

# 基于 GIS 技术的地下水资源预测预报系统

刘小勇<sup>1</sup>, 吴芸云<sup>2</sup>, 龚守远<sup>1</sup>, 王 斌<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学机械交通学院, 乌鲁木齐 830052; 2 新疆哈密地区水政水资源办公室, 哈密 839000)

**摘要:** 基于 GIS 技术的地下水资源预测预报系统建立, 为水资源的有效管理提供了一个新的技术手段。系统主要功能有地下水开采量数据的录入与节点化、模型计算与预测结果的显示分析、开采井/开采单位的地图编辑与指标数据的维护等。该系统采用系统 Map Info 与 PowerBuilder 集成设计完成, 利用 GIS 技术完成了预测年的流场(等水位线)图、水位埋深图、水位降深图的显示和分析, 尤其是使用缓冲区分析技术实现了对等水位区域的开采井、开采单位的量化分析。这些分析结果可作为管理部门进行地下水资源规划、管理、决策的依据。

**关键词:** 地下水资源; 预测预报; GIS; 系统集成

**中图分类号:** S273; P208

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-6819(2003)04-0171-04

## 1 引言

合理利用水资源尤其是地下水资源, 对西部大开发、对西部地区经济可持续发展都有着十分重要的意义。我们利用 GIS 系统集成技术<sup>[1,7,8]</sup>, 在地下水资源调查的基础上, 建立了新疆哈密市西郊地下水资源预测预报系统(简称: 地下水资源预测预报系统, 下同), 为该地区水资源管理部门对水资源有效管理、合理开采、优化决策提供了一个技术先进的手段。新疆哈密市西郊地区面积约 440 km<sup>2</sup>, 有石油、火力发电厂、生产建设兵团、地方农场等工农业企业, 基本没有地表水系, 生产生活用水均取自地下水, 是新疆维吾尔自治区地下水资源过度开采最为严重的地区之一。对地下水资源的开发利用研究, 长期以来主要集中在对地下水资源的评价、分析方面, 而对如何将这种评价模型与水资源的日常工作联系起来, 从而形成一种动态的分析系统, 直接用于水资源管理日常工作, 为水资源管理者提供管理决策依据的研究, 却不多见。例如美国地质调查局(U. S. Geological Survey)开发的 MODFLOW (Modular Three-dimensional Finite Difference Groundwater Flow Model) 软件, 是一套专门用于孔隙介质中三维有限差分地下水流的数值模拟软件, 该软件目前在国内外地下水资源评价中得到了广泛的应用, 利用该软件可快速建立地下水资源评价模型, 并给出目标区地下水资源的评价、分析和预测结果。这类软件对使用者的专业素质要求很高, 显然不适合基层水资源行政管理部门的使用。利用 GIS 技术开发的地下水资源预测预报系统, 就是面向水资源管理部门的<sup>[2,3]</sup>。该系统可根据每年的地下水实际开采量(由水资源管理部门提供), 对未来 20 年内该地区地下水资源的分布情况进行预测, 可生成预测年的地下水流场图(等水位线)、地下水埋深图、地下水降深图以及观测孔的水位变化图, 可为开采井、开采单位提供

地下水变化的量化指标(如: 水位值、埋深值、降深值), 管理者可根据这些预测指标对该地区的地下水资源开采作出规划或进行调整。该系统采用 Map Info 与 PowerBuilder 集成设计完成。

