),影响了气溶胶消光特性。所以对消光系数 k_a 进行湿度订正可以提高 PM_{10} 与 k_a 的相关性。众多研究揭示了湿度影响因子 f 与相对湿度 RH (Relative Humidity) 的关系 (程承旗等, 2006; 史同广等, 2008; 李先华等, 2008; 何秀等, 2010), 可由下式表示:

$$f(H_{RH}) = \frac{1}{1 - H_{RH}/100}。 \quad (3)$$

(3)式中 H_{RH} 表示相对湿度 RH, 最终 AOD 订正的计算公式 (岳辉, 2012; Dentener et al., 1996) 为:

$$\tau_a^* = \frac{\tau_a}{H_A \cdot f(H_{RH})}。 \quad (4)$$

(4)式中 τ_a^* 为订正后的 AOD, 实际为干燥条件下气溶胶的消光系数 $k_{a, dry}$ 。

2.3 修正结果分析

2001—2010 共 10 a 的 AOD 经过垂直 ($K_{a, wet}$) 和湿度 ($K_{a, dry}$) 订正后, 进行四季分类, 分别与 PM_{10} 浓度进行相关性分析 (表 3)。

表 3 上海市春夏秋冬及全年 AOD 修正前后与 PM_{10} 浓度的相关系数

季节	样本数	AOD— PM_{10}	$K_{a, wet}$ — PM_{10}	$K_{a, dry}$ — PM_{10}
春季	137	0.02	0.43	0.70
夏季	98	0.42	0.57	0.73
秋季	116	0.26	0.61	0.76
冬季	16	0.01	0.32	0.84
全年	367	0.07	0.52	0.72

由于国家环保局数据中心提供的 API 数据是多个站点日平均监测值, MODIS 的 AOD 数据代表着 Terra 和 Aqua 卫星过境时的空间平均 (蒋民和马贞立, 2012), 故初始 AOD 和 PM_{10} 浓度平均相关性只有 0.15, 随着对数据进行修正 (垂直和湿度订正), 相关性明显提高, 春夏秋冬及其全年的 $K_{a, dry}$ — PM_{10} 相关性均可达到 0.7 以上 (表 3), 且四季变化关系明显, 为建立四季模型奠定基础。

MODIS 气溶胶光学厚度 AOD 存在一定的误差, 垂直订正和湿度订正的过程不能完全消除 AOD 的误差, 且其本身也存在一定误差。但是综合考虑与分析各种影响因素后, 研究结果仍具有一定的适应性, 具备较好的相关性与趋势性。

3 PM_{10} 遥感模型的构建与验证

通过以上研究, 利用 2001—2010 年间 PM_{10} 浓度和对应的 $K_{a, dry}$ 进行回归建模, 并用 2011—2012 年两年的数据进行建模验证, 所得结果见表 4。

表 4 上海市 PM_{10} 浓度的春夏秋冬及其全年回归模型

Table 4 PM_{10} concentration regression models of four seasons and year in Shanghai

季节	模型	建模参数		检验参数	
		样本数	R^2	样本数	均方根误差/%
春季	$y = 0.0523e^{7.1799x}$	137	0.4991	31	6.0690
夏季	$y = 0.4384x^2 + 0.6143x + 0.0463$	98	0.5412	22	2.3350
秋季	$y = 1.0428x^2 + 0.6409x + 0.0471$	116	0.5789	26	11.7210
冬季	$y = 2.8689x^{1.2628}$	16	0.8062	4	2.8650
全年	$y = 0.9033x^2 + 0.6639x + 0.0424$	367	0.5278	83	6.1800

注: y 为 PM_{10} 浓度; x 为 AOD 经订正后的 $K_{a, dry}$ 。

图 4 和表 4 对上海市春夏秋冬及其全年 $K_{a, dry}$ — PM_{10} 进行了建模, 并通过拟合度检验。春季采用指数函数, 夏季采用二次多项式函数, 秋季采用二次多项式函数, 冬季采用幂函数, 全年采用二次多项式函数。其样本检验 (83 组样本数据), 均方根误差夏季 (2.335%) < 冬季 (2.865%) < 春季 (6.069%) < 秋季 (11.721%), 全年的误差在 6.18%。因此, 此模型具有较好的可信度。

