

# 下垫面特征对一次短期天气过程影响的数值试验(Ⅱ)\*

杜华武

颜宏

(广州热带海洋气象研究所, 广州 510080)

(中国气象局, 北京 100081)

## 提 要

在文献[1]工作的基础上,利用文献[1]的个例和模式,研究了局地区域下垫面特征的变化对自身及其邻域短期降水和环流的影响,并探讨了可能的影响机理;最后比较了局地区域与大区域下垫面特征相同变化所致的影响差异。

**关键词:**下垫面特征;短期天气过程;数值试验。

## 1 引 言

实际陆面特征的变化,往往先由局部开始,在有利的条件下扩展到较大的范围.这启示我们在文献[1]工作的基础上,研究局地区域下垫面特征的变化对短期天气过程的影响或许更有实际意义.另一方面,在有利的大尺度背景下,局地区域下垫面特征的变化可诱发局地次级环流的产生,从而影响自身及其邻域的环流和降水,这是文献[1]所未曾遇到的问题,因而该研究有自己的特色.本文拟采用与文献[1]同样的个例和模式,研究局地区域下垫面特征的变化对该局地区域及其邻域短期降水和环流的影响,并比较局地区域与大区域下垫面特征相同变化所致的影响差异。

## 2 试验方案设计

有关模式特征、下垫面影响的参数化方法和“81.7”四川大暴雨个例的说明详见文献[1].为突出重点起见,并考虑其代表性,所选取的两个局地区域分别为我国较湿润的西南区(简称局地区域Ⅰ)和最干旱的西北区(简称局地区域Ⅱ),其定义与文献[1]完全相同(具体区划见图1a).数值试验方案设计说明见表1.本文采用整层无辐散的初始化方案,

1992年5月4日收到,1992年10月22日收到修改稿。

\* 本研究于1988年3月在中科院兰州高原大气所 VAX-11/780 机上完成。

以 1981-7-11, 12GMT 的 ECMWF 资料作初始场, 对所有方案均积分 48h.

表 1 数值试验方案设计

方案	试验目的	地形	物理过程	初始下垫面特征	
				土壤含水量(cm)	地表反射率
$D_1$	研究西南区下垫面设为沙漠后对自身及其邻域短期降水和环流的影响	NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 地形	地面摩擦、地面感热和潜热通量, 大尺度和积云尺度凝结潜热, 辐射加热(包括日变化)	1 <sup>[2]</sup>	0.38 <sup>[2]</sup>
$W_1$	同方案 $D_1$ , 但西南区下垫面设为水面	同上	同上	10 <sup>[2]</sup>	0.04 <sup>[2]</sup>
$D_1$	研究西北区下垫面设为沙漠后对自身及其邻域短期降水和环流的影响	同上	同上	1 <sup>[2]</sup>	0.38 <sup>[2]</sup>
$W_1$	同方案 $D_1$ , 但西北区下垫面设为水面	同上	同上	10 <sup>[2]</sup>	0.04 <sup>[2]</sup>

### 3 局区域下垫面特征的变化对该区域及其邻域短期降水和环流的影响

首先分析西南区和西北区下垫面分别设为沙漠或水面后, 其自身及其邻域短期降水、环流的变化, 最后从地表热平衡的分布特征和非均匀地表热力强迫的局地次级环流等两方面来探讨局区域下垫面特征变化的影响机理.

#### 3.1 降水的水平分布及其时间演变特征

图 1 给出了各方案白天平均的 12h 降雨量水平分布. 从中可见: 当西南区下垫面由水面变为沙漠时, 其东部雨区断裂为两个中心, 而西部雨区则与高原北部的降水区连成一片; 涡区最大强度降水中心位置不变, 但强度由 109mm 减小到 60mm. 值得注意的是, 此时西北区南部降水略增, 而华北区降水减少. 同样, 当令西北区下垫面由水面转为沙漠时, 其自身和华北区降水减少, 而西南区的降水却明显增大, 最大降水中心强度由 64mm 增到 83mm, 且位置南压了近 4 个纬距. 方案  $W_1$  中西南区强降水中心的北移, 主要是由于对应西南区的最大上升运动中心北移(图 4d), 促使西南低涡向西北移动所致(图 3d). 这说明: 在有利的条件下, 局区域下垫面特征的变化, 可通过某种机制影响到邻域次天气尺度环流系统的位置和强度, 进而影响降水. 它显然有别于大区域下垫面特征变化的影响机理<sup>[1]</sup>. 西南区与西北区降水的反位相变化, 从表 2 可更明显看出.

