

文章编号 1001-8166(2001)06-0795-07

陆面水文过程研究综述

苏凤阁 郝振纯

(河海大学水资源开发利用国家专业实验室,江苏 南京 210098)

摘 要 在简单介绍陆面过程模式发展的基础上,从裸土蒸发、植被蒸散、土壤水传输、排水和径流等五个方面详细综述了陆面模式研究中对水文过程的参数化。目前陆面参数化方案中仍存在很大的不确定性,其中陆面水文过程参数化的关键问题包括:土壤分层、土层厚度、根带分布、参数的代表性和移植、观测资料、径流的参数化。分析了径流在陆面模式中的重要性,及目前陆面模式中对径流参数化存在的不足,介绍了部分陆面模式对径流的模拟研究,讨论了未来工作的研究重点。

关 键 词 陆面模式;陆面水文过程;径流;参数化

中图分类号: 文献标识码: A

陆面水文过程通过下垫面向大气输送水汽直接影响大气降水、大气温度和大气运动等天气、气候状况,同时天气、气候状况的变化也直接影响陆面水文过程,如大气增暖影响径流等水资源量的变化等。这些问题引起气象学者和水文学家更加关注大气模式中对陆面水文过程的处理。20 世纪 60 年代中期,地球物理流体力学实验室的研究者在全球环流模型 GCM 中加入陆面水文成分,从而使陆面水文过程成为气候模型中的研究重点之一。

1 陆面过程模式的发展

陆面过程应包含发生在陆面上所有的物理、化学、生物过程,以及这些过程与大气的关系。陆面过程涉及到生物圈、冰冻圈、水圈。气候研究者开展陆面过程研究的最终目的就是发展陆—气耦合模式,并利用它开展气候模拟和预测。

最早的陆面过程研究出现在 20 世纪 50 年代, Budyko 提出简单的陆面方案来参数化大气和陆面相互作用。60 年代末 GCM 出现以后,陆面过程作为模式中的一个分量来表达,以保证系统的能量和

水分守恒。陆面模式的发展经历了三个阶段。从 60 年代末到 70 年代,用空气动力学总体输送公式和几个均匀的陆地表面参数简单地处理土壤蒸发和地表径流,即 Bucket^[1] 模式。Bucket 模式是建立在水量平衡基础上的简单模式,它首次在 GCM 中引入陆地水文过程,几乎所有 GCMs 都遵循 Bucket 模式或类似地参数化陆面水文过程。80 年代以来 GCM 中陆面参数化的一大进展是显式地引入了植被作用,本质上它们都属于计算土壤—植被—大气间传输方案(SVATs, Soil Vegetation Atmospheric Transfer Schemes)。Dickinson 等^[2] 建立了一种充分考虑生物大气相互作用的,计算大气和植物覆盖的陆面间热量、质量和动量输送的模型,简称 BATS 模型(Biosphere-Atmosphere Transfer Schemes)。Sellers^[3] 也建立了一种简单生物模型 SiB (Simple Biosphere model)。这一类考虑植物作用的模型统称 SVATs。在过去的 10 年中陆面参数化方案发展迅速,改进和新的模型不断问世。从 90 年代以后,随着植物生理学和生态学研究的发展及卫星遥感技术的应用,新一代陆面模式中包括了植物进行光合作用的生物化

收稿日期:2001-05-21,修回日期:2001-08-08.

* 基金项目:国家自然科学基金重大项目“淮河流域能量与水循环试验和研究”(编号:49794030)、国家重点基础研究发展规划项目“我国生存环境演变和北方干旱化趋势研究”(编号:G199043400)资助.

作者简介:苏凤阁(1973-),女,新疆奎屯人,博士研究生,主要从事气候变化、大尺度水文模型、陆气耦合模型等研究.

