

数字时代水文模拟技术的变革

任立良,刘新仁

(河海大学水文水资源及环境学院,江苏 南京 210098)

摘要 :从科学哲学方法论的角度,阐述了水文模拟技术从原子时代到数字时代的变革发展历程,简要回顾了数字水文学的由来,并对数字水文模型的基本内涵、基本框架和科学意义以及数字水文的研究内容、在数字地球中所处位置进行了探讨.得出:数字信息技术将变革水文科学研究的手段,促使水文模型有更大的发展,数字水文在数字地球中扮演重要角色,应用前景十分广阔.

关键词 水文模型 数字化 变革

中图分类号 :P33

文献标识码 :A

文章编号 :1000-198X(2000)05-0001-06

由于计算机科学与技术的发展,世界正在从 A(Atom,原子时代)转向 B(Bit,数字时代).如今,各种媒介中“数字一族”词汇出现的频率不断增加:数字化生存、数字经济、数字人、数字媒体.尼葛洛庞蒂^[1]在《数字化生存》一书中指出:比特,作为信息的最小单位,正迅速取代原子而成为人类社会的基本要素,信息技术的发展将变革我们的学习、工作、生活方式.20 世纪 90 年代以来,以数字革命为特征的信息化浪潮滚滚而来,遍及全球,其特点可概括为“三 C”和“三化”^[2].“三 C”是指 Computer(计算机)、Communication(通讯)、Content(信息内容);“三化”是指数字化、网络化、信息化,数字化是技术特征,网络化是实施途径,信息化是要达到的目的或得到的结果.

迄今为止,产业社会的主体是“工业”,今后它的位置将由“信息”来取代.信息技术的核心是计算机科学与技术,信息技术的三大支柱是数字化、计算机和光导纤维.数字化信息技术正促使一切科学技术领域发生一场深刻的变革,水文科学也正在经历这样一场前所未有的革新.伴随高新技术的出现,水文研究的技术手段发生了根本性的质的变化,水文学与计算机及信息科学的交叉形成了数字水文学^[3].毋庸置疑,数字技术会给水文研究注入新的活力,为水循环模拟的技术和手段带来一场变革.

1 数字化的内涵

数字化是指一种电子转换技术,是将传统的语音模拟信息或图像模拟信息转换成数字信息.数字化革命是指信息处理技术由“数字型(Digital)”取代了以往的“模拟型(Analog)”而成为主导技术.模拟型有“连续”的意思,而数字型则有“离散的、间断的”意思.将信息本身作为一种连续的数值来处理的技术就是“模拟型技术”,而把它转换成不连续的信号值来处理的技术称作“数字型技术”.将模拟信号转变为数字信号称作“AD 转换”,反之称作“DA 转换”.数字化的好处很多,最明显的就是数据压缩、编码和纠正错误,两个最典型的数字化例子是取样密度为 44 100 次/s 的音乐光盘 CD 和具有细致明暗层次的黑白照片.

比特没有颜色、尺寸或质量,能以光速传播.它好比人体内的 DNA 一样,是信息的最小单位.比特是一种存在的状态:开或关,真或伪,上或下,入或出,黑或白.出于实用的目的,我们把比特想成“1”或“0”.比特是数字计算中的基本粒子,如果将比特与原子作一比较,就可看出它们遵循完全不同的法则,见表^[1].

从个别的像元(Pixel)产生连续图像的过程,与我们所熟悉的物质世界的现象非常类似,只不过其过程更为精细而已.物质是由原子组成的,但若从亚原子(Subatomic)层次来观察经过处理的光滑的金属表面,则会见到许多坑洞.我们眼中的金属之所以光滑而坚实,是因为其组成部分非常微小.这里存在一个尺度

收稿日期 2000-05-08

基金项目 国家重点基础研究专项经费资助项目《我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究》(G1999043400);国家自然科学基金资助项目(49794030)

作者简介:任立良(1963—),男,江苏扬中人,副教授,博士,水文水资源专业,主要从事水文物理过程模拟研究.

