

文章编号 : 1001-6791 (2001) 04-0560-09

# 地理信息系统与水文模型集成研究述评\*

万洪涛<sup>1</sup>, 周成虎<sup>2</sup>, 万 庆<sup>2</sup>, 刘 舒<sup>2</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:** 从地理信息系统与水文模型的集成方式, 水文模型计算域的空间离散等方面讨论了 GIS 与水文模型的集成问题, 再从四个方面分析了 GIS 与水文模型集成存在的问题。由于分布式水文模型对空间数据的需求, 又从 GIS、RS 与水文模型的集成现状与发展讨论了集成研究的目标。

**关键词:** 地理信息系统; 水文模型; 集成; 遥感

**中图分类号:** P 407; P 333      **文献标识码:** A

在水文模型中, 通常先对流域进行产流计算, 然后用单位线等方法模拟坡面汇流, 水流在河道中的运动则采用简化的圣维南方程组进行求解。地理信息系统 (Geographical Information System, GIS) 能为地球上的空间对象提供数字表达形式, 水文模型则注重于模拟流动水体的时间过程以及地表地下水体中物质输移过程 (Jain, 1997)。显而易见, 两者之间具有紧密的关系。水文模型主要模拟水文现象的时间动态变化过程, 在已有的水文模型中, 计算域的空间离散一般很简单, 通常将计算域离散成为数不多的子计算域, 每一个子计算域性质被假定为均一的。GIS 能提高空间子单元的定义能力, 首先, 可对计算域进行更好的离散, 使计算域的空间变化能得到更好的表达; 其次, GIS 可为水文模型提供详尽的背景环境描述 (如 DEM, 土地利用类型等), 利用 GIS 工具能够准确地内插得到子计算域的空间参数; 而且, GIS 和水文模型的集成有助于得到中尺度至大尺度的水文模型, 其不仅能模拟水文过程的时间动态变化, 还有可能模拟水文过程的空间变化, 这在 GIS 出现以前是不可想象的。

## 1 地理信息系统与水文模型

### 1.1 水文产汇流模型中的若干问题

由于流域水文过程中的空间分布不均衡以及水文现象的复杂性, 以致至今还不能采用数学物理方程来描述径流形成过程中的每一个子过程, 在产流、汇流等环节上仍然主要借助于概念

\* 收稿日期: 2000-09-26; 修订日期: 2001-01-05

基金项目: 中国科学院知识创新工程领域前沿项目 (CXJ0G-D00-05); STA, fellowship (100025) from JST, 日本资助。

作者简介: 万洪涛 (1969 - ), 男, 江西吉安人, 中科院遥感应用研究所在读博士后, 主要从事地理信息系统与水文模型的集成, 地理信息系统及遥感在管理中的应用等研究。

性水文模型、水量平衡方程或经验公式。随着科学技术和计算机的迅速发展，流域水文数学模型在20世纪70年代和80年代得到了深入研究和广泛应用，一些比较著名的模型，如美国的斯坦福(Stanford)模型和萨克门托(Sacramento)模型、日本的水箱(tank)模型以及中国的新安江模型和陕北模型等都得到了广泛的应用。目前能够实际应用的流域水文模型常采用简单的下渗经验公式、经验流域蓄水曲线和水箱侧孔、低孔出流等来模拟产流过程；采用单位线、线性或非线性水库及渠道来模拟汇流过程。模型主要存在的问题为：

(1) 流域水文的物理机制 概念性流域水文模型仅涉及水文现象的表面而不涉及水文本质或物理机制。现有的流域水文模型在结构上与实际水文过程空间的分散性和不均匀输入是不匹配的。流域降水是分散地、不均匀地降落在流域上，各点产生的径流流至同一出口断面，具有分散性输入和集中性输出的特点，只有采用数学物理偏微分方程才能全面描述水文过程的这一特点。在实际应用中考虑这一问题时，几乎无一例外地采用划分单元面积的方法，在该单元面积上采用集中输入和集中输出的流域水文模型，最后将各单元线性叠加成出口断面的流量。这种处理是不合理的，如各单元降水量的空间变化、参数不同、产流机制有别、汇流过程不满足线性叠加原理等问题都未考虑(芮孝芳，1997)。因此，采用数学物理偏微分方程结构、反映水文变量与参数空间的分布式流域水动力学模型进行水文产汇流研究是十分必要的。