E-mail:fgsu@yahoo.com

学模式。这类模式的代表有 LSM^[4]、SiB2^[5]和 AVIM^[6]。

陆面过程模式中物理过程的描述主要考虑了能量收支平衡和水分收支平衡。所有陆面模式描述的都是垂向一维陆气间水分和能量的交换过程,水平方向上假定是均匀的。对于陆面水分收支过程,降水一部分被植被叶面截流,一部分直接降落到地面。叶子截流的降水一部分用于蒸发,另一部分滴落到地面,与直接降落到地面的降水一起渗入土壤中或形成表面径流。土壤中的水和叶面上截流的水通过蒸发返回大气,植被的根系从土壤中抽吸水分再由叶面向大气蒸腾水汽。这样形成了一个大气、陆表水分循环圈。水分循环不仅决定了水的分布和平衡,还通过蒸发和降水过程,对能量的再分配起着决定性作用。

2 陆面模式中对水文过程的参数化

裸土蒸发、植被蒸散、土壤水传输、排水和径流决定了陆面过程中的水分收支,因此也是陆面水文过程所要描述的重要组成部分,不同的陆面模式对这些过程的参数化有很大的不同。

2.1 裸土蒸发

蒸发有可能蒸发和实际蒸发两种。陆面模式中对裸土蒸发的计算主要指实际蒸发,并假定实际蒸发与可能蒸发成一定的比例关系。在目前陆面模式中可能蒸发的计算主要有 3 种方法。大气动力阻抗法,主要根据空气的紊动扩散理论来探讨可能蒸发,其要点是梯度的存在导致了水汽交换。BATS、BEST、BUCKET、ISBA、LAPS、CLASS、PLACE、SSIB、SECHIBA2 等模式采用了此方法计算可能蒸发; Penman-Monteith 方程 Penman^[7] 结合热量平衡和空气动力学途径提出了确定可能蒸发的方法,1965 年 Monteith 在 Penman 公式中引入气孔阻抗(或表面阻抗),使得方程的应用扩展到有植被覆盖的表面。CSIRO9、BGC、VIC、CENTURY 等模式采用了该方法; Priestley-Taylor 方程^[8] 该方程是 Penman-Monteith 方程的简化。模式 BIOME2 采用了此方法。

当土壤处于非充分供水状态时,土壤实际蒸发的确定,在目前陆面模式中主要有 3 种方法: , 和 法。其数学表达式分别为:

$$E_g = \begin{cases} (q_{sat}(T_g) - q_a) / r_s & \text{方法} \\ E_p & \text{方法} \\ \min\{E_p, E_c\} & \text{方法} \end{cases} \quad (1)$$

式中 T_g 为地面温度, E_p 为可能蒸发; ρ_a 为空气密度; $q_{sat}(T_g)$ 为地面温度 T_g 时的空气饱和比湿; q_a 为空气比湿; r_s 为大气动力阻抗, E_c 是通过土壤表面的最大水分通量; f 为土壤湿度的经验函数,即用一个参数来反映可供蒸发的土壤含水量。方法又称供—求法,指蒸发先以可能蒸发 E_p 进行,当土壤含水量不再满足充分供水时,实际蒸发率由 E_c 确定。BATS、PLACE、BIOME 等陆模式采用了 方法, BUCKET、BEST、CSIRO、SECHIBA、VIC、CENTURY 等用了 方法,而 ISBA、SSIB、LAPS 和 CLASS 等用了 方法。各陆面模式蒸发方案的不同,主要反映在 f 、 r_s 和 E_c 的取值不同。

2.2 植被蒸散

大多数陆面模式在处理植被蒸散时都考虑了两部分:冠层叶面截流的蒸发和叶面蒸腾。林冠叶面可以截留储存一定比例的降水,并蒸发。湿润叶面上水分蒸发通量 E_w 表示为:

$$E_w = (q_{sat}(T_c) - q_a) / r_s \quad (2)$$

式中 T_c 是叶温, r_s 是叶丛表面边界层阻抗; f 是湿润叶面占整体叶丛的比例; $q_{sat}(T_c)$ 为叶面温度 T_c 时的饱和比湿。

蒸腾是指植物通过根系从土壤中吸收水分,经过茎、枝,最后由叶面向大气蒸腾水汽的过程,蒸腾只发生在干叶面上。大多数陆面模式在对蒸腾的参数化中都引入了冠层阻抗来反映植物对水汽传输的效率。有植被覆盖时,蒸腾的表达式为:

$$E_{tr} = (q_{sat}(T_c) - q_a) / (r_s + r_c) \quad (3)$$

式中 r_c 是总体气孔阻抗(或总体冠层阻抗),一般由单叶的气孔阻抗除以叶面指数而得到。气孔阻抗反映众多因素,如辐射、土壤水、水汽压差、空气温度等。各模式对气孔阻抗的具体表述有很大差异,但都反映了蒸腾和土壤含水量的关系。

