

杨溯, 石广玉, 王标, 等. 气溶胶光学厚度谱特征判断粒子大小方法初探. 应用气象学报, 2011, 22(2): 152-157.

气溶胶光学厚度谱特征判断粒子大小方法初探

杨 溯¹⁾²⁾* 石广玉¹⁾ 王 标¹⁾ 杨红龙³⁾ 赵剑琦¹⁾ 秦世广⁴⁾

¹⁾(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

²⁾(中国科学院研究生院, 北京 100049) ³⁾(深圳市国家气候观象台, 深圳 518040)

⁴⁾(中国气象局气象探测中心, 北京 100081)

摘 要

当气溶胶谱满足 Junge 分布时, Angstrom 指数(α)可以准确地描述粒子大小, 但真实大气气溶胶很少完全满足这一条件, 仅用 α 判断粒子大小会有较大出入。基于北京、香河、兴隆、太湖 4 个 Aeronet 观测站 21 世纪以来各站历时都超过 1 年的气溶胶光学厚度资料, 获得 5511 组 $\ln\tau$ 与 $\ln\lambda$ 的二次拟合参数 a_2, a_1 , 尝试找到一种结合 α, a_2, a_1 判断粒子大小的方法。结果表明: 当气溶胶为粗粒子时 ($V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} < 0.2$), α 均小于 0.75, 仅用 α 就可以较好地判断粒子大小, 但当气溶胶以细粒子为主时 ($V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} > 0.7$), 该方法会有较大出入, 此时 a_2, a_1 可以有效地辅助 α 判断粒子大小, $\alpha > 0.75, a_2 < -0.5$ 或 $a_2 < -0.5, a_1 < -1.0$ 是较好的判据。此外, 分析发现国外研究提出的用 $a_2 - a_1$ 判断粒子大小的方法效果并不理想, 尤其在 $1 < a_2 - a_1 < 2$ 的情况下, 粒子的组成有多种可能。

关键词: 大气气溶胶; Angstrom 指数; 粒子大小

引 言

大气气溶胶一般指悬浮在大气中直径为 $10^{-3} \sim 10 \mu\text{m}$ 的微粒, 它在整个地气系统中扮演着非常重要的角色, 它可以通过散射、吸收影响到达地面的太阳辐射, 是重要的辐射强迫因子^[1-4]。气溶胶粒子谱分布是决定其辐射效应的重要物理量^[5], 它会影响到气溶胶的散射相函数、单次散射比、光学厚度谱特征等辐射性质。气溶胶粒子大小是重要的气溶胶研究参数, 它在很大程度上决定了气溶胶的光学和物理特性。因此, 了解气溶胶粒子大小的信息对于气溶胶研究来说, 是一项非常急迫和重要的工作。能够准确地获得这部分信息对于科学评估气溶胶在地气系统中辐射效应而言至关重要。

实际大气中, 气溶胶的来源非常广泛, 多种人为、自然活动都可以产生气溶胶, 如森林火灾^[6-7]、能源消耗^[8]、海浪飞沫^[9]、植物孢子与花粉^[10]、火山喷发^[11]和地面扬尘^[12]都是重要的气溶胶源。不同源

的气溶胶有各自典型的粒子大小, 大气过程也会影响粒子大小。Reid 等^[7]研究表明, 燃烧产生的气溶胶进入大气后会参与凝结、碰并、气粒转换等大气过程, 气溶胶粒径会发生很大变化^[13]。Remer 等^[14]和 Kaufman 等^[15]也有相似的结论, 他们观测到由城市生活、工业生产释放的气溶胶的粒径会逐渐增长, 这种增长可能与高相对湿度及气溶胶与云之间的联系有关。

一直以来, Angstrom 指数(α)被认为是最简捷有效地描述气溶胶典型粒子尺度的物理量, 它是气溶胶光谱性质的函数, 是判断气溶胶粒子大小、地面遥感订正、判断气溶胶类型的重要参数, 在气溶胶研究中有着广泛的应用^[16-18]。用 α 描述粒子大小需要满足 Junge 分布的假设条件, 真实大气并不都满足这个假设, 尤其对于多峰形谱分布情况, 仅用 α 不够准确。一些研究表明, 气溶胶光学厚度 (Aerosol Optical Depth, AOD) 的谱特征含有粒子尺度信息, 用谱线的曲率参数能很好地体现气溶胶粒子尺度特征。本文通过分析北京、香河、兴隆、太湖 4 个

