

关于中国大气气溶胶光学厚度的一个参数化模式*

邱金桓 林耀荣

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029)

摘 要

应用中国 16 个气象台站探测的 1990 年太阳宽带直射辐射信息, 反演得到了这些台站大气气溶胶光学厚度资料, 发展了一个应用地面气象能见度和水汽压信息确定大气柱气溶胶光学厚度的参数化模式, 它比 Elterman 模式更适合中国的广大地区。研究还发现, 比较 Elterman 气溶胶粒子浓度垂直分布模式, 中国许多地方气溶胶粒子浓度垂直衰减较慢。

关键词: 气溶胶, 光学厚度, 能见度。

1 引 言

大气柱气溶胶光学厚度是表征大气浑浊度的一个重要物理量, 它对评价大气环境污染、研究气溶胶的辐射气候效应、空间对地遥感的大气订正等都具有重要意义。窄波段的太阳光度计是目前探测气溶胶光学厚度的一个常用有效手段。世界上已有少量的气象台站或大气监测站长期坚持采用太阳光度计测量太阳的窄带直射光强以确定气溶胶光学厚度。但这类资料覆盖的区域十分有限。中国在探测气溶胶光学厚度方面, 虽也有不少研究工作^[1-5], 但也只限于某些地方。赵柏林等应用 Elterman 等人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^[6,7], 在 Junge 谱分布的假设下, 研究了我国能见度及透明度的区域分布情况。正如本文后面的研究所表明的, 该模式对地理分布有较大的敏感性, 特别是对沿海地区, 反演误差较大。近年来, 邱金桓^[8,9]提出了“从全波段太阳直射辐射确定大气气溶胶光学厚度”的遥感方法, 从气象台站的辐射观测资料获取气溶胶光学厚度信息。周秀骥等^[10]人还应用这一方法研究了我国大气气溶胶光学厚度分布特征。在这些研究工作的基础上, 本文发展了一种从地面气象能见度和水汽压信息反演大气柱气溶胶光学厚度的参数化方法。

2 模式及其适用性分析

根据气象能见度 V 的定义, 它与 $0.55 \mu\text{m}$ 波长消光系数 $\sigma_{0.55}$ 的关系为:

$$V = \frac{3.912}{\sigma_{0.55}} \quad (1)$$

* 初稿时间: 1998 年 1 月 9 日; 修改稿时间: 2000 年 12 月 27 日。

资助课题: 国家自然科学基金和 863 共同资助项目。

假设 Junge 气溶胶谱分布, 即 $n(r) = cr^{-(v^*+1)}$, 且 $v^* = 3$ 不随高度变化。在这些假设和标准的地面大气温度(15 ℃)与气压(1013 hPa)条件下, 在 z 高度 λ 波长的气溶胶消光系数 α 可表为:

$$\alpha = \frac{N^A(z)}{N^A(0)} \left(\frac{3.912}{V} - 0.0116 \right) \left(\frac{0.55}{\lambda} \right) \quad (2)$$

$N^A(0)$, $N^A(z)$ 分别为地面和 z 高度上的气溶胶粒子浓度。

Elterman 应用 McClatchey 等人提出的 $N^A(z)$ 随高度的分布^[6,11], 建立了 z 海拔高度上气象台站实际观测的能见度 V_z 与订正到海平面的能见度 V 的关系, 即:

$$V_z = \frac{3.912}{0.0116 - 0.0009z + \left(\frac{3.912}{V} - 0.0116 \right) e^{-\left(\frac{z}{0.886+0.0222V} \right)}} \quad (3)$$

由此可推得大气气溶胶光学厚度 $\tau_{\lambda E}$ 为:

$$\tau_{\lambda E} = \left(\frac{3.912}{V} - 0.0116 \right) \frac{0.55}{\lambda} \left[H_1 \left(e^{-\frac{z}{H_1}} - e^{-\frac{5.5}{H_1}} \right) + 12.5 e^{-\frac{5.5}{H_1}} + H_2 e^{-\frac{5.5}{H_1}} \right] \quad (4)$$

