

GIS 技术在水资源和水环境领域中的应用

彭盛华¹, 赵俊琳¹, 袁弘任²

(1. 北京师范大学环境科学研究所, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875;

2. 长江水资源保护科学研究所, 湖北 武汉 430051)

摘要: 介绍了地理信息系统 (GIS) 技术在国内外水资源和水环境领域中的应用情况及研究的最新动态, 并对 GIS 技术在水资源和水环境领域中的应用情况进行了总结与归纳。此外, 还对水资源和水环境领域中应用 GIS 所面临的一些问题进行了探讨。

关 键 词: 地理信息系统; 水资源; 水环境

中图分类号: P 407.8; X 824 **文献标识码:** A

地理信息系统 (GIS) 是专用于地理空间信息处理和管理的计算机技术系统。水资源和水环境及其相关数据均具有空间分布特性, 这决定了 GIS 可以在该领域发挥重要作用。GIS 能支持与水文和水环境有关的地理空间数据的获取、管理、分析、模拟和显示, 以解决复杂的水资源、水环境规划和管理问题。应用 GIS 对水资源和水环境进行规划与管理, 在国内外越来越广泛。本文将评述 GIS 技术在水资源和水环境领域中的应用。

1 GIS 技术在水资源和水环境领域中的应用概况

1.1 国内应用

上海市环境管理部门于 80 年代末开始 GIS 的应用研究, 并建立了黄浦江流域水环境 GIS。该系统具有动态监测显示、水污染过程模拟及取水口水环境管理功能, 并可对水质作出快速预测分析和预报^[1]。一些科研部门和流域水管理机构也先后将 GIS 技术应用于防洪决策支持系统和洪水灾情快速评估系统的开发^[2]。肖青等^[3]以 GIS 软件为工具和平台, 开发了苏州河环境综合整治管理信息系统的原型。孙启宏等^[4]利用 GIS 的动态分段技术实现了河流一维水质扩散模拟和空间显示分析。张建云等^[5]将 GIS 应用于无资料地区流域水文模拟研究, GIS 主要用来分析流域地形、地貌、土壤覆盖、植被分布等地理信息, 以获取水文模拟模型所需的参数。Leung 等^[6]将 GIS 和数值模拟等技术应用于珠江三角洲地区感潮河网的水质数学模拟。

1.2 国外应用

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

收稿日期: 2000-03-16; 修订日期: 2000-12-11

作者简介: 彭盛华 (1964-), 男, 湖北英山人, 长江水资源保护科学研究所高级工程师, 北京师范大学环境科学研究所博士生, 主要从事环境规划与环境影响评价方面的工作。

和规划提供决策服务, GIS 开始应用于水文学及水资源管理。美国科罗拉多州的一些机构联合开发了科罗拉多河决策支持系统, GIS 被用于流域空间的存储、检索、分析和显示^[7]。宾夕法尼亚州将 GIS 技术应用于暴雨水管理问题, GIS 为水文模型提供前端或后端数据处理^[8]。维吉尼亚州的 Prince William 县在实施流域管理项目中应用了 GIS 技术, 通过在 GIS 环境中叠加土地利用信息、土壤类型、地形和水体、污染物负荷产生率而自动、快速得到 HEC-1 和 HEC-2 等流域模型的输入参数, 并且允许对替代方案和假设情景进行分析^[9]。

为了支持各种层次的水资源和水环境管理, 美国国家环保局 (USEPA) 基于 GIS 技术和美国地调局 (USGS) 的水文数据开发了全美河段文件^[10]。河段文件已经历了 RF1A、RF1、RF2 和 RF3 四个版本, 它们均是从 USGS 生产的不断细化的数字化水体数据集生成的。RF1 是设计用于 USEPA 的 IBM 大型机的。RF3 中大约有 5.15×10^6 km 长的河流和数以千计的水库、湖泊和池塘。RF3 既可在大型机上使用, 也可在 PC 机上使用, 但在 PC 机上每次只处理一个水文目录单元。