2.3 土壤水模型

土壤水通过蓄水能力把降水分为蒸发和径流,影响着水量平衡各项分配,同时通过反射率和蒸发影响着太阳辐射转化为潜热和感热,进而影响能量平衡各项分配。因此土壤水在陆气间能量和水分交换的物理过程中起着重要作用,从而也成为陆面参数化中乃至全球变化研究的重点。根据土壤的分层,陆面模式中对土壤水的描述基本上分为 3 类:水桶型—一层方案,强迫—恢复型两层方案,扩散型多层方案。

2.3.1 水桶型—一层方案

对于土层厚为 d (通常取 1 m) 的一层土壤水量平衡方程式为:

$$w_d \frac{dw}{dt} = P_r - E - R - D_s \quad (4)$$

式中, w 是水的密度, w 是整个土层厚度的平均含水量, P_r 是降水, E 是蒸发, R 是径流, D_s 是排水。在一层土壤模型中蒸发和土壤水之间的反馈是单向的, 土层内部的水力扩散过程被忽略, 因此不能充分描述表层土壤蒸发和水分的动态变化。此外, 水桶模型中不显式处理冠层的蒸腾过程。

2.3.2 强迫—恢复型两层方案

强迫—恢复法中, 土壤共分为两层, 较薄的上层 d_1 和深层 d_2 。模型具体表达为:

$$\int_0^{w_1} \frac{dw_1}{dt} = C_1 \frac{P_r - E_d}{w_d1} - C_2 \frac{w_1 - w_{req}}{w_d1} \quad (5)$$

$$\int_0^{w_2} \frac{dw_2}{dt} = \frac{P_r - E_g - E_r}{w_d2} \quad (6)$$

以上两式中 w_1, w_2 分别为上层土壤和下层土壤的体积含水量, t 为时间, w_{req} 是重力和毛管力平衡时的土壤含水量, C_1, C_2 是系数, 强迫项 $(C_1(P_r - E_g) / w_d1)$ 描述了 w_1 对降水和蒸发的迅速反映, 恢复项 $(C_2(w_1 - w_{req}) / w_d1)$ 反映了深层土壤对水分的供应。模式 CSIRO9 和 ISBA 对土壤水的描述采用了强迫—恢复法。

2.3.3 扩散型多层方案

在多层扩散方案中, 通常用里查兹(Richards)方程来描述垂向一维土壤水运动, 土壤各层间的水汽通量服从 Darcy 定律:

$$\int_0^w \frac{dw}{dt} = \int_0^w [D(w) \frac{dw}{dz}] - \frac{dK(w)}{dw} \frac{dw}{dz} \quad (7)$$

式中, w 是土壤体积含水量, $D(w)$ 是水力扩散度, $K(w)$ 是水力传导度, z 代表土层的厚度, s 是源汇项, 包括蒸散发和横向径流。扩散方程的应用, 是假定土壤均质, 在求解方程时不可避免地要选择模型的分辨率, 也就是所分的土层数及土层厚度。大多数模式将土壤分为 3 层, 如 BATS、CLASS、LAPS 和 SSIB 等, PLACE 将土壤分为 5 层。水力扩散度 $D(\cdot)$ 和水力传导度 $K(\cdot)$ 都是土壤含水量的函数, 同时和土壤类型有关。

还有一些陆面模式如 VIC、BGC、BIOME2 和 CENTURY 等, 其土壤水模型并不完全符合以上 3 种方案。各模式间主要差别在于土层分法、排水、径流以及土层间水通量的处理, 对这些过程的具体描述, 哪种方案更好, 至今并未形成定论。

