

空间插值技术在全国地下水业务分析与发布系统中的应用

徐映雪^{1,2}, 牛鑫艳², 李玲², 翟彩霞²

(1.北京清流地下水资源研究所,北京 100073; 2.北京清流技术股份有限公司,北京 100073)

摘要:等值线是地下水监测成果数据表示的重要图件。结合水利部地下水监测中心的业务功能需要,自主开发了空间插值和等值线算法库,包括规则化网格插值、等值线生成、裁剪、区域填充、统计分析、地下水漏斗识别、剖面图绘制等功能。该算法库成功应用于全国地下水业务分析与发布系统,经过18省17个平原区的数据检验,5年来运行良好,提升了地下水监测信息的加工处理效率。在此基础上研发的等值线绘制软件 CONMAS 可以免费下载试用。

关键词:地下水;空间插值;等值线;地下水漏斗

中图分类号: P345

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2016)03-0065-05

1 引言

等值线技术在水文、气象、地质、矿产等领域应用非常广泛。它将多个监测站点采集到的数据绘制成等值线图,从区域上把握要素的总体变化特征与变化规律。等值线是地下水监测成果数据表示的重要图件,我国正式发布的水资源公报、水资源通报、地下水动态月报等都需要绘制地下水水位等值线、地下水埋深等值线、地下水水位变幅等值线、雨量等值线图。地下水信息管理系统开发中,等值线的绘制也是必要的技术之一。

成熟的商业软件如 Surfer、ArcGIS、Matlab 等都具有等值线绘制功能,二次开发也有应用,但二次开发时往往存在数据接口或软件升级、购买等限制。关于等值线算法的研究很多,但由于涉及插值、等值点追踪、不规则边界裁剪等对空间数据的计算,具体实现起来还是有一定难度的。

由水利部水文局主办,水利部地下水监测中心承办的全国地下水业务分析与发布系统集数据上报、业务分析及信息发布于一体。该系统的建设满足了水利部地下水监测中心日常业务需要,为《地下水动态月报》的生成提供技术支持。系统采用 B/S 与 C/S 相结合的方式,在 WEBGIS 的支撑下,分析计算地下水开发利用的主要平原区、行政区、南水北调受水区等特殊类型区的地下水埋深空间和时间变化特征,通过绘制地下

水埋深等值线(面)图,描述区域地下水埋深的分布、漏斗区位置,地下水埋深变幅情况等。分析计算采用自主研发的等值线算法库,目前已实现了全国 18 省 17 个平原区的分析计算及成果发布。

本文介绍了自主研发的等值线算法库及其在水利部地下水监测中心地下水业务分析与发布系统中的实际应用情况,根据业务需要除了基本的空间插值、等值线生成、裁剪、区域填充等基本功能外,还包括了统计分析、剖面图绘制、地下水水位漏斗区域绘制等功能。生成的等值线(面)图以及统计分析数据直接用于《地下水动态月报》的编制,极大提升了工作效率。

2 空间插值技术

2.1 Kriging 空间插值方法

克里格(Kriging)法是地下水动态月报中指定的一种插值方法,是一种求最优、线性、无偏的空间内插方法。它最大限度地利用了空间取样所提供的各种信息,不仅考虑了该样点的数据,还考虑了邻近样点的数据,不仅考虑了待估样点与邻近已知样点的空间位置,还考虑了各邻近样点彼此之间的位置关系,同时利用了已有观测值空间分布的结构特征。从而使这种插值方法比其它方法更精确,并且能够给出估计误差。克里格法的缺点是计算步骤较繁琐,计算量大,参数较多。

收稿日期:2015-05-12

基金项目:全国地下水业务分析与发布系统(09-061);北京市西城区科技计划项目(2015IH12)

作者简介:徐映雪(1978-),女,安徽太和人,博士,从事水文水资源及水利信息化研究工作。E-mail:xuyx_239@163.com

在实际工作中,以下几种情况往往会影响到等值线的绘制:(1)控制性地下水水位监测站点不足;(2)地下水水位观测井为生产结合井时,可能观测的是动水位数据;(3)地下水水位监测站点变更,造成数据的不连续;(4)漏测等造成地下水水位监测数据不全。因此往往需要根据区域的地形、水文地质情况等,通过站点的管理来绘制符合区域实际的等值线。

我们在实际操作中通过管理站点来得到合理的等值线图,可以不使用明显不合理的监测数据;虚拟控制性地下水监测站点数据,对时间序列不全的数据进行插补等。另外把 Kriging 方法中常用的参数固化,减少了选择步骤,提高了实用性。

