第44卷 第2期 气 象 学 报 Vol. 44, No. 2
1986 年 5 月 ACTA METEOROLOGICA SINICA May, 1986

我国大气气溶胶光学厚度的特性*

赵柏林 张芃菲 高国明

(北京大学地球物理系)

卫星遥感信息中,含有大气气溶胶的影响,对于卫星遥感资料进行大气气溶胶光学厚度的大气修正是必需的。在大气环境质量评价中,大气气溶胶光学厚度可作为表达大气气溶胶含量的参数。我国迄今尚未对于大气气溶胶光学厚度进行系统的观测,鉴于此种情况,对于大气的这一重要参数,我们根据地面日射台站的能见度等气象资料,作一个初步分析和探讨。由此得到我国大气气溶胶透明度的分布。将其结果与王炳忠等[1]用太阳辐射衰减资料得到的大气透明度的结果进行了比较,以得到我国大气气溶胶光学厚度的特征。本文讨论的有如下几方面的内容:

1. 大气气溶胶透明度的全国分布及年变化,着重讨论0.5μ波长的大气气溶胶透明度分布及其四季中的变化。分析大气气溶胶对于卫星遥感的影响。2. 大气气溶胶透明度各波段(0.4—0.8 μ)的全国分布。3. 大气能见度的全国分布。

1. 原 理

根据Eltermann[2],Sturm[3]得到的大气垂直衰减量与地面能见度的关系,及用此方法对于遥感数据大气修正的建议。我们将此方法具体化,结合我国情况,进行遥感中大气修正的研究。

按能见度V与衰减系数$K_\lambda(0)$的关系式为[4]

$$V=\frac{3.912}{K_\lambda(0)} \tag{1}$$

通过测量V值,一般给出$\lambda=0.55\mu$(人眼最高感光波长)的衰减系数$K_{0.55}(0)$的值。气溶胶衰减系数为

$$K^A_{0.55}(0)=K_{0.55}(0)-K^M_{0.55}(0)=\frac{3.912}{V}-K^M_{0.55}(0) \tag{2}$$

其中,K^A,K^M分别是气溶胶和分子的衰减系数。

在标准条件下($T=15$℃, $P=1013$hPa), $K^M_{0.55}(0)=0.0116\text{km}^{-1}$。若粒子谱为Junge分布的情况,平均粒子散射截面

$$\sigma_\lambda{}^A\text{为}\ \sigma^A_{0.55}/\sigma_\lambda{}^A=(0.55/\lambda)^{3-\alpha} \tag{3}$$

其中,α为常数,可取$\alpha=4$[3,5]。于是

* 本文于1984年7月29日收到,1985年1月7日收到修改稿。

$$K_\lambda^A(z)=N^A(z)\sigma_\lambda^A=\frac{N^A(z)}{N^A(0)}\left(\frac{3.912}{V}-0.0116\right)\left(\frac{0.55}{\lambda}\right) \tag{4}$$

$N^A(z)$,$N^A(0)$ 分别为地面和z高度上的粒子浓度。

McClatchey等[5]根据Elterman的工作归纳$N^A(z)$ 随高度的分布为

$$N^A(z)=\begin{cases}55\ \exp\left[-\dfrac{(z-5.5)}{H_1}\right] & z\leqslant 5.5\ \text{km}\\ 55 & 5.5\leqslant z\leqslant 18\ \text{km}\\ 55\ \exp\left[-\dfrac{(z-18)}{H_2}\right] & z>18\ \text{km}\end{cases}$$

其中,N^A为气溶胶粒子数密度,$H_1=0.886+0.0222V$,$H_2=3.77$km,z为高度(km)。

在z高度上能见度V_z与地面能见度V的关系为

$$V_z=\frac{3.912}{\left[0.0116-0.00099z+\left(\dfrac{3.912}{V}-0.0116\right)e^{-\frac{z}{(0.886+0.0222V)}}\right]} \tag{5}$$

