

# 基于 WebGIS 的山西省地下水信息 管理与应用服务系统

牛鑫艳<sup>1</sup>, 王正华<sup>2</sup>, 李文炜<sup>2</sup>, 张英瀚<sup>1</sup>

(1. 北京清流科技发展有限公司, 北京 100073; 2. 山西省水文水资源勘测局, 山西 太原 030001)

**摘要:**结合山西省实际业务需求建设的“基于 WebGIS 的山西省地下水信息管理与应用服务系统”, 采用地下水分析先进技术及设计理念, 解决了目前地下水信息化建设中存在的普遍问题, 生产应用中运行良好, 为全国地下水业务管理及分析系统建设进行了有益的探索和实践。对本信息系统设计及问题解决方案进行介绍, 为地下水信息化系统建设提供参考。

**关键词:**地下水; WebGIS; 控制点; 裁剪; 小面积加权

**中图分类号:** P641

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0852(2013)03-0038-05

## 1 引言

由于用水结构不合理、采煤破坏等原因, 山西大同、忻定、太原、临汾、运城各大盆地地下水均严重超采, 下降速率在 1.0m/a~1.6m/a 之间。在一些地区, 水井越打越深, 部分深度已超过 1 000m, 农业生产和人畜饮水均受到威胁。

2007 年, 山西省实施了兴水战略六大水利建设工程, 把地下水及水源地保护工程作为其中一项。2008 年, 山西省将地下水水位变幅列为《山西省经济社会发展考核评价指标体系》, 作为考核评价市、县两级政府保护与合理开发利用地下水资源情况的指标。地下水的保护与管理受到了省政府、省水利厅的高度重视。

要加强地下水的管理, 对地下水资源的开发利用进行控制和考核, 必须以可靠的地下水监测数据为支撑。山西省的地下水监测已覆盖全省 119 个县(区、市), 数据量大, 业务分析过程繁琐复杂, 依靠传统人工完成信息管理和评价, 使数据资源的可信度和利用率都受到了限制, 不能及时向社会提供地下水动态变化信息, 不能适应当前地下水管理保护工作及社会经济发展的需要。为有效提高全省地下水管理水平, 为水资源行政管理提供决策支持, 加速山西省地下水信息系

统的建设成为当务之急。

近年来, 随着全国水利信息化的兴起, 地下水信息化的建设在全国也逐渐展开。北京市水文总站建设了“北京市平原区普查地下水信息管理系统”, 集业务管理、成果展示、地下水模拟于一体, 同时建设了地下水遥测上报系统, 每日接收遥测数据完成必要的统计分析, 也是目前全国建设相对全面的地下水信息化系统。另外天津、河北也相继建设对地下水管理系统的设计方法和功能需求进行了初探。但是纵观全国的地下水信息化建设还远未达到实际生产需要。

## 2 系统建设意义

“基于 WebGIS 的山西省地下水信息管理与应用服务系统”(以下简称“本系统”)建设了地下水综合数据库、集合了 GIS 服务体系、考核评价服务体系、资料整编服务体系、地下水分析报告自动生成体系, 在提高技术人员工作效率和质量的同时, 能有效地为管理者提供决策支持。其社会和经济意义体现在:

(1) 本系统集数据采集、资料整编、统计分析 & GIS 展示于一体, 实现了山西省地下水信息的采集自动化、传输网络化、管理数字化、决策科学化。

(2) GIS 服务体系的建立, 能方便使用者查看全省



水资源分区、超采区、水源地、水文地质类型区、泉域分布情况、监测站布设情况、水资源量开采情况,系统提供的分析服务,有利于决策者对全省地下水变化情况的掌控。

(3)考核评价服务体系的建立,为全国地下水监督性方案提供了一定的借鉴作用,为落实“最严格的水资源管理制度”工作和地下水限采红线管理提供了行之有效的信息化手段。

(4)本系统建设中对改进目前国内已有的地下水信息化系统建设中存在的问题进行了有益的探索和实践,对以后国家地下水监测工程的建设也提供了一定的参考。

### 3 系统结构

在充分了解山西省地形地貌、水文地质条件、已有研究成果、实际业务等情况下,建设基于 WebGIS 的地下水信息管理与应用服务系统,以减轻技术人员的劳动量,提高工作效率,同时为领导提供决策支持。