2.2 等值线图生成流程

在地下水业务分析与应用系统中,等值线生成的流程一般是:步骤一,业务人员界面输入时间、绘制区域、监测数据、等值线序列;步骤二,从地下水数据库中读取监测站点的地下水埋深/变幅数据;步骤三,利用 Kriging 插值方法进行插值,获得网格化数据;步骤四,根据步骤三得到的网格数据线性内插得到穿过网格线的等值点;步骤五,等值线追踪,即等值点相连,构成闭合或与边界线相交的等值曲线;步骤六,等值线裁剪,采用基于多边形的裁剪方法根据平原区界线或行政区界线对等值线进行裁剪;步骤七,等值线绘制,利用 WEBGIS 技术实现等值线的可视化展示;步骤八,等值线保存。等值线生成流程如图 1 所示。



图 1 等值线生成流程图

Fig.1 The flow of contour generation

在全国地下水业务分析与发布系统中,绘制区域坐标范围、网格剖分行列数由系统根据选择的平原或行政区自动判定,地下水水位变幅的等值线间距和填充颜色按相关要求默认。用户只要选择时间和绘制区域的站点数据,即可直接得到最终的结果,十分便捷。

2.3 算法库开发

考虑到插值计算的地下水监测站点数据多,网格剖分量,为提高计算速度,等值线相关的网格插值、等值线追踪核心算法都采用 C++ 语言编写并编译成 .com 组件;在此基础上延伸的等值线填充、裁剪、统计分析、地下水漏斗绘制、地下水剖面绘制等算法的计算量较小,则采用 C# 编写,和 .com 组件一起最终封装成等值线算法库,可以灵活、方便地被 .NET、JAVA 等多种开发语言调用。考虑到信息化系统中的可视化需要,输出结果为常用的 shp 格式的线文件和面文件,该文件提供完整的等值线序列属性。

(1)网格化数据插值和等值线追踪核心算法函数库:Interop.MY5BMYATLCOMLib.dll。插值算法包括 Kriging 和反距离加权两种。输入数据包括监测点坐标和监测点观测值(地下水水位、埋深或变幅)、插值范围和行列数、等值线序列值,以及插值算法自身所需要的参数。输出结果是网格化的二维数据矩阵和等值线数据,其中选择生成等值线时,则输出结果是等值线数据列表包含 X、Y 坐标值和等值线的数值属性;选择生成等值面时,输出结果是等值面的 X、Y 坐标值和等值面的数值属性。

(2)等值线算法库:SurferLib.dll。经过加密处理后最终形成的等值线算法库,包括裁剪、统计分析、地下水漏斗绘制、地下水剖面绘制等算法函数库。其中裁剪函数的输入数据是等值线或等值面数据,以及裁剪边界数据;输出结果是裁剪后的等值线或等值面数据;统计分析函数输入的是等值线和分区矢量数据,输出的是地下水要素的属性数据及其对应的分区面积;地下水漏斗函数输入的是地下水监测点水位数据、网格化二维数据矩阵和等值线间距,输出的是漏斗区矢量数据和漏斗中心水位值;剖面图绘制函数输入的是网格化二维数据矩阵和剖面线数据,输出的是距离和地下水要素值。

(3)shp 文件格式解析函数库:ShpReader.dll。针对水利系统常用的 GIS 文件格式而开发的,便于等值线图可视化功能的实现。输入数据是等值线或等值面数

据列表,输出结果是 shp 格式的等值线或等值面数据文件,包括.shp、.dbf 等格式文件。

(4)EGIS 函数库:EGisLibrary.dll。包含二维 GIS 图形编辑、计算、表达和绘制功能。

3 WEBGIS 介绍

WEBGIS 是基于 WEB(网络)的地理信息系统,用户端既不需要保存地理数据,也不需要安装应用程序,只需有浏览器即可。Web 浏览器发出 URL 请求给 Web 服务器,Web 服务器根据 URL 请求及响应的参数,启动地图生成器、GIS 接口程序、GIS 软件或制图脚本等,临时生成地图图像,并将其传送给 Web 浏览器显示。WebGIS 的应用为决策者提供可视化支撑环境和决策分析成果展现环境。

在地下水业务系统中利用 WEBGIS 技术,对监测点、绘制的等值线(面)进行可视化展示,同时利用 GIS 平台的空间查询、图层控制等功能完成相应的分析等,具体体现在如下几点:

(1)支持分层分级地图的叠加显示及显示次序的调整;

(2)支持各层显示属性的设置;

(3)支持图形的缩小、放大、开窗、漫游、导航等功能;

(4)支持各类属性数据的分布式表达,表达方式可以是数据文本或数据图形;

