

合肥地区气溶胶光学厚度的时间变化特征

张玉平, 杨世植, 王先华, 陈新兵

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽合肥 230031)

摘要:利用太阳辐射计 CE318 对合肥地区大气气溶胶进行长期系统的观测,对 2002 年至 2007 年间的观测数据进行反演分析,得出了气溶胶光学厚度随时间变化的统计特征.结果表明合肥地区气溶胶光学厚度日变化有 5 种类型;气溶胶光学厚度随月份有波浪式变化,月平均值在 4 月份和 8 月份分别达到最大值 0.727 和最小值 0.192;四季中春秋季节的气溶胶光学厚度大于夏冬季节,春季最大 0.636,夏季最小 0.262;2004 年至 2007 年冬季气溶胶光学厚度有逐年增大的趋势.

关键词:大气光学;气溶胶光学厚度;Langley 法;太阳辐射计

中图分类号:P427 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.0253-2778.2010.01.003

The temporal characteristics of atmospheric aerosol optical depth over Hefei

ZHANG Yuping, YANG Shizhi, WANG Xianhua, CHEN Xinbing

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: The atmospheric aerosols above Hefei were observed systemically and chromatically with a sun photometer CE318. The aerosol optical depth (AOD) was retrieved from the direct solar radiation data between January 2002 and December 2007, and the temporal characteristics of AOD above Hefei were analyzed. The statistic results show that there are 5 daily variation types of AOD. The AOD variation with the progression of months is wavy, reaching the maximum 0.727 and the minimum 0.192 in April and August respectively. The AOD in spring and summer is higher than that in summer and winter and it averages at 0.636 and 0.262 in Spring and Summer respectively. The AOD in winter has exhibited a steady increase from 2004 to 2007.

Key words: atmospheric optics; aerosol optical depth (AOD); Langley plot; sun photometer

0 引言

大气气溶胶是指大气中悬浮的固体和液体粒子,是大气中很重要的微量成分.气溶胶通过对太阳辐射的散射和吸收作用影响大气辐射收支直接产生气候效应,同时它作为云滴的凝结核通过改变云的宏微观物理量间接影响气候;气溶胶的变化直接影

响人类健康和生存环境,最典型的例子是沙尘暴,同时还与臭氧层的破坏、酸雨的形成、烟雾事件的发生等密切相关^[1];除此之外气溶胶大的时空特性使它成为决定遥感精度的关键因子和空间遥感器发射前后定标的重要角色.因此对气溶胶的研究受到人们的广泛关注,对于环境与气候变化研究、空间对地遥感的大气订正等都有重要意义.国际上美国 NASA

在全球布设了 AERONET(全球气溶胶监测网)用于监测全球气溶胶,我国正在加紧建设国内网。

国内外许多学者对气溶胶做了大量的观测和反演算法研究。邱金桓等^[2]根据激光和光度计的综合探测资料,分析了 1983~1984 年北京上空大气柱气溶胶光学厚度;黎洁和毛节泰^[3]由多波段望远光度计观测的太阳直射辐射和太阳所在地平纬圈天空亮度的相对分布反演得到气溶胶散射相函数和整层大气光学厚度随波长的变化;Perrone 等^[4]利用 AERONET 太阳辐射计资料分析了意大利东南部的气溶胶特性。

我们对合肥地区 2002~2007 年的太阳辐射计观测数据进行反演分析,给出了合肥地区气溶胶光学厚度随波长变化特征及其日变化、月际变化、季节变化以及年际变化特征。

1 气溶胶光学厚度反演方法

大气总光学厚度是与波长 λ (单位: μm)有关的量,太阳辐射计输出的电压值 $V(\lambda)$ 正比于探测器接收到的太阳辐照度 $E(\lambda)$,根据 Bouguer 定律^[5],在非水汽吸收带上仪器响应可以表示为

$$V(\lambda) = V_0(\lambda)R^{-2}\exp(-m\tau(\lambda)) \quad (1)$$

式中, $V_0(\lambda)$ 是在大气层顶和日地平均距离时太阳辐射计的输出电压; R^{-2} 是地球轨道偏心率订正因子; m 是大气质量数; $\tau(\lambda)$ 是大气总光学厚度,由分子(瑞利)衰减 $\tau_r(\lambda)$ 、气体吸收消光 $\tau_g(\lambda)$ 和气溶胶衰减 $\tau_a(\lambda)$ 三部分组成:

$$\tau(\lambda) = \tau_r(\lambda) + \tau_g(\lambda) + \tau_a(\lambda) \quad (2)$$

