

8—13 微米大气窗区水汽 吸收系数的观测分析

王明星 朱文琴*

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文介绍了一种处理太阳光谱的新方法,并用1978年10月在香河取得的观测资料进行了验证,得到了较好的结果。这种方法利用半天中多次光谱观测资料和当时的无线电探空资料把水汽连续吸收的两个吸收系数(强线远翼吸收与双水分子吸收)和气溶胶衰减系数一起计算出来。

一、引 言

随着红外分光技术和红外探测器的飞速发展,红外技术在空间遥感探测、天体物理、大气物理以及海洋学领域里的应用越来越广泛。随着观测精度的提高,人们迫切要求有准确的红外辐射大气传输资料,特别是对地球环境遥感和地球气候有重要意义的8—13微米大气窗区的传输资料。

到现在为止,我们还没有完全认识这一光谱间隔里大气衰减的机制,因此还不能从理论上准确地计算这一光谱范围的大气透过率,故只能依靠实际观测资料。但是,由于人们对衰减机制认识不同,处理资料所用的方法也就各不相同,再加上观测方法、使用仪器不同,观测地点的气象条件又天差地别,使得观测资料之间很难相互比较,也就大大降低了这些资料的实用价值。

理论和实验研究表明,8—13微米范围大气衰减的最主要因子是水汽连续吸收和大气气溶胶的消光。为了进一步研究这两种衰减因子,我们于1978年10月在河北省香河地区组织了一次综合观测。本文着重分析讨论水汽连续吸收和气溶胶消光。

二、水汽连续吸收系数的确定

为了尽量避开水汽吸收线的影响,我们在连续扫描光谱中选取了19个最透明的波段。在这些波段处没有强吸收线,大气衰减主要是水汽连续吸收和气溶胶连续衰减。因此,仪器的读数值(任意单位)可以写成

1979年12月17日收到。1980年2月20日收到修改稿。

* 参加观测和原始资料处理的同志有顾志芳、王庆华、张淑华等。

$$D_{\lambda} = D_{0\lambda} \cdot \tau_{\lambda} \cdot \tau_{\lambda} \quad (1)$$

其中, $D_{0\lambda}$ 是假定没有大气衰减时仪器应有的读数, τ_{λ} 和 τ_{λ} 分别代表对应于水汽吸收和气溶胶衰减的大气透过率。实验室研究表明^[5,6], 在 8—13 微米范围, 水汽连续吸收系数可以写成

$$K_{\lambda} = K_{\lambda}^c P \left(\frac{T}{T_0} \right)^n + K_{\lambda}^w \cdot P_{H_2O} \cdot \exp(1745/T - 1745/T_0) \quad (2)$$

其中, K_{λ}^c 是窗区两边强吸收线的远翼形成的连续吸收在标准状况下的吸收系数, K_{λ}^w 是标准状况下双水分子的吸收系数, P 是大气压, P_{H_2O} 是大气中水汽的分压, T 是大气温度, n 是一个经验常数, 对于一般大气路径可取 $n = 0.5$ 。

假定大气是平面平行大气, 在 100 毫巴以下使用当时探空资料, 在 100 毫巴以上利用标准大气, 把大气分成 N 个均匀层, 则(1)式可写成

$$D_{\lambda} = D_{0\lambda} \cdot e^{-K_{\lambda}^M} \cdot \exp \left[- \sum_{j=1}^N (K_{\lambda}^c a_j + K_{\lambda}^w b_j) \cdot W_j \right], \quad (3)$$

其中

$$\begin{cases} a_j = P_j \left(\frac{T_j}{T_0} \right)^{\frac{1}{2}} \\ b_j = (P_{H_2O})_j \cdot \exp(1745/T_j - 1745/T_0), \end{cases} \quad (4)$$