这里可用V_z表示台站的实际观测能见度,V为订正到海平面的能见度。

根据(4)－(5) 式,求得大气气溶胶光学厚度τ_a为

$$\tau_a=\left(\frac{3.912}{V}-0.0116\right)\left(\frac{0.55}{\lambda}\right)\left[H_1\left(e^{-\frac{z}{H_1}}-e^{-\frac{5.5}{H_1}}\right)+12.5e^{-\frac{5.5}{H_1}}+H_2e^{-\frac{5.5}{H_1}}\right] \tag{6}$$

而大气气溶胶透明度T为

$$T=e^{-\tau_a} \tag{7}$$

由此可见,大气气溶胶光学厚度τ_a和透明度T不仅与能见度V有关,而且与观测场的拔海高度z有关。

在处理数据时,我们采用如下步骤:

1) 采用迭代法,用(5) 式求出与V_z相应的V值。

2) 将所得到的能见度V和台站拔海高度z代入(6)、(7) 式,求得τ_a和T值。

台站高度在200m以下属于平原地区,可不进行高度的订正。

2. 资料处理和结果分析

我们选取了1980年全年的无云天气条件下,08时和14时两次观测值作为统计资料。全国选用甲级日射站70个,每个站平均使用资料为208次。

1) 能见度与湿度的关系

从北京、大连、上海、重庆、乌鲁木齐、广州、福州等7站,旬或月平均能见度和湿度的变化曲线中看出,尽管在个别月份例外,能见度与湿度是具有反相关性的,即湿度大的月份、能见度月平均较差,湿度低的月份,能见度月平均都较好。以北京为例,08时的关系为

$$\lg V=1.1024-0.0060U \tag{8}$$

$$\gamma=-0.46$$

在14时的关系为

$$\lg V=1.1856-0.0017U$$

其中，V为能见度(m)，U为相对湿度(%)，γ为相关系数。

Nomoto[6]分析东京(09 时) 的能见度和湿度的关系为

$$\lg V = 2.5 - 0.025U \tag{9}$$

$$\gamma = -0.29 \sim -0.50$$

综合上述，能见度和湿度有反相关，但是相关性不高。可供能见度预告参考。

2) 全国能见度区域性及年变化

根据 1980 年全国(晴空) 能见度的统计，能见度分布图，见图 1。从图 1 中，可以看到地势在能见度分布中起着较为重要的作用。高原地区如大兴安岭、内蒙古高原，长白山脉，青藏高原均处于高值区(大于 20km)，这反映着高原地区空气稀薄、气溶胶浓度小的现象。而盆地，象四川，能见度处于低值区。平原及沿海地带，大部分能见度在 10 km 至 15 km之间。另外，从图上还可以看到象沈阳、西安等重工业城市，它们各自形成了封闭的低值区。这主要是由于大量工业烟尘排放所致。

能见度的季节变化，见图 2—5 中所示，在夏、秋、冬三个季度，高原地区在能见度为 20km的高值区内都有一个能见度为 40km的更高值区域存在。而在春季这个区域消失了。在此区域内各台站的能见度都有不同程度的下降。其原因在于我国北方春季风速较大、湿度低、地表裸露、表土易为扬尘，使得大气气溶胶粒子浓度增大，能见度降低。而在沿海地区能见度分布趋于一个平均值，约 15km，变化不太显著。而我国西南地区的能见度分布随季节变化不大。