最近, 美国为国家和州环保机构和污染控制部门开发了 BASINS 程序。BASINS 充分利用了近年来在软件、数据管理技术、计算机功能方面的发展, 并采用 ArcView GIS 软件作为集成环境, 将整个美国的流域数据、流域分析和水质分析软件等统一起来, 为用户提供了一个易于理解的、将点源和非点源统一起来的流域管理工具。

欧洲一些国家的机构联合开发了具有水文过程模拟、水污染控制、水资源规划等功能的流域规划决策支持系统 “WATERWARE”^[11,12]。该系统中综合利用了 GIS、数据库、模拟技术、最优化程序和专家系统等功能。GIS 主要用于存储流域的所有空间信息, 为系统中的模型提供数据, 还用于显示分析和模拟的结果。

此外, 还有许多学者在 GIS 技术应用方面做了不少的工作。如: Gupta 等^[13]描述了将栅格型 GIS 数据管理工具用于流域规划的方法, GIS 用来模拟分布式水文过程。Davis^[14]将 HEC-1、HEC-2 与 GIS 结合对洪水、水质和土壤侵蚀进行了模拟, 用于对洪灾损失的评估。Debarry^[15]在一个污染评价系统中利用 DLG 地形数据及土壤和地表覆盖多边形信息, 计算了可能从每个流域输出的污染物的估计值, 用于规划目的。Lee 等^[16]为农业非点源污染模型 AGNPS 开发了一个 GIS 界面。He 等^[17]将 AGNPS、GRASS 及 GRASSWaterWorks 集成在一起, 综合评价了非点源污染对美国密西根州 Cass 河水质的影响, 并以地图形式输出结果。Conor 等^[18]利用 GIS 与 HEC-1 和 HEC-2 集成, 研究了美国县域地表水管理问题。Michael 等^[19]探讨了水资源领域空间决策支持系统开发问题。Daene 等^[20]探讨了将 GIS 与专家系统技术相结合, 用于区域性长期水资源规划问题。Steffen 等^[21]将一个空间分布式城市暴雨径流模型与 GIS 集成用于城市暴雨水管理对策分析。Djokic 等^[22]检验了 Arc/Info GIS 软件的网络分析程序及其所基于的 Dijkstra 算法对水流问题的适用性。Zhou 等^[23]利用 GIS 的网络分析功能改进农田排水模拟。许多研究人员还就 GIS 在地下水流模拟中应用问题进行了探讨^[24]。

1.3 水资源和水环境领域 GIS 技术应用研究最新动态

GIS 技术在水资源和水环境领域应用越来越广泛的同时, 其实现的方法也仍在不断地改进。目前, GIS 在水资源与水环境模拟方面的功能正以 GIS 扩展模块的形式出现。

美国德克萨斯州立大学水资源研究中心基于 ArcView 环境开发了 HEC-PrePro 系统, 它允许利用数字化空间数据中的水文、地形和拓扑信息为 HEC-HMS 准备一个流域及河流参数输入文

件^[25]。HEC-PrePro 的应用,使 HMS 所需的参数计算变得更简单和快捷,提高了模拟系统的效率。该中心还开发了专用于流域勾绘的 CRWR-Prepro 系统。它是 ArcView 环境下的预处理程序,可从数字化空间数据中提取信息,并将这些信息以其它应用程序能够使用的格式保存。

ESRI 与 HEC 于 1999 年 1 月达成协议,共同就 GIS 技术在水文水资源领域的应用进行协作研究与开发。已开发出的模块化的模型有:

(1) HEC-geoRAS: 采用 Arc/Info 所带的宏语言编制,它允许研究人员采用数字地形模型和其它地理数据在 Arc/Info 中开发河流水力学模型 HEC-RAS,并根据 HEC-RAS 的模拟结果,生成洪水淹没线多边形和栅格型水深专题数据。