(2) 流域水文模型的计算稳定性问题 流域水文模型是否成功除了取决于合理的模型结构和参数外，还有赖于稳定的离散格式和有效的计算方法，也就是流域水文模拟计算应满足稳定性的要求。现有的流域水文模型大多采用显式差分格式来离散，几乎都没有考虑数值计算的稳定性问题，这在分布式水文数学物理模型中需要充分深入研究，分布式或分布式流域水文模型是国际上水文研究的热点(Bevan等，1984；Wood，1988；Sivapalan，1990)。在分布式水文模型中，考虑了降水的空间变化，计算域性质的空间分异，如土壤与地形的空间分布。这与以前的概念模型有了很大的差别(Sivapalan 1987)。在分布式水文模型中仍有一些假定：考虑降水的空间变化，但不考虑其时间变化，在暴雨期间，土壤含水量的再分配不考虑。从技术讲，要构成分布式水文模型的框架并不难，关键问题为水文单元划分、空间参数确定、产汇流机制确定和应用于实际流域(或水库)的有效模拟算法实现。

## 1.2 地理信息系统功能

GIS是一个采集、存储、分析和显示具有空间位置信息的计算机系统，是处理和分析地理数据的通用技术。它包含若干软件工具，用于输入、编辑、显示空间型和非空间型的地理数据；具有传统的地图功能，地图上的所有信息它都可以有，只不过将模拟信息变成了数字信息；它具有数据库管理功能，能够通过各种数据模型和数据结构将多源的、大量的地理数据统一存储与管理，可以进行各种查询、检索、统计；同时它还具有很强的分析功能，包括GIS中特定意义的空间分析，如空间数据的叠加分析、缓冲区分析、网络分析、地形分析等(Goodchild，1993)。除此以外，GIS、环境工程和水资源模型在紧密集成方面取得的进展，已大大增强了环境模型性能及其决策能力。在时空域中水文和环境是分散的。这些过程的模拟需要GIS这种空间数据管理技术。当前研究集中于GIS与分布式确定性模拟模型的集成。

## 1.3 地理信息系统在水文模型中的应用

GIS中用于空间数据及非空间属性数据的获取、存储、分析和显示的功能已趋成熟，并促使GIS和环境模型能更好地集成(Fedra，1993a；Nemani，1993)。然而，在计算机内表达复杂且动

态的自然现象过程并不是一件轻松的任务。

Maidment (1993, 1996) 和 Devantier (1993) 回顾了 GIS 在水文中的应用, Charnock (1996) 和 Kopp (1996) 论述了集成 GIS 与水文模型的不同方法。随着 GIS 技术的发展, 基于过程的分布式水文模型得到了一定的注意 (Beven 1992, Kovar 1996), 这是由于其应用连续的空间单位 (格网单元) 来进行数据存储和处理, 使数据易于叠加分析, 并且可从 DEM 中提取水文网络以用于建立水文模型。对三维数据和时序数据的快速恢复及更改是 GIS 用于水文研究的另一个优势 (Romannowicz, 1993)。

Ross (1993) 概述了水文模型中的 GIS 功能: 提供复杂的地图叠加分析和空间分析功能为水文模型处理输入数据。为不同空间比例尺的模型提供接口; 将不同投影和比例尺的数字地形数据转换成标准格式的数据; 图形输出模型结果用于结果评价。影响河道变化的复杂因素对数据获取提出了很高的要求, 而这是常规方法所不能满足的。GIS 可提供精确而有效的数据支持、提取和处理功能, 为之提供了最实际和可行的方法。GIS 有能力处理不同源的数据: 地图、航空照片、遥感影像和研究区的监测和实测数据资料。其在水文模型中以下几方面能发挥重要作用: 空间数据管理。GIS 能统一与水文模型相关的大量空间数据和属性数据, 并提供数据查询、检索、更新及维护方面的工具; 由基础数据层生成新数据层。如用地形数据计算坡度、坡向、汇流路径, 利用水系计算河流网络等; 为模型参数的自动获取提供可能。如从遥感数据中提取研究区的土地利用图, 然而根据土地利用图得到各计算网格的糙率系数等 (李纪人, 1996); 为水文建模提供方便。水文模型的求解往往采用有限差分、有限元等数值解法, 即把研究区剖分成规则格网或不规则格网, 这与 GIS 栅格数据结构 (GRID) 及不规则三角网 (TIN) 管理空间数据方式非常相似。因此, GIS 中的格网自动生成算法可用于生成水文模型中的计算网格 (马千程等, 1999); GIS 有利于分析计算的过程及结果可视化表达。GIS 的空间显示功能提供了优越的建模及模型运行环境, 为模型可视化计算带来可能, 有助于分析者交互地调整模型参数。

