

文章编号: 1009-6248(2003)01-0109-05

GIS技术及其在水文学和水资源管理方面的应用

王疆霞, 李云峰, 徐中华

(长安大学, 陕西 西安 710054)

摘要: 介绍了地理信息系统(GIS)技术及其发展现状。通过实例介绍了GIS在水文学和水资源管理方面的典型应用, 并提出了今后地理信息系统在水文学和水资源管理领域应用发展的建议。

关键词: 地理信息系统; 水文学; 水资源管理

中图分类号: P641 **文献标识码:** A

地理信息系统(Geographic Information System, 简称GIS)是介于信息科学、空间科学和地球科学之间的交叉学科与新技术学科, 是专用于地理空间信息处理和管理的计算机技术系统。GIS是一种有效地收集、存贮、分析、再现空间信息的信息系统。它不仅利用属性数据, 更重要利用空间数据, 将地理空间模型化并存储在计算机中, 便于对地理信息的快速查询、空间分析, 以达到对研究对象进行描述、模拟和预测的目的^[1]。

一个完整的地理信息系统一般由硬件、软件平台、信息功能模型4个要素组成。一般习惯将GIS特指作为特定软件系统开发工具的通用地理信息系统平台, 而将在GIS平台上开发的用于实际应用目的的数据、模型和计算机程序的总和称为地理信息系统, 作为一种20世纪60年代才开始出现的新兴技术, GIS表现出了巨大的发展潜力, 经过30多年的发展, 今天的地理信息系统从硬件、平台、信息、功能直到应用领域等方面都发生了革命性的变化^[3]。

1 GIS技术及其发展

1.1 软件平台

目前, 多数地理信息系统都使用某一GIS软件作为开发平台, 而起初是没有这样一种通用软件的,

自1965年W.L.Garrison提出了“地理信息系统”这一术语, 20世纪60年代中后期, 许多研究GIS的组织和机构纷纷建立并开展工作, 最初的系统主要是关于城市和土地利用的, 多是根据各个项目的需要分别设计, 但随着同类工作的不断重复, 开始有人意识到需要开发一种通用的程序来代替有共性的工作, 于是不断发展就形成了今天作为地理信息系统开发平台的GIS软件。

目前, 国内外应用较多的GIS产品有Arc/Info、MapInfo、Genesys、Idrisi等, 这些都是经过市场检验, 有一定特色和长处, 比较成熟的商业软件。在国家支持下, 我国也在开发自己的GIS平台, 如北京大学的Citystar, 中国地质大学(武汉)中地公司的MapGIS等。但总的来说, 国内的GIS软件还不很成熟。

目前, GIS的发展表现出工具多样化、操作简单化、信息超平台化和网络化的趋势。同时, 一些通用的、并非以空间信息处理为主要目的的软件也开始将GIS技术作为一个组件纳入其体系, 这也是目前一些综合性软件包的发展趋势之一。

1.2 信息

信息, 尤其是空间信息的质量、来源以及更新速度, 很大程度影响着GIS的质量。随着GIS及其他高新技术的发展, 信息的来源、精度及更新速度也在发

生着巨大变化。

早期地理信息系统的信息是依据各种专题地图及其统计信息通过人工输入的,既费人力又费资金,而且速度慢,精度受人为影响大,随着信息采集方式的发展,这种方式所占的比例也将越来越小。遥感技术(RS)的产生和发展,使地学信息的获取和分析处理方法及其研究手段发生了一场革命。RS与GIS的集成,RS以其观测范围广、获取信息量大、速度快、实时性好及动态性强等特点,为GIS支持下的实时决策和研究提供了很大方便。GPS(Global position system)是近几年才发展起来的一项技术,能确定地面任一位置精确的三维坐标,GPS使遥感数据对地定位具有全球范围、连续以及精度高的特点,使GIS的优势更能充分发挥。经过几十年的发展,在GIS应用过程中积累了大量的空间和属性数据库。随着各国对建立和统一地理空间数据标准的重视,以及电子地图及各种数据库价格的日趋低廉,这些电子地图和数据库将有望成为地理信息的最大来源。