(2) AVRAS: 为 ArcView GIS 的扩展模块,其功能与 HEC-geoRAS 相似。

(3) HEC-geoHMS: 为 ArcView GIS 的扩展模块,支持基于 HEC-HMS 的水文模型开发。它可利用数字高程模型勾绘流域和河流网络,从 DEMs 和其它专题数据提取限定的水文模拟参数集,并将参数写成可直接为 HEC-HMS 读取的文件。

这些模型具有友好的用户界面,使模型的分析更简便和直观。模型本身也具有模块化的结构,使用户能根据自己的需要方便地对其进行修改。

2 GIS 技术在水资源和水环境领域中的应用

综合国内外应用情况可知,GIS 在水资源和水环境领域中应用于下述几个方面:

(1) 地表水与地下水模拟 地表水模拟包括对地表水体如湖泊、河流等降水-径流关系的描述。降水-径流模拟需要众多参数来描述局部的地形地貌、土壤类型和土地利用等。GIS 的数据编辑和处理功能可有效快捷地处理流域的特征参数。其强大的图形处理能力可以将流域内所有的特征用图形充分地显示出来。GIS 在地下水模拟分析中的用途主要是模型输入数据的准备,地下水模型的有限元格网设计,模拟结果的可视化分析及最终结果的输出。

(2) 非点源污染模拟 非点源污染研究需要综合和显示各种空间信息,因而非常适合在 GIS 支持下进行。非点源模型与 GIS 对接能大大简化模拟工作。由 GIS 建立的数据库可自动制作模型输入参数和处理时空系列数据、表格和文本信息。利用 GIS 对空间数据的处理能力及模型的模拟能力,可研究不同的土地利用方式对流域水文和水质的影响,为制订满足水环境保护要求的土地利用规划提供依据。对于非点源污染模拟而言,分布过程模型和 GIS 集成应用,可支持和加强所选定流域空间分布处理过程能力,提高对空间变化的认识,减少因空间数据均化而引起的不确定性。

(3) 排水系统模拟 GIS 的网络分析功能可用来分析流域降水-径流特征,描绘流域汇流的等流时线。利用水文模拟程序结合 GIS 的网络分析功能可模拟城市区域或农业流域的排水情况,从而对排水系统的排水能力进行评估。利用该项功能还可为新建排水系统的设计提供参数。

(4) 水环境评价和规划 GIS 具有叠置分析、包含分析、距离分析、缓冲区分析、三维分析等功能,它们均可用于水环境评价和规划。如在污染源分析和水源保护区划分中,可利用 GIS 缓冲区分析功能划定缓冲区,然后将缓冲区与其它信息作叠置分析,以确定受污染源影响或影响水源保护的因素。

(5) 突发性水污染事故应急响应 GIS 的空间数据集成和网络分析功能与水质模拟技术结合, 可对突发性水污染事故造成的污染情况进行模拟, 以便能及时确定受影响的范围和对象, 采取适当的措施控制其不利影响。

(6) 流域集成研究 利用 GIS 的数据和模型集成功能, 可对流域内多种与水环境有关的现象和过程进行集成模拟, 这样便于考察它们的综合影响。如 USEPA 开发的 BASINS 系统能够对流域内的点源和非点源进行集成研究。

(7) 洪水预报和洪泛区管理 GIS 与图像处理、航空摄影及遥感等技术结合, 可对洪灾损失及灾后重建计划进行评估。也可利用 GIS 结合水文和水力学模型用于洪水淹没范围预测。如 GIS 空间分析扩展模块可用于分析和存储流域地貌特征, 提取有关参数, 作为 HEC-1 或 HMS 等地表径流模型的输入文件。将地表径流模拟计算成果与河道断面信息结合, 输入到 HEC-2 或 RAS 等水力学模型中, 即可预测给定位置的水深。将计算出的水面高程数据输入到 GIS 中, 并覆盖在地形表面, 从而确定出洪水可能的淹没范围。再将此淹没范围图与有关基础设施、土地利用、人口密度等其它专题图综合进行分析, 可预测洪水的影响, 便于采取应急措施。

