



大气的浑浊度及其测定

狄 勉 祖

太阳辐射在通过大气的途中，由于大气分子的散射作用和其中水汽、尘埃、烟雾等吸收和散射作用，就要受到损失。太阳辐射的这种消弱称为大气的消光作用。消光作用的强弱指示着大气对太阳辐射的透明程度。所以当能掌握太阳辐射进入大气前和进入后的强度值时，也就可以定量地推断大气的透明度了。

近几十年来，由于工业的迅速发展，燃烧产生的烟雾使大气中的微粒物质大量增加。这不仅会导致大气污染，从而影响人类的生活环境，而且也会影响地球——大气系统的反射率，改变能量收支状况，进而可能引起全球性的气候变迁。因此世界气象组织建议建立全球性的大气本底污染监测网，其中大气浑浊度*就是大气污染监测站的一项重要观测项目。

一、基础知识

单色光（即单一波长的）通过吸收和散射介质时的衰减可以写成：

$$I = I_0 P^m \quad (1)$$

式中 I_0 为初始光强， I 为通过厚度为 m 的介质后的光强， P 称为该介质的透明系数。

对于通过大气的单色日光，可以相应地写出：

$$S_{\Delta\lambda} = S_{0,\Delta\lambda} \cdot P_{\Delta\lambda}^m \quad (2)$$

式中 $S_{0,\Delta\lambda}$ 是大气外波长为 $\Delta\lambda$ 的日射强度。这里 m 为大气光学质量，当阳光垂直地表投射时，取 $m=1$ 。

对于全色日光则为

$$S_m = \sum_{\Delta\lambda} S_{0,\Delta\lambda} \cdot P_{\Delta\lambda}^m \quad (3)$$

就实际大气而论，即使是单色光的透明系数也受很多条件的影响，诸如大气分子散射 ($P_{\lambda(F)}$)、臭氧吸收 ($P_{\lambda(O_3)}$)、氧气吸收 ($P_{\lambda(O_2)}$)、二氧化碳吸收 ($P_{\lambda(CO_2)}$)、水汽吸收 ($P_{\lambda(H_2O)}$) 以及悬浮微粒物质散射 ($P_{\lambda(L)}$) 等。严格地讲总的透明系数应写作。

$$P = P_{\lambda(F)} \cdot P_{\lambda(O_3)} \cdot P_{\lambda(O_2)} \cdot P_{\lambda(CO_2)} \cdot P_{\lambda(H_2O)} \cdot P_{\lambda(L)} \quad (4)$$

而且透明系数 P 也随波长的变化而变化，所以用 (2) 式计算日射在大气中的衰减，仅限于单色光的情况。

二、复合透明系数

但是，过去经常将 (2) 式用于全色日光的情况，并引入复合透明系数（即不论波长）的概念，即

$$S_m = S_0 P^m \quad (5) \text{ 或 } P = \sqrt[m]{S_m/S_0} \quad (6)$$

这里， P 就是所谓的复合透明系数， S_0 为天文太阳常数，按国际上统一规定取值 $1.98 \text{ 卡}/\text{厘米}^2 \cdot \text{分}$ 。为了说

明问题，在表 1 中列出了在不同的 m 情况下计算出来的 P 。表 1 中的 S_m 值为理想大气中的直接日射强度值。所谓理想大气又叫干洁大气，就其成分而言，除了无水汽和悬浮微粒物质外，它与实际大气并无差异。而二氧化碳和氧气的吸收是微弱的。所以一般计算可略而不计。这样对于理想大气就可将 (3) 式改写为

$$S_m = \sum_{\Delta\lambda} S_{0,\Delta\lambda} \cdot \overline{P}_{\Delta\lambda(O_3)^m} \cdot \overline{P}_{\Delta\lambda(F)^m} \quad (7)$$

式中 $\overline{S}_{0,\Delta\lambda}$ 、 $\overline{P}_{\Delta\lambda(O_3)}$ 和 $\overline{P}_{\Delta\lambda(F)}$ 分别为 $S_{0,\Delta\lambda}$ 、 $P_{\lambda(O_3)}$ 和 $P_{\lambda(F)}$ 在 $\Delta\lambda$ 波段中的平均值（表 2）。

表 1 中的 S_m 值系按表 2 所列数据代入 (7) 式计算出来的，引人注目的是：不同 m 情况下的 P 是不同的，即透明程度有随 m 的增长而增加的趋势。可是在计算过程中并未改动大气透明系数 $\overline{P}_{\Delta\lambda(O_3)}$ 和 $\overline{P}_{\Delta\lambda(F)}$ 。因此，所得到的 P 随 m 而变的现象，不能看做是大气实际透明程度的变化，这是由于光线经过大气的路程愈长，大气对于这种光线愈显得透明，因为所有易被散射或吸收的波长已经很快地从辐射通量中去掉，此后这个通量几乎不被减弱的缘故。这个 P 随 m 而变的现象叫做透明系数的虚拟变程。