方程(1)整理后,两边取对数,得:

$$\ln[V(\lambda)R^2] = \ln V_0(\lambda) - m\tau(\lambda) \quad (3)$$

假设在测量过程中大气状况稳定,即 $\tau(\lambda)$ 基本不变,以大气质量数 m 为自变量,太阳辐射计输出电压值 $V(\lambda)$ 与 R^2 积的自然对数为因变量进行线性拟合,得到一条直线,其截距为 $\ln V_0(\lambda)$,斜率的绝对值就是测量过程中 $\tau(\lambda)$ 的平均值,这就是 Langley 法。如果仪器经过定标后已知定标常数 $\ln V_0(\lambda)$,为了确保非稳定大气条件下能够计算出精确的气溶胶光学厚度,那么利用某时刻测得的太阳辐射计输出电压值 $V(\lambda)$ 和预先标定好的定标常数 $\ln V_0(\lambda)$ 由方程(3)就可得出 $\tau(\lambda)$ 的瞬时值,称之为瞬态法,也称截距法,这种方法的精度依赖于仪器的定标常数。得到的大气总光学厚度 $\tau(\lambda)$ 扣除 $\tau_g(\lambda)$ (主要是微弱的臭氧吸收^[6])和由地面气压值计算出

来^[7]的 $\tau_r(\lambda)$ 就得到气溶胶光学厚度 $\tau_a(\lambda)$ 。

根据胡欢陵等人的观测^[8],我国东部地区近地层气溶胶谱为 Junge 分布,在气溶胶谱类型和气溶胶复折射指数与波长无关的条件下气溶胶光学厚度与波长关系满足下式

$$\tau_a(\lambda) = \beta\lambda^{-\alpha} \quad (4)$$

式中, α 是 Ångström 波长指数,反映了气溶胶组成中大小粒子的比例; β 是大气混浊度系数,主要反映气溶胶浓度的大小。两边取对数,得

$$\ln(\tau_a(\lambda)) = \ln \beta - \alpha \ln \lambda \quad (5)$$

利用该式对各观测波段上的气溶胶光学厚度拟合得出 α 和 β ,将 α 和 β 带入式(4)继而可以求出其他波长上的气溶胶光学厚度。

2 数据收集与处理

观测点设在合肥西郊的科学岛上(117.1622E, 31.9047N),除雨雪天气和仪器故障检修外,仪器常年工作,收集了 2002~2007 年共 284 天的数据。

观测仪器为法国 CIMEL 公司的太阳辐射计 CE318,在可见光和近红外波段共有 8 个观测通道,可以测量太阳直射、天空漫射和大气偏振辐射^[9]。我们利用其中 1 020, 870, 670 和 440 nm 四个通道的数据反演气溶胶光学厚度。为使测量数据真实可信,2002 年至 2007 年多次在黄山和法国对 CE318 进行野外定标,其间 2005 年 10 月仪器被送往法国厂家进行检修,更换了滤光片。表 1 列出了多次定标结果。

表 1 CE318 的定标结果

Tab. 1 $\ln V_0(\lambda)$ of CE318 calibration					
波长/nm	01 年黄山	03 年黄山	05 年法国	06 年黄山	07 年法国
1 020	7.740	7.569	9.486	9.480	9.495
870	8.850	8.706	10.049	10.047	10.039
670	9.005	8.839	10.048	10.042	10.047
440	7.990	7.798	9.557	9.514	9.531

处理时选取目视无云、非特殊天气的晴空数据,根据具体情况选用不同的定标系数,具体反演过程详见文献[10]。我们利用 550 nm 处气溶胶光学厚度来分析其时间变化特征。

3 结果与分析

3.1 波长变化

不同波段上的气溶胶光学厚度随时间变化如图 1 所示,其中,图 1(a)是各个波段上的气溶胶光学厚

度在 2002 年 9 月 29 日这一天中随时间变化;图 1 (b)是各个波段上的气溶胶光学厚度在 2002 年 8 月至 10 月间的日际变化. 可以看出:无论是一天中随时间变化还是日际变化,各个波段上的气溶胶光学厚度变化趋势基本是一致的,同时从 440 nm 到 1 020 nm 气溶胶光学厚度不断减小.

