

中国地区大气气溶胶光学厚度与 Angstrom 参数联网观测(2004-08~ 2004-12)

王跃思¹, 辛金元^{1,3}, 李占清², 王普才¹, 王式功³, 温天雪¹, 孙扬^{1,3}

(1. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 2. 马里兰大学气象学系, MD 20782, 美国; 3. 兰州大学大气科学院, 兰州 730000)

摘要: 利用 2004 年秋冬季全国联网资料, 给出中国 19 个典型区域大气气溶胶的光学厚度 ($AOD_{\lambda=500nm}$)、Angstrom 混浊系数 (β) 和 Angstrom 波长指数 (α)。结果表明, 在青藏高原, 海北、拉萨, AOD 平均分别为 0.09、0.12, β 平均分别为 0.05、0.13, α 平均分别为 1.09、0.06。东北地区, 海陵、三江, AOD 平均分别为 0.14、0.15, β 平均分别为 0.04、0.06, α 平均分别为 2.32、1.58。北部的荒漠地区, 阜康、沙坡头、鄂尔多斯, AOD 平均的范围为 0.17~0.32, β 平均的范围为 0.09~0.19, α 平均的范围为 0.68~1.28。森林生态地区, 长白山、北京森林、西双版纳, AOD 平均的范围为 0.19~0.42, β 平均的范围为 0.12~0.19, α 平均的范围为 1.11~1.25。农业生态地区, 沈阳、封丘、桃源、盐亭, AOD 平均的范围为 0.34~0.68, β 平均的范围为 0.18~0.38, α 平均的范围为 0.97~1.39。东部沿海地区以及湖泊, 胶州湾、上海、太湖, AOD 平均的范围为 0.49~0.68, β 平均的范围为 0.21~0.29, α 平均的范围为 1.24~1.37。内陆城市, 北京、兰州, AOD 平均分别为 0.47、0.81, β 平均分别为 0.20、0.45, α 平均分别为 1.66、0.89。并对 19 个站点气溶胶的光学特性及其变化特征进行了分别论述。

关键词: 太阳分光观测网; 气溶胶光学厚度; Angstrom 混浊系数; Angstrom 波长指数

中图分类号: X830.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)09-1703-09

AOD and Angstrom Parameters of Aerosols Observed by the Chinese Sun Hazemeter Network from August to December 2004

WANG Yue-si¹, XIN Jin-yuan^{1,3}, LI Zhan-qing², WANG Pu-cai¹, WANG Shi-gong³, WEN Tian-xue¹, SUN Yang^{1,3}

(1. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. Department of Meteorology, The University of Maryland, College Park, MD 20782, USA; 3. College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Atmospheric aerosol optical depth ($AOD_{\lambda=500nm}$), Angstrom turbidity coefficient (β) and Angstrom wavelength exponent (α) are obtained using the CERN sun hazemeter network from Aug to Dec, 2004. The results are as follows: At the Tibetan Plateau, Haibei and Lhasa, the mean of AOD is 0.09, 0.12; the mean of β is 0.05, 0.13; the mean of α is 1.09, 0.06, respectively. At the Northeast of China, Hailun and Sanjiang, the mean of AOD is 0.14, 0.15; the mean of β is 0.04, 0.06; the mean of α is 2.32, 1.58, respectively. At the desert region of North China, e. g. Fukang, Shapotou and Eerduosi, the range of averaged AOD is from 0.17 to 0.32; the range of averaged β is from 0.09 to 0.19; the range of averaged α is from 0.68 to 1.28. At the forest areas, e. g. Changbai Mountain, Beijing forest and Xishuangbanna, the range of averaged AOD is from 0.19 to 0.42; the range of averaged β is from 0.12 to 0.19; the range of averaged α is from 1.11 to 1.25. At agriculture areas, e. g. Shenyang, Fengqiu, Taoyuan and Yanting, the range of averaged AOD is from 0.34 to 0.68; the range of averaged β is from 0.18 to 0.38; the range of averaged α is from 0.97 to 1.39. At the littoral areas and the lake of East China, e. g. Jiaozhou Bay, Shanghai City and Tai Lake, the range of averaged AOD is from 0.49 to 0.68; the range of averaged β is from 0.21 to 0.29; the range of averaged α is from 1.24 to 1.37. At the inland cities, Beijing City and Lanzhou City, the mean of AOD is 0.47, 0.81; the mean of β is 0.20, 0.45; the mean of α is 1.66, 0.89, respectively. The variations of aerosol properties at nineteen stations are explained in the paper.

Key words: sun hazemeter network; aerosol optical depth; Angstrom turbidity coefficient; Angstrom wavelength exponent

大气气溶胶一般指悬浮在大气中直径为 10^{-3} ~ $10\mu m$ 的微粒。气溶胶光学特性的不确定性主要在于其物化特征时空分布的不均匀性和可变性^[1~3]。气溶胶依据其排放源与排放机理的不同, 可分为典型的 6 种类型。①城市工业气溶胶, 主要来源于人口密集工业区的化石燃料的燃烧^[4]; ②生物

质燃烧气溶胶, 主要来源于森林和草地火灾与植物秸秆焚烧^[5,6]; ③沙尘气溶胶, 主要指由于风从地表

收稿日期: 2005-07-19; 修订日期: 2005-09-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(40520120071, 40375015); 中国科学院野外台站网络建设基金项目

作者简介: 王跃思(1961~), 男, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为大气化学, E-mail: wys@mail.iap.ac.cn

带入大气的颗粒物^[7]; ④海盐气溶胶, 来源于海洋^[8]; ⑤植物生长过程产生的有机气溶胶^[9, 10]; ⑥火山排放的火山气溶胶^[11]. 不同类型气溶胶分别具有各自不同的光学特征和辐射特征^[1~3]. 详细了解不同区域气溶胶光学特性及其时空变化特征是进一步阐明气溶胶辐射强迫机理的研究基础^[12~15].

