

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^{*}

罗 云 峰

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029)

李 维 亮 周 秀 骥

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

摘 要

利用中国北京等 41 个甲种日射站 1979~1990 年太阳直接辐射日总量和日照时数等资料, 配合同期 TOMS version - 7 臭氧观测资料, 反演了 41 个站逐年、逐月 $0.75 \mu\text{m}$ 大气气溶胶的平均光学厚度值(Aerosol Optical Depth, AOD), 据此分析了 12 a 来中国大气气溶胶的变化和时空平均分布特征。结果表明: 中国大气气溶胶光学厚度 AOD 的多年平均分布是以四川盆地为中心向四周减少, 南疆盆地和长江中游武汉附近为另两个大值中心; 长江中下游大部分地区、山东半岛以及广东沿海等, AOD 值亦较大; 而东北大部、西北大部、云南和福建沿海等地 AOD 较小。AOD 各月平均分布有所不同。中国绝大部分地区春季 AOD 值最大, 最小值则各地不同。1979~1990 年, 青藏高原、四川盆地西部、贵州北部、长江中下游大部分地区、山东半岛和南疆盆地西部等, AOD 呈增长趋势。而东北地区、西北地区大部、云贵高原和广西西部以及华东沿海等地 AOD 呈减小势态。中国地区 AOD 的季节变化曲线大体可分为单峰、一峰一谷、两峰一谷和多峰等 4 种类型。

关键词: AOD, 时空分布, 变化。

1 引 言

大气气溶胶通常是指悬浮于大气中直径小于 $10 \mu\text{m}$ 的微粒。其质量仅占整个大气质量的十亿分之一, 但其对大气辐射传输和水循环均有重要的影响^[1]。一方面, 气溶胶粒子通过吸收和散射太阳辐射, 改变地-气系统的能量收支, 直接影响气候变化; 另一方面, 气溶胶粒子还可作为云的凝结核(CCN)改变云的光学特性和生命期, 间接影响气候。此外, 它还参与臭氧的非均相反应, 影响臭氧平衡, 间接影响地-气系统的能量收支。

随着对地球系统内各种物理过程认识的精细和深化, 以及探测和计算机技术的发展, 大气气溶胶的辐射效应及对气候变化的可能影响已成为近年来的热点问题, 其中由于人

^{*} 初稿时间: 1998 年 9 月 30 日; 修改稿时间: 1999 年 6 月 8 日。
资助课题: 自然科学基金重大项目(No. 49794030 和 No. 4989270)。

类活动产生的污染性气溶胶粒子对气候的辐射强迫更是地球环境变化与预测研究中一个特别受到关注的话题^[2,3]。已有不少观测事实和数值模拟研究揭示出气溶胶对气候辐射强迫的重要性^[4,5],但由于气溶胶时、空分布之不确定及粒子物理、化学特性之多变性,加上观测资料的严重缺乏,使得大气气溶胶成为当今环境与气候变化研究中一个既重要又难以估计的不确定因子^[6]。

大气气溶胶对环境与气候变化的研究在很大程度上依赖于对其时、空分布状况的了解和其光学特性(光学厚度、不对称因子、单次散射反照率等)的准确估计。其中 AOD 是表征大气气溶胶状况的一个重要物理参量,是评价大气环境污染,研究气溶胶辐射气候效应的一个很关键的因子。由于气溶胶本身观测资料的匮乏,人们一直在改进各种方法,试图从已有多年的观测记录的太阳辐射等资料中间接地提取气溶胶的信息,反演气溶胶的光学厚度值^[7~9]。这些方法均是利用晴天某一时刻地面观测的直接太阳辐射资料,剔除大气中水汽、二氧化碳、臭氧等气体的吸收,再通过与理想大气直接太阳辐射的比较,求取 AOD 值。在目前和不远的将来对大气气溶胶大范围直接观测尚不具备条件的情况下,确实是一种行之有效的好办法。本文所参考邱金桓的方法^[9]便是其中最新的一种。

考虑到气溶胶含量具有明显的日变化,且一日中各个时刻也有较大的不同,因此,对气溶胶平均状况的了解应该考虑每日各主要时次的情况。但是受天空云况等等要素的影响,要得到某一时刻大范围晴天直接太阳辐射的资料来反演 AOD 是困难的,而对于大范围内气溶胶多年变化的研究而言,则更增加了太阳辐射和相应资料收集与处理的难度。为此,本文在文献[9]方法的基础上,对其加以改动,使之适用于由逐日直接太阳辐射和日照时数等资料来求取 AOD 的月平均值。进而利用北京等 41 个甲种日射站 1979~1990 年 12 a 逐日太阳直接辐射日总量和日照时数等资料,配合同期 TOMS version - 7 臭氧观测资料,反演了该 41 个站逐年、逐月 AOD 平均值。据此分析了 12 a 来中国 AOD 的变化特征和时空平均分布状况。