层次性的问题，数字化产物如此，水文现象亦是如此(图1)。

表1 原子和比特的性质比较

原 子 (Atom)	比 特 (Bit)
农业时代，工业时代，原子时代	信息时代，后信息时代，数字时代
特定时间和特定地点的机器化重复生产	无论何时何地，人们都能制造比特
具有质量	没有质量，易于复制
运输受时间和地点的限制	可以极快的速度传播而受时空障碍的限制
只能由有限的人使用，使用的人愈多，其价值愈低	可由无限的人使用，使用的人愈多，其价值愈高
消耗大量的资源和能源	可以压缩、编码，节约资源和能源
电子按一定轨迹围着原子核转	具有无数联结点的网络遍及全球

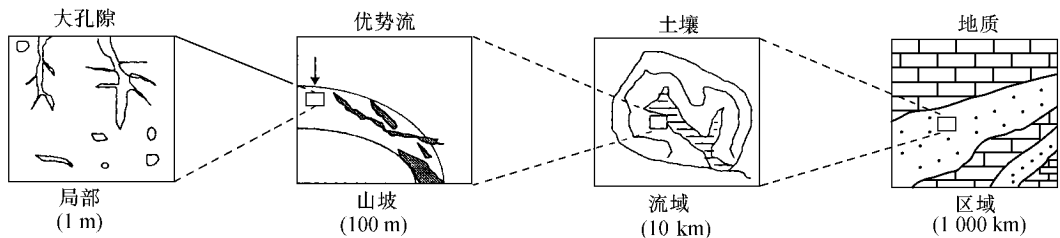


图1 不同空间尺度的水文过程与流域非均匀性

Fig.1 Heterogeneity of catchments at a range of space scales

日常生活中我们所体验的世界其实是非常“模拟化(Analog)”的。从宏观的角度看，这个世界一点也不数字化，反而具有连续性的特点，不会骤然开关、由黑而白，或是不过渡就从一种状态直接跳到另一种状态。从微观的角度看，也许不是这么回事，因为和我们相互作用的物体(电线流动的电子或我们眼中的光子)都是相互分离的单位。但由于它们的数量过于庞大，感觉上似乎连续不断。

2 水文研究方法论思辨

一个时代的科学成就是与前人奠定的知识基础、采用的方法论、技术的支持以及时代的需求密切相关的。科学研究的价值在于推陈出新，科技的发展总是在不断创新的过程中实现。胡隐樵^[4]在分析比较“地球系统科学”和“自然控制论”的基础上引入了两个原理的哲学思考：(a)和谐性原理和逻辑简单性原则。自然界是和谐的，自然之美与自然之简单性是一致的，所以爱因斯坦指出：“逻辑简单的东西当然不一定是物理上真实的东西，但是物理上真实的东西一定是逻辑上简单的东西，也就是说它在基础上具有统一性。”(b)原子论的方法原理。原子论假说是一种科学思想，又是一种方法论思想，原子论方法是从次级层次上寻找原因的研究方法。

和谐性原理和原子论方法原理既是科学思想，又是科学研究方法论中的两个重要原理，它们本质上是对立而又统一的。和谐性原理反映了自然界的统一性与整体性，而原子论反映了自然界的结构性与层次性。胡隐樵^[4]认为，地学之所以发展较慢，原因之一就是它本身的基本规律是非线性的，包含着无穷无尽的复杂性行为。地球系统具有复杂的分级层次结构，高层次与低层次之间相互作用，这种作用也是非线性的。它往往包含数次从“混沌”到更高级的“有序”飞跃过程。当然，非线性和复杂性仍然符合和谐性原理，因为自然界的发展过程本质上是和谐的。事实上，自然界的“有序”结构就是和谐的，所谓复杂性正是从“混沌”到更高级的“有序”结构的飞跃。地球系统科学研究中常采用的参数化方法是用线性化或拟线性化处理低层次上的无序(非线性过程)在高层次上的反映。