P_j , T_j 和 $(P_{H_2O})_j$ 分别代表第 j 层大气中的平均气压、平均温度和平均水汽分压力; W_j 是

表 1 由观测光谱计算的水汽吸收系数

波 长	K_{λ}^c (克 ⁻¹ ·厘米 ² ·大气压 ⁻¹)		K_{λ}^w (克 ⁻¹ ·厘米 ² ·大气压 ⁻¹)		大气垂直路径(水汽)透过率%	
	平均值	标准差	平均值	标准差	10月25日上午水汽含量较大	10月28日上午水汽含量很小
8.13	0.0092	0.0005	9.34	0.49	90	99
8.32	0.0088	0.0006	8.88	0.57	90.5	99
8.38	0.0097	0.0007	9.83	0.72	90	99
8.56	0.0095	0.0007	9.60	0.70	90	99
8.66	0.0100	0.0006	10.55	0.58	89	98.5
8.79	0.0090	0.0004	9.14	0.41	89	99
8.88	0.0081	0.0008	8.19	0.83	90	99
8.99	0.0088	0.0008	8.88	0.85	88	99
9.07	0.0095	0.0010	9.56	1.01	88	99
9.13	0.0090	0.0008	9.10	0.79	89	99
10.17	0.0135	0.0008	13.67	0.77	84	98
10.42	0.0080	0.0007	8.11	0.72	87	99
10.72	0.0099	0.0004	9.97	0.45	87	98.6
10.94	0.0098	0.0009	9.92	0.90	87	99
11.11	0.0099	0.0010	9.96	0.98	87	99
11.64	0.0100	0.0006	10.20	0.60	86	99
12.08	0.0100	0.0011	10.09	1.07	86	99
12.25	0.0110	0.0012	10.96	1.2	86	99
12.72	0.0150	0.0007	15.37	0.67	83	98

第 j 层大气中斜程光路上的水汽含量 (计算时已考虑到折射的影响); K_1^j 是气溶胶的衰减系数 (严格说来, K_1^j 不是一个常数, 但在观测延续时间不太长的情况下, 把它作为常数处理不会引起很大的误差); M 是相对大气质量。

假定在半天观测中, 仪器稳定, 那末, 对每一个选定波长, 半天中可有 10 多个 D_1 的观测值, 亦即对每一个波长有 10 几个 (3) 式那样的方程式。可以用最小二乘法求出 D_{01} , K_1^j , K_1^w 和 K_1^j 。结果列于表 1。图 1 给出了 K_1^w 随波长的变化。

三、关于大气气溶胶衰减

我们现有的观测资料和关于气溶胶衰减规律的认识还不足以准确地推算气溶胶衰减系数。在 (3) 式中我们把气溶胶衰减项写成 $e^{-K_1^j M}$, 并假定在半天里 K_1^j 可以近似地看成是常数。在观测延续时间不很长 (譬如取 8 时—10 时之间的观测资料)、大气浑浊状态变化不大的情况下, 这一假设对计算水汽吸收系数来说不会引起多大误差, 这样得到的 K_1^j 可以作为半天中气溶胶衰减的一种度量, 我们仍称之为“气溶胶衰减系数”。表 2 列出了两种不同天气条件下的气溶胶衰减系数和相应的大气垂直路径透过率。可以看出, 在能见度大于 30 公里的晴朗天气条件下, 气溶胶衰减很小。在中纬度地区, 晴朗天气气溶胶衰减的相对贡献要比水汽小。而在能见度小于 20 公里的条件下, 气溶胶衰减和中纬度秋季水