表 1 理想大气的复合透明系数

项 目	大 气 光 学 质 量							
	1	2	3	4	5	6	8	10
S_m	1.75	1.62	1.51	1.43	1.36	1.30	1.20	1.12
S_m/S_0	0.884	0.818	0.763	0.722	0.687	0.657	0.606	0.566
P	0.88	0.904	0.914	0.922	0.927	0.932	0.939	0.945

三、大气浑浊度

在大气中减弱太阳直接辐射的因素已如前述，归纳起来可分三类：1. 大气分子散射；2. 悬浮微粒散射；3. 一些气体的选择性吸收。大气分子散射，只要知道测点的大气压就可以根据雷利散射理论算出。某些气体的选择性吸收，由于大气中在紫外和可见光波段内主要的吸收气体是臭氧（附图），红外波段内——水汽，如果把测量范围限于紫外和可见光波段，那末只考虑臭氧吸收就可以了（表 2）。大气中臭氧的含量比较稳定，所以这一项也就可以预先计算出来。

剩下的就是悬浮微粒（又称气溶胶）的消光作用了。根据大量实测资料，气溶胶消光可写作：

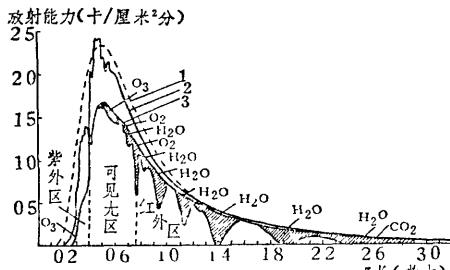
$$P_{\lambda(L)} = e^{-\beta\lambda^{-\alpha}} \quad (8)$$

式中 β 称之为浑浊度系数，它反映大气中悬浮微粒的散射程度，并且不随波长而变化。 $\beta < 0.10$ 时，大气是澄清的， $\beta > 0.20$ 时，显然是有霾的情况。 α 为取决于散射微粒大小分布的因子，当大气中气溶胶较小的粒子所占比重增大时， α 值变大，反之则 α 值变小。它的变化范围为 0—4。在一般大气状况下， α 在 0.5—1.6 之间，通常取值为 1.3 ± 0.2 。大气中微粒半径的大小

* 从能见度的概念出发，这里所谓的“大气浑浊度”属垂直能见度，与一般讲的能见度，即水平能见度有一定的关系，但不可将二者等同起来。

表2 各波段的 $S_{0,\Delta\lambda}$, $\bar{P}_{\Delta\lambda}(O_3)$ 和 $\bar{P}_{\Delta\lambda}(F)$

波段 $\Delta\lambda$	$\bar{S}_{0,\Delta\lambda}$ 毫卡/厘米 ² 分	$\bar{P}_{\Delta\lambda}(O_3)$	$\bar{P}_{\Delta\lambda}(F)$	波段 $\Delta\lambda$	$\bar{S}_{0,\Delta\lambda}$ 毫卡/厘米 ² 分	$\bar{P}_{\Delta\lambda}(O_3)$	$\bar{P}_{\Delta\lambda}(F)$	波段 $\Delta\lambda$	$\bar{S}_{0,\Delta\lambda}$ 毫卡/厘米 ² 分	$\bar{P}_{\Delta\lambda}(O_3)$	$\bar{P}_{\Delta\lambda}(F)$
<0.28	10.1			0.54—0.56	55.4	0.975	0.908	0.85—0.90	67.3	1.000	0.985
0.28—0.30	14.3	0.007	0.249	0.56—0.58	53.5	0.964	0.919	0.90—0.95	59.4	1.000	0.988
0.30—0.32	20.4	0.524	0.351	0.58—0.60	53.5	0.966	0.930	0.95—1.00	55.4	1.000	0.990
0.32—0.34	30.5	0.905	0.448	0.60—0.62	49.5	0.964	0.938	1.0—1.5	330.7	1.000	0.996
0.34—0.36	33.1	0.997	0.534	0.62—0.64	47.5	0.973	0.947	1.5—2.0	124.1	1.000	0.999
0.36—0.38	36.0	1.000	0.609	0.64—0.66	47.5	0.980	0.951	2.0—2.5	53.5	1.000	1.000
0.38—0.40	34.5	1.000	0.671	0.66—0.58	43.6	0.986	0.958	2.5—3.0	26.3	1.000	1.000
0.40—0.42	52.9	1.000	0.713	0.58—0.70	41.6	0.991	0.962	3.0—3.5	14.5	1.000	1.000
0.42—0.44	53.5	1.000	0.767	0.70—0.72	39.6	0.993	0.965	3.5—4.0	8.3	1.000	1.000
0.44—0.46	61.4	0.993	0.803	0.72—0.74	37.6	0.995	0.970	4.0—5.0	8.9	1.000	1.000
0.46—0.48	61.4	0.996	0.833	0.74—0.76	35.6	1.000	0.973	5.0—6.0	4.6	1.000	1.000
0.48—0.50	57.4	0.993	0.857	0.76—0.78	33.7	1.000	0.975	6.0—7.0	2.4	1.000	1.000
0.50—0.52	55.4	0.988	0.877	0.78—0.80	33.7	1.000	0.977	>7.0	2.8	1.000	1.000
0.52—0.54	53.5	0.980	0.893	0.80—0.85	75.2	1.000	0.981				