水文学作为地球科学的一个分支学科，也同样存在非线性现象，水文过程同样存在空间、时间尺度层次性(图1)，我们要充分利用对立统一原理变革水文研究的指导思想。新安江模型和空间变异的下渗容量模型VIC(Variable Infiltration Capacity Model, Wood等^[5], 1992)采用仅含一个参数的抛物线型反映流域土壤蓄水容量或下渗容量的空间分布状况，实质上就是用一种参数化方法来表达流域水文非线性过程，体现了逻辑简单性原则。关于水文学中的尺度层次性，Klemes^[6],Bloschl等^[7]及作者^[8]已有述及，国际水文界第四届水文

尺度问题研讨会上 Bloschl 等^[9]认为尺度问题处于水文学研究的核心地位,无论是流域水文模型、降雨和蒸散发的面均估计、遥感资料的解译、全球气候模式中陆面参数化,还是无资料地区洪水预测,都会遇到此类问题。陆面水文过程的描述可以按尺度层次区分为水动力学尺度、山坡尺度和流域尺度。在土块、土柱或水槽实验中建立的水动力学理论,主要适用于微观尺度单一水体的现象。对完整的山坡水文过程,地形特征起着重要的作用,使山坡的总响应不同于单个土块响应的叠加。流域层次也是如此,用水动力学方程积分来寻求控制流域水文的物理规律,并不一定成功,而直接在流域尺度上观察,寻找规律,进行模拟,有可能相当简单清晰。自然界中事物的尺度不是任意的,自然现象的规律性存在于有限个相差较大的离散的尺度层次上,广义的尺度科学问题就是识别这种层次,找出每个层次上的主导的物理定律。

30 年前水文学被称作一门“手艺”,如分割地下水、画合轴相关图、画频率曲线。现在有了水文学自己的理论,如霍尔顿、山坡水文学、单位线,克服了许多形式主义和繁琐哲学,清理出比较简明统一的概念与方法^[10],这符合逻辑简单性原则和原子论方法原理。流域水文模型最重要的性质是符合系统论的观点,这就把水文学提升到科学的层次。

3 水文模拟技术的发展历程

模拟流域对气象、气候输入的水文响应是工程水文学与科学水文学的最基本课题。17 世纪末,在人们建立水文循环的基本概念和流域水量平衡基本原理后,流域对降雨的水文响应就是地表水文学的中心问题。

水文模型是对真实自然过程的简化表达,它既可以是实体比尺物理模型(Physical Model)、电子电路模拟模型(Analog Model),也可以是数学模型(Mathematical Model)。在现代计算机出现之前的 100 多年里,人们用物模来了解水文过程,1856 年 Darcy 所做的砂柱试验就是一个很好的例子。目前该技术还经常应用于工程实际和课堂教学。物理模型的主要问题在于费用高、模拟水文复杂系统时存在局限性。模拟模型是一种机械或电路装置,它利用数学相似性模拟水文系统过程,它在坝、渠水的渗漏及地下含水层水文地质条件的模拟方面是个强有力的手段。模拟模型主要受特别情景的限制,不易推广应用,换言之,对一个新问题就要设计和建造一个新的模拟模型。以往实体比尺模型和电子模拟模型非常重要。然而,现今数学模型最易于使用,且随着科学技术的发展,数学模型发展最快、应用最广。20 世纪中叶随着计算机的出现,计算机数模如雨后春笋发展很快,系统观点与计算机技术的结合形成了现代意义上的水文模型。受尺度与经费的限制,它也像其它模型一样必须作一定的概化和假设。然而,与物理模型和模拟模型相比,它更能经得起复杂水文系统的校验。