2 原理和方法

月平均大气 AOD $\bar{\tau}_a$ 由下列步骤计算^[9]:

(1) 令 $G_0^{(0)} = 1$

(2) $n = 1$

(3) $\bar{\tau}_a^{(n)} = [\log(R - S_0 - t_m - G_0^{(n-1)}) - \log(S)] / \mu_0$

(4) 利用上述 $\bar{\tau}_a^{(n)}$, 并假定一个 γ^* 值(γ^* 为 Junge 谱函数,本文中假定 $\gamma^* = 2.5$), 计算 $G_0^{(n)}$

(5) 令 $n = n + 1$, 重复第 3 和第 4 步

(6) 当 $\text{abs}(1 - \bar{\tau}_a^{(n-1)} / \bar{\tau}_a^{(n)}) < \zeta$ 时, 迭代终止。本文取 $\zeta = 0.01$ 。

上式中:

$$S = RS_0 G_0 t_m \exp[-\bar{\tau}_a / \mu_0]$$

$$R = \int_1^\lambda S_0(\lambda) d\lambda / S_0$$

$$t_m = \int_1^\lambda S_0(\lambda) T_m(\lambda, \mu_0) d\lambda \int_1^\lambda S_0(\lambda) d\lambda$$

其中, S 为总太阳直射辐射, R 为 $0.3 \sim 4 \mu\text{m}$ 之间的太阳辐射与太阳常数 S_0 之比值; μ_0 为太阳天顶角余弦; t_m 为 $0.3 \sim 4 \mu\text{m}$ 之间分子的总透过率。其具体表达式如下:

$$t_m = t_{ms} (1 - A_{\text{H}_2\text{O}}) (1 - A_{\text{O}_3}) (1 - A_{\text{air}}) f_1$$

$$A_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-0.911 + 0.306 \lg(U/\mu_0) - 0.0119[\lg(U/\mu_0)]^2}$$

$$A_{\text{O}_3} = 0.0345X/\mu_0(1 + 2.2X/\mu_0) + 0.0218X/\mu_0(1 + 0.42X/\mu_0 + 0.000323X^2/\mu_0)$$

$$A_{\text{air}} = 0.000014p/\mu_0$$

$$f_1 = 1 - 0.000255 \frac{\overline{pUX}/\mu_0^{1.5} - 0.0000903U}{\overline{pX}/\mu_0}$$

通过下式求取 $G_0^{(n)}$:

$$G_0^{(n)} = (1 + b \cdot \bar{\tau}_a^{(n)} + c \cdot \bar{\tau}_a^{(n)}) \cdot f_2$$

$$b = (0.383 - 0.93\mu_0 + 0.55\mu_0^2)(\mathcal{Y}^* - 2) - (0.4 - 0.67\mu_0 + 0.36\mu_0^2)(\mathcal{Y}^* - 2)^2$$

$$c = (0.89 - 0.21\mu_0 + 1.23\mu_0^2)(\mathcal{Y}^* - 2) + 0.006(1 - 14.7\mu_0 + 143\mu_0^2)(\mathcal{Y}^* - 2)^2$$

$$f_2 = 1 + 0.175(\mathcal{Y}^* - 2)(1 - 1.08U) \bar{\tau}_a / (1 + 0.36U + 10\mu_0^3 U^{1/2})$$

上式中, U 为柱有效水汽含量(cm), p 为地面气压(hPa), X 为臭氧总量厚度(cm)。有效水汽含量 U 是通过和地面水汽压 E 建立经验关系来求取的, 在我们选取的 41 个测站中, 13 站的关系式采用杨景梅等^[10] 的结果, 5 个站的关系式由邱金桓提供, 其余各站则采用王炳忠等^[11] 的结果。臭氧总量由 TOMS version - 7 卫星观测资料得到。

和文献[9]中不同, 计算上述参量所用的总太阳直射辐射 S , 太阳纵标 μ_0 , 地面气压 P , 地面水汽压 E 和臭氧总量 X 等, 均取其月平均值。具体处理如下:

$$S = \frac{\sum_{n=1}^n \text{日直射辐射总量}(\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d})}{\sum_{n=1}^n \text{日太阳照射时数}(\text{h})} = \frac{\sum_{n=1}^n \text{日直射辐射总量} \times 277.78(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h})}{\sum_{n=1}^n \text{日太阳照射时数}(\text{h})}$$

对上式中的日直射辐射总量, 单位统一为 $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}$ 。 n 为该月的天数。这样, S 的单位则为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

$$\mu_0 = \bar{\mu}_0 = (\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta) / 2$$