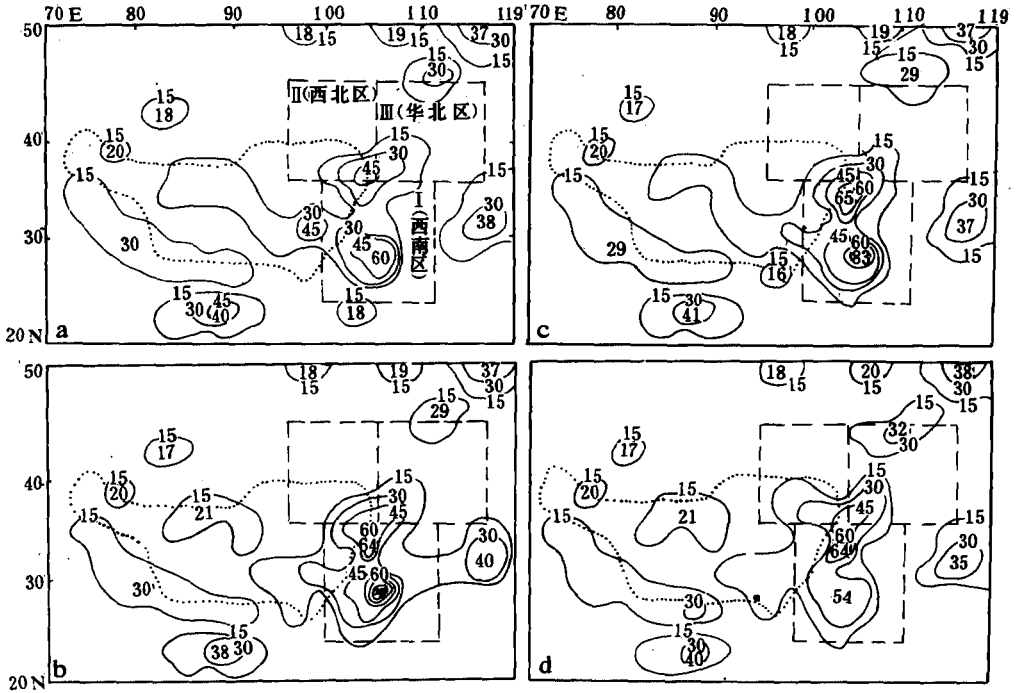


图1 方案  $D_1$  (a)、 $W_1$  (b)、 $D_1$  (c)和  $W_1$  (d)白天平均的12h降雨量的水平分布  
(单位: mm/12h, 点线为3000m地形廓线, 虚线所围的框为所定义的三个局地区域)

表2 各方案0—24h和24—48h区域平均的日降水量(mm)及其对比值

方案	I (西南区)		II (西北区)	
	0—24h	24—48h	0—24h	24—48h
$W_1$	27.98	50.32	5.45	8.67
$D_1$	15.71	34.76	6.00	9.82
$W_1/D_1$	178.10%	144.76%	90.83%	88.29%
$W_1$	23.57	40.54	13.62	19.76
$D_1$	24.64	47.59	3.77	6.79
$W_1/D_1$	95.66%	85.19%	361.27%	291.02%

