

由 GMS 卫星资料获取我国夏季 地表辐射收支*

陈渭民

高庆先

洪 刚

(南京气象学院, 南京 210044)

(武汉中心气象台, 武汉 430074)

摘要 地表辐射收支是一个重要的基本辐射参数, 本文导得卫星可见光和红外波段测值与地表辐射收支的基本关系, 据此利用 GMS 静止气象卫星可见光和红外通道数值化资料和地面辐射收支观测资料, 建立了几个由卫星资料估计地面辐射收支的模式, 选择效果最佳的一种模式, 通过内插方法求取全国辐射收支分布, 回归效果与实测结果比较表明, 方法有实际应用价值。

关键词 静止气象卫星 可见光辐射 长波红外辐射 估计模式 地面辐射收支

1 引言

地球大气系统入射和射出的辐射能, 控制着地球上各种天气的发生和气候变化, 而地表辐射收支与地表的增温或冷却、地面蒸发、地表的能量及地表与大气间的相互作用有着直接关系。因而了解地表净辐射能量的时空分布有着重要意义。但是至今没有地表辐射收支的日常业务观测网, 现有的辐射测站太少, 无法得到净辐射能的时空分布。气象卫星携带的辐射仪以多个波段测量地面反射的太阳辐射和地面发射的红外辐射, 极轨气象卫星提供的资料通常被用来研究地表辐射收支, 但是除了极地之外, 每 24 小时卫星只能对地球上某一特定地点观测二次, 行星反照率是由每天一次的可见光波段估算的, 射出的长波辐射则由每天二次的红外波段得到, 每天只能求得一次辐射收支, 虽然它能够提供全球大部分地区不同季节的辐射收支资料, 却无法提供由云系生消变化、干旱地表或沙漠地区温度剧烈日变化而造成的辐射收支日变化。地球静止气象卫星每半小时对地球一次观测, 有较高的时间分辨率, 可用来估计地表辐射收支的日变化。国外用气象卫星资料估算地面辐射收支的工作主要有: Gautiert 和 Frouin^[1]采用“逐个分量法”计算了 MILDE 试验间 1983 年 11 月内 3 天的海面逐日全波段净辐射通量。采用逐个分量法的问题之一是误差累积的可能性。另外, 当陆面温度有较强日变化和日际变化时, 使时间平均的净长波辐射通量的计算变得复杂, 因而用统计法直接由卫星资料推算地面净辐射是个有效的途径。Pinker 等^[2]用统计拟合从大气顶日净辐射推算地面日净辐射。本工作采用统计法, 为使该法有可靠的物理依据和提高估计精度, 本文导得一个新的由卫星测量的可见光和红外辐射与地面辐射收支间的物理关系, 根据这种关系选择估

1995-09-18 收到, 1995-04-01 收到修改稿

* 中国气象局气象科学研究基金资助项目

计因子, 建立多个卫星估计地面辐射收支的统计模式, 经比较分析得到一个最佳的估计模式。另外为得到辐射收支的区域分布, 提出一个用各站点的卫星估计地面辐射收支方程的系数分布图, 对无站点处采用系数内插方法, 估计地面辐射收支, 由此求出我国地面辐射收支分布的卫星估计。

2 基本依据

2.1 卫星接收到的辐射

2.1.1 卫星接收到的可见光辐射

如图 1 所示, 若入射大气顶的太阳辐射为 πF_0 , 太阳天顶角为 θ_0 , 且 $\mu_0 = \cos \theta_0$, 卫星的天顶角为 θ , $\mu = \cos \theta$, 地面对太阳辐射的反射是各向同性的, 略去辐射量的下标波长 λ , 大气对太阳光的反射函数为 $R(\mu, \varphi, \mu_0, \varphi_0)$, 透射函数为 $T(\mu, \varphi, \mu', \varphi')$, 地面对太阳辐射的漫反射强度为 L_s , 则卫星在 (μ, φ) 方向接收到的地气系统反射的太阳辐射为

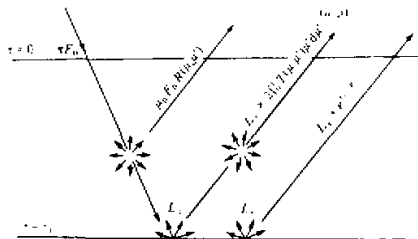


图 1 卫星接收到的地面、大气反射太阳辐射

$$L_{\text{sat}}^{\text{vis}} = L_r + L_t + L_u = \mu_0 F_0 R(\mu, \varphi; \mu_0, \varphi_0) + \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^1 T(\mu, \varphi; \mu', \varphi') L_s \mu' d\mu' d\varphi' + L_s e^{-\tau_1 / \mu}, \quad (1)$$

