

巢湖对冬季陆面辐射和热量过程的影响

于 强*

(南京大学大气科学系, 南京 210008)

陆佩玲

(中国科学院上海植物生理研究所, 上海 200032)

提要 从物理气候学的观点出发, 分析了湖泊对水体和陆地辐射平衡和热量平衡各分量的影响。以巢湖地区冬季观测资料为例, 揭示了在晴稳天气湖陆风环流对陆面显热输送的影响, 以及在冷平流天气, 湖泊对上下风方陆面显热输送的影响。

关键词 辐射平衡 热量平衡 巢湖

1 前言

湖泊与陆地辐射平衡和热量平衡的差异是湖泊气候形成的物理基础。由于水体和土壤热力特性不同, 湖泊和周围陆地之间存在明显的温度梯度、气压梯度和湖陆风环流。同时湖陆风对下垫面辐射收支、热量收支有反馈作用。因而研究湖泊气候形成机制, 应揭示湖泊能量收支和热量收支时空变化特征和湖泊对陆面过程的影响。

关于湖泊气候的研究, 首推五大湖地区的 IFYGL 计划。Pinsak A. P. 测定了安大略湖的能量平衡各分量并分析了它们的特征^[1]。Lewis 研究了湖的热量收支, 认为蒸发热损失和净辐射通量是两个最大的热量收支因子, 反射辐射和显热损失是次重要因子^[2]。湖泊的热量收支还依赖于大气候背景。德国 Richter D. 对两个湖的研究认为, 57% 的吸收太阳辐射热量用于蒸发, 显热通量占 31%, 有效辐射为 12%^[3]。美国 Myrup L. O. 对内华达干旱区 Tahoe 湖的研究认为: 湖水年能量收支受制于净辐射和蒸发因子, 93% 的辐射能用于蒸发。显热通量和潜热通量有季节变化, 潜热通量在秋季达最大, 显热通量在冬季达最大^[4]。Phillips D. W. 也有类似结论^[5]。

巢湖位于江淮流域, 面积约 840km², 为我国五大淡水湖之一。周围地势平坦, 湖东南部有一小部分丘陵。南岸呈弧形, 形状为凹字型。

本文根据 1989 年冬季在巢湖的小气候观测资料, 分析在不同天气条件下湖泊对陆面能量收支过程的影响。

2 研究和计算方法

2.1 观测设计

在巢湖共设 4 个测点: 北岸边塘西, 离岸 200m 处; 南岸边槐林, 离岸 200m 处; 南岸边水

* 联系地址: 中国科学院上海植物生理研究所, 邮政编码: 200032。

收稿日期: 1993-02-25; 接受日期: 1993-09-01。

作者简介: 于强, 男 1962 年生, 助理研究员。1994 年在南京大学大气科学系获博士学位。主要从事小气候和植物生理生态研究。已发表“辐射日总量的最热坡度解析模式及其全球分布规律”等论文。

面测点;南岸海如,离岸 7km 处。

观测时间是 1988 年 11 月 26 日~1989 年 1 月 19 日。在各测点,一般天气都作了常规气象观测,在典型的冷平流型和辐射型天气,还进行了 07:00~20:00 逐时南北岸和近南岸水面上的气温、风速、湿度和地温的梯度观测。地温梯度为 0.5、10、15、20cm,气温等为 0.5、2.0m,使用常规气象仪器。

2.2 计算方法

2.2.1 吸收太阳辐射 下垫面吸收的太阳辐射 $Q(1-A)$,根据 Kondo 的经验公式计算^[6]:
 $Q(1-A) = (1-A)I_0 \sin h [0.57 - 0.016e - 0.016 \lg e \pm (0.43 + 0.016e) \cdot 10^{-0.13/\sin h}]$
 式中, I_0 为太阳常数, e 是下垫面附近水汽压, h 是太阳高度角, A 是反射率,由实测给出。巢湖冬季干燥地面的反射率上、下午为 25%,正午前后 2h 为 20%,水面上为 12%~15%。

