

·学科进展·

水文循环研究中亟待加强的薄弱环节

刘苏峡 莫兴国

(中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

[摘要] 通过对国际上近10年来开展的大型水文计划和国际会议动态的阐述,指出加强对蒸散发、地表以下水文过程、分布式水文模型、冰盖下的水文过程、苔原冻土水文过程及山区水文过程等水文循环研究中的薄弱环节的研究,为水文学发展开辟了新的前景,标志着水文学已经发展到一个新阶段。通过比较各国参加新近举办的第22届IUGG大会的情况,分析了我国与世界一些主要国家的水循环研究的异同。

[关键词] 水文循环,蒸散发,水文过程,水文模型

水文学研究的对象是陆地上的水文循环过程,包括降雨、蒸发、截留、填注、入渗、坡面与河道的汇流及地表以下的水分运动过程。20世纪的90年代在水文学发展历程上是一个不寻常的10年。在这10年里,国际教科文组织推出了国际水文计划的第五个阶段,其主题是“水文学和脆弱环境中的水资源开发”^[1]。国际水文科学协会在10年里前后召开的3次国际地球物理和大地测量(IUGG)大会上^[2-4],各国科学家讨论最多的议题,不是模拟出的流域出口断面的水文过程的精度,而是水文循环已有研究中一系列薄弱环节。1993年,国际地球生物圈计划(IGBP)专门列了一个名为BAHC(Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle),即水文循环中的生物圈方面的核心计划。专门研究已有水文研究中从未涉猎的植被如何与水循环中的物理过程发生相互作用。现在的BAHC正在进行综合集成(SYNTHESIS),其主题也被升华为“大气成分和土地覆盖的改变将怎样驱动生物圈过程的变化及其与全球和区域的气候、水文过程和水资源发生相互作用的机制?”^[5]”

水文界的这10年可以说是一个大力加强对水文循环研究中的薄弱环节的研究的10年。与已有的注重洪水预报精度研究的传统水文学相比,这10年的研究标志着水文学已经发展到一个新阶段。10年来取得的丰硕成果为水文学发展开辟了新的前景。

1 蒸散发

现有的流域水文模型计算流域蒸散发多是采用半经验公式^[6]。近10年来,土壤-植被-大气水分和能量传输模型(Soil-vegetation-atmosphere transfer, SVAT)的建立和发展为增强流域水文模拟的物理动力机制迈开了重要的一步^[7,8]。随着SVAT模型的进一步完善。例如,建立具有地气反馈机制的行星边界层-SVAT耦合模型、建立考虑碳循环(光合作用和呼吸)并能更好地模拟气孔导度的与动力植被模型耦合的SVAT模型及按照能量和物质通量确定生物群落的功能特性,水文循环中的蒸散发动力机制将会更加清楚。

将SVAT模型应用于流域有3种区域化方法。一是应用现存的用于点尺度的SVAT模型,其参数值采用所谓的“区域有效值”^[9]。第2种方法是将非均匀的区域划分为独立的相对较均匀的小区域^[10],不同的区域采用不同的参数,但用同样的大气输入,对每个区域分别计算水文循环通量后进行区域平均。第3种方法是统计法^[11]。将非均匀的地表看作一个统计总体。地表上任何一点的任何特征为服从于总体的统计个体,是随机变量,每一个特征的值为一个样本,从而水文循环通量的计算转化为求随机变量的统计矩。目前用得最多的是第1和第2种方法。刘春葵等人的研究不失为一个简单又具有

本文于2000年1月10日收到。

参考价值的区域研究的例子^[12]。莫兴国等人^[4]用所建立的 SVAT 模型——植被界面过程模型(VIP), 基于已有的大量的气象常规资料计算了中国区域尺度上的辐射、蒸发的经纬度分布特征, 并用中国的 102 个站点的实测土壤水分资料对模型进行了验证。遥感信息是将点的模型应用于流域和区域的重要数据支撑, 建立遥感和 SVAT 模型的友好界面是当前区域蒸散发研究的热点^[13]。

2 地表以下水文过程

土壤水分是地表系统的最重要的蓄水库之一。在已有的水文研究中, 土壤水分一直是薄弱环节。水文循环过程的大多数环节都直接与土壤水分有关。目前许多降雨径流模型只把土壤水分看作计算的中间变量, 只有一些基于概念性水文模型的概念性土壤水分计算模型^[14], 还未有用实测的土壤水分资料来验证流域水文模型模拟结果的例子。