气溶胶光学厚度与 Angstrom 参数是表征大气气溶胶光学特征的最基本参量. 它们可以用来推算大气气溶胶含量, 确定气溶胶模态特征与谱分布, 检验校对卫星反演资料, 是确定大气气溶胶辐射气候效应的关键因子. 近 10 多年来, 国内外学者利用地面遥感观测对我国大气气溶胶的光学特性研究也做出大量工作. 邱金桓等^[16]利用地面全波段太阳直接辐射信息反演了中国 10 个地区 1980~1994 年大气气溶胶光学厚度及其变化特征, 指出中国城市气溶胶光学厚度有着明显的增长趋势. 罗云峰等^[17~19]利用全国 40 多个站点的长期太阳直接辐射资料反演了中国气溶胶光学厚度的变化特征, 得出中国气溶胶光学厚度在 20 世纪 60 年代至 80 年代有着明显的增长. 李刚等^[20]利用西北气象台站 1986~1992 年的太阳总辐射和漫射太阳辐射日总量资料反演了 6 个地方太阳光学厚度时空变化特征. 张军华等^[21]利用多波段太阳光度计对我国 4 个不同地区的气溶胶消光特性进行了分析. 申彦波等^[22]利用 5 个观测站的资料分析了 2001 年春季中国北方大气气溶胶光学厚度的时空分布. 国内许多学者也针对特定的地区进行了相关的气溶胶光学特征观测研究^[23~25]. 近几年, 在东亚地区进行的相关科学实验针对我国气溶胶光学特性与辐射特征进行了一定的研究, 如亚洲气溶胶特征实验 (ACE-Asia)^[26]、亚洲大气颗粒物环境变化研究 (APEX)^[27]和亚洲天空辐射联网观测实验 (SKYNET)^[3].

然而, 目前针对我国气溶胶进行的系统、直接联网分光辐射观测资料仍然十分匮乏. 本研究利用 CERN 太阳分光观测网资料, 给出 2004 年秋、冬季中国 19 个典型地区的大气气溶胶的光学厚度、Angstrom 波长指数和 Angstrom 混浊系数, 初步探讨秋、冬季节各地区大气气溶胶光学特性及其时空分布状况.

1 观测与数据

太阳分光观测网及其台站分布的具体介绍, 以及光度计的统一标定和数据质量控制方法, 参见文献^[28]. 本研究中采用的数据时段为 2004-08~

2004-12; 光度计观测资料只选取晴天或者云覆盖率在 5 成以下(保证在太阳视场角 30°之内无云)的天气状况的观测值; 除北京、上海、兰州 3 个城市观测点代表典型城市气溶胶光学特征外, 其它 16 个生态观测站基本代表了中国不同地区气溶胶光学特征的本底状况.

2 Angstrom 参数

Angstrom^[29]给出了气溶胶光学厚度与波长之间的关系式, 见方程 (1).

$$\tau_{\text{aer}}(\lambda) = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (1)$$

其中, $\tau_{\text{aer}}(\lambda)$ 为 AOD, β 为 Angstrom 混浊系数, 可以代表大气中气溶胶的浓度; α 为 Angstrom 波长指数. 式 (1) 代入不同波长且相除后取对数, 即可计算出 Angstrom 波长指数 α :

$$\alpha = - \frac{\ln[\tau_{\text{aer}}(\lambda_2)] - \ln[\tau_{\text{aer}}(\lambda_1)]}{\ln \lambda_2 - \ln \lambda_1} \quad (2)$$

α 范围一般为 $0 < \alpha < 2$, 平均值大约为 1.3; 较小的 α 代表较大粒径的气溶胶粒子为主控粒子, 相反, 较大的 α 代表较小粒径的气溶胶粒子为主控粒子; 例如, 当 α 接近于 0 时, 说明气溶胶主控粒子是大粒径的沙尘粒子, 当 α 接近于 2 时, 气溶胶主控粒子是小粒径的烟雾粒子^[2, 3, 30]; 城市-工业气溶胶一般为 $1.1 \leq \alpha \leq 2.4$ ^[2], 生物质燃烧气溶胶为 $1.2 \leq \alpha \leq 2.3$ ^[2], 沙尘气溶胶一般为 $-1 \leq \alpha \leq 0.5$ ^[30], 海盐气溶胶为 $1.1 \leq \alpha \leq 1.8$ ^[31].

采用对数线性回归的方法^[2, 3], 利用 $\lambda = 405$ 、500、650nm 求解 Angstrom 波长指数 α . 然后, 利用公式 (1) 可求得在 500nm 处的 Angstrom 混浊系数 β .

$$\beta = 0.5^{-\alpha} / \tau_{\text{aer}}(0.5) \quad (3)$$

Angstrom 混浊系数 β 的范围一般为 0~0.5; 当 $\beta \leq 0.1$ 时, 代表清洁的天气; 当 $\beta \geq 0.2$ 时, 代表相对混浊的天气^[29].

3 结果与分析

本研究将分别给出 2004-08~2004-12 CERN 太阳分光观测网 19 个观测站点气溶胶的基本光学特征. 主要是波长 λ 为 500nm 处的气溶胶光学厚度 (AOD) 与 Angstrom 波长指数 (α) 日变化, 各站点在此期间 Angstrom 波长指数 (α) 与混浊系数 (β) 间的对应分布状况. 2004 年秋冬季中国大陆 19 个站点的 AOD、 α 与 β 平均分布特征见表 1.

图 1 给出了青藏高原代表站点观测期间气溶胶光学特征. 拉萨站为青藏高原农牧业生态系统,

AOD 平均为 0.12, β 平均为 0.13, α 平均为 0.06. 海北站为青藏高原高寒草甸生态系统, AOD 平均为 0.09, β 平均为 0.05, α 平均为 1.09. 该区域气溶胶光学厚度随时间无较大变化, 秋季略高于冬季, Angstrom 波长指数秋季小于冬季(见表 1); α 随 β

基本呈指数递减, 当 β 大于 0.1 时, 该地区气溶胶主要表现为大粒径的沙尘气溶胶. 青藏高原空气干洁, 气溶胶浓度低, 气溶胶主控粒子主要表现为粒径较大的大陆型气溶胶与沙尘气溶胶; 秋季气溶胶浓度略高于冬季, 秋季气溶胶粒径也略大于冬季.

表 1 2004 年秋冬季中国大陆上空气溶胶光学厚度与 Angstrom 参数
Table 1 Mean of AODs and Angstrom parameters in 19 stations of China from autumn to winter, 2004