2.2.2 辐射平衡

(1) 下垫面的长波辐射:根据斯蒂芬-波尔兹曼定律计算:

$$E = \delta \sigma T_s^4$$

式中, σ 为斯蒂芬-波尔兹曼常数, T_s 为下垫面温度, δ 为下垫面放射率,据文献[7],水面 $\delta_w = 0.97$,干燥地面 $\delta_l = 0.93$ 。

(2) 大气逆辐射:

$$L = \delta_a \sigma T_a^4$$

式中, T_a 为近地层 1.5m 处气温, δ_a 为大气辐射放射率,在无云条件下,可用 Brutsaert W.^[8] 的经验公式计算:

$$\delta_a = 0.642(e_a/T_a)^{1/7}$$

式中, e_a 为空气水汽压(N/m²)。

(3) 辐射平衡:

$$R = Q(1-A) - (E - L)$$

2.2.3 显热通量、潜热通量和下垫面热通量 下垫面的显热能量公式为^[9]:

$$P = \rho C_p C_H V (T_s - T_a)$$

式中, ρ 为空气密度, C_p 为定压比热, V 、 T_a 分别为 2m 处风速、温度, T_s 为下垫面温度, C_H 为显热交换系数,其值依赖于大气稳定度。据研究,对中性层结,在 2m 高度,

$$C_H = C_{HN} = 3.1 \times 10^{-3}$$

对稳定层结 ($Ri > 0.003$),

$$C_H = C_{HN} \exp(-18Ri)$$

对不稳定层结 ($Ri < -0.003$),

$$C_H = C_{HN} [1 + \frac{11}{a} \ln(1 - aRi)], \quad a = 0.25(C_{HN})^{-0.8}$$

其中, C_{HN} 为中性层结条件下的 C_H , Ri 为里查逊数。

潜热通量计算采用湍流输送法^[11]:

$$W = \frac{0.623 \rho K_0^2 (e_1 - e_2) (u_2 - u_1)}{H [\ln(Z_2/Z_1)]^2}$$

其中, K_0 为卡曼常数, Z 、 u 表示高度和风速, H 为气压。

下垫面热通量采用剩余法计算,即:

$$Q_s = R - P - W$$

3 结果分析

3.1 湖泊对下垫面辐射平衡的影响

湖泊气候的形成首先是由水体与陆地本身的下垫面特性决定的。水体是一种特殊的下垫面,它的辐射特征(辐射、透射、吸收、反射能力)和热力特征都与陆地显著不同,造成水面上的辐射平衡和热量收支各分量的变化与陆地上有明显差异。

在一次辐射型天气,观测到的巢湖南岸的基本小气候要素及其梯度。在实测的基础上,进一步研究了湖泊的辐射平衡和热量平衡。

3.1.1 水体和陆面吸收太阳辐射的差异 以巢湖 1988 年 12 月 16 日的辐射型天气^①为例,由于水面反射率远比地面反射率小,水体的吸收辐射全天都大于地面(图 1)。在早晨和傍晚,太阳辐射强度较小,水体和陆面的吸收辐射差异不大;从上午到下午,水体和陆面的吸收辐射差异较大,大致在 $30 \sim 70 \text{ W/m}^2$ 之间。从相对值来说,水体吸收太阳辐射高于地面 $7\% \sim 20\%$ 左右。这种差异与太阳辐射强度和下垫面反射率的日变化有关。

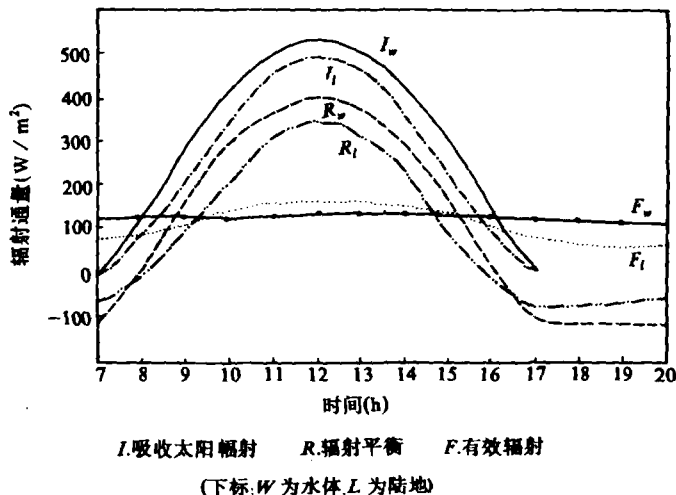


图 1 晴天水体与陆地辐射平衡各分量的日变化(巢湖, 1988 年 12 月 16 日)