式(4)中, z 为台站海拔高度, $H_1 = 0.886 + 0.0222V$ (km)。

正如本文后面的分析所表明的, 式(4)对中国地理分布有较大的敏感性, 特别是对沿海地区反演效果更差。为此, 通过与太阳直射表探测的光学厚度的对比, 本文对式(4)作了订正, 发展了一个比较适合中国特点的气溶胶光学厚度模式, 即:

$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda E} f = \left(\frac{3.912}{V} - 0.0116 \right) \frac{0.55}{\lambda} \left[H_1 \left(e^{-\frac{z}{H_1}} - e^{-\frac{5.5}{H_1}} \right) + 12.5 e^{-\frac{5.5}{H_1}} + H_2 e^{-\frac{5.5}{H_1}} \right] f \quad (5)$$

对式(5)中的订正系数 f , 选取二个不同的模式。对东北的沈阳和哈尔滨两地,

$$f = e^{-0.32 + 0.02V_z} \quad (6)$$

对中国东北以外的其他地区,

$$f = e^{(0.42 + 0.004\phi_w + 0.015V_z) \exp(-0.0047V_z^2/p_w)} \quad (7)$$

式(7)中, p_w 为地面的水汽压(hPa)。对于任意的 Junge 谱参数 v^* 的值, 普遍适用的模式为:

$$\tau_{\lambda} = 0.733 \left(\frac{3.912}{V} - 0.0116 \right) \left(\frac{0.75}{\lambda} \right)^{2-v^*} \left[H_1 \left(e^{-\frac{z}{H_1}} - e^{-\frac{5.5}{H_1}} \right) + 12.5 e^{-\frac{5.5}{H_1}} + H_2 e^{-\frac{5.5}{H_1}} \right] f \quad (8)$$

在这个模式中, 气溶胶光学厚度依赖于地面能见度和水汽压、海拔高度、波长和 Junge 谱参数 v^* 。订正系数 f 是本文引进的一个参数, 它取决于气溶胶粒子数密度随高度的分布。 $f = 1$ 对应于 Elterman 气溶胶模式。 $f < 1$ 意味着气溶胶粒子数密度随高度的衰减比 Elterman 模式快, 而 $f > 1$ 意味着气溶胶粒子数密度随高度的衰减比 Elterman 模式慢。

在式(6)中, $f < 1$, 而在式(7)中, $f > 1$ 。这意味着在东北沈阳和哈尔滨地区气溶胶粒子数密度随高度的衰减比 Elterman 模式快, 而在东北以外中国其它地区, 气溶胶粒子数密度随高度的衰减比 Elterman 模式慢。

下面依据图 1 和表 1 分析 Elterman 模式和本文模式的适用性。

文中选取了 16 个气象台站 1990 年的太阳直射辐射探测资料, 用于发展参数化的气

溶胶光学厚度模式,这 16 个台站是福州、乌鲁木齐、北京、沈阳、敦煌、太原、民勤、格尔木、喀什、昆明、上海、武汉、郑州、广州、成都和哈尔滨。表 1 给出这 16 个台站海拔高度以及 1990 年年平均的能见度值和从太阳直射辐射反演得到的 $0.75 \mu\text{m}$ 波长气溶胶光学厚度值。如表 1 所示,西北几个台站和昆明的海拔高度都大于 917 m , 格尔木最高,为 2807 m , 除喀什外,这些地方能见度较高,光学厚度较小。中国中部和沿海的几个台站的海拔高度较低,能见度也较低,光学厚度较大。

