

中国地-气系统短波吸收辐射分布特征^{*}

翁笃鸣^{**}

(南京气象学院应用气象学系, 南京, 210044)

摘要 根据 ERBE 和 ISCCP 资料讨论了地-气系统短波吸收辐射及其年较差在全国的分布, 分析了其与总云量、行星和地表反射率以及地面吸收辐射的相互关系。发现在冬季地-气系统短波吸收辐射分布主要呈南高北低型, 夏季分布形势为一不对称的大鞍形场, 大致与行星反射率分布反向对应。地-气短波吸收辐射与总云量呈负相关, 高相关区在我国东部。各站地-气短波吸收辐射与地面吸收辐射的相关系数普遍高达 0.900 以上。此一特点为从气候上利用地-气吸收辐射反演地面吸收辐射提供初步可能。

关键词 中国, 地-气系统短波吸收辐射, 地面吸收辐射

分类号 P422

在地-气系统辐射交换过程中, 短波吸收辐射是收入部分。它不仅对地-气净辐射形成起着决定性的作用, 同时也对大气和地表辐射能交换产生重大影响。所以, 研究地-气系统吸收辐射的气候特征及其与各影响因子的关系具有重要意义。我国在这方面的研究不多, 已有的也仅涉及青藏高原地区^[1,2]。很有必要对此作更深入、全面的研究。

本文主要依据地球辐射平衡试验(ERBE)^[3], 1985~1988 年资料以及同期国际卫星云气候计划(ISCCP)^[4]资料写成, 经纬度网格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。分析中还使用了作者以前完成的地面吸收辐射计算资料以及有关站点的实测资料。

1 地-气系统短波吸收辐射的影响因子

地-气系统吸收辐射 $S_0(1 - \alpha_p)$ 表征地-气系统辐射交换过程中净吸收的太阳辐射。其大小取决于天文辐射 S_0 和行星反射率 α_p 。所以地-气系统吸收辐射的变化与各个影响 S_0 及 α_p 的因子有关, 其中最主要的有纬度、季节、总云量以及大气状况和地表特征等。反过来, 地-气吸收辐射又对地表辐射特征的形成起着十分重要的作用。

纬度和季节对地-气吸收辐射的影响, 主要是通过天文辐射变化体现的。另外还通过云状况和大气及地表特征的改变表现出来。前者可由理论公式严格计算, 而后者影响则带有各地气候、地理特点。所以, 由实测资料分析所得到的上述两类影响的综合结果。图 1 即为沿 113.75°E 剖面地-气吸收辐射随纬度变化情况。由图可见, 代表 1、7 月和年平均的曲线都具有

* 国家自然科学基金资助项目

** 本院 1993 届气候专业学生李炬参加部分工作

收稿日期: 1993-10-14; 改回日期: 1993-12-15

与天文辐射大体一致的变化趋势,但又存在程度不等的起伏。

冬季(1月,曲线1)地-气吸收辐射随纬度递减的趋势最显著,但曲线的波动也很突出。首先可看到在20~25°N及40~45°N两纬度带内,分别存在着两个吸收辐射急剧递减地段。前者反映了海陆界面的影响,主要通过海上云量和海陆下垫面反射率的差异表现出来。在华南沿海由海洋进入陆地,行星反射率明显增大,从而使得吸收辐射减少。由此向北在25~30°N间(长江下游以南地区)由于云量增多甚至还出现浅谷。40~45°N带正好是冬季形成稳定积雪的过渡带。该带的地表反射率可因有无积雪存在而产生突变,进而影响到行星反射率以及地-气吸收辐射的急剧改变。

夏季(7月)地-气吸收辐射(曲线2)的纬度变化较平缓,起伏主要出现在30°N以南地区。海陆界面的影响仍清晰可见。但降幅已不及冬季。而在25~30°N区段则代之以弱的峰值,这是由于该区段在副热带高压控制下云量偏少,行星反射率降低的结果。

年平均地-气吸收辐射曲线(3)可作为冬夏季曲线的一种平均状况。其总趋势与1月曲线更接近。

云对地-气吸收辐射的影响,可间接地通过其对行星反射率的作用反映出来。主要表现为在纬度大致相同地带,随着总云量的增多,行星反射率增大并导致吸收辐射的减小。为证明这一点,我们根据气候和地理条件把全国粗分成3个区(三北地区、青藏高原地区和东部地区),并分别计算出各区1、7月及年平均总云量(卫星探测值,下同)与地-气吸收辐射的相关系数(表1)。结果表明,两者的负相关是比较好的,除青藏高原区1月外,相关系数均通过信度0.01

