

青藏高原地区大气顶净辐射 与地表净辐射的关系*

王可丽 钟 强

(中国科学院兰州高原大气物理研究所, 兰州, 730000)

摘 要

地表净辐射为地气系统净辐射与大气层净辐射之差。对大气层净辐射作不同的假定,可将地表净辐射与大气顶辐射收支之间的关系表示成不同的形式。本文利用 1982 年 8 月—1983 年 7 月青藏高原地区地面辐射收支观测资料及同期 NOAA-7 辐射收支资料,用统计方法讨论了大气顶净辐射与地表净辐射之间的相关性,建立了两者之间的回归方程,并在此基础上分析了青藏高原地区月平均地表净辐射的时空分布特征。

关键词: 青藏高原, 大气顶净辐射, 地表净辐射。

1 引 言

驱动大气运动的能量主要来自下垫面的辐射能、感热能和潜热能,而感热能和潜热能又是由下垫面的净辐射收入转换而成的,因此,研究地表净辐射对了解天气气候的变化有重要意义。研究地表净辐射的方法可归为三类:1)利用辐射传输模式分项计算地表辐射收支。此方法的优点在于能够比较细致地考虑大气中的辐射传输过程。但由于存在对辐射传输过程全面真实地了解及其参数化等许多有待于解决的问题,对于同一问题,采用不同的实施方案所得到的结果差别很大,因此,辐射模式的计算结果具有不确定性^[1]。2)利用地表净辐射(或各分量)的实际观测资料,分析地表净辐射(或各分量)与常规气象要素之间的关系,给出根据常规气象观测资料估算地表净辐射的经验方法^[2]。在气象台站分布比较密集的地区,这种方法的应用效果还是比较好的,但在地广站稀的地区,尤其是在青藏高原中西部广大无台站地区,无法满足此方法的应用条件。3)气象卫星观测资料的提供,为分析地表净辐射开辟了新途径。周允华等人^[3]曾利用卫星云图估算青藏高原地区地表净辐射。文献^[4]利用 Nimbus-7 月平均资料简单讨论了青藏高原地区大气顶净辐射与地表净辐射的相关性。Pinker 等人^[5,6]利用卫星辐射收支资料分析了在美国、加拿大部分地区推算地表净辐射的有关问题。他们的工作表明,卫星观测到的大气顶净辐射与地表净辐射有较好的相关性,并证实了大气顶卫星观测资料可直接用来估算地表净辐射。

大气顶辐射收支与地表净辐射之间存在着一定的物理关系,这种关系是利用卫星辐

* 1992 年 7 月 14 日收到原稿,1993 年 2 月 18 日收到修改稿。本文由国家基础性研究重大关键项目“气候动力学和气候预测理论的研究”和“青藏高原近代气候变化及其对环境的影响的研究”资助。

射收支资料推算地表净辐射的物理基础。据此,本文利用 1982 年 8 月—1983 年 7 月青藏高原地区地面辐射收支观测资料及同期 NOAA-7 辐射收支资料,对表征两者之间物理关系的几种不同形式进行了回归分析,并讨论了与时间尺度的关系,在此基础上选择了较有代表性的回归方程,用于分析青藏高原地区月平均地表净辐射的时空分布特征。

2 基本公式

大气顶净辐射 N_p 、整层大气的净辐射 N_a 与地表净辐射 N_s 之间的关系可表示为:

$$N_s = N_p - N_a \quad (1)$$

按照辐射平衡方程,大气顶净辐射与整层大气净辐射可分别由下列各式给出:

$$N_p = Q_p(1 - \alpha_p) - \text{OLR} \quad (2)$$

$$N_a = S_a + F_s - \text{OLR} \quad (3)$$

这里 Q_p 为天文总辐射, α_p 为行星反射率, OLR 为地气系统向外长波辐射, S_a 为整层大气的短波辐射吸收, F_s 为地面有效辐射。

将式(2)和式(3)代入式(1)得到:

$$N_s = Q_p(1 - \alpha_p) - S_a - F_s \quad (4)$$

对于离散取值过程而言,可将式(4)表示成:

$$N_s = a + b \cdot Q_p(1 - \alpha_p) + c \cdot F_s + d \cdot S_a \quad (5)$$

对 S_a 、 F_s 作不同的参数化假定^[7,8],式(5)可有不同的表示形式:

$$N_s = a_1 + b_1 \cdot N_p + c_1 \cdot \text{OLR} + d_1 \cdot \alpha_p \quad (6)$$

$$N_s = a_2 + b_2 \cdot Q_p(1 - \alpha_p) + c_2 \cdot \text{OLR}_D + d_2 \cdot \alpha_p \quad (7)$$

$$N_s = a_3 + b_3 \cdot N_p + c_3 \cdot \text{OLR} \quad (8)$$

$$N_s = a_4 + b_4 \cdot N_p + c_4 \cdot \text{OLR}_D \quad (9)$$

这里 OLR_D 为白天的 OLR 值。如果完全不考虑大气层净辐射的变化对地表净辐射的作用,即假定 $N_a = \text{常数}$,那么由式(1)可得到进一步简化的形式:

$$N_s = a_5 + b_5 \cdot N_p \quad (10)$$

式(6)—(10)中的 a 、 b 、 c 、 d 为模型系数,与观测资料和模型形式有关。Pinker 等人^[5,6]曾利用加拿大和美国部分地区的资料对式(9)、(10)进行过实验,表明大气顶净辐射与地表净辐射有很好的相关性,并指出以此为基础估算地表净辐射的统计方法是很有潜力的。本文利用青藏高原地区的资料对式(6)—(10)进行定量分析,在比较它们的相关程度并分析其原因的基础上建立估算地表净辐射的气候学计算方法。

3 资料和处理

在本文的分析中所用卫星资料为 1982 年 8 月—1983 年 7 月 NOAA-7 逐日的行星反射率与 OLR 格点化资料,网格距为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ (由美国国家气候中心卫星资料服务处(SDSD)的卫星资料产品得到)。天文总辐射取逐日的日平均值,同期地面资料取青藏高原热源观测试验站(改则、那曲、拉萨、甘孜)的地面总辐射(Q_s)、地表反射率(α_s)和地面有效辐射(F_s)。每日 10 次测值^[9](按地方时正点观测,每 2h 一次,02 和 22 时不观测),并由地表

辐射平衡方程:

$$N_s = Q_s(1 - \alpha_s) - F_s \quad (11)$$

计算得到逐日平均的地表净辐射值(文中称之为地面实测值)。

在分析大气顶辐射收支与地表净辐射的关系时,卫星资料取值为距地面测站最近的网格点上的值。

4 分析与讨论

利用上述资料,结合式(6)至(10)用统计方法分析了回归因子选择和平均值(样本元素)时间尺度的不同对大气顶辐射收支与地表净辐射的经验关系的拟合程度的影响。

4.1 不同回归因子选择的比较

第2节由式(1)或式(5)导出的表达式(6)~(10)实际上代表了回归因子的各种不同选择方案。表1给出了样本集时间长度为季的情况下各式的相关系数和标准差。由表1可以看出,各式的差别不是很大,相对而言,多因子的式(6)误差较小,相关系数较大,单因子的式(10)误差较大,相关系数较小;各季之间比较,秋季相关系数最大,夏季最小,夏季由于盛行对流云,云对辐射的影响更为复杂。

表1 以日平均资料为样本,取样本集时间长度为季,式(6)~(10)的相关系数 R 和标准差 SD(F 检验的信度水平超过 0.001)

		春	夏	秋	冬
式(6)	R	0.651	0.487	0.792	0.604
	SD	34.4	41.7	27.9	17.4
式(7)	R	0.640	0.484	0.773	0.580
	SD	34.8	41.7	29.0	17.8
式(8)	R	0.588	0.485	0.736	0.513
	SD	36.6	41.6	31.0	18.8
式(9)	R	0.566	0.484	0.738	0.520
	SD	37.3	41.6	30.9	18.7
式(10)	R	0.529	0.476	0.735	0.495
	SD	38.3	41.8	30.9	19.0
样本数(日)		368	239	356	360