2.4 排水和径流

排水定义为最下层土壤在重力作用下的水通

量, 是土壤模型的下边界条件。模型假定, 在下边界处, 土壤含水量接近常数, 与重力排水相比, 向上的水汽扩散项可忽略。对于具有 N 层的土壤模型, 其最下层土壤的水力传导度为 K_N , 大多数模式都用一个小于 1 的常数或简单函数乘以 K_N 来参数化排水。BUCKET、SECHIBA2 和 BIOME2 等模式认为土壤底部为不透水层, 不考虑重力排水。还有一些模式, 如 VIC、SSIB 把重力排水和基流放在一起作为深层渗漏。

由于土壤分层不同, 土壤水模型亦有所不同, 各模式对径流的参数化也表现出很大的差异。从径流成分上来看, 一些模式除了排水以外, 只考虑表层径流, 如 BATS、CLASS 和 ISBA, 还有一些模式在每层土壤中都考虑侧向径流, 如 LAPS、PLACE、BEST、CSIRO、CENTURY 等。从产流机制上看, 几乎所有的模式都或多或少地包含了蓄满产流或超渗产流的概念。

用于 GCM 中的这些陆面参数化方案对水文过程的描述主要限制于地表与大气之间垂向水分和能量的交换, 具有详细的垂向分辨率及庞大的垂向解。但在横向尺度上却假定是均匀的, 即在一个 GCM 网格内认为土壤及植被特性参数不变。以上所提到的陆面模式在计算径流时, 都假定计算网格内在水平方向是均匀的, 然而许多研究已显示了地形、土壤特性的空间不均匀性对产流、土壤含水量及蒸发计算所产生的重要影响^[9]。

为了反映计算网格内由于土壤水空间分布的不均匀性所引起的产流不均匀性问题, 新安江模型的蓄水容量曲线的思想, 得到了广泛的引用, 如由新安江模型而来的 ARNO 模型^[10]。ARNO 模型中对土壤含水量及产流的计算方法, 不但广泛用于径流预报^[11], 而且用于克服 GCM 中对水文过程描述的不足, 成功地耦合于 Hamburg 气候模型中^[12]。

基于同样的考虑, Wood^[13] 提出了一层土壤变化的入渗能力模型 VIC (Variable Infiltration Capacity)。该模型吸取了新安江模型的蓄水容量曲线的思想, 考虑了网格系统内由于地形、土壤及植被的变化产生的入渗能力的变化, 网格的入渗能力用一个抛物线型函数描述。在以后的研究中, VIC 模型的产流思想又不断地被其它陆面参数化方案所引用, 以改善以往对产流方案的处理, 如法国的陆面模式 ISBA^[14], 以及德国的陆面模式 SEW AB^[15]。

3 陆面水文过程中的关键问题

国际合作项目陆面参数化方案比较计划

(PILPS) [16] 的总目标是改善气候预测模型中陆面模式的参数化过程,特别是对陆气间水文过程及能量过程的参数化。PILPS 计划于 1992 年开始,共分四个阶段,至今已开展了一系列的敏感性试验。PILPS2(a) [17]、PILPS2(b) [18]、PILPS2(c) [19] 阶段的研究结果表明,参加比较的各模式,得出的水能平衡模拟相差很大,特别是对土壤水、蒸发和径流的模拟,表现出更大的差异。PILPS2(b) 阶段用 13 个模式对径流、蒸发和土壤水的模拟结果进行了比较。PILPS2(c) 阶段,有 16 个模式参加比较,径流系数变幅为 0.02 ~ 0.41,实测径流系数为 0.15。PILPS 研究认为,各模式对水量平衡各分量模拟表现出的差异,与土壤分层、径流、排水、蒸发等具体过程的参数化有关,但并不能得出哪种模式更好的结论,同时也说明了目前陆面参数化方案中仍存在很大的不确定性。陆面水文过程参数化的关键问题包括:

3.1 土壤分层、土层厚度、根带分布

土壤的分层与土壤水以及径流的计算密切相关。关于陆面模式中所需的最佳土壤分层问题,至今仍无定论。但有一点是公认的,即靠近表面的土壤层应当细分,因为表层土壤受气象因素影响较大。土层厚度决定了土壤层所能持有的最大水量,对产流有影响。还有,既使在其它条件不变的情况下,土层厚度的改变会使扩散方程的求解结果表现很大差异。Liang [20] 在对 VIC 模型改进的研究中发现,改变土层厚度及根带在每一土层的分布,对整个土层(1.6 m)的土壤含水量有很大影响。因此,土层数、土层厚度及根带分布的敏感性研究,有利于陆面水文过程的合理参数化。

3.2 参数的代表性和移植

目前的 SVAT 模型含有大量的参数需要确定,如植被反照率、叶面指数、气孔阻抗、根带分布以及土壤特性有关的参数等。这些参数有可能在小尺度准确获得,却很难用于全球尺度。像 BATs 和 SB 这样复杂的生物模型,其参数的确定通常依赖于小尺度的微气象研究,点尺度或小尺度的参数是否可用于 GCM 网格是仍未解决的问题。用于水量平衡模拟的陆面模式,需要通过实测资料来率定一些经验以及半经验的参数。如何将资料丰富地区的参数信息移植到其它流域或计算网格是陆面模式实现对大尺度区域水量平衡模拟必需解决的问题。PILPS2(c) 的目标之一就是检验各陆面模式在小流域(100 ~ 1000 km²)率定的参数用于其它流域或计算网格的能力。

3.3 观测资料

尽管目前正在进行的一些科学试验和研究项目,如大陆尺度国际项目(GCIP)、亚马孙大尺度生物—大气试验(LBA)、波罗的海试验(BALTEx)以及亚洲季风试验(GAME)等,为陆面模式的发展、标定和改进提供了有力的支持,但它们往往集中于某一个或某些地区,没有全球资料。特别是缺乏完整、长系列、适合模型所需时空分辨率的资料。如多年的水文资料,包括径流量、地下水位、土壤湿度,是模型率定和检验的基础,至少一年的大气强迫资料,包括降水、气温、湿度、辐射、风速等,主要用于计算蒸发能力,以及详细的土壤资料和土地利用情况(如叶面指数、根系深度、土壤特性等)。截止目前,由于完整可信的观测资料的缺乏,仍然是限制陆面模式发展的一个重要原因。

3.4 径流的参数化

径流,可以说是陆面参数化过程中考虑最少的部分。最初这些 SVATs 作为 GCM 的下边界,主要用于描述大气与陆面之间能量的收支,有效地估计到达地面的辐射被划分为感热和潜热,而对径流作过分简单的考虑。在气候模式中径流处理为诊断变量,不参与模式中的水分循环。而径流在陆面水量平衡中占有举足轻重的地位,除了十分干旱的地区,径流系数一般都在 0.3 以上,径流计算的误差直接影响土壤蓄水的精度,从而影响蒸发以及陆面能量平衡的计算。大多数陆面模式中对径流的描述主要存在以下两点不足:简单地假定网格内的土壤植被等具有均匀的性质,没有考虑产流的不均匀性,如下渗能力的不均匀性和蓄水容量的不均匀性对产流的影响;没有考虑网格点内和网格点之间沿坡面和河网的汇流过程。

GCM 对全球水分循环中的大气收支基本合理,但模型通常略去通过河流进入海洋的淡水这一水分循环陆地分量的处理,从而全球的水分循环在大气与下垫面处被切断。为使全球水分循环闭合,必须恰当处理陆—气系统中的地表径流及深层径流。

陆面过程模式从简单的 Bucket 模型到复杂的 BATs、SB 等生物模型,这些参数化方案的主要目的是通过近地表的大气强迫(降水、气温、风速、辐射等)给出陆面水能平衡的现实描述。然而遗憾的是,用于验证 GCM 网格内描述水文循环的蒸发、土壤含水量、径流深等数据很难直接获取。在陆面水循环要素中,径流是最易测得的部分,在世界上许多大江大河上都有常规观测点。对月、季、年水量平衡的验

证,可通过对比流域总出口断面的实测径流和模拟径流(m^3/s),从而对 GCM 预测大尺度区域水量平衡进行检验。从这个目的上讲,有必要利用水文模型把每个 GCM 网格上模拟的径流深转化成流域出口断面的流量^[21]。

