

90年代水文学研究的进展和趋势^{*}

刘苏峡 刘昌明

(中国科学院地理研究所水文研究室 北京 100101)

摘 要 从国际水文科学协会 (IAHS) 在第21届国际地球物理与大地测量 (IUGG) 大会的动态, 展示90年代以来水文学研究中几个值得注意的进展和趋势。土壤水分和地下水质的监测正在和已经引起广泛注意。地表-大气交换过程研究的兴起将有助于对降雨-径流过程中间过程的研究。藉助于其他学科的参与, 水文模型在为气候模式等提供参数的同时, 也充实了自身。但水文模型本身还没有明显突破。尺度问题、水资源可持续性利用、不确定性和可预见性仍然是水文学研究的重点。

关键词 水文学 研究 进展 趋势

分类号 P33

90年代的水文学已不再局限于防洪和除涝。那些曾被忽视或者说被视为拦路虎的研究领域现在已愈来愈受到重视。在第21届国际地球物理与大地测量 (IUGG) 大会上, 国际水文科学协会 (IAHS) 除了对尺度、地下水质、水文数学模型、人类活动影响、可持续性和冰雪水文等六大问题进行了专题讨论外, 还与其他协会一起对土壤水分、蒸发和冰雪覆盖的遥测、山区的水文循环、地表水文气象过程及关键过程的集总与参数化和水平衡中的动态监测进行了联合探讨。诸如水文学中的空间信息系统、可预见性与不确定性、全球变化的挑战、流域综合管理和水文监测中的质量保证也是大会热门话题。特别是与大气科学协会联合举办的一个分会, 内容包括地表参数化方案间的比较计划 (PILPS) 的地表过程模式的进展; 云、对流和大尺度过程; 地表观测和地形问题; 土壤-植被-大气传输 (SVAT) 模型; 用地表观测资料验证模式和国际卫星云气候计划 (ISCCP) 的研究。该联合会的规模之大及范围之广反映出当前的科学研究逐步走向大综合的主导趋势。面对今后25年内地球物理与环境面临的主要挑战, 水文学者需要认清目前的研究进展和趋势。

1 水文监测

90年代水文学对地下水质、蒸发、冰雪覆盖及水平衡的动态监测, 尤其是土壤水分的监测给与了特别重视。

在地下水质监测中^[1], Krige 方法是确定地下水质恶化区的有效工具。运用热与溶质传输机制的可类比性, 根据温度的时间变化可确定地下水的环境容量。而类似流域蓄水容量分布曲

^{*} 本文于1995年12月22日收到, 1996年7月15日收到修改稿。

^{*} 国家自然科学基金资助项目。

线的污染物容量分布曲线可用来分析浅层地下水质。用多目标统计优化方法布设监测点是监测具有三维空间变异的地下水污染的好办法。随着地下水质的不断恶化,监测地下水水质愈来愈重要。引进新方法是解决复杂的地下水水质监测的出路之一。

