

文章编号: 1000-2022(2001)01-0019-07

# NIM 陆面过程模式的研究 : 青藏高原夏季陆面过程的数值模拟

邵海燕 陈万隆

(南京气象学院环境科学系, 南京 210044)

**摘要:**采用南京气象学院(NIM)5层陆面过程模式,利用1979年5~8月“青藏高原气象科学实验”资料模拟和分析了夏季青藏高原不同地区的陆面特征和地表能量特征。并将模拟值与根据观测资料计算得到的感热和潜热以及观测得到的净辐射、土壤温度、土壤热通量进行了对比。结果表明,NIM 5层陆面过程模式可以模拟青藏高原夏季不同下垫面情形下的能量交换过程。

**关键词:**NIM 5层陆面模式;青藏高原;陆面特征;数值模拟

**中图分类号:**P435 **文献标识码:**A

地球表面是大气系统唯一具有物理意义的界面,也是大气能量的主要输入面<sup>[1]</sup>。地球表面与大气之间的能量交换对气候、大气环流和生态环境等至关重要。如今人们已逐步认识到陆面过程在生物化学、气候、中尺度气象和天气预报等多方面的重要作用。

陆面过程作为大气边界层科学中的一项前沿科学问题,在地-气耦合模式中非常重要。Johnson等<sup>[2]</sup>曾特别强调了土壤湿度的重要性,Anthes<sup>[3]</sup>则特别强调了植被覆盖的重要性。兰红平和朱乾根发现,我国北方地区土壤湿度在饱和条件下,可对我国东西部短期气候有不同的影响。陈万隆和周锁铨<sup>[4]</sup>的研究表明,一定土壤湿度和植被条件相配合,能产生较大的气候效应。从业务应用看,在数值天气预报模式(NWPM)中耦合逼真的陆面过程(LSP)模式,至少可以提高强降水的模拟能力。Betts等在NWPM中采用改进的LSP参数化方案,大大地改进了发生在1993年夏季美国中西部大洪水的异常降水的数值模拟;陈万隆和周锁铨等<sup>[4]</sup>改进了颜宏等细网格嵌套模式的陆面过程,使两场西南涡暴雨强度的模拟得到了显著改进。Viterbo等对欧洲中期天气预报中心在1993年7月之前使用的LSP模式作了重大改进,新模式的计算结果与FIFE等的观测资料很一致,提高了陆地水文学的模拟和预报精度。由此可见,在区域大气模式中引入真实的陆面过程模式是改进区域大气数值模拟的重要途径之一。

自20世纪70年代以来,陆面过程模式受到高度重视和不断改进,它的研究进展<sup>[5]</sup>是迅速的,但也存在一些问题,如普适性的土壤模式还有待研究等等。作者在第一部分提出的NIM陆面过程模式<sup>[6]</sup>即针对这些问题初步研究了既适用于干旱、半干旱地区又适用于湿润地区的陆面过程模式。

青藏高原是一种特殊的下垫面,平均拔海高度在4 000 m以上,其特殊的地理位置及地形

基金项目:国家自然科学基金资助项目(课题编号:49375248)

收稿日期:2000-04-06;修订日期:2000-09-06

作者简介:邵海燕,女,1973年9月生,博士生

高度,使其在东亚夏季大气环流的形成及异常中起着相当重要的作用。其中高原地表热状况对东亚大气环流的作用十分显著,而植被、土壤湿度等是地表热状况的重要因子<sup>7,8)</sup>,因此迫切需要研究能够适用于青藏高原地区的陆面过程模式。由于夏季青藏高原西北部少雨而东南部多雨,所以西北部属于干旱地区,而东南部在夏季属于湿润地区。本文利用作者提出的 NIM 5 层陆面模式<sup>6)</sup>计算和分析了夏季青藏高原东部半干旱半湿润地区(拉萨)、西部干旱地区(狮泉河)和藏北高山草甸地区(那曲)以及戈壁沙漠地区(格尔木)的陆面过程特征,并阐明了它们的模拟效果。

## 1 模式简介

NIM 5 层陆面模式<sup>6)</sup>是作者在参考 Deardorff<sup>9)</sup>和 Sellers 等<sup>10)</sup>的陆面过程模式基础上,引用孙菽芬等<sup>11)</sup>的干燥土壤模式,谢贤群<sup>12)</sup>的空气动力学阻抗公式和 Pielke 等<sup>13)</sup>的气孔阻抗公式,建立的一个以有效比湿等为基础且具有普适性的陆面过程模式<sup>6,14)</sup>。