表 1 16 个气象台站的海拔高度以及 1990 年年平均能见度和光学厚度值

地区	福州	乌鲁木齐	北京	沈阳	敦煌	太原	民勤	格尔木
海拔 (km)	0.0838	0.9179	0.054	0.0428	1.139	0.7783	1.367	2.807
能见度 (km)	16.78	26.06	10.56	8.60	37.05	10.88	30.34	34.45
光学厚度	0.468	0.285	0.507	0.337	0.179	0.386	0.159	0.136
地 区	喀什	昆明	上海	武汉	郑州	广州	成都	哈尔滨
海拔 (km)	1.2887	1.8914	0.0028	0.0233	0.1104	0.0066	0.5061	0.1423
能见度 (km)	15.42	19.29	11.70	14.01	9.85	12.73	7.94	13.24
光学厚度	0.315	0.233	0.459	0.487	0.528	0.326	0.617	0.302

图 1 比较了 Elterm an 模式、本文模式以及从太阳直射辐射 (称为辐射法) 反演得到的 16 个气象台站年平均的 $0.75 \mu\text{m}$ 波长气溶胶光学厚度。如图 1 所示,在民勤、格尔木、沈阳和哈尔滨 4 个地方, Elterm an 模式和辐射法的反演结果具有较好的吻合,二者的偏差小于 15% ,对其它的 12 个地方,二者的偏差都大于 20% ,特别是福州、乌鲁木齐、喀什、武汉和成都 5 个地方,由 Elterm an 模式反演的光学厚度比辐射法的反演结果系统偏小一倍左右,最大的绝对偏差高达 0.32 (武汉)。根据吕达仁等人的激光探测结果^[12],北京的气溶胶消光系数(粒子浓度)随高度的衰减比 Elterm an 模式慢。如图 1 所示,除格尔木以及东北的沈阳和哈尔滨外,在其它 13 个台站,由 Elterm an 模式计算的光学厚度偏小,特别是在在

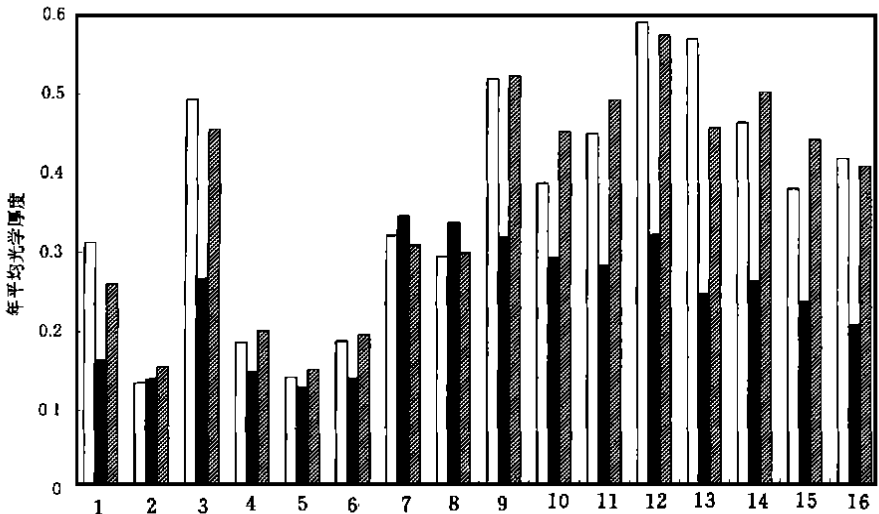


图 1 Elterm an 模式、本文模式以及从太阳直射辐射反演的气溶胶光学厚度比较

(横坐标为站名编号: 1. 乌鲁木齐, 2. 格尔木, 3. 喀什, 4. 敦煌, 5. 民勤, 6. 昆明, 7. 哈尔滨, 8. 沈阳, 9. 北京, 10. 太原, 11. 郑州, 12. 成都, 13. 武汉, 14. 上海, 15. 广州, 16. 福州; ○表示辐射法, ⊗表示 Elterm an 模式, ●本文模式)