从表 4 各模型来看, 春季 R^2 只有 0.4991, 低于夏、秋、冬三季的相关程度; 夏、秋、冬三季模型优于

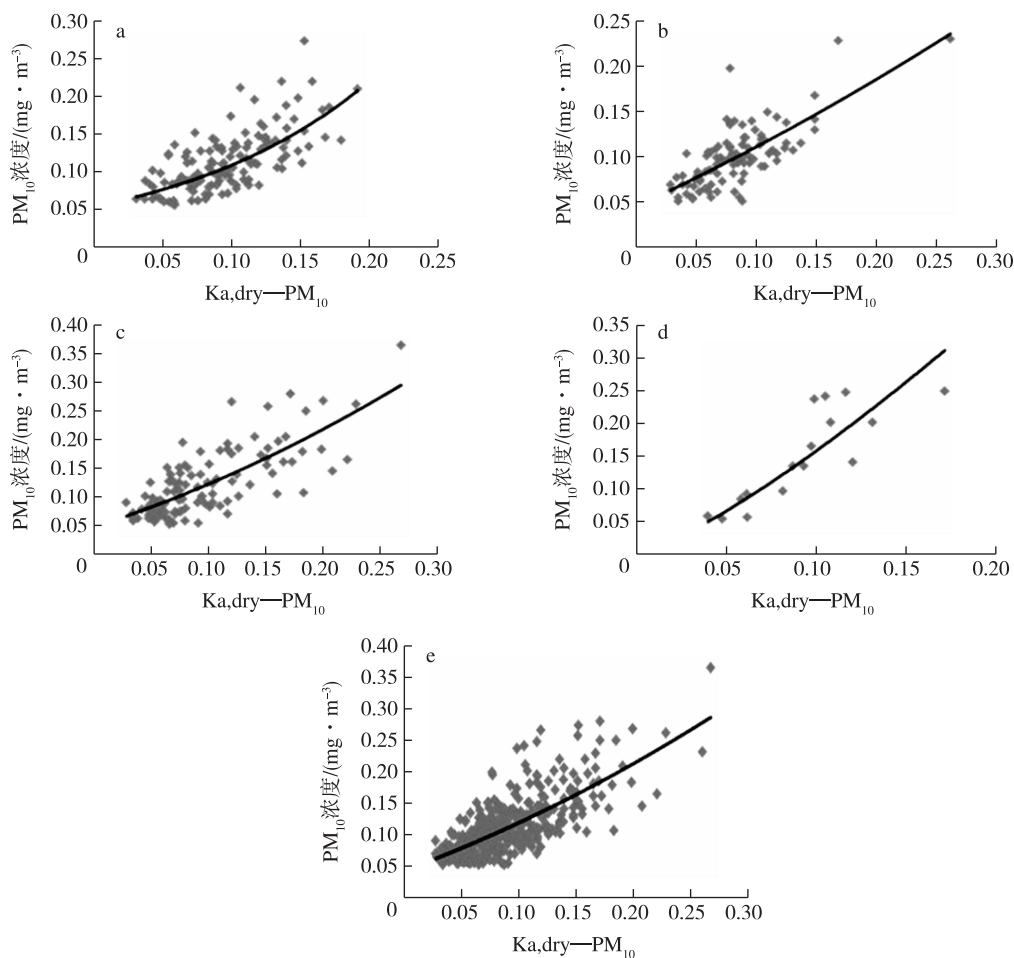


图 4 上海市 PM_{10} 浓度的春夏秋冬及全年回归分析 a.春;b.夏;c.秋;d.冬;e.全年

Fig.4 Regression analysis of PM_{10} concentration of four seasons and year in Shanghai

a.spring;b.summer;c.autumn;d.winter;e.annual

春季,冬季模型拟合效果最好。春季气候条件变化快且不稳定(表 3)导致 AOD 和 PM_{10} 相关性降低。与同类研究类似(何秀等,2010;蒋民和马贞立,2012;岳辉,2012)。

4 结论

1)通过对上海市 12 a 的 API 数据分析,可知上海空气污染物以可吸收颗粒物为主,且 PM_{10} 对人体伤害是学者最为关注研究之一。

2)上海市的 PM_{10} 浓度季节性变化差异明显,显

现季节性变化规律,无法用一个全年模型描述,应分别建立四季模型。根据已有认识, PM_{10} 遥感模型应利用 MODIS 的气溶胶产品进行垂直和湿度订正后来反演 PM_{10} 浓度。

3)分别建立四季模型且通过了拟合度检验,为春季采用指数函数,夏季采用二次多项式函数,秋季采用二次多项式函数,冬季采用幂函数,全年采用二次多项式函数。由于春季气候条件所限制,春季模型相对较差。但利用此四季模型反演上海市 PM_{10} 浓度依然有较高的可信度。

参考文献(References)

