

# 基于 GIS 技术的地下水管理系统研究

叶剑锋, 刘小勇

(新疆农业大学 机械交通学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 地下水资源是新疆淡水资源的重要组成部分, 为解决对地下水的无序开采及超采问题, 建立了新疆南疆地下水监测井遥测系统。遥测系统软件是基于 GIS 技术, 在 VB 语言环境下用面向对象的方法进行开发, 充分体现空间查询和分析特点。系统对地下水水位信息进行远程实时采集、分析与报警, 为相关部门提供管理决策依据。系统的建立为 GIS 在地下水资源管理中应用提供了新的开发形式, 系统的运行降低了水务工作人员的劳动强度, 水位信息的准确性、实时性得到保证, 同时产生一定的社会经济效益。

**关键词:** 地下水管理; 二次开发; GIS 应用; 超图

中图分类号: P641.8; T P79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0247-05

## Research of the Groundwater Management System Based on GIS Technology

YE Jian-feng, LIU Xiao-yong

(College of Machinery and Traffic Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** Groundwater resources are an important part of freshwater resources in Xinjiang. Groundwater Resources Information System in South Xinjiang has been built in order to cope with the groundwater over-extraction. Telemetry system software development is based on GIS technology in VB language environment, with object-oriented method, fully embody the characteristics of spatial query and analysis. The remote real-time collection of information on groundwater table provides management decision-making basis for relevant departments. System establishment provides new development form in groundwater resource management for GIS application. The operation of the system reduced water staff labor intensity, the accuracy of the information and water real-time were assured and produced some social and economic benefits.

**Key words:** groundwater management; secondary development; GIS application; super map

随着计算机技术与信息技术的发展, 物质世界中的任何事物都被赋予时空属性, 由此使得社会生产活动中的信息和地理空间位置密切相关。各社会部门在深入研究与应用 GIS 的同时, 要求建立适合本领域(部门)的专业化地理信息系统也越来越强烈, 采用 GIS 技术对地下水资源进行动态管理, 可以及时地将地下水赋存介质和地下水运动规律从可视化的角度得到展现<sup>[1]</sup>, 为区域地下水监测、开采控制、管理决策提供科学依据。此外, 开发简单、移植性好、便于维护的组件式(Com GIS)开发模式成为主流。用 Com GIS 技术建立的南疆地下水资源管理系统(以下简称南疆系统), 进一步对 GIS 在地下水管理中的应用进行研究, 以提升新疆南疆地下水资源管理的信息化水平。

## 1 开发平台

本系统在 Visual Basic 环境下, 用组件式 GIS 的基本思想将 SuperMap Objects 各个控件堆积起来, 根据定义完成不同的功能, 形成最终的 GIS 应用。同时以事件驱动的编程机制, 充分利用应用程序接口(API)函数, 动态链接库(DLL)、对象的链接与嵌入(OLE)、开放式数据连接(ODBC)等技术, 高效、快速的开发图形界面丰富的 GIS 软件系统。平台如图 1 所示, 其中 SQL Server 为数据库支持, SuperMap.apx 为地图控件, SuperLegend.ocx 为图层控件, SuperLayout.ocx 为图层列表控件, SuperTopo.ocx 为拓扑控件, WkspManager.ocx 为工作空间管理控件。

收稿日期: 2010-12-17

修回日期: 2011-01-06

资助项目: 新疆地下水资源利用及保护的技术开发与应用水利部公益性行业科研专项(200801050)

