

东亚地区的大气辐射能的收支(一)

地球和大气的太阳辐射能收支*

陈隆勳 龔知本

(中国科学院地球物理研究所)

温玉璞 孙寿椿

(中国科学技术大学)

提 要

本文是討論东亚地区大气辐射能收支研究工作的第一部分, 討論了以下三个問題:

(1) 本文利用文献[1]的水汽各吸收带的吸收光谱实验資料, 求得了一个适合于手算的水汽对太阳辐射的总吸收能量公式(公式(6)). 并把式(6)与 Mügge—Möller 公式^[3]进行了比較.

(2) 利用公式(6), 計算了东亚地区 39 个測站 1, 7 月自地面到 100 毫巴各气层对太阳辐射的吸收能量, 及其对大气的加温率. 本文还进一步考虑了云的訂正、大气对地面反射辐射的吸收, 而求得了东亚地区对流层大气吸收能量的分布.

(3) 利用 1958—1960 年中国地区的一些地面总辐射和反射率观测資料, 以及本文計算的大气中各种吸收能量, 討論了中国地区行星反射率的分布和地球大气系統中各种太阳辐射能的收支.

一、引 言

大气辐射能是大气能量收支中重要的一环, 对大气运动过程也起了重要的作用. 由于观测資料的稀少, 一般都是通过理論計算得到的結果, 来研究大气辐射能收支. 这样, 如何精确地測定出大气各吸收气体的吸收光谱, 如何利用現有的光谱資料来設計出正确可靠而又簡便的計算大气中各种辐射能的方法, 是近几十年来大气辐射学重要的研究課題之一. 近年来, 大气中各种气体的吸收光谱已有新的測定, 各种計算方法的研究也有了很大进展. 在这个基础上, 我們利用 Howard 等^[1]对水汽的光谱資料, 作了一个适合于手算的水汽对太阳辐射的吸收公式, 其次利用 Elsasser^[2]的資料, 作了长波辐射图解. 利用这些工具, 計算了(1)东亚地区各层大气对太阳辐射能的吸收, (2)計算了东亚地区地气系統的太阳辐射能量收支, (3)东亚地区晴天和云天的长波辐射能收支, (4)东亚地区地气系統各种辐射能收支. 本文先討論水汽对太阳辐射吸收公式的求得、以及上述的第一、二个問題.

二、水汽对太阳辐射的吸收公式

1932 年 Mügge—Möller^[3] 首先利用 Fowle^[4] 的水汽吸收光谱資料, 作出了一个水汽对

* 本文 1963 年 10 月 16 日收到, 1964 年 1 月收到修改稿.

太阳辐射吸收的实验公式。若吸收能是 ΔS (卡/厘米²·分),水汽光学质量为 u (克/厘米²), 则为

$$\Delta S = 0.172u^{0.303} \quad (1)$$

用这个公式作计算相当方便,这个公式是 1956 年以前用得最多的公式。从现在来看,这个公式有某些不足之处,总结起来有以下四点:(1) Fowle 的测定值只限于 $0.5 < u < 8$ 克/厘米²范围内,因而在 $u < 0.5$ 时,式(1)均是外推值而不是真的测定值。(2) Fowle 资料中未考虑压力订正,实际上吸收系数的压力订正对辐射计算起了相当重要的作用。式(1)中没有考虑到这一点。虽然在不少工作中(如文献[5])用式(1)作计算时加以压力订正,但这是人为的,不是测定的结果。(3)在式(1)中用的太阳光谱资料较旧,近几年来发现太阳光谱中近红外波段比过去的大,依文献[6],在 $2.0-3.0\mu$ 之间就大了 0.0034 卡/厘米²·分,约占该波段能量的 5%。(4)由理论研究知道,公式(1)的形式实际上是接近于单线光谱模式的强线近似,这种强线近似对弱吸收情况可能是合适的,而对强吸收则并不完全合适。

1956 年 Howard 等^[1]对水汽、CO₂ 的可见、近红外光谱和红色的某些吸收带的光谱进行了重新的测量,充分消除了以上所述的(1),(2),(3)点的不足,提出了一个吸收公式:

$$\int_i A_\nu d\nu = \begin{cases} c_i u^{\frac{1}{2}} (p+e)^{k_i}, & \int_i A_\nu d\nu < A_{c_i}, \\ C_i + D_i \log u + K_i \log (P+e), & \int_i A_\nu d\nu \geq A_{c_i}. \end{cases} \quad (2a)$$

$$\int_i A_\nu d\nu = \begin{cases} c_i u^{\frac{1}{2}} (p+e)^{k_i}, & \int_i A_\nu d\nu < A_{c_i}, \\ C_i + D_i \log u + K_i \log (P+e), & \int_i A_\nu d\nu \geq A_{c_i}. \end{cases} \quad (2b)$$