#### 1.4 地理信息系统与水文模型的集成

水文模型和 GIS 的集成方法和集成程度取决于水文模型的目标和复杂性、水文模型对基础数据和 GIS 功能的要求、界面的实用性以及数据模型的兼容性、硬件环境、GIS 和模型软件的系统结构等。水文模型与 GIS 的集成既可以是松散的集成, 也可以是复杂且完全的集成, Nyerges (1992) 根据集成程度的不同, 将 GIS 与环境模型集成方式分为四类:

(1) 独立应用 GIS 和水文模型在不同的硬件环境下运行; GIS 和水文模型中不同数据模型之间的数据交换通常是通过手工进行的 (如 ASCII 文件)。用户在 GIS 和水文模型的接口方面起的作用很大; 对用户编程能力的要求不高, 集成的效果也是很有限的。

(2) 松散耦合 松散耦合也是通过特殊的数据文件进行数据交换, 常用的数据文件为二进制文件; 用户必须了解这些数据文件的结构和格式, 而且数据模型之间的交叉索引非常重要。通过相对较小的编程努力, 得到的结果比独立应用稍好些。

(3) 紧密耦合 在这种集成方式中, 水文模型中的数据格式与 GIS 软件中的数据格式依然不同, 但在没有人工干预的条件下, 自动地进行双向数据存取。在这种集成中, 需要更多的编程工作, 且用户依然要对数据的集成进行负责。

(4) 完全集成 在 GIS 与环境模型完全集成的系统中, GIS 模块与环境模型为同一综合系

统的不同模块。数据的存取是基于相同的数据模型和共同的数据管理系统。子系统之间的相互作用非常简单有效。然而，这种集成方式的软件开发工作量很大且难度也非常大。采用共同的编程语言，集成系统可通过增加更多的 GIS 模块和外加的模型函数来拓展。

GIS 作为独立系统在水文中应用很成功(规划和管理、GIS 和水文模型的数据库),其与水文模型的耦合应用也很成功,能为 TOPMODEL 等分布式水文模型提供空间水文参数。由于 GIS 和专业模型通常都是复杂而又庞大的系统,重新实现或大幅度修改 GIS 或专业模型都是既费时又费力的工作,暂时还不能也没有必要以这种方式实现 GIS 和环境模型的无缝集成。在实际应用中,应根据构成集成系统的 GIS 和模型结构的不同,同时考虑到人力、物力和时间等因素,选择不同的集成系统体系结构。

## 2 计算域离散

### 2.1 流域单元与流域离散

在已有的水文模型中,最常见的方法是将流域视为一个集总系统,即在整个流域中,属性是空间平均的,不考虑地形的变化和实际河流水系及水文网络的空间分布。在集总模型中,空间特征被概化为零维的空间对象。随着计算机的计算能力逐渐强大,当前水文模型研究工作的重点已放在建立能反映一定物理力学规律的分布式水文模型。这就有必要将流域离散成更小的网格单元并得到更多离散子域。由于分布式模型利用了流域参数的分布式特性,其将是降雨径流模型的发展方向。当今有不少分布式模型正在开发和使用中,如 SHE 模型(Abbott, 1986)、Hydrotel 模型(Fortin, 1986)、USGS 降雨径流模型(Leavesley, 1990)、SLURP 模型(Kite, 1995)和 WATELOOD 洪水预报系统(Kouwen, 1988)及 TOPMODEL 模型(Beven, 1992)。