土壤水分一直是水文测验中的弱项。在全球土壤水分数据库中目前已经数值化了的资料是前苏联^[2]和美国 Illinois^[3] 资料。以10d为间隔的11个深度层次的中国102个站1981年~1991年的土壤水分数据库^[4], 是对实测土壤水分数据库的重要补充。土壤水分对水文研究非常重要, 它不仅支配降水如何被分配为径流和下渗, 还决定入射辐射如何分配给显热和潜热, 其时空分布可用来判断流域的水文活动区。由于实测耗资耗力, 微波测土壤水分很有潜力, 许多影响微波测量的物理参数都与土壤水分有关。一般说来, 用遥感手段比较容易探知某个点土层总的土壤水分状况及其水平空间分布, 而后者正是常规测量技术所很难揭示的。不过遥感手段不容易测出土壤水分随深度变化。一个办法是选择一个典型的土壤水分垂直结构, 然后用特征指数进行面上的标定。用热红外和雷达可测出区域尺度上的蒸发和土壤水分, 这有助于完善包括这些变量在内的水文模型, 从而可更好地模拟土壤和大气的水热交换, 进行流域水文模拟。当然如何使遥感手段得到广泛应用还需要许多知识。在以水分为限制因素的环境下, 植被正交指数NDVI为土壤水分的良好指示因子, 能充分表示蒸发的大小。1994年, 全球能量和水循环实验(GEWEX)的国际卫星地表气候计划(ISLSCP)及其数值实验专家小组(G-NEP)召开了一个全球土壤湿度的研究会, 拟建立一套为GCMs模型运用的全球土壤湿度数据库。这个计划得到GEWEX其他计划和IGBP中的BAHC计划的支持。就已进行的比较研究看来, 目前还没有具有详尽的地表参数和准确的大气驱动程序的土壤水分模拟方案。土壤水分的预测具有不确定性。所以在土壤水分问题得到解决以前, 使用与土壤水分和蒸发关系密切的诸如“植被耦合”和“碳平衡”等模式时要务必十分小心^[5]。土壤水分, 特别是实测土壤水分正在和已经引起学术界的广泛重视。对水文学而言, 目前正是藉此充实和发展学科自身的好时机。

人们正在探讨如何利用航测和空间观测资料估计蒸散发, 并与EFEDA(西班牙)、HAPEX-SAHEL(尼日尔)和HEIFE(中国)实测资料进行对比, 用蒸散发空间分布图计算与观测资料分辨率有关的空间相关长度。用航测手段测冰雪覆盖的研究区域多在阿尔卑斯山地区^[6]。累积长的资料系列和利用雷达等先进空间技术是动态监测水平衡的途径。地理信息系统(GIS)技术对水文测验的作用日益明显, 有人甚至利用GIS导出单位线进行洪水模拟, GIS在冰雪和面源污染方面^[7,8]也有应用。

2 水文过程

自然界的水分在大气、地表、土壤、承压层及植物之间流通, 形成诸如降水、径流和蒸发等水文过程。人类活动影响正在引起水文过程的变化。

90年代降水过程的研究侧重于趋势分析。研究发现近30年降水的陡增与反照率、地表粗糙度、土地利用以及干旱区的沙漠化存在协同作用, 无明显的绝对因果关系。有人根据40年东亚的夏季降水资料分析得出, 自1965年以来, 东亚夏季降水呈明显的十年变化趋势。华北夏季降水明显减小, 呈10年干旱的趋势。而自1970年以来江淮的夏季季风降水则明显增大, 连续发生洪涝, 这种变化趋势与太平洋暖池(warm pool)的热力状况有关。用Cola的GCM和SSiB研

究 Sahel 和内蒙古大草原沙漠化对区域气候的影响, 所模拟的中国降水也是北方和南方有减小趋势, 而中部有增加趋势。青藏高原的气候对中国夏季降水有明显影响, 这种影响与高原势能效应有关。

已经有人用模型 (如 INONDABILITE 模型^[9]) 研究有人类活动影响的流域的径流过程。在加拿大, 正在实施的“再工程”(re-engineering) 计划被普遍用于监测地表水, 即既指导工程如何开工又考虑资源的日益减少。科学家们发现 ENSO 信号与哥伦比亚降水径流具有良好的相关关系, 即总的说来, 每逢一个气候持续热阶段以后便会出现异常低的降水和异常低的河川径流, 持续冷则相反。但持续高温的1982年~1983年并未引起如此变化。美国的 Lettenmaier 等用一个适用于山地的水文-植被分布模式(DSVM) 分析了森林采伐行为对洪峰流量的影响。还有人用 Topmodel 分析新西兰湿润且坡度大的流域的暴雨的源和路径。

河川径流过程和降水过程是水文模型的输出和输入。这是经典水文主要讨论的对象。由降水到径流的中间过程则往往作为黑箱子处理。随着大气学科与水文学学科间的广泛交叉, 人们越来越重视诸如土壤水分过程这样的水文中间过程的研究。因为这样的过程时间变化缓慢, 与气候模式的时间尺度更匹配, 于是一个新的研究方向——地表过程, 或称地表-大气交换过程, 应运而生。

