

# 降水强迫对戈壁局地气候系统水、热输送的影响<sup>\*</sup>

张 强 胡隐樵

中国科学院兰州高原大气物理研究所, 兰州, 730000  
西部资源环境科学研究中心,

赵 鸣

(南京大学大气科学系, 南京, 210093)

## 摘 要

用黑河实验中化音站(戈壁)加强期的湍流脉动场资料对降水强迫影响戈壁局地气候系统水、热输送的过程进行了系统分析。结果表明:降水强迫会使戈壁局地气候系统出现暂时的不平衡状态,要重新回到平衡状态需要通过物质和能量的重新调配来实现。该过程可划分为4个阶段,各个阶段间的感热、潜热和水汽通量均有较大差异。从近地层水、热输送特征看,受降水强迫后非平衡状态的张弛时段大约为4d。在整个张弛期间,地表接收到的降水约有2/3通过地表蒸发后输送到大气,其余部分可能被渗入地下。

关键词: 降水强迫, 戈壁局地气候系统, 非平衡状态, 水、热输送, 张弛时段。

## 1 引 言

到目前为止,无论是国内的 HEIFE 计划还是国外的其它一些研究计划主要研究的是各种局地气候系统处于平衡状态时的物质和能量输送特征,而对一些突发的外强迫扰动造成的非平衡状态局地气候系统<sup>[1]</sup>则很少有人研究。降水强迫引起的非平衡状态在干旱的戈壁地区虽属小概率,但却存在一定的影响。

文中试图利用 HEIFE 化音站(戈壁)加强期的湍流脉动场资料对降水影响戈壁局地气候系统水、热输送的过程进行系统分析。给出降水强迫下戈壁局地气候系统感热、潜热和水汽通量扰动过程,弄清非平衡状态局地气候系统的调整机制和张弛时段,正确划分平衡状态和非平衡状态的局地气候系统,这不仅对估算戈壁地区全年平均的地表感热和潜热的输送及进一步研究戈壁地区的水循环机制有较大意义,而且对改进陆-气相互作用数值模式和局地气候统计分析有参考价值。

\* 初稿时间: 1996年1月17日; 修改稿时间: 1996年7月10日。

资助课题: 国家自然科学基金49575248课题和西部资源环境科学研究中心的资助。

## 2 关于资料

所用资料是 HEIFE 计划第2个加强观测期(1991年8月5日至20日)化音站(甘肃省临泽县城西南约10km的戈壁滩)近地层湍流脉动场的观测资料。湍流脉动场风、温、湿感应头安装在铁杆顶端,离地面实际高度大约3m,采样频率10Hz,采样时间0.5—1h,每小时采样一次,测量讯号传送至采集处理系统对湍流资料进行分析,得出各种湍流统计量如标准差、协方差(如湍流量)、稳定度参数等,得到的输出量有:摩擦速度  $u^*$ 、温度尺度  $T^*$ 、风速3分量的脉动标准差( $\delta u$ ,  $\delta v$ ,  $\delta w$ )、温度和湿度标准差( $\delta T$ ,  $\delta q$ )、感热通量  $H_s$ 、潜热通量  $\lambda E$ 、 $M-O$  长度、稳定度参数  $\zeta$ 等。

由大尺度天气系统过境引起的1991年8月中旬的降水过程在西北干旱地区是最常见的。而目前监视戈壁或沙漠一次完整降水过程的湍流观测资料非常难找,1991年8月5日至20日化音站湍流脉动场的观测资料正好充分覆盖这次降水过程。所以这组资料不仅有较好的代表性,而且也很珍贵。

## 3 降水强迫对水、热输送的影响

为了映衬出降水强迫引起的地表水、热输送扰动,给出个别晴天和夏季晴天平均的近地层感热和潜热通量是十分必要的。图1是戈壁地区1990年8月30日(晴天)(a)和夏季平均(b)的近地层感热、潜热通量及水汽通量的日变化。可以看出无论是夏季个别晴天还是夏季平均的地表能量平衡特征都是以感热输送为主,潜热输送非常小。