描述自然水文现象或水文过程或水文系统的数学模型不外乎数学物理模型、黑箱子模型、概念性水文模型。数理方法具有严密的物理概念和数学公式,科学性很强,如圣维南方程、对流扩散方程,它对资料的要求较高。由于影响水文过程的因素很多,水文学中能直接应用数理方法的场合十分有限,但数理方法仍然是水文学理论概念的基础。黑箱子方法(如单位线法)不牵涉物理实质,只要求系统反应,不管系统的状态。由于流域是个高阻尼系统,加上单位线方法简单实用,所需资料少,因而作用很大,但它对资料的依赖性很强,外延和区域综合十分艰难。概念性模拟方法恰好介于数理方法和黑箱子方法两者之间。

水文模拟技术是从数学物理方法、单位线、经验相关和概化推理等各种方法中取长补短并有机结合而成的^[11],一方面有别于数学物理方法的严密性,另一方面有别于概化推理方法的设计性。它吸取了经验相关方法中合理的物理概念,又把它系统化成一个推理计算的模式。它可以采用比较严密的部分结构,也可采用比较粗略的或黑箱子模型作为部分结构。水文模拟方法将客观现象加以简化,抓住主要的和基本的规律部分,忽略次要的或偶发的因素,并建立起有物理意义的、逻辑结构严密完整的计算系统。

任何计算方法或模型,都不可能产生出信息,而只能从数据中提取信息。一个模型的优劣在于它吸收知识的多少和真伪、利用信息的多少以及提取信息的能力。模型形形色色,有的复杂,有的简单,有的应用许多高深的数学,有的只有常识性的规则。这些都不足以判断模型的好坏,关键看它是否在吸取知识和信息上有所前进。流域水文模型在经历了一个时期的大发展后陷入停滞状态,主要原因在于缺乏新的认识和新的信息源,只有在增添了新的知识和信息后,才能恢复生机。

20 世纪 90 年代以来,随着空间技术、遥感技术、信息技术和通讯技术的发展和普及,水文模型的发展空间有了极大的拓宽,增添了许多新的量测手段,有了新的信息源,新的认识就会产生。这些新的认识和信息输

入到水文模型中,就会使它更逼近真实的原型.因此,可以确信,21世纪水文模拟技术将会有更大的发展.

4 数字水文模型

4.1 数字水文模型的内涵

早在1966年,美国Crawford和Linsley^①就提及“Digital Simulation”,继而1980年Morrissey等^②在地下含水层水流模拟领域亦曾提到“Digital-Computer Model, Digital Modeling Techniques”.他们之所以称这些模型为“Digital Simulation”,是因为水文数学模型的计算是用数字计算机程序(Digital-Computer Programs)来进行的.也就是说,他们提及的“Digital”是与数字计算机联系在一起的.更确切地说,应该将这些模型归类为Morrissey等^②所谓的数字计算机模型(Digital-Computer Model).这些模型无论在概念、内涵上还是在方法、技术上,都与本文提出的数字水文模型相差甚远.

以集总式途径模拟发生在流域上不同的水文过程,很难获得满意的水文响应模拟结果.近年来,越来越多的研究者致力于流域水文过程的空间分布式模拟.分布式水文模型是指以流域面上分散的水文参数和变量来描述流域水文时空变化特性的数学模型.描述高分辨率空间变化的水文过程需要依据地形资料寻求有物理基础的解决途径.在数字时代的今天,计算机信息技术日新月异,描述流域下垫面空间分布信息的技术日渐完善,这就要求水文模型在技术上进行变革和革新.数字地面模型技术已经成熟,流域地形、植被、土壤、分水线、河网、子流域的表达及集水面积的计算完全能用数字化技术来实现,以改变以往手工量算流域面积的方式.