表1 各地区平均总云量与地-气系统短波吸收辐射的相关系数及回归误差

Table 1 Correlation coefficients between mean total cloudiness and absorbed SW radiation in the earth-atmosphere system with their regression errors for different regions of the country

	三 北 地 区 (37.5°N以北)		青 藏 高 原 (105°E以西,37.5°N以南)		东 部 地 区 (105°E以东,37.5°N以南)	
	相关系数	相对回归误差	相关系数	相对回归误差	相关系数	相对回归误差
1 月	-0.596	0.236	-0.356*	0.168	-0.821	0.018
7 月	-0.809	0.026	-0.928	0.024	-0.914	0.033
年平均	-0.474	0.079	-0.483	0.057	-0.656	0.049

注:有*者为未通过信度0.01的t检验,下同

* The data fail to pass t-test at credibility of 0.01 (the same below)

的t检验,其中尤以7月最显著(各区相关系数约在-0.800以上),说明夏季云量条件对各地区地-气短波吸收辐射变化具有决定性作用。年平均值的相关也较明显。青藏高原1月相关较

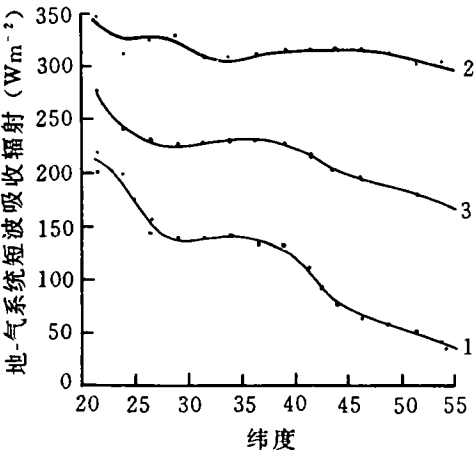


图1 地-气系统短波吸收辐射随纬度变化
113.75°E剖面,1:1月,2:7月,3:年平均

Fig. 1 Latitudinal variation of the mean absorbed shortwave radiation in the earth-atmosphere system on the cross section along 113.75°E, with 1) for January; 2) for July and 3) annual mean

差可能是受地表积雪影响的结果。就相关系数的地区分布看,以东部湿润地区最显著,这与该地区地表覆盖比较均匀且全年稳定少变有关。

云与地-气吸收辐射间的高相关使得从气候上利用平均总云量估算地-气吸收辐射成为可能。表 1 所列回归误差表明。对于 7 月和年平均计算,各区的相对回归误差都比较小,1 月在东部地区的误差也很小。

我们还计算了全国范围内各月总云量与地-气吸收辐射各格点值的相关系数,如下:

1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
-0.009*	0.041*	0.058*	-0.257	-0.520	-0.654
7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
-0.643	-0.313	-0.327	-0.314	-0.190*	-0.070*

两者的负相关在 4~10 月比较明显,6 月的相关系数最大(-0.654)。

地表反射率对地-气系统吸收辐射也有间接影响,但这只在云量较少且地表覆盖很不均匀的地区或季节表现出来。表 2 即为各地区地表反射率与地-气吸收辐射的相关统计结果。表中以三北地区 1 月的相关最显著(-0.939),青藏高原地区也存在较明显的负相关。说明在上述两地区冬季地表积雪对地-气吸收辐射的重大影响。东部地区的相关不明显。夏季,在三北和青藏高原两地区出现正的相关。这显然是在云量主导作用下所派生的表象,原因恰好是上述两地区的云量分布与地表反射率间存在着较高的反相关所致。据统计在该两地区总云量与地表反射率的相关系数分别达到-0.669 和-0.873。

表 2 各地区地表反射率与地-气系统吸收辐射的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between the surface albedo and earth-atmosphere absorbed SW radiation for varioud areas of the country

地 区	三北地区	青藏高原	东部地区
1 月	-0.939	-0.492	-0.232*
7 月	0.645	0.725	-0.003*
年平均	-0.281*	-0.422*	0.392*

注:同表 1

各地区地表反射率对地-气吸收辐射年平均值的影响不明显。

地-气系统吸收辐射作为整个系统辐射交换的实际能源,对地面和大气的辐射吸收产生直接的影响。Ramanathan V^{〔6〕}根据模式计算结果曾指出地-气吸收辐射与地表吸收辐射间存在很高的相关性。本文计算结果也得到大致相似的结论(表 3)。

表 3 全国和分区统计地-气吸收辐射和地表吸收辐射的相关系数

Table 3 Correlation coefficents between the earth-atmosphere and surface absorbed SW radiation on a nationwide and regional scales