代表区域	站点	平均 AOD _{λ=500nm}		平均 Angstrom 波长指数 α		平均 Angstrom 混浊系数 β	
		秋季	冬季	秋季	冬季	秋季	冬季
青藏高原	拉萨	0.14 ± 0.08	0.10 ± 0.02	0.07 ± 0.37	0.22 ± 0.21	0.17 ± 0.09	0.09 ± 0.03
	海北	0.16 ± 0.09	0.08 ± 0.04	0.92 ± 0.37	1.14 ± 0.68	0.08 ± 0.04	0.04 ± 0.03
东北地区	海伦	0.14 ± 0.04	0.14 ± 0.09	1.86 ± 0.78	2.58 ± 0.48	0.05 ± 0.03	0.03 ± 0.04
	三江	0.17 ± 0.09	0.14 ± 0.06	0.96 ± 0.39	2.13 ± 0.53	0.09 ± 0.03	0.04 ± 0.03
北方有植被荒漠与沙漠地区	阜康	0.17 ± 0.06	0.29 ± 0.21	1.22 ± 0.29	1.51 ± 0.67	0.08 ± 0.04	0.14 ± 0.13
	鄂尔多斯	0.20 ± 0.14	0.14 ± 0.06	0.46 ± 0.44	0.96 ± 0.23	0.13 ± 0.06	0.07 ± 0.04
	沙坡头	0.35 ± 0.14	0.31 ± 0.14	0.75 ± 0.21	0.91 ± 0.25	0.21 ± 0.08	0.17 ± 0.10
森林生态地区	长白山	0.20 ± 0.09	0.16 ± 0.08	1.05 ± 0.27	1.60 ± 0.36	0.10 ± 0.05	0.06 ± 0.04
	北京森林	0.27 ± 0.19	0.17 ± 0.15	0.89 ± 0.32	1.39 ± 0.49	0.14 ± 0.10	0.08 ± 0.09
	西双版纳	0.40 ± 0.21	0.43 ± 0.16	1.15 ± 0.44	1.29 ± 0.33	0.20 ± 0.13	0.18 ± 0.08
人类活动较为活跃的农业生态地区	沈阳	0.33 ± 0.18	0.36 ± 0.12	1.39 ± 0.27	1.40 ± 0.29	0.13 ± 0.08	0.15 ± 0.06
	封丘	0.55 ± 0.25	0.43 ± 0.18	1.19 ± 0.15	1.31 ± 0.18	0.24 ± 0.11	0.18 ± 0.09
	桃源	0.71 ± 0.27	0.54 ± 0.23	1.17 ± 0.22	1.06 ± 0.18	0.32 ± 0.12	0.27 ± 0.15
	盐亭	0.54 ± 0.27	0.87 ± 0.43	0.96 ± 0.17	1.00 ± 0.17	0.28 ± 0.12	0.45 ± 0.23
东部沿海以及湖泊地区	太湖	0.43 ± 0.11	0.53 ± 0.13	0.95 ± 0.19	1.05 ± 0.09	0.22 ± 0.05	0.25 ± 0.06
	胶州湾	0.57 ± 0.28	0.46 ± 0.22	1.38 ± 0.28	1.35 ± 0.28	0.24 ± 0.15	0.19 ± 0.11
	上海市	—	0.68 ± 0.26	—	1.26 ± 0.13	—	0.29 ± 0.13
东部城市	北京市	0.49 ± 0.37	0.45 ± 0.36	1.64 ± 0.56	1.65 ± 0.63	0.21 ± 0.20	0.20 ± 0.21
西部城市	兰州市	0.58 ± 0.22	0.98 ± 0.26	0.95 ± 0.21	0.85 ± 0.12	0.32 ± 0.13	0.55 ± 0.15

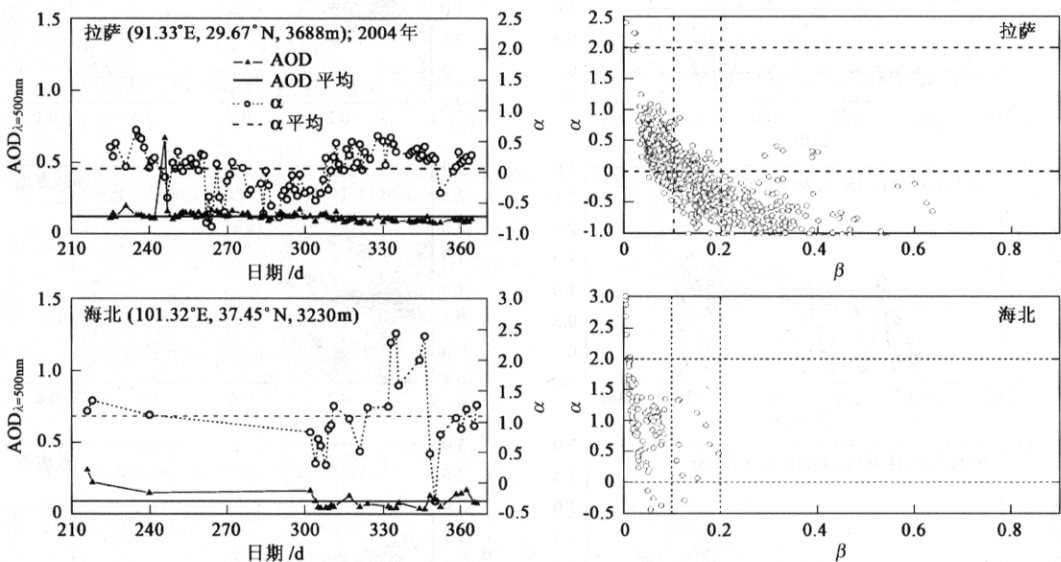


图 1 青藏高原站点气溶胶光学厚度与 Angstrom 参数的变化状况
Fig. 1 Status of AODs and Angstrom parameters at Qinghai-Tibet Plateau

图 2 给出了东北代表站点观测期间气溶胶光学特征. 三江站为温带沼泽湿地生态系统, AOD 平均为 0.15, β 平均为 0.06, α 平均为 1.58. 海伦站为东

北黑土农田生态系统, AOD 平均为 0.14, β 平均为 0.04, α 平均为 2.32. 该区域气溶胶光学厚度随时间无较大变化; Angstrom 波长指数有明显季节变