3) 大气气溶胶透明度的时空分布

根据能见度资料，利用原理部分的(4—7) 式，我们计算出 0.4μ，0.5μ，0.6μ，0.7μ，0.8μ五个波段的大气气溶胶光学厚度和透明度，并绘制其全国分布图，见图 6—10。由(4)式可见，各波段的大气气溶胶透明度有相依赖的关系。所以在这里着重讨论 0.5μ波段的大气气溶胶透明度的时空分布。大气气溶胶透明度的全国分布规律大体上与能见度相同，地势起着主要的作用，高原地区透明度高，盆地透明度低。西北高原地区透明度均大于 70%。从大同、西宁、玉树一线，由南向北，透明度逐渐增大。在民勤、敦煌地区达到 85%。在华北地区透明度平均为 65%左右，低于西北高原地区。沿海地带小的波动较多，透明度平均为 70%。在四川盆地与江汉平原是一个$<$60%的低透明度区。西南地区和青藏高原是$>$70%的高透明度区。同能见度分布一样，沈阳、西安等重工业城市呈孤立的低值区。

大气气溶胶透明度的四季变化，见图 11—14。西北和西南的高值区较为稳定，随季节变化不大，只是在春季西北地区透明度有所下降。沿海地区，小的波动较多，变化的规律性不明显。纵观一年 12 个月的分布图，4 月份为透明度相对较差的月份。

对于 0.4μ，0.6μ，0.7μ，0.8μ大气气溶胶透明度的全国分布图，和 0.5μ大气气溶胶透明度的全国分布图大体相似，只是高值区和低值区的数值不同而已。

下面将我们的结果与王炳忠等[1]“我国的大气透明度状况”进行比较。首先要指出王炳忠等所用的方法是利用太阳辐射的衰减来测量大气透明度的，故波长范围是全波段的。这与我们采用的方法不同，但仍然得到一些一致的结果：

(1) 地势在透明度分布中起着明显的作用，盆地是低值区，高原是高值区。沈阳、西

安等重工业城市为封闭的低值区。

(2) 在我国西北部透明度随纬度减小而减小。

(3) 气溶胶为影响大气透明度的主要气象因子[7]。大气气溶胶透明度和大气透明度分布一致。

(4) 4月份为透明度最差的月份。

另外,大气气溶胶透明度和大气透明度分布有如下几方面不同:

(1) 在平原地区,大气气溶胶透明度没有与大气透明度类似地随纬度降低而减小的趋势,而是小的波动。

(2) 最高值区的数值略有出入。

导致这些不同的原因是由于水汽的吸收所引起的,大气透明度除气溶胶作用外,尚包

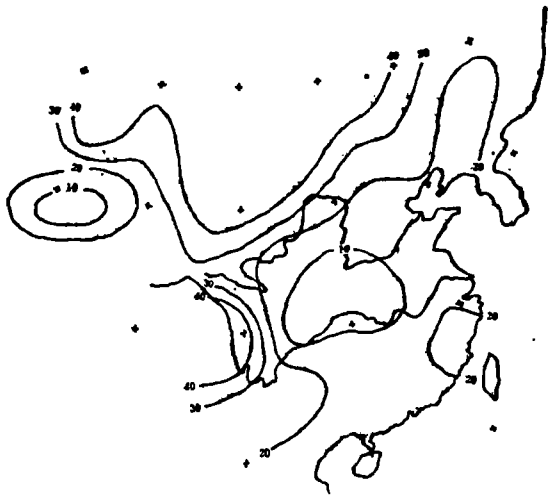


图 1 全国能见度的分布
(年平均)