式中, $L_r = \mu_0 F_0 R(\mu, \varphi; \mu_0, \varphi_0)$ 是卫星接收到大气对太阳辐射的反射; $L_t = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^1 T(\mu, \varphi; \mu', \varphi') L_s \mu' d\mu' d\varphi'$ 是卫星接收到大气对地面反射太阳辐射的漫透射; $L_u = L_s e^{-\tau_1 / \mu}$ 为卫星接收到大气对地面漫反射太阳辐射 L_s 的直接透射。设 $\gamma(\mu) = e^{-\tau_1 / \mu} + \iota(\mu)$ 为 μ 方向的大气透射比, $\iota(\mu) = 2 \int_0^1 T(\mu, \mu') \mu' d\mu'$ 为大气漫透射比, 则(1)式写为

$$L_{\text{sat}}^{\text{vis}} = \mu_0 F_0 R(\mu, \varphi; \mu_0, \varphi_0) + L_s \gamma(\mu). \quad (2)$$

2.1.2 卫星接收到的长波红外辐射

假定大气处于局地热力平衡状态, 考虑平面平行无散射大气, 卫星感应器接收到的辐射写为

$$L_{\text{sat}}^{\text{IR}} = \epsilon_s B(T_s) \exp(-\tau_1 / \mu) + \frac{1}{\mu} \int_0^{\tau_1} B(T_a) \exp(-\tau' / \mu) d\tau + \frac{1-\epsilon_s}{s} \int_0^{\tau_1} \exp(-\tau_1 / \mu) B(T_a) \exp\left(\frac{\tau' - \tau}{\mu}\right) d\tau, \quad (3)$$

式中右边第一项是地面发射的辐射, $B(T_s)$ 是地面的黑体辐射, ϵ_s 是地面发射率, τ_1 是大气层光学厚度; 第二项是大气发射的辐射, $B(T_a)$ 是大气辐射强度; 第三项为地面反射大气自身向下辐射。

2.2 地表辐射收支方程

如图 2 所示, 据定义, 地面净辐射 R_n 为

$$R_n = (1 - r_s)E_s + F_A^{\downarrow} - F_G, \quad (4)$$

其中 r_s 为地面反照率, E_s 为到达地面的太阳辐射度, $(1 - r_s)E_s$ 为地面吸收的太阳辐射能。 $F_A^{\downarrow}$ 为大气向下的红外辐射, F_G 为地表发射的红外辐射。

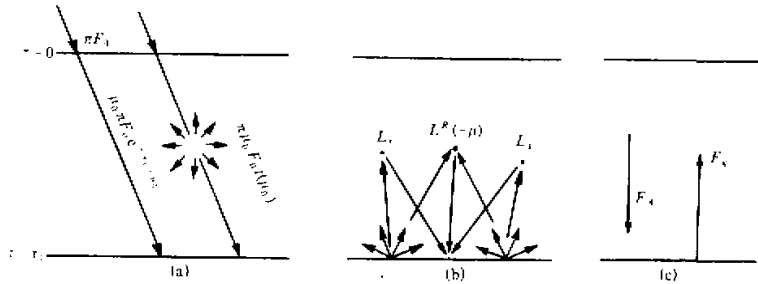


图 2 地面的辐射收支

(a) 入射地面的直接和漫透射; (b) 大气对地面漫辐射 L_s 的反射; (c) 地面和大气反射的红外辐射

对于到达地面的太阳辐射度包括 3 部分^[3], 写成

$$E_s = \mu_0 \pi F_0 e^{-\tau_1/\mu_0} + \int_0^{2\pi} \int_0^1 L_1(\tau_1, -\mu, \varphi) \mu d\mu d\varphi + \int_0^{2\pi} \int_0^1 L_{rs}(-\mu) \mu d\mu d\varphi, \quad (5)$$