地 区	三北地区	青藏高原	东部地区	全 国
1 月	0.939	0.809	0.344*	0.724
7 月	0.278*	0.831	0.754	0.528
年平均	0.811	0.902	0.734	0.444

注:同表 1

各站地-气系统吸收辐射与地表吸收辐射月平均值间的相关更显著。表 4 列出海口等 9 站的相关系数(r)、回归方程系数(a, b)和相对回归误差($\bar{\Delta}/\bar{y}$)。由表可见,各站相关系数都在

0.900 以上,反映出天文因子对地-气吸收辐射和地表吸收辐射的同步影响。由此建立的回归方程系数也较有规律,截距 a 除海口较大外,均在 $20\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 以下,斜率 b 的变幅也较集中,拉萨 b 值较大则是拔海高度影响的结果。各地的相对回归误差 $\bar{\Delta}/\bar{y}$ 都小于 0.10,平均为 0.06。这一结果可能为利用卫星辐射资料反演地表短波吸收辐射提供一条较简便途径。

表 4 各地地-气系统吸收辐射与地表吸收辐射的相关系数和回归统计结果

Table 4 Correlation coefficients between the two types of absorbed SW radiation with the regression statistics for different regions

站 名	海 口	南 宁	赣 州	武 汉	上 海	北 京	哈 尔 滨	乌 鲁 木 齐	拉 萨
r	0.916	0.909	0.937	0.962	0.965	0.989	0.992	0.987	0.970
a	-69.3	-19.4	-16.4	7.9	1.9	3.2	0.2	-15.0	-6.9
b	0.743	0.604	0.606	0.585	0.517	0.621	0.609	0.676	0.866
$\bar{\Delta}/\bar{y}$	0.057	0.095	0.098	0.068	0.062	0.033	0.047	0.058	0.038

2 地-气系统短波吸收辐射的全国分布

我国地-气系统短波吸收辐射的地理分布带有明显的季风气候特色。

2.1 冬季分布

冬季(1月)地-气系统吸收辐射分布形势比较简单,大致呈纬向型(图2,图中单位为 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)。这在纬度较高的三北地区表现最明显。云和行星反射率的影响在纬度较低地区(35°N 以南)反映出来,如在长江中游(包括四川盆地、秦巴山地、湘黔山地及两湖盆地)一带出现的大低值区,就是由于该地区冬季云量较多所造成。在黄河、长江源区和祁连山区还可分析出小的闭合中心和低值区,这是地面积雪影响的结果。另外,在青藏高原西缘还因所处迎风侧部位、云量增多而出现低值区。而在滇西南和横断山区则为地-气吸收辐射的弱高值带。如将图1与同期行星反射率图以及平均总云量图进行对照(图略),便可看出在较低纬度区三者配合相当一致。

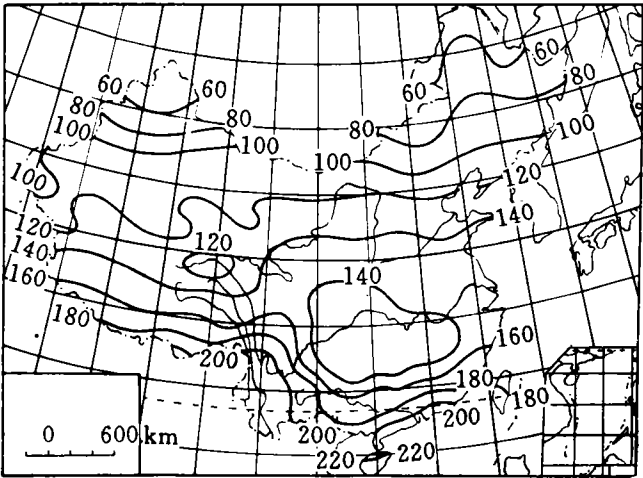


图 2 1月地-气系统短波吸收辐射的全国分布
Fig. 2 January distribution of the absorbed SW radiation ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) in the earth-atmosphere system over China

2.2 夏季分布

夏季(7月)地-气吸收辐射分布呈不对称鞍形状(图3,图中单位为 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)。两高值区分别出现在以吐哈盆地为中心的西北干燥区和长江下游以南的沿海地区。低值带则分布在以滇西南为中心的整个西南地区 and 东北地区东南部。华北平原和山东半岛则为此鞍形场的鞍部。地-气吸收辐射的此种分布形势反映出我国夏季大气环流背景的重大影响。