2010-03-25 收到, 2010-12-06 收到再改稿。

资助项目: 科技部基础性工作专项 (2007FY110700), 973 项目“中国大气气溶胶及其气候效应的研究气溶胶直接辐射强迫” (2006CB403705)

* E-mail: yangsu@mail.iap.ac.cn

Aeronet 站点的观测资料(其中北京站时间为 2001 年 3 月 7 日—2008 年 8 月 31 日,香河站时间为 2001 年 3 月 20 日—2008 年 3 月 23 日,兴隆站时间为 2006 年 2 月 19 日—2008 年 5 月 22 日,太湖站时间为 2005 年 9 月 1 日—2008 年 10 月 2 日),对用 α 判断粒子大小的可靠性以及结合曲率参数判断粒子尺度的可行性进行研究,并给出在粗(细)粒子为主时,各参数的判断阈值。

1 Angstrom 指数结合 AOD 曲率判断粒子大小

1.1 Angstrom 指数判断粒子大小的局限性

Angstrom 在 1929 年提出了 Angstrom 指数定律^[19],建立了 AOD 与波长间的指数关系:

$$\tau(\lambda) = \beta \lambda^{-\alpha}. \quad (1)$$

式(1)中, $\tau(\lambda)$ 是对应波长为 λ 的气溶胶光学厚度; β 是 1 μm 波长上的光学厚度,也被称为浑浊度系数; α 是 Angstrom 指数^[20]。Junge 在 Angstrom 的基础上又提出粒子谱与 α 之间关系,认为气溶胶粒子半径与数密度之间存在下列指数关系^[21]:

$$\frac{dN(r)}{d\ln r} = Ar^{-\nu}. \quad (2)$$

式(2)中, A 和 ν 是描述气溶胶谱分布的两个系数。对于 $\alpha > 1$ 的非吸收型气溶胶, $\nu \approx \alpha + 2$ 。由此真正建立了光学厚度、粒子谱分布和 α 三者间的联系。这个简单的粒子谱分布假设关系被广泛应用,这种粒子谱分布也被称为 Junge 分布^[22]。

α 最基本的用途是用来描述气溶胶粒子大小^[15,23],当 $\alpha < 1$ 时,表明气溶胶粒子较大(粒径 $\geq 0.5 \mu\text{m}$),如沙尘,海盐; $\alpha > 2$,表明气溶胶粒子较小(粒径 $\leq 0.5 \mu\text{m}$),如城市污染物、燃烧生成物^[5]。但需要注意,用 α 来描述气溶胶粒子大小的前提是气溶胶谱满足单峰的 Junge 指数分布^[24],真实大气中气溶胶源与生成机制复杂,很少有气溶胶完全符合 Junge 分布。当气溶胶是多峰分布时, $\ln\tau$ 与 $\ln\lambda$ 必然不再满足线性关系,此时仅用 α 作为描述粒子大小的依据就显得不够充分^[25-26]。已有研究对不同类型气溶胶的 α 值做了非常详细的对比^[24],结果表明:对于不满足 Junge 分布的气溶胶,计算波长的选取会对 α 的计算结果有显著影响,因此,相同 α 并不意味着相同的粒子谱分布,仅用 α 来判断粒子大小还显得不够充分。

1.2 AOD 曲率判断气溶胶粒子

一些学者提出,用高次多项式可以很好地拟合气溶胶光学厚度与波长的关系^[5,23,27]。式(3)是用

$\ln\lambda$ 拟合 $\ln\tau$ 的二次函数表达式,式中 a_2 , a_1 , a_0 是拟合参数,代表气溶胶光学厚度光谱特征,其中 a_2 为曲线的曲率, $a_2 > 0$ 曲线开口向上,存在气溶胶光学厚度随波长增长而增长的现象,反之开口向下,光学厚度一直随波长增长而减小。式(4)和式(5)^[28]给出了 a_2 与 α 的计算公式, i 代表第 i 个波长。 $a_2 = 0$ 是一种比较特殊的情形,此时曲率为 0, $\ln\tau$, $\ln\lambda$ 线性相关,粒子谱为 Junge 分布^[29],通过式(1)和式(3)可以建立 a_0 , a_1 与 α , β 之间的关系,即 $a_0 = \ln\beta$, $a_1 = -\alpha$ 。