$\bar{\mu}_0$ 为月平均太阳纵标, 其值取月中一日太阳纵标最大值的一半, φ 为测站的纬度, δ 为太阳赤纬。

3 计算结果分析

3.1 本文和文献[9]结果的比较

文献[9]中计算了北京等 10 个站多年平均(1980~1994 年)AOD 的大小。表 1 列出文献[9]和本文中除格尔木外其余 9 站的计算结果的比较。可见: 除新疆喀什和乌鲁木齐

两站本文的计算值偏大,其余各站计算结果基本相当。两者均以武汉 AOD 值最大,昆明最小。分析造成差异的原因,可能有两个方面:其一,文献[9]是 1980~1994 年的平均值,而本文是 1979~1990 年的平均,时间上不完全匹配;其二,文献[9]中 AOD 值是利用每日 14 00 时云量为零时的太阳直射辐射值反演的,据王炳忠等^[12]对中国大气透明度系数日变化的分析,95 E 以西地区中午大气透明程度最好,即 AOD 值最小,这样,文献[9]中对这一地区的计算结果应是一日中的最小值。而本文则使用月平均值的反演方法,即所算的月平均 AOD 值中考虑了一月中每日各日照时刻的信息,因而更具有平均的意义。因此,对位于 95 E 以西的喀什和乌鲁木齐两站,本文计算结果比文献[9]中的值偏大是合理的。至于昆明为何偏大,目前无法解释。

表 1 北京等站多年 AOD 平均值

	北京	沈阳	乌鲁木齐	喀什	郑州	武汉	上海	昆明	广州	格尔木
文献[9]	0.410	0.332	0.305	0.278	0.434	0.546	0.424	0.253	0.464	0.166
本文	0.42	0.41	0.43	0.50	0.41	0.60	0.41	0.36	0.44	

3.2 1979~1990 年中国 41 个站大气 AOD 的大小及变化趋势

表 2 为北京等 41 个站 1979~1990 年 AOD 的多年平均值。由表可见,成都、重庆(缺 1988~1990 年的辐射资料)、遵义和武汉 4 个站 AOD 值大于 0.6; AOD 在 0.5 以上的有若羌、西宁、兰州、贵阳、宜昌、拉萨、合肥等 7 个站。41 个站中,以成都最大,达 0.736;重庆和遵义两站次之,其值分别为 0.694 和 0.615。AOD 最小的 3 个站分别为福州、哈尔滨和阿勒泰。4 个直辖市中,重庆 AOD 最大,北京次之,上海再次,天津最小。以 20 世纪 80 年代而言,北京、上海两地 AOD 值在中国 41 个城市中居中等水平。

表 2 41 站 1979~1990 年 AOD 的平均值和 10 a 变化率 τ_a

站名	AOD	τ_a	站名	AOD	τ_a	站名	AOD	τ_a	站名	AOD	τ_a
成都	0.74	0.0137	喀什	0.50	0.0095	敦煌	0.41	- 0.0076	汕头	0.38	- 0.0116
重庆	0.69	- 0.0430	济南	0.49	0.0083	沈阳	0.41	0.0003	桂林	0.37	0.0215
遵义	0.62	0.0146	杭州	0.48	0.00097	西安	0.41	0.0011	海口	0.37	0.00036
武汉	0.60	0.0087	和田	0.48	0.0098	库车	0.41	- 0.0108	昆明	0.37	- 0.0153
若羌	0.56	- 0.0073	广州	0.44	- 0.0063	郑州	0.41	0.0028	蒙自	0.36	- 0.0057
西宁	0.55	- 0.00004	太原	0.43	- 0.0017	银川	0.41	- 0.0075	阿勒泰	0.33	- 0.0024
兰州	0.54	- 0.0160	乌鲁木齐	0.43	- 0.0013	赣州	0.40	0.00002	哈尔滨	0.33	- 0.0058
贵阳	0.53	0.0015	北京	0.42	- 0.0013	南昌	0.40	- 0.0021	福州	0.29	0.0043
宜昌	0.51	- 0.0026	南京	0.42	0.0057	长春	0.40	- 0.0044			
拉萨	0.50	0.0234	哈密	0.42	- 0.0025	南宁	0.39	- 0.0048			
合肥	0.50	0.0068	上海	0.41	- 0.0029	天津	0.38	- 0.0018			

为了说明 1979~1990 年中国大气气溶胶的变化状况,分别以北京等 41 个站 1979~1990 共 12 a 中有反演值的各月 AOD 为时间序列(拉萨, 107; 重庆, 108; 蒙自, 120; 杭州, 126; 天津, 南京, 长春 3 个站, 132; 其余各站均为 144 个),求其线性回归相关系数和线性

