

太阳辐射穿过大气层所发生的物理现象

王廷江 杨丽珊

太阳是太阳系的中心天体，是太阳系中最大的行星，也是离地球最近的恒星。人们肉眼所看见的太阳表面，叫太阳的光球层，其有效温度为 5762K，厚度约 500 千米，太阳辐射的绝大部分能量都是从这里发出。地球是被一层约 1000 千米厚的气体所包围，该层气体称大气层。太阳辐射通过大气层过滤照射到地面，是地球上主要能量来源，也是被动遥感系统中主要的辐射源。

太阳辐射是太阳光球层产生的，辐射特性与 5800K 黑体辐射特性基本一致。太阳辐射是连续谱，但在高分辨率光谱仪下观察，会发现约有 26000 条离散的暗谱线，叫夫琅和费吸收线，是由光球层中原子的共振吸收所致。太阳辐射的能量主要集中在可见光和近红外，约占总量的 80%，其中可见光波段约占辐射总量的 46%，最大辐射强度位于波长 0.47 μm 左右，所以太阳辐射一般称为短波辐射。

地球周围的大气层在垂直方向上可分为对流层、平流层、电离层。主要成分为分子和其他微粒，分子主要有： N_2 和 O_2 ，约占 99%； O_3 、 CO_2 、 H_2O 及其他分子约 1%。微粒主要有烟、尘埃、雾、小水滴及气溶胶等。距地面越高，大气成分含量越少，空气越稀薄。

大气层对太阳辐射的吸收

在太阳辐射的作用下，大气分子会发生电子跃迁或分子振动能级跃迁以及分子转动能级跃迁。对某种特定的物质来说，这种跃迁的能力是恒定不变的。正是由于这些跃迁，使分子吸收太阳辐射中的某些波段能量转变为分子的内能，从而使得这些波段的太阳辐射强度衰减，甚至某些波段完全不能通过大气层。大气中对太阳辐射吸收较强的几种成分为 O_2 、 O_3 、 CO_2 、 H_2O 等。因 O_2 在太阳辐射下存在电子在 $^3\Sigma^-_g \rightarrow ^3\Sigma^-_u$ 、 $^3\Sigma^-_g \rightarrow ^3\Sigma^-_u$ 、 $^3\Sigma^-_g \rightarrow ^1\Sigma^-_g$ 、 $^3\Sigma^-_g \rightarrow ^1\Delta_g$ 之间的跃迁，将分别吸收太阳辐射中的 0.1752 μm ~ 0.1925 μm 、0.1752 μm ~ 0.1925 μm 、0.76 μm 附近、1.27 μm 附近的能量，特别是电子在 $^3\Sigma^-_g \rightarrow ^3\Sigma^-_u$ 的跃迁，对太阳辐射有很强的吸收能力，只要很薄的一层 O_2 对相应波段大气成为不透明，其余电子的跃迁吸收能力比较弱。大气中的 O_3 是由 O_2 光致分解后氧原子与氧分子结合而成，是具

有固有电偶极矩分子。虽含量少，但在紫外和红外有很强的吸收能力，如在紫外的 0.22 μm ~ 0.32 μm 和红外的 9.6 μm 处吸收能力特别强。由于 O_3 和 O_2 在紫外有很强的吸收作用，太阳光谱中波长小于 0.3 μm 的短波部分几乎全部被吸收掉。 CO_2 也是具有电偶极矩的分子，因而在红外光谱中有很强的吸收能力。如在红外的 2.7 μm 、4.3 μm 、14.5 μm 处的吸收能力较强。 H_2O 的吸收对大气的影 响很广泛，从可见光、红外直至微波，都有水的吸收带。 H_2O 的振动、转动跃迁在 2.5 ~ 3.0 μm 及 5.0 ~ 7.5 μm 有两个极强的吸收带。由于 H_2O 的纯转动能级跃迁，在 16 μm 至 24 μm 的波长范围内也会吸收大部分能量，当波长大于 24 μm 的大气几乎成为不透明的。在微波段， H_2O 在 0.94mm、1.63mm 及 1.35cm 处也有 3 个吸收峰。此外 N_2O 、 CH_4 、 NH_3 在红外也有吸收能力。大气的吸收谱如图 1 所示。

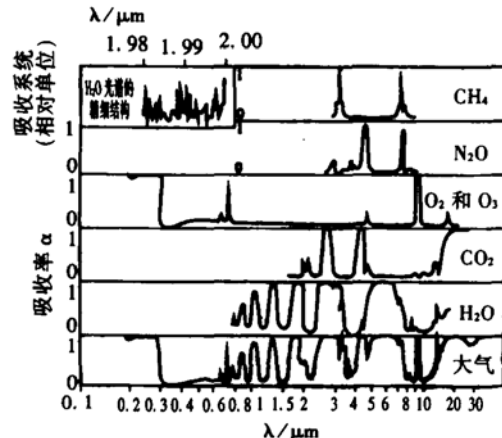


图 1 大气吸收谱

大气对太阳辐射的吸收主要位于太阳辐射的紫外和红外区，对可见光区基本上 是透明的。

大气对太阳辐射的散射

太阳辐射通过大气层时会与大气原子、分子和微粒发生衍射现象，即大气对辐射的散射。散射将削弱太阳辐射到达地面的能量。大气散射有瑞利、米氏、无选择散射 3 种。瑞利散射是由原子和分子引起，其散射的强度与 λ^{-4} 成正比。这种散射对可见光非常明显，日常所见的许多天空景象就是可见光被这样散射所致。如白昼的天空是亮的，是因大气对可见光的散射，若无大气层，即使在白昼，人们仰望