将气溶胶光学厚度与波长的对数关系曲线进行线性拟合,根据天气记录选取 92 天的数据进行分析,统计结果表明线性拟合相关系数达 95% 以上,说明气溶胶谱分布满足 Junge 分布,这与马光明^[1]等人的研究结果一致. 作为例子,图 2 给出了 2002 年 9 月 23 日和 2007 年 1 月 29 日气溶胶光学厚度随波长变化曲线,其中,图 2(b)为其对数关系曲线,线性拟合相关系数分别达到 99.378% 和 99.895%.

3.2 日变化

分析发现气溶胶光学厚度日变化大致分五种情况,如图 3 所示:(I)气溶胶光学厚度变化稳定,如图 3(a)所示. 此种情况通常天空无云、天色湛蓝,此

时光学厚度数值比较小,相对标准偏差低,说明大气稳定、洁净,气溶胶浓度和性质比较稳定. 合肥的晴空多属于此类情况.(II)气溶胶光学厚度早晚大,中午小,如图 3(b)所示. 由于测点三面环水,早晚水面常有轻雾生成,从而使得光学厚度早晚相对中午要大. 此类情况多发生在深秋初冬时节.(III)气溶胶光学厚度中午大,早晚小,如图 3(c)所示. 出现这种情况可能由于中午太阳辐射对地面加热,从而对底层大气加热,造成大气层结不稳定,形成湍流输送,使地面沙尘进入大气. 此类情况多发生在夏季.(IV)气溶胶光学厚度早晨大,下午小,呈下降趋势,如图 3(d)所示. 可能由于早晨逆温层和霾层的存在,使得光学厚度偏大,随着气温的升高,霾层的消散,光学厚度随之减小. 此类情况多发生在冬季.(V)气溶胶光学厚度早晨小,下午大,呈上升趋势,如图 3(e)所示. 气象资料显示此类情况多发生在刮东南风的天气中,由于测点位于市区的西北方,据此分析可能是从早晨开始市区日常活动产生的车辆尾气及工厂废