## 2 系统主要功能

系统功能框图如图 1 所示。主要功能包括: 地下水开采量数据的录入与节点化、模型计算与预测结果的显示分析、开采井/开采单位的地图编辑与指标数据的维护。

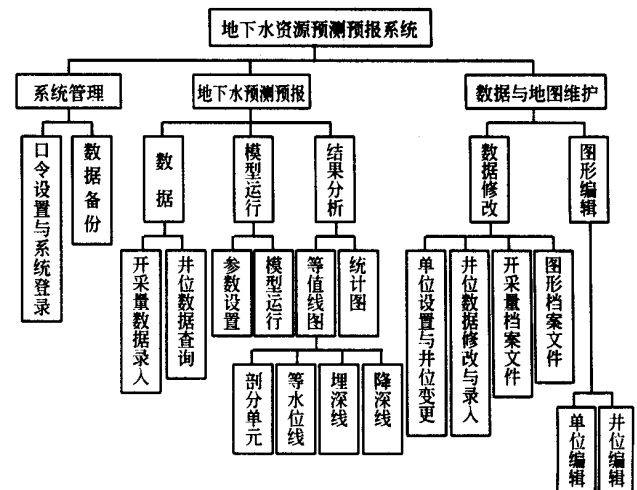


图 1 系统功能

Fig 1 System function

### 2.1 地下水开采量数据的录入与节点化

地下水开采量数据按月(时段)录入, 录入方式可按开采井, 也可按开采单位, 允许手工录入的同时, 系统也提供 Excel 表格导入功能(图 2)。同时, 录入的数据可以是实际开采量, 也可以是模拟开采量, 模拟开采量将产生模拟预测方案, 管理者根据模拟预测方案可对当前的实际开采计划进行调整, 形成一个较为合理的开采方案。该系统按模型计算要求, 将工作区分成 43 个开采分区, 开采量数据按开采单位(或开采井)所在开采分区进行分配, 然后分配到流场(水位)剖分单元的节点上(共

收稿日期: 2002-12-23 修订日期: 2003-06-18

作者简介: 刘小勇, 男, 硕士, 副教授, 主要从事 GIS 应用系统的开发与研究。乌鲁木齐市 新疆农业大学机械交通学院, 830052。Email: chenrongliu@263.net



计 1012 个节点), 这一过程称为节点化。开采量的节点化是模型生成初始流场(水位)、为计算预测流场(水位)所需要的。当按开采单位录入开采量时, 该开采单位内的每一眼开采井的开采量只能取平均值, 而按开采井录入时可以保证每眼井的实际开采量, 显然后者的预测精度要高于前者。

### 2.2 模型计算与预测结果的显示分析

系统根据年度开采量生成初始流场, 经设置预测时段(预测年)、模型计算后生成预测年的流场(等水位线)、水位埋深、水位降深以及观测孔水位数据文件。这些计算数据经处理后作为预测结果在工作区地图上显示出来, 形成预测年的流场图、水位埋深图、水位降深图以及观测孔水位变化图。此时可使用系统提供的 GIS 区域分析方法(缓冲区分析), 提取等水位区域内的开采

井和开采单位, 这种量化的分析结果对水资源管理及规划部门有着重要的实际意义。

图 2 是预测年为 2006 年(以 2001 年开采量作为初始流场, 预测时段为 5 年)该地区地下水降深图, 并对降深为 6 m 的区域进行区域分析, 可得出该区域的所有开采井及开采单位。如果认为该区域水位下降过快, 有关管理部门可对该区域涉及的开采井及开采单位的年开采量进行调整。

图 3 是预测年(2007 年)该地区地下水水位线(流场)图及等水位区(缓冲区)分析结果, 同图 2 一样可得出该区域的所有开采井及开采单位。在该分析中应设置以等水位线为中心的区域宽度(缓冲区宽度), 系统将自动统计出该区域的开采井及开采单位。



图 2 降深图及降深区域分析  
Fig 2 Draw down graph and draw down analysis



图 3 地下水流场图及缓冲区分析  
Fig 3 Groundwater flow field graph and buffer analysis

系统可提供预测年内的任意年的观测孔(该地区共有11个观测孔)水位变化图(每月、每一个观测孔),这些观测孔的水位变化也是管理者对地下水资源管理的重要参考依据。

### 2.3 开采井/开采单位的地图编辑与指标数据的维护

该系统是一个实际的、动态的应用系统,为满足井位及开采单位的实时动态变更,系统中采用GIS的地图编辑功能对开采井、开采单位进行维护,包括:开采井的增添、删除(报废井)、位置修改等;开采单位的名称变更、所属开采井的变更以及单位的增添及删除等。其中,井位由经纬度坐标(由GPS得到)定位,在定位井位的同时,系统可自动确定该开采井的所属单位、所属行政区划、所属开采分区。可对开采井的各项指标数据进行录入、修改。

## 3 系统设计技术要点

### 3.1 GIS系统集成技术

地下水资源预报预测系统的设计,采用了MapInfo Professional 6.0桌面地理信息系统与PowerBuilder 8.0数据库开发工具的集成开发技术。MapInfo Professional提供了基于MapBasic语言的二次开发功能,并且允许使用所谓“OLE自动化技术(Automation)”与其它通用可视化程序设计系统(如:PowerBuilder等)进行集成。

