第 31卷第 1期 2008年 2月

Journal of N anjing Institute of M eteorology

杨琨,孙照渤,倪东鸿. 1999-2003年我国气溶胶光学厚度的变化特征 [J].南京气象学院学报, 2008, 31(1): 92-96

1999—2003年我国气溶胶光学厚度的变化特征

杨琨,孙照渤,倪东鸿

(南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室,江苏 南京 210044)

摘要:利用我国 70站 1999—2003年 1月、4月、7月、10月月平均水汽压和能见度资料,反演得到各站大气气溶胶光学厚度 (AOD, aerosol optical depth),分析了气溶胶光学厚度的变化特征。结果表明:中国多年平均大气气溶胶光学厚度的分布是以四川盆地为中心向四周减少,长江中下游和广东沿海为两 个次大值中心,而东北和西北大部分地区以及云南等地 AOD较小;各季节 AOD的空间分布都有所不同;近 5 a AOD有弱增加趋势;月平均气溶胶光学厚度与能见度有较好的负相关关系。 关键词:气溶胶光学厚度;能见度;水汽压

中图分类号: P402 文献标识码: A 文章编号: 1000-2022(2008) 01-0092-05

Characteristics of A tmospheric A erosol Optical Depth over China during 1999–2003

YANG Kun, SUN Zhao bo, NID ong hong

(Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NUIST, Nanjing 210044 China)

Abstract Aerosol optical depths(AOD) were retrieved by using the vapor pressure and visibility data or ver 70 stations in China from 1999 to 2003, then its statistical characteristics were analyzed. It is found there Sichuan Basin was the maximum area of yearly mean AOD, and another two large value centers were in the middle and lower reaches of Y angtze R iver and the coastal area of Guangdong but AOD was lower in the Northeast China and Northwest China and Yunnan. The distribution of AOD s for each month was similar, but differences were also obvious During 1999—2003, the national average AOD showed a weak ly increasing The month ly average AOD had a close negative correlation with visibility.

Key words aerosol optical depth, visibility; vapour pressure

0 引言

大气气溶胶通常是指悬浮于大气中直径小于 10^{µm}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影响。 近年来,气溶胶的气候效应已经成为全球变化研究 的一个热点问题,受到越来越广泛的重视^[1]。但 是,长时段大范围的气溶胶光学厚度资料的缺乏是 目前的主要问题。如何解决这一难题,国外在应用 卫星资料反演气溶胶光学厚度已经有很多研究成 果^[23],国内在探测气溶胶光学厚度方面也做了不少 研究工作^[4-5]。赵柏林等^[6]应用 E hem an^[7]关于气 溶胶粒子数密度垂直分布与地面能见度的关系模式 在 Junge谱分布的假设下,研究了中国能见度及透 明度的区域分布情况。毛节泰等^[8]、张军华等^[9]都 对如何从卫星资料反演气溶胶光学厚度进行过深入 研究。Gueym and^{10]}、Qil¹¹¹提出并发展了宽带消光 法,试图从多年常规辐射站的辐射观测资料中间接 提取气溶胶光学厚度的信息。利用该方法,邱金桓 等^[12]分析了中国 10个地方大气气溶胶 1980—1994 年的变化特征。周秀骥等^[13]还应用这一方法研究 了中国大气气溶胶光学厚度分布特征。罗云峰 等^[14-15]利用甲种日射站的逐日太阳直接辐射日总 量和日照时数等资料,分析了 1961—1990年 30 a

基金项目: 江苏省气象灾害重点实验室资助项目 (KLM E050104)

收稿日期: 2006-10-23, 改回日期: 2006-12-25

作者简介:杨琨(1982-),女,江西清江人,硕士,研究方向为短期气候预测, yy2004y@ 163. com.

中国地区气溶胶光学厚度的变化特征及平均分布特征。

本文利用我国 70站的常规观测资料反演各站 的 AOD,为充分利用现有的多年常规气象观测资 料,科学、定量、准确、快速地了解我国大气气溶胶的 空间分布和多年变化状况提供参考。

1 资料和方法

选取 1999—2003 年我国 70站的 1月、4月、7 月、10月月平均水汽压和能见度资料。能见度资料 来源于国家气象中心出版的《中国地面气象记录月 册》是无云条件下 14时的能见度资料。