4.2 不同平均时段的比较

Pinker 等人^[6]在分析大气顶与地表的净辐射之间的关系时,指出了回归误差随样本元素的平均时段的增长而减小。我们在分析 OLR 与地面有效辐射的关系^[8]时,也得到了同样的结论。本文从另一角度来讨论这一问题。

地表净辐射为大气顶净辐射与大气层净辐射之差,如(1)所示。由于云对辐射的影响的复杂性及极轨卫星观测时间取样的不足(α_p 为 1 次/d, OLR 为 2 次/d)造成的大气层净辐射的不确定性是影响经验关系拟合程度的重要原因。本文定义大气层净辐射与大气顶净辐射变化幅度之比为 η , 用来表征不确定程度。

$$\eta = \frac{\max_i \{\bar{N}_{a,i}\} - \min_i \{\bar{N}_{a,i}\}}{\max_i \{\bar{N}_{p,i}\} - \min_i \{\bar{N}_{p,i}\}} \quad (12)$$

这里 $i=1,2,\dots,n$, n 为样本集内的样本总数。 \bar{N}_p, \bar{N}_a 代表时段平均值。表 2 给出了以不同时段平均值为样本元素、以季为样本集时间长度的 η 值。由表 2 可以看出, η 值随时间尺度的增长而明显地减小。即较长的平均时段, 对由于云的影响和时间取样的不足所致的不确定性有一定的平滑作用, 使得大气顶与地表的净辐射之间的经验关系有较好的拟合效果。

表 2 不同样本的 η 值的比较

	春	夏	秋	冬	平均
日平均样本	1.38	1.34	1.02	1.37	1.28
候平均样本	0.76	0.83	0.61	0.73	0.73
旬平均样本	0.60	0.72	0.40	0.65	0.59
月平均样本	0.44	0.47	0.22	0.39	0.38

4.3 结果分析

表 3 给出了式(6)与(10)以月平均资料为样本分季拟合的相关系数。比较式(6)与(10), 前者略优于后者, 但式(10)的回归系数对不同的样本的稳定性较好。综合考虑以上的分析, 我们最后选用式(10)以月平均资料为样本, 以季为样本集时间长度, 建立了表示春夏秋冬各季大气顶与地表净辐射之间关系的回归方程:

$$N_s = 51.46 + 0.883N_p + \delta_\lambda \quad (13)$$

$$N_s = 70.54 + 0.964N_p + \delta_\lambda \quad (14)$$

$$N_s = 81.44 + 1.111N_p + \delta_\lambda \quad (15)$$

$$N_s = 51.24 + 0.690N_p + \delta_\lambda \quad (16)$$

式(13)、(15)和(16)均通过 0.005 信度水平检验。由于 6 月份卫星资料缺损, 因此获得式(14)的样本比较少, 通过 0.05 信度水平检验, 比较各季的回归系数, 其变化是比较有规律的, 因而式(13)至(16)可作为推算地表净辐射的一个气候学计算方法。

表 3 以月平均资料为样本式(6)、(10)的相关系数 R

	春	夏	秋	冬	平均
式(6)	0.894	0.886	0.951	0.890	0.905
式(10)	0.779	0.761	0.935	0.840	0.829

式中 δ_λ 为考虑高原东、西部自然条件的差异引入的订正值, 下标 λ 表示经度。在不考虑地区差异订正的情况下, 根据对式(13)至(16)的检验, 处于高原西部的改则, 计算值偏高, 而处于高原东部的甘孜则反之。 δ_λ 的表达式为:

$$\delta_\lambda = \begin{cases} -12.99 & \lambda < 85^\circ \\ -163.10 + 1.766\lambda & 85^\circ \leq \lambda \leq 100^\circ \\ 13.50 & \lambda > 100^\circ \end{cases} \quad (17)$$