1958年麻省理工学院Miller^[12]首次提出了数字地面模型(Digital Terrain Model,缩写成DTM)这一重要概念,1978年Doyle^[12]将DTM定义为描述地面诸特性空间分布的有序数值阵列,其本质属性是二维地理空间定位和数字表达.最通常的情况下,DTM所描述的地面特性是高程 Z .这种高程空间分布的数字地面模型称作数字高程模型(Digital Elevation Model,缩写成DEM).近20年来,水文模拟研究最大的进展或许莫过于数字地面信息的可获性和直接应用,虽然DEM和地理信息系统(GIS)已使水文学发生革命性的变化,但其应用仍日新月异.DTM/DEM的出现为数字水文学的发展和数字水文模型的诞生提供了坚实的技术基础.

数字水文模型就是构建在DTM/DEM基础之上的一种分布式水文模型,先由DTM建立数字高程流域水系模型,再与数字产流模型和数字汇流模型有机结合.数字水文模型是依据地形资料寻求有物理基础的一种现代技术途径,流域所有的下垫面特征(诸如流域分水线、子流域集水面积、水系、地形、植被、土壤)都是栅格型数字式的点阵,流域产流单元、汇流路径、水系是根据地形由计算机自动生成的,无须手工操作.在DTM/DEM衍生的数字高程流域水系模型或数字河网模型的基础上,依据下垫面地形特性、水流方向及河网水系特征由计算机将研究流域自动划分成子单元.该子单元可以是与下垫面信息源空间分辨率相适应的任意小单元,划分的方法具有一定的物理基础,避免了以往根据降雨站网划分子流域单元的缺陷.在这些子单元上根据各自的下垫面特性分别构建数字产流模型(这些子单元上的特性、水文变量及参数均以数字矩阵形式记载),再与数字河网模型派生出的数字汇流模型嵌套联结,最终获得流域出口断面的径流过程^[13,14].

4.2 数字水文模型的科学意义

水文学是有关信息的学科,提供各种与水有关的信息,服务于人类社会.水文信息的采集、处理、储存、传输、发布以及深加工的分析、计算、预测、预报,为社会经济各个有关部门提供规划、设计、管理的决策依据.

早期传统的水文模型受到资料、信息和计算技术的限制,只能对具有水文测站的流域进行径流模拟计算.这种计算常常是集总的,不考虑空间分布.数字技术为水文研究开辟了一种新的途径.数字水文模型在给出水文参量和状态变量的空间分布与时间序列方面具有很大的优越性,它能给出水文要素的空间分布场,尤其像土壤干湿状况这样的信息.这是从降雨、蒸发、径流数据中挖掘出的有用信息.

作者^[15]基于DEM生成数字流域、河网水系及其拓扑关系,并在此基础上建立空间分布式水文模型,获得传统水文模型无法获取的水文过程信息和状态变量信息.既然已经构建了数字流域,就可叠加其它下垫面

① Crawford N H, Linsley R K. Digital simulation in hydrology: Stanford watershed model IV. Dept of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, California, Technical Report, 1966(39).

② Morrissey D J, Lines G C, Bartholoma S D. Three-dimensional digital-computer model of the Ferron sandstone aquifer near Emery, Utah, USGS, Water Resources Investigations 80—62, 1980.

属性,从而建立水文模型参数与流域特性之间的定量关系.一方面这是水文学科发展的需要和学科前进的标志,另一方面对揭示水文物理规律和解决工程实际问题有着非常重要的意义.

在数字模型的框架下,可以将人类已经拥有的水文科学理论、知识与具有较强物理概念的水动力学模型集成于一体,为水文产汇流和水资源计算提供良好的平台.数字水文模型与传统水文模型的区别可从以下三个方面来分析:首先,数字模型是基于数字流域构建而成的,所有的流域要素(诸如集水面积、河长、坡度)皆由 DTM/DEM 自动生成,无需手工操作,大大提高了工作效率;其次,数字模型不仅能输出传统水文模型的结果,而且能够十分方便地给出水文要素和水文状态变量的空间分布场以及任一站点上游各支流的来水流量过程线,这些对水文科学研究与工程实际都有着广阔的应用前景;再者,数字模型为遥感遥测技术所获取的雨量信息在水文模型中的应用提供了最佳平台和技术准备,当雷达、卫星测雨技术进入实用阶段时,由于流域的空间位置已确定,一块天对一块地,雷达或卫星捕获的高分辨率实时雨量信息可以与数字水文模型进行最佳联结,实现降雨输入与模型之间的完整结合,这就解决了长期困扰水文模型的雨量信息输入问题,提高了模型预报的精度及预见期长度.