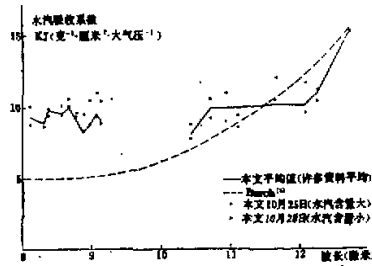


图 1 水汽吸收系数 K_1^w

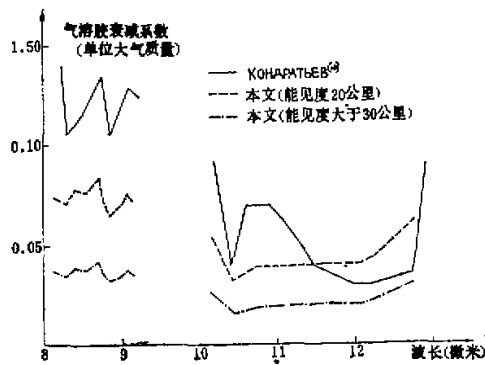


图 2 不同天气条件下气溶胶衰减系数

汽含量较多的日子水汽衰减相当。在 8—13 微米窗区的短波一边, 气溶胶衰减的相对贡献更大一些。图 2 表示气溶胶衰减系数随波长的变化。作为比较, 图中也画出了 Кондратьев 的观测结果^[10]。Кондратьев 的观测代表大城市污染大气, 比本文所得结果偏高。本文所得结果与在城市郊区干净大气条件下的其它观测结果^[10]相当一致, 也与利用观测时地面记录的气溶胶谱并假定其成分为石英时理论计算的结果^[11]较为一致。文献[10]可能过高地估计了气溶胶衰减的相对贡献。尽管如此, 对于任何精确的计算, 气溶胶消光仍然是一个不可忽视的因子, 干燥地区尤其如此。

四、讨 论

我们选择了不同天气条件下的观测资料求得了 K_s^w , K_A^w 和 K_L^w 。限于篇幅表 1 和表 2 只列出了它们的平均值。图 1 则给出了 K_A^w 的平均值和两次极端情况(水汽含量最大和最小)下的 K_A^w 值。作为比较, 图 1 中也画出了文献[5]给出的结果。表 3 给出了观测时的天气条件。

表 2 大气气溶胶衰减系数和相应的大气垂直路径透过率

波 长 (微米)	气溶胶衰减系数(单位大气质量)		垂直路径透过率(气溶胶项)%	
	能见度大于 30 公里	能见度 15—20 公里	能见度大于 30 公里	能见度 15—20 公里
8.13	0.0373	0.0745	96.1	92.8
8.32	0.0354	0.0709	96.5	93.2
8.38	0.0392	0.0784	96.1	92.4
8.56	0.0383	0.0766	96.2	92.6
8.66	0.0421	0.0841	95.9	91.9
8.79	0.0365	0.0729	96.4	93.0
8.88	0.0327	0.0653	96.8	93.7
8.99	0.0354	0.0709	96.5	93.2
9.07	0.0381	0.0763	96.2	92.7
9.13	0.0363	0.0726	96.4	93.0
10.17	0.0272	0.0547	97.3	94.7
10.42	0.0161	0.0324	98.4	96.8
10.72	0.0198	0.0399	98.0	96.1
10.94	0.0197	0.0397	98.0	96.1
11.11	0.0198	0.0398	98.0	96.1
11.64	0.0203	0.0408	98.0	96.0
12.08	0.0201	0.0404	98.0	96.0
12.25	0.0218	0.0438	97.8	95.7
12.72	0.0306	0.0615	97.0	94.0

由图 1 看出, 即使在极端情况下吸收系数 K_A^w 与其平均值的偏差也不超过 10%, 一般在 5% 左右, 这对应于大气垂直路径透过率偏差约为 1%。本文所得结果与文献[8]和[9]给出的结果非常一致, 在长波部分也与文献[5]给出的结果相当一致。这一比较使我们相信, 本文所用的处理方法是比较好的。在实验误差范围内, (3) 式能够较好地反映 8—13 微米窗区大气衰减的规律。而且, 本文给出的水汽吸收系数是标准化了的, 可以很方便

地用于实际大气。

表 3 观测时的天气概况

项 目 \ 时 间	10 月 15 日		10 月 25 日		10 月 27 日		10 月 28 日		10 月 29 日	
	7 时	9 时	7 时	9 时	7 时	9 时	7 时	9 时	7 时	9 时
水平能见度(公里)	30	30	15	15	30	30	30	30	30	30
垂直路径水汽总含量(降水厘米)	1.027	1.447	1.537	1.608	0.566	0.603	0.414	0.422	0.665	0.442