福州、乌鲁木齐、上海、北京、武汉和成都几个台站, 偏小都大于 40%, 说明气溶胶消光系数(粒子浓度)随高度的衰减远比 Elterman 模式慢, 这也是为什么在式(7)中, 订正系数 $f > 1$ 。在沈阳, 能见度较低, 年平均值只有 8.6 km, 小于北京、武汉等地的情形, 但沈阳的气溶胶光学厚度也远小于北京、武汉等地的值, 这表明在沈阳地面气溶胶污染较严重, 但相对而言, 空中较干净, 气溶胶消光系数(粒子浓度)随高度的衰减远比 Elterman 模式快, 这也是为什么在式(6)中, 订正系数 $f < 1$ 。本文模式的反演结果与辐射法的结果有较好的吻合, 两者的最大相对偏差为 21% (太原), 最大的绝对偏差为 0.11 (武汉), 16 个地方两者的平均偏差为 9.1%。因此, 本文发展的气溶胶光学厚度模式更适合中国广大地区。

3 结 论

本文发展了一个综合应用地面气象能见度和水汽压信息反演大气柱气溶胶光学厚度的参数化模式。与从宽带的太阳直射辐射信息反演得到的气溶胶光学厚度结果的比较表明, 这个模式比 Elterman 模式更适合中国的广大地区, 本文模式的反演结果与辐射法的结果有较好的吻合, 就年平均的气溶胶光学厚度而言, 两者的最大相对偏差为 21%, 最大的绝对偏差为 0.11。

除东北的沈阳和哈尔滨外, 利用 Elterman 模式计算的气溶胶光学厚度普遍偏小, 说明气溶胶消光系数(粒子浓度)随高度的衰减比使用 Elterman 模式的计算结果慢, 空中大气气溶胶粒子浓度较高。

参考文献

- 1 毛节泰, 王强, 赵柏林. 大气透明度光谱和浑浊度的观测. 气象学报, 1983, 41(3): 322 ~ 331
- 2 李放, 吕达仁. 北京大气气溶胶光学厚度中长期变化特征. 大气科学, 1996, 20(4): 385 ~ 398
- 3 王鹏举, 周秀骥. 青藏高原地区光学特性的测量与分析. 气象科学院刊, 1988, 3(1): 46 ~ 55
- 4 许黎, 柳中明, 石广玉. 台湾地区大气气溶胶光学特性的研究. 气象学报, 1997, 55(2): 252 ~ 253
- 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. 气象学报, 1988, 46(1): 49 ~ 58
- 6 Elterman L. Relationships between vertical attenuation and surface meteorological range. Appl Opt, 1970, 9: 1804 ~ 1810
- 7 赵柏林, 张梵菲, 高国明. 我国大气气溶胶光学厚度的特性. 气象学报, 1986, 44(2): 235 ~ 241
- 8 邱金桓. 大气气溶胶光学厚度的宽度消光遥感方法及其应用. 遥感学报, 1998, 1(1): 15 ~ 22
- 9 Qiu Jinhuan. A method to determine atmospheric aerosol optical depth using total direct solar radiation. J Atmos. Sci, 1998, 55(5): 744 ~ 757
- 10 周秀骥, 李维亮, 罗云峰. 中国地区大气气溶胶辐射强度及区域气候效应的数值模拟. 大气科学, 1998, 22(4): 418 ~ 427
- 11 McClatchey R A, Fenn R W, Selby J E A. Optical properties of Atmosphere. AFCRL- 72- 0497, 1992
- 12 吕达仁等. 底层大气消光系数分布的激光探测. 大气科学, 1977, 3(2): 199 ~ 205

A PARAMETERIZATION MODEL OF AEROSOL OPTICAL DEPTHS IN CHINA

Qiu Jinhuan Lin Yaorong

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

Aerosol optical depths over 16 meteorological observatories in China during 1990 are retrieved from broadband solar radiation data. Based on these depth data, a parameterization relationship of the aerosol optical depth with the surface visibility and water vapour pressure is developed. The model is more suitable for the aerosols in China than Elterman model. Furthermore, it is found that there is a smoother decrease with the height in aerosol concentrations over many sites in China compared with Elterman model.

Key words: Aerosol, Optical depth, Visibility.