

北京红外窗区大气透过率观测

吴承权 王保华 王光华 张立军 夏青 刘志权

(卫星气象中心 100081)

摘要 文章总结 1990—1995 年对红外窗区大气透过率的观测结果。以实测整层大气透过率与理论模拟计算透过率(用 LOWTRAN5 计算)作了对比,并对大气中的水汽、微量气体和大气污染物对透过率的影响作了初步分析。

关键词 太阳光谱 大气透过率

1 引言

红外窗区中三个波段(3.55—3.93 μm , 10.3—11.3 μm , 11.5—12.5 μm)是气象卫星的重要红外探测通道。由于这几个波段十分透明且对温度的灵敏度高,为卫星遥感提供了地表、海面和云的信息。虽然它是最透明的窗区,但仍然受到含量很少的 H_2O , CO_2 和 O_3 等各种微量气体吸收的影响,以及大气气溶胶粒子和大气污染物的影响,因此造成大气传输的衰减。本文将实测的整层大气透过率和理论模拟计算大气透过率进行对比,对模拟计算进行大气削弱订正。

为了开展上述工作,我们从 1990 年 8 月至 1995 年底,共经历 5 年多时间,最初只能开展红外单窗区的观测工作。后经设计改进,从 1991 年 10 月可以同时进行红外长短窗区的测量。现将 3.55—3.93 μm 气象卫星遥感通道共 71 天,10.3—11.3 μm 和 11.5—12.5 μm 通道各 77 天的观测资料进行了数据处理,其中以短窗区作为分析的主要对象。并比较 1990—1995 年平均实测大气透过率与理论模拟计算值。当天顶角 $\theta=0^\circ$ 时,两者偏差最小为 4%,最大为 10%左右。当天顶角 $\theta=60^\circ$ 时,其偏差最大为 13%左右。但 1991 年实测的与模拟计算的整层大气透过率偏差值 δ

为 1990 年的 3 倍左右,而且实测大气透过率下降了 15—20%。这是由于 1991 年菲律宾皮纳图博火山爆发,其强度为 5—6 级,喷射高度达 30 公里以上。这些火山灰或气溶胶粒子通过环流和扩散过程输送到全球,并在高空大气中存留几个月到一年以上。由于在高空中长期漂浮而减弱抵达地面的太阳辐射,其结果使某些地区大气透明度下降而影响大气透过率。1991 年不仅北京地区实测大气透过率下降了 15—20%,位于美国夏威夷的莫纳洛观测台(NOAA/CMDL Mauna Loa Observatory)在 1992 年公布 1991 年该地区大气透过率也下降了 10—15%左右。

2 观测和模拟计算方法

2.1 观测方法

观测大气透过率的实测系统包括直径 $\Phi=420\text{mm}$ 的定天镜(主镜和副镜)、导光系统、分光计及计算机、打印机,见图 1。定天镜安装在能半自动开闭、直径为 $\Phi 5$ 米半球形可旋转圆顶实验室内,其最大方位观测角为 210 度。定天镜主镜绕极轴可以转动从而对准太阳。而主镜固定座可沿圆顶内十字形轨道移动。定天镜副镜 2 和导光系统 3、4、5 镜绕高低轴和方位轴转动,完成对入射光路的调节。第 5 镜是一块半透明半反射红外滤

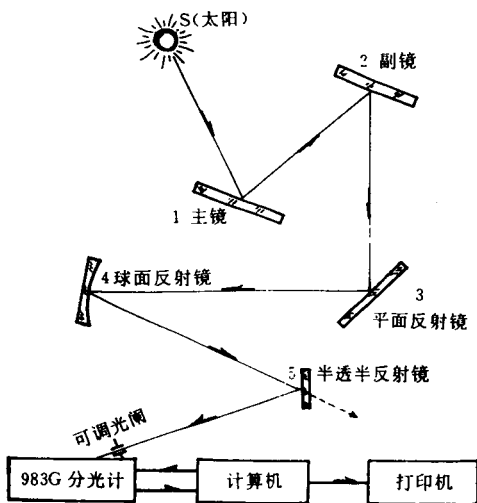


图1 实测大气透过率系统方框图

光片,反射可见光波段,使入射分光度温度大大减低。983G 红外分光计及其计算机、打印机是美国珀金-埃尔默(Perkin-Elmer)公司产品,分光计波数范围为 $4000-180\text{cm}^{-1}$,分辨率为 $0.5-10\text{cm}^{-1}$ 共 7 档。当观测时,首先通过定天镜对准太阳光后即自动跟踪太阳,由导光系统导入红外分光计,以计算机控制分光计进行测试,并打印出太阳光谱的谱图及其强度,同时存入软盘。然后通过数据处理获得实测大气透过率。

