

# 河北平原区域地下水资源决策支持系统设计与开发

李门楼, 胡 成, 陈植华

(中国地质大学工程学院, 湖北武汉 430074)

**摘要:** 以河北平原水资源决策支持系统为例, 介绍在地理信息系统平台上, 如何结合地下水资源管理、决策的具体需求, 构建一个可以实现对地下水资源进行管理、决策的支持系统, 并系统介绍了系统平台的选取、决策支持系统结构的组成框架、空间数据库的组成等基本思路, 重点介绍了模型库、方法库的设计与开发技术过程。最后分析了河北平原区域地下水资源决策支持系统的应用, 认为实例对类似地区建立水资源与环境管理的决策支持系统有很好的借鉴作用。

**关键词:** 地下水资源; 决策支持系统; 地理信息系统; 河北平原。

**中图分类号:** P641.8      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2383(2002)02-0222-05

**作者简介:** 李门楼(1969—), 男, 中国地质大学环境工程专业在读博士。

地理信息系统(GIS)作为一种采集、存储、处理、分析和表达空间信息的现代技术, 正广泛深入自然科学、社会科学的各个领域。但同时, GIS作为一种通用的技术平台, 目前还主要限于解决空间目标或三维问题, 对许多专业性的技术服务, 特别是涉及到具有时间变量的空间对象处理和分析时, 目前的GIS系统还无能为力, 往往需要嵌入某些合适的专业模型以解决这些具有4维特征的对象的分析、预测和管理问题<sup>[1~4]</sup>。对地下水资源的科学管理与决策正是如此, 不仅要实现空间、非空间数据信息的输入、存储、查询检索和显示等, 而且必须综合分析具有时间变量的空间数据, 以预测区域地下水的的变化特性, 才能为规划、管理、决策和研究提供所需的信息。因此, 开发、建设一个实用的区域地下水资源决策支持系统尚有许多需要解决的问题<sup>[5,6]</sup>。本文以河北平原区域地下水资源决策支持系统的开发研究的经验和认识为例, 系统总结了开发、建立此类系统的流程和思路。

## 1 系统平台的选取

河北平原区域地下水资源决策支持系统建立的

目标, 不仅是为水资源管理、规划部门提供一种高效可视化的系统工具, 而且能够在GIS数据库的支持下, 具有模拟、分析和预测地下水资源时空变化趋势的功能, 为实现水资源的实时规划、管理、决策提供所需的信息, 所以, 选择一套合适的GIS系统平台是建立决策支持系统最关键的前提之一。最近几年GIS技术发展和普及日新月异, 国内外商品化GIS系统发布了许多, 但每一种系统均具有不同的优势, 必须结合所建系统的目的、任务和运行的寿命等方面来慎重选择, 为此, 大量的调研、考察是系统平台选取不可缺少的工作。对本系统而言, 要求系统平台具备良好的用户界面、方便灵活的查询工具、开放的用户接口以及数据格式的兼容性和开放性等几个主要因素。比较了多种GIS系统的功能特征, 诸如Arc/Info, MapInfo, MapGIS, Citystar, Geostar等, 最后选择了美国环境系统研究所(ESRI)最新发布的桌面系统Arcview GIS 3.2作为基本平台, 同时其扩展模块Arcview Spatial Analyst和Internet Map Server为基本的空间分析和网络发布工具。选择Arcview作为系统平台, 首先是因为其具有强大的二次开发功能, 例如面向对象的开发语言(Avenue)和兼容目前流行的开发工具, 如Visual C++, Visual Basic等; 其次, 该系统的市场占有率高, 具有很好的持续发展空间, 用户对未来系统升级、技术维护、更新具有更可靠的保障。