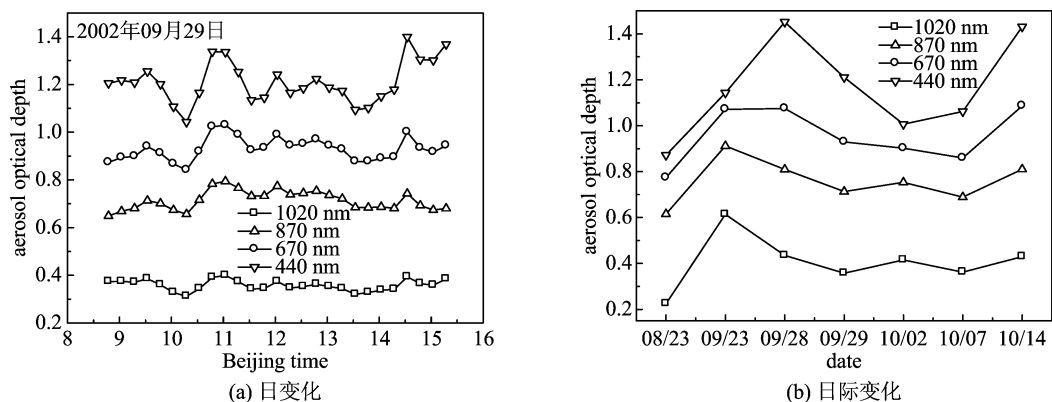


图 1 不同波段上的气溶胶光学厚度随时间变化曲线

Fig. 1 The variation of AOD at different wavelength position with time

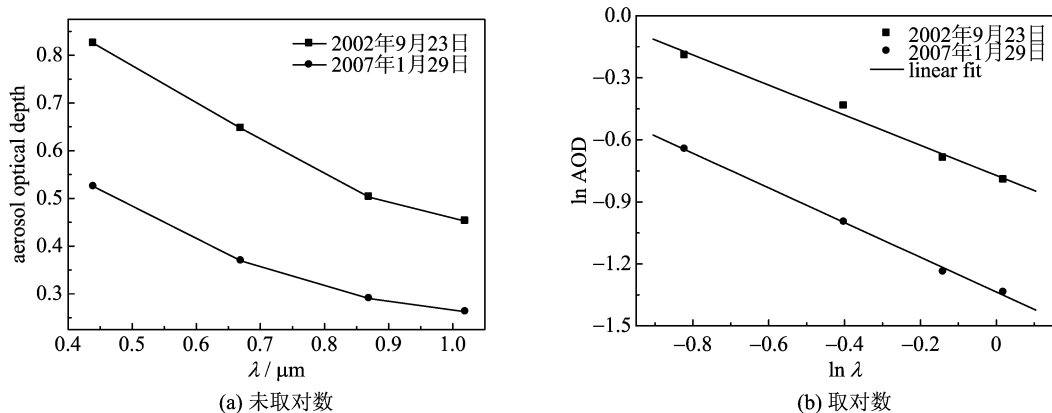


图 2 气溶胶光学厚度随波长变化曲线

Fig. 2 The AOD variation with wavelengths

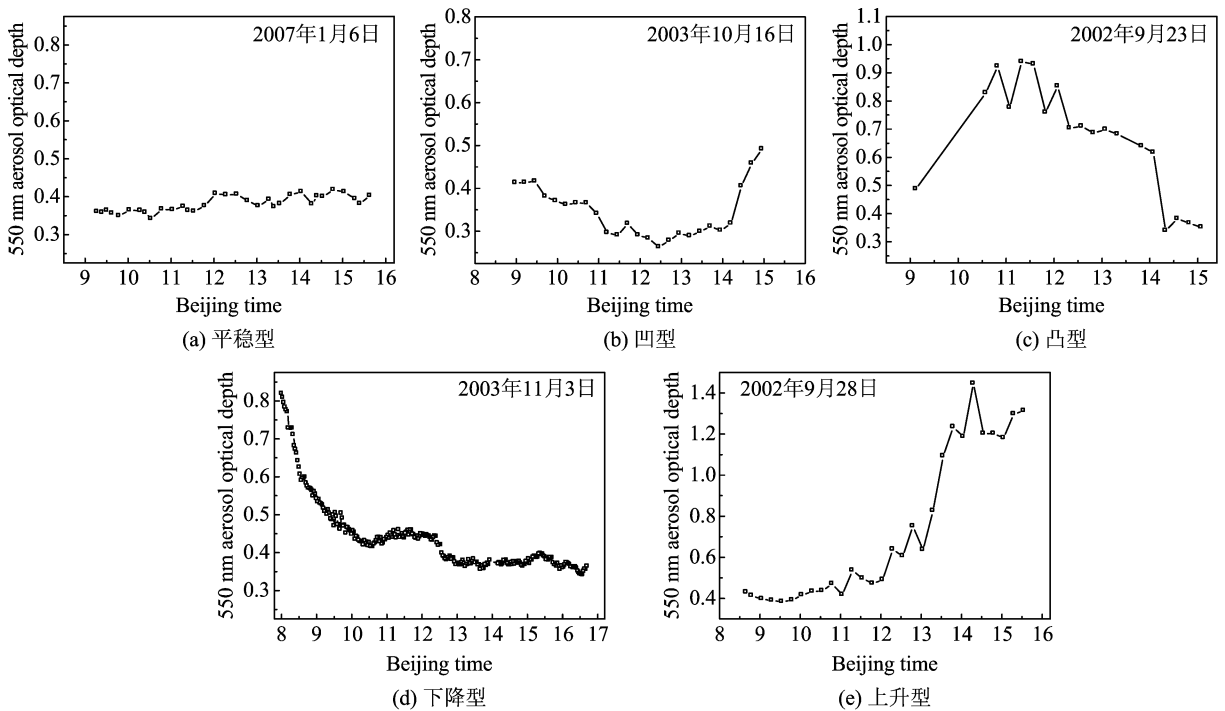


图 3 气溶胶光学厚度日变化类型

Fig. 3 The types of AOD daily variation

气等随风力逐渐到达测点上空形成此类情况。

3.3 月际变化

气溶胶光学厚度随月份变化情况,如图 4 所示。可以看出随月份有波浪式变化:从 2 月到 4 月缓慢增大,4 月达到最大值 0.727,接着逐渐减小,8 月达到最小值 0.192,随后 9 月增大到第二个波峰,接着逐渐减小至 12 月,然后上升到 1 月。年平均值为 0.365,全年标准偏差 0.157,可见合肥地区气溶胶光学厚度值不大,大气比较洁净。气溶胶光学厚度月平均最大最小分别出现在 4 月和 8 月,分析其原因是 4 月正值合肥春季,多受北方沙尘的侵袭以及多东风容易将市区的工业生活尘埃输送至测点上空使

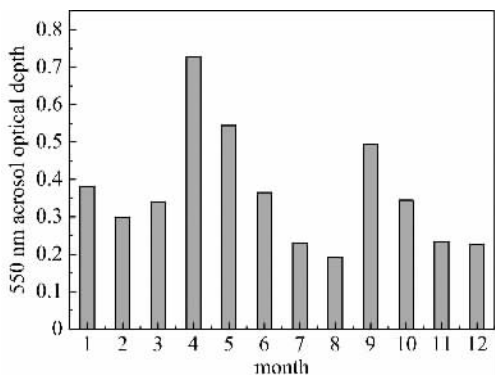


图 4 气溶胶光学厚度月际变化

Fig. 4 The AOD variation with months