整层大气透过率的数据处理是根据布盖-朗伯特定律确定

$$S_{m\nu} = S_{0\nu} \cdot e^{-\epsilon_{\nu} \cdot m_t} \quad (1)$$

式中 $S_{m\nu}$ 和 $S_{0\nu}$ 分别为地面观测的和大气外界的单色太阳辐射强度, ϵ_{ν} 为垂直大气光学厚度, m_t 为 t 时的大气质量,随太阳高度角变化。由于分光计精度的限制而不可能测出单色辐射强度,只能测出有限光谱区 $\delta\nu$ 的辐射强度

$$S_{m\delta\nu} = S_{0\delta\nu} \cdot e^{-\epsilon_{\delta\nu} \cdot m_t} \quad (2)$$

式中 $\delta\nu$ 为仪器的分辨率。

在分光计测量范围内,其测量电压值 $V_{m\delta\nu}$ 反映出太阳辐射传输到地面而输入到分光计的值 $S_{m\delta\nu}$ 的大小。

$$V_{m\delta\nu} = C \cdot S_{m\delta\nu} = C \int_{\nu_1}^{\nu_2} S_{m\delta\nu} \sigma(\nu' - \nu) d\nu \quad (3)$$

式中, C 是与探测器灵敏度、放大增益、光学透过率等有关的常数, $\sigma(\nu' - \nu)$ 为仪器光谱响应函数。在资料处理中,选择波段 $\Delta\nu$ 与气象卫星遥感仪器通道一致,这个波段宽度 $\Delta\nu > \delta\nu$, 则可用数值积分中梯形求积分公式,求得 $\Delta\nu$ 的太阳辐射强度的电压计算值,即

$$V_{m\Delta\nu} = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{2} [V_{m\delta\nu}(i) + V_{m\delta\nu}(i+1)] \cdot [\nu(i) - \nu(i+1)] \right\} \quad (4)$$

式中的 n 为节点个数, $V_{m\delta\nu}$ 为第 i 节点的红外分光计测量值。

观测是在天气晴朗,大气稳定,天空无云即垂直大气光学厚度不随时间变化的条件下进行的,根据公式(2)、(3)可得

$$\ln V_{m\Delta\nu} = \ln V_{0\Delta\nu} - \epsilon_{\Delta\nu} \cdot m_t \quad (5)$$

只要测出在不同太阳高度角下的不同大气质量数 m_t 时的太阳辐射强度的电压 $V_{m\Delta\nu}$, 用最小二乘法对 $\ln V_{m\Delta\nu} \sim m_t$ 进行曲线拟合,即可求出 $V_{0\Delta\nu}$ 值。则

整层大气透过率即可通过下式求得^[1,2]:

$$\tau_{\Delta\nu} = V_{m\Delta\nu} / V_{0\Delta\nu} \quad (6)$$

2.2 理论计算考虑

理论模拟计算大气透过率是气象上很重要的课题。红外窗区是地气系统的能量交换主要场所,因此各国的气象卫星上都用红外窗区对表面特征进行遥感,以获得各种表面(地面、洋面、云面等)的资料。

辐射在红外窗区和吸收带的传输机制不同。在吸收带,大气的光学特性主要由气体分子的选择性来决定;而在窗区,这种选择性吸收只占很次要的地位。模拟计算透过率所考虑的因素是:

①窗区中水汽的线吸收:水汽在对流层以下含量很高,是影响红外辐射的重要因素。

②窗区中均匀混合气体的线吸收:所谓均匀混合气体是指由 CO_2 、 N_2O 、 CH_4 气体均匀混合在一起的混合物。其成分随高度变化不大,在 80 公里以下可视为常数。 CO_2 是 $3 \sim 5, 8 \sim 14\mu\text{m}$ 红外辐射的主要吸收和发射体之一,但对 3 个气象卫星红外通道只略有

影响。

③窗区中臭氧的线吸收： O_3 主要集中在 10—40km 的高空，它对卫星遥感透过率的影响也是不可忽略的。

④窗区中氮气压力诱导连续吸收：氮是大气中含量最多的气体之一。分子氮有一个中心在 2330cm^{-1} 附近的压力诱导吸收带。因此对红外短窗区有较明显的影响。

⑤窗区中水汽的连续吸收：这是影响红外窗区吸收的主要因素。其来源可能有三方面：a. 水汽吸收线远翼的累积；b. 由于分子间的碰撞引起分子谱线增宽，包括两个水分子之间以及水分子同另外分子之间（特别是 H_2O 与 N_2 之间）的碰撞；c. 其他的吸收机制，例如 H_2O 二倍体的吸收。