其系数为根据对计算值与实测值的比较得到的经验值。引入 δ_λ 订正后, 式(13)—(16)的均方根误差分别为 11.7, 11.5, 8.4, 7.9 wm^{-2} 。

图 1 给出了甘孜、改则、拉萨和那曲 4 个站 1982 年 8 月—1983 年 7 月月平均实测地表净辐射与由式(13)至(16)计算得到的地表净辐射的比较。如图所示,计算值与实测值的一致性是比较好的。由于卫星观测与地面观测空间、时间取样的不同,计算值与实测值相比,数值上会有一定的差别,如拉萨站 3—5 月,这种差别比较明显。

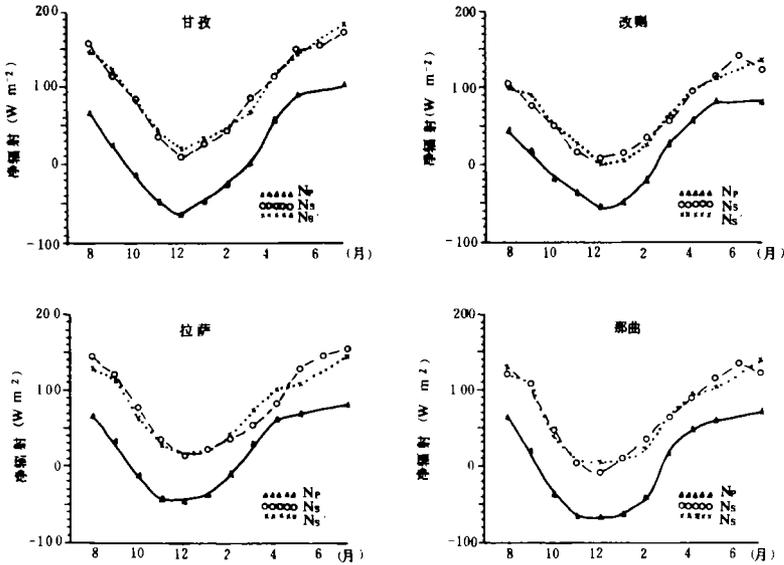


图 1 地表净辐射计算值与实测值的比较
(N_s 为实测值, N_c 为计算值, N_p 为大气顶净辐射)

利用式(13)至(16)式我们计算了青藏高原地区各月月平均地表净辐射的场分布。图 2 给出了 1 月(冬季)和 7 月(夏季)的计算结果。如图所示,不论冬季或夏季,高原东部(100°E 以东)为地表净辐射的高值区,这表明高原东部有较强的感热与潜热供给大气。另外,相对于高原周围(东边除外),高原主体为一相对高值区。比较冬、夏季,冬季的高值区较为偏南。从整体上说,高原主体冬季地表净辐射场仍是一正值区,这与翁笃鸣在文献[10]中的结论是一致的,但高原西部有一片负值区。这些结果进一步表明了高原东西部热源作用的差异。

5 结束语

本文资料的分析结果表明,大气顶净辐射与地表净辐射有较好的相关性,根据这种相关性,我们可利用卫星辐射收支观测资料直接估算地表净辐射。这对青藏高原能量收支的研究是很有意义的。

大气顶与地表净辐射之间的回归关系,其误差随样本元素的平均时段的增长而减少。由于本文所用的资料来源于 NOAA 极轨卫星一日两次的观测,所以仅限于对月平均值的应用。为了使回归方程具有更好的代表性,需要进一步解决资料不足的问题。为了建立适用于较短时段(如日平均值)的回归关系,需要发展静止卫星多时次观测资料的应用。