系统采用 B/S (浏览器/服务器) 结构体系,以 Microsoft SQL Server 2005 和 ArcGIS SDE 9.3 为空间数据库管理平台,进行地下水空间数据库的设计与建库,运用 WebGIS 技术及空间数据引擎(SDE)技术,实现了基于 ArcGIS Server 的地下水信息管理与应用服务系统的主要功能。

系统结构体系可分为用户表示层、应用层和数据层三个主要层次。表示层是用户访问系统的公共接口,其主要是通过浏览器将用户请求转发到 Web 服务器,并且负责将服务器返回的信息经过一定的逻辑组织后展现给用户。该层不会实现真正的业务逻辑,它只起到转发用户请求的作用。应用层又可以分为 Web 服务层和 GIS 服务层,Web 服务一方面验证客户端的业务请求,进行界面逻辑处理及相应的业务逻辑处理,发送必要的请求给数据服务器,并取回结果数据,负责处理除了 GIS 分析处理的业务;另一方面根据用户请求从 GIS 服务器中获取相应的服务器对象的代理,将 GIS 服务返回的结果再返回至表示层。数据层接受业务层对应的数据请求,与数据库及文件系统交互,建立并管理数据,执行检索、修改、删除等数据操作。

### 4 系统主要功能

本信息系统按照业务要求共建设数据上报与管理、考核评价指标统计、地下水动态 GIS、等值线(面)

绘制及分区统计、资料整编、地下水分析、地下水统计、地下水分析报告等模块。

#### 4.1 数据上报与管理

数据的上报与管理是信息系统的基础,是统计分析、报表生成的前提。本部分实现了水位、水温、水量、水质、降水、水源地、超采区、地下水资源调查评价数据、试验成果数据等相关信息的管理。实现了遥测数据的自动上报管理,人工数据的录入、导入上报管理,各级用户通过权限分配上报与管理各自管辖范围内的数据。其中水位、水温、水量、水质监测数据采用“原始-中间-整编”三级数据流转机制,通过录入、导入、异常数据挑选、合理性检查、线性插补等功能实现了监测数据的整编处理。

#### 4.2 考核评价指标统计

对考核评价指标井进行管理,定期录入、导入评价指标井的监测数据,根据规定的计算方法建立数学模型,进行全省 119 个县(区、市)的指标考核井年末变幅统计计算,生成县、市分值统计表,可直接打印上报给省政府。这部分功能为指标井的信息查询、实际生产应用提供了便利,同时也避免了人为误差,也为《山西省经济社会发展考核评价指标体系》的实行提供了技术支持。

#### 4.3 地下水动态 GIS

本部分基于 WebGIS 实现了属性数据和空间数据一体化管理。实现了遥测水位数据的召测、异常情况的预警。实现了地下水监测站网、指标井、超采区、水源地、水资源分区、水文地质类型区、泉域的分布展示。除 GIS 支持基础图层与其它水资源分区、水文地质单元、超采区、水源地的专题要素的叠加显示、地图管理与图层控制、地图显示、放大、缩小、漫游操作、鹰眼跟踪等基本功能外,信息查询功能实现了图形和属性的双向查询,可根据查询条件检索目标对象,并统计目标对象数量及属性信息浏览。本部分通过地理信息系统平台以宏观和微观的角度对全省地下水相关的关键项目进行诠释,尤其超采区、水源地的查询统计能查看其水位、水量变化情况,为水行政管理提供决策支持。

#### 4.4 等值线(面)绘制及分区统计

采用克里格插值方法,基于任意多边形裁剪方法,完成任意时刻水位(埋深)等值线(面)、任意时刻变幅等值线(面)的绘制。利用小面积加权法,进行分区统计计算,并以此为基础完成盆地、地市蓄变量统计计算。



另外,根据规定的命名规则,实现了省局与分局分析成果的共享。这些功能的实现使技术人员省去了手工画图、量面积、手工计算、成果图矢量化等一系列繁琐的工作流程,同时减少了省局与分局频繁沟通时财力、物力的浪费。此部分生成的等值线(面)成果图、分区统计表、蓄变量统计表已直接用于目前《中国地下水通报》的上报编制。

#### 4.5 地下水分析

以过程线、柱状图及数据表的形式对单站、多站、区域地下水位变化趋势等进行分析,分析降水、开采对地下水的影响,并完成降水量统计分析,监测站地层水位剖面变化分析,为实际业务的分析应用及研究提供依据。