根据文献 [16]介绍的模式, 运用上述资料, 计 算得出各站 AOD, 具体计算方法如下。对于任意 Junge谱参数 v^{*}, 普遍适用的模式为

$$\begin{aligned} \tau_{\lambda} &= 0.73 \left\{ \frac{3.912}{V} - 0.0116 \right\} \left[\frac{0.75}{\lambda} \right]^{2-\sqrt{2}} \\ & \left[H_{1} \left(\exp\left(-\frac{z}{H_{1}} \right) - \exp\left(-\frac{5.5}{H_{1}} \right) \right] + 12.5 \exp\left(-\frac{5.5}{H_{1}} \right) + H_{2} \exp\left(-\frac{5.5}{H_{1}} \right) \right] f, \end{aligned}$$

式中: T_{λ} 为气溶胶光学厚度; z 为海拔高度; V 为地 面能见度; λ 为波长; v^* 为 Junge 谱参数; H₁ = 0.886+0.022 2V (km); 订正系数 f选取二个不同 的模式。对东北沈阳和哈尔滨两地,

 $f = exp(-0.32 + 0.02V_z);$ (2) 对中国东北以外的地区,

$$f = \exp\left((0.42 + 0.004 \ 6p_w + 0.015 N_z) \cdot \exp\left((0.004 \ 7N_z^2) \ /p_w \right) \right) \circ (3)$$

式中: p_w 为地面水汽压 (hPa), V_z 为台站实际观测的能见度。

2 结果分析

2.1 AOD计算结果的可信度分析

图 1给出了本文与文献 [16-19] 的计算结果, 比 较发现:上海和北京的计算结果比较一致.昆明最 小。对各组数据做相关分析,本文计算所得的 AOD 与宗雪梅等[18]人反演结果的相关系数为 0.82 与文 献 [16] 中数据的相关系数为 0.85 与罗云峰等^[17] 的相关系数为 0.2 与邱金桓^[19]反演的气溶胶光学 厚度值的相关系数为 0.91。除了与罗云峰等^[17]反 演的 AOD 相关系数没有通过置信水平检验外,其他 都通过了 99% 的置信水平检验。可以看出本文中 的 AOD 除了与罗云峰等的结果有较大差异外, 与其 他人反演结果的相关还是很好的。造成差异的原因 可能有两个: (1)本文与前人所用的资料时间不一 样, 罗云峰等反演的是 1960-1990年气溶胶的光学 厚度,而本文反演的时段是 1999-2003年,在时间 上不完全匹配; (2)反演气溶胶光学厚度值所用的 方法也不一样。罗云峰等^[17]采用的是改进后的宽 带消光法,而本文不是。

2.2 中国大气气溶胶光学厚度的分布特征

2.2.1 年平均分布

由图 2可见:

(1)总体上, AOD以重庆(107°E, 28°N)为高值 中心向四周递减, 重庆站的 AOD值达 1.010 2。

(2) 江淮地区及广东沿海, AOD 值较大。长江
下游为 AOD 的次高值中心。杭州(0.6583)、南京
(0.6046) AOD 在 0.6以上。光学厚度在 0.5以上
的有合肥、南昌、郑州等 7站。

(3)我国东北、西北地区及云南位于 AOD 低值







图 2 1999-2003年平均大气气溶胶光学厚度分布

Fig 2 Distribution of average AODs during 1999-2003

区。AOD最小的 3站分别为达日 (0.0511)、玉树 (0.0556)、理塘 (0.056)。

(4)4个直辖市中,重庆 AOD 最大,上海其次, 天津再次,北京最小。北京、上海、天津 3地大气气 溶胶光学厚度居中国 70个城市的中等水平。

总的来说, 全年的大值区主要分布在长江中下 游平原、四川盆地等低海拔地区。而福建全省、云贵 高原、青藏高原、内蒙古、东北地区等气溶胶光学厚 度全年比较低。珠江三角洲地区为独立的大值中 心。这与李成才等^[20-21]利用 NASA 的 MODIS 气溶 胶产品统计出的中国主要内陆地区气溶胶光学厚度 分布特征基本一致。

2.2.2 月平均分布

由图 3可见: 1月, AOD大值区主要位于长江附 近及长江以南地区,包括四川盆地到长江中下游及 两广沿海地区。大值中心位于川黔交界处,成都、南 充、重庆 3站 AOD均在 0.6以上。在长江中下游江 西、浙江、安徽 3省的交界处为次高值中心。

4月, AOD大于 0.5的范围明显缩小,除了川黔 交界地区、长江中下游有大值区外,另有 2个大值 区,分别位于河南中部和广东沿海。

7月, AOD 大于 0.5 的范围有所增大。4月位 于河南中部与长江中下游的两个大值区连成了一 片, 并向四周延伸;4月位于广东沿海的大值区向 北、向西延伸。重庆与贵州北部仍是大值区。在苏、 浙、皖 3省交界地区有一个高值中心,南京和杭州两 站的 AOD 均超过 0.6