局地区域下垫面特征的不同变化所造成的该局地区域及其邻域短期降水的差异具有明显的持续性. 图2给出的西南区和西北区6h降雨量各方案对比值 $\eta(W_1/D_1)$ 、 $\eta(W_1/D_1)$ 随时间的变化曲线证实了这一点. 从该图还可以看出:①西南区的 $\eta(W_1/D_1)$ 和西北区的 $\eta(W_1/D_1)$ 都具有明显的日变化特征,即其值在白天较大而晚上较小,这显然是由于不同方案的蒸发在日间差异较大而夜间差异较小所致,文献[1]对此作了讨论.②西南区的 $\eta(W_1/D_1)$ 和西北区的 $\eta(W_1/D_1)$ 始终大于1,根据文献[1]的研究结果及Walker和Rowntree<sup>[3]</sup>的观点,可以认为这主要是由于土壤湿度异常的持续性导致地表蒸发异常的持续性,改变了该区域大气的水汽辐合量及其低层湿静力能,进而影响了湿对流强度所致;另一方面,西南区的 $\eta(W_1/D_1)$ 和西北区的 $\eta(W_1/D_1)$ 却始终小于1,其物理原因可能是某一局地区域下垫面特征变化后,由于非均匀地表热力强迫差异而激发出局地次级环流,从而“远距离”地影响邻域的环流和降水.③西南区的

$\eta(W_1/D_1)$  在 12—18h 达最大, 为 2.07; 而西北区的  $\eta(W_1/D_1)$  在 18—24h 达最大, 为 5.45; 且几乎在所有时段, 西南区的  $\eta(W_1/D_1)$  均明显小于西北区的  $\eta(W_1/D_1)$ , 说明西北区降水的湿干对比 (即  $\eta(W_1/D_1)$ ) 特征远较西南区的明显.

### 3.2 700hPa 水平流场和垂直环流的变化

从图 3 给出的 48h 各方案 700hPa 水平流场看, 当西南区下垫面由水面转为沙漠时, 涡区及其以南地区的西南低空急流减弱, 最大风速由 33m/s 下降到 29m/s; 气旋性涡度也明显减小, 48h 对应西南涡