在分布式水文模型中,如何用面状单元来表达实际空间?不管选择什么面状单元对流域进行离散,单元内必定存在空间不均匀性。流域离散的基本原理多种多样。Wood(1988)推荐的一种方法是将流域离散成典型单元面积(Representative Elemental Areas, REA)。REA 被定义为流域内的面状单元,如果离散单元较小,则单元内水文特征是均一的。这种离散方法用于 SHE 模型(Wood 1990)。另一种离散方法为水文响应单元方法(Hydrological response unit, HRU)。流域被划分为具有相似水文特性的区域,如相同的土壤覆盖、坡度坡向等。Kite(1992)特别提到其计算单元应建立在 Hydrotel 系统中格网单元系统、或 USGS 模型中的子流域系统、或 SRM 模型中的高程分带概念的基础上。在这些软件中,HRU 会产生明显的水文响应,单元位置只对水流流程有影响(Donald, 1992),这与 REA 不同,在 REA 中单元位置将影响水文响应过程。土壤和水资源分析工具(Soil and Water Analytical Tools, SWAT)用于预测管理(气候和植被变化、水库调度、地下水利用、水分传输)对大流域水中沉积物和化学成分的影响。该模型将大的流域细分成性质相似的小区域,然后分析各小区域与整体的相互作用和相互影响,各个小区域是通过数据的聚类分析得到,用聚类方法从地图上消去小的或无关的地理特征,使详细的信息聚类成概化的值,使整个流域概化成性质相近的子流域。Kouwen(1993)描述了一种用于方格格网模型中的群体响应单元(Grouped Response Unit, GRU)。GRU 是一组具有相同土地覆盖的区域,一个方格格网可有许多不同的 GRU。将不同 GRU 中生成的径流相加,然后流入河流中。例如,两个 GRU 内各种土地类型及其比例一样,降水及初始条件一样,则不管其土地覆盖如何分布,它们将产生相同的

产流量(Kouwen, 1988; Tao, 1989)。Kite & Kouwen(1992)得出结论,与集总式日径流模型相比,基于土地覆盖的 GRU 方法的半分布式流域模型能更好地进行调参和验证。在 SLURP 模型(Kite, 1995)中,将流域离散成为许多被称为聚合模拟区(Aggregated Simulation Areas, ASA)的单元。一个 ASA 并不是性质均一的区域,但为一个性质相差相对较小的区域。例如,土地覆盖可从分辨率小至 10 m 的卫星上观测到,使用这么小分辨率的点数构建大尺度流域水文模型是不可行的。因此点则聚合成更适合于模拟的小区域。这些 ASA 并不一定为正方形、长方形或其他规则形状区域,并且其形状常基于流域网格形状。

## 2.2 洪水模型中的计算域离散

在二维洪水模拟模型中,网格、算法和边界处理对模拟实际水流运动同样重要。提高精度和分辨细部特征主要靠网格的合理布置和适当加密,模型计算量已越来越不成为模型的限制因素(谭维炎, 1998)。计算域可用有结构网格和无结构网格进行离散。

最早使用的有结构网格为矩形网格,矩形网格容易确定格子间的邻接关系,也利于用差商逼近导数;便于组织数据结构,程序设计简单,处理效率高。主要缺点是把计算域概化成锯齿形边界,陆地边界附近出现虚假的曲折水流,难以处理边界上的奇点(尤其是内凹点),边界解的误差较大。为了使网格边界与计算边界更好地进行拟合,贴体曲线网格得到了广泛的使用。但贴体曲线网格往往只能对几何形状简单的计算域建立离散网格。当研究区形状复杂时可用若干线段将研究域剖分为相对简单的子域后再分别建网,这时需要解决研究区子域之间网格的连接与数值解的协调等问题。

无结构网格常由任意三角形或四边形组成,无结构网格的优点是:与边界及水下地形拟合较好,利于边界条件的实现;便于控制网格密度,易于修改和进行适应性调整;建网比曲线网格容易,大型三角网可用程序自动生成。缺点是:格网排列不规则,需建立适当的数据结构以检索格子间的邻接关系,占用内存多(可达有结构网格的几倍);间接寻址费时,解的精度较低,数值解后处理工作量较大。因有限单元法求解效率低,无结构网格长期未能广泛应用,至 20 世纪 80 年代与有限体积法结合并经多年研究,逐步克服上述缺点,才得以流行(程晓陶等, 1997)。