总而言之,数字模型研究的最终目的就是利用已有的水文科学理论和知识,在数字流域的基础之上将观测点的水文信息拓展、同化至流域面上乃至流域三维立体上的信息,并形成数字成品,为国家宏观决策和国民经济各行各业服务.

4.3 数字水文模型在数字地球中的应用前景

水文学是研究地球上水的量和质的时空变化规律的一门学科.为了解决水文问题,前人采用了各种技术途径,包括数学、统计学、概率论、运筹学、计算机及信息科学、系统科学及控制论.这些技术途径可分成数理方法和统计方法两大类.由此可将水文学分成数理水文学和统计水文学.数理水文学包括参数水文学、数值水文学、数字水文学、系统水文学,统计水文学包括经验水文学、概率水文学、随机水文学^[3].水文学与计算机及信息科学的交叉形成了数字水文学.

“数字水文”是地球空间多源水文信息的数字整合.它的核心是将传统的站点观测水文数据与数字地球中各种源数据,经过同化系统的加工处理,产生数字化的、覆盖整个流域或区域空间的、多重时间和空间尺度的、多种要素的、有用的数据产品.美国副总统戈尔 1998 年 1 月 31 日提出了“数字地球”的创意.数字地球是对真实地球及其相关现象统一性的数字化重现与认识,它有两个核心思想:一是用数字化手段统一处理地球问题;二是最大限度地利用信息资源.

数字地球主要是一种政府行为,其应用范围至少应是国家尺度,所以有人^[16]提出了“数字中国”的概念,它至少应包含土地利用、植被、荒漠化、环境、水资源、矿产资源、海洋、灾害等专业种类的信息.这就对水文水资源学科提出了新的挑战.数字水文的研究内容可以概括为三个方面:(a)数字流域构建技术.这既是水文研究的基础设施,也是数字地球的重要组成部分,还是水文研究的技术平台.(b)水信息同化挖掘技术.这是介于数字流域技术平台和数字成品技术之间的桥梁与纽带,其中数字模型起着举足轻重的作用.数字模型为遥感遥测技术所获取的雨量信息在水文模型中的应用提供了最佳平台和技术准备,同时将观测点信息拓展、同化至流域面上的信息需要数字模型来实现.(c)数字成品技术.这一技术是基于数字流域、运用数字模型开发的最终产品,为国家宏观决策和国民经济各行各业服务.

无论数字地球的范畴有多广,数字水文肯定是其中十分重要的组成部分.水是生命的源泉,农业的命脉,工业的血液,生态环境中最具活力和最活跃的因子,水循环过程与国计民生息息相关.由于自然原因和人类活动的影响,水循环给人类社会带来洪、旱、污灾等问题.随着人口的增长、工业的发展、城镇化的加快,水问题日益突出,严重制约着生态、经济、社会的可持续发展.数字地球中与水有关的问题需要水文科学的理论、知识,反过来数字地球中开发的数字信息获取技术、处理技术、通讯技术、存储和管理技术、网络技术、数字成品技术、信息挖掘等为水文科学迈向新台阶创造了极有利的技术条件.数字水文必将大有作为!

5 结 语

事实上,人类一直在追求用数字化的方式定量描述和研究人类居住的地球,人类的每一代都比上一代更加数字化.面向 21 世纪,数字化是人类追求的目标.数字水文学乃科学与技术更高层次上的融合,将站点的观测资料数据同化挖掘成流域面上的信息需要数字水文学的发展.