以吐哈盆地为中心的高值区覆盖了除青藏高原以外的整个我国干燥区和半干燥区,它的

形成主要由于在夏季亚洲大陆热低压控制下干热少云的结果。长江下游以南沿海地区的高值区是整个西太平洋高值带的延伸部分(图 3 上未绘出),它实际上是在副热带高压影响下云量减少的产物。以滇西南为中心的强大地-气吸收辐射带,遍及整个西南地区 and 青藏高原大部,并扩展到秦岭、淮河一带,这是强大西南季风的影响结果。在上述大鞍形场背景下,图上还存在着两个小闭合低中心,一个位于天山中西段(由新疆延至哈萨克斯坦境内)高山区,显然是由冰川影响所造成。另一个则位于昆仑山西部的北坡上,其形成与所处高空西来气流的迎风坡位置有关。

2.3 年分布

地-气吸收辐射的年分布形势大致与 1 月相似(图 4,图中单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)。

3 地-气系统短波吸收辐射的年变化

各地地-气系统吸收辐射年变化的基本形式是由天文因子决定的,但气候和下垫面条件的影响可使其产生偏离。图 5 给出 113.75°E 的地-气吸收辐射纬度-时间剖面图。可以看出,各地地-气吸收辐射的年变化形式大体都呈单峰型,而最大值出现月份略有不同。在 35°N 以北地区,最大值在 6 月出现,与天文辐射一致,以南则推迟至 7 月出现,反映出江淮及其以南地区受梅雨的影响。最小值多数在 12 月出现,仅 30°N 一带因云量影响后延至 1 月出现。剖面等值线密集程度表示出地-气吸收辐射年较差的纬度变化。

图 6 即为地-气吸收辐射年较差在全国的分布(图中单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)。可见其随纬度升高而增大的趋势是很清楚的,显示出纬度的主导作用。在此背景下吸收辐射年较差等值线的波动,特别是闭合中心的出现,则是冬夏季大气环流和下垫面条件影响所造成的。

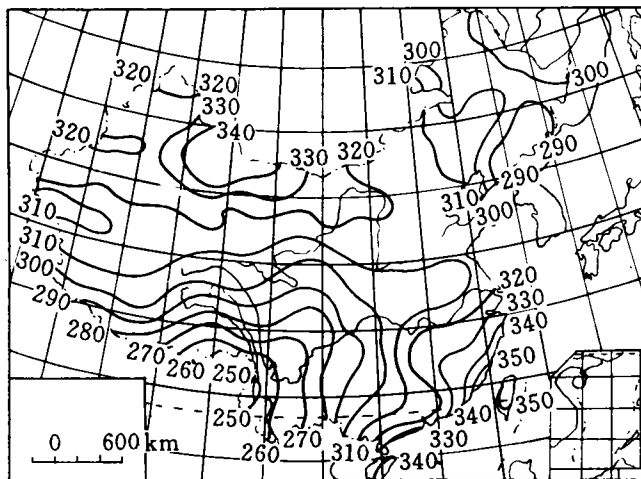


图 3 7 月地-气系统短波吸收辐射的全国分布

Fig. 3 As in Fig. 2 but for July

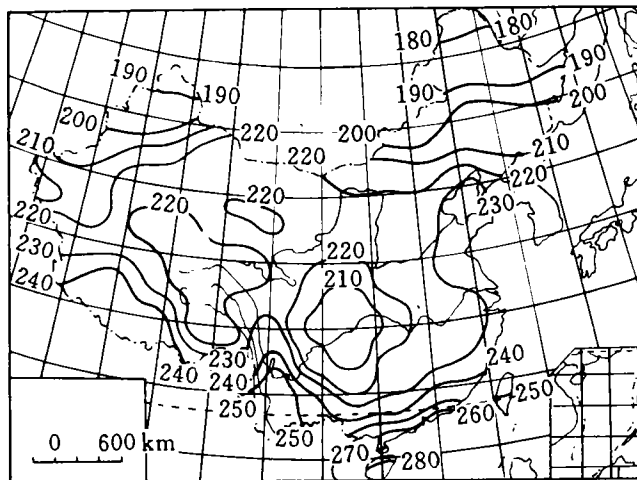


图 4 年平均地-气系统短波吸收辐射的全国分布

Fig. 4 The same as in Fig. 2 but for annual mean

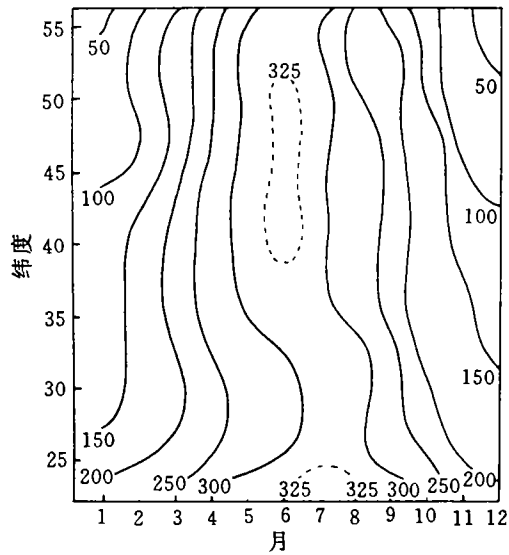


图 5 沿 113.75°E 地-气系统短波吸收
辐射纬度-时间剖面图
Fig. 5 Latitude-time plot of the absorbed SW
radiation ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) through 113.75°E