作者简介: 叶剑锋(1984-), 男, 浙江人, 硕士研究生, 研究方向: 地理信息系统集成应用。E-mail: 50345279@qq.com

通信作者: 刘小勇(1954-), 男, 山东人, 教授, 主要从事 GIS 集成应用研究。E-mail: chengrongliu@126.com

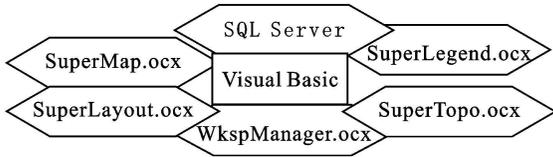


图 1 开发平台

## 2 系统设计

### 2.1 需求分析

地下水资源是支撑社会可持续发展、保障国家安全的基础资源, 由于地下水资源的大量开采, 以及地下采矿疏干排水, 地下水环境恶化的趋势愈演愈烈。南疆系统建立为科学有效地利用地下水资源、加强地

下水资源保护提供有效管理模式<sup>[2]</sup>。根据研究区概况与研究对象的特点分析和用户需求调查, 南疆系统具有以下主要功能: ①监测井水位数据的实时监测、更新和编辑; ②基本工具(放大、缩小、漫游、鹰眼、距离与面积量测等); ③空间查询与分析; ④水资源信息网络发布与数据共享; ⑤空间数据与属性数据的显示与打印(下载); ⑥应用模型管理子系统等。

### 2.2 技术流程及功能框架

流程描述属性与空间两个核心数据库建库过程, 功能框架为系统总体结构, 如图 2 所示。系统具体地图矢量化、属性数据库设计等建库工作和详细的系统功能框架不加详示。

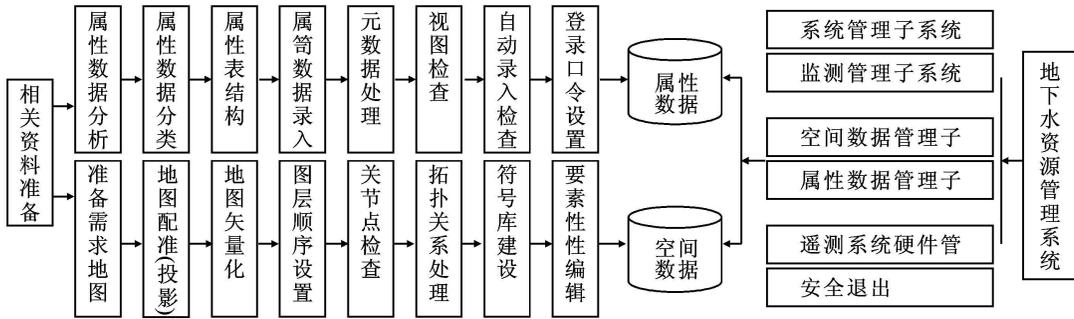


图 2 技术流程及功能框架

### 2.3 地理数据库

(1) 空间数据库。地图的矢量化是空间数据库建立的重要内容, 分层处理是其主要工作。每层空间实体代表不同的专业分类, 为构造针对不同需求的空间查询、分析及应用模型的运行等带来极大的方便<sup>[3]</sup>, 本系统采用 1: 10 000 地形图, 扫描后在 MAPINFO 中编辑(共 26 层), 转成 Supermap 的 SDD 格式, 主要类图层如图 3 所示。

地理实体具有空间属性的数据同样是地理数据库的重要内容, 该部分数据的准确性、实时性将决定地理实体表达的精度, 并影响到模型和决策系统的运行。本文因其对地理实体的依赖性而归为空间数据库当中, 同时也便于突出 GIS 的图查属性特点。表 1-2 列出了监测井及河流的主要数据结构。

表 1 监测井参数

含义	字段名	类型	说明
井编码	Cell_id	C(4)	主键
经度	Cell_long	N(10)	无
纬度	Cell_lat	N(10)	无

表 2 河流参数

含义	字段名	类型	说明
河流名称	River_nm	C(10)	主键
始结点	River_std	L(2)	无
终结点	River_eid	L(2)	无

(2) 属性数据库。属性数据库的内容包括地理实体的非空间信息(如项目井的建设时间、所用设备、通讯号码等)和非地理实体信息(如行政单元内降雨量、蒸发量、人文描述等)。该属性数据承载的信息包含各自内部及两种信息之间存在的直接联系和间接联系。因此, 属性数据库与空间数据库的联系和挂接具体表现在数据库表中的主键和外键的关系上, 并以此为基础建立视图和存储过程。本系统属性数据库数据模型、表分类和表设计如表 3 所示(其中 S: 对象; f: 模型(视图); n: 编码; t: 时间; m: 监测数据; i: 说明; d: 行政区划; g: 等级; r: 流量; a: 面积; p: 人口; c: 权限; k: 类别)。单个表结构以井监测数据表为例, 如表 4 所示。

