

【水文·泥沙】

从科学方法论的角度看水文模型的发展

刘登峰, 田富强, 高 龙

(清华大学 水利水电工程系水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084)

摘 要: 20 世纪 60 年代以来, 随着社会需求的变化、人们对水文过程认识和研究的不断深化、计算机及信息技术的发展, 水文模型经历了从“黑箱子”模型、概念性模型到物理性模型, 从集总式模型到分布式模型的发展过程。目前, 分布式物理性水文模型是研究的主要趋势。只有敏锐地把握社会的新需要和技术进步的推动, 才能在水文模型的研究领域处于学科的前沿。

关 键 词: 水文模型; 科学问题; 科学模型; 流域

中图分类号: TV 12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1379(2007)09-0038-02

随着社会经济的发展, 水资源短缺问题日益突出。水在社会经济等领域的重要性使得人们密切注意流域水文过程。研究流域水文过程的重要手段就是建立流域水文模型, 并用实测径流资料进行验证。

1 水文模型中的科学问题

早期的降雨径流模型, 主要应用于湿润半湿润地区。20 世纪 60 年代初到 80 年代中期先后提出了一些著名的水文模型, 如 Tank 模型、Stanford 模型、SR-FCH 模型、API 模型、新安江模型、SSARR 模型、ARNO 模型、SCS 模型、HEC-1 模型等^[1]。目前这些模型仍分别在相应的国家被广泛使用。

随着水资源短缺问题的日益严重, 研究干旱半干旱地区水分的运移、转化和消耗, 指导水资源规划和灌区管理成为水文模型的一个研究重点, 在中国以黑河、石羊河、塔里木河等流域的研究为代表。干旱区平原绿洲散耗型水文模型以农区土壤水为中心, 考虑了水在不同介质和不同形态之间的交换或转化, 并重点考虑了人类活动如引水灌溉、地下水的开采等对水平衡的影响^[2]。

在对干旱地区、寒冷地区、岩溶地区水文过程的研究中, 发现其特定的气候地理条件使得水文过程中一些子过程与湿润地区有很大的差异。干旱地区降雨稀少, 蒸发量大, 与湿润地区相比不仅存在产汇流区而且存在特有的散耗区。寒冷地区的冰川冻土使得径流的产生除依赖于降雨外, 冰雪融化也会产生洪水过程。岩溶地区的裂隙、溶沟、漏斗、天窗、竖井和落水洞使得地表径流、壤中流和地下径流的转化更加频繁和剧烈, 模拟径流过程就更加困难^[3]。这些区域水文模型的建立, 必须根据流域的特点对特有的水文过程进行针对性的研究。

社会需要推动着水文模型的发展, 从最初的防洪预报发展到水资源配置和灌区管理, 同时也向水环境的保护和河流生态修复的方向发展。

水文学面临许多亟待解决的问题。水文模型涉及的水文

过程包括降雨、蒸发蒸腾、植被截流和填洼、入渗、土壤水运动、地表径流、地下水运动、河道汇流、引水消耗和退水以及寒冷地区的冰雪融化。现在的理论对这些子过程尚不能很好地解释, 各子过程的研究深度也不尽相同。

传统的水文模型都是以降雨作为输入条件, 降水资料对模型的准确性影响很大。集总式模型只能以流域的平均降雨量作为输入条件, 通常根据雨量站的观测值采用算数平均法、泰森多边形法或降水量等值线法计算流域平均降雨量。分布式模型则能够较好地反映降雨的空间不均匀性。雷达测雨技术可以为分布式模型提供输入资料。目前前沿方向之一是把气象模型与水文模型相耦合, 这样降雨将成为系统模拟的一个子过程。

降雨产流是高度非线性问题, 而且是否产流取决于流域初始蓄水状态和降雨强度等因素, 产流前的降雨用于蒸发、植被截流和填洼。蒸发量的计算方法主要有实测资料推求、能量平衡公式计算等, 但是湿润区和干旱区蒸发的控制因素分别是水分和能量, 这使蒸发量的计算有很大的差异; 植被截流和填洼, 一般用经验公式进行处理; 融雪量一般采用经验公式计算, 如度日因子法。

入渗的计算始于 1856 年的达西定律, 后来出现了一些经验性或物理性的计算公式, 如 Horton 公式、Philip 公式、概念性的 Green-Ampt 模型等。

地表径流可以采用圣维南方程的二维扩散波模型, 土壤水的运动一般采用 Richards 方程描述, 地下水运动采用 Boussinesq 方程, 这些过程都有比较准确的物理公式描述, 但都用在物理性模型中。河道汇流根据模拟的需要采用圣维南方程的

收稿日期: 2007-01-17

基金项目: 国家自然科学基金青年项目 (50509013)。

作者简介: 刘登峰 (1984-), 男, 陕西凤翔人, 博士研究生, 主要研究方向为水文水资源。

动力波方程或者运动波方程,但是现在的限制性条件是河道断面等地形参数很难获得。

引水消耗和退水主要包括工农业生产用水、生活用水、农业退水和生产、生活排污,这些水量的计算根据实际情况采用统计量或估计值。

2 水文模型的分类

水文模型可以根据研究的范围、对象、内容和建模的技术等进行分类^[4],下面按照自然辩证法中科学模型进行分类总结。

属于物质模型的水文模型即流域水文模型试验,主要有比尺模型试验和原型系统试验两种。20世纪40~70年代,美国、中国和日本等一些科研机构曾进行过物质模型试验^[5]。受研究内容的局限,现在研究流域尺度的水文现象时已经基本不使用物质模型。

