

大气气溶胶对8—13微米窗区辐射的衰减

王庚辰

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

根据实测的气溶胶粒子谱对大气气溶胶在8—13微米窗区的衰减效应进行了计算,并和
利用太阳光谱得到的某些实测结果进行了比较。对不同大气条件下的气溶胶物理特征及其衰
减特性也进行了分析。结果表明,气溶胶在8—13微米窗区的衰减效应不仅依赖于粒子的浓
度和谱分布,而且和粒子的化学成份有很大关系。和洁净大气相比,在工业污染大气中,气溶
胶对辐射的衰减效应有着明显的差别。

一、前 言

目前,对8—13微米大气窗区辐射衰减的研究甚受重视。其原因之一是由于它位于地
球温度黑体辐射函数的峰值附近,地气的能量交换主要是在这一谱区进行;其二是在这个
谱区内可以实现对地球环境的航天遥感探测。浑浊介质中的光散射、吸收理论和航空、
航天遥感资料的实际分析表明,除了固有的气体成份之外,悬浮在大气中的各种大小不同
的气溶胶粒子对这一红外窗区内的太阳光学特性有着重要的影响。但是,要确切估计气
溶胶粒子在8—13微米窗区辐射衰减中的相对贡献是一件比较困难的工作,这主要是由
于气溶胶本身物理和光学特性的复杂性所造成的。本文试图根据实际观测到的气溶胶浓
度和粒子谱,通过理论计算来估计大气中的气溶胶粒子对8—13微米窗区内辐射传输的
影响。

二、大气气溶胶的浓度和谱分布

研究气溶胶粒子的浓度和谱分布对于估计气溶胶在辐射传输中的相对贡献具有第一
位的重要性。在实际大气中,由于各种力学和微物理过程的作用,气溶胶粒子的物理结构
和光学特性经历着不断地时空变化。同时,粒子的成份也会随着其来源的不同和大气环
境的差异而有着明显的不同。由于大气本身就是各种气体和气溶胶粒子的混合系统,因
此,气溶胶粒子的物理特性在很大程度上会受到大气条件和地理环境的影响。

为了获得实际大气中的气溶胶特性,曾在非工业污染地区香河(位于北京东南方约
70公里处)对气溶胶粒子的浓度和谱分布用光电方法进行了实地观测。尽管气溶胶的物

理结构有着复杂的演变过程,但仍可认为,所观测到的某一粒子浓度和某一类型的粒子谱在一定程度上乃是某一气团物理特征的反映。为此,我们将观测结果按气象能见度分成了“洁净”大气(能见度 >30 公里)和“浑浊”大气($V<15$ 公里)两大类。实验结果表明,在香河这样的非工业污染的平原地区,对于“洁净”大气而言,在绝大多数情况下(80%以上)

