

中国大气净辐射的气候特征[‡]

翁笃鸣 高庆先 姚志国

(南京气象学院应用气象学系, 南京 210044)

摘 要 根据 ERBE 和 ISCCP 资料以及实测和计算的地表净辐射资料进行了计算, 并讨论了我国大气净辐射的气候特征; 分析了其与各辐射分量及影响因子的关系。结果表明, 大气净辐射与大气吸收短波辐射有很高的线性关系, 并可由此建立起统一的大气净辐射计算式。大气净辐射随海拔高度递减的趋势比较明显, 其随纬度变化在夏季呈弱递增, 冬季则为均匀变化。最后还就本文与文献上的大气净辐射分布形势及数值进行了对比, 发现两者差异较大。

关键词 中国, 大气净辐射, 气候特征

分类号 P422.4

60 年代以来, 我国学者曾先后应用探空资料研究了东亚及我国对流层大气净辐射的气候特征问题^[1~3]。但因受资料条件限制, 上述研究的高度只到大气对流层顶, 而且站点数量也不够多。近年来, 随着卫星辐射探测资料的不断积累, 为直接研究地气系统辐射气候及反演地表辐射平衡各分量提供了可能。本文是继文献 [4~6] 的工作, 拟根据地球辐射平衡试验(ERBE) 1985~1988 年资料和同期国际卫星云气候计划(ISCCP) 资料, 结合我国地表净辐射观测和计算资料, 进一步讨论我国大气净辐射的气候特征, 以及它与各辐射分量及影响因子的关系。

大气净辐射表示大气在辐射交换过程中净的收支, 其值可由大气辐射平衡方程的余项确定

$$R_a = [S_0(1 - \alpha_p) - Q(1 - \alpha)] - (F_\infty - F) \tag{1}$$

式中, R_a 为大气净辐射; S_0 、 Q 分别为天文辐射和地表总辐射; α_p 、 α 依次为行星和地表反射率; F_∞ 、 F 则为地气系统长波射出辐射和地表有效辐射。实际计算时, 大气净辐射还可由

$$R_a = Q_a - F_a \tag{2}$$

或

$$R_a = R_p - R \tag{3}$$

确定。这里 Q_a 、 F_a 分别为大气短波吸收辐射和大气有效辐射; R_p 、 R 则为地气系统和地表净辐射。它们还可表示为 $Q_a = S_0(1 - \alpha_p) - Q(1 - \alpha)$, $F_a = F_\infty - F$, $R_p = S_0(1 - \alpha_p) - F_\infty$, $R = Q(1 - \alpha) - F$ 。

计算时, 除 α_p 、 F_∞ 直接取自 ERBE 资料、 S_0 按理论式计算外, Q 、 α 、 F 均按实测值或作者前已提出的计算方法进行^[1]。共完成了全国 215 站的计算。

[‡] 国家自然科学基金 49175243 资助项目

收稿日期: 1995- 07- 07; 改回日期: 1996- 03- 26

1 大气净辐射的影响因子

1.1 纬度和拔海高度的影响

纬度对大气净辐射的影响, 主要通过天文辐射以及云状况和大气及地表特征的改变表现出来。图 1 给出我国东部(105 E 以东) 地区 1、7 月大气净辐射随纬度变化曲线。为了比较, 图中同时绘出它的两个分量(大气短波吸收辐射和大气有效辐射) 的变化曲线。由图可见, 纬度对大气净辐射两分量的影响是很明显的, 它们都随纬度增加而递减。大气净辐射随纬度的变化则有所不同。1 月(图 1a) 它随纬度变化趋势除存在小的起伏外, 基本上为均匀分布, 反映出纬度对大气净辐射两分量同向均衡的影响结果。这是因为冬季高低纬间强烈的天文辐射和温度对比, 造成了大气短波吸收辐射和大气有效辐射的同步递减, 致使各纬度间大气净辐射均匀化。7 月(图 1b) 南北方向上相对较大的云量和水汽差异以及较均匀的温度分布, 是促成大气短波吸收辐射随纬度递减超过了大气有效辐射, 最终导致大气净辐射随纬度增高而递减(绝对值递增) 的主要原因。年平均大气净辐射随纬度变化特点可视作冬夏季变化状况的平均, 所以也随纬度递减(图略)。