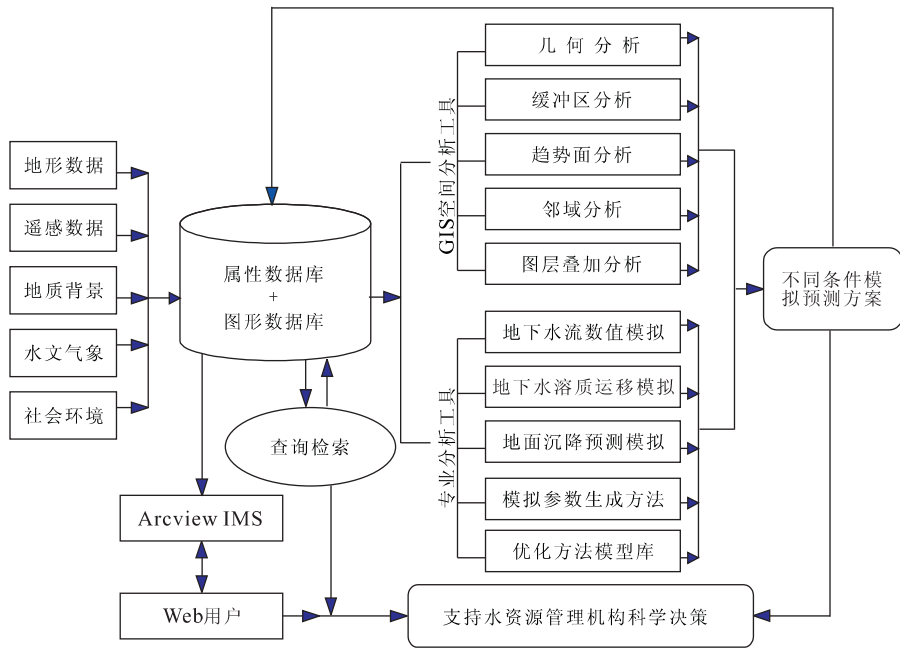


图 1 区域地下水资源决策支持系统框架

Fig. 1 Frame of decision support system for groundwater in Hebei plain

## 2 系统结构框架设计

为区域地下水资源和环境规划、管理、决策提供所需信息,系统要求具备以下 4 个方面的基本功能:

(1)能够存储、管理区域地下水资源的历史和现状自然背景数据的空间数据库系统;(2)能够提供方便、高效的检索和查询工具;(3)具有对地下渗流和溶质运移及环境地质灾害(如地面沉降)进行模拟、分析的工具;(4)能够实现在 Internet 上发布空间数据,以快速得到资源共享、信息交换和协同工作。因此,在系统结构设计中,GIS 空间数据库和专业方法模型库为系统设计和开发的重点,空间数据库管理系统具有管理海量属性数据、图形数据、图像数据的强大功能;方法模型库必须提供对地下水资源以及与地下水有关环境研究的主要模拟模型、数据统计分析工具等。依靠这些基本子系统,分别对现状进行模拟评价和对未来进行预测,其模拟分析结果将作为辅助决策的基础。系统结构框图如图 1 所示。

## 3 空间数据库系统

空间数据库是 GIS 的核心之一,其包括属性数据库系统和图形、图像数据库。根据本系统需求,收集并采用数字化或扫描输入、数据转换等多种技术

手段,建立了一个资料翔实的空间数据库,收集的信息基本涵盖了地下水资源管理、规划的各个环节,包括基础地理信息数据、地面高程数据、土地利用变化数据等(表 1)。这些数据在评价其精度、可靠性和相互关系后分类建立,给出每项的详细定义,编辑了数据库代码字典。为保证信息的唯一性和完备性,在数据录入前对其进行如下预处理:(1)制定规范的编码体系;(2)建立标准规范的空间控制点文件;(3)建立每一数据层与控制点间的对应关系;(4)空间信息分层数字化,进行图形编辑及空间拓扑关系建立;(5)坐标配准。

## 4 方法模型库

方法模型库是决策支持系统区别于其他空间信息系统的标志,因此方法模型库的研究一直是决策支持系统研究领域中所关注的焦点,也是系统研究的核心<sup>[6,7]</sup>。在地下水资源科学管理中,不仅要求对水资源现状基本数据的分析、查询和可视化表现,更强调地下水系统在不同自然和人为条件影响下变化趋势的评价和预测,以便管理、决策人员做出科学的预见和正确的防范对策,即强调对水资源管理决策过程的支持,所以必须在基本的 GIS 系统中开发、耦合相应的专业评价和模拟系统以实施