## 2 陆面过程的各种物理参数

### 2.1 资料来源

本文用 1979 年 5~8 月“青藏高原气象科学实验”中的拉萨(高寒禾草草原, 91°03' E, 29°40' N)、狮泉河(高寒荒漠草原, 80°05' E, 32°30' N)、那曲(藏北高山草甸, 92°03' E, 31°29' N)和格尔木(戈壁沙漠, 94°54' E, 36°25' N)4 站的资料作数值试验。选取离地面 2 m 高度上的大气参考层作为模式的上边界条件,包括大气的状态参量风( $u_a$ )、温( $T_a$ )、湿( $q_a$ )及由大气进入系统的量:短波辐射  $S$ 、长波向下辐射  $R_L$  和降水量  $P$ 。模式的下边界条件取 1.6 m 深度处的土壤温、湿度,以下各取其深度的气候平均值。在求解过程中积分步长取为 600 s。

### 2.2 参数说明

下垫面类型参数和土壤类型参数在文献[6]中已有说明。其中那曲站和格尔木站的土壤类型是沙土,而它们的下垫面类型与拉萨站和狮泉河站不同,分别为高山草甸和戈壁沙漠,因此本文仅给出这两站的下垫面类型参数说明。

表 1 下垫面类型参数

Table 1 Underlying surfaces and corresponding parameters

地区	植被覆盖率 $f$	反射率 $a$	辐射率	植被高度 $h$ /cm	粗糙度 $z_0$ /cm
格尔木	0.00	0.35	0.91	0	1.5
那曲	0.35	0.18	0.95	20	2.0

## 3 陆面过程模拟方案

为了说明 NIM 5 层陆面过程模式是否能模拟出青藏高原地区不同气候带的陆面过程特征,本文确立了两种试验方案。

(1) 分析模式模拟的净辐射、土壤热通量、感热通量、潜热通量、土壤各层温、湿度以及叶面温度的日变化特征,看其是否符合一般规律。

(2) 进一步将模拟结果与实测结果作比较以确定 NIM 5 层陆面模式的实用性。

## 4 陆面过程特征模拟

### 4.1 能量通量的日变化特征

图1是晴天净辐射( $R_{ng}$ )、感热通量( $H_a$ )、土壤热通量( $Q_s$ )和潜热通量( $LE_a$ )的日变化图。在湿润的拉萨地区,潜热通量在正午前后最大,它是热量平衡中的主要支出项。而在干燥的狮泉河地区,感热通量是热量平衡的主要支出项,一天之内地面蒸发非常小,仅在上午10点左右达到一较小的极大值,午后地面蒸发很小。这是由于土壤经过上午一段时间的蒸发,土壤上层干化,虽然此时湍流得到发展,但可供蒸发的水分却很少了。夜间由于稳定层结湍流很弱,潜热通量在这两个地区都很小。

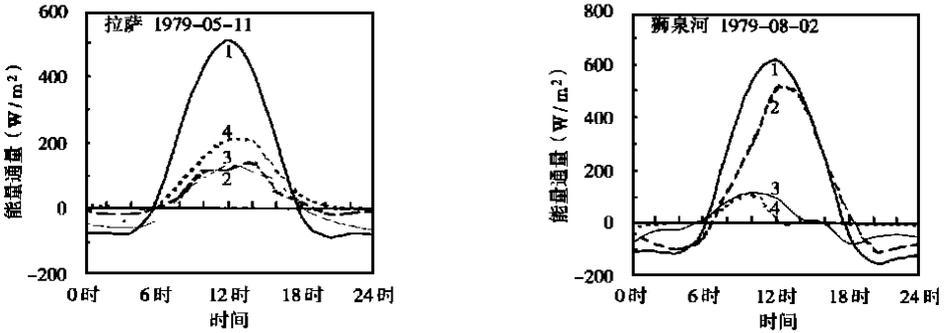


图1 各能量通量的日变化特征

1.  $R_{ng}$ ; 2.  $H_a$ ; 3.  $Q_s$ ; 4.  $LE_a$

Fig. 1 Diurnal variations of simulated energy fluxes

1.  $R_{ng}$ ; 2.  $H_a$ ; 3.  $Q_s$ ; 4.  $LE_a$

### 4.2 各层土壤温度的日变化特征

在土壤温度的日变化图中(图2),地表温度的日变化振幅远远大于下层土壤温度的日变化振幅,且最高温度和最低温度出现时间随深度增加向后推移。在80 cm 深度处的土温振幅已趋于零,故具有月变化、季节内变化以及季节性变化的深层土壤温度在一天之内均可视为恒定值,并在干旱地区和湿润地区都成立。有一点不同的是,干旱地区的土壤温度日变化比植被