拔海高度对大气净辐射的作用, 实质上是测点上方大气光学质量对它的影响。所以, 从理论上说, 随着拔海高度的增加, 大气光学质量迅速减小, 大气吸收和放射的短波和长波辐射也随之减小, 大气净辐射的绝对值也减小。实际上由于各地云和水汽等因素对大气辐射交换的附加影响, 上述规律性只是大体上得以保持。这在我国青藏高原地区的大气净辐射廓线图上有所反映(图 2)。图中 1 月曲线反映的大气净辐射绝对值随拔海高度单调递减趋势比较明显, 7 月廓线则出现某些弯曲。这显然与高原地区冬季干燥少云, 夏季湿润多云且分布不均有关。

1.2 水汽压和云的影响

大气中水汽压和云对太阳辐射和长波辐射都有较强的吸收能力, 所以水汽压和云对大气净辐射两分量的增强作用也较明显^[5,6]。至于它们对大气净辐射的最终影响, 则在很大程度上由它们对何种分量影响为主来决定。为说明这一点, 表 1 分别列出该两因子与大气净辐射在全国和不同地区的相关系数。可以看出, 由于两因子对大气净辐射两分量的同向影响结果, 表中的相关系数一般均较小, 甚至不明显。但冬季(1 月) 在青藏高原、东南地区和全国范围, 仍可分辨出以负相关为主的特点。表明在这些地区大气中水汽和云增多所引起的大气净的长波放射的增量, 超过了大气吸收太阳辐射的增加量, 导致大气净辐射的减小。夏季(7 月), 各地水汽与大气净辐射的相关均不显著, 而云的影响还较明显地存在。其中除三北地区保持负相关外, 在青藏高原、东南地区则出现正的相关。这可能与上述两地区夏季对流旺盛多直展云有关, 因为

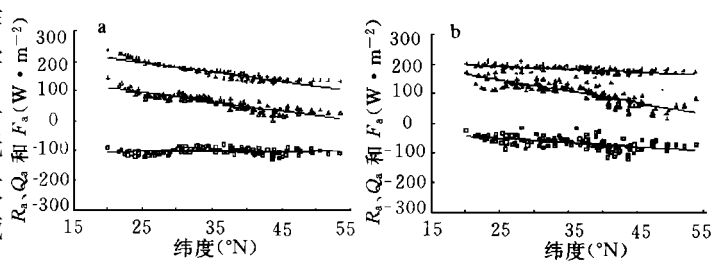


图 1 中国东部(105 E 以东) 地区大气净辐射及其两分量
(大气短波吸收辐射、大气有效辐射) 随纬度的变化($W \cdot m^{-2}$)
a. 1 月; b. 7 月
□ 大气净辐射; △ 大气吸收短波辐射; + 大气有效辐射
Fig. 1 Latitudinal variation in ANR (□) and its components —
atmosphere-absorbed short-wave radiation (△) and atmospheric
effective radiation (+) east of 105 E. Units: $W \cdot m^{-2}$
a. January; b. July

直展云能使地气系统长波射出辐射(OLR)急剧减弱,导致大气有效辐射随云量的增长趋势减缓,有可能反使大气净辐射随云量递增。

表 1 水汽压、总云量与大气净辐射的相关系数

	水汽压-大气净辐射				总云量-大气净辐射			
	A	B	C	D	A	B	C	D
	n= 83	n= 55	n= 77	n= 215	n= 83	n= 55	n= 77	n= 215
1 月	- 0.045	- 0.607*	- 0.318*	- 0.366*	- 0.165	- 0.245	- 0.464*	- 0.221*
7 月	- 0.261	0.320	- 0.127	- 0.002	- 0.313*	0.414*	0.450*	0.093

注: A: 三北地区 37.5°N 以北; B: 青藏高原 37.5°N 以南, 105°E 以西; C: 东南地区(37.5°N 以南, 105°E 以东); D: 全国范围; 有* 表示通过信度 0.01 的 *t* 检验, 下同。

A: NE、N 和 NW China north of 37.5°N; B: Qinghai- Xizang Plateau south of 37.5°N, west of 105°E; C: SE seaboard China south of 37.5°N, east of 105°E; D: The whole country. *: The measurement has passed test at 0.01 significance