表 1 区域地下水资源决策支持系统空间数据库

Table 1 Geodatabase of DSS for groundwater in Hebei plain

属性数据库	图形数据库
(1)水文气象数据库:历年降水量、蒸发量、河流径流量等数据;	(1)自然地理图形库:1:25万 DEM 数据,管理区行政区划、水系分布等;
(2)地下水位数据库:历年地下水观测数据,包括丰、枯水期水位及月均统计值;	(2)1:50 万土地利用类型图;
(3)地下水水质数据库:1975,1985,1995 年枯水期水质统测数据;	(3)社会经济图形库:工农业产值、人口的空间分布、水利工程空间分布;
(4)水资源数据库:1956—1984,1985—1995 年系列地下水资源量评价数据;	(4)水资源图形库:补给资源、开采资源、水资源开发程度的空间分布;
(5)水资源开发数据库:1985—1995 年水资源开发利用情况(以县为单位);	(5)地质环境图形库:地质、水文地质、环境地质、古地理环境图等;
(6)环境地质数据库:各种地质灾害与环境地质监测数据;	(6)地下水动态图形库:1975—1995 年地下水水位、水质、水量动态等;
(7)社会经济数据库:河北省社会经济发展统计数据及“九五”规划方案;	(7)水质评价图形库:地表水质量、地下水质量、氟、碘、碱性水空间分布等;
(8)介质场数据库:水文地质钻孔数据资料(大于 4 000 个钻孔数据);	(8)地质灾害图形库:水位下降、漏斗、疏干、污染、地面沉降空间范围等;
(9)水文地质参数数据库: $K, a, S, u$ 等参数资料。	(9)预测预报图形库:地下水水位、水质、地面沉降、供需水平衡等。

专业分析。该系统是以 Arcview GIS 为统一平台,以空间的地质、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 所提供的面向对象编程语言 Avenue,重新配置了系统的结构组成,使界面更加符合专业应用需求。利用 Visual C++,VFP 6.0 等开发环境开发出界面友好、操作简便、功能较完善的方法模型库。系统将有关的预测预报系统、统计分析工具与 GIS 的空间数据库有机地联系起来,实现了水流、水质等模拟模型与数据库之间的动态结合(图 2),使系统具有实时评价、预测等辅助决策的功能。

河北平原区域地下水资源决策支持系统的方法模型库主要开发或耦合了以下主要方法模型:(1)统计分析软件包,包括相关分析、多元回归、时序分析以及地质统计分析(Kriging)。主要用来对含水层参数层的空间生成,空间分布特征的统计,水量、水质模拟结果统计,观测时序数据的统计分析、预测等。(2)地下水水量、水质三维数值模拟系统和三维图形绘制系统,如 ModFlow,MT3D 等。(3)灰色预测模型(GM(1,1))、灰色聚类、模糊数学(包括多层次模糊综合评判、模糊聚类等)。(4)另外,在 Arcview GIS 环境下,用其开发语言做成声、图、文的多媒体图形库管理系统。

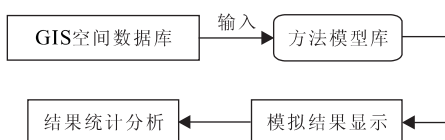


图 2 方法模型库与数据库的关系

## 5 数据资源共享的设计

随着 Internet/Intranet 的迅速发展,利用 Internet 技术在 Web 上发布空间数据供用户浏览、使用是 GIS 发展的一种新趋势<sup>[8]</sup>。它使得从 WWW 的任何一个节点 Internet 用户可以浏览数据发布站点中的空间数据,以及制作专题图,进行各种空间检索和空间分析<sup>[9]</sup>,为此可以节约大笔管理经费的重复投入,对于异地多部门的实时合作具有极为重要的意义。