4 陆面过程模式对径流的模拟

从第一代陆面模式开始,GCM 就已经包含了降水、蒸发、入渗、径流等控制陆面—大气相互作用的陆面参数化方案。随着全球变化和气候预测研究以及 PILLPS 计划的深入,陆面水文过程,特别是陆面模式中对径流过程的模拟,得到气象界及水文界的进一步关注。

VIC-2L 作为 SVATs 的一种,最初发展该模型的目的是为了改善 GCM 中对陆面过程的描述^[22]。在许多研究中,该模型已作为大尺度水文模型分别用于美国的密西西比河(Mississippi)、哥伦比亚(Columbia)、阿青色—雷德河(Arkansas-Red)等流域以及德国的 Delaware 等大尺度区域径流模拟^[23-25]。

Schaake 等^[26]为了检验陆面过程模式 SWB 对水分收支的模拟,在模型中耦合汇流模型,以“离线”的方式运行模型模拟径流,并不计算能量收支。类似的研究还有德国的陆面模式 SEWAB^[27]。

Habets 等^[28,29]在陆面参数化方案 ISBA 中耦合 MODCOU 大尺度水文模型,用于法国西南部 Hapex-Mobilhy 区域,进行日径流和日蒸发以及年水量收支的模拟。模型以单向耦合的方式运行,大气强迫输入 ISBA 模型,每个网格上的地表径流及重力水再进入 MODCOU 水文模型,经过汇流至流域出口,没有对大气的反馈。此研究中,ISBA 对网格上的产流方案作了改进,引用了 VIC 模型的思想,考虑了网格上产流不均匀性问题。

改进陆面过程模式中对水文过程的描述,特别是通过实测径流过程对模型进行检验,在国际上已广有研究。但在国内,气候与水文工作者大都局限于各自的领域。气候工作者给出气候的可能变化,水文工作者就通过大尺度水文模型进行气候变化对水文水资源影响研究,真正气候模型与水文模型的耦合工作未见具体实施。根据目前陆面参数化方案对水文过程特别是径流过程描述的不足,以及目前水文界发展的大尺度水文模型对能量收支描述的不足,国内的水文气象工作者在国际合作项目 GAME 推动下,正积极地寻求一种区域尺度上陆面参数化

方案与大尺度水文模型的耦合方式,形成通用的陆面过程,既能准确模拟大尺度区域的陆面水文过程,又能和气候模型耦合。

5 与陆面模式耦合的水文模型研究要点

根据上述总结和分析,建立适合于陆面模式耦合的水文模型是解决 GCM 精度的关键,而建立这样的水文模型还需要进行大量的研究。

(1) 径流的形成机制是复杂的。50~60 年代大量产流机制实验证明,单纯的蓄满产流和超渗产流机制,在天然径流中是很少出现的。在超渗和蓄满产流两个极端产流机制之间,存在各种程度不同的复杂组合,决定于地形、土壤、地质、植被和气候条件。在水资源预测和陆气耦合研究中,必将遇到不同的气候带及不同的下垫面地区。陆面水文过程的参数化中应反映不同产流机制,加强蓄满和超渗两种产流机制兼容的混合产流模型及融雪径流的研究。

(2) 为了改善以往陆面模式对水文过程描述的不足,把水文学中的产汇流机制引入其中,陆面模式是水文模型和气候模型耦合的共同界面。在陆气耦合中,水文模型与气候模式在时间和空间尺度上存在差异。在空间上,水文模型的应用突破了原有的流域界限而扩大到与 GCM 相应的大尺度区域上。在时间上,气候模式的积分步长从几分钟到 1 小时不等,而水文模型的时间步长从小时到月不等。当取共同积分时段,如何在大尺度范围内率定水文模型中的产汇流参数,是一个难题,主要原因是在几百万到上百万平方公里的区域上难以获取率定模型参数所需的长系列短时段的降雨径流资料。研究资料的解集方法,如将月资料解集到日,日资料解集到小时,不失为解决大范围内资料缺乏问题的一种途径;也是解决水文模型与气候模式在时间和空间尺度上不相匹配的一种有效方法。

(3) 由于陆表覆盖(植被、土壤)具有高度的非均匀性,目前对土壤水、蒸散发等水文过程大尺度行为的描述还缺乏一种行之有效的方法。非均匀性问题、尺度问题、参数确定问题将是目前和今后的研究重点。

参考文献(References):

- [1] Manabe S, Climate and the ocean circulation. 1. The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface[J]. Mon Weather Rev, 1969, 97: 739-805.