1.3 大气净辐射与其两分量的相关性

大气净辐射与大气短波吸收辐射及大气有效辐射的相关性, 是由大气辐射平衡方程(2)以及天文辐射的主导作用所决定的。我们着重分析了大气净辐射与大气吸收辐射的相关性。从分站统计全国 215 站大气净辐射与大气短波吸收辐射的回归方程中, 发现各站相关系数大部高达 0.850 以上, 且回归误差较小, 回归方程系数分布较有规律。可拟合出全国统一的大气净辐射计算式

$$R_a = a + bQ_a \tag{4}$$

式中经验系数 *a*、*b* 可通过各站年平均水汽压 $\bar{e}$ 表示, 即

$$a = - 83.7463 - 6.2449\bar{e} \quad (r = - 0.910)$$

$$b = 0.4458 + 0.032\bar{e} \quad (r = 0.763)$$

经检验, 上式的平均拟合误差为 $6.9\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

各站大气净辐射与短波吸收辐射年变化中所存在的高相关特点, 与地表辐射交换中的同类相关一样^[8,9], 都显示出太阳辐射作为能源的决定性作用。后面将要看到的各地区大气净辐射年变化与天文辐射年变化的基本一致性便是最好的证据。大气净辐射与大气有效辐射的相关较差, 主要由于后者的年变化相对平缓且位相明显滞后有关^[5]。

大气净辐射与大气短波吸收辐射的场相关情况, 因受地理气候因素的附加影响, 总不及单站显著。但就全国范围看, 在暖季各月两者的相关系数仍较大, 冬季则很差。大气净辐射与大气有效辐射的相关特点则与此相反, 在冬季的负相关都较明显, 两者正好互相配合(表 2)。

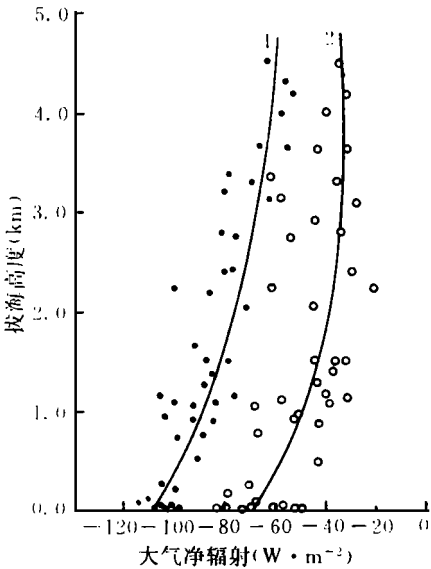


图2 青藏高原及其周围地区大气净辐射随海拔高度的变化
1- 1月; 2- 7月

Fig. 2 Altitude-dependent ANR over the Qinghai-Xizang highland and its vicinity
1- January; 2- July

表2 大气净辐射与大气短波吸收辐射(r_1)、大气有效辐射(r_2) 在全国的场相关系数

Table 2 Correlation coefficients between ANR, absorbed short-wave radiation (r_1) and effective radiation (r_2) on a national basis

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
r_1	- 0.08	0.12	0.44*	0.68*	0.66*	0.70*	0.70*	0.78*	0.69*	0.27	- 0.07	0.01
r_2	- 0.55*	- 0.50*	- 0.16	0.22	0.12	0.07	- 0.12	0.10	0.11	- 0.31*	- 0.62*	- 0.48*

2 大气净辐射的全国分布

在我国大陆全年各月的大气净辐射均为负值,这是大气吸收的太阳辐射不足于补偿长波辐射损失的结果。大气净辐射的全国分布形势可因受季节和地形、气候条件差异而有所不同。

冬季(1月,图3),全国大气净辐射分布,如以绝对值论,除青藏高原因海拔高度高,净辐射较小外,其余地区总的差别不大。在东部地区两个相对高值区分别位于东北西部和长江流域以南至南岭以北地区。前者可因纬度较高,后者则因云量相对较多所造成。黄淮和华南沿海则相对较低。在西北区可大致辨认其随纬度递增的趋势。

夏季(图4),全国大气净辐射的负值缩小,反映出太阳辐射作用普遍加强。大气净辐射分布形势,与1月相比在东部地区大体上仍维持高低值区相间排列。主高值区在大气干洁且云量较小的内蒙高原和东北平原西部。青藏高原主体连同天山山区仍为低值区。西北干燥区由于大气混浊,吸收的太阳辐射较多,大气净辐射负值较小。变化较显著的是在青藏高原东南边缘及横断山区(因受西南季风影响,大气吸收太阳辐射增加,而大气有效辐射则有所减小,最终导致大气净辐射负值减小,绝对值在 $20\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下)。在狭长的雅鲁藏布江河谷地带,因日间相对少云,大气短波吸收辐射远不及东部的横断山区,反而成了高原上大气净辐射的小高值区。

大气净辐射的年分布较典型(图5),从整体上看, $-70\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 等值线在 $100\sim105^\circ\text{E}$ 间自北向南把全国分成东西两部分。东部地区因海拔高度低、水汽压高和云量较多的缘故,大气

