

确定气溶胶吸收光学特性的参数化方法研究^{*}

苏文颖^{**} 陈长和

(兰州大学大气科学系, 兰州 730000)

摘 要 本文利用兰州市和北京市的气溶胶资料和辐射资料, 根据 Robinson 的气溶胶吸收后向散射比的参数化方法, 由辐射观测资料和清洁大气辐射模式确定已知谱分布下的 k 值。同时与用东亚大气监测网中元素碳含量值计算得到的 k 值相比较, 两者比较符合。 k 值的日变化为一天中早上日出后最大, 午后最小, 傍晚时 k 值又有所增加。

关键词 气溶胶 折射指数 谱分布

1 引言

气溶胶对大气中的辐射过程有明显的影响, 它们在太阳光波段和红外波段的光学性质很活跃, 并影响着这些波段的辐射传输, 它们对地气系统辐射平衡的影响也很显著, 是影响气候变化的一个重要因子。就研究气溶胶的辐射气候效应而言, 气溶胶折射指数是比谱分布更重要的物理量^[1]。目前对于大气气溶胶折射指数实部已经研究的比较清楚, 而对于其虚部的研究还不多^[2]。而虚部又是决定气溶胶粒子吸收特性的重要参数, 主要取决于粒子成份。但对粒子成份的观测资料很少, 故利用辐射资料参数化确定气溶胶折射指数具有重要的理论和实际意义。

2 大气气溶胶谱分布特征

2.1 兰州市气溶胶尺度谱拟合

本文利用 Anderson 分级采样器对气溶胶 (粒径 $\leq 10 \mu\text{m}$) 进行采样所得结果, 分析了兰州地区气溶胶谱分布特征。从 1992 年 12 月 1 日至 10 日用 Anderson 采样器在兰州大学对大气气溶胶进行监测, 采用重量法测定不同粒径大气气溶胶的质量浓度。采样时间每天达 22 h, 采样流量为 28.3 L/min 。采样器的级数和粒径变化范围见表 1。

表 1 采样器级数和粒径变化范围

级数	0	1	2	3	4	5	6	7	8
粒径范围/ μm	9.0~10.0	5.8~9.0	4.7~5.8	3.3~4.7	2.1~3.3	1.1~2.1	0.65~1.1	0.43~0.65	0.0~0.43

根据观测资料可将气溶胶谱分布按模态分段拟合。由于观测第八级的中心半径为 $0.22 \mu\text{m}$, 故只将观测资料分为积聚模态 ($r < 2 \mu\text{m}$) 和粗模态 ($r > 2 \mu\text{m}$) 两段来拟

1995-10-04 收到, 1996-03-21 收到修改稿

^{*} 国家自然科学基金资助项目

^{**} 现在北京大学地球物理系攻读博士学位

合, 而忽略爱根核模态 ($r < 0.1 \mu\text{m}$)。分别用三参数谱, 对数二次曲线谱, Junge 谱和 Junge+Deirmendjian 谱按最小二乘法对实测资料分段拟合。表 2 给出了各种谱分布情况下的拟合值, 其中分段三参数谱的拟合误差最小, 与实测谱最为接近。

表 2 各种谱分布的拟合结果

中心半径 / μm	9.5	7.4	5.3	4.0	2.7	1.6	1.38	0.54	0.22
实测粒子浓度 / [个 / ($\text{cm}^3 \cdot \mu\text{m}$)]	4.19×10^3	4.50×10^3	2.10×10^2	5.79×10^2	2.39×10^1	2.13	6.24	1.31×10^2	6.99×10^2
分段三参数谱	3.16×10^3	5.76×10^3	1.64×10^2	4.63×10^2	2.37×10^1	2.00	4.12	1.01×10^2	5.39×10^2
分段对数谱	3.07×10^3	5.95×10^3	1.68×10^2	4.61×10^2	2.33×10^1	2.11	4.01	1.00×10^2	5.41×10^2
分段 Junge 谱	2.63×10^3	6.21×10^3	1.96×10^2	5.15×10^2	1.99×10^1	2.67	4.06	5.77×10^1	7.32×10^2
分段 Junge+D 谱	2.10×10^3	6.98×10^3	2.55×10^2	6.00×10^2	1.46×10^1	2.67	4.06	5.77×10^1	7.32×10^2