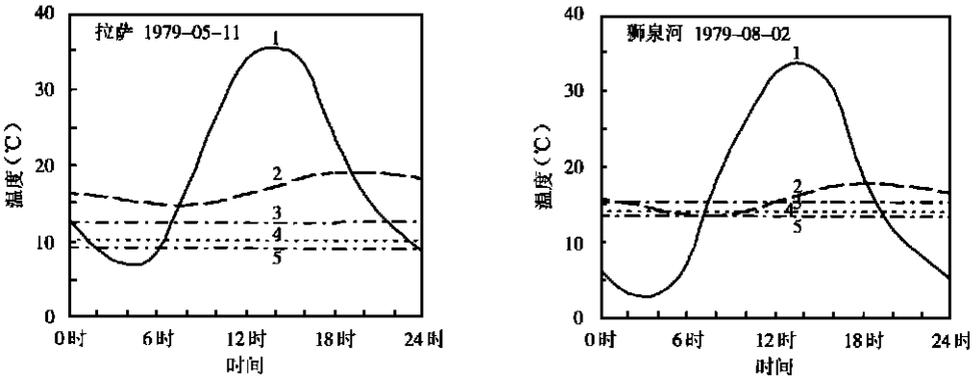


图2 各层土壤温度的日变化特征

1: 地表温度; 2: 20 cm 处温度; 3: 80 cm 处温度; 4: 160 cm 处温度; 5: 320 cm 处温度

Fig. 2 Diurnal variations of soil temperature in different depths

覆盖度高的湿润地区大,这也是由于干旱地区土壤含水量较低的缘故。

### 4.3 各层土壤湿度的日变化特征

图3给出了土壤湿度的日变化特征。可见,干旱地区的地表湿度日变化振幅较小,这是因为干旱地区的地表蒸发损失极小的缘故。湿润地区(拉萨)的地表湿度有明显的逐日减小趋势,而干旱地区(狮泉河)则不明显。这与湿润地区表层土壤水分每天有大量的蒸发损失,而干旱地区的蒸发损失却极小有关。图3还表明,下层土壤湿度没有24h的周期波动。20cm处土壤湿度有逐日减小趋势,其余深度土壤湿度日变化不明显。

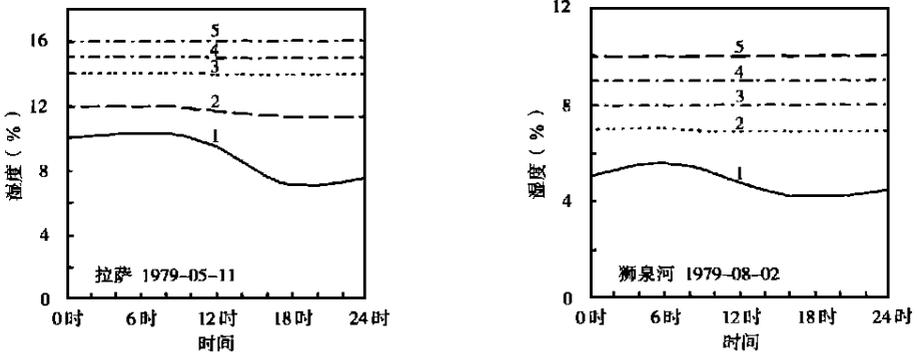


图3 各层土壤湿度的日变化特征

1: 地表湿度; 2: 20 cm 处湿度; 3: 80 cm 处湿度; 4: 150 cm 处湿度; 5: 230 cm 处湿度

Fig. 3 Diurnal variations of soil moisture in different depths

### 4.4 叶面温度的日变化特征

图4是模拟叶温与2m高度处气温的日变化特征。可见,叶温和气温的日变化趋势基本一致,在日出后1~2h,叶温逐渐高于气温,在日没前1~2h,叶温逐渐低于气温。这是由于日间随着大气蒸发力增强,作物在中午的气孔部分关闭,蒸腾速率减小造成叶温高于气温,而随着大气蒸发力的减弱,气孔充分开放,蒸腾速率增加,叶温逐渐低于气温。另外,在不同的地区,叶气温差也有差别,中午在狮泉河地区叶气温差高达20,而在拉萨地区则很小,只有3~4左右,说明干旱地区的叶气温差较大。这是因为在干燥地区,由于土壤含水量供应不足,中