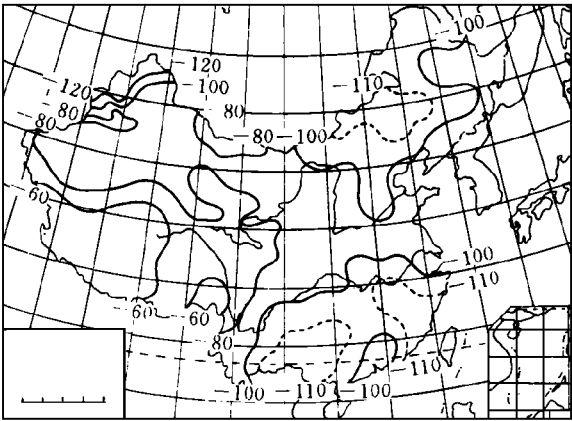


图3 1月大气净辐射的全国分布($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)
Fig. 3 January distribution of ANR across the country ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

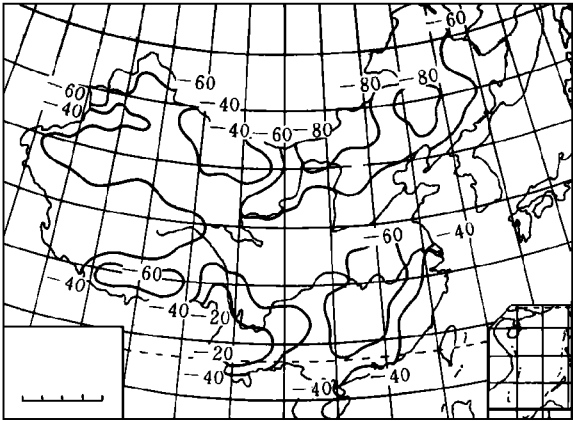


图4 7月大气净辐射的全国分布($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)
Fig. 4 July distribution of ANR across the country ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

净辐射绝对值普遍高于西部。它在本区的分布特点仍与 1 月相似, 只在四川盆地区可因全年湿润多云雾形成一小高中心。西部地区的大气净辐射兼有 1、7 月的分布特点, 总背景与 1 月相似, 而在雅鲁藏布江河谷一带的小高中心, 显然是受夏季分布形势影响保留下来的。

图 6 给出各地区大气净辐射的平均(华南沿海、长江下游、华北平原、东北平原、青藏高原和西北干燥区均为 3 站平均; 滇西南和四川盆地区为 2 站平均)年变化。可以看出, 它们都呈单峰型, 这是在天文辐射主导作用下, 水汽压和云量年变化共同作用的结果。其最大值一般在 6 月出现, 个别地区(如长江下游、四川盆地)可提前至 4、5 月。最小值多数在 10~11 月出现, 较之其他大气辐射要素(如大气短波吸收辐射和有效辐射)有显著提前。据对大气净辐射两分量年变化的联合分析, 发现这主要是大气有效辐射相比大气吸收辐射落后所造成。当时已接近降至最低的大气吸收辐射与相对较大的有效辐射相配合便使大气净辐射降至最小。

各地大气净辐射的年较差有随纬度递减趋势, 在东部地区由华南沿海区的 $80.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 递减至东北平原的 $60.8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。西部青藏高原地区由于拔海高度的缘故, 大气净辐射年变化平缓, 年较差最小($36.4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), 滇西南的年较差增大($91.1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)则主要是由于夏季净辐射剧增所造成(图 6), 西北干燥区为 $63.8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

3 讨 论

以上是本文根据卫星探测资料和地表净辐射气候计算资料对我国大气净辐射状况所作的初步讨论。对比文献 [2, 3] 和本文的分析, 发现在分布形势和数值上均有较大差异。如以文献 [3] 的分析为例, 1 月大气净辐射在我国东部地区的分布基本上是负的南高北低型, 数值在 $-160 \sim -60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 间, 7 月则为相对的均匀分布, 弱的高低值区相间排列, 其值大都在 $-40 \sim -20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 间。青藏高原东南部连同滇西南为一弱的负高值区($-80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上)。文献