- [2] Dickinson R E, Henderson Sellers A, Kennedy P J, et al. Biosphere Atmosphere Transfer scheme (BATS) for the NCAR community climate model [R]. NCAR/TN-275+STR, 1986.
- [3] Sellers P J, Mintz Y, Sud Y C, et al. A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models [J]. *J Am os Sci*, 1986, 43: 505-531.
- [4] Bonan G B. A Land Surface Model (LSM Version 1.0) for ecological, hydrological, and atmospheric studies: technical description and users guide [R]. NCAR Technical Note/TN-417+STR, 1996.
- [5] Colello G D, Grivet C, Sellers P J, et al. Modeling of energy, water and CO₂ flux in a temperate grassland ecosystem with SiB2: May-October 1987 [J]. *J Am Sci*, 1998, 55: 141-169.
- [6] Ji Junjun, XU Li. A simulation study of coupled feedback mechanism between physical and biogeochemical processes at the surface [J]. *J Am Sci*, 1999, 23(4): 329-448. [季劲钧, 余莉. 地表面物理过程与生物地球化学过程耦合反馈机理的模拟研究 [J]. *大气科学*, 1999, 23(4): 339-448.]
- [7] Penman H L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass [J]. *Proc R Soc, London, Ser A*, 1948(193): 120-145.
- [8] Priestley C H B, Taylor R J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters [J]. *Mon Weather Rev*, 1972, 100: 81-92.
- [9] Wood E F. Global scale hydrology: Advance in land surface modeling [R]. U.S. National Report to international union of geodesy and geophysics 1987-1990, 1991, 29: 193-201.
- [10] Franchini M, Pacciani M. Comparative analysis of several conceptual rainfall runoff models [J]. *J Hydrol*, 1991, 122: 161-219.
- [11] Todini E. The ARNO rainfall runoff model [J]. *J Hydrol*, 1996, 175: 339-382.
- [12] D'Amico L, Todini E. A rainfall runoff scheme for use in the Hamburg climate model [A]. In: Kane J P. *Advance in Theoretical Hydrology* [C]. New York: Elsevier science publishers, 1992: 129-157.
- [13] Wood E F, Lettenmaier D P, Zaitarian V G. A land surface hydrology parameterization with subgrid variability for general circulation models [J]. *J Geophys Res*, 1992, 97(D3): 2717-2728.
- [14] Nohlan J, Mahouf J F. The ISBA land surface parameterization scheme [J]. *Global and Planetary Change*, 1996, 13: 145-159.
- [15] Mengelkamp H T, Warrach K, Raschke E. SEWAB - a parameterization of the Surface and Water Balance for atmospheric and hydrologic models [J]. *Advances in Water Resources*, 1999, 23: 165-175.
- [16] Henderson Sellers A, Yang Z L, Dickinson R E. The project for intercomparison of land surface parameterization schemes [J]. *Bull Am Meteor Soc*, 1993, 74: 1335-1349.
- [17] Chen T H, Henderson Sellers, Milly P C D. Cabauw experimental results from the project for intercomparison of Land Surface Parameterization Schemes (PILPS) [J]. *J Climate*, 1997, 10: 1172-1193.
- [18] Shao Y, Henderson-Sellers A. Validation of soil moisture simulation in land surface parameterization schemes with HAPEX data [J]. *Global and Planetary Change*, 1996, 13: 11-46.
- [19] Lohmann D, Lettenmaier D P, Liang X, et al. The project for intercomparison of Land-surface Parameterization Schemes (PILPS) phase 2(c) Red-Arkansas River basin experiment: 3. Spatial and temporal analysis of water fluxes [J]. *Global and Planetary Change*, 1998, 19: 161-179.
- [20] Liang X, Wood E F, Lettenmaier D P. Surface soil moisture parameterization of the VIC-2L model: Evaluation and modification [J]. *Global and Planetary Change*, 1996, 13: 195-206.
- [21] Jolley T J, Weyer H S. The introduction of runoff routing into large scale hydrological models [J]. *Hydrol Proc*, 1997, 11: 1917-1926.
- [22] Liang X, Lettenmaier D P, Wood E F, et al. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models [J]. *J Geophys Res*, 1994, 99(D3): 14415-14428.
- [23] Lohmann D, Raschke E. Regional scale hydrology: Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model [J]. *Hydrol Sci J*, 1998, 43(1): 31-41.
- [24] Nijssen B, Lettenmaier D P. Streamflow simulation for continental-scale river basins [J]. *Water Resour Res*, 1997, 33(4): 711-724.
- [25] Abdulla F A, Lettenmaier D P, Wood E F, et al. Application of a macroscale hydrologic model to estimate the water balance of the Arkansas-Red river basin [J]. *J Geophys Res*, 1996, 101(D3): 7449-7459.
- [26] Mengelkamp H T, Warrach K, Suttmiller J. Hydrological processes in the land-surface scheme SEWAB linked to a horizontal routing scheme [A]. In: *Proceedings of Workshop on Flood Forecasting* [C]. Beijing, 2000: 15-18.
- [27] Habets F, Nohlan J, Golaz C, et al. The ISBA surface scheme in a macroscale hydrological model applied to the Hapex-Mobilhy area Part 1: Model and database [J]. *J Hydrol*, 1999, 217: 75-96.
- [28] Habets F, Nohlan J, Golaz C, et al. The ISBA surface scheme in a macroscale hydrological model applied to the Hapex-Mobilhy area Part 2: Simulation of stream flow and annual water budget [J]. *J Hydrol*, 1999, 217: 75-96.