式中右边第一项为到达地面的直接太阳辐射, 第二项为漫透射太阳辐射, 第三项为大气反射地面的漫反射太阳辐射。

在(5)式中第二项内的 $L_1(\tau_1, -\mu, \varphi)$ 为到达地面的漫透射太阳辐射, 太阳辐射方向用 (μ_0, φ_0) 方向近似表示, 则有

$$L_1(\tau_1, -\mu, \varphi) = \mu_0 F_0 T(\mu, \varphi; \mu_0, \varphi_0). \quad (6)$$

在(5)式中的 $L_{rs}(-\mu)$ 是大气对地表向下的各向同性漫反射强度的反射, 可以写为

$$L_{rs}(-\mu) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^1 R(\mu, \varphi; \mu', \varphi') L_s \mu' d\mu' d\varphi' = L_s r(\mu), \quad (7)$$

式中

$$r(\mu) = \int_0^1 R(\mu; \mu') \mu' d\mu' \quad (8)$$

为大气的反照率。将(6)、(7)式代入(5)式得

$$E_s = \mu_0 \pi F_0 e^{-\tau_1/\mu_0} + \mu_0 \pi F_0 T(\mu_0) + \pi L_s \bar{r} = \mu_0 \pi F_0 \gamma(\mu_0) + \pi L_s \bar{r}. \quad (9)$$

2.3 卫星观测值与地面净辐射的关系

若地面为各向同性, 到达地面的太阳辐射度 E_s 与漫反射辐射率 L_s 存有关系

$$\pi L_s = r_s E_s, \quad (10)$$

则由(2)式和(10)式得

$$E_s = \frac{\pi}{r_s} L_s = \pi \frac{L_{\text{sat}}^{\text{vis}}(\mu) - \mu_0 F_0 R(\mu, \mu_0)}{r_s \gamma(\mu)} = (\pi L_{\text{sat}}^{\text{vis}}(\mu) - F_R)(r_s \gamma(\mu))^{-1}, \quad (11)$$

式中 $F_R = \pi \mu_0 F_0 R(\mu, \mu_0)$ 。又设地面射出长波辐射为 F_G , 大气向上射出的长波辐射为 $F_A(\mu)$, 则由(3)式, 且考虑到长波辐射主要是红外辐射

$$F_{\text{sat}}^{\text{IR}} = F_G \Gamma_s + F_A(\mu), \quad (12)$$

故有

$$F_G = (F_{\text{sat}}^{\text{IR}} - F_A(\mu))\Gamma_s^{-1}, \quad (13)$$

式中 $\Gamma_s = e^{-\tau_1/\mu}$ 为地面到大气顶的透过率。由(4)、(11)、(13)式得

$$R_n = (1 - r_s)(r_s \gamma(\mu))^{-1} \pi L_{\text{sat}}^{\text{vis}}(\mu) - \Gamma_s^{-1} F_{\text{sat}}^{\text{IR}} - (1 - r_s)r_s^{-1}\gamma(\mu)^{-1} F_R + F_A + F_A(\mu)\Gamma_s^{-1}. \quad (14)$$

令

$$\begin{cases} a(r_s, \mu, \tau) = (1 - r_s)r_s^{-1}\gamma(\mu)^{-1}, \\ b(\tau_1, \mu) = -\Gamma_s^{-1}, \\ c(r_s, \mu, \mu_0, \tau_1, \dots) = -(1 - r_s)r_s^{-1}\gamma(\mu)^{-1} F_R + F_A + F_A(\mu)\Gamma_s^{-1}, \end{cases} \quad (15)$$

则(14)式写为

$$R_n = aF_{\text{sat}}^{\text{vis}} + bF_{\text{sat}}^{\text{IR}} + c. \quad (16)$$

从(16)式看出, 地面辐射收支与卫星的可见和红外波段测值有明显物理关系。若 $F_{\text{sat}}^{\text{vis}}$ 和 $F_{\text{sat}}^{\text{IR}}$ 已知, a 、 b 、 c 一定, 则 R_n 也就可以求得。

3 资料和方法

本工作收集了 1994 年 6、7 月部分 GMS 静止气象卫星发送的可见光(0.5~0.75 μm)和红外(10.5~12.5 μm)通道的资料, 及同时刻我国 38 个地面辐射观测站的地面辐射收支资料。GMS 卫星观测通道是一个窄的波段, 由窄波段推算整个波段的辐射, 必须建立两者的转换关系, 从物理角度处理是很复杂的工作, 但是据 Ohring 和 Gruber^[4]进行的工作表明, 总的长波辐射通量与卫星红外大气窗辐射通量的拟合, 两者间有很高的相关性, 说明用窄波段窗区的辐射测量可以用来估计整个波段的辐射通量。考虑到地域差异, 先通过对单个站的试验及青藏高原 5 个站的试验讨论估算地面辐射收支的方法。