$$\ln\tau(\lambda_i) = a_0 + a_1 \ln\lambda_i + a_2 (\ln\lambda_i)^2, \quad (3)$$

$$a_2 = -\frac{1}{2}\alpha' = -\frac{1}{2} \frac{d\alpha}{d\ln\lambda}, \quad (4)$$

$$\alpha' = \left(\frac{-2}{\ln\lambda_{i+1} - \ln\lambda_{i-1}} \right) \times \left(\frac{\ln\tau(\lambda_{i+1}) - \ln\tau(\lambda_i)}{\ln\lambda_{i+1} - \ln\lambda_i} - \frac{\ln\tau(\lambda_i) - \ln\tau(\lambda_{i-1})}{\ln\lambda_i - \ln\lambda_{i-1}} \right). \quad (5)$$

已有的研究表明,参数 a_2 , a_1 含有粒子大小的信息。Kaufman 等^[15] 和 Eck 等^[5] 的研究表明, a_2 可以作为气溶胶粒子大小的指示参数,当气溶胶以粗粒子为主时, $a_2 > 0$; 当气溶胶以细粒子为主时, $a_1 < 0$ 。Schulter 等^[29] 指出, a_2 , a_1 的差值可以作为 α 的一级近似用来判断气溶胶粒子大小,当 $a_2 - a_1 \geq 2$ 时,表明气溶胶以细粒子为主;当 $a_2 - a_1 \leq 1$ 时,表明气溶胶以粗粒子为主;当 $1 \leq a_2 - a_1 \leq 2$,表明细粒子在气溶胶中所占比例变化较大或两种类型粒子均存在。Kedia 等^[28] 以此作为气溶胶粒子大小的判据,通过在孟加拉湾和阿拉伯海的观测认为,前者粗粒子与细粒子并存,76% 的观测结果满足 $1 \leq a_2 - a_1 \leq 2$; 后者有大量粗粒子存在,84% 的观测结果满足 $a_2 - a_1 \leq 1$ 。这里值得注意的是,相同的 α 值并不意味着相似的粒子大小,这时可以引入 a_2 作为另一个判据。Schuster 等^[29] 在数值试验中定义了两种谱分布:单峰细粒子为主谱分布(半径中值为 0.21 μm)和双峰粗粒子为主谱分布(粗粒子质量浓度/粒子总质量浓度 = 0.4)。设定两种谱分布的 α 均为 2,分别计算它们的 a_2 值,结果显示:以细粒子为主的谱分布 $a_2 < 0$,以粗粒子为主的谱分布 $a_2 > 0$ ^[29]。这个结果说明,即使 α 值相同,谱分布类型也可以完全不同,此时 a_2 可以作为一个很好的判断粒子大小的参数。

2 观测结果验证

为了验证用参数 a_2 , a_1 判断气溶胶粒子大小

的可行性并得到可靠的判断依据,本文选用地面观测的光学厚度资料计算得到参数 a_2 , a_1 , α , 并结合体积浓度进行分析。计算选取了北京、香河、兴隆、太湖 4 个 Aeronet 站时间跨度超过 1 年的资料,观测仪器为 CE318 太阳光度计^[30],仪器在 10 s 内对太阳 7 个波长 (340, 480, 440, 670, 870, 940, 1020 nm) 的直接辐射进行测量同时观测天空辐射的空间分布特征,可以反演得到气溶胶光学厚度、体积谱分布、相函数等气溶胶特征参数。本文选用 Level 2.0 的 AOD 资料,数据经过严格的质量控制和除云处理 (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>)。通过同步观测的天空辐射可以反演得到 22 个粒径的体积浓度,反演算法不涉及光学厚度速率^[31-32]。这里定义有效半径 (R_{eff}) 小于 $0.6 \mu\text{m}$ 的为细粒子,大于 $0.6 \mu\text{m}$ 的为粗粒子,下文提及的 V_{fine} , V_{total} 分别指细粒子 ($R_{\text{eff}} < 0.6 \mu\text{m}$)、总的粒子体积分数。这里设定气溶胶谱为细粒子谱和粗粒子谱的叠加,比值 $V_{\text{fine}}/V_{\text{total}}$ 可以用来反映气溶胶粗细粒子的比例关系。

