

中国大气向下辐射的气候学研究*

翁笃鸣 孙治安 温珍治**

(南京气象学院)

摘要 通过多种方案试验,得出适用于各种云量下各大气等压面高度大气向下辐射的计算式为

$$G_p = \sigma T^4 [0.536 + 0.128 \ln(1 + e)]$$

云的影响主要通过各层气温和水汽压的相应变化体现。经检验该式的相对拟合误差为 6.3%。据此计算并讨论了全国 104 个探空站 500hPa 等压面高度及对流层下层(地面—500hPa)大气向下辐射的时空分布特征。

关键词 中国,大气向下辐射,气候计算

在我国辐射气候学研究中,大气辐射的研究比较薄弱,仅有少量工作^[1-3]有所涉及,主要是利用各种辐射图解进行计算和分析。本文试图利用第一次全球大气科学实验计划(FGGE)季风试验(MONEX)期间印度 8 个站的辐射探空资料[Srinagar(35°05' N, 74°50' E), New Delhi(28°33' N, 77°12' E), Jodhpur(26°18' N, 73°01' E), Calcutta(22°39' N, 88°27' E), Nagpur(21°06' N, 79°03' E), Bhubaneswar(20°15' N, 85°50' E), Poona(18°32' N, 73°51' E), Trivandrum(08°30' N, 76°59' E)],结合同期我国青藏高原气象科学实验期间的地面辐射观测资料以及其他资料,讨论大气各层向下长波辐射的气候计算方法,并以 500hPa 等压面高度以及对流层下层(地面—500hPa)为例,分析其在我国的分布特点。

1 大气向下辐射的气候计算方法

1.1 晴空大气向下辐射的气候计算式

大气向下辐射的气候计算问题,从根本上说是如何确定大气放射(吸收)函数的形式问题。它主要与大气中的 H_2O 、 CO_2 、 O_3 以及气溶胶等含量有关。许多作者考虑到水汽对大气长波辐射的强烈吸收作用,以及 CO_2 、 O_3 等因子作用相对较小,且各地含量不易确定等情况,一般都把放射函数 ν 视作

$$G_o/\sigma T^4 = \nu(H_2O, \overline{CO_2}, \overline{O_3}, \dots) \quad (1)$$

或

* 国家自然科学基金资助项目

** 1986 届毕业生刘德松参加部分计算工作

收稿日期:1991-09-09

$$G_0/\sigma T^4 = v(H_2O) \quad (2)$$

式中 G_0 为晴空大气向下辐射; σ 为斯蒂芬—波尔兹曼常数; T 为气温。著名的 Ångström, Brunt 等的大气逆辐射经验式及其他理论式基本上都以这种形式表示。但由于不同作者对 (1)、(2) 式中函数 v 的考虑方式不同, 计算效果也有差异。

因此, 恰当地考虑水汽影响是建立大气向下辐射经验式的关键。我们点绘了各等压面高度晴空大气吸收函数 ($G_0/\sigma T^4$) 与水汽压 e 的散布图 (图 1), 发现两者间具有较明显的对数关系, 并由 400 个样本资料拟合出晴空各高度大气向下辐射的计算式为

$$G_0 = \sigma T^4 [0.536 + 0.128 \ln(1 + e)] \quad (3)$$

上式的相关比为 0.983, 平均相对拟合误差为 6.0%。

为了验证 (3) 式的普适性, 我们还利用 1979 年 5—8 月青藏高原 6 个地面热源站的辐射资料以及北京 1985 年部分大气逆辐射资料^[4] 进行比较, 效果也较理想 (平均相对误差为 4.2%)。这表明 (3) 式既适于晴天地面大气逆辐射的计算, 也适于各高度层大气向下辐射的计算, 具有较好的普适性。

1.2 有云时的大气向下辐射计算式

参照文献中对有云条件下地面大气逆辐射计算的处理方式, 假设对任一等压面高度同样存在

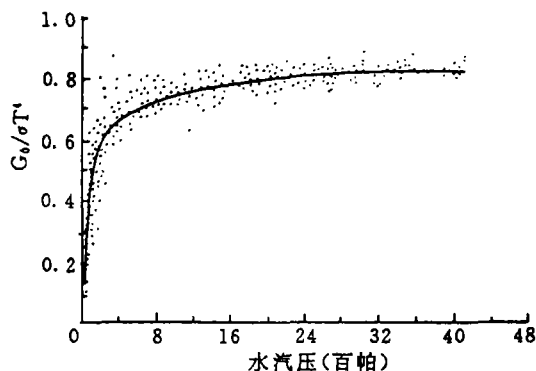


图 1 各等压面高度 ($G_0/\sigma T^4$) 与水汽压的关系

$$G_p/G_{0p}' = f(n) \quad (4)$$

式中 G_p 、 G_{0p}' 分别表示 p 等压面高度上实测大气向下辐射和按该层同时刻气温、水汽压由 (3) 式计算的准晴天大气向下辐射。 $f(n)$ 为总云量 n 的某种经验函数。从统计上看, 不论各时次云高、云厚以及云状等具体情况如何差异, 随着 n 的增大 $f(n)$ 将偏离 1, 并应不断增大。 n 为零时, $f(0)=1$ 。我们还注意到, 这样处理难免会出现所计算的等压面高度高于下层云的云顶高度的情况, 因而会增加 $f(n)$ 的离散程度。所计算的等压面高度越高, 这种影响应越明显。