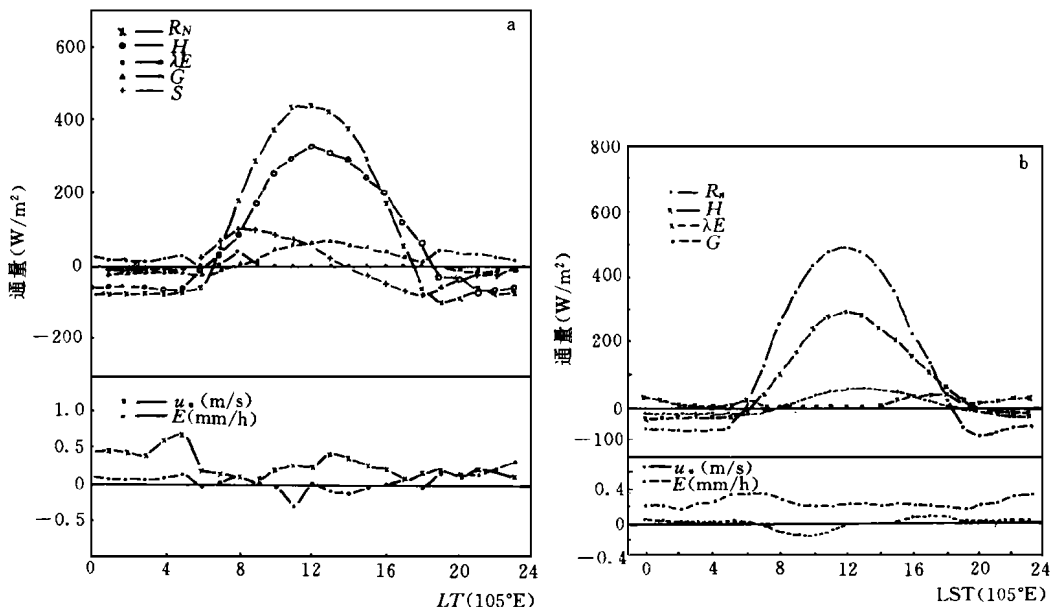


图1 戈壁地区1990年8月30日(晴天)(a)和夏季平均(b)的感热、潜热及水汽通量的日变化(引自文献[2,3])

( $R_N$ : 净辐射;  $G$ : 地热流量;  $S$ : 热储存量;  $E$ : 水汽通量)

降水强迫会改变晴天戈壁局地气候系统的地表能量平衡特征,它对戈壁局地气候系统的影响主要通过辐射效应(削减到达地表的太阳辐射)和土壤增湿效应(增加土壤水分)来发生作用。以1991年8月中旬的降水过程为例来进行分析,这次降水过程从8月10日开始转阴,8月12日开始出现降水,持续了一天,到8月13日停止降水并天气开始转晴,总降水量大约在7mm左右。图2便是这次降水过程中感热通量(a)和潜热通量(b)的日变化特征的演变。很容易看出,与晴天相比感热通量和潜热通量有很大的不同,而且日际间地表能量平衡特征有剧烈的变化。呈现出非平衡态的特点。并且在这个降水过程中,感热通量和潜热通量的演变过程可分为4个阶段。