## 3 地理信息系统与水文模型集成存在问题

GIS 和环境模型的集成是快速发展的研究领域。在基于 GIS 的环境研究初始阶段的 20 世纪 80 年代初期,研究工作主要集中在 GIS 技术方面,而现在应用研究也正在发展。随着 GIS 应用的深入发展,系统集成正在代替系统软件的开发成为最具活力的研究增长点。越来越多的研究人员意识到 GIS 空间分析功能的缺陷已经成为 GIS 进一步发展的障碍,集成作为融合各种技术的手段毫无疑问将促进 GIS 的深入应用。然而,专业模型通常都是独立于 GIS 在各自领域内发展起来的,其规模和程度可能和 GIS 一样复杂和庞大。同时空间数据的复杂性也加大了 GIS 与专业模型集成的难度,至今 GIS 的数据模型仍与各种环境模型的时空数据结构不匹配,GIS 软件系统还不具备能够同时高效处理空间和时间数据的能力,以及建立和检验基于物理过程的模型算法可变性的实用方法。系统的集成并不是 GIS 模块与模型系统模块以及其他软件模块之间的简单堆叠,而是各种模块经过修改后有机地组合过程,GIS 与专业模型之间需要的接口。在

应用水文学和水资源管理及模型模拟实践中，由于当前许多概念、方法、技术和实际应用方面存在的问题，使得 GIS 用户所要求的紧密集成非常复杂 (Fedra, 1993b)。影响集成的因素有四类：数据、概念、实际应用、研究人员与财政资助。

(1) 数据问题 在目前许多 GIS 的数据库中，数据的精度和质量不可知：数据的时间和空间比例尺与分辨率通常难以满足不同专业模型的需要；较复杂的环境模型所需要的数据常常很难获取，如二维洪水模拟模型中的水下地形高程数据以及摩擦系数等空间分布数据和参数。一般的环境模型很难获得高精度空间分布数据与准确的空间参数；环境模型与 GIS 之间总是存在着大量的数据交换与数据转换，然而由于模型和 GIS 之间通常选取了不同形式和结构的数据，它们之间的数据交换是很难实现的，从而影响数据的可用性 (Carver 等, 1995)；特别是来自不同源大型数据库中的数据之间的转化，一般需要有公认的数据交换协议，至少应该公布数据格式，使用户能编程读取 (Lam, 1996)。

(2) 概念上的障碍为 GIS 缺少时间维 (Kemp, 1993) 时间对模拟水文过程具有特别的意义，这是由于组成水文圈的各个分过程 (如降水、入渗、蒸发、径流等) 都是随时间变化的过程。从技术的角度来看，几乎在所有的水文模型中，水文过程的时间变化比水文现象的空间变化更为重要。只有在极少数的例子中，水文过程的空间分异支配模型的结构。在当前的 GIS 中，水文现象的时间变化仅仅作为空间环境结果来进行模拟。为更好地与环境模型相结合，需要建立具有时间维的四维 GIS。

(3) 技术方面为商用 GIS 系统结构不利于集成 在广泛应用的关系数据库管理系统中，数据文件的输入和输出转换功能都不完全，GIS 软件对这类数据库进行直接访问仅仅是对属性数据进行操作。对于空间几何数据、标准的概念和逻辑数据模型以及与成熟的 SQL 类似的查询语言只处于初级阶段，还没有达到实用的程度。能够访问 GIS 内部功能的标准程序接口很少。GIS 中的数字和统计程序通常没有足够的精度评价指标作为用户评价的应用结果的标准。

GIS 与环境模型的集成的另一技术困难为计算机编程语言的选择。专业模型一般是用底层编程语言实现的，用 GIS 中的宏语言则很难实现的。这些模型一般单独实现，然后通过特定的接口程序与 GIS 软件相连。由于编程能力的要求，许多环境学专家无法开发或修改数值模拟模型，而且，即使不存在程序编写能力问题，修改程序代码也是一件既费力又费时的的工作。