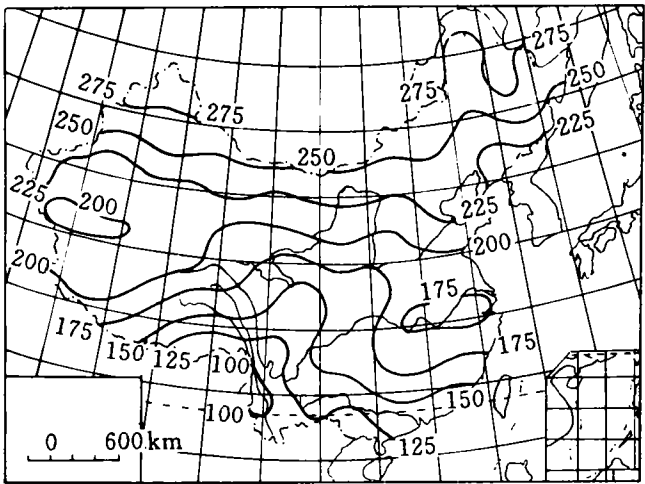


图 6 地-气系统短波吸收辐射年较差分布
Fig. 6 As in Fig. 2 except for the annual range

4 小 结

地-气系统吸收辐射变化取决于纬度、季节、云量以及地表反射率等条件。纬度和季节影响决定它的基本趋势，云和地表反射的作用则使之发生偏离，其中又以云的影响最显著。

地-气系统吸收辐射与地表吸收辐射具有明显的相关性，各站的相关系数高达 0.900 以上。

在冬季地-气系统吸收辐射分布以南高北低的纬向型为主要特征，但在长江中游一带仍存在因云量影响造成的低值区。夏季为一大鞍形场，两高值区在西北干燥区和江南沿海区，低值区在西南地区 and 东北地区东南部。其年分布形势大致与 1 月相似。

各地地-气吸收辐射年变化基本形式与天文辐射一致，云量条件可使其最大、最小值出现月份发生位移，其年较差分布大致具有随纬度增高而增大的特点。

参 考 文 献

- 1 钟 强. 青藏高原地区地气系统太阳辐射能收支的研究. 高原气象, 1989, 8(1): 1~11
- 2 季国良, 江 灏. 青藏高原地气系统的辐射平均特征. 高原气象, 1988, 7(1): 9~18
- 3 Barkstrom B R. The earth radiation budget experiment (ERBE). Bull Amer Meteor Soc, 1984, 65: 1170~1185
- 4 Rossow W B, Schiffer R A. ISCCP cloud data products. Bull Amer Meteor Soc, 1991, 72: 2~20
- 5 翁笃鸣, 孙治安, 史 兵. 中国地表净辐射的气候学研究. 南京气象学院学报. 1988, 11(2): 132~143
- 6 Ramanathan V. Scientific use of surface radiation budget data for climate studies. World Climate Pap, 1986, 115: 61~92

ATMOSPHERE-EARTH ABSORBED SHORTWAVE RADIATION DISTRIBUTION FEATURES OVER CHINA

Weng Duming

(Department of Applied Meteorology, NIM, Nanjing, 210044, PRC)

Abstract Based on ERBE and ISCCP data the annual contrast pattern of absorbed shortwave radiation (ASWR) in the atmosphere-earth system over China is explored in connection with analysis of its relation to total cloudiness, planetary/surface albedoes, and surface ASWR. It is found that the winter (summer) ASWR takes a form of being higher in value in the south than in the north (being asymmetric saddle), roughly in an opposite correspondence to the planetary albedo distribution. Besides, the atmosphere-earth ASWR is negatively correlated to total cloudiness, with higher correlation in the eastern part and the correlation in excess of 0.900 between the two types of ASWR for all the stations under study, a result that makes it possible, to some extent, to obtain the surface ASWR from the air-earth analog through retrieval in a climatological context.

Keywords China, absorbed shortwave radiation in the atmosphere-earth system, surface absorbed shortwave radiation