倾向值。

表 2 中同时列出了 41 个站 AOD 的 10 a 变化率。41 个站中, 有 18 个站 τ_a 值为正, 其中拉萨最大, 达 0.0234/10 a, 向下依此为桂林、遵义、成都、和田等站; 23 个站 τ_a 值为负, 其中重庆最小, 其它依此为兰州、昆明、汕头、库车等站。可见, 位于青藏高原的拉萨站近 10 a 来大气气溶胶增加最快, 重庆站虽然 AOD 年平均值居于第二位, 但 1979 ~ 1987 年来 AOD 的减小趋势却最明显。

图 1 所示为 41 个站 AOD 的线性回归相关系数检验图。由图可见, 20 世纪 80 年代中国各地大气气溶胶的变化情况不一致。41 个站中, 拉萨、桂林、济南、成都、喀什、遵义等 6 个站 AOD 显著增加; 而重庆、昆明、兰州、汕头、库车、银川、哈尔滨、敦煌、蒙自等 9 个站 AOD 显著减小; 其余 26 个站中, 有 12 个站 AOD 的线性回归相关系数值为正, 其它 14 个站为负, 但均未通过显著性检验。总的变化趋势是: 青藏高原、四川盆地西部、贵州北部、长江中下游大部分地区、山东半岛和南疆盆地西部等, AOD 呈增长趋势; 而东北地区、西北地区大部、云贵高原和广西西部以及华东沿海等地区 AOD 呈减小势态。此结果和文献 [13] 中中国地面能见度 1976 ~ 1990 年的变化趋势相吻合。

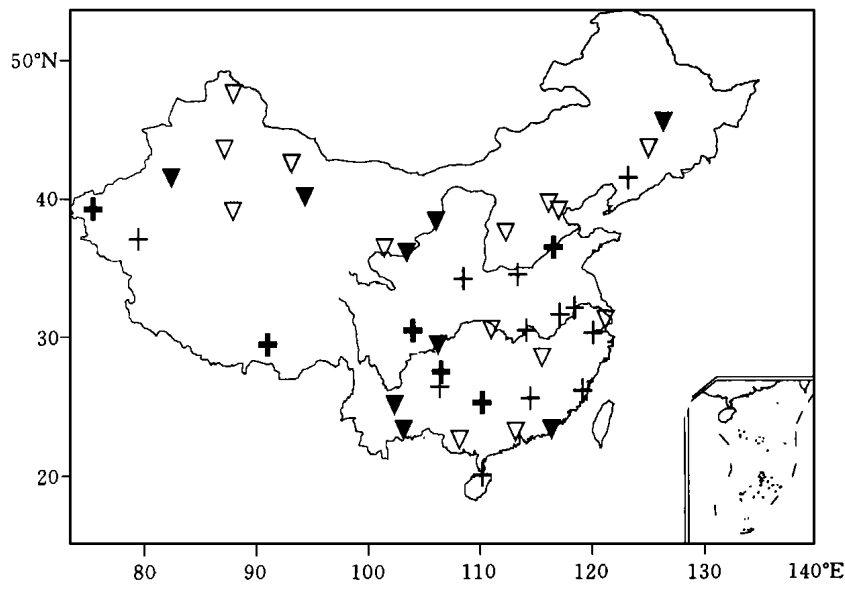


图 1 41 个站多年 AOD 的线性回归相关系数检验示意图

据陈隆勋等^[14]对中国近 40 a 来气温变化的分析, 在全国大范围地区气温上升的背景下, 四川地区气温有显著的下降。李晓文等^[15]的研究结果也表明, 1980 年代中国大部分地区气温为正距平, 但长江中下游地区出现气温的负距平区, 其中尤以四川盆地最为突出, 其原因可能与人类工业活动引起大气气溶胶含量的增加有关。由本文的计算结果可见, 1980 年代气温的负距平区基本上对应于 AOD 的明显增长及高值区。可见, 大气气溶胶在中国长江中下游地区近几十年来气温变化过程中所起的作用是一个非常值得探讨的问题。

3.3 中国大气 AOD 的分布特征

在本文所选 41 个站中,除内蒙古、湖南、台湾 3 省(区)外,其余各省(市、自治区)均有代表站。为了描述中国大气气溶胶的时、空平均分布特征,我们对该 41 个站用小三角形面元法进行插值,以此初步描述 AOD 的多年平均及各季的地理分布特征。

3.3.1 年平均分布

图 2 所示为 1979 ~ 1990 年中国 AOD 的多年平均分布。由图可见:

(1) 总体上,95 E 以东,AOD 是以四川盆地为中心向四周逐渐减小。其大值走向以四川盆地为中心,一条向东由宜昌、武汉一带伸向山东半岛西部;一条向东南伸向贵州北部;另一条则向北伸向甘肃、青海东部。长江中下游地区以及广东沿海,AOD 值亦较大。95 E 以西,南疆盆地为 AOD 的另一个高值中心,但其值小于东部大值中心;(2) 青藏高原主体的唯一代表站拉萨,AOD 高达 0.50,其值与合肥相当,具体原因尚待进一步探讨;(3) 东北大部、西北大部、云南和福建沿海等地为 AOD 的低值区。