图 1 是 a_2 , a_1 与气溶胶中细粒子体积分数关系图,可以看到代表气溶胶以粗粒子为主的点都集中在图左上部分,代表以细粒子为主的点集中在图右下部分,整体趋势与 Schulters 等的数值计算^[29]的结果一致。从图中不难发现,气溶胶以粗粒子为主时,大部分数据都能满足 $a_2 > 0$, 但并不意味着 a_2 一定大于 0; 相反, $a_2 > 0$ 也并不意味着气溶胶一定以粗粒子为主,图中有不少 $V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} > 0.5$ 的点出现在 $a_2 = 0$ 的上方。由此可见,仅用 a_2 还不能判断粒子的大小,还需要给出 a_1 的范围。由图 1 可知, $V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} < 0.3$ 的粒子 (蓝色点) 都集中在 $a_2 > -0.25$, $a_1 > -1.0$ 区间; $V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} > 0.6$ 的粒子 (浅黄色点) a_2 多小于 0, 并且多集中在 $a_1 < -1.6$ 区间,尤其在 $a_2 < -0.5$, $a_1 < -1.0$ 区间细粒子占到总体积的 70% 以上。这个结果表明,在粗(细)粒子体积比较大的情况,参数 a_2 , a_1 可以很好地反映气溶胶的粒子大小。值得注意的是,图 1 没有出现 $a_2 - a_1 > 2$ 的数据 (细粒子),这与所选取的站点及各站点主要的气溶胶类型有关,本文选取我国大陆 4 个资料跨度大于 1 年的站点,而 Schulters 等^[29]的气溶胶参数来自 Aeronet 在非洲、美洲的观测结果,不同的气溶胶参数会给结果带来差异。此外,由图 1 和 Schulters 等^[29]的结果中都可以发现,在 $1 < a_2 - a_1 < 2$ 区间有许多红色点 (细粒子含量相当高) 存在,尤其在 Schulters 等^[29]的结果中 (图略) 该区间存

在着大量代表完全由细粒子组成的数据点 (细粒子质量浓度/总的粒子质量浓度 = 1), 因此仅用 $1 < a_2 - a_1 < 2$ 就判定气溶胶为混合型显然是不太合适的。相对而言, $a_2 - a_1 < 1$ 可以较好地判断气溶胶以粗粒子为主的情况,但在该区间仍有少量红色点存在。因此,认为 $a_2 - a_1$ 仅适合作为判断气溶胶以粗粒子为主时的参考,它并不是一个严格的判断标准。

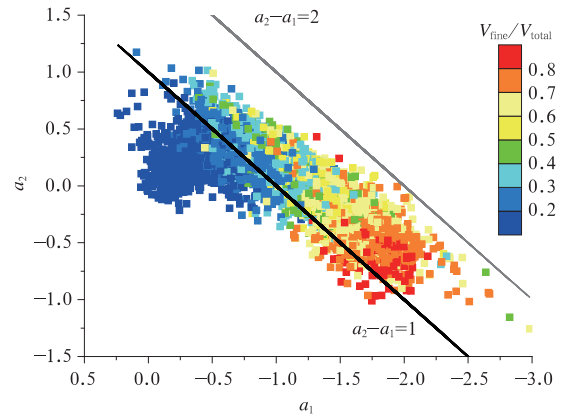


图 1 北京、香河、太湖、兴隆

a_2 , a_1 与气溶胶中细粒子所占体积比的关系

Fig. 1 Volume fraction of fine mode aerosols as a function of coefficients a_2 and a_1 for Beijing, Xianghe, Taihu and Xinglong sites

图 2 是 a_2 , α 与气溶胶中细粒子体积分数关系图。从图 2 可以看到,气溶胶以粗粒子为主时 ($V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} < 0.2$), 所有点都能满足 $\alpha < 0.75$, 这表明,此时仅用 α 就能很好地判断出粒子大小, $\alpha <$

