

基于 GIS 的三江平原地下水资源评价

李伟业¹, 付 强^{1,2}

(1. 东北农业大学 水利与建筑学院, 哈尔滨 150030; 2. 北大荒集团公司博士后科研工作站, 哈尔滨 150040)

摘 要:借助 GIS 的数据管理和空间分析能力,建立了地下水空间数据库,同时结合动态平衡法,实现地下水含水层的三维可视化,对三江平原地下水资源的空间分布以及地下水水位动态变化进行评价。分析得出自 1997 年有地下水观测资料以来,该区域地下水水位持续下降,地下水位最大处下降 5.8 m,至 2005 年累计亏损 $6.89 \times 10^8 \text{ m}^3$,今后该区域应采取相应措施来缓解地下水的压力。

关键词:GIS; 地下水资源; 评价; 三江平原

中图分类号:S273.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)04-0092-04

Evaluation of Groundwater Resources Using GIS in the Sanjiang Plain

LI Wei-ye¹, FU Qiang^{1,2}

(1. College of Water Conservancy and Building Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. Doctoral Working Station of Beidahuang Company, Harbin 150040, China)

Abstract:Based on the data management and spatial analysis ability of GIS, database of groundwater was created and realized 3D visualization of groundwater level in combination with dynamic balanced method. The spatial distribution of groundwater resources and the dynamic variation of groundwater level were evaluated in the Sanjiang Plain. The results showed that the groundwater level was continuously descending, the maximal descent of groundwater level was 5.8 m and the loss added up to $6.89 \times 10^8 \text{ m}^3$ in this region since 1997 owning groundwater surveying data. The relevant measures should be taken to mitigate the pressure of groundwater in the region for the future.

Key words:GIS; groundwater resources; evaluation; Sanjiang Plain

地理信息系统(GIS)是以地理空间数据库为基础,在计算机软硬件支持下,对空间相关数据进行采集、管理、操作、分析、模拟和显示,并采取地理模型分析方法,适时提供多种空间和动态的地理信息,为地理研究、综合评价、管理、定量分析和决策服务而建立的一类计算机应用系统。在国内外的地下水资源评价研究中,以地理信息系统(GIS)为平台,充分利用了 GIS 的数据转换、存储管理、表征空间定位和拓扑关系数据的能力和空间分析能力,使其在地

下水资源研究方面,已经发展成为一个非常有效的工具。

三江平原地下水资源评价是以 ArcGIS 软件作为模型的研究平台,建立数学模拟模型,完成数据管理和模型的前后处理,充分发挥 GIS 在数据获取、管理、参数自动获取和可视化表达方面的优势^[1],计算结果经过转换实现可视化和编辑,为该地区的地下水资源开发利用、保护、规划和管理提供有效的手段。

* 收稿日期:2004-04-16

基金项目:国家自然科学基金(No. 30400275);黑龙江省攻关项目(黑龙江省青年科学基金, No. QC04C28)

作者简介:李伟业(1977-),男,黑龙江穆棱人,硕士,主要从事湿地生态承载力研究工作。

通讯作者:付强(1973-),男,辽宁锦州人,教授,博士生导师,主要从事农业资源系统分析,节水灌溉及农业系统工程建模与优化技术研究。

1 研究区域的概况和研究方法

1.1 研究区域概况

三江平原东北部的创业农场、洪河农场、红卫农场、前进农场位于东经 132°54′~133°43′,北纬 47°11′~47°47′,四农场总面积为 2 590 km²,该区域属寒温带大陆性季风气候区,多年平均温度 1.2℃,多年平均降雨量 561 mm,多年平均蒸发量 1 157 mm。

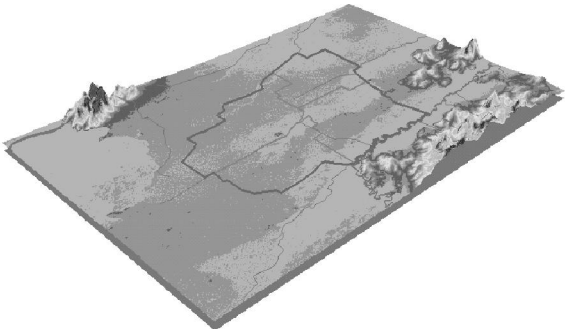


图 1 四农场区域、地形三维视图

如图 1 所示,四农场区域为低冲积平原,地势、坡降平缓,一般在 1/8 000~1/20 000,海拔在 50~61 m 之间。该区域内地质类型一致,表层普遍分布 5~17 m 厚的黏土层,此层稳定土质致密,含水量和孔隙比较低,属中压缩性土;下层为第四系砂、砾石层蕴藏着丰富的地下水资源,厚度为 130~300 m,侧向补给能力强,富水性好。该区域地下水位埋深在 3~10 m 之间,以浅层地下水开采区为主,深层地下水开发较少。

1.2 研究方法

1.2.1 数字化准备和网格处理

采用了三江平原 1:20 万数字地形图(Digital Elevation Model,简称 DEM)、建三江水利工程现状地图和该区域的地下水水位观测值(1997~2005 年,5 d 一观测资料,共计 38 眼观测井)、气象站的资料,将所得到的图像进行配准,应用相应的矢量化软件进行矢量化,利用 ArcGIS 软件创建了降雨量等值线图层、等高线图层、水系图层、渠系图层和行政区域图层等,并建立了四农场的降水量、地下水动态等要素的 GIS 数据库。利用 ArcGIS 软件中的 Kriging 模块和 Arcscene 工具对数据和图像进行处理和分析,绘制了四农场地区地形、水系三维视图。