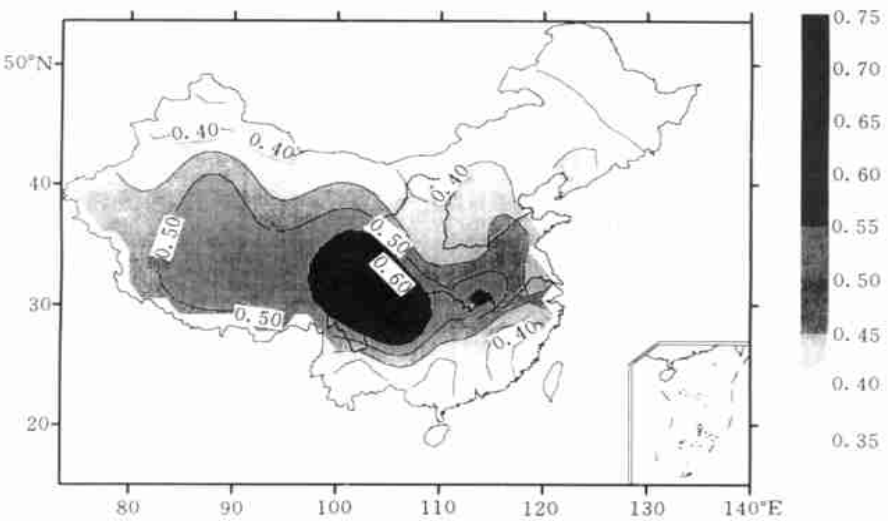


图 2 中国大气 AOD 的多年(1979 ~ 1990) 平均分布

3.3.2 月平均分布

图 3 是 1, 4, 7, 10 月份 4 个月中国 AOD 的多年平均分布状况。由图可见:

1 月,由四川盆地、贵州北部到长江中游地区为 AOD 的大值区,大值中心分别位于川贵交界地区及武汉附近(遵义 0.68, 武汉 0.65, 成都 0.61);西北地区东南部兰州附近,AOD 也较大。而东北地区、西北大部以及福建沿海等地,AOD 较小(哈尔滨 0.28, 阿勒泰 0.29, 福州 0.29)。

4 月中国各地 AOD 值普遍增大,除福州、阿勒泰、蒙自、天津、桂林、哈尔滨、海口、昆明等 8 个站外,其余各站气溶光学厚度值均在 0.5 以上。95 E 以东,两个大值中心分别位于四川盆地和长江中游武汉附近,成都、武汉两站分别为 0.87 和 0.84。95 E 以西,南疆盆地为 AOD 值的另一个大值中心,若羌站高达 0.90。另外,西北地区中、东部 AOD 值也相对较大,敦煌、西宁、兰州 3 个站分别达 0.65, 0.71 和 0.74。估计除了城市工业活动外,与