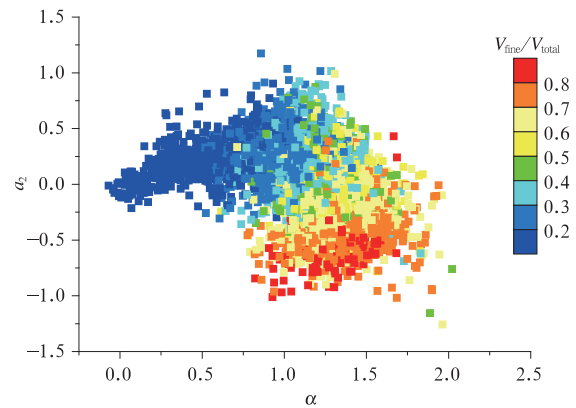


图 2 北京、香河、太湖、兴隆站

a_2 , α 与气溶胶中细粒子所占体积比的关系

Fig. 2 Volume fraction of fine mode aerosols as a function of coefficients a_2 and α for Beijing, Xianghe, Taihu and Xinglong sites

0.75是判断大粒子气溶胶的很好判据。但是当 $V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} > 0.2$ 时, α 变化范围很大,只用 α 很难判断气溶胶的粒子大小。此外,还可以看到,在一般认为是以细粒子为主的 $\alpha > 1.5$ 区间^[16,33-34]存在许多代表混合型的数据点($0.4 < V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} < 0.6$),而在一般认为是混合型的 $0.8 < \alpha < 1.2$ 区间^[16,33-34]也有大量细粒子为主的数据点存在,这表明:当气溶胶以细粒子为主或者为混合型时,只用 α 来判断粒子大小会有偏差。结合计算得到的 a_2 值发现,当 $\alpha > 0.75$ 且 $a_2 < -0.5$ 时,气溶胶以细粒子为主, $V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} > 0.7$,此时可以较好地判断粒子大小。综上所述, α 结合 a_2 可以较好地判断气溶胶粒子大小,其效果要好于仅用 α 的情况。

3 小 结

α 是描述气溶胶粒子大小的经典物理量,是气溶胶光谱性质的函数。一般认为, $\alpha < 1$,表明气溶胶粒子较大; $\alpha > 2$,表明气溶胶粒子较小。但是真实的 $\ln\tau$ 与 $\ln\lambda$ 并不严格满足线性关系,因此用 α 来判断气溶胶的粒子大小还不够充分。 $\ln\tau$ 与 $\ln\lambda$ 的曲率参数 a_2 , a_1 含有气溶胶粒子信息,可以帮助判断气溶胶粒子大小。本文通过分析我国4个地面气溶胶观测站点的日平均 α 、粒子谱分布和参数 a_2 , a_1 尝试找到判断气溶胶粒子大小的合理判据,具体结论如下:

1) 只用 a_2 还无法判断粒子大小,需要配合其他参数。当 $a_2 > -0.25$, $a_1 > -1.0$ 时,气溶胶以粗粒子为主;当 $a_2 < -0.5$, $a_1 < -1.0$ 时,气溶胶以细粒子为主。

2) 气溶胶以粗粒子为主时($V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} < 0.2$),用传统的 α 判据就可以很好地判断粒子大小,此时 $\alpha < 0.75$;但当气溶胶以细粒子为主时($V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} > 0.7$),传统的 α 判据会有较大出入,需要加入 a_2 可以帮助判断。 $\alpha > 0.75$ 且 $a_2 < -0.5$ 可以作为气溶胶以细粒子为主的判据。

3) 由于 $a_2 - a_1$ 仅仅是 α 的一种近似,因此,通过计算 a_2 与 a_1 差值的范围来判断气溶胶粒子大小的方法并不准确,尤其在 $1 < a_2 - a_1 < 2$ 的情况下,粒子的组成有多种可能。