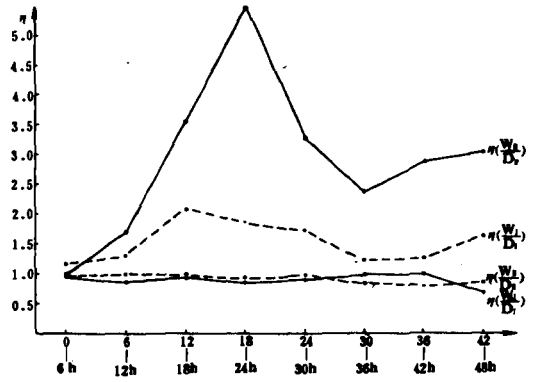


图 2 西南区(虚线)和西北区(实线)6h降雨量的各方案对比值  $\eta(W_1/D_1)$ 、 $\eta(W_2/D_2)$  随时间的变化

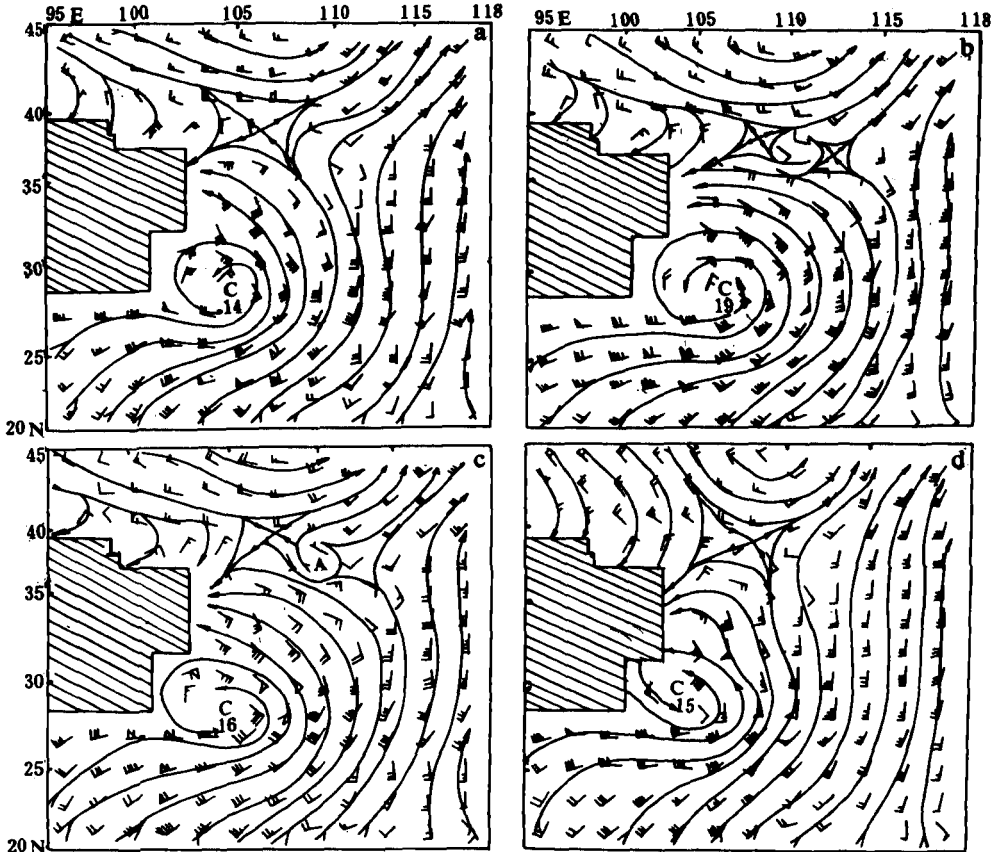


图 3 48h 方案  $D_1$  (a)、方案  $W_1$  (b)、方案  $W_2$  (c) 和方案  $D_2$  (d) 700hPa 水平流场(阴影部分为青藏高原)

中心的相对涡度由  $19 \times 10^{-5} s^{-1}$  下降到  $14 \times 10^{-5} s^{-1}$ ; 且在西南涡北部  $40^\circ N$  附近, 反气旋闭合环流中心也消失了. 当将西北区下垫面由水面转为沙漠时, 这个反气旋环流又出现

了.此时,西南涡中心的相对涡度也由  $15 \times 10^{-5} s^{-1}$  增大到  $16 \times 10^{-5} s^{-1}$ . 值得注意的是:西北区下垫面设为水面后,西南涡不仅强度减弱,且中心位置向西北移动. 这表明局地区域下垫面特征的变化对本局地区域及其邻域次天气尺度环流的位置和强度均有明显的影响.

从沿西南区和西北区最大降水中心连线的环流垂直剖面分析发现(图4):方案  $W_1$  和方案  $D_1$  相比,其西南区和西北区上升运动中心的强度及范围均有明显的变化. 其中,对应涡区的上升运动中心的最大强度由方案  $W_1$  的  $-19.2 \times 10^{-3} hPa/s$  减小到方案  $D_1$  的  $-10.4 \times 10^{-3} hPa/s$ ,而对应西北区的上升运动中心最大强度尽管不变,但其中心位置已由方案  $W_1$  的 600hPa 附近提高到方案  $D_1$  的 500hPa;上升运动的垂直伸展高度在西南区