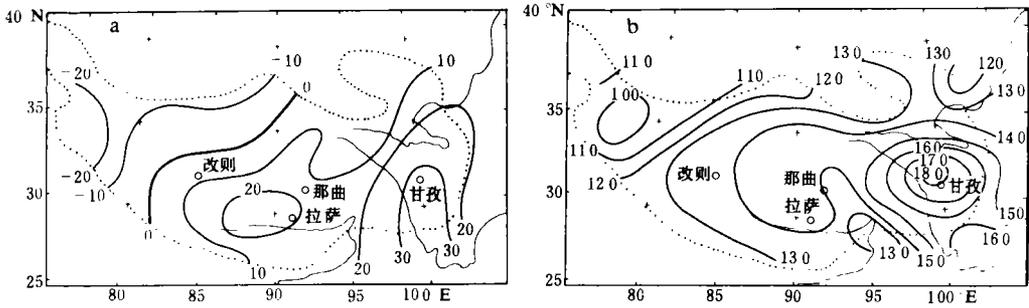


图2 青藏高原地区地表净辐射(wm^{-2})的空间分布
(a. 1983年1月; b. 1983年7月)

大气顶与地表净辐射之间的回归关系,有地区性的差异.应用高原平均情况的回归关系,处于高原西部的改则,计算值偏高,而处于高原东部的甘孜则反之.为了得到地面净辐射的空间分布,必须考虑地区订正.本文只考虑了高原东、西部差异的订正,关于南、北差异的订正,由于缺乏相应的地面实测资料作验证,本文没有考虑.总之,应用卫星观测估算地面能量收支,必须有地面实测资料作校准,即地面能量收支的气候学研究,必须建立在卫星观测与地面观测相结合的基础上.

本文结果还表明,不论冬季还是夏季,高原东部为一地表净辐射的高值区,高原主体为一相对高值区.从整体上说,高原主体冬季地表净辐射仍是一正值区,但其西部有一片负值区.

参考文献

[1] Cess R D, Potter G L et al. Intercomparison and interpretation of climate feedback processes in 19 atmospheric general circulation models. *J Geophys Res*, 1990, 95: 16601—16615.

[2] 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.

[3] 周允华,项月琴. 利用卫星云图对1979年夏季青藏高原月、旬辐射平衡场的研究. *大气科学*, 1985, 9(1): 44—53.

[4] 季国良,江灏. 青藏高原地区地-气系统的辐射平衡特征. *高原气象*, 1988, 7(1): 9—18.

[5] Pinker R T and Corio L A. Surface radiation budget from satellites. *Mon Wea Rev*, 1984, 122: 209—215.

[6] Pinker R T, Ewing J A and Tarpley J D. The relationship between the planetary and surface net radiation. *J Clim Appl Meteor*, 1985, 24: 1262—1268.

[7] 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—12.

[8] 王可丽,钟强. 青藏高原地区OLR与地面有效辐射关系的分析. *高原气象*, 1991, 10(4): 381—390.

[9] 中国科学院兰州高原大气物理研究所. 青藏高原辐射平衡观测资料(1982年8月—1983年7月). 1988.

[10] 翁笃鸣. 青藏高原地表净辐射若干重要特征研究. *南京气象学院学报*, 1991, 14(2): 151—159.

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PLANETARY AND SURFACE NET RADIATION OVER QINGHAI-XIZANG PLATEAU

Wang Keli Zhong Qiang

*(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Chinese Academy
of Sciences, Lanzhou, Gansu Province, 730000)*

Abstract

Surface net radiation flux is the difference between net radiation flux at the top of the atmosphere (TOA) and net radiation flux within the atmosphere. The relationship between surface net flux and TOA radiation budget can be expressed by different formula with different parameterization assumption of net flux within the atmosphere. In this paper, utilizing the NOAA-7 radiation budget data and the simultaneous surface radiation data over Qinghai-Xizang Plateau during the period from August 1982 to July 1983, the relations of them are discussed and the regression prediction equations are derived for deriving the monthly mean surface net flux from satellite observations. On the basis of above analysis, the spatial distributions of the monthly mean surface net flux are analysed.

Key words: Qinghai-Xizang Plateau, Net radiation flux at the top of the atmosphere, Surface net radiation flux.