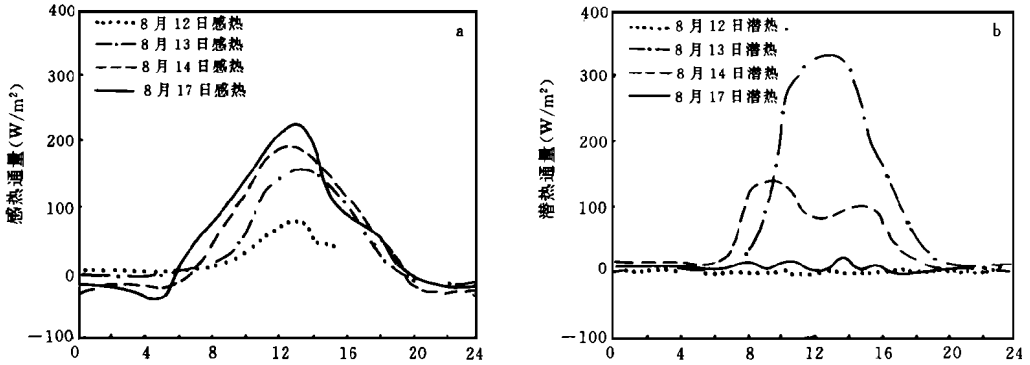


图2 1991年8月中旬一次降水过程感热(a)和潜热(b)通量的日变化特征演变

正在降水的8月12日为第1阶段,称其为辐射效应阶段。这一阶段的降水强迫主要通过辐射效应发生作用。该效应使可供分配的地表净辐射大大减少,从而使感热通量和潜热通量这两个最主要的地表能量平衡分量相应也比降水前小得多。虽然土壤增湿效应虽也存在,但由于辐射效应更直接的作用使其得不到发挥。

雨过天晴的8月13日为第2阶段,称其为增湿效应阶段。这一阶段,辐射效应的影响随降水停止而消失,可供分配的地表净辐射恢复。但降水强迫的土壤增湿效应使土壤热容量变大,从而改变了晴天的地表能量收支特征,近地层潜热通量快速增加。但由于吸热,感热通量增加的并不快。潜热远大于感热。

经过一天蒸发的8月14日和15日为第3阶段,称其为恢复阶段。由于前一阶段的高额蒸发使土壤增湿效应逐渐削弱,土壤热容量变小,向降水前的状态恢复。地表能量收支也不断调整,潜热变小,感热变大。

地表已变得干燥的8月16日或17日及其以后的晴天为第4阶段(图中给出的是17日的结果),称其为近平衡态阶段。由于不断蒸发,土壤增湿效应已基本消失,土壤热容量恢复到降水前的状态。地表能量收支已调整到与图1接近的一般晴天的特征。

前3阶段虽差别较大,但它们的土壤湿润状态都足以维持蒸发对近地层水汽通量的主导地位,绿洲与戈壁的热力差别也不太明显。因此近地层水汽通量总是向上输送。而最后一个阶段则相反,地表蒸发很小,绿洲与戈壁的相互作用突出,来自绿洲的湿平流对戈壁近地层水汽输送的贡献占主导地位,水汽通量在近地层有时会出现向下输送<sup>[4,5]</sup>。

为了得到水汽通量的直观结果, 图3给出了1991年8月中旬一次降水过程中水汽通量日变化特征的演变。从本质上它与潜热通量是一致的。

图4是1991年8月中旬一次降水过程经过24h平滑(滤掉日变化)后的感热通量、潜热通量及二者之和的时间变化率的变化曲线。如在一般的晴天即平衡态时它们的时间变化率应接近零或很小, 但图4却表明了一个明显偏离平衡态的扰动过程。感热通量和潜热通量之和的时间变化率的变化曲线被平衡态参考线所分割的3块区域正好说明了降水强迫的不同阶段即辐射效应阶段、土壤增湿效应阶段和恢复阶段。