2.2 北京市气溶胶谱分布特性

赵德山^[3]用三参数谱和对数二次曲线谱对北京的实测资料分模态进行拟合, 并分为强污染期和弱污染期两种情况。本文中北京的尺度谱分布为便于与兰州的谱分布比较取其中第二模态和第三模态的拟合结果。

强污染期:

$$\begin{aligned} \text{三参数谱: } \begin{cases} N(r) = 1628.4r^{-1.967}e^{-1.348r}, & (r \leq 2 \mu\text{m}) \\ N(r) = 3.780r^{6.226}e^{-1.896r}, & (r > 2 \mu\text{m}) \end{cases} \\ \text{对数二次曲线谱: } \begin{cases} N(D) = 377.926D^{-3.416}e^{-0.418(\ln D)^2}, & (r \leq 2 \mu\text{m}) \\ N(D) = 0.043D^{9.601}e^{-4.042(\ln D)^2}, & (r > 2 \mu\text{m}) \end{cases} \end{aligned}$$

弱污染期:

$$\begin{aligned} \text{三参数谱: } \begin{cases} N(r) = 63.507r^{-2.618}e^{-0.352r}, & (r \leq 2 \mu\text{m}) \\ N(r) = 0.875r^{5.265}e^{-1.521r}, & (r > 2 \mu\text{m}) \end{cases} \\ \text{对数二次曲线谱: } \begin{cases} N(D) = 43.378D^{-2.997}e^{-0.112(\ln D)^2}, & (r \leq 2 \mu\text{m}) \\ N(D) = 0.03D^{7.676}e^{-3.126(\ln D)^2}, & (r > 2 \mu\text{m}) \end{cases} \end{aligned}$$

3 气溶胶吸收后向散射比的参数化方法

Robinson^[4]提出了一种根据地面观测估算吸收后向散射比 $b_{\text{abs}}/b_{\text{bs}}$ 的方法, 这种方法要求晴天在地面同时观测太阳的总辐射通量 $G(\text{turbid})$ 和向下漫射辐射通量 $D(\text{turbid})$, 减去具有相同吸收气体的无尘大气的理论计算辐射值, 得

$$\delta G = G(\text{clear}) - G(\text{turbid}), \quad (1)$$

即总辐射的消减量; 以及

$$\delta D = D(\text{turbid}) - D(\text{clear}), \quad (2)$$

即相下(前向)漫射辐射的增加量。

总辐射的消减量 δG 与气溶胶吸收太阳辐射通量 (a) 和后向散射太阳辐射通量

(b) 成比例, 漫射辐射的增加量 δD 与气溶胶的前向散射 (f) 成比例。所以两个差值量 δG 和 δD 的比值为

$$\frac{\delta G}{\delta D} = \frac{a+b}{f} = \frac{b}{f} \left(\frac{a}{b} + 1 \right). \quad (3)$$

Robinson^[4]将这一方法广泛用于各类地区和较大范围的光学厚度, 并得到较好结果。若已知 f/b , 即可由上式推得吸收后向散射比 a/b 的值。前向与后向散射比 f/b 是太阳天顶角的函数^[5], f/b 与太阳天顶角余弦关系见图 1, 也即是本文计算中所取的

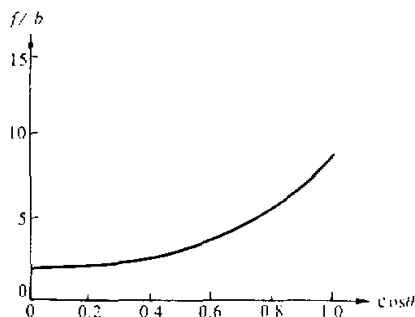


图 1 f/b 与 $\cos\theta$ 的关系

f/b 值。 f/b 的取值与气溶胶特性有关, 不同作者根据各地区的观测值, 给出了不同的 f/b 随 $\cos\theta$ 的变化曲线^[4,6]。将本文 f/b 的取值与不同地域的值相比误差一般为 10% 左右, 在早晚仰角较小时 ($\leq 5^\circ$), 最大误差不超过 31%。并且有如下近似关系^[5]:

$$\frac{a}{b} = \frac{b_{\text{abs}}}{b_{\text{bs}}}. \quad (4)$$

故在已知气溶胶谱分布和折射指数实部的情况下, $b_{\text{abs}}/b_{\text{bs}}$ 可以作为折射指数虚部的函数来计算。本文中吸收效率因子采用 Hanel^[7] 的近似关系式来计算, 而消光效率因子采用 Deirmendjian^[8] 修正的 Van de Hulst 近似。后向散射与总散射的比值 b_{bs}/b_s 为^[9]

$$\frac{b_{\text{bs}}}{b_s} = \frac{1-g}{2}. \quad (5)$$

Wiscombe 和 Grams^[10] 研究认为 b_{bs}/b_s 应处在 $\frac{1}{2}(1-g) \geq \frac{b_{\text{bs}}}{b_s} \geq \frac{1}{2}(1-\frac{4}{3g})$ 范围内, 即本文取其上限进行计算。Hanel^[7] 分析了 ω_0 和 g 之间的关系, 拟合得出如下关系:

$$g = \omega_0 - 0.2, \quad (6)$$

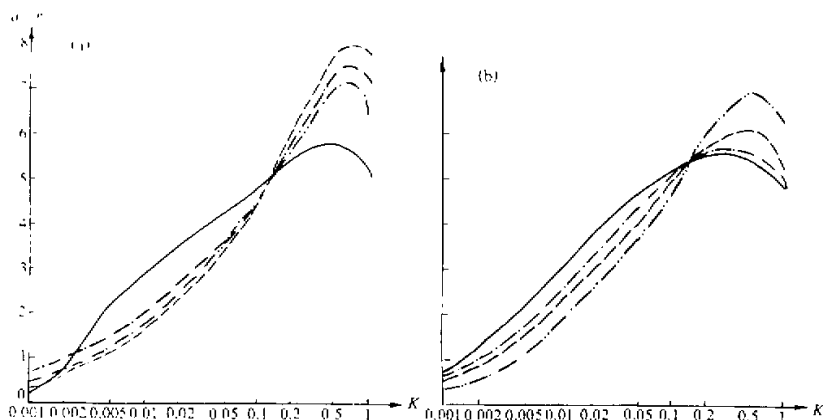
而单次散射反照率定义为

$$\omega_0 = b_s / b_e. \quad (7)$$

由以上分析可得

$$\frac{b_{\text{abs}}}{b_{\text{bs}}} = \frac{2b_a}{b_s(1.2 - b_s/b_e)}. \quad (8)$$

根据兰州市和北京市的谱分布, 可以由 (8) 式计算出一定折射率条件下的吸收后向散射比。为进一步了解折射率虚部 k 对 a/b 的影响, 选取 k 的不同值来计算相应的 a/b 值, 取 $n=1.5$ 。图 2 分别绘出了兰州和北京各种谱分布情况下波长从 $0.3 \sim 3\mu\text{m}$ 的 a/b 随 k 的平均变化情况。

图2 a/b 随 k 的变化情况

- (a) 兰州, —·— 为分段 Junge 谱, — — — 为分段三参数谱, —— 为分段对数谱, - - - 为 J+D 谱;
 (b) 北京, —·— 为轻污染分段对数谱, —·— 为重污染分段对数谱, —— 为轻污染分段三参数谱,
 - - - 为重污染分段三参数谱

