

上海地区热量平衡状况的初步分析^{*}

鞠笑生^{**}

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

利用上海地区 1961—1965 年的热量平衡资料以及常规的气候资料,分析了该地区热量平衡各分量的年、月、日变化规律,进一步阐明了我国湿润地区在地表热量平衡过程中,潜热占绝对优势的特征.

关键词:热量平衡;潜热;感热.

1 引 言

地球上的辐射收支差额,主要依靠地面与其上层大气进行的湍流热交换、地球上的水分蒸发或凝结所吸收或释放的潜热以及地表面与下层土壤间的热量传导过程来达到平衡^[1]. 对于比较平坦的地面,根据能量守恒定律,地表面的热量平衡方程以下式表示:

$$B = V + LE + P$$

式中 B 为辐射平衡值; V 为地表面与大气间的湍流热交换量; LE 为蒸发耗热量 (L 为蒸发潜热, E 为蒸发量); P 为地表面与下层土壤间的热交换量.

对于不同地区,由于下垫面构造特性不同以及大气状况的差异,使得热量平衡各分量的分配状况各不相同. 各分量不同的分配比例,决定着近地面层温度分布和变化特点以及不同的小气候现象. 因此,研究、分析某一地区的热量平衡各分量变化特征,对于了解该地区的气候形成有很重要的意义.

但是,由于绝大部分气象站不进行热量平衡观测,仅有 6 个站从 1957—1965 年进行过长短不等的若干年观测,质量也不理想,且站点分布稀疏. 因此,在热量平衡研究方面,可依据的原始资料极少,给研究工作造成了一定的困难,严重地限制了我国热量平衡气候学的发展.

有关我国热量平衡方面的工作,高国栋、陆渝蓉曾作过比较系统的研究,他们主要是

1992年12月3日收到,1993年7月22日收到修改稿.

• 该工作是国家自然科学基金资助项目. •• 苏米杨,王祖锋参加了资料处理工作.

着眼于计算结果;翁笃鸣等人长期从事这方面的野外观测和研究.1975年5月至8月我国在青藏高原地区进行了一次高原气象科学实验,获得了大量的实测资料,提出了一些适合于青藏高原热量平衡各分量的气候计算方法.但是根据长时期连续观测资料对单站热量平衡状况分析、研究的工作至今尚属空白.

本文主要是根据上海地区每日6个时次的地面热量平衡的连续观测资料,分析该地区的热量平衡状况,据此揭示其气候形成特点,为人工改变下垫面热量平衡状况提供科学依据.

2 资料处理

根据上海地区热量平衡观测记录月报表,将逐日01、07、10、13、16、19等6个时次的观测资料进行抄录、审核,输入计算机进行预处理.在处理过程中,如日间有辐射平衡,则蒸发耗热量和湍流热交换量可采用热量平衡法^[2]进行计算.即

$$LE = \frac{(B - P)\Delta e}{\Delta e + 0.64\Delta t} \times 697.8$$

$$V = \frac{(B - P)\Delta t}{\Delta t + 1.56\Delta e} \times 697.8$$

式中 B 为辐射平衡值; P 为土壤热交换量; Δt 为0.5m和2.0m处的温度差; Δe 为0.5m和2.0m处的湿度差.如没有观测辐射平衡,则可采用梯度法^[3]进行计算.即:

$$LE = 1465.38k_1\Delta e$$

$$V = 942.03k_1\Delta t$$

式中 k_1 为1m高的涡动系数.

采用梯度公式计算各分量日值,例如, $\Sigma B = B_1 \times 360 + (B_7 + B_{19}) \times 270 + (B_{10} + B_{13} + B_{16}) \times 180$,式中 $B_1 \dots B_{19}$ 分别为6个观测时次的辐射平衡值. ΣP 、 ΣV 、 ΣLE 计算方法皆同上述.

计算 B 、 P 、 V 、 LE 的累年平均月值以及6个时次晴天(云量为0—2)、曇天(云量为3—8)、阴天(云量为9—10)情况下各分量的累年平均值.

3 结果分析

3.1 辐射平衡值

辐射平衡值是地面各项热量交换过程的能源,它表征地面对辐射能的收支状况,是热源研究中的重要内容.图1给出了上海地区热量平衡各分量的平均年变化.由图1可见,辐射平衡具有极显著的年变化特征,年较差为 112.2Wm^{-2} ,最大值出现在7、8月,其平均值可达 135.5Wm^{-2} 左右,其次是5月,6月份因该地区降水量大、湿度大,所以辐射平衡值反而比5月份小,最小值出现在12月份,为 24.7Wm^{-2} .