1.3 功能

早期的GIS只是作为数字化或显示地图的工具使用,但随着实际经验的累积和各种相应技术的不断发展,很多GIS软件都已可以很方便的提供一些常规的地理信息系统所必要的功能,如空间数据管理、界面制作、统计图形制作、基本空间分析功能、网络分析以至空间数据复杂统计分析等。一些基本功能如空间数据的输入、编辑、属性数据的管理也变得越来越简单,节省了大量编程工作,使用户可以将精力放在更专业更深层次的功能开发上^[2]。

就更深层次更专业的功能开发而言,一方面, GIS的应用领域在不断扩大。近几年, GIS发展的一个强劲势头之一就是向传统非GIS领域渗透,如一些商业部门开始利用GIS进行客户研究;此外,同RS、GPS的结合为GIS开拓了更加广泛的应用空间,如汽车导航、环境监测等^[1]。另一方面, GIS功能在纵深方向上也有很大发展。在相关基础理论支持下,根据各种数据间相关关系建立一定的模型,并与GIS及其他计算机技术有机结合集成,以更科学地表达来模拟现实系统的结构、功能及其发展变化规律,提高其定量分析能力,已成为专业化地理信息系统的基本要求。GIS与一些传统的地理信息系统应用领域的结合点,主要在其定量分析能力的提高上,并为其进一步的定量化服务^[2]。作为一种信息处理工具,

GIS技术在某一领域的应用不仅使一些数据及其关系的分析变得更为方便、简单、直观,而且在一定理论和模拟指导下能随时提供可与现实系统运行相比较的模拟结果,为其校验提供迅速可靠的依据。同时, GIS以其信息更新处理的实时、高效,为其在一些要求实时决策的领域的应用提供基础。但是,由于受到研究领域本身生产、管理、研究的需要及该领域研究水平的限制, GIS与专业领域结合及功能拓展的成功与否,最关键的还决定于对所涉及领域问题的了解和把握程度^[2]。

2 GIS在水文学和水资源管理方面的应用

水文学研究和水资源管理,主要与各水文要素的空间运动过程有关, GIS以其擅长对空间信息进行管理和分析,在该领域发展迅速。自20世纪70年代起,美国田纳西流域管理局利用GIS技术处理和分析各种流域数据,为流域管理和规划提供决策服务, GIS开始应用于水文学及水资源管理。进入80年代后,随着计算机技术的飞速发展, GIS在水文学及水资源管理领域的发展也非常迅速,美国测绘研究会(ACSM)及美国摄影测量与遥感学会(ASPRS)1986年年会,在GIS专题交流中已有一些GIS应用于水文学及水资源管理中较有实用价值的系统与理论研究成果;国际水文科学协会(IHHS)于1993年4月在奥地利维也纳召开了GIS在水文学及水资源中的应用专题国际会议,并出版了论文集;1995年7月在美国科罗拉多大学召开水资源系统的模拟与管理专题学术讨论会,其中包括GIS的应用子题;1996年4月又在维也纳召开了GIS在水文学及水资源中的应用专题国际会议。这些会议为有关的研究和决策部门提供实用的GIS。此外还对GIS在各部门的可用性做出评价^[3]。GIS在水文学和水资源管理方面的应用越来越广泛,现从以下几方面进行简要叙述。

2.1 GIS对水文数据信息的管理与分析

由于水文数据的时空分布复杂,涉及地形、地貌、地质构造、水文地质条件、河流水系、水文气象、土壤植被和水利工程等诸多因子,反映这些因子及各因子间相互关系等的数据量十分庞大,而且有些因子随时间变化很快,其获取、存储、查询、处理费时、费力,地理信息系统为解决上述问题提供了有利的技术手段。

目前, GIS对水文数据管理包括时空数据的综合、矢量与标量数据的综合、遥感数据处理及作为水文模拟基础的GIS数据管理等^[3]。同时,利用GIS提供的基本空间分析功能(迭置分析、缓冲区分析等)对空间信息进行各种复杂的空间运算,可实现多元地理信息的叠加分析,以及图形与属性的双向查询,从而了解空间实体的空间分布特征和空间关系。此外,应用表格的统计分析和空间数据的叠加运算,还可对数据进行条件量化分析和定量分析^[1,9]。随着GIS的交互式图形(像)处理和自动制图工具的较好运用,增强了数据管理与分析的可视性,将数据管理水平提高到一个新高度^[3]。随着Internet/Intranet的迅速发展,利用Internet技术在Web上发布水文数据信息供用户浏览、使用,也是GIS发展和水文数据管理进步的一种新趋势。