3.1 用卫星资料估算单个站的地面辐射收支

据(16)式, 地面辐射收支与卫星的可见光、红外测值和天顶角等有关, 故下面以济

南站为例, 选用表 1 中拟合关系, 其复相关系数如表中所示, C_{IR} 和 C_{vis} 分别是红外通道和可见光通道的编码计数值, a_0 、 a_1 、 $a_2 \cdots$ 为回归系数, 从表 1 的结果看出, 对济南站而言, 拟合效果都较好, 其中拟合方程为

$$R_n = a_0 C_{\text{IR}} + a_1 C_{\text{IR}}^2 + a_2 C_{\text{vis}} + a_3 C_{\text{vis}}^2 + a_4 \mu_0 + a_5 \mu_0^2 + a_6 \quad (17)$$

的效果最好。

表 1 拟合方程及其复相关系数

	回归方程	复相关系数
1	$R_n = a_0 C_{\text{IR}} + a_1 C_{\text{vis}} + a_2$	0.949
2	$R_n = a_0 C_{\text{IR}} + a_1 C_{\text{IR}}^2 + a_2 \mu_0 + a_3$	0.949
3	$R_n = a_0 C_{\text{IR}}^2 + a_1 C_{\text{vis}} - a_2 \mu_0 + a_3$	0.942
4	$R_n = a_0 C_{\text{IR}} + a_1 C_{\text{vis}} - a_2 C_{\text{vis}}^2 + a_3 \mu_0 + a_4$	0.950
5	$R_n = a_0 C_{\text{IR}} + a_1 C_{\text{IR}}^2 + a_2 \mu_0 + a_3$	0.950
6	$R_r = a_0 C_{\text{IR}} + a_1 C_{\text{IR}}^2 + a_2 C_{\text{vis}} - a_3 \mu_0 + a_4$	0.950
7	$R_r = a_0 C_{\text{IR}} + a_1 C_{\text{IR}}^2 + a_2 C_{\text{vis}} - a_3 C_{\text{vis}}^2 - a_4 \mu_0 + a_5$	0.950
8	$R_n = a_0 C_{\text{IR}}^2 + a_1 C_{\text{vis}}^2 + a_2 \mu_0 + a_3$	0.950
9	$R_r = a_0 C_{\text{IR}} + a_1 C_{\text{IR}}^2 + a_2 C_{\text{vis}} + a_3 C_{\text{vis}}^2 + a_4 \mu_0 + a_5 \mu_0^2 + a_6$	0.955

3.2 用多站点的卫星资料和地面辐射收支测值得出的拟合估计

为估算较大区域的地面净辐射, 这里使用青藏高原上 6 个站(兰州、格尔木、西宁、阿里、昌都、拉萨)的卫星资料和地面净辐射观测值建立地面净辐射的估计方程, 选用如表 1 中的各拟合, 得出的结果看出, 用 6 个站资料建立的回归模式效果较差, 相关系数均小于 0.478, 这说明由于地域间的差异和气候状态差异, 不能用作较大区域的地表净辐射估计。

3.3 我国大陆地面辐射收支的卫星估计

上面结果表明, 单站建立的地面净辐射估计模式比多站建立的地面净辐射估计模式要好得多。为得到我国大陆上地面辐射收支分布, 需对每个站点建立计算模式, 由于我国地面净辐射观测站点很少, 且分布不均匀, 详细得出辐射收支分布是很困难的。为此本文选用拟合效果最佳的(17)式, 分别对 38 个站点进行回归分析, 得到各站点的回归系数 $a_0 \cdots a_6$ (见表 2), 并绘制回归系数的全国分布图(图略)。从图中内插便可得到其他站点的估计模式。