REVIEW OF LAND - SURFACE HYDROLOGICAL PROCESSES PARAMETERIZATION

SU Feng-ge ,HAO Zhen-chun

(Water Resources Development & Utilization Laboratory , Hehai University , Nanjing 210098 ,China)

Abstract : As a branch of hydrologic cycle , land-surface hydrological processes are nearly relative to atmospheric circle by water and energy exchange between land-surface and atmosphere. Land-surface hydrological processes are not only the main participants in climate change but are effected by the change. The capacity of understanding and simulating the land-surface hydrological processes in climatic model is the premise to accurate climate prediction. The development of land-surface model is briefly introduced. The parameterization of land-surface hydrological processes is reviewed in overall from bare soil evaporation , plant evapotranspiration , soil wetness , drainage and runoff. There are still some uncertainties lying in the land-surface schemes. The main issues on hydrological processes parameterization include soil layers , soil layer depth , rooted area distribution ; the representation and transplantation of parameters ; observed data ; and parameterization of runoff. The importance of runoff in land-surface schemes is analyzed ; the weakness of runoff parameterization is pointed out ; the study of runoff simulation in land - surface model is introduced ; and the research focuses in the future are discussed.

Key words : Land-surface model ; Hydrological processes ; Runoff ; Parameterization.

標

突变气候动力学欧洲会议 ——利用古气候数据实现气候预测

突变气候动力学欧洲会议于2001年11月10-15日在意大利 Pascoli Castelvecchio 召开。

地球气候系统会在没有任何前兆的情况下从一种气候状态突变至另一种气候状态。人类有必要提高对这一过程的认识,以预见未来气候突变并做出相应的应对措施。本次会议将不仅包括对大冰期事件的思考,将主要关注温暖气候(间冰期)突变。古气候记录可以使人们清晰认识20世纪发生的气候突变事件仅是气候系统异常活动的一部分,异常气候很久以前就在发生,而且在未来仍将继续发生。本次会议的目的是总结目前的研究状况,指导针对突变气候动力学优先问题的研究活动。

详细信息可查询 <http://www.esf.org/euresco/01/1c01170a.htm>

(曲建升)