#### 4.6 地下水统计

以数据上报与管理为基础完成不同区域的年均水位(埋深)、年末水位(埋深)及年最高水位(埋深)发生站、发生日期等年统计、月统计、变幅统计等,能方便领导及时查看及向上级部门的实时上报。

#### 4.7 地下水分析报告

由系统根据规定格式生成汛期动态简报、地下水动态年简报、地下水通报 word 格式文档,用户可对其进行再编辑后装订发布。这些功能在数据管理、统计分析应用之后由系统将需要的数据、分析图形自动生成文本格式,用户只需进行必要的修改即可完成报告的编制。

### 5 关键技术

目前信息化建设中普遍应用的关键技术主要为 GIS 技术、数据库技术,在许多论文中均有相应的介绍,本文仅对地下水信息系统建设中急需解决的问题进行介绍。

#### 5.1 站点图层的 Web 更新

信息系统中监测站点的维护一方面是 MIS 模块中通过录入、导入等方式增加新的监测站点信息,在此基础上系统才可进行站点监测数据的入库、统计分析等;另一方面便是站点 GIS 图层的维护,需要有完整的 shp 图层才能通过 ArcGIS Server 进行发布展示,这就需要人为制作站点 shp 图层后手工更新或通过系统实现图层的自动更新。

为减少人为操作的繁琐性并规避人为操作的错误率,本系统采用了监测站点图层 Web 自动更新的方法,当客户端浏览器提交图层更新请求时,系统通过

SDE 服务删除原有图层,并利用 MIS 中的经纬度信息实时生成新的站点 SDE 图层,新的图层再通过 ArcGIS Server 发布给 Web 服务,最后再通过客户端浏览器展示给用户。

#### 5.2 站网筛选及规范比例尺的打印

随着时间的变化每年的有效监测站网是有所变化的,系统中利用站点筛选技术构建不同年份的监测站网。Web 服务将用户筛选的年份或监测站类别条件发送至属性数据库查找出符合条件的监测站,同时结合空间数据库 SDE 查询相应的站网图层,最终通过 ArcGIS Server 进行发布展示,以此实现不同年份不同类别站网的展示。另外,为利用已有的信息化成果完成实际业务要求的 1:25 万、1:50 万比例尺站网图的打印,本项目中事先设置了一个 .mxd 配置文件,已设置好图例、比例尺等,双击 .mxd 文件后启动 ArcMap 程序,该程序连接系统 SDE 库中刚通过界面筛选出的站点图层后输出符合地图公开出版质量的图件,等值线(面)的打印采用同种方法实现。

#### 5.3 等值线(面)的绘制及裁剪

系统利用先进的 Conmas 等值线(面)生成技术,采用克里格插值方法生成等值线(面)。在地下水水位(埋深)等值线(面)绘制过程中多数情况会因监测站点不足导致生成的等值线(面)不能拟合实际地形,与实际水位变化情况有偏差。本信息系统中设置了“控制点”的增加功能,由用户在系统界面添加控制点的经纬度及值,将其存储在属性数据库,同时连接 SDE 库生成控制点图层,在绘制过程中将监测站点和控制点合成生成等值线(面)图,并以不同的颜色标识,以方便查看。

部分地下水信息系统建设中主要通过“框图覆盖”的方式将生成的网格范围内非研究区域的等值线(面)覆盖,达到系统中只显示研究区等值线(面)的效果。这种方法无法统计各分区面积及变化值,无法进行相应的分析计算。另外一些专业软件如 surfer 中等值线(面)绘制后将网格内非研究区范围的等值线(面)进行裁剪,但是因为裁剪方法的使用裁剪结果不能与研究区边界完全吻合,一般情况下边界周边有明显锯齿,对系统显示效果有所影响。针对此类情况,本信息系统中利用 Conmas 等值线(面)裁剪技术,基于任意多边形裁剪方法,既解决了分析计算要求又解决了边界吻合需要,在专业软件的基础上有所改进。如图 1 所示为实际生产中增加控制点后系统生成的大同、天阳盆地埋深等值面图。