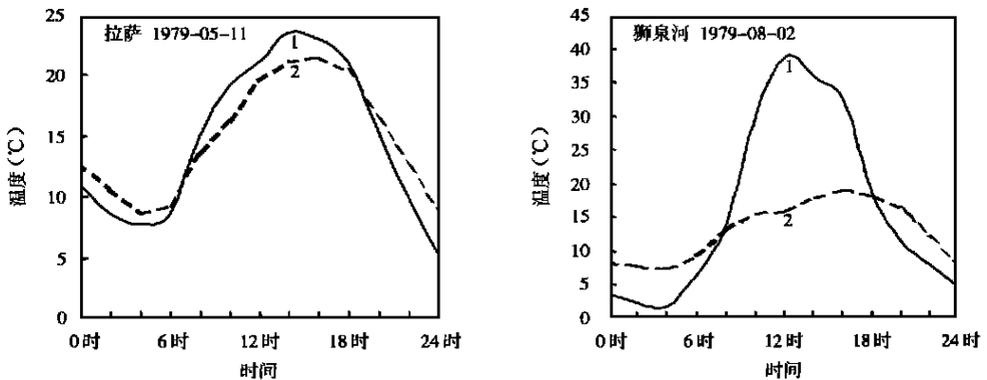


图4 模拟叶温与实测2m高度气温的日变化特征

1. 叶温; 2. 气温

Fig. 4 Diurnal variations of simulated leaf temperature and air temperature at 2 m over ground

午植物气孔基本关闭, 蒸腾作用很小, 叶片吸收的太阳辐射能转换成热能使叶温高于周围气温很多, 这是干旱地区的基本特点。因此在这里作物及易受旱。

以上模拟的各物理量的日变化特征比较符合实际情况, 与文献 [15, 16] 所描述的一致。

## 5 模拟值与实测值的比较

文献 [7] 已说明 NIM 陆面过程模式具有普适性, 为了使其能够作为区域大气模式和气候模式的真实下边界条件, 改进青藏高原地区的数值模拟和预报精度, 本文又增加了高山草甸(那曲)和戈壁沙漠(格尔木)地区的数值模拟情况。从而进一步验证了它的普适性。

### 5.1 地表温度的模拟值与实测值的比较

从那曲、格尔木、拉萨 3 站的地表温度模拟情况来看(图 5), 在有植被覆盖的那曲、拉萨站, 因地表温度的观测值是在裸地上进行的, 而其模拟值则考虑了植被的效应, 所以模拟的地表温度与地下 5 cm 处的实测土温进行比较是适宜的。由图可见, 利用 NIM 5 层陆面过程模式模拟的地表温度在日变化趋势上与实际情况较为一致。就数值吻合状况来看, 那曲、格尔木、拉萨 3 站的平均相对误差分别为 13.5%、10.3% 和 7.34%, 说明 NIM 5 层陆面过程模式的实用性还是比较强的, 它能够比较准确地模拟出青藏高原夏季不同地区的地表温度情况。

### 5.2 能量通量的模拟值与实测值的比较

将那曲站和格尔木站利用 NIM 5 层陆面过程模式模拟的净辐射( $R_{ng}$ )、土壤热通量( $Q_s$ )、感热通量( $H_a$ )和潜热通量( $LE_a$ )与相应的实测值作了比较(图 6)。这里感热通量和潜热通量的实测值实际是根据波文比-能量平衡法得到的计算值。

从图中可以看出, 此模式相当好地模拟了  $R_{ng}$ 、 $Q_s$ 、 $H_a$  和  $LE_a$  的日变化特征, 模拟值与实测值也较为一致。其他地区的类似模拟结果也很好(见文献 [7])。图 6 进一步证实了戈壁沙漠地区的感热通量一般均大于潜热通量, 潜热通量在一天之内都比较小; 而在藏北高山草甸地区的潜热通量一般都大于感热通量的事实。与前述不同的是,  $H_a$  和  $LE_a$  的日变化出现了双峰型, 在那曲站这种现象与净辐射的双峰型有关, 而在格尔木站  $LE_a$  的日变化之所以出现双峰型主要是因为下午 4 点以后, 虽然湍流在减弱, 但是空气相对湿度却有所回升, 因而形成了  $LE_a$  的第二个极大值。另一个不同点是那曲站在白天出现了  $H_a$  为负值的情况, 这是因为那曲站在 5 月 24 日前长时间下雨, 致使下垫面非常湿润, 近似于一个灌溉绿洲, 从而使近地层形成了逆温, 因此感热通量出现了向下输送的局面。