⑥气溶胶的吸收：气溶胶处在地球表面，其浓度从地面向上很快减少，几乎按指数递减。本文计算透过率时，对气溶胶的影响只考虑 9 公里以下。

大气的光学特性依赖于包括辐射特性和大气本身在内的一系列因子。特别是红外窗区，作为大气吸收主要因子的水汽连续吸收的机制至今尚无定论，一般很难根据光谱理论进行计算。但从大气光谱学的基本理论出发，根据大量室内外实验资料，可以得到某一指定波长范围内的吸收函数随主要因子变化的规律性，从而建立各种形式的参数化表达式，这是切实可行的，本文用 LOWTRAN5 来计算大气透过率^[3,4]。

2.3 透过率的计算

基本假设 对于红外窗区，大气的折射效应可忽略不计，而只考虑地球曲率的影响。把大气从地面到大气层顶分层后，假设每个薄层内大气是均匀的，即各层中温、压、湿及臭氧浓度等不变。假定大气是无散射大气。在计算中假定透过率 $\tau = f(c_o \cdot w)$ ，即光谱相关量 c_o （吸收系数）和路径相关量 w （等效吸收物质总量）可单独计算，而透过率是两者乘积的函数。

计算透过率的基本思路如下

①在星载辐射仪的扫描范围内，离星下点不同距离，观测卫星的卫星天顶角 $\theta_{i-7} = 60^\circ - 0^\circ$ ，每 10 度为一档，计算 7 种情况下的透过率。 $\theta_i = 0^\circ$ 即星下点观测值。

②把大气从地面 ($Z=0$) 到大气层顶 ($P=0$) 分为 40 层，每层大气是均匀的，分别计算出每层大气路径上的透过率。

③由于大气吸收特性与频率有关，因此计算某一窗区的透过率时，必须把该窗区分成足够小的波段，在每一波段上近似认为其吸收特性不随频率而变。本文计算中把 $3.55 \sim 3.93\mu\text{m}$ 红外短窗区分为 59 段，分别计算各段上的平均透过率。

④由于地球曲率的影响，即使把大气等分成若干层，在卫星非垂直扫描时，每层辐射传输的倾斜路径也是不等的，因此，在计算中还要考虑地球曲率的影响。

⑤利用一系列经验公式计算每种物质某层、某频率段的透过率。

⑥把每种物质某层、某频率段的透过率乘在一起，就是大气某层、某频率的透过率了。

⑦为了得到辐射仪某一宽通道内的平均透过率，把前面计算的某一频率上的大气透过率与仪器光谱响应函数求卷积。

LOWTRAN5 就是按上述思路，引入经验表达式做成 FORTRAN5 程序。我们用 LOWTRAN5 可计算出不同天顶角下理论模拟的整层大气透过率。

3 计算结果

实测和理论模拟计算都按天顶角 $\theta = 0^\circ - 60^\circ$ ，共分七档计算。表 1 和表 2 分别列出 1990 年和 1991 年观测的和模拟计算的整层大气透过率随天顶角的变化。其中 τ_o 和 τ_c 分别代表实测和理论模拟计算大气透过率，两者偏差以 δ 表示。即