Fig. 1 Diurnal variation of radiation balance over lake and land surface in a fine day (Chao Lake, Dec. 16, 1988)

3.1.2 水体和陆地有效辐射的差异 地面与水面的有效辐射差异主要取决于两者的温度差异,而大气逆辐射的差异相对较小。因为对于相邻的陆地和水面,其上方的气温差异小于水温与地温差异。从图 1 可见,早晨和傍晚水面上的有效辐射大于地面,而白天地面的有效辐射大于水面,这主要取决于水温和地温的日变化差异。水面有效辐射日变化缓和,大致维

^① 高气压控制下的晴稳天气,称为辐射型天气。

持在 $114.9 \sim 131.3 \text{ W/m}^2$, 而地面则在 $65.4 \sim 159.3 \text{ W/m}^2$ 范围内变化。Davies 在研究安大略湖时也有类似的结论^[13]。同时, 从相对值来看, 巢湖辐射型天气水面有效辐射在早晨和傍晚高于地面 40% 左右, 而在正午前后地面有效辐射高于水面 16% 左右。

湖泊还造成了离岸不同距离的陆面上有效辐射的差异。由于近岸处受水体影响大, 地温日变化缓和, 因而白天离岸较远处有效辐射较大, 晚上则较小(图略)。

3.1.3 水体与陆地辐射平衡的差异 两相邻地段的辐射平衡差异主要取决于两地段的下垫面反射率、温度的差异。水面和陆面辐射平衡差异的特点是: 白天水体辐射平衡大于地面, 而早晨和傍晚则相反。从图 1 可见, 在白天 08:00~16:00 左右, 由于水体吸收太阳辐射较大, 且水温较地温低, 有效辐射较小, 故水体的辐射平衡大于地面, 约高 $50 \sim 90 \text{ W/m}^2$, 占水体辐射平衡的 16%~36%, 且都是方向向下为正值。而在早晨或傍晚, 太阳辐射很小或为零, 且水温高于地温, 水体有效辐射大于地面, 故水体辐射平衡小于地面, 约低 $40 \sim 50 \text{ W/m}^2$, 占水体辐射平衡的 40% 左右。也就是说, 水体白天净吸收的辐射能多于陆面, 晚上净释放的辐射能也多于陆面。

3.2 湖泊对陆面过程的影响

地面的显热输送、潜热输送和土壤热传输是陆面过程的重要内容。受湖泊影响, 距湖不同位置陆面过程有显著差异。

3.2.1 湖面和陆面显热通量的差异 显热通量的大小和方向取决于下垫面的温度与气温之差和风速。湖面和陆面上显热通量的差异同水温和地温差有很大关系。且不同天气类型又有差异。

在辐射型天气(图 2b), 白天水面上的显热通量远小于地面, 约低 90 W/m^2 , 且中午前后由于气温较高, 水面上的感热通量出现方向向下的情况。据观测, 该天 11:00 时和 14:00 的水温比气温低 1 C 左右, 比地温低 11 C 左右。白天地面的感热通量向上。早晨和傍晚, 水面的显热通量大于地面, 约高 $10 \sim 38 \text{ W/m}^2$, 且方向向上, 而地面显热通量向下。

在冷平流型天气(图 2a), 显热通量的变化规律与辐射型天气相似。所不同的是, 由于气温较低, 水面上的显热通量全天都是向上的。

3.2.2 湖泊对上下风方陆面显热通量的影响 在冷平流型天气, 白天南岸(下风方)显热通量大于北岸(上风方)约 $10 \sim 50 \text{ W/m}^2$; 晚上相反, 下风方显热通量比北岸约低 $3 \sim 12 \text{ W/m}^2$, 且显热通量日变化大于上风方(图 3)。由于白天水体起降温作用, 所以白天上风方气温大于下风方气温, 使上风方地-气温差小于下风方, 且下风方风速较大, 故其显热通量大。晚上水体起增温作用, 下风方气温高于上风方, 故下风方地-气温差小(为负值), 显热通量小于上风方, 即向下的显热输送大于上风方。