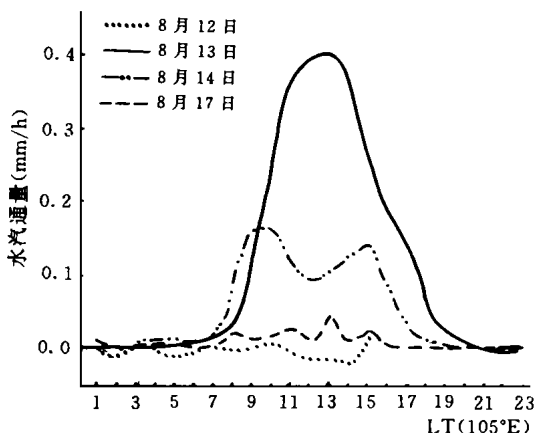


图3 1991年8月中旬一次降水过程中水汽通量日变化特征的演变

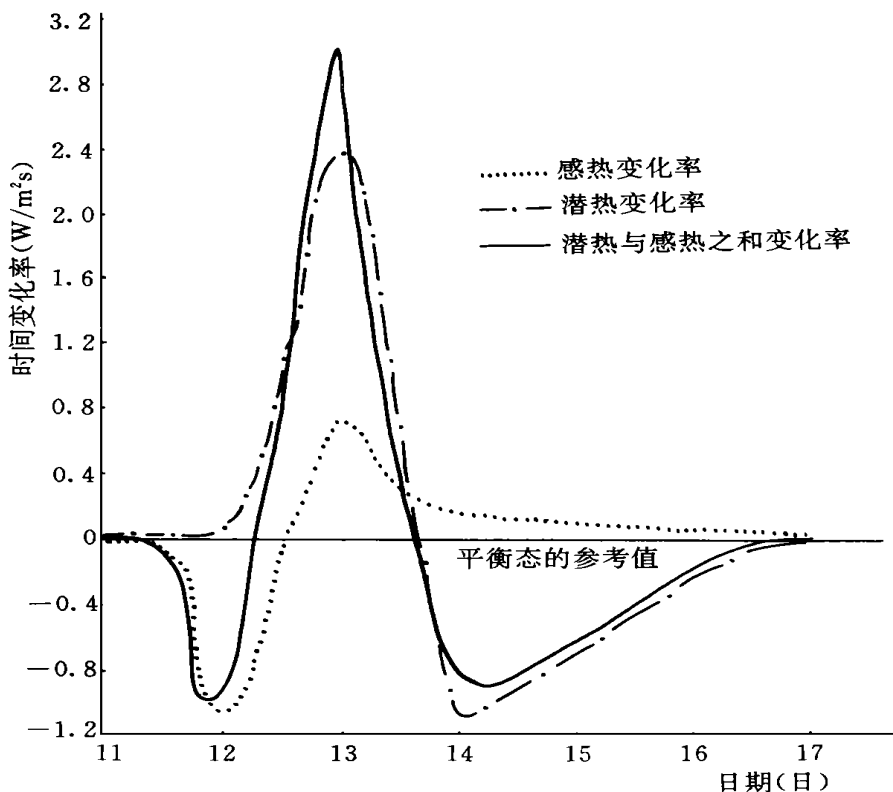


图4 1991年8月中旬一次降水过程中经过24h平滑(滤掉日变化)后的感热通量、潜热通量及二者之和的时间变化率

#### 4 局地气候系统对降水强迫的恢复过程

图5给出了1991年8月中旬一次降水过程中每天潜热通量峰值(a)和水汽通量日积分值(b)的变化曲线图。很显然,8月13日刚雨过天晴,潜热通量峰值和水汽通量日积分值均最大,以后两者递减都很剧烈,至8月16日左右潜热通量和水汽通量均基本恢复到了降水前晴天的状况。可见戈壁局地气候系统对降水强迫扰动的张弛时段大约是4d的时间。当然这一期限还会与降水量的大小有关。

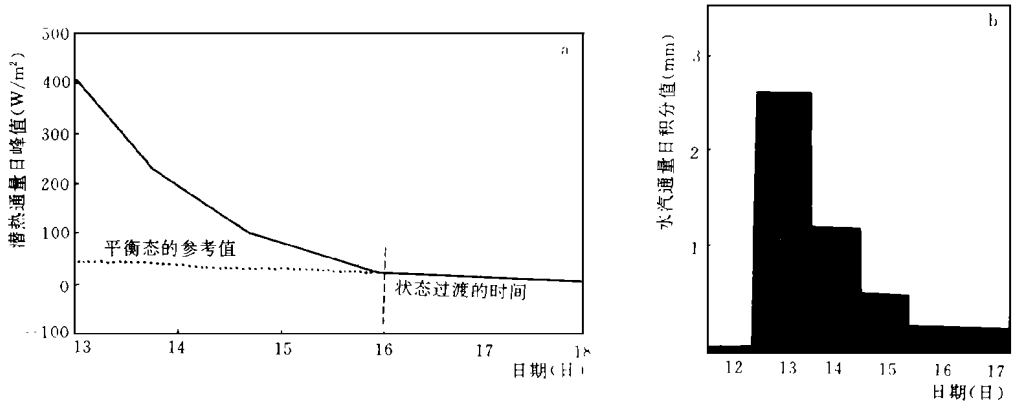


图5 1991年8月中旬一次降水过程中潜热通量峰值(a)和水汽通量日积分值(b)的变化曲线

图6给出了1991年8月中旬一次降水过程中每天感热通量峰值(a)和感热通量日积分值(b)的变化曲线图。感热通量峰值和日积分值均在降水后逐渐增加,开始增加较快,以后逐渐变缓。与图5同样可表明,降水强迫扰动的张弛时段大约是4d的时间。