2.2 GIS与水文模拟

大部分水文学问题具有明显的三维空间性质,因此,水文模拟较强调复杂的空间分配模型的运用^[3]。水文模型的产生是对水文循环规律研究的必然结果,水文模型在水资源开发利用、防洪减灾、水库、道路、城市规划、面源污染评价、人类活动的流域响应等諸多方面,得到了广泛应用。近年来, GIS在水文模拟中得到了广泛应用, GIS不仅可以管理空间数据,用于模型的输入输出,而且,可以将水文模块植于GIS系统,用户只需根据GIS开发的界面操作,不需涉及水文模型本身。其结合有3种方式,即:GIS软件中嵌入水文分析模块、水文模型软件中嵌入部分GIS工具及相互耦合嵌套的形式^[1,4]。GIS的应用可以使模型进一步细化,从而深入认识水文现象的物理本质^[3]。当今数字地形模型(DTM)、数字高程模型(DEM)存储的地形信息为流域水系信息参数的自动化提取提供了可能^[5]。通过GIS提取流域基本特征,不仅可以与传统的概念性水文模型相结合,更重要的是为分布式的水文物理模型研制提供了平台^[4]。目前,已出现了许多商业化的集成软件和专业软件,如WM S(Watershed Modeling System)模型系统,它是美国Brigham Young大学环境模型实验室(EMRL)开发的专业水文模拟处理软件,提供水文模拟全过程的工具,包括流域、子流域的自动生成、几何参数的计算、水文参数(如汇流时间、降雨深等)的计算等,并能实现模拟结果的可视化。WM S可以使用矢量地图、DEM、TIN等格式的数据来进行地形分析和水文模

拟,嵌入了多种传统的概念性水文模型,包括IIEC-1、NFF、TR-20、TR-55、Rational Method、IISPF等,根据自动提取的流域参数进行水文模拟,可以用于洪水预报、水库设计、城市规划等^[4]。

2.3 GIS与水资源管理

2.3.1 GIS在水资源规划方面的应用

水资源的科学规划、合理利用是当今社会资源配置的重中之重的大问题。基于GIS的水资源规划管理被认为是一种灵活的规划工具,能够克服传统的大尺度战略规划的缺点。借助此类基于GIS的管理系统可以自动生成流域自然地理和社会要素底图,以及以这些底图为基础的流域水资源供需图、灌溉规划图、水污染分布图、洪水来源以及洪水影响图等,还可以完成流域内水资源蓄量、分布、水资源与人口分布关系的分析、水资源与区域社会关系的分析、预测信息等地理分布上的查询和管理,其中包括单一对象相关信息的查询,以及剖面显示、补给和开采模拟等^[6,7]。南非水利林业部开发的国家水资源管理系统,利用GIS模拟发展前景方案,以便更好地把握国家水资源管理政策的方向^[8],我国于20世纪90年代建成的国家基础地理信息系统在全国水资源规划管理中同样有着举足轻重的作用,比如该系统在南水北调工程进行可行性分析、调水方案比较研究、调水路线设计、施工管理和监测、效益分析等方面提供信息支持,为加强工程前期工作的完成和工程的实施做出了贡献^[9]。

2.3.2 GIS在水资源管理决策支持系统方面的应用

决策支持系统(DSS)主要由3个部分组成,即信息管理人员、分析工具和计算机用户界面。它利用数据库、模型库和方法库及很好的人机对话(用户界面)部件和图形部件,帮助决策者进行半结构化或非结构化决策。GIS与DSS结合称为空间决策支持系统, GIS对决策支持系统最主要和最有力的贡献是空间数据库识别、空间数据分析和图像显示^[10]。下面以实例介绍GIS在水资源管理决策支持系统方面的几种典型应用。

(1)地下水资源管理 中国地质大学李门楼等建成河北平原区域地下水资源决策支持系统,该系统以ArcView GIS为平台,以空间地质、水文地质信息为基础,融合了目前先进的地下水水质、水量模拟系统和统计分析等技术,同时借助ArcView GIS提供的二次开发语言 Avenue,使界面更符合专业应用需