在以往处理太阳光谱时,一般把仪器的读数写成^[10]

$$D_1 = D_{01} \cdot \exp(-\sigma M) \quad (5)$$

假定半天中大气状态不变,单位大气质量的大气消光系数 σ 为常数,即可由多次观测资料用最小二乘法求出 D_{01} 和 σ , 进而又假定 σ 与水汽含量之间的关系是线性关系,即:

$$\sigma = K_w W + K_A, \quad (6)$$

并假定在所有晴朗天气(能见度大于 30 公里),气溶胶衰减 K_A 为常数,然后根据所有晴朗天气的 W 和 σ 值用最小二乘法求出水汽吸收系数 K_w 和 K_A . 用这种方法求出的 σ 值是特定天气条件下的大气衰减系数,很难用于实际大气和模式计算中。另外,要从 (6) 式求 K_w 和 K_A 需要水汽含量 W 变化范围较大,而在水汽含量变化较大时, K_w 是大气温、压结构和水汽压的函数,不能视为常数,故无法求出 K_w 和 K_A . 实际上,如果作 $\sigma-W$ 图就会发现,资料点非常离散,无法作一直线,有时甚至得出 K_A 为负值的荒谬结果。

在这次处理观测资料中,我们发现两个异常现象。第一种现象是以前许多观测都曾发现过的,即在近中午时,尽管大气中水汽含量没有明显增加,大气能见度也未显著变坏,但观测值却不随太阳高度角变大而增大,或保持不变、或甚至下降。这种现象不能用我们现在已知的衰减因子来解释。有人认为,在近中午时大气中的对流活动增强,上升气流中的水汽凝结成非常细小的粒子,这种粒子还没有达到云粒子的尺度,但能对红外辐射产生附加的衰减。这种说法似乎有理,但是我们还没有关于这种粒子的任何探测资料,对于它们的光学特性也一无所知,所以在处理资料中无法考虑它们的影响。我们这次处理资料中舍弃了近中午时的观测资料。第二种异常现象是过去未曾注意的,即在 1039 厘米⁻¹ 附近出现一异常强的吸收峰。臭氧在这一波段的吸收是比较弱的,应比 1055 厘米⁻¹ 弱得多,比 1035 厘米⁻¹ 也应明显地弱,只比 1043 厘米⁻¹ 略强一些;水汽在这一波段没有特别强的吸收线;二氧化碳在这一波段的吸收比临近波段略强一些,但在这一波段二氧化碳的吸收非常小;其它大气成分亦无强吸收带,是什么因素引起这一吸收峰值值得进一步观测研究。这一峰在本次观测中重复出现,不可能是随机波动或仪器故障。

参 考 文 献

- [1] Selby, J. E. A. and McClatchey, R. A., AFCL-72-0745.
- [2] Selby, J. E. A. and McClatchey, R. A., AFCL-TR-75-0255.
- [3] Selby J. E. A. and McClatchey, R. A., LOTRAN 3A.
- [4] Selby, J. E. A. Shettle, E. P. and McClatchey, R. A., LOTRAN 3B.
- [5] Roberts R. E. et al., *Appl. Opt.*, 15, 2085.
- [6] Selby, J. E. A., et al., LOTRAN 4.

- [7] McClatchey, B. A., et al., AFCRL-TR-73-0096.
- [8] Grassl, H., Beiträge zur physik der Atmosphäre, 49 Band, Seite 225—236, 1976.
- [9] Grassl, H., Beiträge zur physik der Atmosphäre, 49 Band, Seite 75—88, 1973.
- [10] 中国科学院大气物理研究所集刊第 5 号, 科学出版社, 1977.
- [11] 王庚辰, 8—13 微米大气气溶胶衰减的理论计算, (待发表).

EXPERIMENTAL STUDY OF THE WATER VAPOR CONTINUUM IN THE 8—13 μ m WINDOW REGION

Wang Ming-xing Zu Wen-qin

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences*)

Abstract

A new method for analysing solar spectrum has been discussed. Using ground-observed solar spectrum and radiosonde data the water vapor continuum absorption coefficients, both the wing absorption and e-type absorption, and the aerosol extinction coefficient can be computed simultaneously. The method has been tested using data obtained in October, 1978 at Xianghe, and good results have been obtained.