(8) 地表水或地下水数据库的集成 GIS 通常用来作为地表水或地下水数据库集成的工具。集成既包括同一个数据库的不同数据层之间的集成, 也包括不同的数据库之间的集成。对各种有关地表水或地下水数据的集成是对流域水资源和水环境实施综合管理所必须的。

3 在水资源和水环境领域应用 GIS 技术面临的问题

GIS 的应用促进了水资源和水环境管理的发展; 反过来, 水资源和水环境管理对 GIS 的需求又促进了 GIS 的发展。然而, 将 GIS 应用于水资源和水环境领域, 仍有下述问题需要解决:

(1) 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^[28]。水资源和水环境变化过程具有明显的时空动态特征, 因而, 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资源和水环境变化模拟。

(2) 水资源和水环境的运动过程模拟需要复杂的数学模型, 但这些模型在分析和显示空间信息能力方面不足。GIS 则具有强大的分析和显示空间信息的功能, 可使复杂的模型变得简单易用, 但还不能单独解决模拟问题。只有将两者有机地结合起来, 才能更有效地解决水资源和水环境领域的问题。模型与 GIS 的集成程度越高, 性能越好。因此, GIS 与水资源和水环境模拟模型的集成技术是一个值得深入研究的领域。

(3) 地表水的汇流是在河流网络中进行的, 因而, 河流网络模型开发及其应用研究也具有重要意义。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。

(4) 水资源和水环境问题与多方面的因素有关, 并具有明显的时空属性, 因而, 在水资源和水环境管理过程中也就相应需要掌握众多因素的时空信息, 为此必须基于 GIS 技术建立大规模的综合信息系统。Internet 技术的飞速发展, 使得基于网络技术的水资源和水环境基础 GIS 开发也应受到重视, 以便为各层次的水资源和水环境管理提供综合的基础信息。

(5) 与信息获取能力不断提高相适应, 需要有对信息进行快速、有效分析, 并易于使用的

工具。将 GIS、人工智能、模拟等技术有机地综合在一起,开发水资源和水环境空间决策支持系统可满足这一要求。该系统应是一种综合的系统,能将区域内所有与水资源和水环境有关的问题汇集在一起,制订统一的解决方案。由于这种综合的空间决策支持系统开发难度大,需要分步实施,而且不同的区域,其水资源和水环境问题是有所差别的,因而,要求这种决策支持系统又是普适化的。采用模块化的结构,是解决这一问题的可行方法。并且它可允许用户根据实际需要,将有关模块“装配”在一起,集成应用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 朱尔明. 在水利行业大展宏图的 GIS 技术[A]. 中国地理信息系统协会第三届年会论文集[C]. 1997. 18 - 23.
- [3] 肖 青,等. 苏州河环境综合整治管理信息系统原型研究[A]. 中国地理信息系统协会第三届年会论文集[C], 1997. 440 - 449.
- [4] 孙启宏,等. 利用动态分段技术进行河流一维水质扩散模拟研究[A]. 中国地理信息系统协会第三届年会论文集[C]. 1997. 392 - 396.
- [5] 张建云,何 惠. 应用 GIS 进行无资料地区流域水文模拟研究[J]. 水科学进展, 1998, (4): 345 - 350.
- [6] Leung, Yee, *et al.* An Environmental Decision Support System for Tidal Flow and Water Quality Analysis in the Pearl River Delta[A]. Proceedings of International Conference on Modeling Geographical and Environmental Systems with Geographical Information Systems[C], Hong Kong: Department of Geography, The Chinese University of Hong Kong, 1998. 223 - 228.
- [7] 科罗拉多州自然资源部等(美). 美国科罗拉多河决策支持系统概述[J]. 人民长江, 1996, (2): 43 - 46.
- [8] Uzair M, Shamsi. Storm - Water Management Implementation Through Modeling And GIS[J]. J. Water Resource. Plng. and Mgmt., 1996, (2): 114 - 127 .
- [9] Fernando Pasquel, *et al.* Implementing a Watershed Management Program Using GIS[A]. Watershed 96 proceedings[C]. Web Site: <http://www.epa.gov/owow/wtr1.watershed/proceed/pasquel2.html>, 1999.
- [10] Horn C R, Grayman W M. Water - Quality Modeling with EPA Reach File System[J]. J. Water Resource. Plng. and Mgmt., 1991, (2): 262 - 274.
- [11] Jameison D G, Fedra K. The "waterware" decision support system for river basin planning: 1. Conceptual design[J]. J. of hydrology 1996, (177): 163 - 175.
- [12] Fedra K, Jamieson D G. The WaterWare decision - support system for river - basin planning: 2. planning capability [J]. Journal of Hydrology 1996, (177): 176 - 198.
- [13] Gupta S K, *et al.* Distributed numerical model for estimating runoff and sediment discharge of ungaged rivers: 1. The information system[J]. Water Resour. Res., 1977, (3): 613 - 618.
- [14] Davis D W. Comprehensive flood plain studies using spatial data management techniques[J]. Water Resour. Bull. 1978, (3): 587 - 604.
- [15] Debarry P A. GIS applications in nonpoint sources pollution[A]. Hydr. Engrg., Proc., 1991 Nat. Conf.[C], ASCE, New York, N. Y., 1991. 882 - 887.
- [16] Lee M T, Terstriep M L. Applications of GIS for water quality modeling in agricultural and urban watershed[A]. Hydr. Engrg., Proc., 1991 Nat. Conf.[C], ASCE, New York, N. Y., 1991. 961 - 965.
- [17] He Chansheng, Riggs James F, Kang Yung-Tsung. Integration of geographic information system and a computer model to evaluate impacts of agricultural runoff on water quality[J]. Water Resources Bulletin, 1993, (6): 891.