在河北平原区域地下水资源基础数据库的开发设计中,也遵循了 WebGIS 的技术框架并在互连网实现了共享。良好的数据库组织结构是数据库资源共享的前提,分类体系和层次一旦确定,数据库的建立将较顺利完成。首先进行分类体系的选择和制定,具体设计是:空间数据库按区域、县多级组织;在空间大框架下按水资源、地质环境 2 个大类组织信息,在各大类下再组织不同主要专题内容,逐级细化,如自然背景的层次下再细分地质、水文地质背景等;水资源的层次下又细分了地表水、地下水;环境灾害下包含了水环境问题的不同数据等。

本系统空间数据发布模块的基本结构属于服务器/客户模式,实现的策略主要是服务器端策略(server-side strategies)<sup>[10]</sup>,主要的支撑工具为 Arcview GIS 的扩展模块 ArcIMS。它类似于局域网上运行的 GIS 终端—主机模式。客户提交请求,系统显示响应。步骤可归结为:(1)用户从网络浏览器向服务器发送请求;(2)服务器处理请求并以脚本方式发送信息;(3)输出返回服务器;(4)响应发送给客户机并在网络浏览器上显示。

Fig. 2 Relation between modelbase and geodatabase

## 6 河北平原区域地下水资源决策支持系统的应用

### 6.1 水资源及相关空间信息检索、查询

河北平原区域地下水资源决策支持系统可为地下水和影响地下水资源与环境的其他物理和化学因素提供强大的存储、检索与分析能力。这些工具包括:(1)基于空间关系的查询。如查询河北平原沧州地区地下水开采资源情况,这是基于研究区行政区划图,查询地下水开采资源分布图;再如查询石家庄市地下水埋深情况,这是基于研究区标志性地物分布图,查询等水位线分布图。(2)基于逻辑关系查询。基于矢量图层数据库,利用逻辑表达式对当前矢量图层文件中的矢量地物进行查询。查询到的地物以制图或列表输出。如查询地下水矿化度小于  $2 \text{ g/L}$ ,且水位埋深大于  $20 \text{ m}$  的区段分布,选择地下水水化学分区图,输入“矿化度  $> 2$  AND 水位埋深  $> 20 \text{ m}$ ”,即可得到查询结果的空间分布图与相应的数据列表。

### 6.2 空间数据分析与评价

利用 GIS 丰富的数据资源进行条件量化分析和定量评价是 GIS 的主要功能之一<sup>[5,7]</sup>。应用的工具包括表格的统计分析和空间数据的叠加运算(overlay operation)。表格的统计工具可以直接对水资源观测的时序、空间数据进行各种统计,确定相应的特征值;空间分析工具直接对 2 个或多个图层进行运算处理,丰富的空间函数可以满足不同的目的,例如生成新的水文地质参数图层;突出某些影响水资源的主要因素,诸如污染源的空间分布与水污染的分布范围;地下水的主要补给与排泄分布;开采强度与水位降深、水质恶化的空间联系等,以作出水文地质解释并确定主要原因。由 DTM 模型导出地下水三维形态还可在此图上进一步叠加其他信息,进行三维查询分析以及进行开采储量计算等。

### 6.3 GIS 支持下的水资源量与质的定量模拟

空间数据库存储了河北平原历史的水文地质基础资料,区域背景资料和动态观测数据,构成了区域水资源信息系统。在该信息系统的支持下,经过 GIS 处理生成模拟所需要的水文地质参数,例如导水系数、入渗系数、蒸发量、面状或线状补给、排泄量,含水层厚度、水头分布等,自动输入到模拟网格的每一个节点。从而大大缩短模拟周期,及时发现水资源开

采中出现的问题,而且模拟结果成为决策分析的主要依据。在实际应用中,我们已经模拟了未来 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,预测了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。

### 6.4 区域水资源数据信息共享

基于 WebGIS 技术结构建立的区域水资源信息系统,使信息资源共享和数据信息传输等服务成为可能,该系统同时具有信息浏览与发布等功能。河北省各地的水资源管理机构(经过授权)可以非常方便的从互连网查询、检索、下载所感兴趣的数据资源,基本实现了网上用户之间信息资源浏览和数据信息传输等服务,所有授权的互连网用户可以随时、随地上网了解河北平原地下水资源的有关信息。