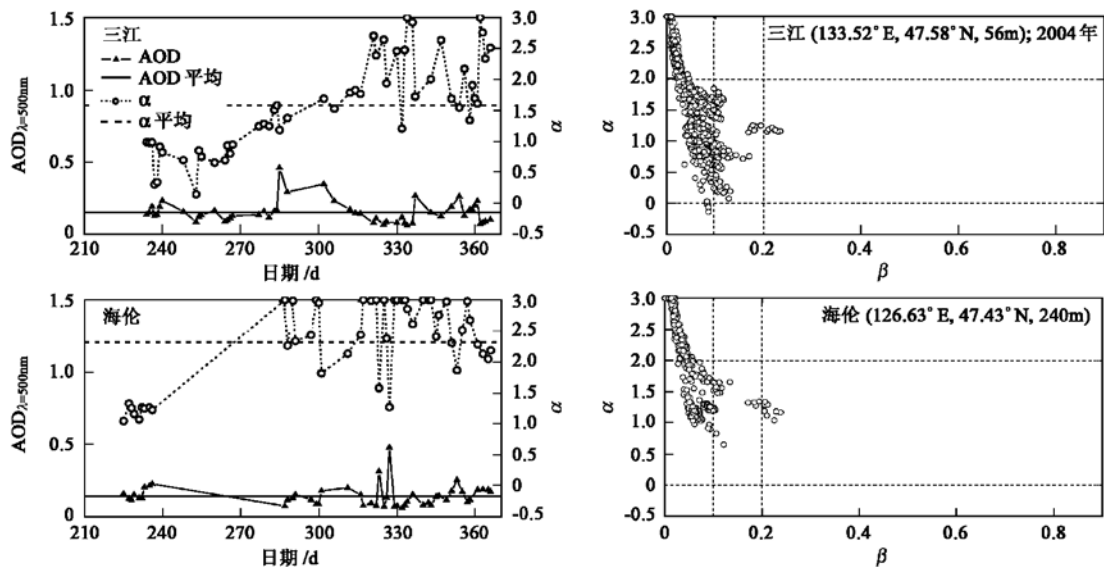


图 2 东北站点气溶胶光学厚度与 Angstrom 参数的变化状况

Fig. 2 Status of AODs and Angstrom parameters at Northeast China

化, 冬季明显大于秋季; Angstrom 混浊系数一般维持在 0.1 以下. 该区域空气清洁, 气溶胶浓度小, 秋季天然良好的植被和冬季冰雪的覆盖, 也有效地限制了地表土壤颗粒向空中的排放. 从秋季到冬季, 气

溶胶逐渐从大模态的大陆型气溶胶向粒径较小的烟雾型粒子过渡, 这主要是该地区秋冬季节生物质与化石燃料燃烧逐渐增加, 排放了一定的烟雾气溶胶.

图 3 给出了北方有植被荒漠与沙漠站点观测期

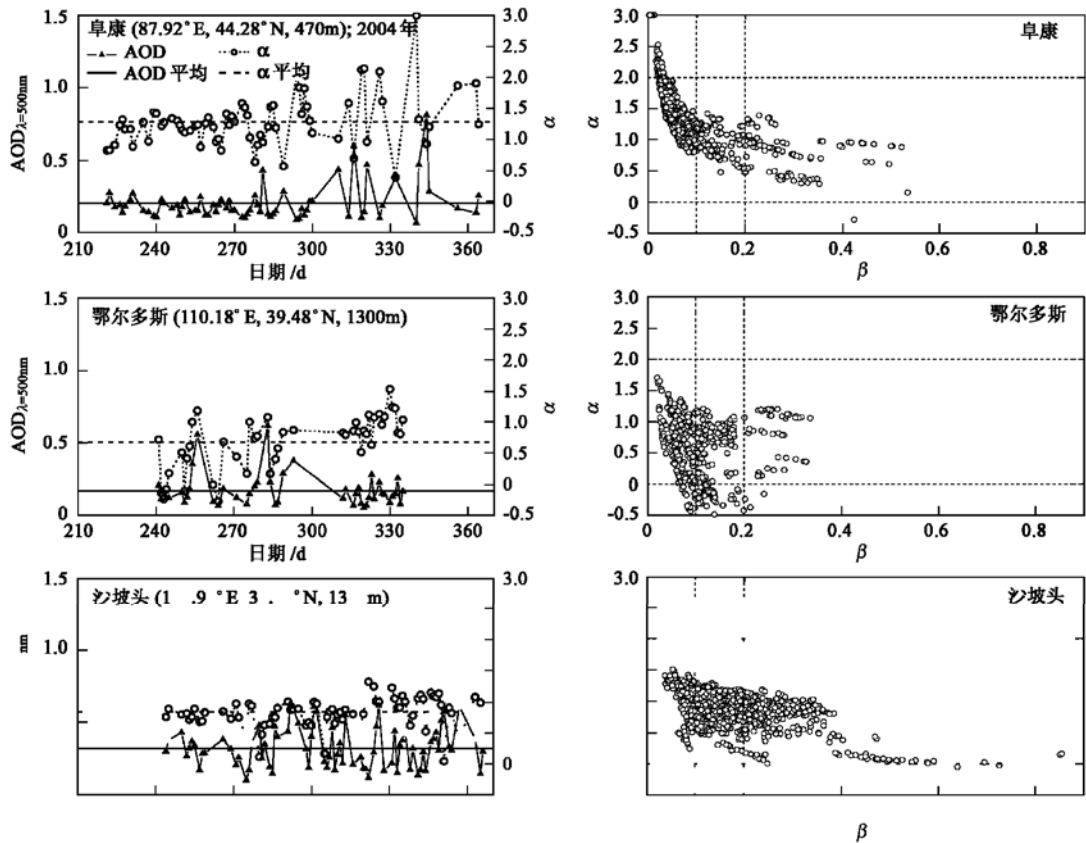


图 3 北方荒漠和沙漠站点气溶胶光学厚度与 Angstrom 参数的变化状况

Fig. 3 Status of AODs and Angstrom parameters at Northern desert stations

间气溶胶光学特征. 阜康站为荒漠绿洲生态系统, AOD 平均为 0.20, β 平均为 0.09, α 平均为 1.28. 阜康气溶胶浓度相对较小, 空气较为清洁. 秋季该地区气溶胶主要为稳定的大陆型气溶胶. 冬季气溶胶主要由大陆型气溶胶和较小粒径的烟雾气溶胶组成. 当空气较为混浊时 ($\beta > 0.2$), 大粒径的气溶胶粒子有明显增加. 鄂尔多斯站为北方半干旱区沙化草地生态系统, AOD 平均为 0.17, β 平均为 0.11, α 平均为 0.68. 气溶胶光学厚度随时间变化较小, Angstrom 波长指数有一定的增长趋势, Angstrom 混浊系数一般维持在 0.2 以下. 鄂尔多斯气溶胶浓度小, 空气清洁, 气溶胶组成主要为粒径较大的沙尘气溶胶与大陆型气溶胶. 沙坡头站为西北干旱沙漠生态系统, AOD 平均为 0.32, β 平均为 0.19, α 平均为 0.84. AOD 日变化相对较大, α 基本小于 1.5, 它们无明显季节变化. 观测表明该地区气溶胶含量相对较高, 气溶胶主控粒子为大陆型气溶胶和沙尘气溶胶. 当 β 较大时, α 出现较小值, 沙尘气溶胶增加, 这主要是由于该地区的沙尘天气造成的.