得大气中气溶胶粒子增多,光学厚度达最大值;而 8 月正值合肥夏季,强降水对大气中的气溶胶粒子有湿清除作用,从而光学厚度达最小值。同时可以看出 3 月到 4 月以及 8 月到 9 月气溶胶光学厚度突然增大,天气原因造成不同月份数据收集不平衡是其原因之一,今后将做进一步研究。

3.4 季节变化

合肥四季按候平均气温可划分为:春季 3 月底至 5 月中旬;夏季 5 月下旬至 9 月中旬;秋季 9 月下旬至 11 月中旬;冬季 11 月下旬至 3 月下旬。气溶胶光学厚度随季节变化如图 5 所示。春秋季节的气溶胶光学厚度比夏冬季节的要大,春季气溶胶光学厚度最大 0.636,夏季最小 0.262。由于合肥一方面春季经常受到北方沙尘的侵袭,另一方面春季多偏东风,容易将市区的大气污染物输送到测点上空,从而春季达到最大值,这与周军^[12]等人的研究结果一致。周军等人利用激光雷达探测该地区对流层气溶胶垂直分布廓线,发现与一年中其他季节相比,春季对流层中上部气溶胶粒子含量相对偏大。由于夏季的强降水,对气溶胶有湿清除作用,使得夏季达到最小值。秋季干燥,使得地面尘土容易漂浮到大气中,同时降水少,缺少对粒子的湿清除,加之北方冷空气带来北方沙尘,使得秋季值偏大,值得一提的是最近

几年周围农民燃烧稻秆也是原因之一。冬季的降雪以及 2 月“立春”后逐渐增多的降水对气溶胶有湿清除作用,使得冬季的值偏小。

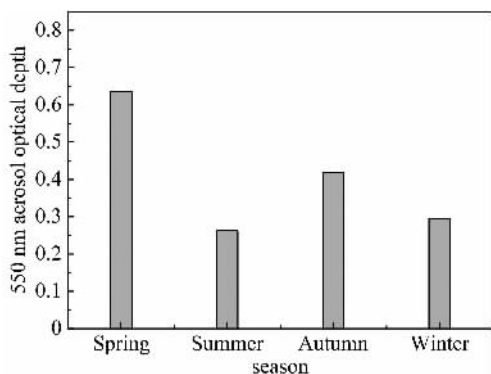


图 5 气溶胶光学厚度季节变化

Fig. 5 The AOD variation with seasons

3.5 年际变化

由于各年收集的月份差异较大,不能简单地用各年收集数据的平均值来比较,根据数据收集情况,选择 2004 至 2007 年的冬季进行比较,如图 6 所示,可以看出 2004 至 2007 年冬季气溶胶光学厚度平均是上升的,近几年来汽车的增多以及烟花爆竹的燃放可能是其原因之一,今后将结合气象资料进一步分析其成因。