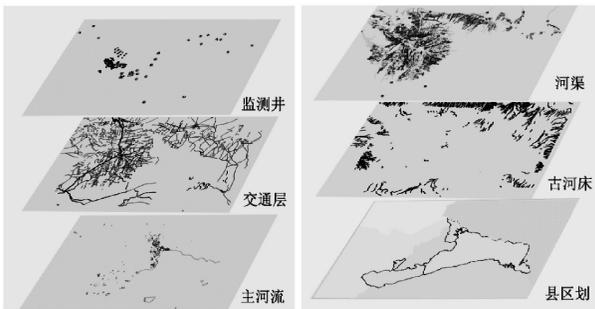


图 3 主要矢量化图层(类)

表 3 属性数据库设计

类	表(图层)	数据模型
项目井	监测井、工程井等	$S = f(n, t, m, i)$
交通	公路、乡村小路等	$S = f(n, d, g, i)$
河流	主河流、支流等	$S = f(n, d, r, i)$
渠道	干支渠、支渠等	$S = f(n, d, r, i)$
区划	县、乡、团场等	$S = f(n, a, p, i)$
用户	机关、科研、普通	$S = f(n, c, g, i)$
其他	公共信息发布等	$S = f(n, d, k, i)$

表 4 监测井数据

含义	字段名	类型	说明
采集时间	collect_date	D	主键
井编码	Cell_id	C(4)	外键
水位标高	Water_level	F(6)	M
水位埋深	Water_depth	F(6)	M
信号质量	Sg1_quality	C(3)	无
探头压力	Probe_press	F(7)	无
气压值	Air_pre	F(5)	无

### 3 主要功能实现

#### 3.1 空间数据的输入和编辑, 存储与管理

将地下水资源环境的空间数据有效地输入到地理信息系统中, 包括矢量数据和栅格数据。本系统将 Mapinfo 的 .mif 格式图层经过嵌入程序运用数据泵转换成 SDB 格式导入。其存储形式仍根据表达的内容差异分层存储, 空间数据操作时能实现点、线、面的编辑。程序如下:

(1) 定义一个数据泵并导入参数对象<sup>[3]</sup> Dim objDPA s soDataPump Dim objIP As solmportParams

(2) 获取数据泵对象, 设置数据输入参数 Set objDP= SuperWorkspace1. Datasources(1). Datapump With cdlfile1. DialogTitle= “输入文件”. InitDir= “C:/yjdxs”. Filter= “MapInfo 的 mif 文件(\*.mif|\*.mif)”

(3) 转入为 Supermap GIS 图层: 点图层 objJP. DatasetPoint= “pointZR” 线图层 objJP. DatasetLine= “lineZR” 面图层 objJP. DatasetRegion= “regionZR” 文件标记 objJP. DatasetText= “textZR”

转化完成后可在程序中直接使用程序语句打开, 也可以编写导入窗口, 可在不同工作空间中可视化切换, 窗口运行如图 4 所示。

#### 3.2 空间数据与属性数据的互操作

该功能主要突破了传统的属性数据查询方式, 可以实现属性查图和图查属性的双向功能, 从而使属性数据可视化, 增强其操作性和准确性。突破空间想象的局限。图查属性关键语句如下:



图 4 数据导入窗口

(1) 提取所选对象的属性数据 Set objRecordSet = Map. Selection. ToRecordset( False); (2) 移到第一条属性 objRecordSet. MoveFirst; (3) 得到属性名 For i = 1 To objRecordSet. FieldCount strName(i - 1) = objRecordSet. GetFieldInfo(i). Name; (4) 得到属性值 strValue(i - 1) = objRecordSet. GetFieldValue(i)

#### 3.3 监测管理系统

地下水水位数据的实时更新。通过 GSM 通信技术, 可对水位等水文参数遥测, 然后显示在监测系统界面, 通过存储过程将接收到的参数写进数据库, 达到监测的目的。若监测数据超出设置范围, 则发出水位闪烁警报, 该功能实现方法<sup>[4-8]</sup>: (1) 获取跟踪图层 Set objTrackingLyr = Map. TrackingLayer; (2) 对象都添加到跟踪图层 objTrackingLyr. ClearEvent objRcd. MoveFirst; (3) 获取记录的几何对象 Do Until objRcd. IsEOF Set objGeometry = objRecordset. GetGeometry(); (4) 闪烁风格 objStyle. BrushColor = vbBlue. PenColor = vbRed. PenWidth = 6. SymbolSize = 70; (5) 比较添加并显示实例 Map. TrackingLayer. AddEvent objGeometry, objStyle。

监测子系统运行如图 5 所示, 通过选择监测系统 MAP 中的监测井, 在界面的左半部分实现当前监测状态的浏览, 而界面的底端提供数据库的添加、刷新、关闭监测等功能。



图 5 监测系统

### 3.4 专题图

专题地图按照地图主题的要求,突出而完善地表示与主题相关的一种或几种地理要素,使地图成为内容专题化、形式各异、用途专门化的地图。基本流程可分为数据采集与输入、地图制作与编辑、地图输出三个阶段。SuperMap Objects 提供单值、范围、统计、等级符号、标签等类型的专题图制作。如图 6 所示的研究区行政单元土地面积专题图中从单值色阶变化、圆形等级(半径越大面积越大)、标签三个层次直观显示。

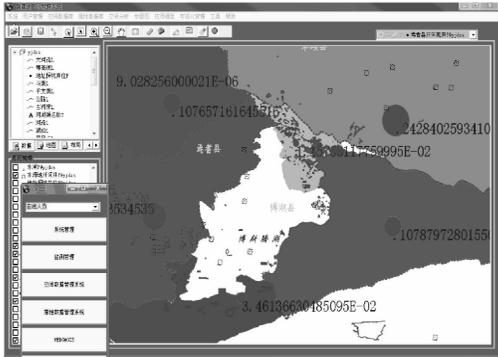


图 6 专题图

### 3.5 其他功能

系统其他功能中如空间数据的多种方式输出;属性数据的输出可附着空间数据,也可单独以报表的方式进行打印;网络发布与数据共享;利用 WEBGIS 技术,基于网络的空间及属性数据的发布、查询浏览、数据访问等功能限于篇幅不再列举。

## 4 基础空间与统计分析

空间分析是基于模型的基础之上,是地下水地理信息系统的核心功能。系统通过对模型嵌入,达到缓冲分析、回归分析、监测预报等功能,为管理者提供决策参考。

### 4.1 栅格分析

栅格分析是 GIS 应用系统中空间分析的基础,系统中某行政单元内水安全等级的各种因子可抽象为矢量要素,对自身所在单元及以距离按指数衰减方式对外单元产生影响<sup>[5]</sup>。如某开采井的取水量对该行政单元及符合衰减指数距离内的水位影响。步骤及主要语句如下:

(1) 获取表面分析对象: `Set objSurfaceAnalyst = frmMain. Analyst. SurfaceAnalyst`

(2) 获取表面分析操作对象: `Set objSurfaceOperator = objSurfaceAnalyst. Surface`

(3) 获取等值线<sup>[4]</sup>: `Set objSurfaceAnalyst. AnalysisEnvironment = frmMain. objAnalystEnvmnt,`