图 4 给出了中国部分森林站点观测期间气溶胶光学特征. 长白山站为温带森林生态系统, AOD 平

均为 0.19, β 平均为 0.19, α 平均为 1.25. Angstrom 波长指数在此期间有显著的增长趋势; Angstrom 混浊系数一般维持在 0.2 以下. 长白山气溶胶浓度小, 空气清洁, 该地区天然良好的植被和冬季冰雪的覆盖, 也有效地限制了地表土壤颗粒向空中的排放. 冬季气溶胶浓度小于秋季, 气溶胶主控粒子的粒径明显小于秋季, 这可能是由于冬季该地区增加生物质燃烧向大气中排放了较多细粒子. 北京森林站为暖温带森林生态系统, AOD 平均为 0.23, β 平均为 0.12, α 平均为 1.11. AOD、 α 变化相对较大, 有一定季节性变化. 冬季气溶胶浓度小于秋季, 气溶胶主控粒子粒径小于秋季. 西双版纳站为热带雨林生态系统, AOD 平均为 0.42, β 平均为 0.12, α 平均为 1.23. 该地区 AOD 相对较高, 空气也较为混浊. α 随 β 变化较大, 气溶胶粒径变化范围较大, 组成成分较为复杂; 热带雨林生产排放大量的有机气溶胶和气溶胶前体物, 在森林上空也有一定的二次气溶胶生成, 同时海盐粒子的输送也是热带雨林气溶胶主要的来源^[32~34]. 从图 4 中可以得到, 当 β 小于 0.1 时, α 出现大值, 说明在晴天森林生态系统产生一定量的有机气溶胶细粒子.

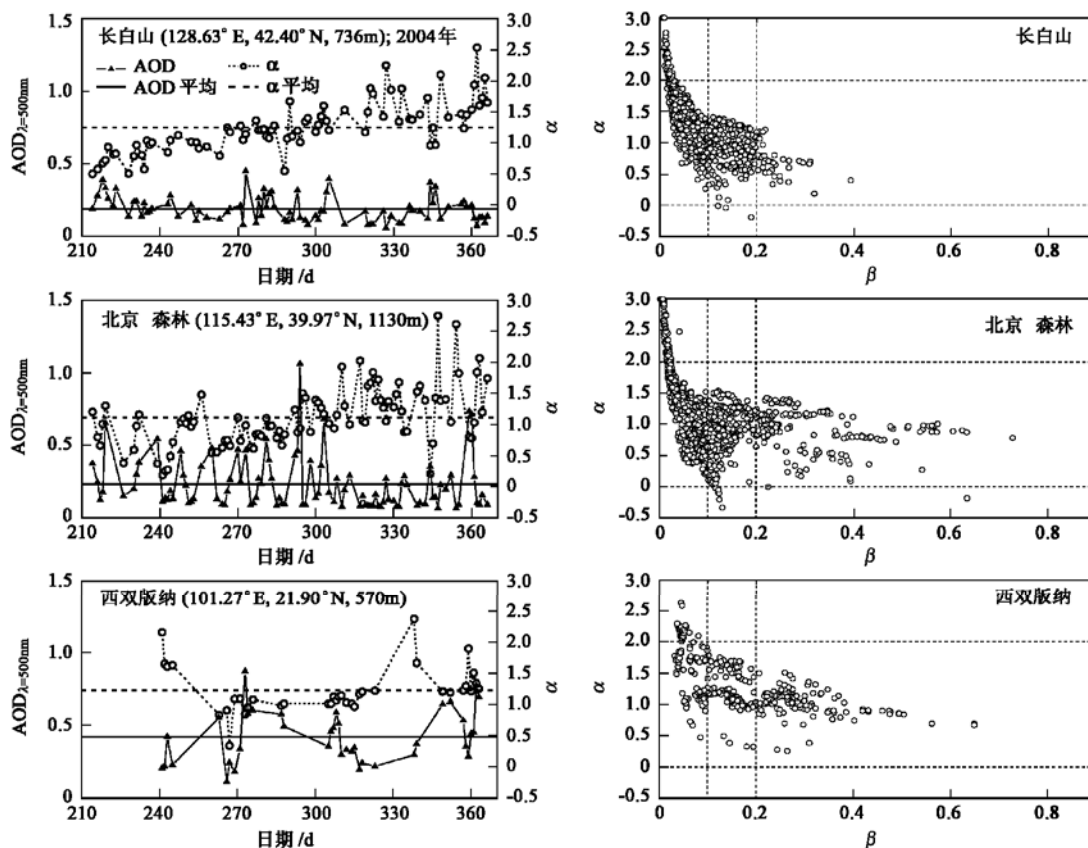


图 4 森林站点气溶胶光学厚度与 Angstrom 参数的变化状况

Fig. 4 Status of AODs and Angstrom parameters at the forest stations

图 5 给出了中国部分农业生态区域观测期间气溶胶光学特征. 沈阳站为东北下辽河平原农田生态系统, AOD 平均为 0.34, β 平均为 0.18, α 平均为 1.39. 封丘站为黄淮海平原农业生态系统, AOD 平均为 0.49, β 平均为 0.21, α 平均为 1.24. 桃源站为亚热带红壤丘陵区农田生态系统, AOD 平均为 0.63, β 平均为 0.30, α 平均为 1.12. 盐亭站为四川盆地丘陵区农田生态系统, AOD 平均为 0.68, β 平均为 0.38, α 平均为 0.97.

这些地区气溶胶光学厚度日变化也较大, 无明

显季节变化; 气溶胶含量相对较高, 空气较为混浊; Angstrom 波长指数随时间与 Angstrom 混浊系数无明显变化, 主控气溶胶粒模态稳定, 主要为大陆型气溶胶. 沈阳站在大气混浊度较小时, 气溶胶的主控粒子也会出现较小模态的烟雾气溶胶, 这主要是由于秋季该地区生物质燃烧(农田烧荒)排放了一定量的烟雾气溶胶. 观测结果表明, 在农业生态区域由于土地利用较高, 地表土质疏松, 为气溶胶提供了重要的源排放.