了解 a/b 随 k 的变化情况之后, 为能用地面观测的辐射资料估算 a/b 值并进而确定折射指数的虚部 k 值, 必须计算出清洁大气的总辐射和漫射辐射。

4 清洁大气辐射参数化模式

4.1 概述

为了计算清洁大气的总辐射和漫射辐射, 首先必须搞清大气中各种成份的吸收散射特性。为简化计算将大气从大气层顶至地面分为不均匀的三层: 第一层 (大气层顶至离地面 60 km), 只考虑 Rayleigh 散射; 第二层 (60~5 km), 考虑 Rayleigh 散射和臭氧吸收; 第三层 (5~0 km) 考虑水汽吸收和 Rayleigh 散射。该模式也可用于浑浊大气的辐射计算, 这时只需在第三层中考虑气溶胶的吸收和散射即可。本文利用 Lacis 和 Hansen^[11] 给出的公式来计算 O_3 的吸收。瑞利散射根据 Davis 等^[12] 给出的参数化公式来计算。水汽吸收则由 Yamamoto^[13] 公式计算。

4.2 总辐射和漫射辐射

利用累加方程可以求出各层向上和向下的辐射通量。下面先给出累加方程:

$$\begin{cases} R_{ab} = R_a + T_a R_b T_a / (1 - R_a R_b), \\ T_{ab} = T_a T_b / (1 - R_a R_b). \end{cases} \quad (9)$$

方程 (9) 描述了如何通过两层相加来构造一个组合层的反射和传输函数。下标 a、b 分别指上层和下层, 分母代表两层之间的多次散射。其具体计算步骤如下:

- (1) 计算每一层的 R_l 和 T_l , $l = 1, \dots, L$ 。
- (2) 将各层向下相加, 得到 $R_{1,l}$ 和 $T_{1,l}$, $l = 2, \dots, L+1$ 。

(3) 由地面层 $R_{l+1} = R_g$ 、 $T_{l+1} = 0$ 开始向上每次加一层, 得到 $R_{L+1-l, L+1}$, $l = 1, \dots, L-1$ 。每层加完后开始第 (4) 步。

(4) 当两个组合层, 如 l 和 $l+1$, $L+1$ 相加时, 即可求得两层边界处向上和向下的辐射通量。

$$\begin{cases} U_l = T_{l,l} R_{l+1,L+1} / (1 - R_{l,l} R_{l+1,L+1}), \\ D_l = T_{l,l} / (1 - R_{l,l} R_{l+1,L+1}). \end{cases} \quad (10)$$

本模式将大气分为 3 层, 如图 3 所示。根据以上对各成份的参数化方案计算各层的 R_l 和 T_l , 就可由式 (10) 算出 U_l 和 D_l 。由图 3 可见, 其中 D_3 即为所要求的到达地面的清洁大气总辐射 G_c , 而漫射辐射 $F_{\text{dif},c}$ 则可由 G_c 和直接辐射 $F_{\text{dir},c}$ 的差值来计算。对于清洁大气, 辐射为

$$F_{\text{dir},c} = S_0 \mu_0 (T_{0z} - T_{wy} - T_R), \quad (11)$$

$$F_{\text{dif},c} = G_c - F_{\text{dir},c}. \quad (12)$$

4.3 结果分析

表 3 给出了模式计算的清洁大气和实测污染大气的辐射量以及参数化方法计算所得的 a/b 值, 计算中 R_g 根据同期观测确定其值为 0.18。表 3 中 G_m 明显小于 G_c , 这说明烟雾层内气溶胶对总辐射有明显的消减作用。而 $F_{\text{dif},c}$ 小于 $F_{\text{dif},m}$, 即烟雾层内气溶胶的作用使散射辐射大大增加。陈长和等^[14]用同一时期观测资料的平均值分析了兰州市和皋兰(开阔农村)的总辐射和散射辐射, 得出中午到达地面的总辐射兰州比皋兰少 $134.1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 散射辐射兰州比皋兰多 $71.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。本模式计算所得中午总辐射消减量为 $182.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 散射辐射的增加量为 $117.4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。扣除农村气溶胶和资料影响, 我们认为该模式是可信的。由表 3 可见, 一天中早晨的 a/b 值最大, 随着混合层的发展和湍流强度的增大, a/b 值逐渐减小, 午后 13~14 时达到极小, 傍晚又有所增加。由 a/b 值又可按图 2 反推出各种谱分布下的折射指数虚部 k , 表 4 给出了兰州市 1990 年 11 月 28 日一天中 4 种谱分布情况下 k 值的变化。由于分段三