式中 $\int_i A_\nu d\nu$ 为第 i 个吸收带的部分吸收率。 ν 为波数(厘米⁻¹), p 为非吸收介质的气压(毫米汞柱), e 为吸收介质的部分压力。 c_i, C_i, D_i, k_i, K_i 为各带的系数。 A_{c_i} 为第 i 吸收带的强弱吸收的临界吸收率,即当 u 足够大而使吸收率大于 A_{c_i} 时,需用强吸收公式(2b),反之用弱吸收公式(2a)。文献[1]曾由实验数据求出各吸收带式(2)中的各系数值。Roach^[7]进一步补充了 0.8μ 吸收带,并且为了使强弱吸收临界处的吸收率更为衔接而修改了某些系数,其值见表 1。近年来,有不少工作已开始用这些实验数据了(如文献[7]和[8]),但是直接用这些数据来计算工作量极大,实际上,上述工作均是由电子计算机来完成的。这里,我们准备用这些实验值求出一个便于手算的吸收公式,根据我们求出的公式,计算一个站各气层的吸收值可望于半小时到 1 小时内完成。为此目的,我们改写式(2)为以下形式

$$\int_i A_\nu d\nu = \begin{cases} d_i u^{* \frac{1}{2}}, & \int_i A_\nu d\nu < A_{c_i}, \\ E_i + D_i \log u^*, & \int_i A_\nu d\nu \geq A_{c_i}, \end{cases} \quad (3a)$$

$$\int_i A_\nu d\nu = \begin{cases} d_i u^{* \frac{1}{2}}, & \int_i A_\nu d\nu < A_{c_i}, \\ E_i + D_i \log u^*, & \int_i A_\nu d\nu \geq A_{c_i}, \end{cases} \quad (3b)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} u^* &= u \left(\frac{P+e}{P_0} \right)^{0.6}, \quad d_i = c_i P_0^{0.3} (p+e)^{k_i - 0.3}, \\ E_i &= C_i + \left(\frac{K_i}{D_i} - 0.6 \right) D_i \log (p+e) + 0.6 D_i \log P_0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

其中 $p_0 = 1000$ 毫巴。实际大气中,水汽的 e 和 p 的比值约为 $10^{-2} \sim 10^{-4}$,因而可以把式(4)中 e 略去不计。另外,由表1可见,某些吸收带 $k_i \approx 0.3$, $\frac{K_i}{D_i} \approx 0.6$ 。因而对这些吸收带而言, d_i 和 E_i 将随着气压的变化而变化。但是一方面由于 $k_i = 0.3$ 和 $\frac{K_i}{D_i} = 0.6$ 的值

表1 (依文献[7])

水汽吸收带	c	k	C	D	K	A_e
0.94 μ 带	38	0.27	-13.5	230	125	200
0.80 μ 带 加上 1.1 μ 带	42	0.26	292	345	180	300
1.38 μ 带	163	0.30	251	460	198	350
1.87 μ 带	152	0.30	143	232	144	275
2.7 μ 带	316	0.32	316	246	150	200
3.2 μ 带	40.2	0.30	744	295	151	250
6.3 μ 带	356	0.30	302	218	157	160

极小,而另一方面由于各强、弱吸收公式在实际大气中只用于一定的不大的气压范围,因而可以近似地取一个合适的固定的 \bar{p}_i 值来代替 d_i 和 E_i 中的 p_i 值,于是对一个吸收带而言, d_i 和 E_i 将为固定值。根据我们对国内南北方几个站的水汽资料,定出了各吸收带的 $\bar{p}_i^{k_i-0.3}$ 和 $\log \bar{p}_i$ 值,见表2。利用上述的 $\bar{p}_i^{k_i-0.3}$ 与 $\log \bar{p}_i$ 值,这几个站的资料与真值的误差均在3%以下。为了进一步比较,我们利用文献[5]的平均资料计算了最大可能误差,见表2第四、五两项。由表可见,只有0.94 μ , 0.8 μ 和 1.1 μ 三吸收带的弱吸收最大误差可到

表 2

吸 收 带	0.94 μ	1.10 μ +0.8 μ	1.38 μ	1.87 μ	2.70	3.2 μ	6.3 μ
$\bar{p}_i^{k_i-0.3}$ (毫巴)	0.85	0.81	1.00	1.00	1.11	1.00	1.00
$\log \bar{p}_i$	2.7	2.75	2.55	2.55	2.50	2.70	2.50
可能产生的最大误差	$\bar{p}_i^{k_i-0.3}$	3%	3%	0	0	1%	0
	$\log \bar{p}_i$	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%