## 7 结语

河北平原区域地下水资源决策支持系统的建立和运营,为区域地下水环境和资源的探查、监测、管理和规划提供了现代化的辅助决策工具。现代网络技术的嵌入和应用,使各个不同的机构、组织和部门间更好地协同工作,实现信息资源共享、科学管理与“信息决策”的一种全新的 GIS 应用模式。随着计算机和 Internet 技术应用的日益普及和网络带宽的迅速拓展,它在水资源评价和管理领域将发挥日益显著的社会效益和经济效益。

### 参考文献:

- [1] 李超岭,张克信. 基于 GIS 技术的区域性多源地学空间信息集成若干问题探讨[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2001, 26(5): 545—550.  
LI C L, ZHANG K X. Study on regional multi-source geological spatial information system based on techniques of GIS [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(5): 545—550.
- [2] 刘刚,韩志军,罗映娟,等. 资源勘查信息系统中参数化图形设计方法的应用框架研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2001, 26(2): 197—200.  
LIU G, HAN Z J, LUO Y J, et al. Research into application framework of parametric design method of computer-aided map generation in resources exploration information system [J]. Earth Science — Journal of China

- University of Geosciences, 2001, 26(2): 197—200.
- [3] 张夏林, 汪新庆, 吴冲龙. 计算机辅助地质填图属性数据采集子系统的动态数据模型[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(2): 201—204.  
ZHANG X L, WANG X Q, WU C L. Dynamic data model applied in regional geological mapping computer-aided mapping system [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(2): 201—204.
- [4] 戴福初, 李军, 张晓晖. 城市建设用地与地质环境协调性评价的 GIS 方法及其应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(2): 209—214.  
DAI F C, LI J, ZHANG X H. GIS methodology and its application to evaluation of coordination between urban land use and geo-environmental potential [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(2): 209—214.
- [5] 黄旭钊, 徐昆, 梁月明. 利用 MapInfo 综合分析多源地学信息进行矿产预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(2): 189—191.  
HUANG X Z, XU K, LIANG Y M. Development and application of MapInfo: an example of assessing mineral resources by analyzing multiparameter geological information [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(2): 189—191.
- [6] Boswinkel J A, Broers H P. Regional geohydrological information system [J]. March, 1990. 98—104.
- [7] 陈植华, 靳孟贵. 地理信息系统与水资源系统分析、模拟、决策[A]. 见: 水文地质及工程地质论文集[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 60—64.  
CHEN Z H, JIN M G. The application of GIS in water resources analyzing, modeling and decision making [A]. In: Symposium on Hydrogeology and Engineering-Geology [C]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993. 60—64.
- [8] 谭秀娟, 杨国东. WebGIS—GIS 发展的新趋势[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(4): 104—106.  
TAN X J, YANG G D. The new prospect of WebGIS-GIS [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1999, 29(4): 104—106.
- [9] 吴信才, 白玉琪, 郭玲玲. 地理信息系统(GIS)发展现状及展望[J]. 计算机工程及应用, 2000, (4): 8—9.  
WU X C, BAI Y Q, GUO L L. Development and prospect of geographic information system [J]. Computer Engineering & Application, 2000, (4): 8—9.
- [10] 胡卫民. Web 中加入 GIS 功能的策略及其评价[J]. 遥感信息, 2001, (1): 20—22.  
HU W M. The maneuvers and opinions for the WebGIS with some GIS's functions [J]. Remote Sensing Information, 2001, (1): 20—22.

## Establishment of Decision-Making Support System for Groundwater Management of Hebei Plain

LI Men-lou, HU Cheng, CHEN Zhi-hua

(Engineering Faculty, China University of Geoscience, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** This paper takes Hebei DSS (decision support system) for groundwater study and presents how to develop a DSS for groundwater on the basis of GIS platform, according to the concrete demands of groundwater management and decision-making. The paper systematically expatiates on the selection of system platform, design of the DSS frame and elements of geodatabase, especially the development and design of the modelbase. This study case can supply some good ideas for the similar systems in other regions.

**Key words:** groundwater resources; decision-making support system; GIS, Hebei plain.