$$\delta = |\tau_c - \tau_o| \quad (7)$$

图 2a、b 和图 3a、b 表示实测的 $3-5\mu\text{m}$ 和 $8-14\mu\text{m}$ 经大气衰减后太阳光谱能量图

表 1 1990年 3.55—3.93 μm 大气透过率. 08 点北京(地面)现象台气象要素

日期	天 顶 角							温度 C	湿度 %	气压 hPa	能见度 km	总含水量 cm	
	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°						
9月 14日	τ_c	0.7660	0.8004	0.8200	0.8343	0.8425	0.8468	0.8489	20.1	66	1009.3	20	1.344
	τ_o	0.6810	0.741	0.777	0.800	0.814	0.822	0.824					
	δ	0.111	0.074	0.052	0.041	0.030	0.029	0.029					
9月 15日	τ_c	0.7570	0.7933	0.8147	0.8233	0.8369	0.8413	0.8435	16.8	68	1012.5	12	2.214
	τ_o	0.664	0.726	0.764	0.788	0.803	0.811	0.814					
	δ	0.123	0.089	0.063	0.042	0.040	0.037	0.036					
9月 28日	τ_c	0.7913	0.8220	0.8406	0.8524	0.8599	0.8637	0.8654	16	69	1011.8	25	1.49
	τ_o	0.684	0.740	0.780	0.803	0.816	0.824	0.826					
	δ	0.135	0.100	0.071	0.057	0.050	0.046	0.047					
9月 29日	τ_c	0.7440	0.7834	0.8450	0.8200	0.8290	0.8336	0.8358	16.3	78	1010.9	7	1.552
	τ_o	0.628	0.695	0.735	0.763	0.779	0.778	0.791					
	δ	0.156	0.113	0.088	0.700	0.060	0.060	0.054					
9月 30日	τ_c	0.8702	0.8899	0.9007	0.9092	0.9140	0.9165	0.9177	14.7	40	1016.7	15	0.74
	τ_o	0.882	0.906	0.921	0.929	0.935	0.937	0.938					
	δ	0.014	0.018	0.023	0.022	0.023	0.022	0.022					
10月 4日	τ_c	0.7775	0.8002	0.8299	0.8425	0.8504	0.8545	0.8564	14.7	84	1009.9	45	2.08
	τ_o	0.662	0.725	0.763	0.787	0.802	0.810	0.812					
	δ	0.149	0.094	0.081	0.066	0.057	0.052	0.051					
10月 16日	τ_c	0.8460	0.8690	0.8529	0.8907	0.8974	0.9002	0.9026	17.0	43	1016	28	0.997
	τ_o	0.868	0.895	0.911	0.921	0.927	0.930	0.931					
	δ	0.03	0.03	0.032	0.033	0.033	0.033	0.031					
10月 18日	τ_c	0.7966	0.8268	0.8450	0.8565	0.8638	0.8676	0.8694	10.5	80	1020.1	6.0	1.472
	τ_o	0.663	0.725	0.764	0.788	0.802	0.811	0.813					
	δ	0.168	0.123	0.096	0.081	0.072	0.066	0.064					
10月 19日	τ_c	0.8058	0.8346	0.8520	0.8600	0.8700	0.8736	0.8758	12.1	74	1013.5	5.0	1.431
	τ_o	0.678	0.738	0.775	0.798	0.812	0.820	0.822					
	δ	0.128	0.097	0.077	0.062	0.067	0.061	0.061					
10月 26日	τ_c	0.8357	0.8605	0.8754	0.8949	0.8908	0.8940	0.8955	7.7	74	1018.9	10	1.374
	τ_o	0.725	0.778	0.810	0.832	0.842	0.849	0.851					
	δ	0.133	0.096	0.074	0.062	0.055	0.050	0.050					
10月 27日	τ_c	0.8330	0.8580	0.8730	0.8826	0.8886	0.8908	0.8932	6.5	85	1017.0	4	1.240
	τ_o	0.725	0.778	0.810	0.830	0.842	0.849	0.851					
	δ	0.130	0.093	0.072	0.060	0.052	0.047	0.047					
11月 10日	τ_c	0.8540	0.8763	0.8890	0.8983	0.9036	0.9064	0.9077	-1.2	51	1020.5	20	1.27
	τ_o	0.863	0.891	0.908	0.918	0.924	0.927	0.928					
	δ	0.011	0.034	0.021	0.019	0.023	0.023	0.022					
11月 12日	τ_c	0.8529	0.8750	0.8884	0.8969	0.9022	0.9050	0.9063	2.4	87	1014.2	2.0	0.849
	τ_o	0.748	0.798	0.827	0.845	0.856	0.863	0.864					
	δ	0.123	0.088	0.069	0.058	0.046	0.046	0.047					
12月 12日	τ_c	0.8727	0.8922	0.9039	0.9103	0.9160	0.9185	0.9197	-7.5	65	1023	2.5	0.529
	τ_o	0.806	0.845	0.868	0.882	0.891	0.896	0.897					
	δ	0.076	0.053	0.040	0.031	0.027	0.025	0.024					
平均值	τ_c												
	τ_o												
$\sum \delta_i/n_i$	δ	0.106	0.0786	0.061	0.050	0.045	0.043	0.042					

表 2 1991 年 3.55—3.93 μm 大气透过率.08 点北京(地面)观象台气象要素

日期	天 顶 角							温度 ℃	湿度 %	气压 hPa	能见度 km	总含水量 cm	
	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°						
4 月 8 日	τ_c	0.7977	0.8270	0.8450	0.8575	0.8649	0.8688	0.8705	6.1	81	1010	30.0	1.327
	τ_o	0.646	0.712	0.751	0.776	0.792	0.800	0.803					
	δ	0.190	0.140	0.125	0.096	0.084	0.086	0.083					
4 月 18 日	τ_c	0.8820	0.9007	0.9115	0.9184	0.9227	0.9251	0.9261	9.1	31	1018	26.0	0.267
	τ_o	0.587	0.661	0.706	0.735	0.753	0.763	0.776					
	δ	0.33	0.266	0.225	0.199	0.184	0.175	0.173					
4 月 20 日	τ_c	0.8647	0.8852	0.8975	0.9054	0.9104	0.9030	0.9142	12.7	30	1017	10.0	0.499
	τ_o	0.570	0.645	0.692	0.722	0.740	0.751	0.754					
	δ	0.341	0.271	0.230	0.202	0.187	0.177	0.175					
10 月 31 日	τ_c	0.8370	0.8623	0.8770	0.8863	0.8922	0.8953	0.8967	3.3	69	1016	11.0	0.8284
	τ_o	0.486	0.570	0.623	0.685	0.680	0.692	0.696					
	δ	0.419	0.338	0.2896	0.257	0.238	0.227	0.223					
11 月 7 日	τ_c	0.8796	0.8982	0.9094	0.9165	0.9210	0.9333	0.9244	3.6	32	1012	12.0	1.076
	τ_o	0.650	0.715	0.754	0.779	0.795	0.803	0.801					
	δ	0.261	0.224	0.170	0.150	0.138	0.130	0.128					
11 月 14 日	τ_c	0.8800	0.8986	0.9097	0.9168	0.9212	0.9235	0.9247	1.4	55	1027	12.0	0.357
	τ_o	0.660	0.724	0.762	0.786	0.801	0.809	0.812					
	δ	0.250	0.195	0.163	0.143	0.131	0.125	0.122					
平均值	τ_c												
	τ_o												
	$\sum \delta_i/n_i$	0.298	0.232	0.195	0.177	0.160	0.153	0.151					