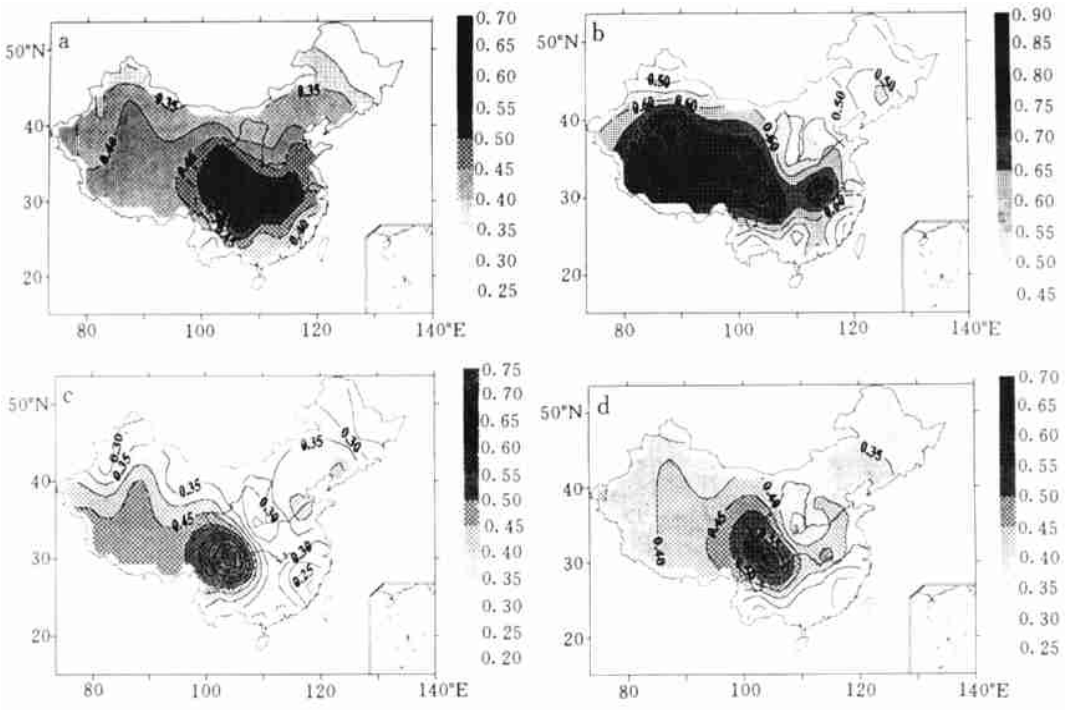


图 3 AOD 的各月平均分布
(a. 1 月; b. 4 月; c. 7 月; d. 10 月)

该地区春季多风沙天气有关。

7 月, 中国大部分地区光学厚度值明显减小。除成都(0.78), 重庆(0.68), 遵义(0.57) 3 个站外, 其余各站 AOD 均小于 0.5, 其中福州、南昌、海口等 16 个站低于 0.3。其分布主要仍表现为以四川盆地为一个大值中心向四周减小。此外, 华北和东北地区南部、南疆盆地以及广东沿海等地, AOD 值也相对较大。而中国自长江中下游大部分地区及福建沿海一直到中原地区, 东南至西北向的广大范围内 AOD 值较小。

10 月, AOD 大值中心仍位于四川盆地。成都、重庆两站分别达 0.69 和 0.67。AOD 大于等于 0.5 的还有遵义、武汉、兰州、西宁 4 个站。而我国云南、广西、广东、福建、江西等南部省(区)以及中原地区 AOD 值较小(福州 0.24, 蒙自 0.29, 汕头 0.29, 桂林 0.30, 西安 0.31)。

总体而言, 95 E 以东, AOD 各月的分布(图略)在大格局上的共同的特征是以四川盆地为大值中心向四周减小, 大部分月份长江中游武汉附近和贵州北部地区为另两个相对大值中心; 95 E 以西, 南疆盆地为 AOD 的相对大值区, 尤其以春季最明显。而东北大部、新疆北部、云南、海南和福建沿海等地 AOD 值较小。

3.4 中国 AOD 的季节变化特征

图 4 是 41 个站多年平均各月 AOD 的变化曲线。由图可见: 41 个站中, AOD 的最大值除天津在 2 月、重庆在 5 月出现外, 其余有 22 个站出现在 3 月, 而另 17 个站在 4 月。可见, 中国绝大部分地区春季 AOD 值最大。