3%,其它均小于1%。估计利用表2的 \bar{p}_i 值各吸收带总合的最大误差决不会超过3%。这是在实验的误差范围内(3%),是可以允许的。有了固定的常数值 d_i 和 E_i ,那末可以将它们代入式(3),并乘以该吸收带波谱所占的太阳辐射能量 S_{0i} ,即得该带的吸收能量 ΔS_i 。 S_{0i} 值取自文献[6],这是目前较新的资料。有了 ΔS_i 则可以把各吸收带的吸收能相加,成为总吸收公式,即

$$\Delta S = \begin{cases} \left(\sum_i \frac{d_i S_{0i}}{\Delta v_i} \right) u^{*\frac{1}{2}}, & (5a) \\ \left(\sum_i \frac{E_i S_{0i}}{\Delta v_i} \right) + \left(\sum_i \frac{D_i S_{0i}}{\Delta v_i} \right) \log u^*. & (5b) \end{cases}$$

原則上,由上式可以立即求出強弱吸收公式的各系数值。然而,由于各吸收带的临界值不一致,因而严格地说,式(5a)只能用于各吸收带中最小 A_{ci} 值以下的吸收区,而式(5b)只能用于各吸收带中最大 A_{ci} 值以上的吸收区。在最大 A_{ci} 和最小 A_{ci} 之间的各吸收带強弱吸收交错区域,需另求一个过渡区的公式。为此在实际过程中,我们是利用表 2 中 $\bar{p}_i^{k_i-0.3}$ 和 $\log \bar{p}_0$ 值求得的 d_i 和 E_i 值代入各吸收带公式,并以此公式求出各个 u^* 时各吸收带的 $\int_i A_v dv$ 值,然后乘以 $\frac{S_{0i}}{\Delta v_i}$ 得 ΔS_i ,再把各吸收带的 ΔS_i 相加求出各个 u^* 值时的总吸收值,并以这些值求出最后的水汽对太阳辐射总吸收公式:

$$\Delta S = \begin{cases} 0.3536 u^{*\frac{1}{2}}, & u^* \leq 0.038 \text{ 克/厘米}^2, & (6a) \\ 0.1885 + 0.0890 \log u^*, & 0.038 < u^* < 0.47, & (6b) \\ 0.2030 + 0.1340 \log u^*, & 74 \geq u^* \geq 0.47, & (6c) \end{cases}$$

上式中 ΔS 单位为卡/厘米²·分。式(6b)即为強弱吸收带之间过渡区的吸收公式。在上式中我們已把临界值换算成 u^* 值,这样在使用时更为方便。式(6)即为我們得到的总吸收公式,显然要比公式(1)合理。它是本文中计算水汽对太阳辐射能吸收的基本公式。

三、和 Mügge-Möller 公式的比较

为了鉴定公式(6)与公式(1)之间的差异,我們作了几个比较。图 1 是各个不同作者得到的水汽吸收能量曲线。由图可见,按公式(6)得到的曲线和 Yamamoto 曲线几乎完全一致,只在 $u > 6$ 克/厘米²区略有相差。这表示公式(6)是非常符合原始实验资料的。公

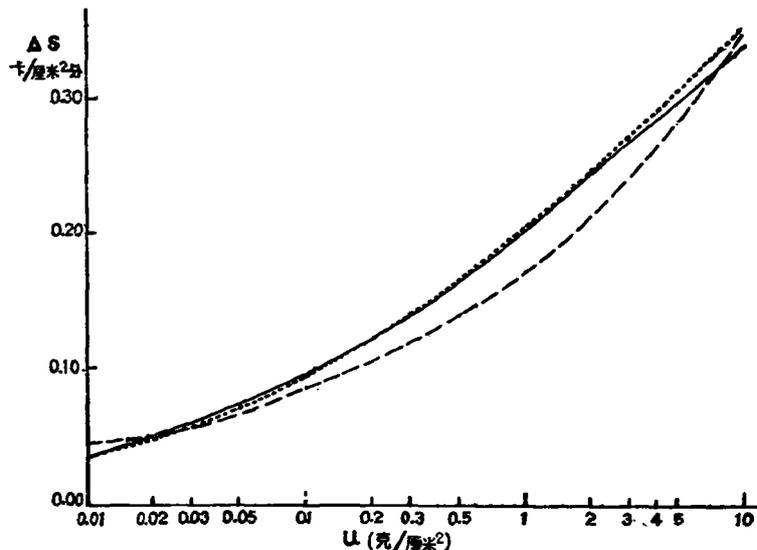


图 1 水汽对太阳辐射总吸收能量曲线
(.....为公式(6), ——为 Yamamoto^[8],
——为 Mügge-Möller^[9] 的能量曲线)