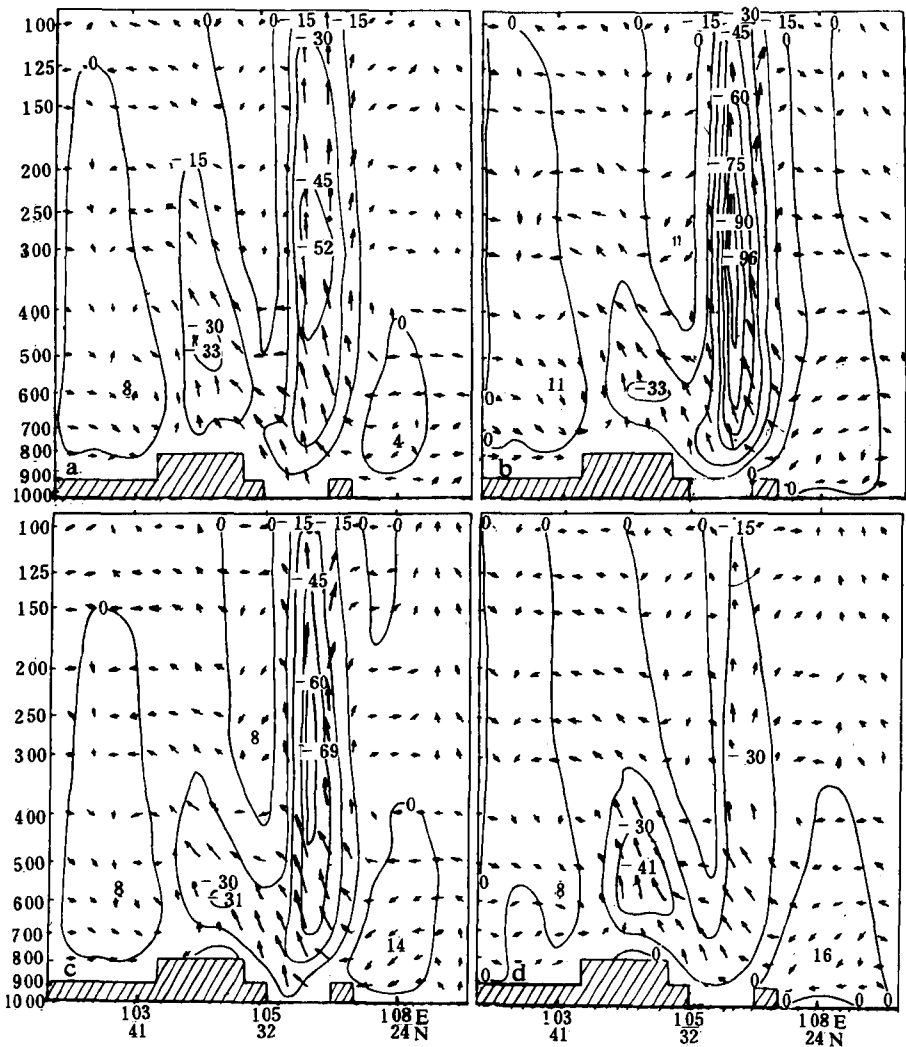


图4 48h 方案  $D_1$  (a)、方案  $W_1$  (b)、方案  $W_1$  (c)和方案  $D_1$  (d)环流和垂直速度(实线,放大5000倍,间隔  $15hPa/s$ )沿剖向  $(103^{\circ}E, 41^{\circ}N)$ 至  $(108^{\circ}E, 24^{\circ}N)$ 的垂直剖面(阴影部分为相应的地形廓线)

(以-30线为代表)由方案  $W_1$  的 100hPa 以上降到方案  $D_1$  的 100hPa 以下,在西北区(以-15线为代表)则由方案  $W_1$  的 400hPa 左右伸展到方案  $D_1$  的 200hPa. 方案  $D_1$  和方案  $W_1$  的情况类似,但有一点需要指出:方案  $W_1$  中西南区上升运动减弱得很明显,而西北区的上升运动却明显增强,由此导致该方案西南涡朝西北向移动. 西南区和西北区环流的变化,无疑是导致这两区短期降水变化的主要物理原因.

### 3.3 局地区域下垫面特征变化对该局地区域及其邻域短期降水和环流影响的可能物理机制

前面的分析表明:局地区域下垫面特征的变化对该局地区域及其邻域短期降水和环流的影响是显著的. 从地表热平衡的分布特征来看(表3),这种对自身影响的部分物理原因与文献[1]所讨论的大区域下垫面特征变化的影响机理是一样的,即由于下垫面特征的变化造成的地气能量交换方式的不同,改变了大气的温湿分布和层结稳定度,触发对流的

表3 42h各方案区域平均的地表净辐射  $R$ 、感热  $SH$ 、潜热  $LE$ 、土壤热通量  $H_s$  ( $W/m^2$ ) 和土壤含水可蒸发率  $\eta_e$