3.4 估计模式的检验

以 1994 年 6 月 1 日 13 时(北京时)GMS 静止气象卫星可见光和红外资料, 计算了各个站点的太阳天顶角, 按(17)式的估算模式及各站点的回归系数得到地面辐射收支估计值, 并与地面实测辐射收支作了比较, 结果列于表 3, 可以看到, 除西双版纳、塔城、昆明、广州、乐亭、拉萨、阿里等 7 个站绝对误差大于 $0.4 \times 0.001 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 其余 31 个站误差较小。从当时的卫星云图资料上分析其误差原因, 发现在 7 个误差较大的站点上空都有较稠密的中低云系覆盖, 由于在本模式中尚没有考虑云的影响, 产生一定的误差是可以理解的。广州、昆明、西双版纳三站估计值明显比实测值偏高, 从卫星云图上可以看到, 在这三个站上空可见光云图上色调很白, 红外云图上色调较暗, 说明这些地方是低云, 云层的反照率较大, 使反射到宇宙空间的太阳辐射较大; 云顶较暖,

表 2 (17)式的回归系数 a_i 、复相关系数 r

站名	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	r	10
济南	-1.9685×10^{-3}	6.8896×10^{-6}	1.2469×10^{-5}	-7.6970×10^{-4}	5.3666×10^{-1}	1.3858×10^0	2.1083×10	9.5475	
重庆	4.5041×10^{-2}	1.3736×10^{-4}	6.0139×10^{-2}	-1.5218×10^{-3}	7.7335×10^{-1}	6.7700×10^{-1}	2.8508×10^0	8.6769	
桂林	6.3604×10^{-2}	1.7035×10^{-4}	-3.3996×10^{-2}	2.2980×10^{-4}	2.4955×10^0	-4.1618×10^{-1}	5.3020×10^0	9.0628	
南宁	2.8706×10^{-2}	5.9238×10^{-5}	1.5714×10^{-1}	-3.1109×10^{-3}	-1.9491×10^0	2.7958×10^0	1.9080×10^0	8.6865	
南昌	-4.1496×10^{-3}	2.7301×10^{-6}	-1.3202×10^{-3}	-1.8131×10^{-4}	1.4716×10^0	7.7145×10^{-1}	3.8433×10^{-1}	7.9972	
长沙	-1.3577×10^{-2}	6.0104×10^{-5}	4.3464×10^{-2}	-1.9666×10^{-3}	1.1646×10^0	1.0487×10^0	3.5720×10^{-1}	9.5651	
海口	-5.8996×10^{-3}	-1.4096×10^{-6}	2.5303×10^{-2}	-5.2138×10^{-3}	-4.9029×10^0	5.0254×10^0	2.2245×10^0	8.9687	
西双版纳	-2.6164×10^{-3}	5.4462×10^{-5}	-1.2012×10^{-2}	-3.4954×10^{-4}	3.1943×10^0	-1.0788×10^0	2.5751×10^0	7.1519	
敦煌	-1.4816×10^{-2}	4.3447×10^{-5}	1.5454×10^{-2}	-2.6554×10^{-4}	-6.9829×10^{-1}	1.4979×10^0	1.5021×10^0	8.4727	
哈密	-1.6445×10^{-2}	5.2668×10^{-5}	1.0340×10^{-2}	-1.6414×10^{-3}	7.7881×10^{-1}	3.3524×10^{-2}	2.5928×10^{-3}	9.2192	
和田	-4.2358×10^{-3}	1.1314×10^{-1}	9.7161×10^{-2}	-1.3833×10^{-3}	-1.0229×10^{-1}	4.6424×10^{-1}	-8.1979×10^{-1}	6.2492	
伊宁	-3.7633×10^{-2}	1.4716×10^{-4}	4.8019×10^{-2}	-1.9512×10^{-3}	2.3687×10^0	-9.5542×10^{-1}	2.6705×10^0	8.2686	
福州	-1.9129×10^{-2}	4.7751×10^{-5}	2.7607×10^{-2}	-1.2178×10^{-3}	-5.4995×10^0	5.9067×10^0	3.2722×10^0	9.5877	
杭州	-4.1342×10^{-3}	1.4731×10^{-5}	2.7551×10^{-2}	-1.4402×10^{-3}	-1.2302×10^0	2.4379×10^0	5.1079×10^{-1}	9.5889	
汕头	-1.2410×10^{-2}	4.0071×10^{-10}	3.1874×10^{-1}	-6.2335×10^{-3}	4.1317×10^0	-1.7959×10^0	-2.8671×10^0	8.7080	
塔城	-1.1307×10^{-3}	-1.5769×10^{-5}	-2.8605×10^{-2}	8.2203×10^{-4}	1.4223×10^0	-1.3703×10^{-1}	1.2620×10^0	5.9671	