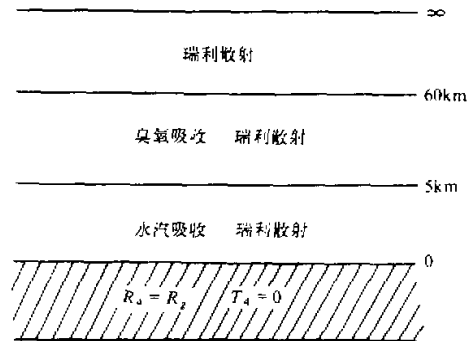


图 3 模式大气分层

表 3 1990 年 11 月 28 日兰州各时次辐射参量 (下标 m 和 c 分别代表实测和计算值)

时间	角度	T_R	f/b	$G_c / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	$G_m / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	$F_{\text{dif},c} / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	$F_{\text{dif},m} / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	a/b
10	20.4	0.793	2.7	354.5	187.5	31.7	96.6	5.95
11	27.6	0.830	3.0	489.8	320.9	38.1	135.0	4.23
12	32.8	0.846	3.2	577.1	395.1	42.1	159.5	3.96
13	34.3	0.850	3.4	602.5	444.3	43.3	152.3	3.93
14	32.1	0.844	3.1	565.1	430.1	41.6	134.1	3.52
15	26.0	0.823	2.9	457.1	318.3	36.6	113.3	4.26
16	18.0	0.776	2.6	309.6	186.8	29.6	89.6	4.31
17	8.45	0.646	2.1	130.8	47.5	20.1	50.1	4.83

参数谱与实际谱分布最为接近,故认为此分布下的 k 值日变化能较好的代表实况。可见早晚湍流扩散弱气溶胶粒子浓度较大时, k 值较大;而午后混合层充分发展气溶胶浓度较小时, k 值也较小。

为进一步了解气溶胶粒子特性与辐射过程的关系,在晴空大气辐射模式的第三层中考虑气溶胶粒子的吸收和散射。设定气溶胶粒子的光学厚度和折射指数,在辐射计算中发现气溶胶折射指数实部对计算结果的影响不大,故在此只考虑折射指数虚部变化的影响。图 4a 和 b 分别给出了兰州市光学厚度为 $\tau_a=0.10$ 和 0.25 时漫射辐射与直接辐射的比值(Dif/Dir)随虚部 k 的变化情况。计算中谱分布取为分段 Junge 谱,波长为 0.5 μm ,地面反照率分别取 0.10、0.25、0.40、0.60 和 0.80,太阳高度角分别取 15°、35°、55°、65° 和 75°,以便可以清楚地看到它们的影响。温湿廓线取为

$$\left. \begin{aligned} T_1(Z) &= T_0 - 0.0098Z, \\ q_1(Z) &= q_0; \end{aligned} \right\} Z \leq Z_0$$
$$\left. \begin{aligned} T_2(Z) &= T_1(Z_0) + 0.02(Z - Z_0), \\ q_2(Z) &= q_0; \end{aligned} \right\} Z_0 < Z \leq Z_1$$
$$\left. \begin{aligned} T_3(Z) &= T_2(Z_1) - 0.0065(Z - Z_1), \\ q_3(Z) &= q_2(Z_1) - \beta(Z - Z_1); \end{aligned} \right\} Z > Z_1$$

式中 β 为水汽随高度递减率。

由图 4 可见,对于不同的地面反照率和太阳高度角,漫射辐射与直接辐射的比值随 k 的增大而减小,对于较大的光学厚度曲线的坡度也较大。对于相同的漫射辐射与

表 4 兰州 4 种谱分布情况下 k 的日变化

时 间	10	11	12	13	14	15	16	17	平 均
a/b	5.95	4.23	3.96	3.93	3.52	4.26	4.31	4.83	4.37
分段三参数谱 k	0.240	0.078	0.066	0.065	0.048	0.080	0.082	0.121	0.098
分段对数谱 k	0.392	0.058	0.042	0.041	0.020	0.059	0.063	0.100	0.097
分段 Junge 谱 k	0.215	0.077	0.065	0.064	0.047	0.079	0.081	0.117	0.093
分段 Junge+D 谱 k	0.207	0.080	0.068	0.067	0.049	0.081	0.084	0.118	0.094