本文选取的站点资料在一定程度上可以较好地代表我国北方大城市、城市背景、区域本底地区的气溶胶情况,但仍有一定局限性,在下一步的工作中需

要补充其他不同地区的气溶胶参数,建立适用范围更广的判据。

致 谢:感谢中国科学院大气物理研究所和 Aeronet 提供的 CE-318 观测资料 and 反演产品。

参 考 文 献

- [1] IPCC. The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 赵春生, 彭大勇, 段英. 海盐气溶胶和硫酸盐气溶胶在云微物理过程中的作用. 应用气象学报, 2005, 16(4): 417-425.
- [3] 田华, 马建中, 李维亮, 等. 中国中东部地区硫酸盐气溶胶直接辐射强迫及气候效应的数值模拟. 应用气象学报, 2005, 16(3): 322-333.
- [4] 李树, 王体健, 谢旻, 等. 无机盐热力学平衡模式的简化及其应用. 应用气象学报, 2010, 21(2): 189-94.
- [5] 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 Geophys Res*, 1999, 104(D24): 31333-31349.
- [6] Reid J S, Hobbs P V. Physical and optical properties of young smoke from individual biomass fires in Brazil. *J Geophys Res*, 1998, 103(D24): 32013-32030.
- [7] Reid J S, Hobbs P V, Ferek R J, et al. Physical, chemical, and optical properties of regional hazes dominated by smoke in Brazil. *J Geophys Res*, 1998, 103(D24): 32059-32080.
- [8] Remer L A, Kaufman Y J, Holben B N, et al. Biomass burning aerosol size distribution and modeled optical properties. *J Geophys Res*, 1998, 103(D24): 31879-31891.
- [9] 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 Geophys Res*, 1990, 95(D4): 3659-3686.
- [10] Kavouras I G, Mihalopoulos N, Stephanou E G. Formation of atmospheric particles from organic acids produced by forests. *Nature*, 1998, 395(6703): 683-686.
- [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 Geophys Res*, 1993, 98(D12): 22969-22985.
- [12] Dalmeida G A. On the variability of desert aerosol radiative characteristics. *J Geophys Res*, 1987, 92(D3): 3017-3026.
- [13] 王开存, 李维亮, 白立杰. 1984~2000年印度洋与中国地区上空对流层中上层及平流层气溶胶变化和输送特征. 应用气象学报, 2004, 15(1): 32-40.
- [14] Remer L A, Kaufman Y J. Dynamic aerosol model: Urban/Industrial aerosol. *J Geophys Res*, 1998, 103(D12): 13859-13871.

- [15] Kaufman Y J, Smirnov A, Holben B N, et al. Baseline maritime aerosol: Methodology to derive the optical thickness and scattering properties. *Geophys Res Lett*, 2001, 28(17): 3251-3254.
- [16] 王跃思, 辛金元, 李占清, 等. 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). *环境科学*, 2006(9): 1703-1711.
- [17] 田文寿, 黄陈. 兰州西固地区冬季太阳辐射与大气浑浊度. *高原气象*, 1995, 14(4): 459-466.
- [18] Nakajima T, Higurashi A. A use of two-channel radiances for an aerosol characterization from space. *Geophys Res Lett*, 1998, 25(20): 3815-3818.
- [19] Angstrom A. On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air. *Geografiska Annaler*, 1929: 156-166.
- [20] Angstrom A. The parameters of atmospheric turbidity. *Tellus*, 1964, 16(1): 64-75.
- [21] Junge C. The size distribution and aging of natural aerosols as determined from electrical and optical data on the atmosphere. *J Meteor*, 1955, 12(1): 13-25.
- [22] Bilbro J W. Review of laser remote-sensing. *Bull Amer Meteor Soc*, 1984, 65(9): 990.
- [23] Eck T F, Holben B N, Dubovik O, et al. Column-integrated aerosol optical properties over the Maldives during the northeast monsoon for 1998-2000. *J Geophys Res*, 2001, 106(D22): 28555-28566.
- [24] Hess M, Koepke P, Schult I. Optical properties of aerosols and clouds: The software package OPAC. *Bull Amer Meteor Soc*, 1998, 79(5): 831-844.
- [25] O'Neill N T, Dubovik O, and Eck T F. Modified angstrom exponent for the characterization of submicrometer aerosols. *Appl Opt*, 2001, 40(15): 2368-2375.
- [26] O'Neill N T, Eck T F, Holben B N, et al. Bimodal size distribution influences on the variation of Angstrom derivatives in spectral and optical depth space. *J Geophys Res*, 2001, 106(D9): 9787-9806.
- [27] O'Neill N T, Eck T F, Smirnov A, et al. Spectral discrimination of coarse and fine mode optical depth. *J Geophys Res*, 2003, 108(D17): 4559-4573.
- [28] Kedia S, Ramachandran S. Variability in aerosol optical and physical characteristics over the Bay of Bengal and the Arabian Sea deduced from Angstrom exponents. *J Geophys Res*, 2009, 114, D14207, doi:10.1029/2009JD011950.
- [29] Schuster G L, Dubovik O, Holben B N. Angstrom exponent and bimodal aerosol size distributions. *J Geophys Res*, 2006, 111(D7): D07207.
- [30] 杨志峰, 张小曳, 车慧正, 等. CE318 型太阳光度计标定方法初探. *应用气象学报*, 2008, 19(3): 297-306.
- [31] Dubovik O, King M D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from sun and sky radiance measurements. *J Geophys Res*, 2000, 105(D16): 20673-20696.
- [32] Dubovik O, Smirnov A, Holben B N, et al. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) sun and sky radiance measurements. *J Geophys Res*, 2000, 105(D8): 9791-9806.
- [33] Tanré 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 Geophys Res*, 2001, 106(D16): 18205-18217.
- [34] 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 Atmos Sci*, 2002, 59(3): 590-608.