喀什	3.7860×10^{-2}	-2.0908×10^{-4}	-3.5671×10^{-1}	1.9818×10^{-4}	3.1670×10^0	-2.7143×10^0	-6.7855×10^{-1}	7.8984	
乌鲁木齐	7.1714×10^{-1}	-4.4900×10^{-5}	-1.4333×10^{-1}	2.5615×10^{-3}	3.8493×10^0	-2.4033×10^0	1.4364×10^0	7.4842	
北京	-2.1254×10^{-2}	4.3890×10^{-5}	9.2649×10^{-2}	-1.6296×10^{-3}	-2.0566×10^0	2.6495×10^0	1.5402×10^0	8.8123	
成都	-3.7902×10^{-3}	9.6971×10^{-5}	3.2394×10^{-2}	-1.1208×10^{-3}	-5.9959×10^0	5.1313×10^0	5.2814×10^0	8.7046	
昆明	5.9345×10^{-2}	-2.3145×10^{-4}	1.7584×10^{-1}	-3.7132×10^{-3}	2.4352×10^0	-4.1647×10^{-1}	-5.8648×10^0	8.5704	
武汉	6.4902×10^{-3}	-1.7949×10^{-5}	-1.1567×10^{-2}	2.5176×10^{-3}	3.6950×10^0	-1.2315×10^0	-1.3688×10^0	8.8501	
上海	2.4789×10^{-2}	-1.0323×10^{-4}	-8.2670×10^{-2}	2.6844×10^{-3}	1.5387×10^0	5.8409×10^{-1}	-1.0312×10^0	8.5576	
广州	-5.7105×10^{-2}	1.6387×10^{-4}	1.9475×10^{-1}	-4.0198×10^{-3}	-4.3110×10^0	4.2567×10^0	3.9179×10^0	8.2197	
郑州	-7.4133×10^{-3}	1.5768×10^{-5}	-1.7996×10^{-1}	3.9742×10^{-3}	5.2425×10^0	-2.1461×10^0	1.0269×10^0	9.0494	
三亚	-5.2035×10^{-2}	1.1987×10^{-4}	3.0551×10^{-1}	-9.2200×10^{-3}	4.0207×10^0	-1.8433×10^0	1.7230×10^0	8.6454	
长春	-1.6739×10^{-2}	4.9947×10^{-5}	-2.3053×10^{-2}	4.2300×10^{-3}	-1.5128×10^0	3.5487×10^0	4.3556×10^0	9.1674	
天津	1.4667×10^{-3}	-3.0774×10^{-5}	2.1759×10^{-1}	-3.6409×10^{-3}	3.4755×10^0	-1.4738×10^{-1}	-3.2862×10^0	7.8781	
乐亭	-4.9571×10^{-2}	1.2648×10^{-4}	1.2854×10^{-1}	-2.5257×10^{-3}	-3.0709×10^0	2.8947×10^0	4.1811×10^0	8.9434	
太原	4.5529×10^{-3}	-3.7813×10^{-5}	5.6786×10^{-1}	-1.2833×10^{-2}	-3.3779×10^0	3.6365×10^0	-4.8676×10^0	8.6410	
南京	3.8268×10^{-2}	-1.3200×10^{-4}	-8.8647×10^{-2}	1.3877×10^{-3}	-2.0566×10^0	4.0025×10^0	-6.8192×10^{-1}	9.4702	
合肥	-2.7289×10^{-2}	3.0762×10^{-5}	-9.7649×10^{-1}	2.6821×10^{-2}	-1.9539×10^0	3.3046×10^0	1.2013×10^1	8.0329	
兰州	1.0859×10^{-2}	-4.7336×10^{-5}	8.8462×10^{-2}	-2.1874×10^{-3}	7.2061×10^{-1}	1.1107×10^0	-1.3146×10^0	8.9541	
拉萨	1.1160×10^{-1}	-3.8180×10^{-4}	-5.7434×10^{-2}	5.2360×10^{-4}	3.4506×10^0	-2.4323×10^0	-7.8727×10^0	6.1985	
格尔木	5.4469×10^{-2}	-2.2649×10^{-4}	1.7537×10^{-2}	3.5049×10^{-4}	3.4341×10^0	-1.7257×10^0	-3.5924×10^0	7.3939	
昌都	-4.1384×10^{-1}	4.9663×10^{-5}	4.3754×10^{-2}	-1.3634×10^{-3}	-4.2648×10^{-2}	8.2624×10^{-1}	-4.5621×10^{-1}	6.0370	
阿里	2.0567×10^{-2}	-7.8222×10^{-5}	4.4614×10^{-1}	-1.0655×10^{-2}	3.3856×10^{-1}	-2.3062×10^{-1}	-4.4491×10^0	6.0977	
西宁	-2.7429×10^{-3}	7.1731×10^{-5}	1.1372×10^{-2}	-1.0225×10^{-3}	-1.2319×10^0	2.7337×10^0	3.2183×10^0	8.8776	