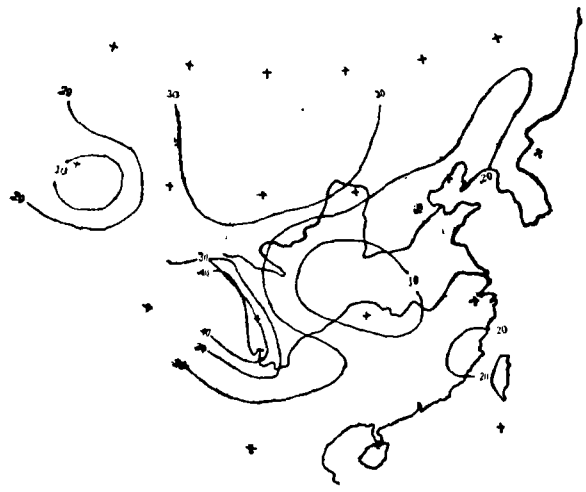


图 2 全国春季能见度的分布



图 3 全国夏季能见度的分布

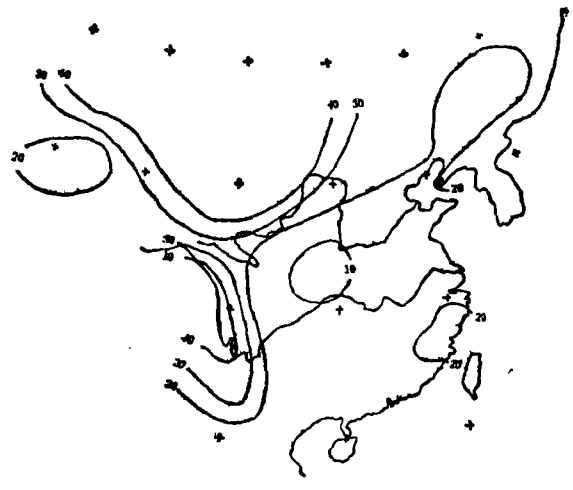


图 4 全国秋季能见度的分布

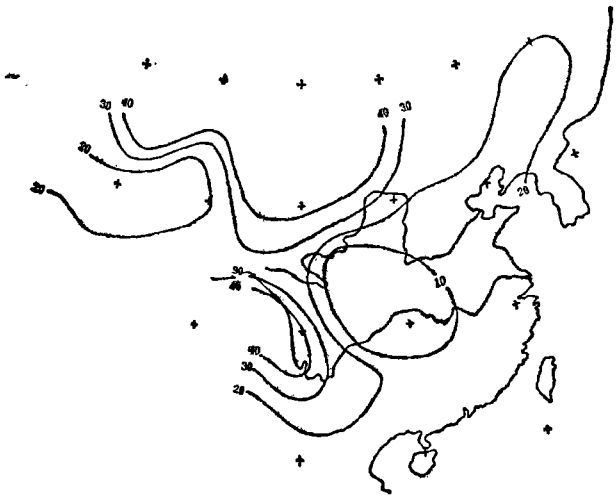


图 5　全国冬季能见度的分布

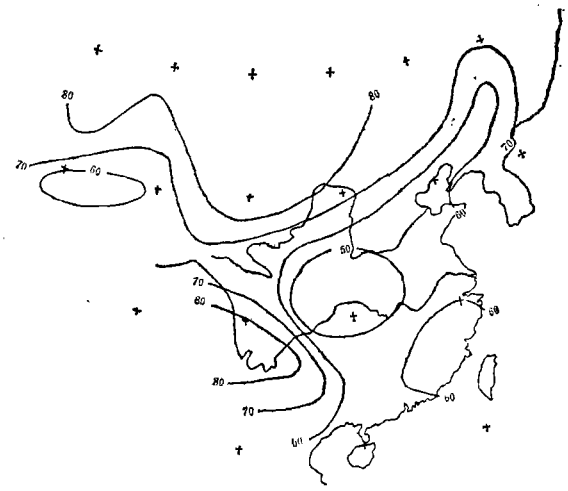


图 6　全国 0.4μ大气气溶胶透明度的分布

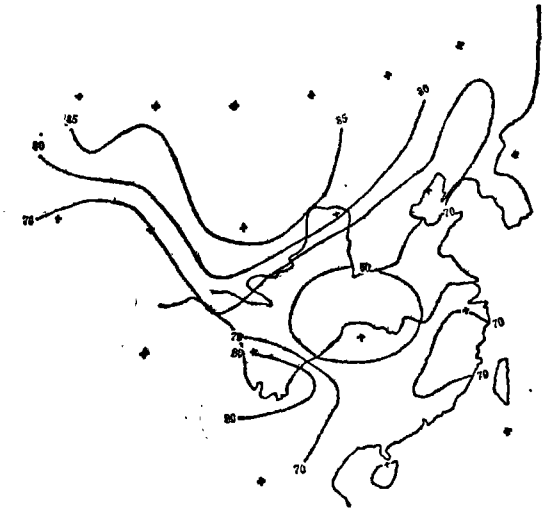


图 7　全国 0.5μ大气气溶胶透明度的分布

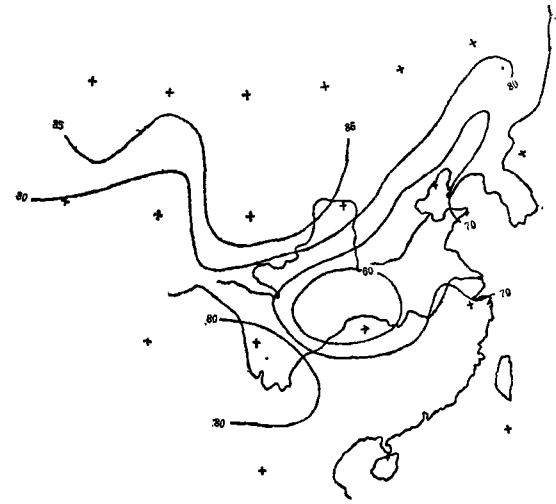


图 8　全国 0.6μ大气气溶胶透明度的分布

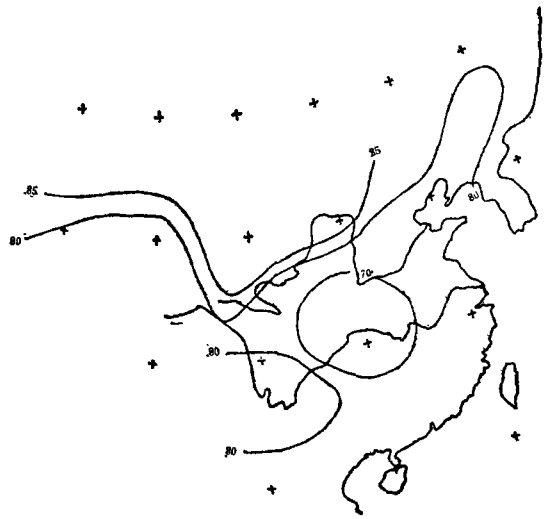


图 9　全国 0.7μ大气气溶胶透明度的分布



图 10　全国 0.8μ大气气溶胶透明度的分布

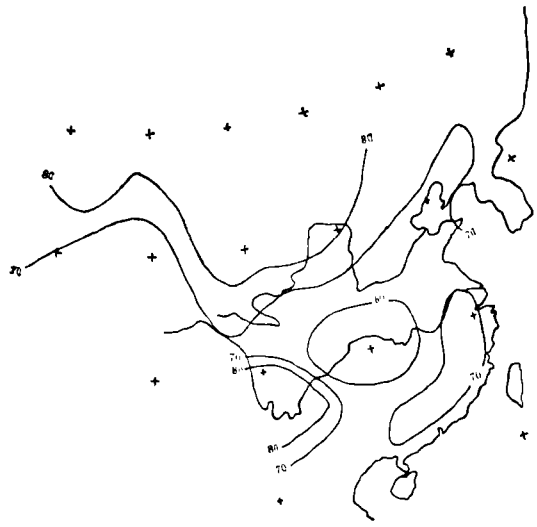


图 11 全国春季(0.5μ) 大气气溶胶透明度的分布

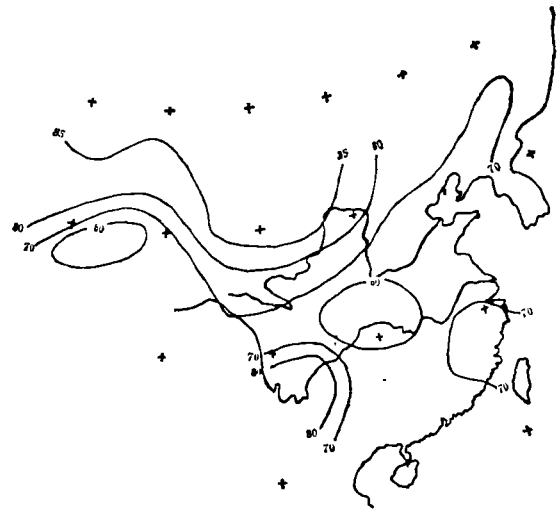


图 12 全国夏季(0.5μ) 大气气溶胶透明度的分布

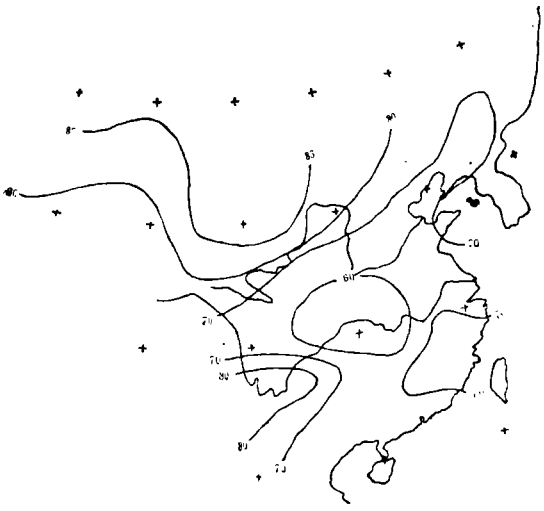