蒸发过程在水文上常常是用经验公式处理。其他学科在这方面已有长足的进展^[10]。如何在其他学科已有的研究基础上充实水文过程是水文学今后研究方向。

3 水文模型

水文学中常用的模型有中国的新安江模型, 美国的 Sacramento 和 Pitman 模型, 丹麦的 NAM 模型和爱尔兰的 SMAR 模型。用非洲的一个流域的资料对上述模式进行验证的结果表明, 模型的使用效果更多地是依赖资料的变异性 and 目标函数, 对资料长度反应不灵敏。并不是模型越复杂效果越好。在枯水状态下 Pitman 模型效果良好, 而 Sacramento 模型效果最差。由于实测资料, 特别是土壤水分、蒸发、冰雪覆盖等实测资料的匮乏, 很难判断模型的好坏。目前模型仍在发展。出现了把尺度从点的物理机制扩散到面上的 VPC 模式和简单的水量平衡模式(SWB)。已往的不考虑融雪径流的状况得到改进。人们正在建立一个包含气候、土壤和植被在内的模型数据库。把大尺度的水流输送溶入全球气候模式中, 可考虑径流形成中的单元面积和对水平径流进行再分配的大河流域遭受山地的影响。

毋庸置疑, 已有的模型研究已远远超过水文模型的范围。但是借助于各行各业的科学家的参与, 水文模型在为气候模式等提供参数的同时, 也充实了自身。但水文模型本身还没有明显突破, 象如何为地表-大气模式提供径流计算方案至今没有答案。

4 水文特征

4.1 尺度

尺度问题早在1991年在维也纳召开的第20届 IUGG 大会或者更早就提出来了^[11]。21届会议也特别重视水流和污染物负荷的尺度效应, 揭示一级山区流域、大河流域、喜马拉雅山的冰川流域等各种尺度下水流和污物运移规律。在水化学动力学的模拟中, 将点的测量扩展到空

间,形成了面源的区域动力学。代表单元尺度的概念被提出并用以研究诸如雨量站布设的空间变异性问题。在标定因子服从对数正态分布的前提下,用随机变数函数的概率密度函数分布定理证明了标定参数并不服从对数正态分布^[8]。

GCMs 是当今气候模拟的主要工具,可是其尺度太大,一般不能考虑其网格点 ($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$) 以内的地形和降水的空间分布。但亚尺度地形对蒸散发和降水非常重要。尺度下延也常用来探索冰雪覆盖对 GCM 的影响。以尺度为突破口,水文研究将沿着微观分析和宏观综合的途径不断纵深发展。

4.2 可持续性

可持续性是水资源良性管理的特征。可持续性管理意味着用多学科方法解决包含利益相冲突的各方面的复杂问题^[12]。解决的途径有实施统一税率、扩大传统目标、考虑长远影响、注意相应的政策的改变等。以数学方法居多,如决策支持系统、杂交专家系统、多元弹性最小二乘、人工智能决策系统和线性二次规划等。

4.3 不确定性、偏见和可预见性

不确定性是讨论在有准确输入和不准确输入条件下的预报问题和分别由自然系统的随机性、模型误差以及不准确资料导致的不确定性问题。水文偏见则包括由于不完备的分析,一些人特别喜好某个模型或技术,以及即使经过充分分析,选择模型的方法也可能带有偏见。目前有许多数学统计方法可用来分析极值,但是缺少检验的砝码。有人用几何确定性方法处理过去非要用统计方法处理的资料结构。引入诸如南方涛动指数的新型预报变量,可使河川径流预报精度提高不少,能够在一定程度上提前预报。不过不能盲目乐观于这种改进,水文学家有义务向大众解释其中的原因。