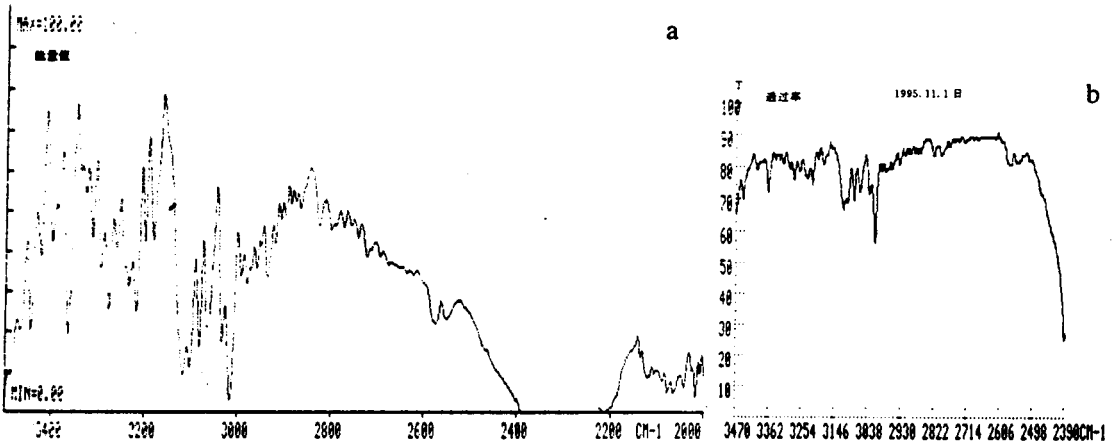


图 2 a 3—5 μm 太阳光谱能量图, b 3—5 μm 整层大气垂直透过率谱图

和整层垂直透过率谱图。

表 3 列出 1990—1995 年各年随天顶角变化的平均大气透过率最大最小偏差。

4 初步分析

在大气红外窗区(3.55—3.93 μm , 10.3—11.3 μm , 11.5—12.5 μm)波段,虽然比较“干净”,但从谱线参数和谐图中得知仍

然有水汽和二氧化碳吸收成分,其次还有一些微量气体如 CO、O₃、CH₄ 和 N₂O 等也吸收太阳红外辐射。此外,大气中还含有各种固体和液体微粒,例如气溶胶、水滴、冰晶等。它们随时空变化很大,对大气透过率都有一定的影响。