为此, 我们分别对印度 8 个辐射探空站 1979 年 5—8 月 850、700 和 500hPa 三个等压面资料进行拟合, 选用的函数形式有三种, 结果可见表 1。表中除 850hPa 的 f_3 外, 其余都通过信度 0.05 下的 F 检验。说明 $f(n)$ 原则上是存在的, 而且基本上三种函数形式都适用。但是, 进一步分析发现, 这些系数都非常小, 即便在总云量为 1 的全阴天下, $f(n)$ 中云量订正部分多数不足

表 1 按三种 $f(n)$ 拟合各等压面有云时大气向下辐射计算式的相应系数值

$f(n)$	系 数	850hPa	700hPa	500hPa
$f_1=1+an$	a	0.005*	0.005	0.006
$f_2=1+bn^2$	b	0.0047	0.0051	0.0065
$f_3=1+cn^d$	c	0.004	0.020	0.072
	d	0.483	0.405	1.216

注: 有 * 者表示未通过信度 0.05 下^{***} F 检验

0.01,远小于大气向下辐射的计算误差,可实际上不考虑。于是就得到一个非常有趣的结果

$$G_p \approx G_{0p}' \quad (5)$$

式中 G_{0p}' 可按(3)式算出。表2即为对(5)式的验算结果。表中 ΔG_p 为平均误差; $\Delta G_p / G_p$ 为平均相对误差; $S_{\Delta G} / G_p$ 为误差的相对均方根差。由表可见,有云情况下各等压面高度大气向下辐射的验算结果,基本上与晴天时的结果一致,三等压面的平均相对误差为 6.3%。

表2 各等压面大气向下辐射的计算误差(Wm^{-2})

等压面(hPa)	ΔG_p	$\Delta G_p / G_p$	$S_{\Delta G} / G_p$	G_p
850	22.0	0.054	0.045	408.2
700	21.5	0.064	0.045	335.6
500	19.6	0.087	0.054	224.7

上述结果初看起来似难理解,事实上这可从云对大气层温、湿度的影响中得到合理的物理解释。根据大气长波辐射传输的一般概念,到达大气任一高度的长波辐射,在很大程度上由该层的温、湿度条件所决定。正因为如此,许多著名的大气逆辐射计算式都以地面温、湿度的某种经验函数表示。这一考虑也应适用于大气中任一等压面高度。有云时,云体将对其下各层大气的温、湿度产生影响,离云越近,影响越大。如等压面高度处于云层中,则观测到的该层温、湿度即为云体本身的温、湿度。因此,各大气层的长波辐射仍应由该层的温、湿度条件决定。这就是说,云对长波辐射的影响是通过其对各大气层的温、湿度的反馈表现出来的。

因此,可以认为(3)式对各等压面高度大气向下辐射计算是普适的,可用来作我国各等压面大气向下辐射的气候计算。

2 我国 500hPa 等压面大气向下辐射分布

我们利用全国 104 个站 1960—1969 年整编探空资料,计算了各站月、年 200、500hPa 等压面的大气向下辐射,并绘制了各季代表月份的全国分布。现以 500hPa 为例分析其特点。

图2给出冬季(1月)500hPa 大气向下辐射的全国分布。可以看出其等值线走向以纬向型为主要特点并略向西北—东南倾斜,这种分布趋势在很大程度上与天文因素影响有关,并与该层等高线走向一致。

夏季(7月)的 500hPa 大气向下辐射分布形势在较大程度上偏离了纬向分布(图3),这主要表现在青藏高原及其以东的广大地区。由于受西南季风及高原地面热源的影响,青藏高原东南部及云贵高原西部为高值区,其最大值在 240Wm^{-2} 以上,并由此向东及东北方向伸延,直至山东半岛以南的整