5 结 语

90年代的水文研究内容十分广泛。水文与气象、化学、生物等学科的有机结合,一方面促使水文对其他学科“开放”,输出所需要的参数值;另一方面也从其他学科吸收营养。由水文单位线联想化学溶质单位线和用等流时线计算污染物入湖运移过程^[13]就是这方面的例子。特别是,目前进入白热化的地表过程研究将极大地扩大水文研究的研究范围,有力地促进水文学科发展。

致谢: 感谢国际水文科学协会资助。除如下参考文献外,本文还参考了在第21届 IU GG 会议上听取的口头报告、展板报告和分发的论文摘要,恕不一一提名,谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 Wager B J, T H Illangasekare and K H Jensen (edited). Model for assessing and monitoring groundwater quality. IAHS Publ. 1995, (277): 250P
- 2 Vinnikov K Ya, Z B Yeserkepova. Soil moisture empirical data and model results. Journal of Climate. 1991, (4): 66 ~ 79
- 3 Hollinger Stefen E, Scott A Isard. A soil moisture climatology of Illinois. Journal of Climate. 1994, (7): 822 ~ 833
- 4 Robock Alan, C Adam Schlosser, Konstantin Ya. Vinnikov, Suxia Liu, Nina A Speranskaya.

- Validation of humidity moisture fluxes and soil moisture in GCMs. Report of AMIP Diagnostic subproject II: Part 1 –soil moisture. Proceedings of the first AMIP Scientific Conference. WCRP – 92. Geneva. WMO/TD, 1995 (732): 85 ~ 90
- 5 Shao Y, R D Anne, A Henderson –Sellers, P Irannejad, P Thornton, X Liang, T H Chen, C Ciret, C Desborough, O Balachova, A Haxeltine, A Ducharme. Soil Moisture simulation: A Report of the RICA and PILPS Workshop. IGPO Publication Series, (14): 1994. 179P
 - 6 Tonnessen Kathy A, Mark W Williams, Martyn Tranter (edited). Biochemistry of seasonal snow –covered catchments. IAHS Publ., 1995 (228): 466P
 - 7 Leibundgut Ch (edited). Tracer technologies for hydrological systems. IAHS Publ. 1995, (229). 320P
 - 8 Osterkamp W R (edited). Effects of Scales on Interpretation and Management of Sediment and Water Quality. IAHS Publ. 1995, (226). 302P
 - 9 Petts Geoffrey (edited). Man's influence on freshwater ecosystems and water use, IAHS Publ. 1995, (230). 280P
 - 10 莫兴国. 区域蒸发研究综述. 水科学进展. 1996, 7 (2): 180 ~ 185
 - 11 刘昌明, 刘苏峡. 大气 – 土壤 – 植被界面间的水文联系. 地球科学进展趋势战略研究. 叶笃正主编. 北京: 气象出版社, 1993. 365 ~ 371
 - 12 Simonovic S P, Z W Kundzewicz, D Rosbjerg, K Takeuchi(edited), Modelling and management of sustainable basin –scale water resources systems, IAHS Publ. 1995, (231): 434P
 - 13 Liu Suxia & Boxin Jin, Diverting Changjiang River water to control eutrophication in Lake Donghu. In: Natural and Manmade Reservoir, edited by G B Schiller, IAHS Publ. 1991, (206): 277 ~ 286

Challenges of Hydrology since 1990s

Liu Suxia and Liu Changming

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract: Based on the activities of International Association of Hydrological Science on the XXI General Assembly of International Union of Geodesy and Geophysics, advances and tendencies of hydrological study since 1990 are delineated from such four aspects as hydrological observation, hydrological processes, hydrological modelling and hydrological characteristics. Scientists have paid more and more attentions to the measurement of soil moisture and ground water quality. With the study on land surface parameterization, the research of the middle stages of rainfall-runoff processes will be strengthened. Scale, sustainability, uncertainty and predictability are still hot topics of hydrology.

Key words: hydrology; research; advances; tendencies.