图 6 给出了东部沿海以及湖泊地区观测期间气

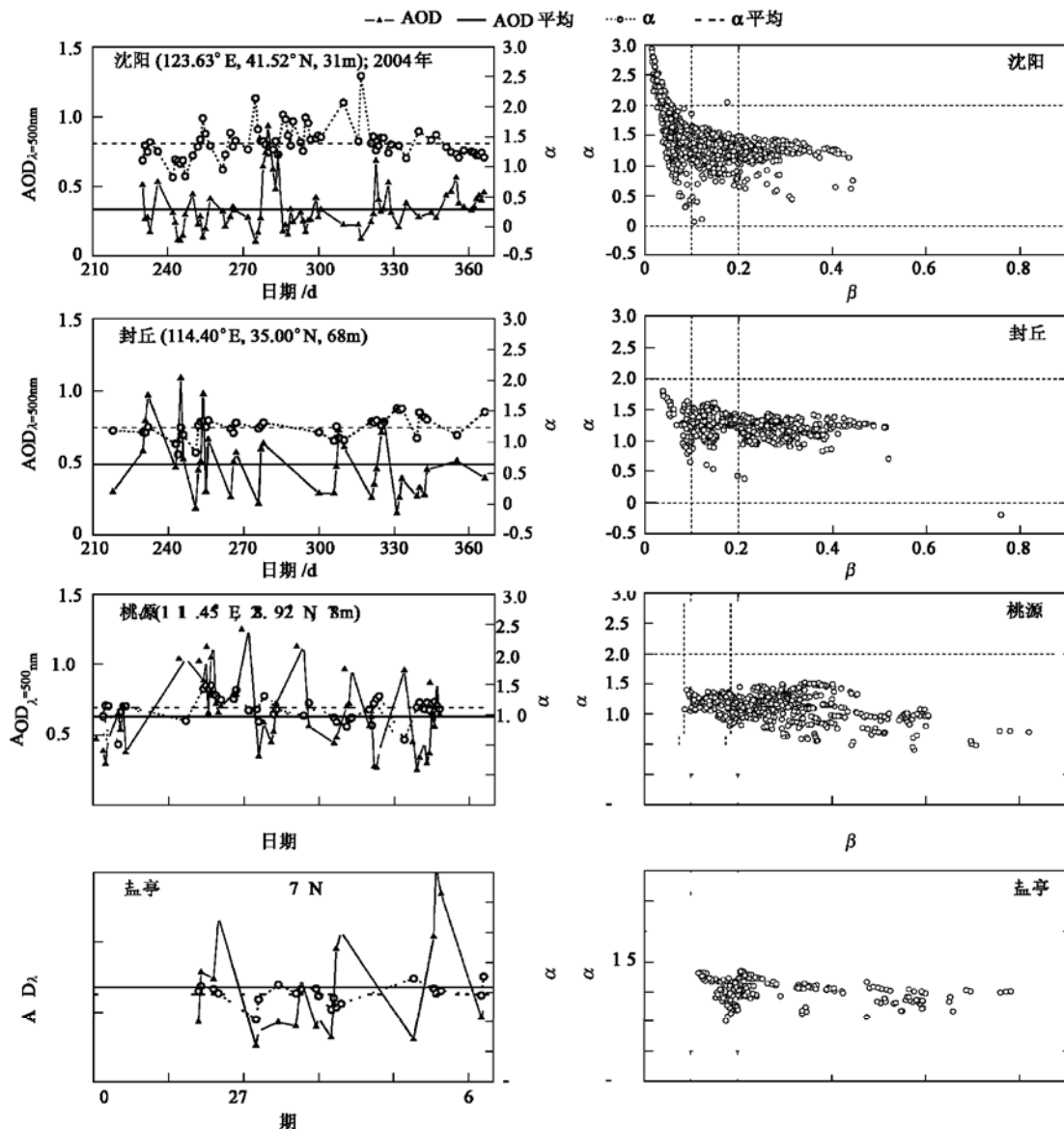


图 5 农业生态站点气溶胶光学厚度与 Angstrom 参数的变化状况

Fig. 5 Status of AODs and Angstrom parameters at agricultural ecosystem stations

溶胶的光学特征. 太湖站为湖泊生态系统, AOD 平均为 0.48, β 平均为 0.24, α 平均为 1.00. 胶州湾站为东

部沿海海湾生态系统, AOD 平均为 0.53, β 平均为 0.22, α 平均为 1.37. 上海观测站为东部沿海城市,

AOD 平均为 0.68, β 平均为 0.29, α 平均为 1.26.

这些地区气溶胶光学厚度日变化也较大, 无明显季节变化; Angstrom 混浊系数基本大于 0.1, 气溶

胶含量相对较高, 空气较为混浊; Angstrom 波长指数随时间与 Angstrom 混浊系数无明显变化, 主控气溶胶粒模态稳定, 主要表现为海盐气溶胶.