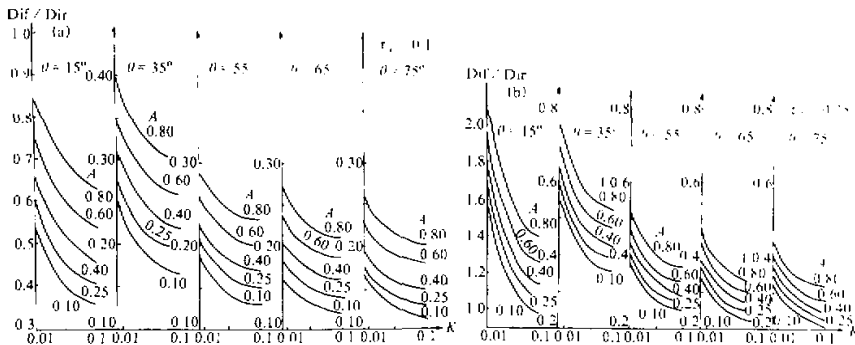


图 4 漫射辐射与直接辐射的比值(Dif/Dir)随 k 的变化(A 为地面反照率, θ 为太阳高度角)
(a) 兰州 $\tau_a=0.10$, (b) 兰州 $\tau_a=0.25$

直接辐射比值, k 随 R_g 的增大而增加。

由以上讨论可见, 若能建立一个包括气溶胶各种谱分布、各种天气条件温湿特征分布、各种气溶胶光学厚度以及不同太阳天顶角及地面反照率时漫射辐射与直接辐射比值随 k 变化的函数库, 即可根据观测得到的这一比值, 输入相应的各种参数便可以确定气溶胶折射指数虚部 k 。

5 视平均折射指数与参数化结果比较

根据“有效介质理论”, Hanel^[7]提出了用“视平均折射指数”来表征大气气溶胶粒子的吸收。如果气溶胶粒子由不同的均匀混合的物质成份组成, 视平均折射指数的定义如下:

$$\frac{(n - ik)^2 - 1}{(n - ik)^2 + 2} = \sum_j \frac{(n_j - ik_j)^2 - 1}{(n_j - ik_j)^2 + 2} f_j, \quad (13)$$

其中 $n_j - ik_j$ 是第 j 种成份的复折射指数, f_j 是第 j 种成份的体积分数。现在假定气溶胶粒子由煤烟型物质和非煤烟型物质组成, 则单位体积中粒子所含的煤烟含量 f_s 与视平均折射指数虚部 k 的关系如下:

$$f_s = \frac{k(0.7126 + 0.2k^2)}{0.2622 + 0.1631k} - 0.0103. \quad (14)$$

1991 年 4 月至 1992 年 12 月我国有五个城市参加了东亚大气监测网, 其中包括北京和兰州, 对大气的总悬浮粒子 TSP、酸根粒子、金属元素、总碳 (T-C)、元素碳 (E-C) 以及有机碳 (O-C) 等进行了监测。图 5 绘出了 1992 年两城市 TSP 的年变化, 由图可见兰州的 TSP 浓度除 4 月外均大于北京的浓度, 并且冬季取暖期间的差距甚大, 这主要是由于冬季兰州上空存在深厚逆温层, 污染物不易扩散所致, 而 4 月北京的 TSP 浓度较大主要是由于北京春季风沙较大所致。这与邱金桓^[1]探测的结果是一致的。

由于气溶胶的吸收特性主要由元素碳决定, 故用 TSP 和 E-C 计算两城市元素碳成份占总 TSP 的份数, 并令其等于 f_s 。虽然兰州市的 TSP 浓度大于北京市的, 但北京市的碳质成份占 TSP 总量的比例却稍高于兰州市的。确定了 f_s 便可根据式 (14) 求出折射指数虚部 k 。图 6 绘出了 1992 年兰州和北京折射指数虚部 k 的年变化情况。除年初兰州市的 k 值大于北京市外, 其余时间均是北京市的较大, 兰州市的年平均 k 值为 0.051, 而北京市为 0.055。