实测土壤水分都是从实测点上得到, 如何得到流域上实际的土壤水分情况也是目前研究所面临的挑战。一个办法是用遥感手段反演区域土壤水分^[15,16]。但结果仍不可靠。所以实测大范围内的土壤水分资料显得特别重要。在世界范围内, 目前只有一小部分这样的数值化了的实测土壤水分资料^[17]。

重视根系吸水、供水函数、最大根长和根分布的研究是近年来地表以下水文过程研究的最新动向。数值气候模式的研究表明^[18], 夏天更干以及随之而来的地表水分平衡的变化与土壤的可能持蓄水量的变化高度相关。而土壤的蓄水量又与植物根长和根密度紧密相关。

3 分布式水文模型

流域水文模型发展至今数量极为可观, 世界气象组织率先开展了流域水文模型间的比较工作^[15]。通过对半干旱流域^[20]、较大流域^[21]以及我国流域^[22]进行集总式和分布式水文模型比较, 共同结论是分布式模型在不进行参数率定的前提下优于集总式模型。这使得分布式模型在应用于无资料地区、与大气模式结合、陆面参数化过程及变化环境下的流域水文模拟方面有更大的发展前景。

一般说来, 基于物理机理的模型都是分布式水文模型, 因为其所含的物理方程一般都包括至少一维的空间坐标。换句话说, 分布式水文模型首先需包含用数学语言描述的方程, 方程求解常依赖于数

值解。这样的模型最著名的是丹麦、法国和英国联合建立的 SHE 模型^[23]、IHDM 模型^[24]、瑞典的 HBV 模型和 ANSWERS 模型^[25]。当用水流数学方程去描述水文过程比较困难时, 许多水文模型常用概化语言, 虽然不显含包含空间坐标的数学方程, 但用其他的手段去刻画空间变异性, 如英国的 TOPMODEL^[26]和国内的新安江模型^[6]。前者的思想是流域响应的分布本质可以用一个基于地形分析的指标来描述, 后者则用一个能反映流域蓄水容量分布的曲线来刻画分布特征。

在我国, 虽然已建立半分布式的新安江水文模型, 但如何加强其水循环动力学机制, 利用地理信息系统(GIS)^[27,28]和遥感信息^[29-32], 并用之于较大流域, 是目前分布式水文模型研究的关键。

4 其他薄弱环节

有关苔原带永冻层融化是该地区大气中甲烷增多的重要原因的新近发现, 导致人们对冻土土壤水文过程越来越关注。山区具有独特的高度梯度, 对环境变化尤其敏感。从小尺度—区域样带入手, 进行长系列观测。回答“什么是山区对全球变化的特殊影响和贡献, 如何消除其中的负面影响”的问题是山区水文学的热点。关于冰圈, 气候和温室气体的相互作用研究, 目前特别重视气候和冰雪分布与历时之间的反馈机制。强调大气与各种冰雪载体之间的温室气体的传输通量。另外, 冰盖下的河流水文研究, 是冰雪水文研究方面的一个空白。强调冰对河流及河流系统的理化生物过程的影响, 主要研究冰对水文极值(洪水和枯水)的影响以及气候变化如何改变这些极值。

5 从 IUGG99 具体看我国和一些主要国家水文研究的基本情况^[4]

国际上著名的 4 年一次的系列大会——第 22 届国际大地测量与地球物理(IUGG99)大会于 1999 年 7 月 18—30 日在英国伯明翰大学召开。从大会提交的论文情况看, 美国是水文研究的大国。但主要兴趣在冰雪水文, 示踪计、遥感和水文测验新技术的集成及其在流域水文中的应用, 全球数据库和水文和大气地表模式参数化。日本强项在示踪计、遥感和水文测验新技术的集成及其在流域水文中的应用和水文极值研究上。印度在水文极值和城市化的扩大对地表和地下水质的影响方面研究阵容强大。英国的研究工作集中于水文极值, 土地利用变化对

来自面源的氮负荷的影响和城市化的扩大对地表和地下水质的影响,但冰盖河流水文是研究弱项。加拿大由于其特殊的地理位置在冰雪水文和水文极值研究方面阵容超过美国。德国的水文研究很有实力,除冰雪水文是其研究空白外,在其他领域皆有涉猎,在水文极值、土地利用变化对来自面源的氮负荷的影响、示踪计、遥感和水文测验新技术的集成及其在流域水文中的应用、城市化的扩大对地表和地下水质的影响和生态水文学:河流对水文系统泥沙输送及营养负荷的变化的生态响应研究方面均有相当和超过美国的研究阵容。澳大利亚集中于研究水文和大气地表模式参数化。非洲国家主要涉猎水文极值、城市化的扩大对地表和地下水质的影响和生态水文学:河流对水文系统泥沙输送及营养负荷的变化的生态响应等研究领域。