(4) 影响 GIS 和水文模型紧密集成的人员和财务资助因素 对于一般的环境模型用户，各种 GIS 软件仍然太复杂，不易掌握且缺乏标准化的操作方法，需要花费大量的时间去学习，才能很好地使用 GIS 软件，这无形为 GIS 与环境模型集成增加了难度。专业模型开发人员不熟悉 GIS，对 GIS 软件的基本功能和优缺点没有充分认识与了解，因此很少利用 GIS 的空间分析功能辅助环境模型的建立。模型的实现人员一般为非专业软件程序员，只注重物理模型的实现，而不关心软件代码的规范化，在模型代码中，模型的基本假定与方法说明并未作为模型的一个有机成份，不利用模型用户对模型的选择与使用。此外，一些水文学家认为，在不熟悉水文模型优缺点的 GIS 用户操作下，复杂的水文模型使许多敏感参数得不到控制 (Grayson 等, 1993)，而且具有友好用户界面和良好可视化效果的集成系统，将会导致不熟悉水文规律的用户草率地对一个非常复杂的水文模型进行操作，并随意改动水文参数，从而得到不合理的模拟结果，而了解造成这些结果的原因。

GIS 与模型的集成需要从各个方面考虑彼此的接口问题，需要数据生产人员、GIS 的开发

人员和模型研制人员共同努力,从而建立起综合实用的统一集成环境。一方面,从事 GIS 的人员必须了解环境模型构模的要求,把更多的数学分析方法和环境模型纳入到 GIS 应用产品之中;另一方面,模型建模人员必须熟悉 GIS 的基本功能,并充分考虑 GIS 的数据结构,从而在彼此之间找到共同的基础。

#### 4 地理信息系统、遥感与水文模型的有机集成

复杂而又具有物理意义的分布式水文模型的发展极大地提高了对空间数据的要求。同时,传统数据收集部门受到了极大的压力,传统地面观测站网的密度远不能满足模型对数据的要求。而遥感(RS)方法是一种费用较低的数据收集技术(Koblinsky, 1992)。在洪水演进模型中,RS 数据可用于得到研究区的土地利用类型,土地利用类型图可用于估算计算网格的糙率系数;利用 RS 数据估算降水、土壤含水量的研究已成为当今水文与 RS 研究的一大热点。

现已有大量携带不同传感器的遥感卫星,如多光谱传感器、高分辨率可见光传感器、不同类型的雷达、微波辐射计等。较有名的系统为美国国家海洋和大气管理局的 NOAA 卫星系列、欧空局的 ERSI、Argos 数据收集和定位卫星系统、美国 Landsats 系列、法国的 SPOT 1 和 2、日本的静止气象卫星以及加拿大的 C 波段雷达卫星 RADARSAT。在不久的将来,有更多不同来源的多光谱、多时态、多元数据可使用。长期监测项目要求具有高时间分辨率(12 h)、中等空间分辨率(100~250 m)及持续的数据收集系统(传感器)和数据集。中等分辨率的影象光谱仪能改善 RS 数据的收集。除了高时间分辨率和中等空间分辨率外,这些系统可提供极好的光谱分辨率,可改善在水文中应用的效率。

为使 RS 数据影象处理和 GIS 时空分析在水文中应用,影象处理、GIS 和 DBMS 的完全集成是必要的。未来基于人工智能的解译系统(专家系统)先验专家知识,这都存于数据库中,使用者可用其解译结果和新发现(或认识)更新该数据库。RS 有大量的数据、重复的处理过程(时间序列数据分析)以及需要很多自然和地理方面的先验知识,因此是专家系统应用的理想领域,其与 GIS、RS、水文模型和数据库管理系统的完全集成是集成研究的目标。