- 程承旗,常鹏飞,郭仕德,等.2006.空气总悬浮颗粒物浓度的遥感信息模型研究[J].水土保持研究,13(6):243-246. Cheng C Q, Chang P F, Guo S D, et al.2006.Research on remote sensing information model for total suspended particles and case study[J].Research of Soil and Water Conservation, 13(6):243-246.(in Chinese).
- Chitranshi S, Sharma S P, Dey S.2015.Satellite-based estimates of outdoor particulate pollution (PM_{10}) for Agra City in northern India[J].Air Quality, Atmosphere & Health, 8(1):55-65.
- Dentener F J, Carlilichael G R, Zhang Y, et al.1996.Role of mineral aerosol as a reactive surface in the global troposphere[J].J Geophys Res, 101(17):

- 22869-22875.
- Engel-Cox J A, Holloman C H, Coutant B W, et al. 2004. Qualitative and quantitative evaluation of MODIS satellite sensor data for regional and urban scale air quality[J]. *Atmospheric Environment*, 38(16): 2495-2509.
- 傅为. 2009. 基于 MODIS 气溶胶光学厚度反演的 PM₁₀ 浓度监测[D]. 长沙: 中南大学. Fu W. 2009. PM₁₀ concentration monitoring based on aerosol optical depth retrieval from MODIS data[D]. Changsha: Central South University. (in Chinese).
- 何秀, 邓兆泽, 李成才, 等. 2009. MODIS 气溶胶光学厚度产品在地面 PM₁₀ 监测方面的应用研究[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 46(2): 178-184.
- He X, Deng Z Z, Li C C, et al. 2009. Application of MODIS AOD in surface PM₁₀ evaluation[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 46(2): 178-184. (in Chinese).
- 蒋应时. 2004. 上海能源及可持续发展[J]. *上海工业*, 4: 8-11. Jiang Y S. 2004. Energy and sustainable development of Shanghai[J]. *Shanghai Industry*, 4: 8-11. (in Chinese).
- 蒋民, 马贞立. 2012. 南京市 MODIS 气溶胶光学厚度与 PM₁₀ 质量浓度的相关性分析[J]. *科学技术与工程*, 12(31): 8327-8331. Jiang M, Ma Z L. 2012. Relationship analysis of aerosol optical depth and PM₁₀ mass concentration over Nanjing[J]. *Science Technology and Engineering*, 12(31): 8327-8331. (in Chinese).
- 李成才, 毛节泰, 刘启汉. 2005. 利用 MODIS 资料遥感香港地区高分辨率气溶胶光学厚度[J]. *大气科学*, 29(3): 335-342. Li C C, Mao J T, Alexis K L. 2005. Remote sensing of high spatial resolution aerosol optical depth with MODIS data over Hong Kong[J]. *Chinese J Atmos Sci*, 29(3): 335-342. (in Chinese).
- 李成才, 毛节泰, 刘启汉, 等. 2003. 利用 MODIS 光学厚度遥感产品研究北京及周边地区的大气污染[J]. *大气科学*, 27(5): 869-880+951-953. Li C C, Mao J T, Alexis K L, et al. 2003. Research on the air pollution in Beijing and its surroundings with MODIS AOD products [J]. *Chinese J Atmos Sci*, 27(5): 869-880+951-953. (in Chinese).
- 李启华, 牛生杰, 许丹. 2012. 基于太湖地区 MFRSR 遥感大气气溶胶光学特性和大气污染状况[J]. *大气科学学报*, 35(3): 364-371. Li Q H, Niu S J, Xu D. 2012. Remote sensing of aerosol optical properties and air pollution with MFRSR measurements in Taihu region[J]. *Trans Atmos Sci*, 35(3): 364-371. (in Chinese).
- 李先华, 徐丽华, 曾齐红, 等. 2008. 大气程辐射遥感图像与城市大气污染监测研究[J]. *遥感学报*, 12(5): 780-785. Li X H, Xu L H, Zeng Q H, et al. 2008. Research on atmospheric path radiation remote sensing image and urban atmospheric pollution monitoring[J]. *Journal of Remote Sensing*, 12(5): 780-785. (in Chinese).
- 庞杨, 韩志伟, 朱彬, 等. 2013. 利用 WRF-Chem 模拟研究京津冀地区夏季大气污染物的分布和演变[J]. *大气科学学报*, 36(6): 674-682. Pang Y, Han Z W, Zhu B, et al. 2013. A model study on distribution and evolution of atmospheric pollutants over Beijing-Tianjin-Hebei region in summer-time with WRF-Chem[J]. *Trans Atmos Sci*, 36(6): 674-682. (in Chinese).
- 任屹罡, 牛晓霞, 郭怡, 等. 2011. 上海市大气中 PM₁₀ 浓度的统计分析[J]. *环境科学与管理*, 36(6): 23-26. Ren Y G, Niu X X, Guo Y, et al. Statistical analysis of air PM₁₀ concentration in Shanghai [J]. *Environmental Science and Management*, 36(6): 23-26. (in Chinese).
- 史同广, 段玉森, 孙林, 等. 2008. 济南市颗粒物污染 MODIS 遥感反演方法研究[J]. *山东建筑大学学报*, 23(3): 213-216+220. Shi T G, Duan Y S, Sun L, et al. 2008. Study of PM₁₀ retrieve with MODIS over Jinan[J]. *Journal of Shandong Jianzhu University*, 23(3): 213-216+220. (in Chinese).
- 王静, 杨复沫, 王鼎益, 等. 2010. 北京市 MODIS 气溶胶光学厚度和 PM_{2.5} 质量浓度的特征及其相关性[J]. *中国科学院研究生院学报*, 27(1): 10-16. Wang J, Yang F M, Wang D Y, et al. 2010. Characteristics and relationship of aerosol optical thickness and PM_{2.5} concentration over Beijing[J]. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 27(1): 10-16. (in Chinese).
- 吴永红, 何秀, 李成才, 等. 2009. 卫星遥感气溶胶光学厚度在北京 2008 年地面空气质量监测上的应用[J]. *大气与环境光学学报*, 4(4): 266-273.
- Wu Y H, He X, Li C C, et al. 2009. Application of remote sensing atmospheric aerosol optical depth on monitoring the surface air quality in 2008 of Beijing[J]. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 4(4): 266-273. (in Chinese).
- 薛岩松. 2011. 可吸入颗粒物浓度的遥感监测方法研究[D]. 杭州: 浙江大学. Xue Y S. 2011. Using satellite remote sensing data for monitoring respirable particulate matter concentration[D]. Hangzhou: Zhejiang University. (in Chinese).
- Yao L, Lu N. 2014. Spatiotemporal distribution and short-term trends of particulate matter concentration over China, 2006—2010[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(16): 9665-9675.
- 岳辉. 2012. 武汉市大气 PM₁₀ 浓度空间分布特征及其影响因素研究[D]. 武汉: 华中农业大学. Yue H. 2012. Research on the spatial distribution characteristic and its influencing factors of atmospheric PM₁₀ concentration in Wuhan city[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University. (in Chinese).
- 赵文慧, 宫辉力, 赵文吉, 等. 2009. 北京市可吸入颗粒物的空间分布特征及与气象因子的 CCA 分析[J]. *地理与地理信息科学*, 25(1): 71-74.
- Zhao W H, Gong H L, Zhao W J, et al. 2009. Spatial distribution of urban IP pollution and CCA analysis between IP and meteorological factors: A case study in Beijing[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 25(1): 71-74. (in Chinese).