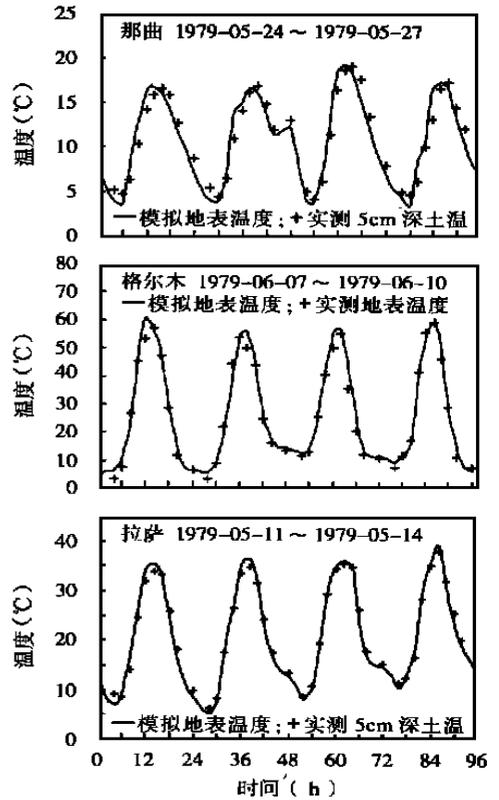


图 5 地表温度的模拟值与实测值

Fig. 5 Simulations and observations of surface temperature

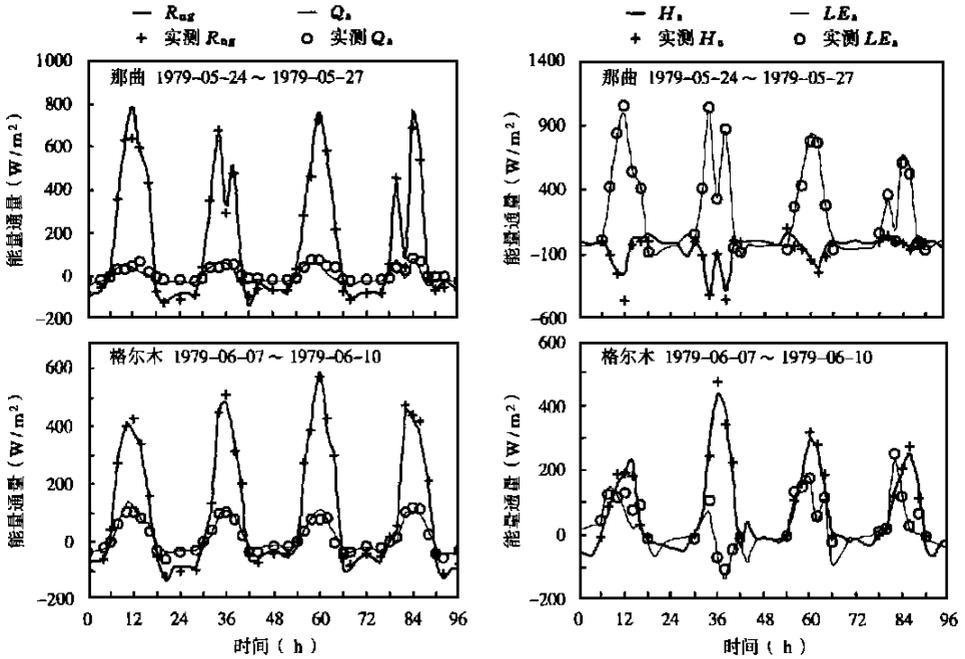


图 6 各通量项的模拟值与实测值

Fig. 6 Simulations and observations of energy fluxes

## 6 结 论

本文采用作者新发展的 NIM 5 层陆面模式, 模拟了夏季青藏高原地区干旱地带与湿润地带的陆面特征情况。经过验证得到以下主要结论。

(1) 日间, 干旱地区的感热通量是热量平衡的主要支出项, 而湿润地区以潜热通量作为热量平衡的主要支出项。

(2) 在干旱地区, 由于土壤含水量很低, 叶气温差较大, 甚至造成作物受旱。从这个模拟结果看, NIM 5 层陆面过程模式在干旱地区的模拟结果是合理的, 因此该模式可用在干旱地区。