#### 参考文献:

- [1] Abbott M B, Bathurst J C, Cunge J A, *et al.* An introduction to the european Hydrological System. SHE, 1; History and philosophy of a physically-based distributed modeling system[J]. *J Hydrol* 1986, 87:45 - 59.
- [2] Beven k J, Moore I D. Terrain Analysis and Distributed Modeling in Hydrology[M]. Edited by K J Beven, I D Moore (Chichester: John Wiley and sons Ltd), 1992, 213-226.
- [3] Devantier B A, Feldman A D. Review of GIS application in hydrologic modeling[J]. *Journal of Water Resources Planning and Management. Proceeding of the American Society of Civil Engineering* 1993, 119:246-261.
- [4] Donald J R. Snowcover depletion curves and satellite snowcovers estimates for snowmelt runoff modeling[M]. Phdthesis, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- [5] Fedra K. GIS and Environmental Modeling. In *Environmental Modeling with GIS*[M]. Oxford: Oxford University Press. 1993, 35-50.
- [6] Fedra K. Models, GIS, and expert system: integrated water resources models[A]. in Lovar K, Nachtnebel. H. P. (Eds.), *Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management*[C]. *Proc. HydroGIS 93*,

- Vienna 297 - 308, IAHS Publ. 1993, 211, Wallingford: IAHS Press.
- [7] Fortin J P, Villeneuve J P, Cuilbot A, Seguin B. Developing a modular hydrological forecasting model based on remotely sensed data for interactive utilization on a microcomputer[A]. In: Hydrologic Application of Space Technology[C]. ed. A I Johnson, 307 - 319. IAHS publ. 1986, 160.
- [8] Goodchild M F. The state of GIS for environmental problem solving[A]. In Environmental Modeling with GIS edited by M F Goodchild[C]. B O Parks L T Steyaert (New York: Oxford University Press) 1993.
- [9] Grayson R B, Goschi G, Barling R D, Moore I D. Process, scale and constraints to hydrological modeling in GIS, in Kovar, K. and Nachtnebel H. P. (Eds), Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management[C]. Proc. HydroGIS '93, Vienna pp. 297 - 308, IAHS Publ. No. 211, Wallingford: IAHS Press. 1993.
- [10] Jain S K, Chowdhary H, Seth S M, Nema R K. Flood estimation using a GIUH based on a conceptual rainfall-runoff model and GIS[J]. ITC journal 1997, 1: 20 - 25.
- [11] Kemp K K. Environmental modeling and GIS: dealing with spatial continuity[A]. In Kovar K, Nachtnebel H P (Eds). Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management[C]. Proc. HydroGIS '93, Vienna pp. 297 - 308, IAHS Publ. No. 211, Wallingford: IAHS Press. 1993.
- [12] Kite G W, Kouwen N. Watershed modeling using land classification[J]. Wat Resour Res. 1992 28(12): 3 193 - 3 200.
- [13] Kite G W, Kouwen C D. Land cover, NDVI, LAI, and evapotranspiration in hydrological modeling. In: Application of Remote Sensing in Hydrology[A]. ed. G W Kite, A Pietroniro, T D Pultz, . Proc. Symp[C]. NHRI, Saskatoon, Canada. 1995, 14: 223 - 240.
- [14] Koblinksky C J, Gaspar P, Lagerloef G. The future of spaceborne altimetry: Oceans and climate change[A]. Joint Oceanographic Institutions Incorporated[C]. Washington, D. C. USA. 1992.
- [15] Kouwen N. WATHLOOD: a micro-computer based flood forecasting system based on real-time weather radar[J]. Can Wat Resour J. 1988, 13(1): 62 - 77.
- [16] Kouwen N, Soulis E D, Pietroniro A, et al. Grouped response units for distributed hydrological modeling[J]. J Wat Resour Plan Manag ASCE. 1993, 119(3): 289 - 305.
- [17] Kovar K, Nachtnebel H P. Application of Geographical Information System in Hydrology and Water Resources Management[J]. IAHS Publication 1996, 235 (Wallingford: IAHS)
- [18] Lam D C L, Swayne D A, Mayfield C I, Cowan D D. Integration of GIS with other software systems: Integration versus interconnection[A]. Presented at the Third International Conference on GIS and Environmental Modeling[C]. Santa Fe, New Mexico, Jan, 1996. 20 - 25.
- [19] Leavesley G H, Stannard L G. Application of remotely sensed data in a distributed parameter watershed model[A]. In: Application of Remote Sensing in Hydrology[C]. ed G W Kite, A Wankiewicz. 47 - 68. Proc. Symp. No. 5, Saskatoon, Saskatchewan, Canada. 1990, 5: 47 - 68.
- [20] 李纪人. 遥感、地理信息系统和水文模型研究[A]. 遥感在中国——纪念中国国家遥感中心成立 15 周年论文集[C]. 北京: 测绘出版社. 1996.
- [21] 马千程, 等. GIS 支持下的计算网自动生成技术[J]. 水科学进展, 1999, 10(1), 37 - 42.
- [22] Maidment D R. GIS and hydrologic modeling - An assessment of progress[A]. In Environmental Modeling with GIS[C]. edited by M F Goodchild, B Parks, L Steyaert (Oxford: Oxford University Press) 1993, 35 - 50.
- [23] Nemani R, Running S W, Band L E, Peterson D L. Regional hydroecological simulation system: an illustration of the integration of ecosystem models in a GIS[A]. In Environmental Modeling with GIS[C]. edited by M F Goodchild, B Parks, L Steyaert (Oxford: Oxford University Press), 1993, 297 - 304.
- [24] Nyerges T L. Coupling GIS and spatial analytic models: Spatial Data Handling[A]. Proceedings of the 5<sup>th</sup> international symposium on spatial data handling[C]. Charleston, South Carolina, USA, 3.-7.8. 1992, 2. 534 - 543.