图 13 全国秋季(0.5μ) 大气气溶胶透明度的分布



图 14 全国冬季(0.5μ) 大气气溶胶透明度的分布

含水汽的作用,它和大气气溶胶透明度不等值。这是可以理解的。

3. 结 束 语

综合上述，可以得到下面几点结论：

1) 能见度与湿度有一定的反相关性。

2) 地势对能见度和透明度分布起主要的作用。能见度和透明度在高原地区处于高值区,盆地处于低值区。在我国西北部随纬度增高而增大。

3) 春季在我国西北部能见度和透明度都有所下降。

根据所得结果可以看出，在没有大气透明度直接观测资料的情况下，利用能见度去推算大气透明度是一种现实可行的方法。由此得到的大气气溶胶透明度各波段的全国分布图，可供卫星遥感大气修正和大气环境评价工作中参考、使用。

参 考 文 献

[1] 王炳忠、潘根娣，我国的大气透明度状况，气象学报，40(4)，443—452，1982。

[2] Elterman, L., Relationships between vertical attenuation and surface meteorological range, Applied Optics, 9(8), 1804—1810, 1970.

[3] Sturm, B., The atmospheric correction of remotely sensed data and the quantitative determination of suspended matter in marine water surface layers, Remote Sensing in Meteorology, Oceanography and Hydrology. edited by A.P. Cracknell, Ellis Harwood Limited, 163—197, 1981.

[4] Koschmider, H., Theorie der horizontalen Sichtweite, Beitrage Phys. frei Atmosph, 12, 33—55, 171—181, 1924.

[5] McClatchey, R.A., R.W. Fenn and J.E.A. Selby, Optical properties of atmosphere, AFCRL-72-0497, 1972.

[6] Nomoto, S., A climatological study of visibility in Japan, The Geophysical Magazine, 40(3), 193—284, 1983.

[7] 赵柏林、王强、毛节泰、秦瑜，光学遥感大气气溶胶和水汽的研究，中国科学，(10)B，951—962，1983。

STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERIC AEROSOL THICKNESS OVER CHINA

Zhao Bolin　Zhang Pengfei　Gao Guoming

(Department of Geophysics, Peking University)