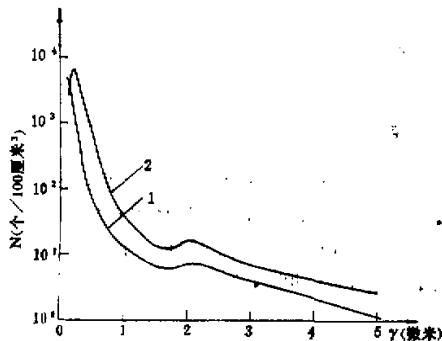


图1 不同大气状况下的气溶胶谱分布

1: 洁净大气, 2: 浑浊大气

都处于 25—100 个/厘米³ 范围内; 而对于“浑浊”大气, 粒子浓度却绝大部分集中在 150—200 个/厘米³ 范围内。图 1 给出了根据 282 份粒子谱实测资料得到的不同大气状况下的平均粒子谱, 可以看到, 在“浑浊”大气中, 整个粒子谱明显地移向大粒子一端, 在“洁净”大气中, 平均而言, 80% 左右的粒子其半径不大于 0.2 微米, 而半径大于 0.2 微米的粒子只占总数的 20% 左右; 与此相比, 在“浑浊”大气中, 相应的值分别为 43% 和 57%。实验结果表明, 无论大气状况如何, 大气中巨粒子的数量随其尺寸的增加而迅速减少, 但是粒子谱的变化并不是平滑的, 在粒子谱分布曲线上往往会出现一个或多个次极大值, 这一现象即使在图 1 给出的平均资料中也看得很清楚。对观测结果的分析还表明, 在不同大气状况下, 对于不同大小的粒子, 其浓度的相对变化也是不一样的, 粒子谱相对变化幅度最大的是那些半径为 0.2—1.0 微米范围内的粒子, 其中半径为 0.4 微米的粒子在“洁净”和“浑浊”大气中的相对变化可达十倍之多, 这一点在估计不同大气状况下气溶胶粒子对红外窗区辐射的衰减时是十分重要的。

三、气溶胶对 8—13 微米窗区辐射的衰减

1. 计算方法

由气溶胶粒子所引起的辐射衰减是根据 Mie 理论来计算的。为对计算结果做出相应的理论解释, 这里应当指出两点, 其一是气溶胶粒子的光学特性与其物理特征量之间的关系是比较复杂的, 粒子对电磁辐射的衰减并不简单地取决于粒子的几何截面, 而是由粒子的相对尺度 X 来决定:

$$X = \frac{2\pi r}{\lambda} \quad (1)$$

这里 λ 是电磁辐射的波长, r 是粒子半径。其二是某些气溶胶粒子的吸收效应在 8—13 微米窗区辐射衰减中具有重要的意义。

在 Mie 理论中, 最基本的假定是气溶胶为球形均匀粒子。这样, 在波长 λ 处, 气溶胶粒子的体积衰减系数 $C(\lambda)$ 为:

$$C(\lambda) = 10^{-3} \pi \int N(r) r^2 \cdot Q[r, \lambda, m(\lambda)] dr \quad (2)$$

这里, $N(r)$ 是气溶胶粒子的谱分布, $Q[r, \lambda, m(\lambda)]$ 是粒子的总衰减因子, $m(\lambda) = n(\lambda) - i\kappa(\lambda)$ 是粒子的复折射指数. 计算中, $m(\lambda)$ 值取自 [1], Q 是根据下述近似公式计算的 [2].

$$Q = 2 - 4e^{-\rho \tan \beta} \cdot \left(\frac{\cos \beta}{\rho} \right) \sin(\rho - \beta) \\ - 4e^{-\rho \tan \beta} \cdot \left(\frac{\cos \beta}{\rho} \right)^2 \cos(\rho - 2\beta) \\ + 4 \left(\frac{\cos \beta}{\rho} \right)^2 \cos 2\beta. \quad (3)$$

式中, $\rho = \frac{4\pi r}{\lambda}(n-1)$, $\tan \beta = \frac{n'}{n-1}$.

计算是对两种气溶胶谱分布(洁净和浑浊, 见图 1)和三种不同类型的粒子(水滴, 石英粒子和 $m(\lambda) = 1.54$ 的等效粒子)进行的. 所获得的六组结果一并由图 2 给出.

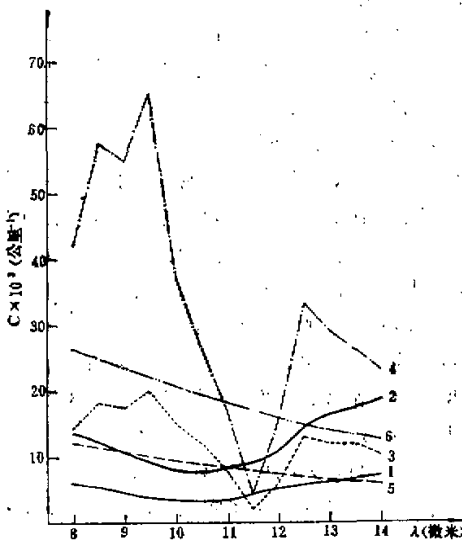


图 2 不同类型气溶胶粒子的体积衰减系数 C
(折射指数取自[1])