(5)支持基于空间位置的分布式属性数据查询和反向查询;

(6)支持基于空间位置的分布式可运行模块执行或外部程序连接;

(7)支持基于空间对象(点、线、面)的各种图形操作,如:空间距离量算、任意多边形圈定等;

(8)支持各类地下水分析成果,如等值线(面)专题图的生成和输出等。

4 空间插值技术在全国地下水业务系统中的应用

4.1 地下水埋深、变幅等值线面生成和裁剪

根据地下水水位监测站点的埋深数据绘制埋深等值线图、变幅等值线图,是地下水业务信息系统最基本的功能之一。在选择所用的地下水水位监测站点后,自动利用对比时间的埋深计算监测站点的地下水水位变幅,进而调用等值线面算法函数库生成上月对比、与去年同期对比的变幅等值面图,并按照地下水动态月报

编制导则规定的变幅间距和颜色进行渲染,同时对不同级别等值面进行分区统计,得到其对应的面积百分比。同理,地下水埋深等值线则是利用月份的地下水监测站点埋深数据绘制而成。

传统的基于矩形网格的等值线裁剪方法思路简单编程较易实现,但应用此方法进行图形裁剪存在很大的缺陷:裁剪后的图形边界不光滑,存在明显的锯齿状,而且网格单元的尺寸越大不光滑性越明显。在信息系统中,随着图形的放大会使得这种缺陷更加明显。为避免上述缺点,本系统中采用基于多边形的裁剪方法,使得绘图边界和平原区边界更加贴合。

绘制的地下水变幅等值面效果如图 2 所示。

4.2 统计分析

分区蓄变量计算以县级行政区套平原区为计算分区,手工计算工作比较繁杂,且要使用 2~3 种软件。本系统中含水层蓄变量计算,结合等值面技术实现。计算方式如下:

(1)分区内地下水平均水位变幅计算。根据区内各监测井地下水水位变幅,采用面积加权法计算各分区的平均水位变幅;

(2)分区蓄变量计算。其计算公式为: $w_j=10^2 \times \mu_j \times \Delta h_j \times F_j$ 。式中: w_j 为分区蓄变量,单位 10^4m^3 ; μ_j 为计算分区地下水综合给水度; Δh_j 为计算分区统计时段内地下水水位平均变幅,单位 m; F_j 为计算分区的面积,单位 km^2 。

(3)地级行政区蓄变量计算。为该区域内多个计算分区的地下水蓄变量的累加和。

4.3 地下水漏斗区绘制

地下水降落漏斗也称地下水漏斗,是由于集中开采地下水,导致集中开采区的地下水水位下降,从而使地下水流场发生改变,周边的地下水向集中开采区流动,形成区域性漏斗状凹面。地下水漏斗区的水位明显低于周围地区,其地下水等水位线往往呈同心圆状。

正是基于地下水漏斗区域水位等值线的这种特点,在生成的等值线的基础上可进一步绘制地下水漏斗区域。生成等值线后,在等值线列表中搜索闭合的等值线,即等值线首尾的 X、Y 坐标值相同;有多条闭合的等值线时,则根据其空间关系和等值线序列属性对比来判定最外侧的闭合的等值线,最外侧的等值线圈定的区域则为地下水漏斗区。漏斗中心点的水位,则是通过输入的水位监测站点和地下水漏斗区的空间分析得到,位于地下水漏斗区域内的水位监测站点的最小水位值,则为漏斗中心水位。