The Application of AOD's Spectral Curve Parameter to Judgment of Aerosol Particle Size

Yang Su¹⁾²⁾ Shi Guangyu¹⁾ Wang Biao¹⁾ Yang Honglong³⁾ Zhao Jianqi¹⁾ Qin Shiguang⁴⁾

¹⁾ (State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

²⁾ (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

³⁾ (Shenzhen National Climate Observatory, Shenzhen 518040)

⁴⁾ (Atmospheric Observation Center of CMA, Beijing 100081)

Abstract

Aerosols play important roles in earth's climate system by scattering and absorbing radiance and changing surface radiation budget, so they are recognized as one of the most important factors inducing global dimming during 1960 to 1990. On the other side, aerosols can also act as cloud condensation nuclei, changing the optical and micro-physical property, altering hydrological cycle. The aerosol particle size is an important factor which could determine the aerosol physical and optical characteristic, so the knowledge of the particle size information is an urgent and necessary job for aerosol research. Angstrom exponent (α) is a convenient parameter for describing particle size, in general, as $\alpha < 1.0$, it means coarse particle is dominant; as $\alpha > 1.0$, it means fine particle is dominant. However, this application is based on Angstrom power law which is just valid for the Junge size distribution, not suitable for all environments and locations. Improper application would introduce considerable uncertainty and lead to misunderstanding. Fortunately, previous measurements note that when the aerosol doesn't meet Junge size distribution, the Angstrom exponent would vary with wavelength, and the spectral curvature of the Angstrom exponent (a_2, a_1) is useful for describing particle size. Analysis is conducted to find the relationship between these parameter and particle size based on Aeronet Level 2.0 data from Beijing, Taihu, Xinglong, Xianghe sites. The data contain 440 nm, 675 nm, 870 nm, 1020 nm AODs, and particle volume concentration, the data temporal series of each site is more than one year, α, a_2, a_1 are derived by least square method. The results show that although the aerosol is mixed by fine and coarse particle sometimes, α is still larger than 1.5 which indicate that aerosol mainly consists of fine particle in typical Angstrom law. Correspondingly, median α ($0.8 < \alpha < 1.2$) also appears for fine particle condition at which α should be larger than 1.2 in typical Angstrom law. On the other side, when α is less than 0.75, the aerosol is dominated by coarse particle certainly which is in accord with Angstrom law. It means that α is a good particle size indicator for coarse particle but not for all conditions. Although a_2, a_1 contain particle size information, they are not sufficient for describing particle size just by themselves, they could be nice complement to α . There is significant relationship between particle size and α, a_2, a_1 , when $\alpha > 0.75, a_2 < -0.5$ or $a_2 < -0.5, a_1 < -1.0$, it means that aerosol is dominated by fine particle ($V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} > 0.7$); when $\alpha < 0.75$ or $a_2 > -0.25, a_1 > -1.0$, it means that aerosol is dominated by coarse particle ($V_{\text{fine}}/V_{\text{total}} < 0.2$). It has been proposed that $a_2 - a_1$ is a first approximation of α , which could also be a good particle size indicator. But the examination shows that $a_2 - a_1$ does not perform as well as expected, especially when $1 < a_2 - a_1 < 2$, the particle size is very complicated, thus $a_2 - a_1$ provides no assistance to judgment.

Key words: aerosol; Angstrom exponent; particle size