1: 液态粒子(洁净大气), 2: 液态粒子(浑浊大气),
3: 石英粒子(洁净大气), 4: 石英粒子(浑浊大气),
5: $m = 1.54$ (洁净大气), 6: $m = 1.54$ (浑浊大气)

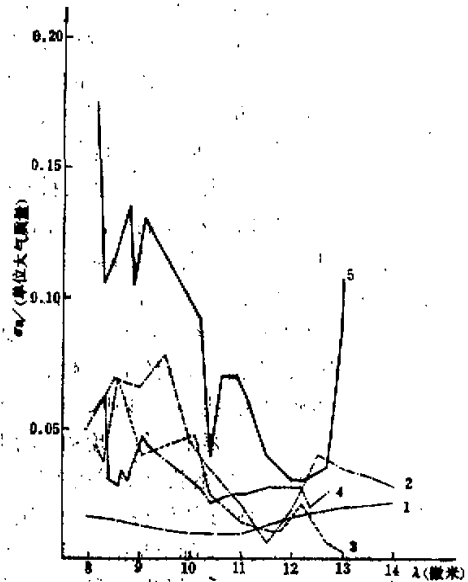


图 3 气溶胶衰减系数 σ_a 的计算值
和实测值的比较

1: H_2O (计算), 2: 石英(计算), 3: 干净大气 [6],
4: 干净大气 [5], 5: 污染大气 [7].

2. 结果讨论

计算结果表明, 不同折射指数的粒子对 8—13 微米范围内的辐射所产生的衰减效应有很大的区别. $m = 1.54$ 的粒子在这个窗区内的衰减作用随着波长的增加而迅速减小(图 2 中曲线 5, 6), 因为这种衰减完全是由粒子的散射所引起的. 当气溶胶粒子为水滴或外面包有水层的其它粒子时, 其衰减效应则不仅取决于粒子的散射, 而且与粒子的吸收

性能有着密切的关系。图 2 中曲线 1, 2 表明, 这种粒子在 10—11 微米波段范围内所引起的衰减最小, 其体积衰减系数 C_v 小于 1×10^{-3} /公里。在这一窗区的长波端, C 值随着波长的增大而明显增大, 这显然是由于液态水吸收效应的增大而引起的。对于石英粒子而言, 其衰减特性和波长的依赖关系则更明显 (图 2 中曲线 3, 4), 尤其是在浑浊大气情况下, 其体积衰减系数的变化幅度可从 5×10^{-3} 到 65×10^{-3} /公里。由此可见, 要确切估计气溶胶对 8—13 微米遥感探测的影响, 不仅需要气溶胶粒子浓度及其谱分布的资料, 而且有关粒子成份的可靠资料也是不可少的。例如, 已经在 9 微米和 11 微米附近发现了由于硅酸盐、铝氧化物、碳酸盐、硫酸盐等粒子所产生的较强的吸收 [3, 4]。

在不同大气状况下, 气溶胶粒子对 8—13 微米窗区辐射衰减的相对贡献显然也是不一样的, 本计算结果表明, 和洁净大气相比, 在浑浊大气情况下, 无论是哪种类型的粒子, 其衰减系数值都有明显地增大, 普遍增大 2—3 倍或更多。