(3) 干旱地区的地表温度日变化比植被覆盖度高的湿润地区大, 而地表湿度的日变化较小, 湿润地区的地表湿度有逐日减小趋势, 而干旱地区不明显。

(4) NIM 5 层陆面过程模式能够较为准确地模拟出夏季青藏高原地区不同下垫面条件下的陆面过程特征和地表能量特征, 因此可以将它发展为 3 维陆面模式后再与区域大气模式或气候模式进行耦合, 这样就为提高青藏高原地区的大气数值模拟和数值天气预报质量奠定了一定的基础。

## 参考文献:

- 1] Avissar R, Pielke R A. The impact of plant stomal control on mesoscale atmospheric circulations [J]. Agric For Meteorol, 1991, 54(4): 353 ~ 372
- 2] Johnson K D, Entekhabi D. The implementation and validation of improved land-surface hydrology in an atmospheric General Circulation Model [J]. J Clim, 1993, 6(6): 1009 ~ 1026
- 3] Anthes R A. Enhancement of convective precipitation by mesoscale variation in vegetation covering in semiarid Regions

J]. *J Clim Appl Meteor*, 1984, 23(4): 541 ~ 554

- 4] 王革丽, 陈万隆, 周锁铨. 植被和土壤湿度对西南低涡降水影响的敏感性实验 JJ. *高原气象*, 1997, 16(3): 244 ~ 249
- 5] 陈万隆, 孙卫国, 邵海燕. 试论区域大气模式系统中陆面过程的作用 JJ. *气象教育与科技*, 1998, 20(1): 1 ~ 4
- 6] 邵海燕, 陈万隆. NIM 陆面过程模式的研究. : 模式建立与对比研究 JJ. *南京气象学院学报*, 2000, 23(4): 485 ~ 493
- 7] 陈万隆, 王革丽, 周锁铨. 植被分布对青藏高原东侧暴雨过程影响的数值模拟 JJ. *高原气象*, 1997, 16(2): 165 ~ 173
- 8] 周锁铨, 陈万隆. 青藏高原植被下垫面对东亚大气环流影响的数值试验 JJ. *南京气象学院学报*, 1995, 18(4): 536 ~ 542
- 9] Deardorff J W. Efficient prediction of ground temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation JJ. *J Geophys Res*, 1978, 83(C4): 1889 ~ 1903
- 10] Sellers P J, Mintz Y, Sud Y C, et al. A simple biosphere model (SIB) for use within general circulation models JJ. *J Atmos Sci*, 1986, 43(6): 505 ~ 531
- 11] 孙菽芬, 牛国跃, 洪钟祥. 干旱及半干旱区土壤水热传输模式研究 JJ. *大气科学*, 1998, 22(1): 1 ~ 10
- 12] 谢贤群. 一个改进的计算麦田总蒸发量的能量平衡——空气动力学阻抗模式 JJ. *气象学报*, 1988, 46(1): 102 ~ 106
- 13] Pielke R A. 中尺度气象模拟 M]. 张杏珍, 等译. 北京: 气象出版社, 1984. 445
- 14] 陈万隆, 邵海燕. 一个新的植被参数化方案的研究 JJ. *农业生态研究*, 2000, 8(1): 67 ~ 72
- 15] 张 强, 赵 鸣. 干旱区绿洲与荒漠相互作用下陆面特征的数值模拟 JJ. *高原气象*, 1998, 17(4): 335 ~ 346
- 16] 傅抱璞, 翁笃鸣, 虞静明, 等. 小气候学 M]. 北京: 气象出版社, 1994. 72 ~ 81, 132 ~ 137

## A Study of NIM Land Surface Process Model Part : A Numerical Simulation of Land Surface Process over Qinghai-Tibet Plateau in Summer

SHAO Hai-yan, CHEN Wan-long

(Department of Environmental Science, NIM, Nanjing 210044)

**Abstract:** Using five-layer nanjing institute of meteorology land surface process model (NIMLSP) for data on meteorological scientific experiment over the Qinghai-Tibet Plateau from May to August in 1979, characteristics of land surface process and energy transport were both simulated for different regions over the plateau for summer season. Simulations of either sensible heat flux or latent heat flux were compared with its calculations from observed data and with measurements of net radiation, soil temperature and soil heat flux respectively. Results show that this model can be applicable to simulation of energy exchange for summer over various underlying surfaces in the Qinghai-Tibet Plateau.

**Keywords:** five-layer NIM land surface process model, Qinghai-Tibet Plateau, characteristics of land surface, numerical simulation