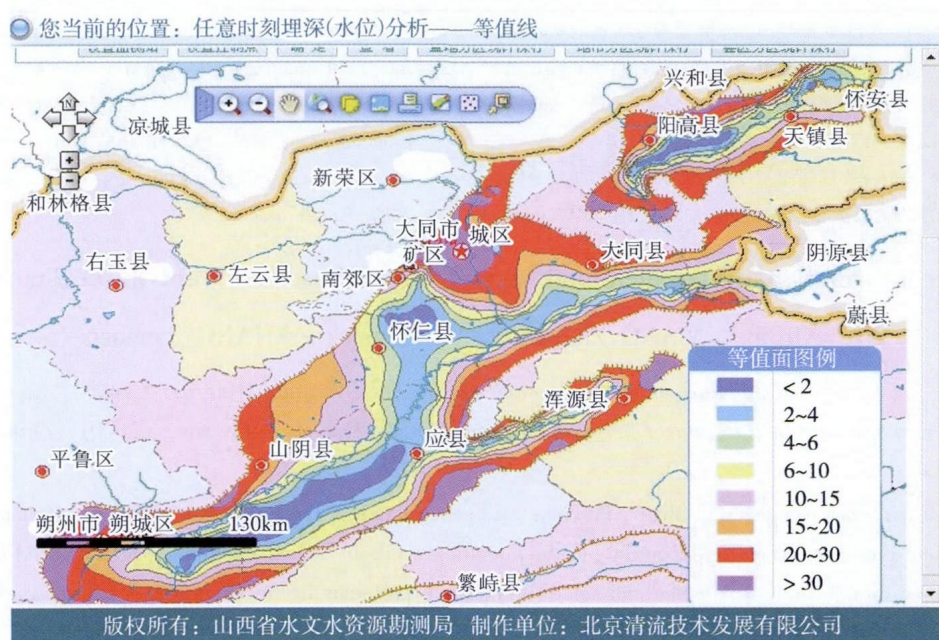


图1 大同盆地、天阳盆地等值面图

Fig.1 The isosurface of the Datong and Tianyang basins

#### 5.4 分区统计计算

目前各省都要进行一年五期的地下水通报成果的提交,其中每期要提交全省地下水位动态表(《中国地下水通报》编制工作大纲表5)、同比及环比蓄变量统计表(《中国地下水通报》编制工作大纲表7)。山西省主要是集中开发利用的天阳盆地、大同盆地、忻定盆地、太原盆地、临汾盆地、运城盆地、长治盆地七大盆地地区及地市的计算,其分析过程中存在盆地跨地市、地市跨盆地的实际情况,人工计算任务繁重。利用系统实现此类统计计算既要保证盆地分析与地市分析后全省统计结果的一致,又要考虑管理单位、系统权限的分配问题,为系统的建设带来了困难。

本系统中将研究区分为多个最小计算单元,通过小面积加权的方式生成盆地、地市的分区统计表,在此基础上完成了盆地、地市动态统计表、蓄变量统计表的自动生成。小面积加权计算原理为:

(1)将参与计算的站点监测值进行排序,将其分别归类至上升区、稳定区、下降区三个等级且找到每个等级的最大值、最小值;

(2)确定生成等值面的级别,每个级别从最小值到最大值间每间隔 0.5 定为一个级别,确定级别后生成等值面图,在生成等值面图时同时获得每个级别的面积值,即小面积加权的小面积值( $\Delta F_i$ );

(3)认定相邻两个等值线值的均值即为每个小面积的变幅值( $\Delta h_i$ );

(4)上升区中同一级别的小面积值乘以对应的变幅值的和再除以上升区总面积即得到上升区的平均变幅值( $\bar{h}_+$ ),公式为 $\bar{h}_+ = \sum_{i=1}^n (\Delta h_i \times F_i) / \sum_{i=1}^n F_i$ ,下降区、稳定区同。

由此得到地下水动态表中需要的各项统计表,同时再利用分区统计表与各分区的给水度值计算得到蓄变量统计表。

#### 6 结语

随着国家水资源管理系统建设的全面实施及国家地下水监测工程的逐步开展,地下水信息系统建设已成为实现水利现代化的重要组成部分。基于 WebGIS 的山西省地下水信息管理与应用服务系统已应用实践,并且将不断完善、升级,系统建设中做出的有益尝试,对全国各省的地下水信息化建设具有一定的借鉴价值。

#### 参考文献:

- [1] 汪旻琦. 基于 ArcGIS Server 的企业级 GIS 系统开发与应用[D]. 上海:华东师范大学硕士学位论文,2007. (WANG Minqi. Enterprise Level GIS System Development and Application Based on ArcGIS Server[D]. Shanghai:East China Normal University,2007. (in Chinese))
- [2] 刘沂轩,熊彩霞,周保太. Surfer8.0 在地下水监测管理中的应用[J]. 能源技术与管理,2007(6). (LIU Yixuan,XIONG Caixia,ZHOU Baotai. Application of Surfer8.0 in groundwater monitoring management[J]. Energy Technology and Management,2007(6). (in Chinese))