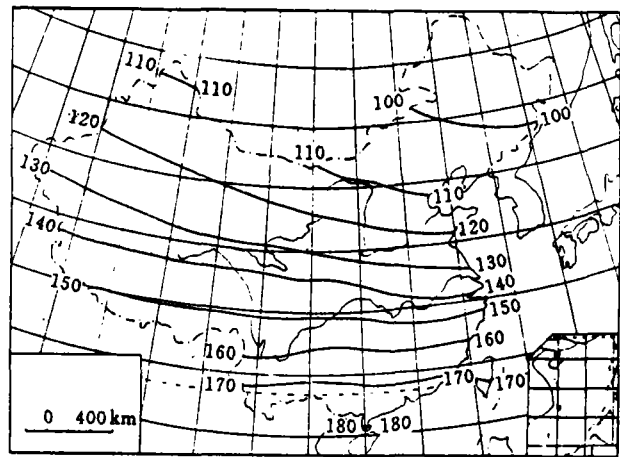


图2 1月500hPa等压面大气向下辐射平均通量密度分布(Wm^{-2})

个东部沿海地区。在 35°N 以北地区,等值线走向的纬向特点有所恢复,但在东北地区因受东南季风影响,等值线略折向西南—东北向。

500hPa 大气向下辐射的年分布比较简单,基本上呈纬向型(图略)。

由于各层大气向下辐射在很大程度上是由同高度平均气温决定的,所以,它也是具有明显的随纬度变化特点,总趋势是由低纬向高纬递减。我们曾绘制 1、7 月及年平均大气向下辐射在我国 105°E 以东地区 $20^{\circ}\text{--}50^{\circ}\text{N}$ 区域内的变化曲线(图略)。发现 1 月及年平均曲线随纬度呈单调递减型,递减率则以在中、低纬地区较大,在 40°N 以北地区曲线渐趋平缓。夏季(7 月)曲线则有所不同,最大值出现在 30°N 两侧,正好与我国长江下游的副高控制地区相对应。

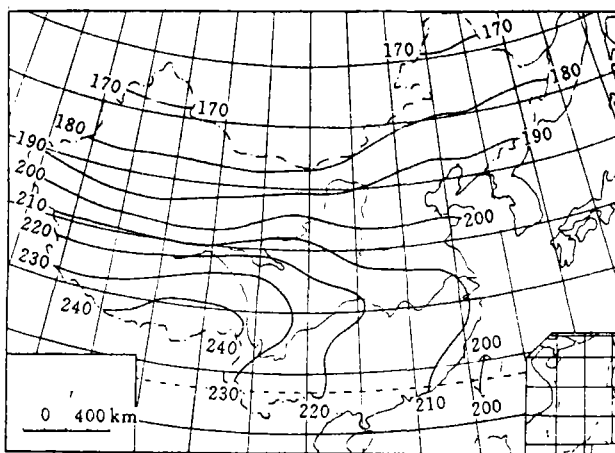


图 3 7 月 500hPa 等压面大气向下辐射平均通量密度分布 (Wm^{-2})

表 3 所列海口—海拉尔间 500hPa 大气向下辐射差可从另一侧面说明纬度影响的季节变化情况。表中以 1 月的差值最大,7 月最小,春、秋月份居中。

500hPa 大气向下辐射的年变化形式比较简单,除个别站点外,都呈单峰型,一般以 7 月最高,1 月为最低(图略)。造成这种分布的主要原因是气温的年变化规律。在低纬地区(如海口)因受天文辐射双峰型年变化影响,大气向下辐射呈弱双峰型变化。

各地大气向下辐射年较差,一般都随纬度增高而增大(表 4),这在东部地区表现最清楚。至于西部地区,因地形条件复杂,略有不同,其中拉萨地处青藏高原南部,夏季因受西南季风及地面热源的强烈作用,7 月大气向下辐射为全国最大,所以年较差也较大。

表 3 海口—海拉尔 500hPa 大气向下辐射差 (Wm^{-2})

月 份	1	4	7	10	年
ΔG_{500}	82.6	70.1	34.6	75.0	69.8

表 4 各站 500hPa 大气向下辐射年较差 (Wm^{-2})

站 点	东部地区					西部地区		
	海口	南京	北京	哈尔滨	昆明	拉萨	成都	银川
年较差	37.8	77.8	81.9	83.7	62.2	89.6	75.6	78.9

3 我国对流层下层大气向下辐射分布

在完成 500hPa 大气向下辐射计算的同时,我们还按文献[5]方法算出各站的地面大气逆辐射,并由此得到地面—500hPa 气层放射的大气向下辐射。我国对流层下层(地面—500hPa)

大气向下辐射分布,在很大程度上受地形条件所制约,因为站点海拔高度大小基本上就决定了地面—500hPa 气层的厚度,因而也决定了该层放射的长波辐射。这一因素决定了大气向下辐射分布的总态势,在全年各月分布图上都有明显反映。所以青藏高原及其邻