3.2.3 湖泊对南岸不同距离处陆面显热通量的影响 在一般晴天, 白天南岸边的显热通量大于离岸 7km 处, 约高 $10 \sim 90 \text{ W/m}^2$, 早晨和夜晚则相反, 南岸边比离岸 7km 处低约 $10 \sim 30 \text{ W/m}^2$ (图 4)。这是因为白天存在明显的湖风环流, 岸边的气温低于离岸较远处, 岸边地-气温差较大, 从而加强了岸边地面向空气的显热输送。在早晨和夜晚, 由于岸边受陆风环流的作用较强, 气温高于离岸较远处, 使向下的显热输送较大, 也就是说显热通量小于离岸较远处(向上为正)。

Physick、Raymond W. Arritt、Estoque、Venkatram 都分别证实了在白天显热通量随

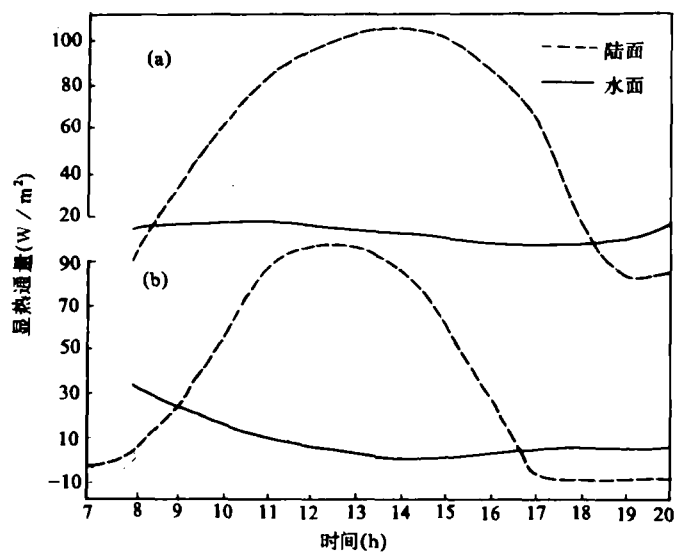


图2 晴天有冷平流(a)和无冷平流(b)影响的湖面与陆面
显热通量日变化(巢湖, 1988年12月, 4~5日)

Fig. 2 Diurnal variation of sensible heat flux over lake and land surface for advective (a) and radiative (b) weather types (Chaohu Lake, Dec. 4~5, 1988)

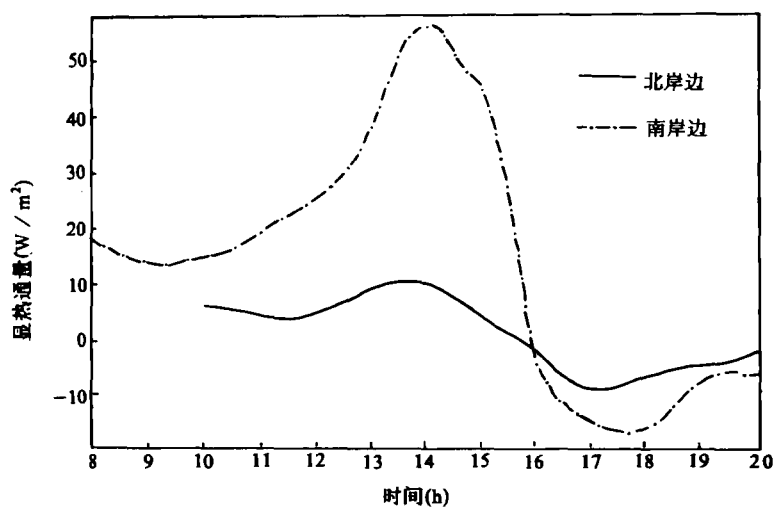


图3 冷平流型天气湖泊上下风方显热通量的日变化(巢湖, 1988年12月9日)