利用地面辐射观测得到无云天气条件下的总辐射和漫射辐射, 根据吸收后向散射比的参数化方法确定 k 值, 并与上述“视平均折射指数”的结果相比较。将参数化方法计算得到的各个时次的结果平均作为日平均值, 温湿廓线根据实测探空曲线来近似。表 5 给出了 1992 年 9 月至 12 月北京市的计算结果, 表中列出了由参数化方法计算的 a/b 值, 并给出了谱分布分别为重污染分段三参数谱和分段对数二次曲线谱时相应的 k 值以及由 f_s 确定的视平均折射指数虚部 k 值。由表 5 可见, 视平均 k 值均小于由 a/b 计算的 k

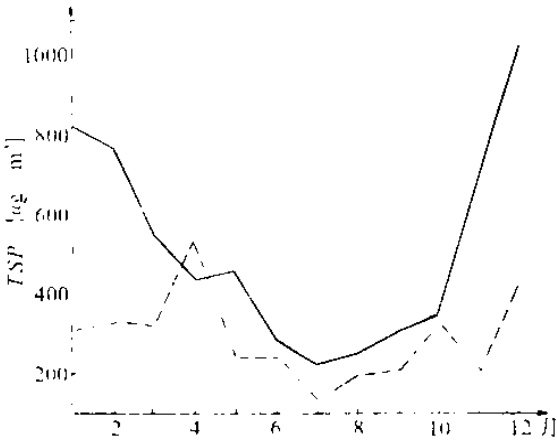


图 5 1992 年北京和兰州 TSP 的年变化
——为兰州, ---为北京

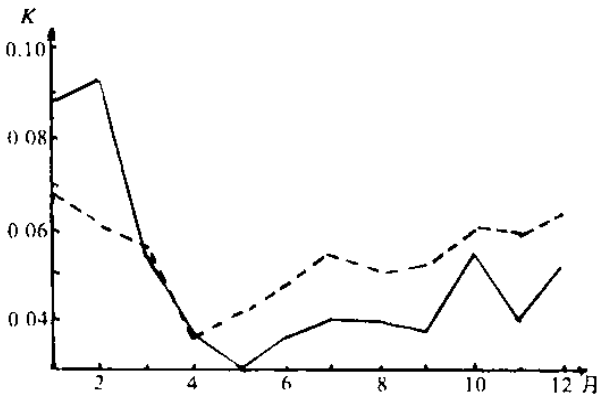


图 6 1992 年北京和兰州折射指数虚部 k 的年变化
——为兰州, ---为北京

值, 这一方面是由于资料的差异, 参数化方法用的是每月无云情况下若干天的辐射资料求白天的 a/b 值, 平均后作为该月的代表值求 k 值。而视平均方法用的是 TSP 和 E-C 的月平均值求取 k 值。另一方面是因为气溶胶中除元素碳颗粒有较强吸收外, 由于燃烧产生的烟灰、风沙扬尘和工业生产产生的颗粒物等也有一定吸收。同时在 TSP 测定中, 一些粒径很小但对气溶胶碳含量有贡献的粒子没有测出。当然与所使用的参数化方法的误差也有一定关系。所以参数化方法所得 k 值大于视平均 k 值是合理的。

表 5 北京市 1992 年 9 月至 12 月折射指数虚部 k 值

时 间	平均 a/b	分段三参数谱 k 值	分段对数谱 k 值	视平均 k 值
9 月	4.402 (8 天平均)	0.069	0.081	0.053
10 月	4.672 (4 天平均)	0.084	0.096	0.062
11 月	4.827 (7 天平均)	0.096	0.107	0.060
12 月	4.789 (7 天平均)	0.093	0.103	0.066