### 3.2 地图的制备

该系统采用1:10000地形图,为便于管理划分为若干个行政区划,所有开采井均通过GPS定位确定,误差不超过15m,并且按地下水管理模型计算要求划分了开采分区。地形图通过扫描在MAPGIS中编辑,然后转换为MapInfo格式。在MapInfo中建立系统所需图层控制(分为30个图层),同时建立地图属性数据库。

### 3.3 开采分区与行政分区的关联

系统面向用户按行政区划管理开采井和开采单位,对于预测模型计算的后台操作则是按开采分区进行的,因此必须通过某种标识将开采分区与行政区划关联起来。系统内部对每个开采井规定了3类编码,分别是:开采分区编码、开采单位编码、井编码。其中开采单位编码的第一个字符表示该单位所在行政分区,这样通过行政分区(开采单位)录入的开采量数据,就可以自动转换为模型计算时所需的开采分区的开采量数据。井编码是水资源管理部门日常工作所用编码。

### 3.4 GIS与系统数据库的关联<sup>[9]</sup>

地下水资源预报预测系统中所有数据计算、显示(包括对应于地图的井位数据的显示)和存储均是由PowerBuilder完成的,而MapInfo主要提供与之对应的地理位置信息,因此我们利用关键字将系统数据库与GIS属性库关联,通过OLE自动化技术实现对GIS属性数据库的操作。数据关联的关键字是开采井的开采单位编码。“开采单位编码”是系统内部对每一个开采井的标识码,是系统对开采井进行查询、添加、修改、开采单位变更、与地图关联等操作的关键字,当添加开采井时

“开采单位编码”由系统自动定义。“井编码”是用户按管理工作需要设立的开采井编码,添加井时必须由用户自行添加。两编码之间没有必然的联系。

### 3.5 等值线绘制算法

模型按43个开采分区将工作区划分成三角形剖分单元,各个角点构成节点,共有1012个节点,各节点用两组数据表示:大地坐标和水位值。模型计算后形成的主要数据文件是预测年的地下水流场数据文件,该数据文件由1012个节点的大地坐标和水位值的数据组成。应用这些数据,采用插值原理,用MapBasic编程,在地图上完成绘制水位等值线的功能。

#### 1) 插值原理

在三角形单元内部绘制等值线的过程,是在三条边上分别以两个节点为基点的线性插值。已经知道基点的坐标 $(x_i, y_i)$ 以及函数的值 $z_i$ ,和坐标 $(x_j, y_j)$ 以及函数的值 $z_j$ ,在 $(x_i, y_i)$ — $(x_j, y_j)$ 的连线上,找到一个点,满足在 $(x, y)$ 处 $z = z_0$ 。这里 $z_0$ 是给定的等值线的一个值。一个三角形的三条边上一般应该存在两个点,将这两个点连接起来就完成了 $z = z_0$ 这条等值线在该三角形内部的线段,将所有的线段组合在一起,就完成了整个区域内部的等值线图。

#### 2) 坐标转换

由上述插值运算得到的水位线是按大地坐标确定的,必须转换成经纬度坐标才能供系统使用。可以采用如下的转换公式

$$x_{x1}(\text{经度}) = (x_1 - sx_1) \times (tx_2 - tx_1) / (sx_2 - sx_1) + tx_1$$

$$y_{y1}(\text{纬度}) = (y_1 - sy_1) \times (ty_2 - ty_1) / (sy_2 - sy_1) + ty_1$$

式中  $(x_1, y_1)$ ——转换点的大地坐标;  $(sx_1, sy_1)$ ——区域最小值的大地坐标;  $(sx_2, sy_2)$ ——区域最大值的大地坐标;  $(tx_1, ty_1)$ ——工作区域经纬度坐标的最小值;  $(tx_2, ty_2)$ ——工作区域经纬度坐标的最大值。

### 3.6 区域(缓冲区)分析的实现

“区域分析”是该系统主要分析手段之一。预测年流场等水位线区域分析采用了GIS的缓冲区分析技术。缓冲区分析是在点、线、面空间实体(缓冲目标)周围建立一定宽度范围的多边形,这些多边形构成新的数据层,可以对范围以内的地理因素进行查询等分析。

#### 3.6.1 等水位线(流场)缓冲区分析<sup>[5]</sup>

建立缓冲区的目标,即选择水位线(应使该图层可编辑)。

设置缓冲区宽度。

生成缓冲区(见图4)。

统计该缓冲区内的开采井与开采单位。使用MapInfo提供的SQL查询语句,查出该区域的开采井与开采单位,同时利用MapInfo与PowerBuilder的数据通信功能在PowerBuilder数据窗口中进行统计。