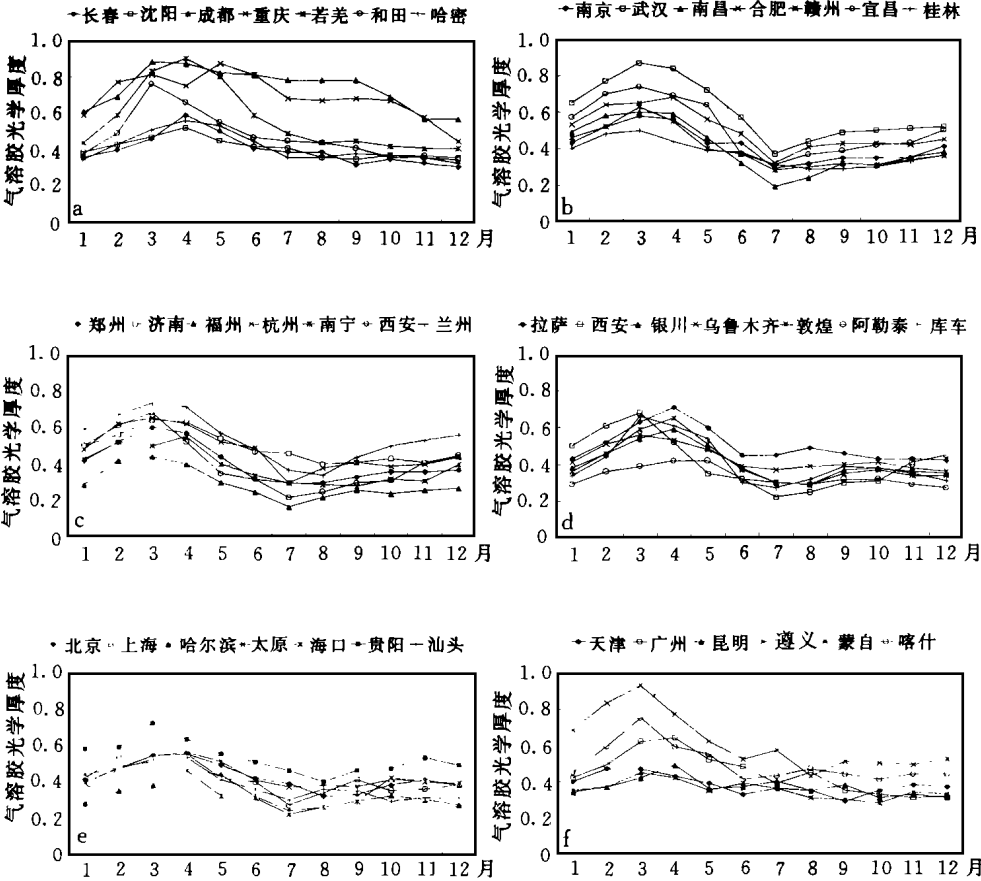


图 4 41 个站各月平均 AOD 值的变化

AOD 极小值出现的月份各地则有所不同: 四川盆地、新疆大部分地区 AOD 最小值在冬季; 广东、广西、云南主要在秋季; 贵州、华北和西北地区东部主要出现在夏末秋初; 而中原和长江中下游地区则在夏季。按 AOD 的季节变化曲线特征, 中国范围内大体上可以分为以下 4 种类型:

- (1) 单峰型(图 4a)。峰值在春季, 谷值在冬季, 如南疆盆地的若羌、和田等站; 或峰值在春夏季, 谷值在冬季, 如四川盆地的成都、重庆等站。
- (2) 一峰一谷型(图 4b ~ c)。峰值在春季, 谷值在夏季。如长江中下游地区的武汉、南京等站。
- (3) 两峰一谷型(图 4d ~ e)。峰值出现在春季, 次峰值出现在秋季, 谷值在夏季, 如西北地区东部的西宁、银川等。
- (4) 多峰型(图 4f)。除春季有一峰值外, 其余季节至少还有一个以上的峰值存在。如遵义、昆明两站, 最大值分别出现在 3 月和 4 月, 但 7 月和 9 月又均有一个次峰值出现。

4 小 结

- (1) 为了和 TOMS-version 7 臭氧观测资料在时间上相匹配, 本文选取 1979~1990 年中国日射观测具有代表性的北京等 41 个甲种站, 在邱金桓方法的基础上加以改进, 利用逐日太阳直接辐射总量、日照时数、地面气压和地面水汽压等实际观测资料, 配合 TOMS-version 7 臭氧总量的卫星观测资料, 反演了该 41 个站逐年、逐月大气 AOD 的平均值。据此, 分析 1980 年代中国地区 AOD 的变化趋势和时、空平均分布特征。
- (2) 41 个站中, 12 a 平均 AOD 以四川成都(0.736)、重庆(0.694)两站最大。遵义(0.615)和武汉(0.602)次之。光学厚度在 0.5 以上的还有若羌、西宁、兰州、贵阳、宜昌、拉萨和合肥等 7 站。AOD 最小的 3 站分别为福州(0.293)、哈尔滨(0.326)和阿勒泰(0.332)。4 个直辖市中, 以重庆 AOD 最大, 北京其次, 上海再次, 天津最小。以 1979~1990 年平均而言, 北京、上海两地大气 AOD 居中国 41 城市中的中等水平。
- (3) 1979~1990 年来, 中国各地大气气溶胶的变化不尽一致。41 个站中, 拉萨、桂林、济南、成都、喀什、遵义、等 6 个站 AOD 显著增加; 而重庆、昆明、兰州、汕头、库车、银川、哈尔滨、敦煌、蒙自等 9 个站 AOD 显著减小。总的变化趋势是: 青藏高原、四川盆地西部、贵州北部、长江中下游大部分地区、山东半岛和南疆盆地西部等, AOD 呈增长趋势, 其中, 拉萨站近 10 a 来增加最为明显; 而东北地区、西北地区大部、云贵高原和广西西部以及华东沿海等地 AOD 呈弱的减小势态。
- (4) 中国大气 AOD 的年平均分布特征是: 95 E 以东, 以四川盆地、贵州北部和长江中游武汉地区为大值区向四周减小, 大值中心位于四川盆地; 95 E 以西, 南疆盆地为另一个大值中心。而东北大部、西北大部、云南和福建沿海等地为 AOD 的低值区。
- (5) 中国大气 AOD 各月间的分布状况有一定的差别。冬季 1 月, 四川盆地、长江中游武汉附近各有一个大值中心, 西北地区东南部兰州附近也较大。春季 4 月, 除前两个大值中心外, 95 E 以西的南疆盆地成为 AOD 的另一个大值中心, 我国各地 AOD 普遍较大。夏季 7 月, 主要大值中心位于四川盆地; 另外, 华北、东北地区南部及南疆盆地, AOD 值也相对较大; 而中国自长江中下游大部分地区及福建沿海一直至中原地区广大的范围内, AOD 值均较小。秋季 10 月, AOD 的大值中心仍位于四川盆地, 除长江中下游部分地区相对较大外, 中国大部分地区 AOD 值较小。
- (6) 除个别站外, 中国绝大部分地区春季 AOD 值最大, 尤以南疆盆地最为明显。极小值各地则有所不同: 四川盆地、新疆大部地区出现在冬季; 广东、广西、云南等地主要在秋季; 贵州、华北和西北地区东部主要在夏末秋初; 而中原和长江中下游地区则出现在夏季。
- (7) 中国各站 AOD 的季节变化按其变化曲线大体可分为单峰、一峰一谷、两峰一谷和多峰等四种类型。