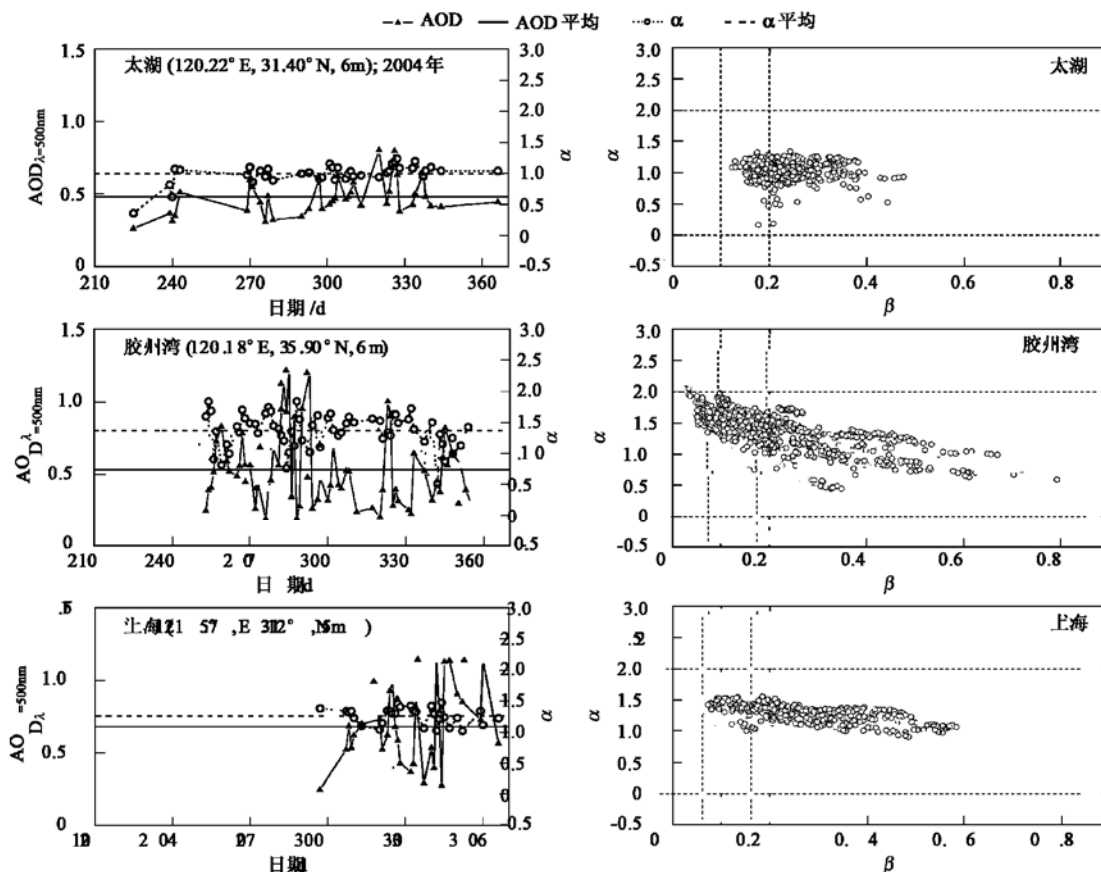


图 6 东部沿海以及湖泊地区气溶胶光学厚度与 Angstrom 参数的变化状况

Fig. 6 Status of AODs and Angstrom parameters at stations along East Sea

图 7 给出了中部与西部城市气溶胶光学特征. 兰州观测站属中西部城市, AOD 平均为 0.81, β 平均为 0.45, α 平均为 0.89. AOD 日变化较大, 冬季大于秋季. α 无明显日变化与季节变化特征, β 值跨度范围较大, α 随 β 变化平稳. 该地区空气相当混浊, 气溶胶污染严重, 气溶胶主要为稳定的较大粒径大陆型气溶胶和沙尘气溶胶. 北京观测站属中东部大型城市, AOD 平均为 0.47, α 平均为 1.66, β 平均为 0.20. AOD、 α 日变化较大, 无明显季节变化; α 随 β 呈指数性地递减. 北京市气溶胶粒子污染较为严重, 气溶胶粒子主要包括粒径较小的烟雾粒子和粒径较大的大陆型气溶胶粒子. 当空气相对清洁时 ($\beta < 0.1$), 气溶胶主控粒子为烟雾粒子; 当空气相对混浊时 ($\beta > 0.2$), 气溶胶主控粒子为大陆型气溶胶. 这说明在此期间, 北京市的气溶胶来源主要由局地化石燃料燃烧和外地大陆型气溶胶输送组成.

4 结论

(1) 青藏高原, 空气清洁, 气溶胶光学厚度最小, 源排放最小, 气溶胶组成主要是大粒径的大陆气溶胶和沙尘气溶胶.

(2) 东北地区, 空气清洁, 气溶胶光学厚度次之, 秋季良好的自然植被和冬季的冰雪有效地限制了气溶胶的源排放, 秋季气溶胶为大陆型气溶胶, 冬季为小粒径烟雾气溶胶.

(3) 北部的荒漠有植被地区, 气溶胶光学厚度相对较小, 空气较为清洁, 气溶胶源排放较小; 在沙漠地区, 气溶胶光学厚度相对较大, 气溶胶源排放相对较大; 这些地区气溶胶组成主要是大粒径的大陆型气溶胶和沙尘气溶胶.

(4) 森林生态地区, 气溶胶光学厚度与气溶胶浓度由北到南逐渐增加, 长白山较小, 北京森林次之,

西双版纳较大;气溶胶气溶胶粒径范围跨度较大,气溶胶来源主要包括所在区域气溶胶的输送,以及森

林生态系统有机气溶胶的排放与二次气溶胶的生成.

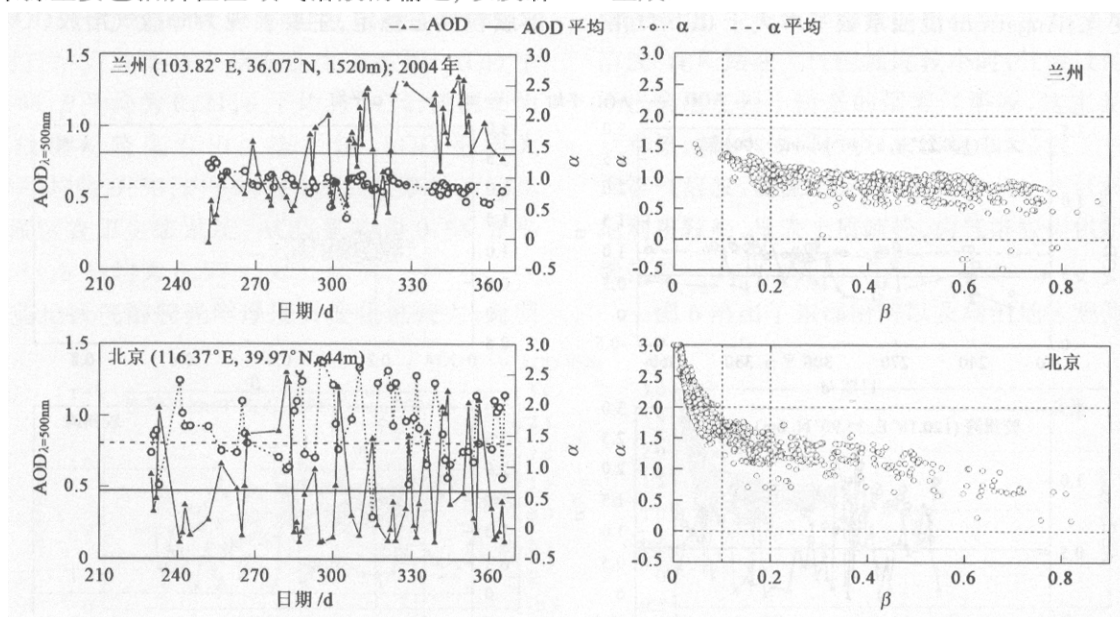


图7 城市观测站气溶胶光学厚度与 Angstrom 参数的变化状况

Fig. 7 Status of AODs and Angstrom parameters at city stations

(5) 人类活动较为活跃的农业地区,空气较为混浊,气溶胶光学厚度较大,主要为大陆型气溶胶,这些地区由于地表的裸露和人类的活动为气溶胶提供了较强的排放源.

(6) 东部沿海地区以及湖泊,气溶胶主要为海盐气溶胶,气溶胶的光学厚度较大,气溶胶柱浓度较高.

(7) 人类活动最为集中的内陆城市,气溶胶光学厚度大,大气混浊;中东部城市(北京)气溶胶组成包括了小粒径的烟雾气溶胶和大陆型气溶胶,烟雾气溶胶污染较严重;中西部城市(兰州)气溶胶光学厚度最大,主要为大粒径的大陆型气溶胶和沙尘气溶胶,沙尘气溶胶污染严重.

致谢:感谢中国科学院中国生态研究网络(CERN)相关台站、美国林业局、中国科学院大气物理研究所刘广仁高级工程师、胡波博士、张宏、夏祥鳌博士、北京大学李成才博士与东华大学亢燕铭教授对本项工作的大力帮助和支持.