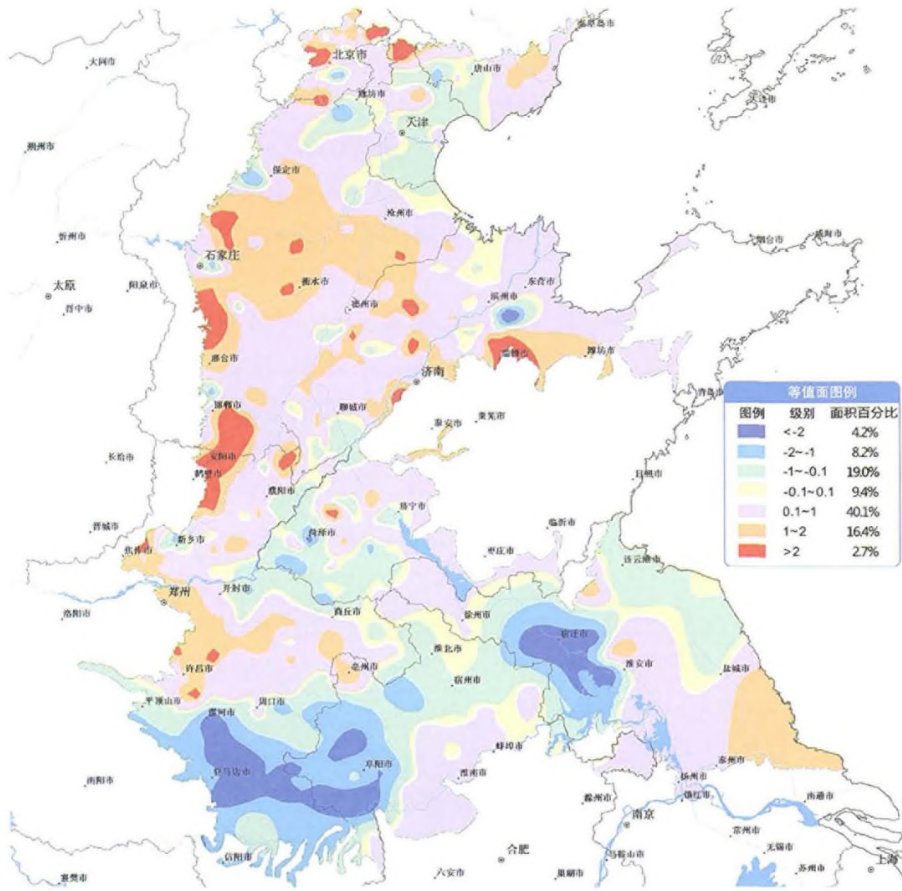


图2 地下水变幅等值面图

Fig.2 The contour surface of the groundwater amplitude compared with that in the same period last year

地下水漏斗区域的另外一种判定方式则比较简单,直接利用等值面技术即可生成。比如在滨海地区,往往认为地下水水位值低于0m的区域为地下水漏斗区。这种情况,可利用插值生成的网格化二维数据矩阵,调用等值面生成函数,绘制出<math><0\text{m}</math>的区域即可。

4.4 剖面图生成

剖面图是地下水专业中常见的一种图形,除了地层、岩性等信息外,水位或埋深也是其中的一个重要要素信息,它反映沿着某一空间走向,其地下水监测要素值随着剖面坐标的变化曲线。

剖面图上的剖面数据点包括以下三类:一是剖线的首尾端点;二是剖线转折点;三是剖线和网格线的交点。基于插值后的网格化二维矩阵,这些交点的数据提取算法的基本原理是对剖线附近的网格数据进行线性内插或双线性内插得出剖面数据Z值。

绘制的地下水埋深剖面图效果如图3所示。

5 结语

本文根据水利部地下水监测中心的业务需要,开

发了算法库。该算法库包括了空间插值、等值点计算、等值线追踪、等值面构建填充、边界裁剪等完整的等值线生成功能,并在等值线的应用如剖面数据计算、分区计算、地下水漏斗区计算等方面做出了新的尝试。本文的研究内容为日常的数据后处理工作提供了一种直观便捷的等值线分析方法。系统生成的地下水水位埋深和变幅等值线、等值面图,以及统计分析数据可直接应用于《地下水动态月报》编制。5年来,经过我国18省17个平原区的数据检验,运行稳定。基于网格的数据算法也可以进一步应用于水资源评价等工作中。

参考文献:

[1] 宋丽娟,龚晓峰,钟猛. 基于网格法的等值线绘制方法[J]. 现代电子技术, 2005,(14):57-65. (SONG Lijuan, GONG Xiaofeng, ZHONG Meng. A method for isoline plotting based on rectangular grids [J]. Modern Electronics Technique, 2005,(14):57-65. (in Chinese))

[2] 郑志利. 基于Surfer软件的区域地下水埋深等值线图绘制应用分析[J]. 地下水, 2012,34(6):27-28. (ZHENG Zhili. Regional groundwater depth contour map drawing based on surfer-software [J]. Groundwater, 2012,34(6):27-28. (in Chinese))