Fig. 3 Diurnal variation of sensible heat flux in upwind and downwind direction for advective weather type (Chaohu Lake, Dec. 9, 1988)

着离岸距离的增加而减少,湖风带来的冷平流增大了岸边的显热通量^[10]。不仅如此,在晚上由于陆风环流的作用,离岸越近显热通量越小,即向下的显热输送越大。

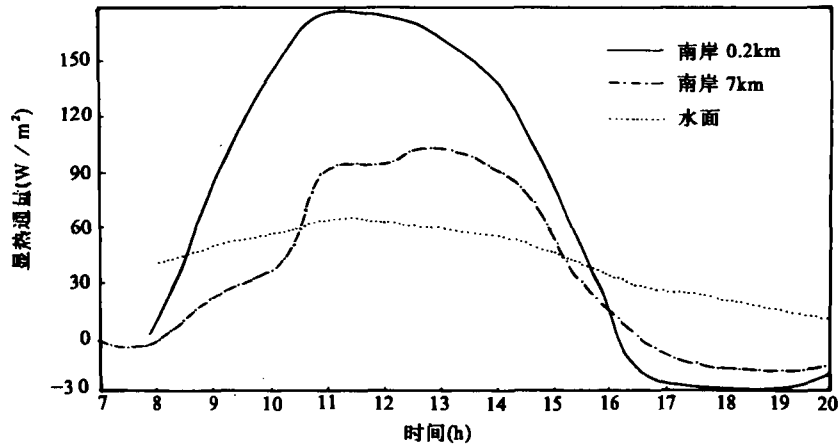


图 4 湖泊南岸不同距离处显热通量的日变化(巢湖,1988年12月16日)

Fig. 4 Diurnal variation of sensible heat flux at different distances from south shore (Chaohu Lake, Dec. 16, 1988)

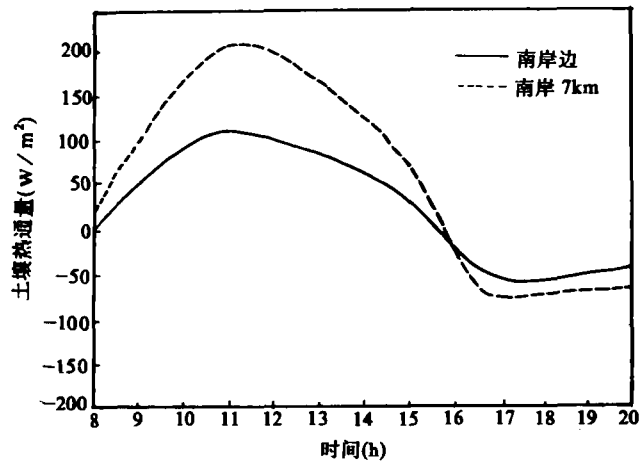


图 5 距湖不同距离处土壤热通量的日变化(巢湖,1988年12月16日)

Fig. 5 Diurnal variance of soil heat flux at different distance (Chaohu Lake, Dec. 16, 1988)

3.2.4 湖面与陆面潜热通量的差异 地面潜热通量除与大气温湿风特征有关外,还与土壤湿度有很大关系。在本文研究的时段内,土壤较干燥,地面潜热通量较小。基本规律是水面上潜热通量全天均大于陆地,且方向向上;陆面潜热通量白天向上,晚上向下(图略)。

3.2.5 湖泊对离岸不同距离处土壤热通量的影响 在巢湖南岸不同距离处,由于湖陆风的影响,土壤热通量有很大差异。图 5 可见,白天由于岸边的显热通量大于离岸较远处,因而岸边的辐射平衡用于加热土壤的热量小于离岸较远处,即白天岸边土壤热通量较小。在傍晚和夜间,岸边气温较高,空气向土壤的显热输送大于离岸较远处,使岸边的土壤不会损失太多