	I (西南区)					I (西北区)				
	$\eta_e$	$R$	$SH$	$LE$	$H_s$	$\eta_e$	$R$	$SH$	$LE$	$H_s$
$D_1$	0.72	388	92	318	-22	0.28	474	287	127	60
$W_1$	0.92	616	111	495	11	0.22	481	287	129	65
$D_1$	0.79	558	120	443	-4	0.17	346	230	76	41
$W_1$	0.77	541	125	438	-23	0.77	623	165	430	31*

注: \* 方案  $W_1$  中西北区的  $|R-SH-LE-H_s|$  比两区中的其它方案值均大  $2-3W/m^2$ , 这可能是由于计算误差造成.

产生并导致垂直环流的巨大差异(图4),由此影响降水. 所不同的是:局地区域下垫面特征的变化可诱导局地次级环流的产生,进而通过改变自身及其邻域的垂直运动而影响降水. 这种局地次级环流的性质类似于海陆风,非均匀地表的热力强迫差异是其产生的主要机制. 为构画出这种次级环流的基本物理图像,我们沿与图4相同的剖向(但范围由  $(102^\circ E, 45^\circ N)$  至  $(107^\circ E, 25^\circ N)$ ) 作48h方案  $D_J, W_J$  ( $J=1, II$ ) 与方案  $F^{[1]}$  (考虑真实地形和所有物理过程的控制试验,初始下垫面特征用文献[2]的夏季平均值)的偏差流场,发现方案  $D_1$  和方案  $W_1$ 、方案  $D_{II}$  和方案  $W_{II}$  的局地次级环流是类似的(图略). 为此,图5只给出方案  $D_1$  和方案  $W_1$ 、方案  $D_{II}$  和方案  $W_{II}$  平均的次级环流. 显然,在方案  $D_1$  和方案  $W_1$  的情形(图5a),西南区的  $R$  较小而西北区的  $R$  较大(表3),由此热力差异所强迫的次级环流为一顺时针的垂直环流,它在西南区下沉,在西北区上升,减弱了涡区附近的上升运动而导致西南区降水减少,而西北区的降水增加,这反过来又促进该次级环流的进一步发展. 在方案  $D_{II}$  和方案  $W_{II}$  (图5b),西南区的  $R$  较大而西北区的  $R$  较小,因而所强迫的次级环流为一逆时针的垂直环流,它在西南区上升,在西北区下沉,由此增大了涡区的上升运动,因而西南区的降水增加,而西北区的降水减少,降水的这种南北分布反过来又加强了该次级环流. 西南区和西北区下垫面热力强迫差异所诱生的这种次级环流,无疑是造成这两区短期降水和环流反位相变化的主要物理原因. 这里需要指出的是:这种次级环流只在有利的大尺度背景条件下才能产生. 就本个例而言,由于西北区南部到西南区这一带高空是大尺度辐散气流,低空则有象高原低涡和西南低涡这样的中尺度对流系统活动,大