图2为上海地区1、4、7、10月辐射平衡日变化曲线.由图2可见,辐射平衡日变化极为明显.白天,无论是晴天、曇天、还是阴天,一年四季除春季外,日最大值均出现在午后一点钟,如

7 月份晴天最大值可达 711.8Wm^{-2} 。夜间,一年四季辐射平衡值均为负值,其绝对值是冬季最大,如 1 月份晴天绝对值为 55.8Wm^{-2} ,其次是秋季,春、夏季则更小。这是因为在夜间辐射平衡量等于有效辐射量,即 $B = -F$ (F 为有效辐射值),而有效辐射是随温度增高而增大,随湿度增大而减小,尽管夏季气温高于冬季,而夏季水汽也远大于冬季,且后者影响大于前者,所以夏季夜间辐射平衡量要小于冬季。

云对辐射平衡的影响很大,但因为上海是平原地区,规律比较明显(见图 3)。由图 3 可

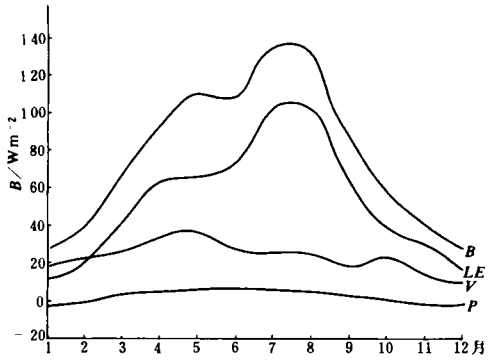


图 1 上海地区热量平衡各分量平均年变化

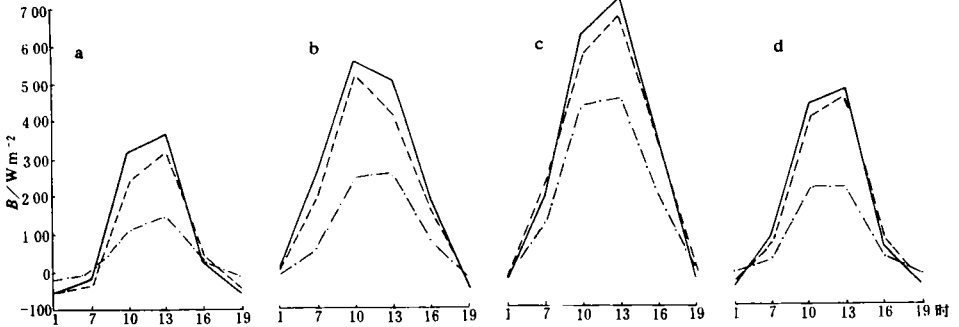


图 2 上海地区 1 月(a)、4 月(b)、7 月(c)、10 月(d)月辐射平衡日变化
(—晴天,---云天,--·--阴天)

见,夏季,当总云量小于 4—5 成时,辐射平衡量随云量略有增多或稍有起伏的倾向,只有当总云量在 4—5 成以上,才随云量增多而单调地下降。冬季,正午前后辐射平衡量随云量的变化如同夏季,而早、晚时刻辐射平衡量随云量增大而略有递增,这是由于云对短波吸

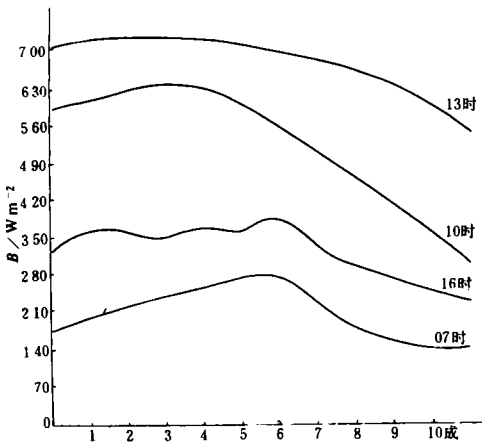


图 3 上海 7 月份各级总云量下的辐射平衡分布图

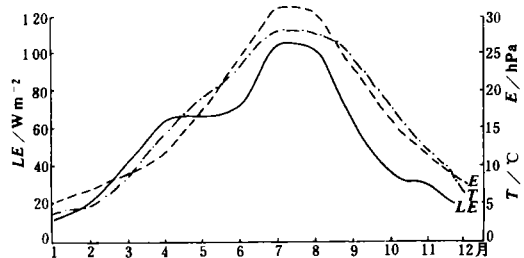


图 4 上海地区蒸发耗热量(LE)、温度(T)、绝对湿度(E)的年变化

收辐射和有效辐射削弱的结果^[4].