6 结论

(1) 根据 Robinson 气溶胶吸收后向散射的参数化方法, 可以确定一定谱分布情况下气溶胶吸收后向散射比 a/b 随折射指数虚部 k 的变化。结合清洁大气辐射参数化模式, 根据辐射观测资料计算 a/b 值, 即可参数得到白天 k 的变化情况: 早上日出后 k 值最大, 午后达最小, 傍晚时 k 值又有所增加。由上述方法确定的 k 值与视平均折射指数虚部相比较, 基本一致。

(2) 在清洁大气辐射模式中考虑气溶胶的作用, 给出了不同气溶胶光学厚度、不同地面反照率及不同太阳天顶角时, 漫射辐射与直接辐射的比值随虚部 k 的变化情况, 为根据辐射观测决定 k 值提供了一条简单有效的方法。

(3) 兰州市的 TSP 浓度普遍大于北京市, 但北京市的 f_s 却普遍大于兰州市。兰州市的视平均折射指数虚部年均值为 0.051 而北京市的为 0.055。

参 考 文 献

- 1 邱金桓等, 1988, 北京大气气溶胶光学特性的综合遥感分析, *气象学报*, **46**, 49~58.
- 2 Gram, G.W., et al., 1972, Complex index of refraction of airborne fly ash determined by laser radar and collection of particles at 13 km, *J. Atmos. Sci.*, **29**, 900~905.
- 3 赵德山等, 1987, 太原市冬季气溶胶粒子谱及其谱分布模式的研究, *环境科学学报*, **7**, 16~22.
- 4 Robinson, G.D., 1962, Absorption of solar radiation by atmospheric aerosol, as revealed by measurements from the ground, *Arch. Meteor. Geophys. Bioklim.*, **B12**, 19~40.
- 5 Joseph, J.H. and Wolfson, N., 1975, The ratio of absorption to backscatter of solar radiation by aerosol during Khamsin conditions and effects on the radiation balance, *J. Appl. Meteor.*, **14**, 1389~1396.
- 6 Dave, J.V. and N.Braslau, 1974, Effect of cloudiness on the transfer of solar energy through realistic model atmospheres, *I.B.M. Res. Rept.*, **4869**, 55pp.
- 7 Hanel, G., 1988, Single scattering albedo, asymmetry parameter, apparent refractive index and apparent soot content of dry atmospheric particles, *Appl. Opt.*, **27**, 2287~2295.
- 8 Deirmendjian, D., 1960, Atmospheric extinction of infrared radiation, *Quart. J. Roy. Soc.*, **86**, 371~381.
- 9 Sagan, C., and Pollack, J., 1967, Anisotropic nonconservative scattering and the clouds of Venus, *J. Geophys. Res.*, **72**, 469~477.
- 10 Wiscombe, W.J. et al., 1976, The back-scattered fraction in two-stream approximation, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 2440~2451.
- 11 Lacis, A.A., et al., 1974, A parameterization for the absorption of solar radiation in the earth's atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, **31**, 118~133.
- 12 Davis, J.A., et al., 1975, Estimating global solar radiation, *Boundary Layer Meteor.*, **9**, 33~52.
- 13 Yamamoto, G., 1962, Direct absorption of solar radiation by atmospheric water vapour, carbon dioxide and molecular oxygen, *J. Atmos. Sci.*, **19**, 182~188.
- 14 陈长和等, 1993, 复杂地形上大气边界层和大气扩散的研究, 北京: 气象出版社, 1~11.

The Research of Parameterization Method of Determining the Aerosol Optical Absorption Characteristics

Su Wenying and Chen Changhe

(Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000)

Abstract In this paper, the aerosol data and radiative data of Lanzhou and Beijing are used. The diurnal variations of imaginary part are determined by using radiative observational data and radiative model for the clean sky according to parameterization method of the ratio of the aerosol absorption and back-scattering which was proposed by Robinson. Compared with the values calculated from the element-carbon content of the East-Asia atmospheric monitoring net they are in good agreement. The diurnal variation of imaginary part is that after sunrise the imaginary part is the largest and it reaches the minimum in the afternoon and after sunset it increases again.

Key words aerosol refraction index size distribution