总体而言,我国水文研究在大多数研究领域,离国际研究前沿还有较大差距。我国提交到冰雪水文的论文最多,但仅限于冰雪和气候的相互作用领域,对新兴的冰盖河流的水文学还少有涉猎。在水文极值、生态水文学、大气地表模式的参数的区域化和区域水分通量方面都有研究,但还未大规模开展。

致谢 对国家自然科学基金委员会,国际水文学科学协会给予作者研究工作的持续支持表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- [1] Waterway. 国际水文计划信息,联合国教科文组织,1997,10.
- [2] 刘昌明,刘苏峡. 大气、土壤、植被界面间的水文联系. 见:叶笃正主编. 地球科学:进展、趋势、发展战略研究. 北京:气象出版社. 1992,365—371.
- [3] 刘苏峡. 90年代水文学研究的进展和趋势. 水科学进展, 1997, 8(4):365—369.
- [4] IUGG99 Birmingham (International Union of Geodesy and Geophysics, July 19 to July 24, 1999) abstracts A&B. 1999,273—290.
- [5] BAHC NEWS, Number 6, December 1998. BAHC IPO, Potsdam Institute for Climate Impact Research. P. O. Box 6012.
- [6] 赵人俊. 流域水文模拟—新安江模型与陕北模型. 北京:水电出版社. 1984.
- [7] Wigmosat M S, Vail L W, Lettenmaier D P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. Water Resources Research, 1994, 30(6):1 665—1 679.
- [8] Tallaksen L, Erichsen B. Modeling low flow response to evapotranspiration, FRIEND: Flow Regimes from International Experimental and Network Data (Proceedings of the Braunschweig Conference, October, 1993). 1994, IAHS Publ. No. 221:95—102.
- [9] Noilhan J, Lacarrere P. GCM grid-scale evaporation from meso-scale modelling. J. Climate, 1995, 8(2), 206—223.
- [10] Avissar R, Pielke R A. A parameterization of heterogeneous land surfaces for atmospheric numerical models and its impact on regional meteorology. Mon. Wea. Rev. 1989, 117: 2 113—2 136.
- [11] Gusev Ye M. Dynamics-stochastic simulation of hydrological processes. Meteorological Hydrology, 1982, 8: 58—63.
- [12] 刘春霖,程斌,程兴无等. 用 BATS 模型模拟径流的个例研究. 水文, 1998, 1:8—13.
- [13] 莫兴国. 区域蒸发综述. 水科学进展, 1996, 7(2):180—185.
- [14] 蒋洪庚,夏自强,陈海芳等. 概念兴土壤墒情模型在霍泉灌区的应用研究. 水文, 1999, 6:12—16.
- [15] Biftu G F, Gan T Y. Retrieving near-surface soil moisture from RADARSAT SAR data. Water Resources Research, 1999, 35(5): 1 569—1 580.
- [16] Famiglietti J S et al. Ground-based investigation of soil moisture variability with remote sensing for prints during the Southern Great Plain. 1997(SC97). Hydrology Experiments, 1999, 35(6): 1 839—1 852.
- [17] Robock A et al. Validation of humidity, moisture fluxes and soil moisture in GCMs. Report of AMIP Diagnostic Subproject 11: Part 1—soil moisture. Proceedings in the First AMIP Science Conference, WCRP, WMO/TD-No. 732 (Gates WL ed) World Climate Research Programmes, Geneva. 1995: 85—90.
- [18] Milly PCD. Sensitivity of greenhouse summer dryness to changes in plant rooting characteristics. Geograph Research Letters, 1997, 24(3):267—271.
- [19] World Meteorological Organization (WMO). Simulated real-time inter-comparison of hydrological models, WMO Oper. Hydrol. 1992. Re. 38, WMO 779, Geneva.
- [20] Michaud J, Sorooshian S. Comparison of simple versus complex distributed runoff models on a midsized semiarid watershed. Water Resources Research, 1994, 30(3):593—605.
- [21] Refsgaard J C, Knudsen J. Operational validation and intercomparison of different types of hydrological models. Water Resources Research, 1996, 32(7):2 189—2 202.
- [22] 李琪. 全国预报竞赛中所用水文模型的分析与讨论. 水科学进展, 1998, 9(2):187—195.
- [23] Jonch-Claussen T. Systeme Hydrologique Europeen: short description. SHE Report 1: Danish Hydraulic Institute, Hosholm, Denmark. 1979.
- [24] Morris E M. Forecasting flood flows in grassy and forest basins using a deterministic distributed mathematical model. In: Hydrological Forecasting, IAHS publication No. 1980, 129:247—255.
- [25] Bouraoui F G et al. A distributed physical approach for surface-subsurface water transport modeling in agricultural watersheds. J. of Hydrology, 1997, 203: 79—92.
- [26] Beven K J, Kirkby M J. A physically-based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrol. Sci. Bull. 1979, 24(1):43—69.
- [27] 沈晓东,王腊春,谢顺平. 基于栅格数据的流域降雨径流模型. 地理学报, 1995, 50(3): 264—269.
- [28] 梁天刚,张胜雷,戴若兰等. 基于 GIS 栅格系统的集水农业地表产流模拟分析. 水利学报, 1998, 7:26—34.
- [29] 李纪人. 遥感和地理信息系统在分布式流域水文模型研制中的应用. 水文, 1997, 3:8—12.
- [30] 郭生练. 大尺度分布式水文模型发展概况和展望. 水资源研