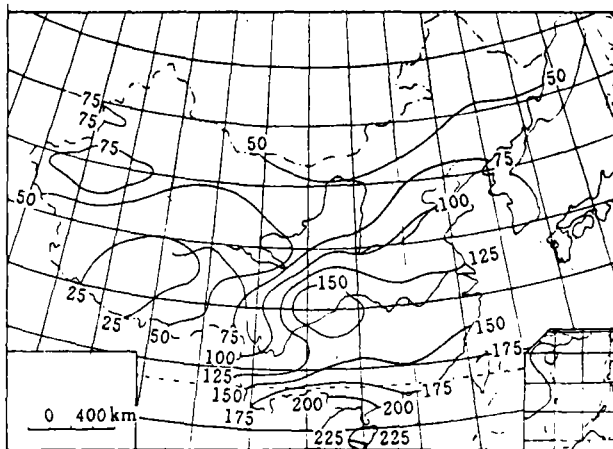


图 4 1 月对流层下层(地面—500hPa)大气向下辐射分布(Wm^{-2})

近高海拔地区为一广大低值区,塔里木盆地则为稳定的相对高值区。其次,典型的季风气候可造成大气向下辐射分布形势的季节变化和等值线对纬向分布的偏离。

冬季(1月)大气低层长波向下辐射分布除地形影响所形成的背景形势外,等值线在东部地区表现出较明显的纬向特点,且分布比较密集,辐射梯度为全年最大(图4)。

夏季(7月),大气向下辐射分布的总形势与1月相似(图5),因受夏季风作用结果,青藏高原上的低值区发展强烈,其与塔里木盆地高中心间的差值可达 125Wm^{-2} (冬季仅 50Wm^{-2}),等值线密集,辐射梯度与地形梯度配合一致。东部地区等值线稀疏,南北之间的大气向下辐射差为全年最低(约 60Wm^{-2} , 冬季为 180Wm^{-2})。

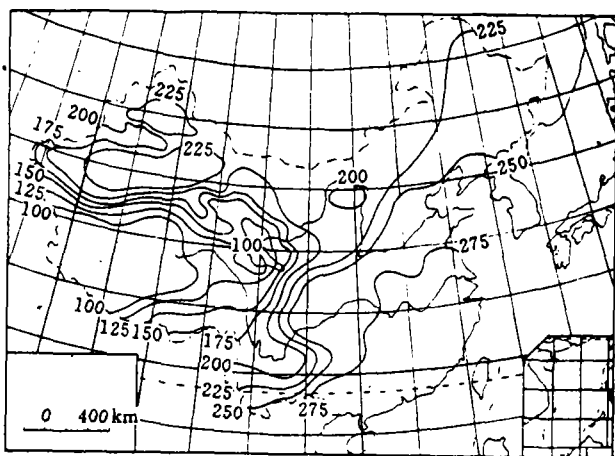


图 5 7 月对流层下层(地面—500hPa)大气向下辐射分布(Wm^{-2})

各地对流层下层大气向下辐射年变化形式与 500hPa 等压面的一致(图略)。

4 结 语

本文得出适用于各种云天条件的各等压面大气向下辐射计算式

$$G_p = \sigma T^4 [0.536 + 0.128 \ln(1 + e)]$$

该式不仅具有较高拟合精度和较高的普适性能,而且在形式上无需作云量订正,并已作出初步物理解释。应当说这是很有意义的,如能在更多资料基础上加以证实和完善,其实用和理论价值可能更大些。

参 考 文 献

- 1 周允华,李玉海,左大康.气象学报,1964,34(2),135—145
- 2 陈隆勋,龚知本,陈嘉滨,任泽君.气象学报,1964,34(3),327—344
- 3 李玉海.地理学报,1965,31(2),113—129
- 4 中国科学院地理研究所.中国地理基础数据,辐射观测数据集.北京:科学出版社,1989,67—98
- 5 翁笃鸣,陈 媛.南京气象学院学报,1992,15(1),1—9
- 6 翁笃鸣,冯燕华.科学通报,1984,(13),796—799

CLIMATOLOGICAL STUDY ON DOWNWARD ATMOSPHERIC RADIATION IN CHINA *

Weng Duming Sun Zhian Wen Zhenzhi **

(Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract In terms of a few experimental schemes, an expression for downward atmospheric radiation from various isobaric levels under a range of cloudiness is developed in the form

$$G_p = \sigma T^4 [0.536 + 0.128 \ln(1 + e)]$$

The effects of cloudiness are represented mainly by the corresponding change of temperature and vapor pressure at the related levels. Verification shows that the expression has a 6.3% relative fitting error, and thereby the spatial and temporal pattern of the downward radiation is investigated at 500hPa and in the lower troposphere (500hPa to the ground) by use of the data from 104 radiosonde stations throughout the country.

Key words China, downward atmospheric radiation, climatological calculation

* The project is supported by the National Natural Science Foundation of China

** Part of the calculation was done by Liu Desong, graduate of 1986