针对水文现象中并存的随机性和确定性,分别有随机性模型和确定性模型。目前随机性模型发展缓慢,应用比较广泛的大部分水文数学模型都是确定性模型。随着人们对水文过程认识和研究的不断深入和计算存储等条件的不断发展,水文模型在描述水文过程的机理上经历了“黑箱子”模型、概念性模型、物理性模型的发展过程,同时在降雨和下垫面条件空间变异性的处理上也从集总式模型走向分布式模型。

“黑箱子”模型完全依赖于优选得到的系统输入和系统输出,没有流域水文过程和机理的描述。这类模型主要是指单位线、经验相关和概化推理等模型。

概念性模型是对水文现象概化后得到的简单水文模型。它使用一系列相互串联或并联的存储单元来模拟流域上发生的水文过程,其基础是质量守恒方程,其参数没有明确的物理意义,需要通过对历史资料的率定来确定。第一个概念性流域水文模型是1961年提出的Stanford模型,其后概念性流域水文模型有了蓬勃发展,出现了日本的水箱模型、中国的新安江模型和陕北模型、美国的萨克拉门托模型和ARNO模型等^[6]。

物理性模型是指具有物理基础的水文模型。典型的物理性模型有基于网格单元划分方法的SHE模型、THHMS-SV模型和IDHM模型,基于子流域划分方法的SWAT模型,基于山坡单元划分方法的GBHM模型等^[6]。受水文过程的复杂性、下垫面的多变以及人类对水文过程认识的限制,目前尚没有任何一种模型能够完全描述实际的水文物理过程,而是或多或少地基于一定的假设。

降雨、土壤类型、土地利用类型和植被在流域内存在很大的空间变异性,集总式模型认为这些量在空间上是均匀的,在一个模拟的范围(如一个流域)内可以用一套参数描述,而分布式模型则尽可能地反映降雨和下垫面的空间变异性对径流形成的影响。对降雨和下垫面条件的空间变异性的表示方法是分布式水文模型的关键技术,寻求这种表示方法比较困难,使得相当长的时间内分布式水文模型发展缓慢,于是出现了概念性分块式水文模型的过渡时期。对于分布式水文模型,按照径流形成理论和方法可以分为概念性的和具有物理基础的^[7]。由于降雨、土壤类型、土地利用类型和植被存在空间变异性,因

此集总式模型必然是概念性模型,分布式模型则可以是概念性或物理性模型。目前,分布式物理性的水文模型是研究的主要趋势^[8]。

3 信息技术和社会需求对水文模型的推动

20世纪70年代以来,随着信息技术的发展,特别是计算机、地理信息系统(GIS)、遥感(RS)和数字高程模型(DEM)的发展,为分布式水文模型提供了有力的技术支撑,使得分布式水文模型大量出现。

水文学是一门实用技术科学,水文模型所研究的科学问题来源于社会需求。1970~1990年,大量水文数学模型不断涌现,用于各种水文现象的模拟,不仅用于洪水预报、区域水资源规划、灌区配水,而且开始用于生态建设规划、环境管理等领域^[9]。为此,水文模型的子过程也不断扩展,使得水文模型的内容不断丰富。

水文模型是水文学中研究流域或者更大尺度的水文循环的有力工具,随着水文学从为水利工程提供实用技术的应用科学向具有完整科学体系的地球科学分支发展,水文模型研究的时间尺度和空间尺度也将加大,将产生新的研究目的和研究内容并推动水文模型的发展。计算机模拟对信息技术尤其是计算机计算能力的强烈依赖和分布式模型对海量的流域下垫面资料的需求,决定了水文模型将随着信息技术的进步而不断发展。只有敏锐地把握社会的新需要和技术进步的推动,才能在水文模型的研究领域处于学科的前沿。

参考文献:

- [1] 金鑫,郝振纯,张金良. 水文模型研究进展及发展方向[J]. 水土保持研究, 2006(4).
- [2] 胡和平,汤秋鸿,雷志栋,等. 干旱区平原绿洲散耗型水文模型—I 模型结构[J]. 水科学进展, 2004(2).
- [3] 卢卫中. 岩溶流域水文模型初步研究[J]. 水文, 1995(2).
- [4] 刘金清,陆建华. 国内外水文模型概述[J]. 水文, 1996(4).
- [5] Ven Te Chow, Ben Chie Yen. A Laboratory Watershed Experimentation System[M]. Illinois Department of Civil Engineering Univ of Illinois at Urbana-Champaign 1974
- [6] 田富强. 流域热力学系统水文模拟理论和方法研究[D]. 北京: 清华大学水利系, 2006
- [7] 芮孝芳,蒋成煜,张金存. 流域水文模型的发展[J]. 水文, 2006(3).
- [8] 胡和平,田富强. 物理性流域水文模型研究新进展[J]. 水利学报, 2007(5).
- [9] 沈冰,黄领梅,李怀恩. 水文模拟研究评述[J]. 西安理工大学学报, 2004(4).

【见习编辑 乔韵青】