10月, AOD 分布和 7月较为相近, 大值区的地 理分布基本相同, 只是 7月位于广东沿海的大值区 范围明显缩小, 位于我国东部的大值区范围也有所 缩小, 山东北部相对 4月而言已不在大值区内。除 了川黔地区的高值中心外, 在苏、浙、皖 3省交界地



图 3 中国 1月(a)、4月(b)、7月(c)和 10月(d)AOD分布 Fig 3 Distributions of average AODs in China for (a) January, (b)April (c) July and (d)October over 1999-2003

区还有一个高值中心,杭州、合肥两站的 AOD 均在 0.6以上。

综上所述, 各月四川盆地附近的气溶胶光学厚度的空间分布特征与文献 [14-16]得到的结果基本 一致, 只是多了两个气溶胶光学厚度的高值中心, 分 别位于广东沿海和江浙一带。南京、杭州、合肥、广 州成为 AOD 新的高值地区, 这可能与这些地区近几 年工业迅速发展 AOD 受到人为影响有关。

2.3 我国大气气溶胶光学厚度值的年度变化

图 4给出了中国 AOD的年平均变化率分布,由 图可见:除河套以东的东北一西南一线、南疆盆地、 蒙黑交界处、华中地区、云南南部、广东、安徽等地 AOD 有所减小外,其他地区 AOD 值均呈增加趋势。 沈阳、长春、桂林等站的年平均气溶胶光学厚度有明 显增加的趋势,银川、哈尔滨、呼伦贝尔盟等站年平 均气溶胶光学厚度也有微弱的增加趋势;北京、石家 庄、长沙等站年平均气溶胶光学厚度则有明显减弱 的趋势。总的来说,长江以南以及东北地区的 AOD 以增加为主,而 30~40°N则以减少为主。



图 4 1999—2003年 AOD的年平均变化率(单位:%) Fig 4 Yearly average variability(%) of AODs in China during 1999—2003

由表 1可看出,年平均 AOD 最大值始终位于重 庆,最小值始终位于玛多站、达日站。

3 月平均气溶胶光学厚度与能见度的 相关分析

计算了我国 AOD 与能见度数据的相关系数。 由图 5可看出,全国大多数地区是负相关,但在黑龙 江西北部、内蒙东北部和中部、新疆北部、甘肃省有 部分地区是正相关。正相关区大多集中在我国北 方,正相关最大值出现在内蒙东北部,负相关的大值 出现在川、滇交界处、广东沿海、湖南以及江西南部。

表 1 我国 70站平均 AOD的统计结果

 $Table \ 1 \quad The \ statistics \ of \ AOD \ s \ at \ 70 \ stations$

in Ch ina for 1999— 2003

年份	平均值	标准差	AOD 最小值 (站名)	AOD 最大值 (站名)
1999	0. 298 4	0.186 0	0.045 5(玛多)	1.044 4(重庆)
2000	0. 297 5	0.185 8	0.0477(玛多)	1.0093(重庆)
2001	0. 283 0	0.153 2	0.0457(玛多)	0.652 0(重庆)
2002	0. 311 2	0.1996	0.050 9(达日)	1.094 0(重庆)
2003	0. 299 6	0.198 0	0.047 0(玛多)	1. 251 2(重庆)



图 5 中国 AOD 与能见度的相关分布

Fig. 5 Correlation coefficients between monthly average AOD and visibility over China for 1999–2003

月平均气溶胶光学厚度与能见度之间的负相关 关系表明, 气溶胶光学厚度主要受来自低层气溶胶 粒子的影响, 能见度较小时, 低层气溶胶粒子较多, 消光系数较大, 气溶胶光学厚度也较大; 反之亦然, 因此气溶胶光学厚度与能见度有较好的相关关系。 而二者之间较小的负相关系数或者正相关系数的产 生, 可能是由于气溶胶光学厚度的主要影响不是来 自低层, 而是高层的气溶胶粒子产生较大作用的缘 故^[22]。高空, 从外地输送或者本地上升输送的气溶 胶粒子如果停留在高层, 对地面水平能见度没有影 响, 但却改变了总的气溶胶光学厚度值, 气溶胶光学 厚度与反映低层粒子状况的能见度的关系就会不明 显, 甚至出现正相关。

4 结论

应用地面气象能见度和水汽压信息反演得到我 国 70站近 5 a的气溶胶光学厚度,主要分析了气溶 胶光学厚度的年、季变化特征及其趋势,此外分析了 AOD 与能见度的关系,结论如下:

(1)中国年平均 AOD 具有明显的地理分布特

征,以四川盆地、贵州北部为大值区向四周减小,大 值中心位于四川盆地;长江下游为次大值中心;西北 大部分地区、云南等地为 AOD 低值区。

(2) 70站中, 5 a平均 AOD 以重庆(1.0102)
最大,杭州(0.6583)和南京(0.6046)次之,光学厚度在 0.5以上的有合肥、南昌、郑州等7站。AOD 最小的3站分别为达日(0.0511)、玉树(0.0556)、理塘(0.0560)。4个直辖市中,重庆AOD 最大,上海其次,天津再次,北京最小。就年平均而言,北京、上海、天津3地大气气溶胶光学厚度居中国70个城市的中等水平。

(3)各站变化趋势各有不同。

(4)中国各月 AOD 的分布状况有一定的差别。 冬季(1月),有 2个大值中心,分别位于四川盆地和 长江中下游;春季(4月),有 4个大值中心,分别位 于川黔交界地区,长江中下游,河南中部和广东沿 海;夏季(7月),有 3个大值区,分别位于贵州北部, 广东沿海,长江中下游;秋季(10月)与夏季(7月) 的情况基本一致。

(5)川、滇交界处,广东沿海,湖南以及江西南 部月平均气溶胶光学厚度与能见度的负相关关系十 分明显。

参考文献:

- [1] 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
- [2] Stow e L L, Ignatov A M, Singh R R. Development validation, and potential enhancements to the second generation operational aerosol product at the N ational Environmental Satellite, Data and Information Service of the N ational O ceanic and A tm ospheric A dministration [J]. JG eophys Res 1997, 102(D14): 16923-16934.
- [3] Chu D A, Kaufman Y J Ibordi G, et al G bbalmonitoring of air pollution over land from MOD IS [J]. J G eophys Res 2003, 108 (D 21): 4661-4679
- [4] 李放, 吕达仁. 北京大气气溶胶光学厚度中长期变化特征 [J]. 大气科学, 1996 20(4): 385-398
- [5] 邱金桓,孙金辉,夏其林,等.北京大气气溶胶光学特性的综合
 遥感和分析[J].气象学报,1988,46(1):49-58.

- [6] 赵柏林,张梵菲,高国明.我国大气气溶胶光学厚度的特性[J].气象学报,1986,44(2):235-241
- [7] E herm an L. R elation ships between vertical attenuation and surface meteorogical range[J]. ApplOpt 1970, 9(8): 1804-1810
- [8] 毛节泰, 刘莉, 张军华. GM S5 卫星遥感气溶胶光学厚度的试验研究 [J]. 气象学报, 2001, 59(3): 352-359
- [9] 张军华, 斯召俊, 毛节泰, 等. GM S卫星遥感中国地区 气溶胶
 光学厚度 [J]. 大气科学, 2003, 27(1): 23-35
- [10] Gueymard C A. Turbidity determ ination from broadband irradi ance m easurements A detailed multi-coefficient approach [J]. J ApplM eteor, 1998 37(4): 414-435
- [11] Q iu Jinhuan. Broadband extinction method to determ ine aerosol optical depth from accumulated direct solar radiation [J]. J Appl M eteor 2003, 42(11): 1611-1625
- [12] 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.
- [13] 周秀骥,李维亮,罗云峰.中国地区大气气溶胶辐射强迫及区域气候效应的数值模拟[J].大气科学,19%,22(4):418-427.
- [14] 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, 5(5): 549-554.
- [15] 罗云峰, 吕达仁, 周秀骥, 等. 30年来我国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.
- [16] 邱金桓,林耀荣.关于中国大气气溶胶光学厚度的一个参数 化模式 [J]. 气象学报, 2001, 59(3): 368-372.
- [17] 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):77-86.
- [18] 宗雪梅, 邱金桓, 王普才. 近 10年中国 16个台站大气气溶胶
 光学厚度的变化特征分析 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10
 (2): 201-208
- [19] 邱金桓. 大气 AOD的宽带消光遥感方法及其应用 [J]. 遥感 学报, 1997, 1(1): 15-23.
- [20] 李成才,毛节泰,刘启汉,等.利用 MOD IS研究中国东部地区 气溶胶光学厚度的分布和季节变化特征 [J].科学通报, 2003,48(19):2094-2100
- [21] 李成才,毛节泰,刘启汉,等.利用 MOD IS遥感大气气溶胶及
 气溶胶产品的应用[J].北京大学学报:自然科学版,2003,39
 (増刊): 108-117
- [22] 宋磊, 吕达仁. 大气气溶胶光学特性的初步研究 [J]. 气候与 环境研究, 2006, 11(2): 203-208