云顶向上发射的红外辐射通量较大，以致地面得到辐射较小，这使得估计值明显偏大；而塔城、乐亭、阿里等站卫星估计值明显低于观测值，在云图上这些地方以卷云为主，反照率低，反射的太阳辐射较小，而卷云的云顶温度低，其向上的红外辐射也较小，总的返回宇宙空间的能量小，到达地面的辐射增多，导致卫星的估计值偏小。分析结果表明云的影响作用不能忽视。误差的另外一个重要原因是大气中的水汽吸收和气溶胶对太

表 3 卫星估算值与地面辐射收支观测值比较

 $10^{-2} \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$

站名	实测值	估计值	站名	实测值	估计值	站名	实测值	估计值	站名	实测值	估计值
济南	1.38	1.15	哈密	1.06	1.04	北京	1.63	1.94	乐亭	1.66	1.13
重庆	1.11	1.08	和田	0.73	0.71	成都	1.29	0.98	太原	1.78	1.40
桂林	1.47	1.76	伊宁	0.48	0.78	武汉	1.67	1.40	南京	2.27	2.20
南宁	1.57	1.32	福州	1.52	1.98	上海	1.70	1.81	合肥	2.18	2.05
南昌	2.38	2.16	杭州	1.33	1.45	广州	0.48	1.12	兰州	1.80	1.68
长沙	1.68	1.92	汕头	1.00	0.75	郑州	1.63	1.61	拉萨	1.84	1.38
海口	1.95	1.77	塔城	2.03	1.05	三亚	0.16	0.54	格尔木	1.99	1.64
西双版纳	1.39	2.05	喀什	1.94	1.81	长春	2.14	2.14	昌都	1.28	1.49
敦煌	1.46	1.35	乌鲁木齐	0.92	0.97	天津	1.72	1.55	阿里	1.74	1.31
昆明	0.41	0.85	西宁	2.15	2.00						

阳辐射的散射, 由于气溶胶的分布难以得到, 这里无法进行讨论。因为我国南部及西南地区大气中水汽含量的变化很大, 大气的透过率也有明显的变化, 使得估计效果变差。第三个误差原因是地面特征的改变。从(17)式可以看出, 地面净辐射的卫星估计与地面反照率有关, 而地面反照率与土壤成分、湿度及土壤上的覆盖物等多种因素有关。由于地面反照率随地域、季节有明显的变化, 所以估计模式中的回归系数也应有变化; 造成误差的最后一个原因可能是卫星对地球的观测是在一个较大范围内进行的, 而地面净辐射的观测时对单一的站点进行的, 由于地形的起伏, 地表特性的不均匀, 两者间存在明显的差异。