3.2 蒸发耗热量

蒸发耗热量是地表热量平衡中十分重要的一项,其大小主要决定于可供蒸发的水分多少、可供蒸发用的热量多少以及混合乱流的强弱.图4给出上海地区蒸发耗热量、温度和绝对湿度的年变化.由图4可见蒸发耗热量的年变化与温度、绝对湿度的年变化趋势基本上是一致的,从而揭示上海地区气候湿润的特点,地面有充足的水分供蒸发耗热.

表1 上海地区热量平衡各分量(Wm^{-2}),及其相对值

| 月份 | B | P | LE | V | P/B(%) | LE/B(%) | V/B(%) |
|----|-------|------|-------|------|--------|---------|--------|
| 1 | 27.4 | -3.4 | 10.9 | 20.6 | -12.6 | 10.0 | 75.4 |
| 2 | 38.8 | -2.0 | 18.5 | 23.5 | -5.3 | 47.8 | 60.5 |
| 3 | 67.8 | 2.2 | 40.8 | 23.9 | 3.2 | 60.1 | 35.3 |
| 4 | 94.5 | 4.4 | 64.0 | 26.8 | 4.6 | 67.7 | 28.4 |
| 5 | 110.2 | 5.3 | 65.8 | 38.5 | 4.8 | 59.7 | 34.9 |
| 6 | 106.3 | 6.6 | 71.6 | 27.0 | 6.2 | 67.3 | 25.4 |
| 7 | 136.9 | 5.6 | 105.0 | 26.9 | 4.1 | 76.7 | 19.6 |
| 8 | 134.1 | 4.1 | 104.1 | 25.2 | 3.0 | 77.6 | 18.8 |
| 9 | 83.3 | 0.6 | 65.4 | 17.8 | 0.8 | 78.5 | 21.3 |
| 10 | 58.2 | -1.3 | 37.1 | 22.5 | -2.2 | 63.7 | 38.7 |
| 11 | 41.5 | -3.7 | 31.2 | 14.2 | -8.9 | 75.1 | 34.2 |
| 12 | 24.7 | -3.8 | 17.8 | 9.8 | -15.2 | 72.2 | 39.9 |
| 年值 | 77.0 | 1.2 | 52.7 | 23.1 | 1.6 | 68.4 | 30.0 |

表1为上海地区热量平衡各分量及其相对值.由表可见,在热量平衡过程中,除1、2月份湍流热交换量比例大于蒸发耗热量外,其余月份蒸发耗热量的比例均占绝对优势,其中7—9月地表得到的净辐射77%以上消耗于地面水分蒸发,而消耗于湍流热交换的能量仅为19%—21%.全年平均68%以上的净辐射量消耗于蒸发,因此,蒸发耗热量为热量平衡方程中的主要支出项.

由图4可见,蒸发耗热量的年变化极为明显,年较差为 $94.1Wm^{-2}$.1月份是全年蒸发耗热量最小的月份,为 $10.9Wm^{-2}$,这是因为该期间温度最低(月平均温度为 $3.5^{\circ}C$),湿度最小(月平均绝对湿度为 $6.1hPa$),所以蒸发耗热量极微.此后逐月增加,直至7、8月份,温度最高(月平均温度为 $27.8^{\circ}C$),湿度最大(月平均绝对湿度为 $30.8hPa$),蒸发耗热量亦为全年最大,达 $105Wm^{-2}$ 左右.9月份以后,温度明显下降,降水量相应减少,蒸发耗热量也相应减小.从全年来看,基本上是9月份与4月份相当,约 $64.5Wm^{-2}$,10月份与3月份相当,约 $38.9Wm^{-2}$,12月份与2月份相当,仅为 $18.1Wm^{-2}$.

图5为上海地区1、4、7、10月蒸发耗热量的日变化曲线,由图5可见一年四季蒸发耗热量具有明显的日变化,且日变幅很大,尤其是夏季,晴天最大值可达 $495.4Wm^{-2}$,出现在13时前后,与日最高气温同时出现.7月份瞬时平均值变化在 $0.0—495.4Wm^{-2}$ 之间;春季最大值出现在10—13时左右,4月份瞬时平均值变化在 $-7.0—223.3Wm^{-2}$ 之间;秋季最大值出现在10—14时左右;10月份瞬时平均值变化在 $-7.0—188.4Wm^{-2}$ 之间;冬季日变化极小.在夜间,比较潮湿的地面上可出现凝结,所以出现负值.