- [18] Conor Shea, *et al.* Integrated GIS and Hydrologic Modeling for Countywide Drainage Study[J]. J. Water Resour. Plng. and Mgmt., 1993, (2): 112 – 128.
- [19] Michael R Walsh. Toward Spatial Decision Support Systems in Water Resources[J]. J. Water Resour. Plng. and Mgmt., 1993, (2): 158 – 169.
- [20] Daene C, *et al.* Expert Geographic Information System for Texas Water Planning[J]. J. Water Resour. Plng. and Mgmt., 1993, (2): 170 – 183.
- [21] Steffen P, *et al.* Geographic Information Systems in Urban Storm – Water Management[J]. J. Water Resour. Plng. and Mgmt., 1993, (2): 206 – 228.
- [22] Djokic D, Maidment R. Application of GIS Network Routines for Water Flow and Transport[J]. J. Water Resour. Plng. and Mgmt., 1993, (2): 229 – 245.
- [23] 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 Environmental Systems with Geographical Information Systems[C]. Hong Kong: Department of Geography, The Chinese University of Hong Kong, 1998. 179 – 189.
- [24] Watkins D W, *et al.* Use of Geographic Information Systems in Ground – water Flow Modeling[J]. J. Water Resour. Plng. and Mgmt., 1996, (2): 88 – 96.
- [25] Esteban Azagra. Rainfall runoff in the Guadalupe River Basin[A]. CE 397 GIS in Water Resources[C], Fall, 1998.
- [26] 承继成, 等. 面向对象的地理信息系统[A]. 陈述彭. 地理系统科学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1998. 247 – 249.

Application of GIS to Water Resources and Water Environment

PENG Sheng-hua¹, ZHAO Jun-lin¹, YUAN Hong-ren²

(1. *Institute of Environmental Science, Beijing Normal University, State Key*

Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Beijing 100875, China;

2. Research Institute for Yangtze Water Resources Protection, Wuhan 430051, China)

Abstract: This paper introduces the situation and some recent advances in application of GIS to the field of water resources and water environment in both China and some other countries. Some issues facing the application of GIS to the field are also discussed.

Key Words: GIS; water resources; water environment;