3.5 用内插回归系数计算地表辐射收支检验

为说明用内插回归系数估算地面净辐射的效果, 需选择有净辐射测站的结果进行比较。

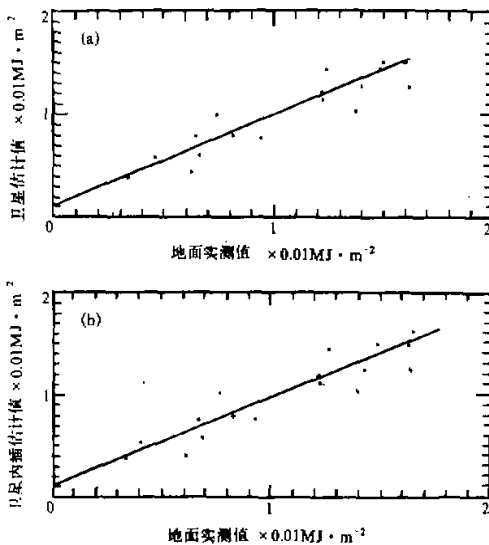


图 3 由卫星内插估计济南站地面辐射收支与地面实测值的比较

以济南为例, 取 1994 年 6 月 1 日 08、12、13、14、15、17 时, 6 月 2 日 08 时、09、10、11、12 时, 6 月 14 日 12、15、16、17 时, 6 月 27 日 08、10、14 时, 6 月 29 日 08、13、14 时(北京时)21 次的卫星测值及回归系数分布图内插值代入(17)式计算得到地面净辐射卫星估计值, 另外用模式给出的回归系数和卫星观测值代入(17)式得 R_n (估算)。得出结果如图 3, 从图上看到两者符合较好。为进一步说明内插法求取地面净辐射收支, 采用烟台站的地面辐射观测数据, 该站不包括在上述 38 个站内, 内插得到回归系数为: $a_0 = 1.50 \times 10^{-2}$, $a_1 = -1.5 \times 10^{-5}$, $a_2 = -1.2 \times 10^{-1}$, $a_3 = 1.9 \times 10^{-1}$ 。

$a_4 = -1.8$, $a_5 = 4.7$, $a_6 = 1.33$ 。取 1994 年 6 月 14 日 GMS 可见光和红外计数值, 由 (17) 式得卫星的估计值, 并与地面实测值比较, 结果列于表 4。从表 4 中看出, 卫星估计值与地面实测净辐射值相差不大。但需指出的是上面所选的资料为晴天状况下的。表明用内插法求取晴天地面净辐射收支的可行性。

表 4 烟台地面实测值与卫星回归内插估计地面净辐射的比较 $10^{-2} \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$

时间(北京时)	10	11	12	13	14	15	16
C_{vis}	16	16	17	17	16	15	16
C_{IR}	82	86	81	87	89	93	96
卫星估计	1.04	1.26	1.21	1.23	1.18	1.10	1.03
地面实测	1.07	1.23	1.37	1.37	1.07	1.00	0.66

4 结论

(1) 本文导得了气象卫星可见光和红外通道测值与地面净辐射的理论关系, 表明由卫星资料导得地面辐射收支是有理论依据的, 但它们还与大气和地面特性有关。

(2) 由卫星和地面观测资料导得的 9 种回归模式分析, 选择效果最佳的为卫星估计地面辐射收支的模式。

(3) 由于地域条件的差异, 由单站资料建立的回归效果比多站资料建立的回归模式效果更好。模式的检验结果表明不同高度和类型的云对卫星估计地面辐射收支的精度影响较大。

(4) 用全国 38 个净辐射观测站的资料和卫星资料建立的 38 个模式组, 得出地面辐射收支分布与地面实测分布基本一致, 表明该方法是可行的。

(5) 为得到详细的地面辐射收支分布, 本文提出了一个建立回归系数分布图, 对任何一点的回归系数由图上内插得出, 建立估计模式, 试验结果表明该方法对晴天是可行的。

参 考 文 献

- 1 Gautier C. and R. Frouin, 1986, Variability of the daily net (short-wave and longwave) radiative flux at the ocean surface during MILDEX, *Proceeding of the 6th Conference on Atmospheric Radiation*, Williamsburg, Virginia, 12~16.
- 2 Pinker, J. A., Ewing and J. D. Tarpley, 1985, The relationship between the planetary and surface net radiation, *J. Clim. Appl. Meteor.*, **24**, 1262~1268.
- 3 Kou-Nan Liou, 1980, *An Introduction to Atmospheric Radiation*, Academic Press, New York, 110~111.
- 4 Ohring G. A., Grubur and R. Ellingson, 1984, Satellite determination of the relationship between total longwave radiation flux and infrared window radiances, *J. Clim. Appl. Meteor.*, **23**, 416~425.

Estimating Surface Radiation Budgets over China in Summer from GMS Satellite Data

Chen Weimin and Gao Qingxian

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

Hong Gang

(*Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074*)

Abstract The surface radiation budget is an important essential radiation parameter. In this paper, the basic relation between the measurements from the visible / infrared channel in satellite and the surface radiation budgets has been derived. According to this relation, some useful models of estimating the surface radiation budgets are obtained by the observational data from the visible / infrared channel in GMS satellite and the observational data from surface radiation budget stations. With the most excellent one of these models, the distribution of radiation budgets across China is obtained by the interpolation method. Compared to the actual observational data, this distribution has a better consistency with the actual results, which shows that this model is very effective in estimating the radiation budgets in China.

Key words geostationary meteorological satellite (GMS) visible radiation longwave infrared radiation estimate model radiative budgets of surface