究, 1997, 18(2): 32—36.

雨产流模型研究. 水文, 1999, 3: 19—24.

[31] 邓孺霭, 陈晓翔, 胡细凤等. 遥感和 GIS 支持下的平原河网区暴

[32] 黄平. 流域分布式模型的研究及应用进展. 水文, 1997, 5: 5—9.

THE WEAK LINK IN THE RESEARCH OF HYDROLOGICAL CYCLE

Liu Suxia Mo Xingguo

(Institute of Geography, CAS, Beijing 100101)

Abstract Such weak links as evapotranspiration, the below-ground hydrological processes, distributed hydrological model, the hydrological processes under stream ice-cover, the frozen soil hydrological processes in tundra and mountain hydrological processes in the research of hydrological cycle have been paid much attention to in last decade. It is guiding hydrological study to a new era. By comparing the worldwide status of the participation in the IUGG99, the gaps in hydrological research between China and overseas are shown in this paper.

Key words hydrological cycle, evapotranspiration, hydrological processes, hydrological model

·资料·信息·

自然科学进展论坛在京举办

由国家自然科学基金委员会主办的“2000年自然科学进展论坛”6月13日在北京军事医学科学院举办。本年度论坛的主题为“人类病毒性疾病”。论坛由国家自然科学基金委员会杂志部、生命科学部和国际合作局共同组织。会议得到了中国预防医学科学院和军事医学科学院的大力支持。

举办自然科学进展论坛的目的是促进中国科学家与世界著名科学家就同一领域、同一主题进行交流研讨;使世界科学界进一步了解中国,使中国科学界了解世界;推动中国科学家,特别是年轻科学家在高层次上瞄准当前的科学前沿进行创新;充分展示自然科学基金成果,推动中国诸如《自然科学进展》等科学期刊走向世界。

论坛由国家自然科学基金委员会副主任朱作言院士主持,国家自然科学基金委员会主任陈佳洱院士出席开幕式并发表了讲话。《自然科学进展》杂志主编师昌绪院士也作了发言,他希望认真总结这次论坛的经验,以后每年一次,把论坛办得更好;同时他热切希望参加论坛的科学家和科技工作者更多地支持《自然科学进展》和中国科技期刊事业的发展。

1976年诺贝尔生理学 and 医学奖得主、美国科学家 Carleton D. Gajdusek 博士作了“亚太地区高发的中

枢神经系统疾病的几个待解决问题”的发言。中国预防医学科学院洪涛院士作了“春华秋实—从蛋白质感染颗粒展望新世纪的挑战”的报告。此外,来自中国预防医学科学院、北京友谊医院、军事医学科学院、上海医科大学、第四军医大学和解放军军需大学等单位的董小平教授、王得新教授、王升启教授、熊思东教授、徐志凯教授、曹韵贞教授和金宁一教授等结合各自的研究课题作了学术报告。他们的报告受到来自全国各地 30 多个单位的 200 多名科学家的热烈欢迎,并引起了广泛的兴趣和深入的讨论。与会人士普遍认为,此次论坛的特点是:报告人学术水平高,报告内容突出了学科研究的前沿性、进展性和导向性,听后给人以很大启发,有利与会者拓展自己的研究活动。

大家希望今后经常举办这类论坛,通过这种系列论坛有助于推动我国科学家与世界科学家的交往,推动我国科学家特别是年轻科学家尽快在世界科学前沿做出有重大突破的学术成果,实现我国科学研究的新的跨越。

(杂志部 吴国政 供稿)