要, 利用Visual C⁺⁺, VFP6.0等开发方法模型库。系统将有关的预测预报系统、统计分析工具与GIS的空间数据库联系起来, 实现了水流、水质等模拟模型与数据库之间的动态结合, 使系统具有实时评价、预测等辅助决策的功能。在实际应用中, 他们已经模拟了未来10年时间段全区地下水因超采引起水位或水头的空间变化, 预测由此诱发的最大地面沉降和空间分布态势; 预测了咸水体扩展的可能空间范围等。基于此提出了不同时间、不同开采条件下地下水利用的多种可选方案^[11]。

(2) 流域供水管理 针对新疆干旱缺水的典型——头屯河流域, 刘志辉提出了一个集流域信息、数据库管理、实时监测、水量预测、洪水预报、水库排沙调度、需水量计算、水土平衡、优化供水决策、系统在线帮助等为一体的流域供水管理决策系统的总体开发设计思路。该系统将实时水情及供水信息数据库与GIS空间数据库有机联接, 实现实时洪水预报及报警并实时监测灌区供水时空分布, 通过空间数据库与洪水预报、水量预测、防洪调度、水库排沙、优化供水调度等模型动态结合, 为水库的调度和灌区的水量优化管理提供科学决策方案^[11]。

(3) 水环境管理 由北京大学、长江流域水环境监测中心开发的全国水环境决策支持系统是一个面向国家、流域、省(市)及某一具体区域的多目标、多层次、多参数的水环境管理信息分析、决策方案模拟与优化的综合系统。该系统借助GIS强大的空间信息分析处理能力, 在利用全国7大流域及其主要支流地形、地貌、土壤、植被、气象、水文、河流水力特征等基础信息的基础上, 结合流域土地利用状况、污染源排放情况、污染事故情况等污染信息, 利用模拟河流水质变化特点的多种河流水质模拟计算机模型, 为决策者提供: 全国7大江河、某一流域或某一区域的历史、现状水质空间分布情况; 全国7大江河、某一流域或区域在具体某一特征条件下的水质时间、空间分布预测; 某一流域、某一区域的可能的污染物总量控制方案及其实施效果、污染控制方案优化; 全国7大江河污染事故发生后可能的影响程度与范围, 事故发生后控制措施选择及其实施效果模拟^[12]。

(4) 洪涝灾害防治 许有鹏等人自1995年开始在宁波市建设基于GIS的防汛网络信息系统, 初步实现了全市雨情、水情、工情及防洪决策信息的快速传递, 并实现了水情的查询显示、水情监测、历史洪水

查询等功能。目前, 在甬江流域(重点奉化江支流)上实现了洪水预警和防汛减灾决策, 主要包括GIS支持下的洪水模拟预测、灾情预估和洪水调度模拟等。系统根据流域实时水情信息, 可进行快速的洪水预报和实时校正预报, 借助于DTM模型和数据库支持进行相应洪灾预估, 在此基础上预测未来洪水变化趋势, 并确定流域最佳防洪减灾的洪水调度方案, 并用GIS显示出来。用户还可以从ES获得帮助, 根据专家的意见来提出优化的防洪减灾建议。初步实现了中小流域防洪减灾辅助决策, 并取得了较好的应用效果^[13]。

2.3.3 GIS在水资源保护方面的应用

在有关GIS平台上开发的水质监测与评价GIS系统将给水质监测断面的科学布设、监测成果管理、资料查询带来极大的方便。在GIS平台上开发的城市污水处理地理信息系统, GIS系统将发挥其优越的空间信息处理能力, 按照有关要求进行城市污水处理厂规划设计, 提供给工程师们合理的城市污水处理厂分布、规模及管道布设方案等, 并以直观的图像显示。在水资源保护规划方面, GIS系统能根据规划者的要求确定不同的规划方案, 同时模拟各种方案实施后的实际状况, 并以图像的形式显示, 使规划者可根据管理的需要选择合适的方案。特别是当污染事故发生时, 了解事故地点、污染源排放强度、当时的水文情势等基本信息后, 能借助GIS迅速模拟预测污染物未来的时空分布特征, 从而为迅速采取有关应急措施提供管理决策依据^[12]。