对各类航空遥感探测而言, 往往需要知道气溶胶在整层大气内的辐射衰减特性。为此, 图 3 给出了根据实测粒子谱计算得到的整层大气中气溶胶粒子在 8—13 微米窗区内衰减系数 α_s 。计算中, 近似地认为粒子谱不随高度变化并取气溶胶的标高为 1.2 公里。为比较起见, 利用实测太阳光谱得到的某些相应结果也在图中一并画出。图 3 中虚线 1, 2 分别是液态水粒子和石英粒子在浑浊大气情况下的计算结果。实线 3, 4, 5 分别表示在不同地区的实测结果, 其中 3, 4 是在非工业污染区得到的 [5, 6], 而曲线 5, 则是在工业污染区的观测结果 [7]。尽管这些资料的精度各有不同, 但图 3 清楚地表明了气溶胶粒子在这一窗区内的辐射衰减特征。对于比较干净的非污染大气而言 (曲线 3, 4), 气溶胶粒子在 8—13 微米窗区引起的辐射衰减效应接近于计算曲线 2, 说明该大气中气溶胶粒子的成份比较单一。而在工业污染地区, 情况却大不一样, 粒子在这一窗区引起的衰减效应明显增大 (图 3 中曲线 5), 说明在这一地区气溶胶粒子的属性和非污染地区相比发生了较大的变化。根据对不同气溶胶粒子辐射特性的研究结果, 有理由认为, 在城市污染地区, 大气气溶胶可能主要是由煤烟、沥青等类型的粒子组成, 因为这些粒子在 8—13 微米窗区引起的辐射衰减要比一般尘埃和矿物尘大得多 [8]。

最后应当说明, 气溶胶粒子谱在实际大气中随高度的变化是相当复杂的, 获得大气中各个高度上的实际粒子谱资料也是比较困难的。本文计算中使用了实测地面粒子谱, 并假定它随高度不变, 实际上是把地面粒子谱作为整层大气的等效粒子谱来处理。这种处理方法对于相对比较干燥和比较稳定的大气一般来说是可取的, 但在较强大气层结情况下或当有较强粒子源 (如火山爆发) 存在时, 大气中各高度上的粒子谱可能和相应的地面粒子谱有较大的差异, 在这些情况下, 对整层大气粒子谱的处理应当格外小心。

四、结 论

对气溶胶粒子在 8—13 微米窗区内辐射衰减效应计算结果的分析表明:

1. 大气气溶胶对红外窗区的辐射衰减主要取决于粒子的浓度、谱分布及其成份。和洁净大气相比, 在浑浊大气中, 粒子的衰减系数普遍增大 2—3 倍或更多。
2. 在非工业污染地区, 气溶胶粒子主要由各种尘埃及某些无机和有机化合物构成, 就

整层大气的粒子在这一窗区的辐射衰减而言,假定气溶胶为石英粒子时,其计算结果比较接近于相应的实测值。衰减系数在 8—13 微米窗区的平均值约为 0.04/单位大气质量。

3. 在工业污染地区,气溶胶在这一窗区内的辐射衰减效应明显增大。但由于粒子成份比较复杂,所以计算比较困难,并且在不同污染地区,粒子对红外辐射的衰减效应可能会有较大的差别。

- [1] Kondratyev, K. Ya., *Radiation in the Atmosphere*, Academic Press, 1969.
 [2] Van de Hulst, H. C., *Light Scattering by Small Particles*, John Wiley, 1957.
 [3] Volz, F. E., *Appl. Opt.*, 11, 755—759, 1972.
 [4] Зуев, В. Е. и другие, *Изв. АН СССР ФАО*, Т. 9, No. 4, 1973.
 [5] 王庚辰, 非工业污染大气对 8—13 微米窗区辐射连续衰减的研究 (待发表).
 [6] Адикс, Т. Г. и другие, *Изв. АН СССР ФАО*, Т. 11, No. 7, 1975.
 [7] Кондратьев, К. Я., *Изв. АН СССР ФАО*, Т. 1, No. 4, 1965.
 [8] Volz, F. E., *J. of Geoph. Res.*, Vol. 77, No. 6, 1972.

ATTENUATION OF RADIATION IN THE 8—13 μ m WINDOW REGION BY ATMOSPHERIC AEROSOLS

Wang Geng-chen

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

Attenuation by different kinds of aerosols has been calculated on the basis of size distribution measured in the real atmosphere and compared with the results measured by solar spectrum. The physical characters of the aerosols and radiation attenuation under different atmospheric conditions have also been analysed. The results show that attenuation by atmospheric aerosols in the 8—13 μ m window depends not only on the concentration and the size distribution but also on the chemical composition of the aerosols. The attenuation by polluted atmosphere is obviously different from that by the clean atmosphere.