从上述表和图中的对比结果可以看出,除 1991 年外,其它年份中实测的和理论模拟

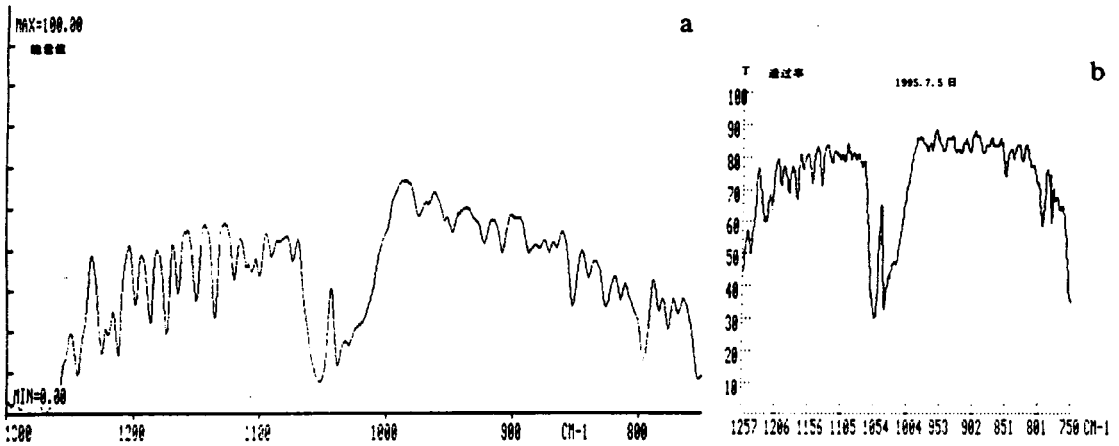


图3 a 8—14μm 太阳光谱能量图, b 8—14μm 整层大气垂直透过率谱图

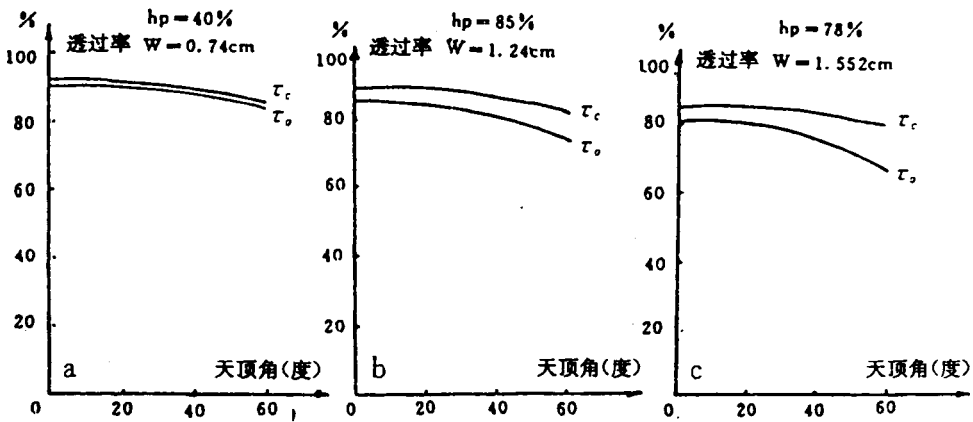


图4 3.55—3.93μm 大气透过率随天顶角的变化, h_p 为湿度, W 为整层大气总含水量, a. 1990年9月30日; b. 1990年10月27日; c. 1990年9月29日

表3 3.55—3.93μm 观测和模拟计算大气透过率年平均偏差值

天顶角 θ	年					
	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0°	0.042	0.151	0.039	0.039	0.038	0.092
60°	0.114	0.298	0.077	0.06	0.070	0.127

计算的整层大气透过率基本上很接近。当天顶角 $\theta=0^\circ$ 时, 整层大气透过率值为最大, 观测值与理论模拟计算值的偏差值小于 0.05 的占观测天数 70% 以上, 其透过率 τ_o 和 τ_c 变化在 0.80—0.93 之间。

大气对太阳辐射的传递过程是相当复杂

的, 除了有介质的吸收、散射等复杂的物理过程影响之外, 还与多变的天气条件和环境污染密切相关。

从图 4a、b、c 中可看出, 整层大气透过率 τ_o 和 τ_c 随天顶角的增大而减小, τ_o 和 τ_c 的偏差值 δ 随天顶角增大而增大。另外由表 1 中 1990 年的数据可以明显地看出, 由于湿度、总含水量和能见度的不同, 对大气透过率产生较大的影响。在整个窗区中水汽吸收贡献最大, 其次是气溶胶和其他成分的贡献相对较小。这样的结论是仅对“干净”的一般大气而言。而我们从观测中得知, 在雨后或刮大风