- [3] 孙中任,甄凡玉,赵雪娟. MapGIS 数据与 Surfer 数据相互转换的实现[J]. 地质与资源,2008,17. (SUN Zhongren,ZHEN Fanyu,ZHAO Xuejuan. A mutual conversion method between MapGIS data and Sufer data[J]. Geology and Resources,2008,17. (in Chinese))
- [4] 陈欢欢,李星,丁文秀. Surfer 等值线绘制中的十二种插值方法简介[J]. 工程地球物理学报,2007(4). (CHEN Huanhuan,LI Xing,DING Wenxiu. Twelve interpolation methods of surfer contour drawing[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics,2007(4). (in Chinese))
- [5] 北京清流科技发展有限公司. Conmas[EB/OL]. <http://www.conmas.net/conmas/conmas.aspx>,2009. (Beijing QingLiu Technology Development Co. Ltd., Conmas[EB/OL]. <http://www.conmas.net/conmas/conmas.aspx>, 2009. (in Chinese))

## Groundwater Information Management and Service System Based on WebGIS for Shanxi Province

NIU Xinyan<sup>1</sup>, WANG Zhenghua<sup>2</sup>, LI Wenwei<sup>2</sup>, ZHANG Yinghan<sup>1</sup>

(1. Beijing Qingliu Technology Development Co. Ltd., Beijing 100073, China;

2. Hydrology and Water Resources Surveying Bureau of Shanxi Province, Taiyuan 030001, China)

**Abstract:** Combined with real business needs in Shanxi Province, In construction of the Shanxi Groundwater Information Management and Application Service System Based on WebGIS, according to the operation needs in Shanxi Province, the advanced technology and design concept were used for groundwater analysis, which can solve the common problems in the groundwater informatization construction. The system running is good in production application, which is a useful exploration and practice for construction of groundwater business management and analysis system in China.

**Key words:** groundwater; WebGIS; control point; cutting; small area-weighted

(上接第 33 页)

- [9] HAO Xianjun. Estimation of Live Fuel Moisture and Soil Moisture Using Satellite Remote Sensing[D]. George Mason University,2006.
- [10] WANG Lingli. Remote Sensing Techniques for Soil Moisture and Agricultural Drought Monitoring[D]. George Mason University,2008.
- [11] Soriano M. Estimation of Soil Moisture in the Southern United States in 2003 Using Multi-satellite Remote Sensing Measurements[D]. George Mason University,2008.
- [12] Vincenty T. Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations [J]. Survey Review,1975,23 (176):88-93.
- [13] [http://news.iqilu.com/shandong/yaowen\[EB/OL\]](http://news.iqilu.com/shandong/yaowen[EB/OL]).

## Dynamic Remote Sensing Monitoring and Analysis of Soil Moisture in Shandong Province Based on MODIS Data

MA Jianwei<sup>1</sup>, HUANG Shifeng<sup>2</sup>, HU Jianwei<sup>3</sup>, ZHANG Silong<sup>3</sup>, LI Xiaotao<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Remote Sensing Technology Application Center, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China;

3. Water Resources Information Center, MWR, Beijing 100053, China)

**Abstract:** Drought disaster is one of main natural disasters in China. In recent years, continuity and extreme drought disasters occur frequently, which seriously threaten food security, water safety and ecological security. Soil moisture is a important factor of drought monitoring. Remote sensing technology can be widely used in the soil moisture monitoring with its advantages of large observation range, powerful real-time performance and low cost. In this paper, the relationship between soil moisture, normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST) was analyzed, and a remote sensing monitoring soil moisture model was set up based on NDVI and LST. In the end, based on MODIS image and ground measured data, a dynamic monitoring of soil moisture was carried out in Shandong Province from October 2010 to May 2011. The results show that the drought in Shandong Province began in October 2010, then became more and more serious; Due to raining, the drought, eased a little in the end of February 2011, soon became serious again; In may 2011, the drought basically disappeared. The most serious area of drought is the south Shandong Province. The monitoring results agree with the actual situation.

**Key words:** MODIS; soil moisture; Shandong Province; drought; remote sensing monitoring