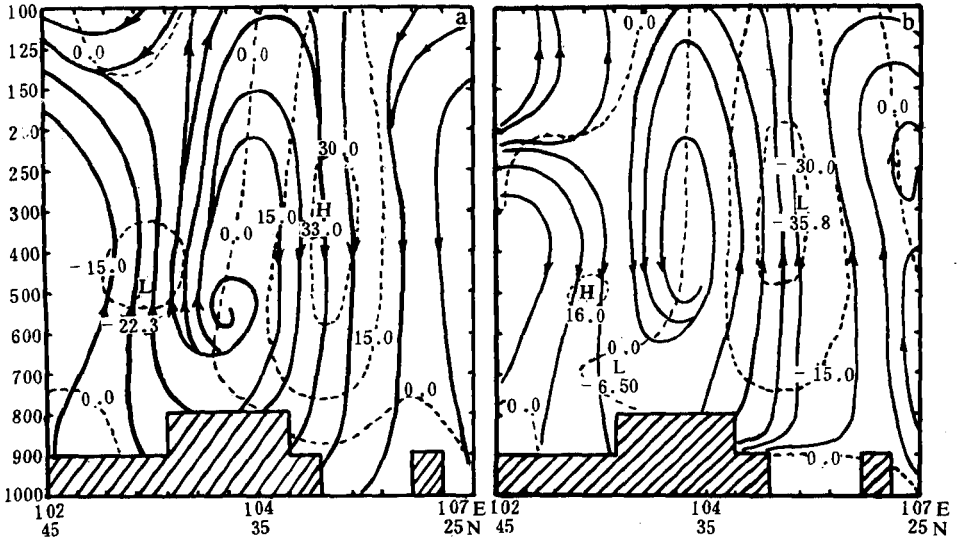


图5 48h 方案  $D_1$  和方案  $W_1$  (a)、方案  $D_1$  和方案  $W_1$  (b) 平均的热力强迫的局地次级环流沿剖向(102°E, 45°N)至(107°E, 25°N)的垂直剖面  
(虚线为垂直速度(放大 5000 倍, 间隔: 15hPa/s), 阴影部分为相应的地形廓线)

气明显的处于强烈不稳定状态;在这样的环境条件下,一旦这两区的土壤湿度出现较大的差异,就会导致其地表吸收的太阳能及该太阳能转化为感热通量、潜热通量和土壤热通量的方式出现明显的差异,从而因南北向热力强迫的不均匀而诱发局地次级环流的产生.至于西南区和华北区以及西北区和华北区,其短期降水的变化呈现较弱的正相关性(表略),说明这些地区之间并没有因下垫面的变化而诱生出次级环流,其降水的正相关性主要是由于大尺度平流所致.

#### 4 大区域和局地区域下垫面特征的变化对该局地区域短期降水的影响差异

文献[1]较详细地讨论了大区域(定义为模式的预报区域,水平范围由 6.563°N—62.813°N, 62.813°E—119.063°E)下垫面设为沙漠(简称方案  $D$ , 其初始土壤含水量取 1cm, 地表反射率为 0.38)和水面(简称方案  $W$ , 其初始土壤含水量取 10cm, 地表反射率为 0.04)后,对各局地区域短期天气过程的影响.比较本文的研究,人们自然会提出这样一个问题:大区域和局地区域下垫面特征的相同变化对该局地区域短期降水的影响差异何在?本节对此作初步探讨.

表 4 给出了西南区和西北区各方案每 6h 降雨量的区域平均值随时间的演变.分析发现:无论是哪个区域,在大多数时段里总是方案  $D_J$  ( $J = I, II$ ) 的降水小于方案  $D$  的降水,而方案  $W_J$  ( $J = I, II$ ) 的降水大于方案  $W$  的降水.这说明,在有利的大尺度环境条件下,局地区域下垫面特征的变化对该局地区域短期降水的影响要比大区域下垫面特征相同变化所致的影响要大.它证实了 Anthes<sup>[4]</sup>提出的观点,即“在半干旱地区播种宽度为 50—100km 的植被带,在有利的大尺度环境条件下能增强对流性降水,这样的降水增加可能比大面积均匀植被造成的降水增加还要大”.其发生的物理原因主要是由于局地区域

表4 西南区和西北区各方案每6h降雨量(mm)的区域平均值随时间的演变

		0—6h	6—12h	12—18h	18—24h	24—30h	30—36h	36—42h	42—48h
I (西南区)	$D_1$	1.36	1.77	4.56	8.02	6.07	7.64	10.79	10.26
	$D$	1.60	2.14	6.34	8.69	6.77	7.46	9.69	9.41
	$W_1$	1.59	2.30	9.42	14.66	10.52	9.40	13.38	17.02
	$W$	1.60	2.33	8.88	13.66	9.33	8.37	11.68	12.34
II (西北区)	$D_1$	0.49	0.57	1.40	1.31	1.46	1.43	1.96	1.95
	$D$	0.52	0.63	1.75	2.17	1.92	1.40	1.56	1.82
	$W_1$	0.49	0.98	4.96	7.18	4.75	3.41	5.67	5.93
	$W$	0.52	0.98	4.36	5.43	4.12	3.84	5.60	7.76