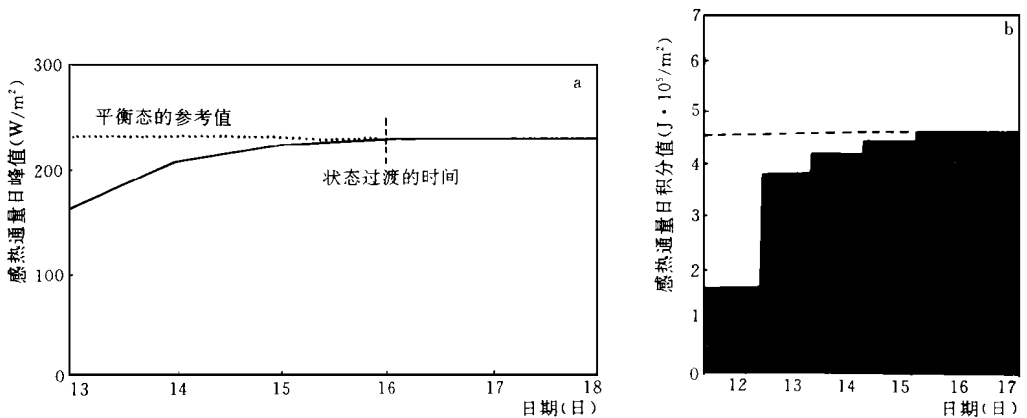


图6 1991年8月中旬一次降水过程中感热通量峰值(a)和日积分值(b)的变化曲线

图7中给出了一个降水过程中积分的地表蒸发量与积分的降水量的变化趋势。图中总的地表蒸发量与总的降水量的差额可以近似看成地表截留水分。能够看出在张弛期间降

水总量中有近 $2/3$ 被地表蒸发后输送给大气, 另有超过 $1/3$ 的降水很可能被渗入土壤。这说明降水后戈壁局地气候系统要从非平衡态恢复到新平衡状态主要通过地表蒸发和渗漏两个过程的调配来实现。这一结论与日本气象学家 Mitsuta 在沙漠得到的结论有较大的相异之处, Mitsuta 的结果表明降水后地表蒸发总量总是大于降水总量<sup>[6]</sup>。他认为这是降水激发的土壤内液态水分向上渗透的贡献<sup>[7]</sup>。Mitsuta 得出这一结论的原因是把近地层水汽通量理解为地表的蒸发量。这种理解在一般情况下也许是可行的。但对绿洲影响下的戈壁或沙漠, 在张弛期间之后, 由于戈壁与绿洲的相互作用很突出。这时戈壁近地层水汽通量靠来自绿洲的湿平流和地表蒸发两个因子控制, 而且平流占主导地位, 地表蒸发显得不太重要。近地层实际上已不是常通量层<sup>[8]</sup>。把近地层(3m 高处)水汽通量理解为地表的蒸发量实际上是夸大了蒸发量。这也是在图7中对15日以后即恢复期后没有给出蒸发量的原因。