天空将会见到光耀眩目的太阳悬挂在漆黑的背景中，这是宇航员常见的空中景象。晴朗的天空呈蔚蓝色，是因蓝光波长短，瑞利散射强；日出、日落太阳呈红色，是因太阳辐射通过的大气层最厚，可见光中短波几乎全散射，只剩下波长较长的红光的结果；正午的太阳呈白色，是因太阳辐射穿过的大气层最薄，可见光中短波段散射不多。当微粒的直径与波长相当时发生的散射，为米氏散射，其散射强度与波长的 λ^{-2} 成正比。这种散射主要是由大气中的微粒如烟、尘埃、小水滴及气溶胶等引起，如云雾对红外线的散射主要就是米氏散射。当大气中的微粒直径比波长大得多时发生的散射为无选择散射，其散射的强度与波长无关。平常看见的云雾呈白色，是因云雾对可见光是无选择散射。云雾对太阳辐射既有吸收又有散射作用，其散射作用是主要的。当云的厚度超过500米，吸收已成为一个常数，散射随云层厚度增加而增强，当云层厚度超过1200米时，太阳的辐射已全部被挡住。

大气的吸收和散射是在晴朗的天空对太阳辐射的主要能量损失，如图2所示，是太阳辐射通过洁净大气前后的辐照分布曲线。由于太阳辐射通过大气的透射率(τ)为： $\tau = e^{-(\alpha + \gamma)x}$ ，式中 $(\alpha + \gamma)$ 为衰减系数， α 为大气分子对太阳辐射吸收系数， γ 为大气中气体分子、烟、和雾等对太阳辐射的散射系数， x 为路径长度， e 为自然对数。从该式可以看出，太阳辐射通过大气到达地面的强弱取决于大气层的厚度以及大气对太阳辐射吸收和散射作用。

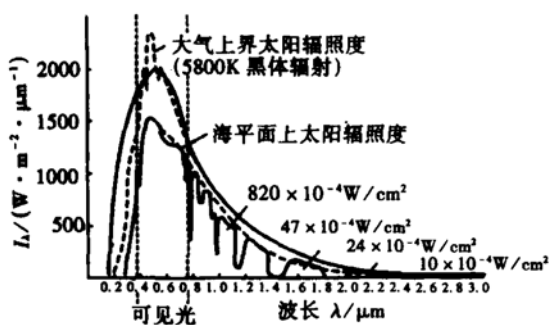


图2 太阳辐照度分布曲线

大气对太阳辐射的折射与反射

为何早晨看见的太阳比中午大，其原因是太阳辐射通过大气层时要发生折射。因折射率与空气的密度有关，密度越大，折射率也越大，因而太阳辐射在大气层中的传播是一条曲线。地面接收的太阳辐射的方向与实际的辐射方向相比偏离了一个角度，

如图3所示，该偏离的角度为折射值 R 。

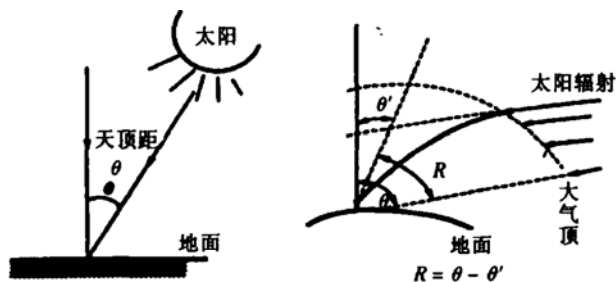


图3 天顶距(θ)与折射值(R)

当太阳垂直入射时，天顶距为0，折射值 $R=0$ ；当天顶距为 45° 时，折射值 $R=1'$ ；当天顶距为 90° 时，折射值为 $R=35'$ ，这也是为何早晨的太阳看起来比中午大，因为太阳在地平线上时，折射角度最大，甚至它还没有出地平线，由于折射，地面上已可见到它了。折射不会引起太阳辐射能量的衰减。

太阳辐射在传播过程中，若通过两种介质的交界面还会出现反射现象。气体、尘埃的反射作用很小，反射现象主要发生在云层顶部，取决于云量，而且各种波段都受到不同程度的影响，削弱了电磁波到达地面的强度。太阳辐射到达地面时，就可见光和红外而言，被云层和其他粒子反射回去的比例最大，约占30%，散射约占22%，吸收约占17%，通过大气层到达地面的能量仅占入射总能量31%。

太阳辐射通过大气层除被大气层吸收、散射、折射和反射外，太阳辐射也将引起大气辐射。在高度约77~100千米内，太阳辐射将引起大气原子和分子的激发，当被激发的原子和分子恢复到正常状态时会发光，这就是气辉，是大气的一种辐射方式。气辉的强度很弱，它在地面的照度相当于一烛光的灯在100米处产生的照度，其强度随日、季、地磁活动、纬度等变化而变化。大气的短波辐射是由大气对太阳辐射的散射引起的。

(重庆荣昌西南农业大学基础部 402460)

语 丝

在一个或两个世纪、或者1000年之后，人们将以一种新的方式、一种更快乐的方式生活。我们不能活到那时并目睹它，可是那就是我们为什么生活、为什么工作的缘由。那也是我们为什么要忍耐的缘由。我们正在创造它。那是我们生存的目的。我们能认识的唯一快乐就是朝着那个目标而工作。

——契诃夫《三姐妹》中的人物韦希宁