附图 大气外和海平面处太阳辐射的光谱分布
 1.温度为6000°K的黑体辐射光谱 2.大气外的太阳辐射光谱 3.海平面处的太阳辐射光谱 4.阴影区
 分别为臭氧、氧、水汽和二氧化碳的吸收带

与 α 的关系见表3。由此可见， β 与 α 两个量共同表征了大气中气溶胶的消光作用。

表3 气溶胶半径 r (微米)与散射指数 α 的关系

γ	>2.0 ~ 0.6 0.5 0.22 ~ 0.25 0.15 0.06 ~ 0.10 ≤ 0.02
α	0 1.3 1.5 2.0 2.25 3.0 3.8 ~ 4.0

最初(8)式得自实测资料，因此具有近似的性质，后来在理论研究的基础上又进一步得到了证实。

四、浑浊度系数 β 的测定和计算

欲从辐射观测中推算出浑浊度系数 β ，必须把辐射测量限于紫外和可见光波段内，才能排除水汽的影响。为此世界气象组织规定用 OG₁、RG₂ 和 KG₃ (我国相应的玻璃牌号为 CB₃、HB₁₁ 和 HB₁₈) 三种光学玻璃中之一种做为滤光器。这些玻璃都是截止型滤光玻璃。它们分别能透射波长大于0.53、0.63和0.70微米至2.80微米的所有太阳辐射，其平均透射率为 τ 。如果从未加滤光玻璃测到的直接日射强度 S ，减去加了滤光订正的通过滤光片的直接日射强度值 S_L/τ ，则可得到波长大于上述波长的直接日射强度。但是，为了代入(3)式计算，还需进行：1.日地距离订正，2.气压订正。

1.日地距离订正 由于一年之内日地距离无时不变化着，为了比较，必须统一，一般均取日地平均距离 R_0 。日地平均距离情况下的直接日射强度 S_0 ， m 与日地距离为 R 时直接日射强度 S_m 的关系为

$$S_{0,m} = \frac{R^2}{R_0^2} S_m \quad (9)$$

以 R 为单位 (称为天文单位) 表示的 R 叫做地球向径。地球向径逐日的具体数值可从天文年历中查到。

2.气压订正 为了说明问题，这里需要引入均质大气和均质大气高度两个概念。所谓均质大气即空气密度 ρ 均一的大气。所谓均质大气高度即假如实际大气呈现均质状态时的高度 H ，它满足下列关系式：

$$H = b/\rho g \quad (10)$$

式中 b 为气压， g 为重力加速度。

从(10)式可知，任意气压时均质大气高度 H 与标准气压下 ($b_0 = 1000$ 毫巴) 均质大气高度 H_0 有下列关系：

$$\frac{H}{H_0} = \frac{b}{b_0} \text{ 或 } H = \frac{b}{b_0} H_0 \quad (11)$$

另一方面， m 可以看做是大气中光程长短的一个度量。这样就可以取 H 做为这个长度的单位。那末光程 L 就可以写做：

$$L = mH \quad (12)$$

将(11)式代入(12)式中，则有

$$L = m \frac{b}{b_0} H_0 \text{ 或 } L = m_0 H_0$$

这里

$$m_0 = \frac{b}{b_0} m \quad (13)$$

(13)式就是要找的关系。 m_0 称为绝对光学质量， m 则称为相对光学质量，它的用法可举例说明之。在1000毫巴等压面上，当太阳高度角为30°时， $m =$

$$\frac{1}{\sin 30^\circ} = 2，而此时 m_0 = \frac{1000}{1000} \cdot 2 = 2，在500毫巴等压面上，当太阳高度角为30°时，m = 2，而 m_0 = \frac{500}{1000} \cdot 2 = 1.$$

假设使用的滤光片其牌号为 RG₂，考虑到前述种种因子和订正，则可按下式计算。

$$S_{0,m} - \frac{R^2}{R_0^2} (S - \frac{1}{\tau} S_L) = \int_0^{63} S_{0,\lambda} \cdot P_{\lambda(F)}^{m_0} d\lambda \quad (14)$$

根据(14)式可预先做出以 β 为参量的列线图或表以利查算。