的热量,即土壤向上的热通量在岸边较小。

4 结论

湖泊与陆地物理特性的差异是湖泊气候形成的根本原因。湖泊不但具有独特的能量收支过程,而且还影响周围陆面的辐射平衡和热量平衡过程。这种影响随季节和天气类型改变。在本文讨论的冬季巢湖地区,有如下主要特点:

(1) 白天水体吸收太阳辐射较多,且水温低于地温,有效辐射较小,水体辐射平衡大于地面。夜间水温高于地温,水体有效辐射大于地面,辐射平衡小于地面。

(2) 在辐射型天气,白天水面上显热通量远小于地面,且方向可以向下。夜晚水面的显热通量大于地面。水面为向上,地面为向下。白天湖风环流加强了岸边地面向空气的显热输送。夜间陆风环流使岸边气温高于离岸较远处,从而使岸边向下的显热输送增大。

(3) 在冷平流天气,白天水体起降温作用,下风方气温低于上风方,其显热通量较大。夜间水体起增温作用,下风方气温高于上风方,其显热通量较小,即向地面的输送较强。

(4) 白天在岸边,辐射平衡用于加热土壤的热量小于离岸较远处;夜间岸边气温较高,大气向土壤的显热输送较大,土壤向上的热损失较小。

参 考 文 献

- 1 Pinsak A P. Energy balance. In: Aubert E J *et al* eds. IFYGL: The International Field Year for the Great Lakes. 1981. 169~197
- 2 Lewis, William M Jr. Temperature, heat and mixing in Lake Valencia, venezuela. *Limnology and Oceanography*. 1983. 28(2): 273~286
- 3 Richter D. Neubert W. Temperature and water budget of the thermally charged stechlin and Nelimity Lakes, Germany. *Meteorologischer Dienst*. 1979. 16(12): 409
- 4 Myrup L. v. *et al*. Climatological estimate of the average monthly energy and water budgets of Lake Tahoe. *California--Nevada water Resources Research*. 1979. 15(6): 1499~1508
- 5 Philips D W *et al*. Meteorological analyses. In: Aubert E J *et al* eds. IFYGL. 1981. 15~17
- 6 Kondo J. Heat balance of East China Sea during the air mass transformation experiments. *J Meteor Soc Japan*. 1976. 156(1): 67~85
- 7 B Henderson Sellers. Calculating the surface energy balance for lake and reservoir modeling: a review. *Reviews of Geophysics*. 1986. 24(3): 625~649
- 8 Brutsaert W. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. *Water Resour Res*. 1975. 17(3): 742~744
- 9 P Ted Strub. The exchange coefficients for latent and sensible heat flux over lakes: dependence upon atmospheric stability. *Boundary-Layer Meteorology*. 1987. 40(2): 349~361
- 10 Ryan P J *et al*. Surface heat loss from cooling ponds. *Water Resour Res*. 1974. 10(5): 930~938
- 11 Seeman 等著. 农业气象学. 北京:气象出版社,1984

INFLUENCE OF CHAOHU LAKE ON RADIATION AND HEAT PROCESSES OVER LAND SURFACE IN WINTER

Yu Qiang

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008)

Lu Peiling

(Shanghai Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032)

Abstract

Chaohu Lake, situated between the Changjiang and Huaihe rivers, is one of the largest in China. According to the data observed, the principle of energy balance, the differences of radiation balance, sensible and latent heat fluxes between land and lake were analyzed. The results obtained are as follows:

(1) Net radiation of the lake was larger than that over the land surface in daytime, but smaller in the early morning and at night. Latent heat flux from the lake surface was larger than that from the land surface the whole day.

(2) Flux of sensible heat from the lake surface is smaller than that from the land surface in daytime, and larger at night.

(3) Flux of sensible heat gradually decreased with the distance from the lake shore in daytime and gradually increased at night because of temperature differences between lake and land, or lake-land breeze. The phenomenon is very obvious in fine weather.

(4) Lake-land breeze causes difference of soil heat flux in different distances from the shore. In cold advective weather, the upward sensible heat flux over the land surface is less than the downward one in daytime.

Key Words radiation balance, heat balance, Chaohu Lake