Study on the four-season remote sensing models of PM_{10} concentration in Shanghai

LI Xue^{1,2}, GONG Shaoqi^{2,3}, FU Dongyang¹, ZHANG Ying¹, LIU Dazhao¹,
DING Youzhuan¹, LI Yichao², SUN Qingfei², GU Chao², XU Zhiqi²

¹ Ocean Remote Sensing and Information Technology Laboratory, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

² Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

³ Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

By analyzing the variation rule of PM_{10} concentration (concluded by a conversion of API (Air Pollution Index)) in Shanghai from 2001 to 2012, this paper establishes the remote sensing inversion model to measure PM_{10} concentration in Shanghai. As indicated by the results, the following conclusions can be arrived at: 1) There is a seasonal variation for PM_{10} concentration in Shanghai, thus remote sensing inversion models in four seasons should be established, respectively. 2) By probing into the correlation between MODIS AOD (Aerosol Optical Depth) products and PM_{10} concentration, this paper arrives at the conclusion that only by going through aerosol vertical distribution and relative humidity error correction can AOD establish a preferable correlation with PM_{10} concentration. 3) Based on the aerosol vertical distribution and relative humidity error correction, all the four-season remote sensing inversion models established to measure the PM_{10} concentration in Shanghai have passed the test of fitting degree. Among them, the spring model uses the exponential function, the summer and autumn models apply the quadratic polynomial function, the winter model adopts the power function, and the yearly model uses the quadratic polynomial function. It is comparatively highly reliable to invert Shanghai PM_{10} concentration using the four-season remote sensing inversion models.

API; PM_{10} concentration; MODIS; AOD; remote sensing model

doi: 10. 13878/j.cnki.dqkxxb.20141110001

(责任编辑: 孙宁)