另外,云量的多寡也影响着蒸发耗热量的多少.晴天蒸发耗热量最大,阴天最小.由于

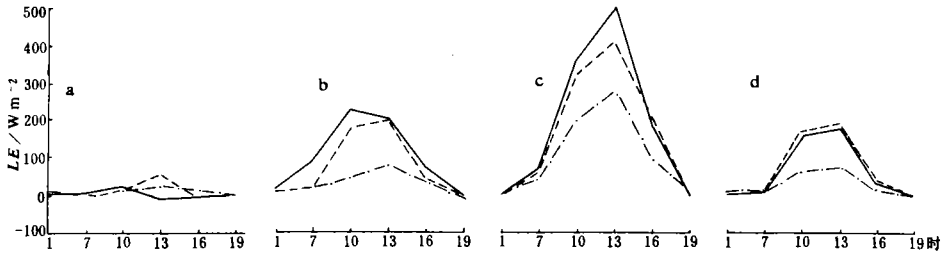


图5 上海地区1月(a)、4月(b)、7月(c)、10月(d)蒸发耗热量日变化(说明同图2)

云的影响使蒸发耗热量日较差减小,尤其是夏季,晴天时,蒸发耗热量日变化于 $0.0—495.4\text{Wm}^{-2}$ 之间,而阴天变化于 $0.0—265.2\text{Wm}^{-2}$ 之间.云量的多寡不仅影响着蒸发耗热量的多少,而且变化比较复杂,如同云量影响辐射平衡值一样(图略).可见,当总云量少于6成时,蒸发耗热量随云量略有增多,中午前后起伏稍大,只有当总云量在6成以上时,才随云量明显下降.

3.3 湍流热交换

湍流热交换量也是地面热量平衡方程中的重要分量之一,其大小主要决定于大气的稳定性.上海地区由于降水充沛,气候湿润,蒸发耗热量大,风力微弱,所以湍流交换量并不是很大.由表1可见,除1、2月份地表得到的净辐射有60%消耗于湍流热交换外,其余月份都不到40%,其中7—9月仅为19%—21%,全年平均消耗于湍流热交换的能量为30%.具体情况分析如下:

由表1可见湍流热交换量年振幅不大,只有 28.7Wm^{-2} 左右,最大值出现在5月份,为 38.5Wm^{-2} .最小值出现在12月份,为 9.8Wm^{-2} .4月份与6、7月份相当,约 26.9Wm^{-2} ;2、3月份与10月份相当,约 23.3Wm^{-2} ,9、10月份稍小.

湍流热交换量(感热)日变化也很小.图6为上海地区1、4、7、10月湍流热交换量日变化曲线,与图5相比,可见湍流热交换量日变化比蒸发耗热量日变化要小得多.白天日出

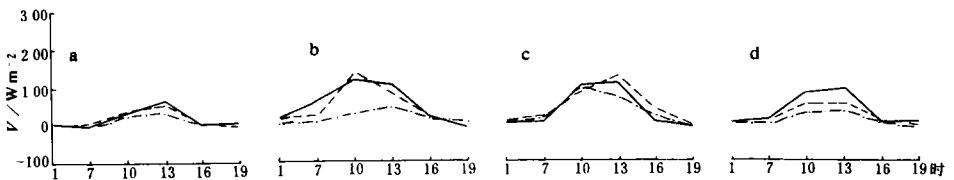


图6 上海地区1月(a)、4月(b)、7月(c)、10月(d)湍流热交换量日变化(说明同图2)

后,地面不断增热,大气不稳定性也越来越大,湍流通量为正,地面以感热形式向空气输送热量.正午一点钟左右,湍流热交换量最大,如7月份瞬时平均值最大可达 90.7Wm^{-2} .以后又逐渐减小,16时以后,出现逆温,湍流运动受到抑制,湍流通量为负, $V < 0$,夜间达最小,表明湍流作用向地面输送热量,但值很小,仅 -7.0Wm^{-2} 左右.