(4—5 级以上)时,观测结果则明显不同^[5]。

表 2 中 1991 年 4—11 月地面观测气象要素的气温、湿度、气压和能见度等项与表 1 中 1990 年观测资料的气象要素相比较,没有异常的差别。例如 1990 年 11 月 12 日与 1991 年 10 月 31 日,气象要素相差不大,实测透过率相差值为(当 $\theta=0^\circ$ 时) $\Delta=0.864-0.696=0.168$,而模拟计算透过率相差值为 $\Delta=0.9069-0.8967\approx 0.01$ 。两者差异很大。另外,我们观测时选择天气的条件是天气晴朗,天空无云才进行观测,因此天气条件基本上近似。但实测大气透过率值,当天顶角 $\theta=0^\circ$ 时,最大值 $\tau_{\max}=0.812$ (1991 年 11 月 14 日),最小值 $\tau_{\min}=0.696$ (1991 年 10 月 31 日)。与 1990 年相应天数比较 $\tau_{\max}=0.936$ (10 月 16 日),最小值 $\tau_{\min}=0.791$ (9 月 29 日),说明透过率下降 10% 以上。而理论模拟计算值,在相同天顶角下,1991 年最大值 $\tau_{\max}=0.9261$ (4 月 18 日),最小值 $\tau_{\min}=0.8705$ (4 月 8 日,见表 2),与 1990 年相比较 $\tau_{\max}=0.938$ (9 月 30 日),最小值 $\tau_{\min}=0.8358$ (9 月 29 日,见表 1),下降 1—3% 左右。因此,观测值 τ_o 和理论模拟计算值 τ_c 的偏差 δ 增加很多。1991 年年平均透过率偏差 δ 是 1990 年的 3 倍(见表 3),4—11 月份平均观测透过率下降了 15—20% 左右(见图 5)。初步分析,这是因为 1991 年 4—11 月份期间大气受到污染引起的。此时正是 1991 年菲律宾火山爆发和科威特油井燃烧时期,使高空中烟尘微粒和空气杂质增多,大气透明度降低,直接辐射减少而散射辐射增加,以致使太阳到达地面的辐射减弱,而且这些杂质对红外光谱有一定的吸收作用。对于科威特油井燃烧,世界气象组织、美日和欧共体以及我国等气候专家都进行了研究分析。他们认为当时高空盛行西风,石油火焰排放出的碳粒子和污染物组成的烟云,四外飘流,对大范围地区产生影响^[5]。如美国莫纳洛(Mauna Loa)观测站这样远离科威特的全球监视网监测站都测到了烟灰粒子的浓度增加^[7]。美国 NOAA 的专家

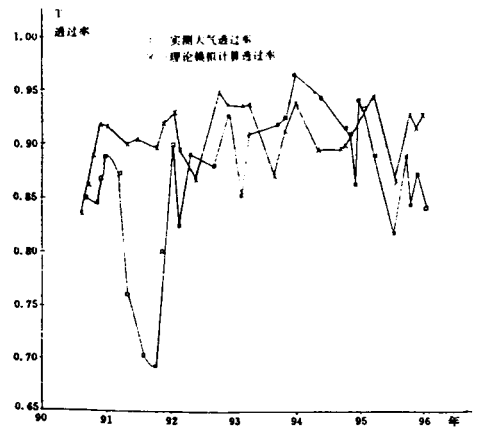


图 5 实测大气透过率与理论模拟计算透过率对比

认为,1991 年菲律宾皮纳图博火山爆发属于 5—6 级,是有记录以来最猛烈的火山爆发之一。从 4 月 1 日到 7 月 8 日该火山喷发的二氧化硫所形成的硫酸云层比 1982 年墨西哥埃尔奇琼火山大约多一倍。据卫星资料显示,到 6 月 24 日已漂浮在非洲大陆上空。不到一个月日本上空也发现该火山喷射到平流层中的物质。美国位于夏威夷的莫纳洛观测台(19.533°N, 155.578°W, elv 3.4km)的观测资料也表明,由于 1982 年和 1991 年火山爆发使该地区大气透过率下降了 15—20% 左右^[8](见图 6)。

从上述分析可以看出,国外与我们的观测资料是一致的。火山爆发和油井的燃烧对北京地区高空大气的污染是存在的,并影响大气的透明度。另外这些气体含量与微粒的增加,也增加了对太阳光谱的吸收与散射,从而引起观测和理论模拟计算大气透过率偏差增大。因此通过大气透过率的变化,也可以检测大气污染的宏观情况。

虽然我国已有许多关于火山爆发对天气气候影响和大气污染的研究,但由于缺乏实际观测资料,难以进一步作量的分析。为此,专家们建议选择几个站点(特别是高山站),并采用其他手段如激光雷达和飞机等进行一

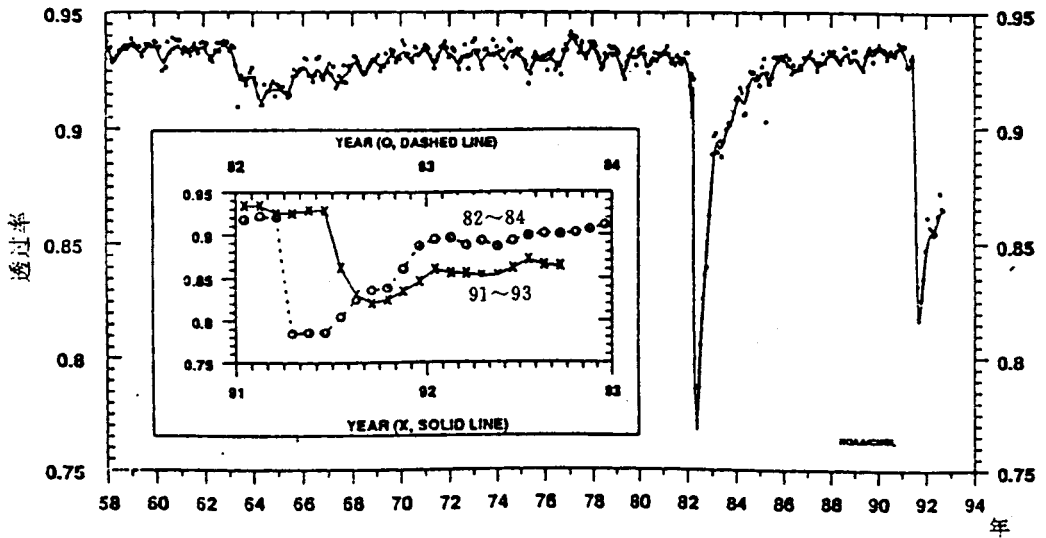


图 6 直接太阳辐射大气透过率(MAUNA LOA, HAWAII)