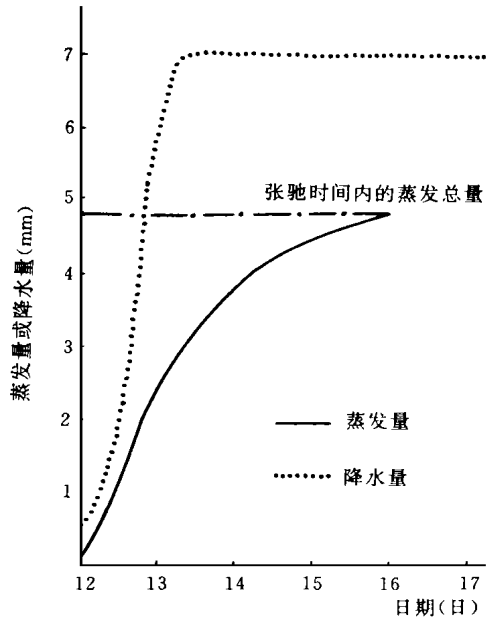


图7 1991年8月中旬一次降水过程中积分的地表蒸发量与积分的降水量的变化趋势

## 5 结论与讨论

综上所述认为, 降水对戈壁局地气候系统的强迫一般是通过辐射效应和土壤增湿效应这两个过程来影响戈壁局地气候系统。但戈壁近地层大气对这两个过程影响的响应方式及恢复过程是很不同的。近地层对大气辐射效应的影响响应的较快, 恢复的也较快, 而对土壤增湿效应的影响响应的较慢, 恢复的也慢。降水作为强迫因子将使局地气候系统出现暂时的不平衡状态, 这种非平衡气候系统要达到新的平衡状态必需通过一个物质和能量的重新调配过程。该过程可以划分成4个阶段, 各个阶段的感热和潜热及地表蒸发均有较大差异, 从物质和能量输送特征来看, 受降水干扰后戈壁局地气候系统达到新的平衡状态所需要的张弛时段大约为4d。在张弛时段内, 地表接收到的降水约有 $2/3$ 通过地表蒸发后输送到大气, 其余部分可能被渗入地下。

文中分析了一个典型个例, 有其代表性。但由于对戈壁或类似地区完整降水过程的湍流通量观测很少, 未能研究不同降水强度所造成的非平衡态之间的区别。同时, 降水时湍流通量的观测还有许多技术问题, 特别在精度上还无法保证, 因此给出的结果难免有较大误差。

## 参考文献

- [ 1 ] 吴国雄, 刘辉等译. 气候物理学. 北京: 气象出版社, 1995. 6—23.
- [ 2 ] 左洪超, 胡隐樵. 黑河地区绿洲和戈壁小气候特征的季节变化及其对比分析. 高原气象, 1994, 13(3): 246—256.
- [ 3 ] Hu Yinqiao, Yang Xuanli, Zhang Qiang and Cuo Hongchao. The characters of energy budget on the Gobi and desert surface in Hexi region. Acta Meteor Sin, 1992, 6: 82—91.
- [ 4 ] 张强, 胡隐樵. 河西地区非均匀下垫面的大气变性过程. 高原气象, 1996, 15(3): 235—243.
- [ 5 ] 张强. 西部干旱环境与绿洲的相互作用及与大气环流的关系, 中国西部区域气候变化及其相关问题研究. 刘晓东编, 兰州: 兰州大学出版社, 1995. 50—56.
- [ 6 ] Mitsuta Y, et al. Evaporation from the desert. International Symposium on HEIFE, 1994. 391—395.
- [ 7 ] Mitsuta Y, Wang Jiemin and Hu Yinqiao. Evaporation at desert station in HEIFE. International Symposium on HEIFE, 1994. 379—390.
- [ 8 ] 胡隐樵, 王俊勤. 临近绿洲的沙漠上空近地层内水汽输送特征. 高原气象, 1993, 12: 125—132.

## EFFECTS OF RAINFALL FORCING ON THE TRANSPORT OF WATER AND HEAT IN THE LOCAL CLIMATE SYSTEM OF GOBI

Zhang Qiang Hu Yinqiao

( *Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Academia Sinica, Lanzhou, 730000*  
*Research Centre of Western Resourceful and Environmental Science,* )

Zhao Min

( *Department of Atmosphere Sciences, Nanjin University, Nanjin, 210093* )

### Abstract

In this paper, using the data of turbulence observation of Huayin Station in Gobi area during IOP of HEIFE, the effects of rainfall forcing on the transport of water and heat in the local climate system of Gobi are analysed. The results show, that the local climate system becomes unbalanced due to the rainfall forcing, that the unbalanced state can return to the balanced state after rainfall through a new adjustment of substance and energy, that the process of the new adjustment can be divided into four periods, that the sensible heat flux, latent heat flux, and water vapour flux are very different with the periods, that relaxation time of the unbalanced state is about four days, and that about two thirds of rainfall are transported into atmosphere by the evaporation of ground surface and the rest may permeate the ground.

**Key words:** Rainfall forcing, Local climate system of Gobi, Unbalanced state, Transport of water and heat, Relaxation time.