3 水文学研究和水资源管理对GIS的发展需求

(1) 迄今开发的大部分系统的可视化功能还存在着画面单调、运行速度慢等缺点, 因此, 开发界面友好的系统, 特别是图形、图像界面的开发应用以及计算机图形、图像模拟技术的研究是当前一个值得重视的课题。

(2) 传统的GIS在表示复杂的地理要素、真三维空间模型、时空模型及综合空间分析方法等方面还存在着难以克服的问题^[14]。鉴于水文变化过程具有明显的时空动态特征, 所以需要开发能实现三维和四维空间分析和显示的软件用于水文模拟和水资源管理。

(3) 实现“3S”一体化, 将使GIS具有获取准确、

快速定位信息的能力,实现数据库的快速更新并在分析决策模型支持下,快速完成多维、多元复合分析。“3S”技术最终将形成新型的地面三维信息的实时或准时获取与处理系统,这对于水文学研究和水资源管理领域的发展具有深远的意义。

(4) 目前,一些GIS软件包中均提供了网络分析功能,但它们只适用于街道网络的交通线路安排和资源分配等。由于水流与交通车流的特征不同,需要对目前GIS网络分析模型中所采用的算法作进一步改进,才能适用于水资源领域。

(5) 将GIS、人工智能(AI)、专家系统(ES)、模拟等技术有机地综合,无疑将在未来的水文学和水资源管理领域得到最广泛的应用。

参考文献:

- [1] 邬伦, 刘瑜, 张晶, 等. 地理信息系统-原理方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 赵玉霞, 赵俊琳. GIS技术及其在区域水环境管理中的应用[J]. 水科学进展, 2000, (3): 339-344.
- [3] 魏文秋, 于建营. 地理信息系统在水文学和水资源管理中的应用[J]. 水科学进展, 1997, (3): 296-300.
- [4] 吴险峰, 刘昌明. 流域水文模型研究的若干进展[J]. 地理科学进展, 2002, (4): 341-348.
- [5] Marzt W, Garbrecht J. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models [J]. Computers & Geosciences, 1992, 18(6): 747-761.
- [6] 姚鹤岭. GIS在水资源综合开发中的应用[J]. 人民黄河, 2003, (3): 19-21.
- [7] 王宏岩, 崔丽洁. GIS技术在水文水资源领域的应用[J]. 东北水利水电, 2002, (10): 38-39.
- [8] D.R. 麦克佛森. GIS在南非水资源管理中的应用[J]. 水利水电快报, 1995, (2): 22-2.
- [9] 王东华. 国家基础地理信息系统辅助南水北调工程规划设计[J]. 遥感信息, 1995(3): 1-3.
- [10] 钟华平. 地理信息系统在水文地质方面的应用[J]. 水文地质工程地质, 1995, (1): 35-37.
- [11] 李门楼, 胡成, 陈植华. 河北平原区域地下水水资源决策支持系统设计与开发[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, (2): 222-226.
- [12] 尹魁浩, 翁立达. 地理信息系统技术在水资源开发利用和保护领域中的应用[J]. 水资源保护, 1999, (1): 10-14.
- [13] 徐有鹏, 李立国, 俞红军, 等. 宁波市防汛网络信息系统建设研究[J]. 水文, 2001, (3): 23-26.
- [14] Zhou Qiming, et al. Development of a GIS Network Model for Agricultural Water Management in a Floodplain Environment [A]. Proceedings of International Conference on Modeling Geographical and Environment Systems with Geographical Information Systems [C]. Hong Kong: Department of Geography, The Chinese University of Hong Kong, 1998, 179-189.

Geographic information system and its applications to hydrology and water resources management

WAN G Jiang-xia, LI Yun-feng, XU Zhong-hua

(Chang'an University, Xian 710054, China)

Abstract: This paper presents the latest development of Geographic Information System (GIS). Based on several cases, the typical applications of GIS in Hydrology and Water Resources Management is introduced. And some suggestions are proposed to apply GIS to the Hydrology and Water Resources Management in the future.

Key words: GIS; hydrology; water resources; management