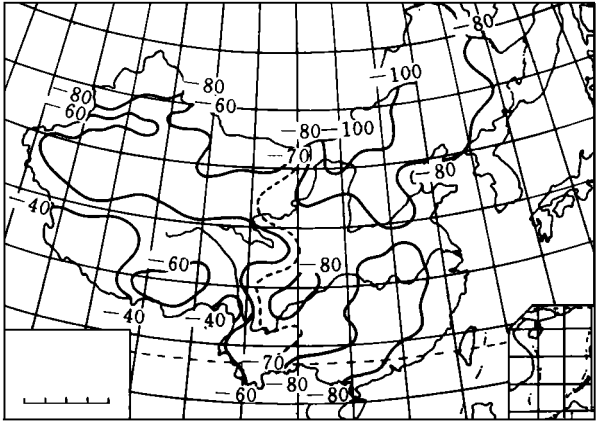


图 5 年平均大气净辐射的全国分布 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig. 5 Annual mean distribution of ANR across the country ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

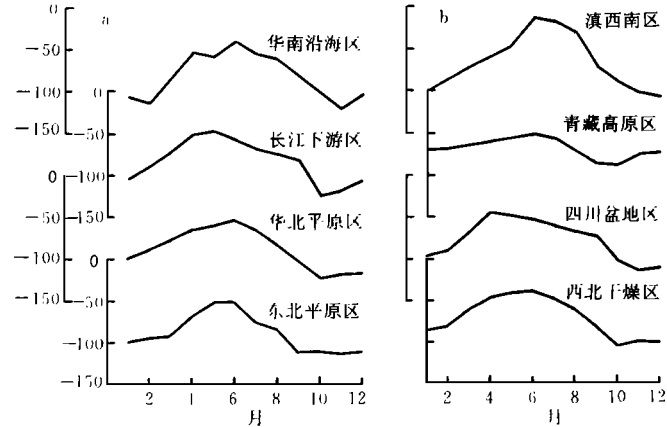


图 6 各区域大气净辐射的平均年变化

a. 东部地区; b. 西部地区

Fig. 6 Averaged annual variation in ANR for major regions of the country

a. east of 105°E ; b. west of 105°E

2]与文献 1]的大气净辐射分布形势虽有一定相似,但数值上的差别也较大。

上述差异的产生,原因是多方面的。对于文献 2, 3],是否与所采用的各种计算方法的精度以及探空资料本身的局限性等有关。就本文而言,卫星探测资料可能因分辨率、处理方法以及资料年代长度等不足,加之地表净辐射气候计算误差的影响,难免给大气净辐射计算带来一定的误差。但从本文分析的大气净辐射随纬度、海拔高度的变化,它与大气短波吸收辐射及大气有效辐射的相关特点,以及它的时空分布特征等方面看,结果较可信。以上是初步的对比,希望能引起气候学界对此更大的关注,以更深入地揭示我国大气净辐射的气候实质。

参 考 文 献

- 1 左大康, 陈建绥, 李玉海. 东亚地区地球-大气系统和大气辐射平衡. 地理学报, 1965, 31(2): 106~112
- 2 陈隆勋, 龚知本, 陈嘉滨. 东亚地区大气辐射能收支(三)——云天大气的地气系统热量收支. 气象学报, 1965, 35(1): 6~16
- 3 陈 星. 中国对流层大气辐射平衡. 气象学报, 1987, 45(3): 304~312
- 4 翁笃鸣, 李 炬. 中国地-气系统净辐射的气候特征. 南京气象学院学报, 1995, 18(2): 255~262
- 5 翁笃鸣, 周自江. 中国整层大气有效辐射的气候学研究. 气象科学, 1995, 15(2): 1~9
- 6 翁笃鸣, 张海东. 中国大气短波吸收辐射的气候研究. 南京气象学院学报, 1996, 19(1): 111~117
- 7 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
- 8 翁笃鸣, 高庆先. 关于总辐射与地表净辐射的相关性问题. 南京气象学院学报, 1992, 15(4): 500~507
- 9 翁笃鸣, 高庆先. 总辐射与地表净辐射相关性的气候学研究. 南京气象学院学报, 1993, 16(3): 288~294

CLIMATIC FEATURES OF ATMOSPHERIC NET RADIATION OVER CHINA

Weng Duming Gao Qianxian Yao Zhiguo

(Department of Applied Meteorology, NIM, Nanjing 210044)

Abstract In the context of ERBE and ISCCP data, measured and calculated surface net radiation, investigation is performed of the climatic features of atmospheric net radiation (ANR) over China, along with the relations to its components and affecting factors. Results show that a higher linear correlation exists between ANR and atmosphere-absorbed short-wave radiation is available and thereby a general expression for ANR is formulated based on the relations. A significant tendency of ANR decrease versus altitude and weak increase as a function of latitude in summer is found, with uniform variation in winter. Finally, comparison indicates great difference in ANR pattern and magnitude between our findings and literature.

Keywords China, atmospheric net radiation, climatic feature