`Set objDtv = objSurfaceOperator. Isoline( objDtRst, CDb1( txtGrads. TextClnt( txtSmooth. Text), objDs, strTmp) If Not objDtv Is Nothing Then`

(4) 生成成功后刷新工作空间管理器: `frmMain. WkspManager. Refresh`

### 4.2 平均水位统计分析

平均水位统计功能可针对单个监测井或全部监测井水位就时间轴进行纵向或横向比较分析,为管理决策提供依据。步骤及主要语句如下:

(1) 创建并打开一个 recordset: `Set conShape = New ADODB. Connection conShape. Open CONNECT_STRING`

(2) 用 recordset 中的数据来填充图表: `Set recShape = New ADODB. Recordset, recShape. Open SHAPE_COMMAND, conShape`

(3) 提取域并绘制曲线: `ShowRecordsInChart recShape, FIELD_X, FIELD_Y, FIELD_Z Do Until recParent.EOF 确认(row) 为此 X 域 sValue = FixNull(recParent. Fields(sFldX). Value, False) If Not IsKeyInCollection( cRows, sValue) Then lMaxRow = lMaxRow + 1 lRow = lMaxRow' 存储同行名相关的行索引 cRows. Add lRow, sValue. InsertRows lRow, 1. RowLabel( lRow, 1) = sValue。运行效果如图 7 所示。`

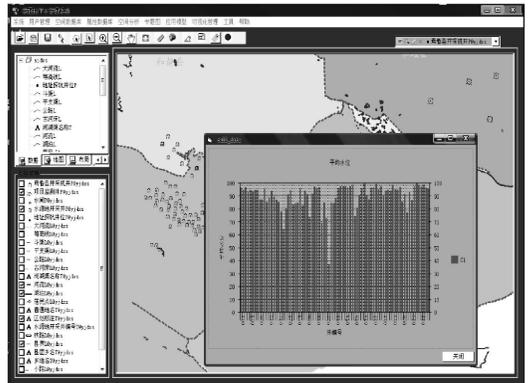


图 7 平均水位

### 4.3 时间序列预测模型

时间序列预测法就是通过编制和分析时间序列,根据时间序列所反映出来的发展过程、方向和趋势,进行类推或延伸,借以预测下一时段或若干年以后地下水流程、埋深、降深可能达到的水平<sup>[6]</sup>。模型首先建立二次曲线趋势模型:  $y_t = a_0 + a_1t + a_2t^2$  方程中的三个未知参数  $a_0, a_1, a_2$  根据最小二乘法求得。即对时间序列拟合一条趋势曲线,使之满足下列条件:  $\sum(y_t - t[AKY])^2 = \text{最小值}$ , 得到标准求解方程:

$$\textcircled{1} \sum Y = na_0 + a_1 + a_2 \sum t^2$$

$$\textcircled{2} \sum t Y = a_0 \sum t + a_1 \sum t^2 + a_2 \sum t^3$$

$$\textcircled{3} \sum t^2 Y = a_0 \sum t^2 + a_1 \sum t^3 + a_2 \sum t^4$$

系统默认取时间序列的中间时刻作为原点来减少运算量, 此时有  $\sum t = 0$ , 求解简化为:

$$\textcircled{1} \sum Y = n a_0 + a_2 \sum t^2$$

$$\textcircled{2} \sum t Y = a_1 \sum t^2$$

$$\textcircled{3} \sum t^2 Y = a_0 \sum t^2 + a_2 \sum t^4$$

以上公式中:  $t$  ——自变量(时间);  $y_t$  ——实际值;  $t[AKY]$  ——趋势值。运行效果如图 8 所示。

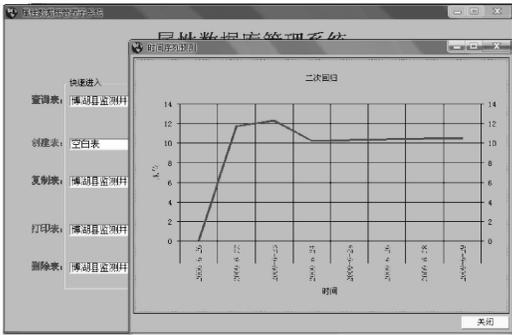


图 8 二次回归

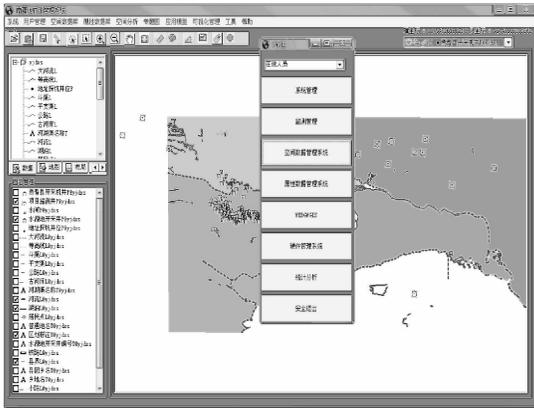


图 9 系统主要窗口运行效果

## 5 系统运行

启动系统和关闭系统时特别要注意 LOAD 加载: `strfilename = "c:/dxsgl/yjdxs.smw"` 提取默认路径 `Map.Connect Workspace.Handle` 连接工作空间 `Map.OpenMap Workspace.Maps.Item(1)` 打开地图 `SuperLegend1.Connect Map` 图层管理器连接 `WkspManger.Connect Workspace` 连接工作空间管

理器。UNLOAD 加载: `Map.SaveMap` 保存地图 `Map.Disconnect` 断开连接 `Workspace.Close` 关闭工作空间运行效果如图 9 所示, 其中前端窗口为总控制窗口, 登录后即可进入到各子系统当中, 其后为空间数据管理子系统。

## 6 结语

本系统体现遥测管理的实时性和 GIS 在地下水管理中的高效决策、协作管理、界面友好等特点, 使新疆南疆地下水资源管理迈上新台阶。系统实现地下水水位实时遥测和各职能部门水资源管理信息共享, 提升了水信息效益价值, 提高了工作效率, 取得一定的成果。更重要的是系统不要求使用者深入掌握 GIS 技术, 操作简单方便, 在基层水资源管理管理部门的推广应用有着很实际的意义。但课题在运用空间信息三维可视化技术建立虚拟分析系统<sup>[7-10]</sup>、水位等值线绘制等内容上仍需进一步加以完善。

### 参考文献:

- [1] 丛方杰, 王国利, 肖传成, 等. 基于 GIS 组件技术的地下水资源管理信息系统的研究与开发[J]. 水文, 2006, 26(4): 61-68.
- [2] 梁国玲, 张永波. 基于 GIS 的中国地下水资源空间数据库建设[J]. 地球学报, 2007, 28(6): 72-78.
- [3] 张鹏程. 基于 SuperMap 的正射影像图建库方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2007, 31(3): 12-15.
- [4] 张正栋, 胡华科, 钟广锐, 等. SuperMap GIS 应用与开发教程[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006: 167-193.
- [5] 林先成, 杨武年. 基于栅格数据空间分析的城镇土地定级研究[J]. 国土资源遥感, 2008, 76(2): 98-100.
- [6] 刘小勇, 吴楚云, 龚守远. 基于 GIS 技术的地下水资源预测预报系统[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 171-174.
- [7] 胡卓玮, 宫辉力, 赵文杰. 地下水空间信息可视化分析技术研究[J]. 地球学报, 2007, 12(8): 63-68.
- [8] 宫辉力. 地下水地理信息系统[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 117-119.
- [9] 刘小勇, 董新光. 农业工程水资源管理中 GIS 区域分析方法的应用[J]. 农业机械学报, 2004, 35(4): 196-199.
- [10] 孔云峰, 李小建, 乔家君. GIS 中几个基本问题探讨[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(5): 1-3.