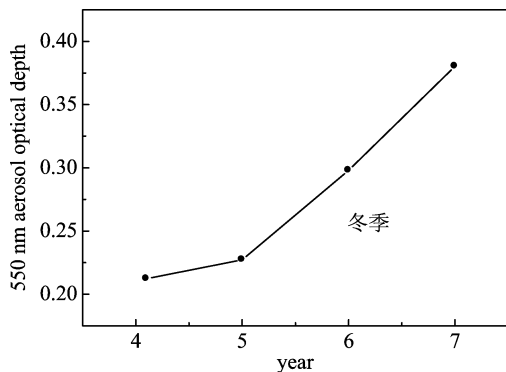


图 6 气溶胶光学厚度年际变化

Fig. 6 The AOD variation with years

4 结论

通过对 2002 年至 2007 年间的观测数据反演分析,得出合肥地区气溶胶光学厚度的时间变化特征,有以下结论:

(I) 各个波段上的气溶胶光学厚度随时间变化趋势基本一致,近红外波段比可见波段的消光能力弱。气溶胶光学厚度与波长对数关系曲线近似直线,线性拟合相关系数达 95% 以上,气溶胶谱分布

满足 Junge 分布。

(II) 气溶胶光学厚度日变化有五种情况:①变化稳定,呈直线平稳型;②早晚大,中午小,呈凹型;③中午大,早晚小,呈凸型;④早晨大,下午小,呈下降型;⑤早晨小,下午大,呈上升型。

(III) 气溶胶光学厚度随月份有波浪式变化,4 月达到最大值 0.727,8 月达到最小值 0.192;年平均均值 0.365,该地区大气比较洁净。

(IV) 四季中春季气溶胶光学厚度最大,夏季最小;春秋季节的气溶胶光学厚度比夏冬季节的大,

(V) 2004 至 2007 年冬季气溶胶光学厚度有逐年增大的趋势。

参考文献(References)

- [1] Liu Qiang, Wang Mingxing, Li Jing, et al. Present research on atmospheric aerosol and its trends [J]. China Power Science and Technology, 1999, 5(3): 17-23.
刘强,王明星,李晶,等. 大气气溶胶研究现状和发展趋势[J]. 中国粉体技术, 1999, 5(3): 17-23.
- [2] Qiu Jinhuan, Sun Jinhui, Xia Qilin, et al. Remote sensing and analysis of aerosol optical properties in Beijing [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1988, 46(1): 49-58.
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.
- [3] Li Jie, Mao Jietai. Inverse of the property of atmospheric aerosols by optical remote sensing [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1989, 47(4): 450-456.
黎洁,毛节泰. 光学遥感大气气溶胶特性. 气象学报 [J], 1989, 47(4): 450-456.
- [4] Perrone M R, Santese M, Tafuro A M, et al. Aerosol load characterization over South-East Italy for one year of AERONET sun-photometer measurements [J]. Atmospheric Research, 2005, (75): 111-133.
- [5] Biggar S F, Gellman D I, Slater P N. Improved evaluation of optical depth components from Langley plot data [J]. Remote Sens Environ, 1990, 32: 91-101.
- [6] Nicolet M. The solar spectral irradiance and its action in the atmospheric photodissociation process [J]. Planet Space Sci, 1981, 29: 951-974.
- [7] Hansen J E, Travis L D. Light scattering in planetary atmospheres [J]. Space Sci Rev, 1974, 16: 527-610.
- [8] Liu Changsheng, Liu Wenbao. Laser Metrology [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1990, 239-246.