湍流日变程也不存在对称性,而偏向下午,这是由于午后温度梯度较大,湍流运动较

强的原因。

同样,湍流热交换量也是一天中两次改变符号,即日出前和日落后,只是日落后改变符号的时间先于辐射平衡约1小时左右,这表明湍流热交换量的变化先于辐射平衡的变化。

此外,这种每日的周期变化对于不同的天气类型也是不同的,阴天白天大气稳定度比晴天要好,所以阴天的湍流热交换量及其日变化较晴天为小(见图6),春、秋季尤其明显。

3.4 土壤热交换量

在热量平衡方程中,土壤热交换量是最小的分量。由表1可见,该地区土壤热交换量年平均值仅占地面热平衡量的1.6%。最大值出现在5、6、7月,即春末和夏季,最大的负值出现在11、12、1月,即秋末和冬季。从10月份至次年2月份全部是负值,表示这段时间内该地区从土壤深层向地面供给热量转为地表面向土壤内部传热了。年变幅比较均匀,年较差仅为 10.4Wm^{-2} 。

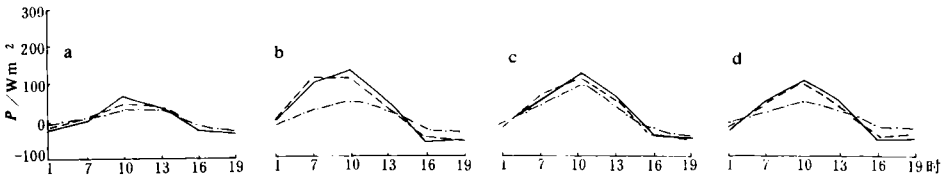


图7 上海地区1月(a)、4月(b)、7月(c)、10月(d)土壤热交换量日变化(说明同图2)

图7为上海地区1、4、7、10月土壤热交换量日变化曲线,由图可见,土壤热交换量昼夜改变方向,日总量很有限,而日变化较为明显,一年四季最大值出现在上午10时左右,10时以后,土壤热通量下降很快,到傍晚时达到最小,日变幅变化在 $-55.8\sim 125.6\text{Wm}^{-2}$ 之间。一日中有两次通过零的时间,一次在上午日出后不久,另一次在15时左右。

云量对土壤热通量影响不大,从图上也可见,春季和秋季受云量影响略为明显,阴天日较差较小。冬季和夏季受云量影响很小,无论是晴天,阴天还是阴天,日较差相差无几。

4 结 论

(1)上海地区热平衡各分量中,以蒸发耗热量为最大,其分配比例占辐射平衡量的68.4%;湍流通量次之,占30%;土壤热交换量最小,仅占1.6%,这样的分配比例显示出湿润地区能量分配的重要特征。

(2)潜热在地面热量平衡过程中占绝对优势,表明该地区气候湿润,降水充沛,地面有充足的水分供蒸发消耗,所以该地区净辐射主要用于蒸发耗热。从图1热平衡各分量的年变化曲线也可看出,蒸发耗热量的年变化与辐射平衡值的年变化曲线趋势基本上是一致的,这充分反映了大陆副热带季风气候特点。

(3)地面热量平衡各分量的年变化、日变化都比较明显,这种年变化、日变化特点反映

了上海地区主要气象要素(如气温、湿度)的年变化、日变化特点.

通过对上海地区热平衡各分量的变化分析,使我们了解到湿润地区地面层能量的输送过程不同于干燥地区.干燥地区蒸发耗热量只占辐射平衡的很小部分,而绝大部分能量消耗在湍流热交换上.因此,它们二者的气候差异十分显著.

参 考 文 献

- 1 陆渝蓉,高国栋.物理气候学.北京:气象出版社,1987年.
- 2 翁笃鸣,沈觉成,陈万隆,高家表.小气候和农田小气候.北京:农业出版社,1979年.
- 3 中央气象科学研究所.热量平衡观测法,1957年.
- 4 翁笃鸣,陈万隆,陈留华.拉萨河谷的太阳辐射特征研究(二).青藏高原气象科学实验文集(一).北京:科学出版社,1987年.82—94.

A PRELIMINARY STUDY OF THE SURFACE HEAT BALANCE IN SHANGHAI

Ju Xiaosheng

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

On the basis of the observed data of surface heat balance and conventional climatic data from 1961 to 1965 in Shanghai, the diurnal, monthly and annual variations of various heat balance elements are analyzed, respectively. The results illustrate that the latent heat is dominant in the process of land surface heat balance in the moist climate regions of China.

Key words: Heat balance; Latent heat; Sensible heat.