表 4 1995 年春、秋季节 O₃ 透过率变化情况

波数 cm ⁻¹	3月 6日	3月 25日	4月 3日	5月 4日	7月 26日	9月 27日	10月 4日	10月 5日	10月 25日	11月 2日	11月 8日	11月 10日
1042	0.624	0.667	0.558	0.539	0.599	0.701	0.719	0.820	0.753	0.760	0.786	0.779
1041	0.605	0.604	0.539	0.479	0.510	0.648	0.673	0.793	0.717	0.718	0.778	0.754

表 5 1995 年 CH₄ 透过率变化值

波数 cm ⁻¹	1月 14日	3月 25日	3月 27日	7月 5日	9月 27日	10月 4日	10月 5日	10月 25日	11月 1日	11月 8日	11月 10日	12月 7日
3016	0.512	0.495	0.429	0.400	0.447	0.449	0.531	0.554	0.565	0.494	0.584	0.455
3015	0.519	0.499	0.422	0.360	0.447	0.447	0.526	0.546	0.570	0.492	0.584	0.451
3014	0.530	0.510	0.427	0.358	0.454	0.442	0.533	0.541	0.575	0.494	0.585	0.453

波数 cm ⁻¹	12月 8日	12月 19日	12月 20日	12月 22日	12月 25日
3016	0.537	0.446	0.508	0.528	0.600
3015	0.544	0.442	0.511	0.537	0.610
3014	0.545	0.444	0.512	0.533	0.621

些必要的观测和测量,以期根据实测资料进行分析并得出有说服力的定量结论。

关于大气中的微量气体臭氧 O₃ 的影响,在 8—14μm 红外长窗区的窄而强 9.6μm (1041cm⁻¹) 波段可以观测到。它使一年四季中大气透过率也有较大的变化。以 1995 年我们的实测为例,见表 4,秋季大气透过率最高为 80% 左右,而春季大气透过率最低为 50% 左右。这说明大气中秋季臭氧含量最低而春

季最高。这与世界气象组织臭氧监测网地面观测资料分析相一致。

甲烷(CH₄)是大气中重要的温室气体成份,对全球低层臭氧的变化也有明显影响,在表 5 中列出 1995 年我们实测的甲烷吸收波段大气透过率变化情况,最低为 3 月 27 日 CH₄(3015cm⁻¹) 大气透过率 $\tau_{\lambda}=0.442$, 而最高值为 12 月 25 日 $\tau_{\lambda}=0.610$, 其变化量在 20% 左右。

总之,五年来,我们开展了对红外窗区初步观测和研究,获得了珍贵的有关大气窗区在北京地区太阳光谱能量和大气透过率的实测数据资料。(转 页)

(接 54 页)

参考文献

- 1 张广顺等. 红外长窗区大气透过率的测量. 气象, 1989, 15 (11): 47—50
- 2 王光华等. 红外窗区整层大气透过率观测资料初步分析. 卫星气象, 国家卫星气象中心, 1991(12): 103—108
- 3 Selly J E A and McClatchey R A. Atmospheric Transmittance From 0. 25 to 28. 5 Microns; Computer Code LOWTRAN3. AFCRLTR—75—0255, AD A017734, 1975
- 4 F X Keizys et al. Atmospheric Transmittance and Radiance; the LOWTRAN 5 Code. proceedings of SPIE, 1981, 277
- 5 吴承权等. 红外短窗区大气透过率. 卫星气象, 国家卫星气象中心, 1993, 12: 71—78
- 6 国家气候委员会编. 火山爆发及科威特油井燃烧与气候变化专题研讨会材料汇编. 国家气候委员会, 1991, 8
- 7 世界气象组织关于联合国对科威特油田大火联合行动计划, 大气部分专家会议报告. 气象科技, 1992, 1
- 8 CLIMATE DIAGNOSTICS BULLETIN. No 92/9, CLIMATE ANALYSIS CENTER, U S DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, National Meteorological Center
- 9 К Я 康德拉捷夫著, 李怀瑾等译. 太阳辐射能. 北京: 科学出版社, 1981, 40