参考文献

1 Charlson R J, Langner J, Rodhe H, et al. Perturbation of The Northern Hemisphere radiative balance by back-scattering from anthropogenic aerosol. *Tellus*, 1991, 43A: 152- 163

2 Charlson R J, Schwartz S E, Hales J M, et al. Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science*, 1992, 255: 422- 430

3 Kaufman Y J, Chou M D. Model simulations of the competing climatic effects of SO₂ and CO₂. J Climate. 1993, 6: 1241– 1252

4 Kiehl J T, Briegleb B P. The relative roles of sulfate aerosols and greenhouse gases In climate forcing. Science, 1993, 260: 311– 314

5 Aerosol forcing of climate. Edited by R. J Charlson, J Heintzenberg. Report of the dahlem workshop on aerosol forcing of climate. Berlin 1994, JOHN WILEY & SONS

6 IPCC. Intergovernmental panel on climate change. Radiative forcing of climate change. In: (edited by Houghton J. & Meira Filho L G) Climate Change 1994 . Cambridge: Cambridge University Press, U K. 1995

7 King M D, Byrne D M, Herman B M. Aerosol size distribution obtained by inversion of spectral optical depth measurements. J Atmos Sci, 1978, 35: 2153– 2167

8 邱金桓. 从全波段太阳直接辐射确定大气 AOD 的理论. 大气科学, 1995, 19(4): 385~ 394

9 邱金桓. 大气 AOD 的宽带消光遥感方法及其应用. 遥感学报, 1997, 1(1): 15~ 23

10 杨景梅, 邱金桓. 我国可降水量同地面水汽压关系的经验表达式. 大气科学, 1996, 20(5): 620~ 626

11 王炳忠, 刘庚山. 我国大陆大气水汽含量的计算. 地理学报, 1993, 48(3): 244~ 253

12 王炳忠, 潘根娣. 我国的大气透明状况. 气象学报, 1982, 40(4): 443~ 452

13 李晓文, 李维亮, 周秀骥. 中国近 30 年来太阳辐射状况研究. 应用气象学报, 1998, 9(1): 24~ 31

14 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬等. 近四十年来我国气候变化的初步分析. 应用气象学报, 1991, 2(2): 164~ 173

15 Li Xiaowen, Zhou Xiuji, Li Weiliang, et al. The cooling of sichuan province in recent 40 years and its probable mechanisms. ACTA Meteor Sinica, 1995, 9(1): 57—68

ANALYSIS OF THE 1980 S ATMOSPHERIC AEROSOL OPTICAL DEPTH OVER CHINA

Luo Yunfeng

(*Department of Geophysics, Beijing University, Beijing, 100871*)

Li Weiliang Zhou Xiuji

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 100081*)

Abstract

With the daily direct solar radiation and sunshine duration data, as well as the TOMS version-7 ozone observation data of 41 solar stations in China for a period of 1979 to 1990, we retrieve the annual and monthly average 0.75 μm aerosol optical depth, partly based on the method developed by Jinghuan Qiu. According to the results above, the spatial and temporal distribution of aerosol optical depth in China was analyzed. The results show that Sichuan Basin is the center where aerosol optical depth is the highest. Wuhan and south Xinjiang Basin are the other two high-value areas. Most part of north-east and north-west, Yunnan as well as Fujian province are the lower-value areas of aerosol optical depth. The pattern of aerosol optical depth distribution for each month is different. The maximum occurs in spring for most areas of China, but the minimum occurs in different seasons for different areas. During the years from 1979 to 1990, the aerosol optical depth had been increasing for areas of Qinzang plateau, west part of Sichuan Basin, north Guizhou province, most part of mid-and-lower reaches of Yangzi river, Shandong peninsula, and west part of south Xinjiang Basin. While the north-east, most part of the north-west, Yunnan and Guizhou province, west Guangxi Province and north China, the aerosol optical depth had been decreasing.

Key words: Aerosol optical depth, Yearly variation, Spatial and temporal distribution.