本文从当今时代的需求出发,阐述了水文模拟技术从原子时代到当今高新技术革命所处数字时代的变革发展历程,简要回顾了数字水文学的由来,并对数字水文模型的基本内涵、基本框架和科学意义以及数字水文的研究内容、在数字地球中所处位置进行了探讨,得出“数字信息技术将变革水文科学研究的手段,促进水文模型有更大的发展,数字水文在数字地球中扮演重要角色,应用前景十分广阔,有必要进一步研究”。

参考文献:

- [1] 尼古拉·尼葛洛庞蒂著. 数字化生存[M]. 胡泳, 范海燕译. 海口: 海南出版社, 1997. 1~187.
- [2] 秦言. 关注知识经济——知识经济时代生存与发展策略[M]. 天津: 天津人民出版社, 1998. 1~28.
- [3] Singh V P. Kinematic wave modeling in water resources — environmental hydrology[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1997. 1~10.
- [4] 胡隐樵. 地学、地球系统科学和自然控制论[A]. 见: 国家自然科学基金委等编. 现代大气科学前沿与展望[C]. 北京: 气象出版社, 1996. 185~188.
- [5] Wood E F, Lettenmaier D P, Zartarian V G. A land-surface hydrology parameterization with subgrid variability for general circulation models[J]. Journal of Geophysical Research, 1992, 97: 2717~2728.
- [6] Klemes V. Conceptualization and scale in hydrology[J]. J of Hydrology, 1983, 65: 1~23.
- [7] Blöschl G, Sivapalan M. Scale issues in hydrological modeling: a review[J]. Hydrol Proc, 1995, 9(3/4): 6~28.
- [8] 任立良, 刘新仁, 郝振纯. 水文尺度若干问题研究述评[J]. 水科学进展, 1996, 7(增刊): 87~99.
- [9] Blöschl G, Sivapalan M, Gupta V, et al. Preface to the special section on scale problems in hydrology[J]. Water Res Res, 1997, 33(12).
- [10] 赵人俊. 水文模拟的性质与前途[A]. 见: 梁瑞驹等编. 水文学的回顾与展望论文集[C]. 南京: 河海大学出版社, 1988. 52~57.
- [11] 赵人俊. 流域水文模拟——新安江模型与陕北模型[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984. 1~15.
- [12] 柯正谊, 何建邦, 池天河. 数字地面模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 1~13.
- [13] 任立良, 刘新仁. 数字高程模型在流域水系拓扑结构计算中的应用[J]. 水科学进展, 1999, 10(2): 129~134.
- [14] 任立良, 刘新仁. 史灌河流域数字水文模型研究[A]. 见: 赵柏林, 丁一汇主编. 淮河流域能量与水分循环研究[C]. 北京: 气象出版社, 1999. 229~236.
- [15] 任立良. 流域水文物理过程的数字模型研究[D]. [学位论文]. 南京: 河海大学, 1999.
- [16] 徐冠华, 孙枢, 陈运泰, 等. 迎接“数字地球”的挑战[J]. 遥感学报, 1999, 3(2): 85~89.

Transformation of Hydrological Modeling Techniques in the Digital Era

REN Li-liang, LIU Xin-ren

(College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: In this paper, the course of development of hydrological modeling techniques, from the atomic age to the digital era in which high-tech revolution lies currently, is remarked from the viewpoint of methodology of science and philosophy. A brief review is made on the origin of digital hydrology. And a discussion is made on connotation, framework, development and scientific significance of digital hydrological model. The position of digital hydrology in digital earth is investigated. It is seen from analyses that digital information technology will transform the means of scientific research in hydrology, and make it possible to improve hydrological model significantly, and that digital hydrology plays an important part in digital earth, and is worth further research.

Key words: hydrological model; digital; transformation