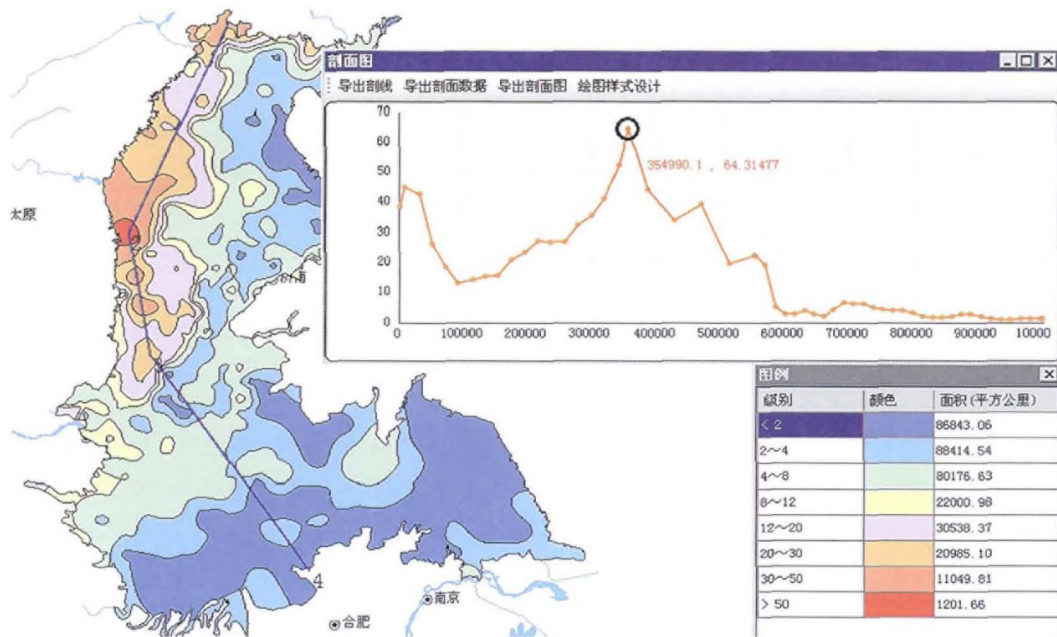


图3 地下水埋深剖面图

Fig.3 The groundwater depth profile

- [3] 韩治国. ArcGIS在地下水等值线分析中的应用[J]. 治淮, 2009,7(7): 32-33. (HAN Zhiguo. Application of ArcGIS in groundwater contours [J]. Zhihuai, 2009,7(7):32-33. (in Chinese))
- [4] 李松松,周德亮.基于MATLAB地下水数值模拟的数据处理[J]. 勘察科学技术, 2014,6:5-8. (LI Songsong, ZHOU Deliang. Data processing of numerical simulation of groundwater based on MATLAB [J]. Site Investigation Science and Technology, 2014,6:5-8. (in Chinese))
- [5] 李强,李超,甘建红. 基于三角网的等值线填充算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2013,49:185-189. (LI Qiang, LI Chao, GAN Jianhong. Study on algorithm of isoline filling based on triangle mesh [J]. Computer Engineering and Applications, 2013,49:185-189. (in Chinese))
- [6] 赵敬和. 基于矩形网格法的不规则区域的等值线生成与填充算法研

- 究 [D]. 北京: 中国地质大学, 2013. (ZHAO Jinghe. The Research in the Drawing of Contour Lines and Filling Which is Based on the Rectangular Grid Method in Irregular Areas [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013. (in Chinese))
- [7] 王志斌,王玉发,罗兵,等. 一种等值线填充并行算法[J]. 计算机工程与应用, 2012,28(28):61-65. (WANG Zhibin, WAN Yufa, LUO Bing, et al. Parallel a lgorithm of contour rendering [J]. Computer Engineering and Application, 2012,28(28):61-65. (in Chinese))
- [8] 牛鑫艳,王正华,李文炜,等. 基于WebGIS的山西省地下水信息管理与应用服务系统[J]. 水文, 2013,33(3):38-42. (NIU Xinyan, WANG Zhenghua, LI Wenwei, et al. Groundwater information management and service system based on WebGIS of Shanxi province [J]. Journal of China Hydrology, 2013,33(3):38-42. (in Chinese))

Application of Spatial Interpolation Technology in National Groundwater Business Analysis and Publish System

XU Yingxue^{1,2}, NIU Xinyan², LI Ling², ZHAI Caixia²

(1. Beijing Qingliu Groundwater Resources Institute, Beijing 100073, China; 2. Beijing Qingliu Technology Co Ltd., Beijing 100073, China)

Abstract: The contour map is an important representation of the groundwater monitoring results data. According to the business functional needs of Groundwater Monitoring Center, Ministry of Water Resources, the spatial interpolation and contour algorithm library were developed, including regularization grid interpolation, contour generation, trim, area fills, statistical analysis, groundwater depression identification, sectional drawing and other functions. The algorithm has been successfully applied to the nationwide groundwater business analysis and distribution system. The data test in 17 plain areas of 18 provinces show the good running in five years, which enhance the processing efficiency of the groundwater monitoring information. On this basis, contour drawing software CONMAS was developed, which can be downloaded for free trial.

Key words: groundwater; spatial interpolation; contour; groundwater depression