参考文献:

- [1] Eck T F, Holben B N, Reid J S, *et al.* Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban, and desert dust aerosols [J]. *J. Geophys. Res.*, 1999, **104**(D24): 31333~ 31350.
- [2] Dubovik O, Holben B N, Eck T F, *et al.* Variability of Absorption and Optical Properties of Key Aerosol Types Observed in Worldwide Locations [J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2002, **59**(3): 590~ 608.
- [3] Kim D, Sohn B, Nakajima T, *et al.* Aerosol optical properties over East Asia determined from ground-based sky radiation measurements [J]. *J. Geophys. Res.*, 2004, **109**(D02): 209.
- [4] Remer L A, Kaufman Y J. Dynamic aerosol model: Urban/industrial aerosol [J]. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**: 13859~ 13871.
- [5] Reid J S, Hobbs P V. Physical and optical properties of young smoke from individual biomass fires in Brazil [J]. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**: 32013~ 32031.
- [6] Remer L A, Kaufman Y J, Holben B N, *et al.* Biomass burning aerosol size distribution and modeled optical properties [J]. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**: 31879~ 31891.
- [7] D'Almeida G A. On the variability of desert aerosol radiative characteristics [J]. *J. Geophys. Res.*, 1987, **92**: 3017~ 3026.
- [8] Hoppel W A, Fitzgerald J W, Frick G M, *et al.* Aerosol size distributions and optical properties found in the marine boundary layer over the Atlantic Ocean [J]. *J. Geophys. Res.*, 1990, **95**: 3659~ 3686.
- [9] Kavouras I G, Mihalopoulos N, Stephanou E. Formation of atmospheric particles from organic acids produced by forests [J]. *Nature*, 1998, **395**: 683~ 686.
- [10] Artaxo P, Storms H, Bruynseels F, *et al.* Composition and sources of aerosols from the Amazon Basin [J]. *J. Geophys. Res.*, 1988, **93**: 1605~ 1615.
- [11] Russell P B, Livingston J M, Dutton E G, *et al.* Pinatubo and pre-Pinatubo optical depth spectra: Mauna Loa measurements,

- comparisons, inferred particle size distributions, radiative effects, and relationship to lidar data [J]. *J. Geophys. Res.*, 1993, **98**: 22969~ 22985.
- [12] Satheesh S K, Moorthy K K. Radiative effects of natural aerosols: A review [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39** (11): 2089~ 2110.
- [13] Ackerman P, Toon O B. Absorption of visible radiation in atmosphere containing mixtures of absorbing and nonabsorbing particles [J]. *Appl. Opt.*, 1981, **20**: 3661~ 3668.
- [14] Jacobson M Z. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols [J]. *Nature*, 2001, **409**: 695~ 697.
- [15] Remer L A, Gasso S, Hegg D A, *et al.* Urban/industrial aerosol: Ground-based sun/sky radiometer and airborne in situ measurements [J]. *J. Geophys. Res.*, 1997, **102**: 16849~ 16859.
- [16] 邱金桓, 潘继东, 杨理权, 等. 中国 10 个地方大气气溶胶 1980~ 1994 年间变化特征研究 [J]. *大气科学*, 1997, **21** (6): 725~ 733.
- [17] 罗云峰, 吕达仁, 李维亮, 等. 近 30 年来中国地区大气气溶胶光学厚度的变化特征 [J]. *科学通报*, 2000, **45**(5): 549 ~ 554.
- [18] 罗云峰, 李维亮, 周秀骥. 20 世纪 80 年代中国地区大气气溶胶光学厚度的平均状况分析 [J]. *气象学报*, 2001, **59** (1): 77~ 87.
- [19] 罗云峰, 吕达仁, 周秀骥, 等. 30 年来中国地区大气气溶胶光学厚度平均分布特征分析 [J]. *大气科学*, 2002, **26**(6): 721~ 730.
- [20] 李刚, 季国良. 中国西北地区大气气溶胶散射光学厚度分析 [J]. *高原气象*, 2001, **20**(3): 284~ 290.
- [21] Zhang Junhua, Mao Jietai, Wang Meihua. Analysis of the aerosol extinction characteristics in different areas of China [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2002, **19**(1): 136~ 152.
- [22] 申彦波, 沈志宝, 汪万福. 2001 年春季中国北方大气气溶胶光学厚度与沙尘天气 [J]. *高原气象*, 2003, **22**(2): 185~ 190.
- [23] 邱金桓, 吕达仁, 陈洪滨, 等. 现代大气物理学研究进展 [J]. *大气科学*, 2003, **27**(4): 628~ 652.
- [24] 毛节泰, 张军华, 王美华. 中国气溶胶研究综述 [J]. *气象学报*, 2002, **60**(5): 625~ 634.
- [25] 罗云峰, 周秀骥, 李维亮. 大气气溶胶辐射强迫及气候效应的研究现状 [J]. *地球科学进展*, 1998, **13**(6): 572~ 581.
- [26] Alfaro S C, Gomes L, Rajot J L, *et al.* Chemical and optical characterization of aerosols measured in spring 2002 at the ACE-Asia supersite, Zhenbeitai, China [J]. *J. Geophys. Res.*, 2003, **108**(D23): 8641~ 8659.
- [27] Nakajima T, Sekiguchi M, Takemura T, *et al.* Significance of direct and indirect radiative forcings of aerosols in the East China Sea region [J]. *J. Geophys. Res.*, 2003, **108**(D23): 8658~ 8674.
- [28] 辛金元, 王跃思, 李占清, 等. 中国地区太阳分光辐射观测网的建立与仪器标定 [J]. *环境科学*, 2006, **27**(9): 1697~ 1702.
- [29] Angstrom A. The parameters of atmospheric turbidity [J]. *Tellus*, 1964, **16**: 64~ 75.
- [30] Tanre D, Kaufman Y J, Holben B N, *et al.* Climatology of dust aerosol size distribution and optical properties derived from remotely sensed data in the solar spectrum [J]. *J. Geophys. Res.*, 2001, **106**: 18205~ 18217.
- [31] Remer L A, Kaufman Y J. Interannual variation of ambient aerosol characteristics on the east coast of the United States [J]. *J. Geophys. Res.*, 1999, **104**(D2): 2223~ 2232.
- [32] Krejci R, Strom J, de Reus M, *et al.* Spatial and temporal distribution of atmospheric aerosols in the lowermost troposphere over the Amazonian tropical rainforest [J]. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, 2004, **4**: 3565~ 3606.
- [33] Andreae M O, Berresheim H, Bingemer H, *et al.* The atmospheric sulfur cycle over the Amazon Basin. 2. Wet season [J]. *J. Geophys. Res.*, 1990, **95**(D10): 16813~ 16824.
- [34] Crutzen P J, Williams J, Poschl U, *et al.* High spatial and temporal resolution measurements of primary organics and their oxidation products over the tropical forests of Surinam [J]. *Atmos. Environ.*, 2000, **34**(8): 1161~ 1165.