#### 3.6.2 降深区域分析

水位降深等于地面高程值与流场值之差,是地下水

资源分析的重要指标。由于降深线多是由封闭的多边形构成,所以直接使用区域查询即可。主要过程:选择降深区(见图3)由于相同降深值的区域不止一个,所以需使用Map Info提供的“图形分割”技术将目标区与其它相同降深值的区域分离开来。统计该缓冲区内的开采井与开采单位。该操作与“等水位线(流场)缓冲区分析”的(4)相同。

#### 4 结 语

对系统预测精度的影响主要来自地下水资源管理模型的设计。该模型仅以开采量做为预测的动态指标,而其他指标(如:渗入量、工作区边界条件以及地质特征等)均是固定值(模型是以2000年地下水资源调查的数据建立的),从以2000年开采量数据为基础对2002年地下水的预测结果来看,与实际水位变化情况基本相符,但随着预测年份的延伸预测精度势必受到影响。如果将其他指标也作为动态参数,固然可以提高预测精度,但不仅对使用者的专业知识有很高的要求,并且加大了工作量(水资源的调查)。在这方面还要做进一步的研究。另外,该系统的开采量数据的录入应该和日常水量登记管理系统(如:取水许可管理系统、水资源费征收管理系统)链接,这样就使得该系统更加实用化,这方面的工作正在进行中。

基于GIS系统集成技术建立的地下水资源预测预报系统,不要求使用者对GIS技术有很深的了解和掌

握,操作简单方便,因此对GIS技术在水资源管理方面,尤其是在基层管理部门的推广应用有着很实际的意义。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张 梨 GIS集成的理论与实践[J]. 地理学报, 1996, 51(4): 306~ 313
- [2] 武 强, 邹德禹, 董东林 塔里木盆地水资源开发管理的地理信息系统(GIS)[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(1): 78~ 81
- [3] 张 红, 易连兴, 覃少群 基于GIS区域地下水资源管理及辅助决策系统研究[J]. 华东地质学院学报, 2000, 23(1): 11~ 18
- [4] 苏 海, 彭 彪 GIS在水环境信息管理系统中的应用[J]. 人民长江, 2001, 32(7): 18~ 19
- [5] 张菊清 GIS中缓冲区分析后的误差估计[J]. 测绘通报, 2002, 48(1): 7~ 10
- [6] 吴信才. 地理信息系统原理与方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002
- [7] 严寒冰, 刘迎春 MIS与GIS一体化系统开发技术[J]. 浙江工程学院学报, 2000, 6: 103~ 106
- [8] 刘仁义 集成多种GIS平台和技术的浙江省水利综合管理信息系统研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2001, 28(2): 204~ 209
- [9] 丁 力, 汪小林, 许卓群 数据库在地理信息系统中的应用研究[J]. 计算机应用与软件, 2001, 18(1): 1~ 4
- [10] Map Info 公司 MapBasic 6.0 User's Guide[M], 2001

## Groundwater resource forecast system based on GIS technology

Liu Xiaoyong<sup>1</sup>, Wu Yunyun<sup>2</sup>, Gong Shouyuan<sup>1</sup>, Wang Bin<sup>1</sup>

(1. Machinery and Transportation Institute, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052,

China; 2. Water Resource Management Office of Hami Prefecture, Hami 839000, China)

**Abstract:** The forecast system of the groundwater resources based on the GIS technology is another newest method to manage the groundwater resources effectively. Its main functions are to input and assign the data of the groundwater exploitation capacity to node, to display and analyze the results come from the modelling and forecasting, to edit the maps of the exploiting wells (or the exploiting units) and to maintain the data, etc. This system is the integration of the Map Info and the PowerBuilder. It can be used to draw, show and analyze the maps of the groundwater contour, the maps of the groundwater isobath and the maps of the groundwater draw down in the predictable year by using the GIS technology. Especially, using buffer analysis can realize the quantification analysis of the exploiting wells and the exploiting units in the region where the groundwater levels are the same. These results analyzed by the prediction system of the groundwater resources can be used as the theoretical basis for planning, managing and decision making on the groundwater resources by the administrations.

**Key words:** groundwater resources; forecast; GIS; system integration