下垫面特征的变化,导致热力强迫的局地次级环流(图5),该次级环流既可通过其回流将干燥土壤蒸发的水汽带到潮湿土壤上空,又能将潮湿土壤上方的水汽抬升到其凝结高度,使该地区的对流云增加、对流性降水增大;这反过来又影响了地表蒸发,并以正反馈的形式增强了土壤湿度不均匀分布的热力效应,由此增强自身影响,且通过潮湿土壤上空低层湿静力能的增大而将环境改变成对湿对流更为有利的状态;另一方面,次级环流的存在有利于局地水循环,即其可导致径流减小和与蒸发增大有关的大气水汽的增多。据上分析可初步认为:不同尺度的陆面特征变化对短期降水影响差异主要是由次级环流、大气低层湿静力能和与地表蒸发有关的大气水汽含量等三要素的变化所决定。

## 5 结 论

(1)局地区域下垫面特征的变化对该局区域及其邻域短期降水、次天气尺度环流的强度和位置的影响是明显的。其对自身的影响,主要是通过改变地气系统的能量交换方式和在有利的大尺度环境条件下非均匀地表热力强迫的次级环流来实现;而对邻域的影响,则主要是通过次级环流和大尺度平流过程的作用来实现。

(2)当局地区域下垫面设为水面时,地表蒸发显著增大,在有利的大尺度环境条件下,降水(主要是对流性降水)随之大大增强,并有明显的持续性。其中,下垫面设为湿(水)面和干地面(沙漠)的区域平均6h降雨量之比在西南区可达2.07,在西北区则为5.45。这说明,为提高短期降水预报的准确率,很有必要将土壤含水量纳入大气运动模式并对其进行预报。

(3)当西南区或西北区下垫面分别设为沙漠和水面时,两区的降雨量呈现较明显的反位相变化;这主要是由于这两区的土壤湿度不均匀分布的热力效应所诱生的次级环流的影响所致。该次级环流的性质类似于海陆风环流,非均匀地表的热力强迫差异是其产生的主要机制。

(4)在有利的大尺度环境条件下,局地区域下垫面特征的变化对该局区域短期降水的影响,总的说来要比大区域下垫面特征相同变化所致的影响要大,而非均匀地表热力强迫的次级环流则是造成差异的主要物理原因。

最后应该指出,本研究仅用一个个例进行分析,得出的这些结论是否具有普遍性,有待今后用更多的个例进行研究来加以证实。



## 参 考 文 献

- 1 杜华武, 颜宏. 下垫面特征对一次短期天气过程影响的数值试验(Ⅰ): 大区域下垫面特征的变化对局地区域短期降水和环流的影响. *应用气象学报*, 1993, 4(2): 129—137.
- 2 颜宏, 魏丽, 陈玉春等. 地表反照率和土壤含水量的综合估算及其在地面加热场计算中的影响. *高原气象*, 1987, 6(2): 255—264.
- 3 Walker J., Rowntree P. R. The effect of soil moisture on circulation and rainfall in a tropical model. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 1977, 103(435): 29—46.
- 4 Anthes R. A. Enhancement of convective precipitation by mesoscale variation in vegetative covering in semiarid regions. *J. Clim. Appl. Meteor.*, 1984, 23(4): 541—554.

## A NUMERICAL EXPERIMENT OF THE INFLUENCE OF UNDERLYING SURFACE ON A SHORT-RANGE SYNOPTIC PROCESS ( I )

Du Huawu

*(Guangzhou Institute of Tropical Marine Meteorology, Guangzhou 510080)*

Yan Hong

*(State Meteorological Administration, Beijing 100081)*

## Abstract

The effect of variation in characteristics of underlying surface for a local region on the short-range precipitation and circulation over the region and its vicinity has been studied by using the same case and model as used in the paper<sup>[1]</sup>. Furthermore, its possible mechanism and the differences between the effect of variation in characteristics of underlying surface for a local region and that for a wide region are discussed, respectively.

**Key words:** Characteristics of underlying surface; Short-range synoptic process; Numerical experiment.