- [25] RIVM, 1997, Nationale milieuverkenning 1997 - 2020[M] (Samsom:Alphen a/ d Rijn) .
- [26] 芮孝芳. 流域水文模型研究中的若干问题[J]. 水科学进展, 1997, 8(1):94 - 98.
- [27] Romannowicz R, Beven K, Freer J, Moore R. TOPMODEL as an application within WIS[A]. In Application of Geographical Information System in Hydrology and Water Resources Management [C]. IAHS Publication no. 235 (Wallingford: IAHS). 1993, 211 - 223.
- [28] Ross M A, Tara P D. Integrated Hydrologic modeling with Geographic information system[J]. Journal of Water Resources Planning and Management. Proceeding of the American Society of Civil Engineering, 1993, 119:129 - 139.
- [29] Sivapalan M, Beven K, Wood E F. On hydrologic similarity. 2. A scaled model of storm runoff prouction[J]. Water Resour. Res. 1987, 23(2):2 266 - 2 278.
- [30] Sivapalan M, Wood E F, Beven K J. On hydrologic similarity. 3. A dimensionless flood frequency model using a generalized geomorphologic unit hydrograph and partial area uenoff generation[J]. Water Resour Res 1990, 26(1):43 - 58.
- [31] 谭维炎. 计算浅水动力学——有限体积法的应用[M]. 北京:清华大学出版社. 1998.
- [32] Tao T, Kouwen N. Remote sensing and fully distributed modeling for flood forecasting[J]. J Wat Resour Plan Manag Div ASCE 1989, 115(6):809 - 823.
- [33] Wood E F, Sivapalan M, Beven K, Band L. Effects of spatial variability and scale with implications to hydrologic modeling[J]. J Hydrol 1988, 102, 29 - 47.
- [34] Wood E F, Sivapalan M, Beven K. Similarity and scale in catchment storm response[J]. Rev Geophys, 1990, 28(1):1 - 18.

## Integration of Geographical Information System Technology and Hydrological Model

WAN Hong-tao<sup>1</sup>, ZHOU Cheng-hu<sup>2</sup>, WAN Qing<sup>2</sup>, LIU Shu<sup>2</sup>

(1. Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China;

2. LREIS, Institute of Geography Science and resource, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The conceptual hydrological model, which doesn't consider the spatial variation of the hydrological variable and parameter, mainly simulates the temporal process of the hydrological phenomenon in the catchment. Due to the increasing capacity of acquiring, archiving, storing, analyzing and visualizing the spatial geographical data, the distributed hydrological model, which considers the spatial variation of hydrological variable and parameter, is trend and focus in the hydrological research in the near future. In the paper the integration of geographical information system (GIS) and hydrological model are in detail discussed in two aspects: one is the integrating method of GIS and hydrological, and the other is the spatial discretion of the computational domain. In the end, the problem and future of integrating GIS, remote sensing and hydrological model are elucidated.

**Key words:** geographical information system; hydrological model; integration; remote sensing