为了分析大气、地表水和地下水在区域面上的特征值,减少计算的工作量,利用 ArcGIS 软件将该区域网格(grid)化处理。本文网格划分为 500 m×500 m,代表 0.25 km²的区域,覆盖研究区的网格共计 10 360 个,研究水资源在每个网格内的时空变化,然后将每个网格进行迭加。

1.2.2 动态均衡法

动态均衡法^[2]的理论基础是在一定的分区内,凡是地下水位上升的时段都反映地下水得到了补给,不论这些补给来自何方;凡是地下水位下降的时段都反映地下水的排泄。因此根据分区单位时段内地下水位上升或下降所代表的含水层的水体积来计算地下水的补给量和排泄量。将年内各时段补给量和排泄量累计得到全年的补给量和排泄量。其基本均衡方程式如下:

$$W_{补} = W_{排} + W_{蓄}$$

$$W_{补} = \mu F \frac{H_{上} - H_{下}}{T}$$

$$H = H_t - H_{t-1}$$

式中:W_蓄——地下水年蓄变化量(万 m³/a);W_补——地下水年补给量(万 m³/a);W_排——地下水年排泄量(万 m³/a);W_t——分区时段末平均水位(m);W_{t-1}——分区时段初平均水位(m);H——计算时段内平均水位上升或下降幅度(m);T——计算时段(取 15 d);F——计算分区面积(m²);μ——分区地下水位变化带含水层平均给水度。

1.2.3 Kriging 统计分析

在 ArcGIS 平台上进行图层和相关数据之间的空间运算,便可快速得到计算区域各种补、排量与重复量。本文利用 Kriging 工具做出降雨等值线图和地下水等值线图,根据每幅地下水等值线图进行空间叠加运算,实现对每个单元网格内的地下水变化量,求出地下水绝对变化量^[2]。

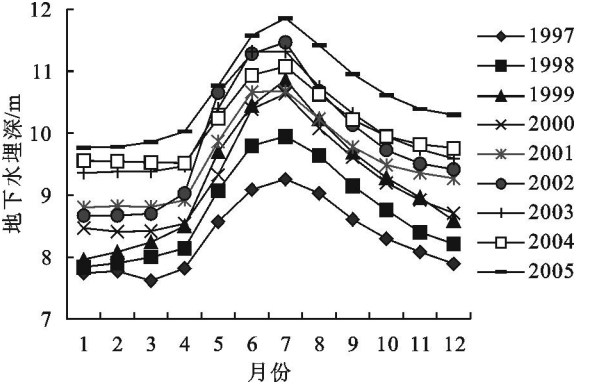


图 2 各月平均地下水埋深

2 地下水位动态分析

本地区大规模开发于 20 世纪 90 年代初,农业发展迅速,而且又是以水田为主,水田面积由最初的 0.32×10⁴ hm²,发展到 2005 年 9.13×10⁴ hm²,占灌溉总面积的 83.8%,且水田用水均全部采用机电

井抽取地下水灌溉,用水量占该区域用水量的 98%。该区域 90 年代初各类开采井 254 眼,到 90 年代末已达到 3 288 眼,到 2005 年末已达到 4 499 眼。自 1997 年以来,该地区平均降雨量为 472.54 mm,低于多年平均的 561 mm;水田面积和灌溉用水量不断增加,开采强度的不断加大,导致该区域的地下水整体上处于超采状态,地下水位埋深不断加深(2005 年与 1997 年相比,该区域地下水位平均下降了 2.5 m 见图 2)。

地下水水位动态变化是地下水资源最直接的体现。从图 3 中可以看出,该区域地下水位下降变化非常明显,除了红卫农场外,其他区域水位下降速率比较快,水位落差最大处可达 5.8 m;1997 年(图 4)创业农场和红卫农场为中心的漏斗区域已经形成规模,前进农场和洪河农场边缘也呈下降趋势;随着用水量的增加,地下水位不断下降,2005 年(图 5)地下水水位等值线明显变缓,已无明显漏斗区域,地下水水位差已不是很大,但是水位埋深却明显增加,如在现有的条件下继续开采,而不采取相应的措施,地下水水位会迅速下降,地下水位恢复将会非常困难。

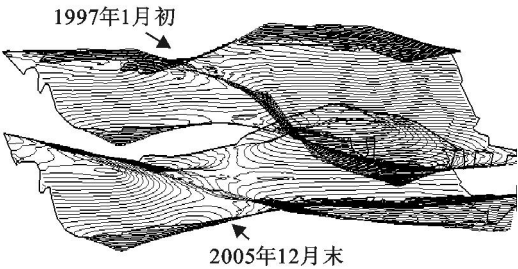


图 3 地下水等值线三维对比视图

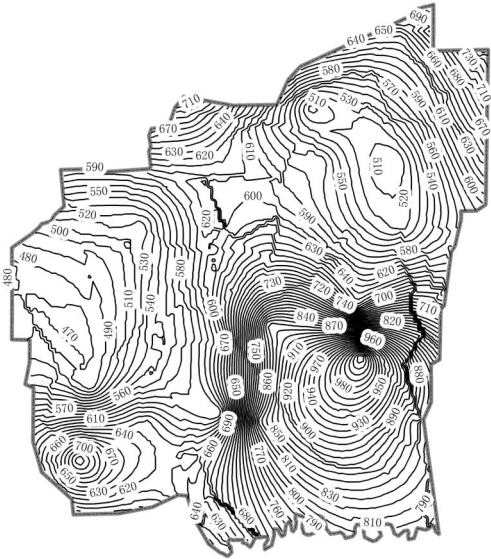


图 4 1997 年 1 月初地下水等值线图(单位:cm)

3 计算结果分析

利用动态均衡法的模型计算出该区域 1997 ~ 2005 年历年地下水的补水量和排泄量,如表 1。从表中可以看出,除 1997 年外,以后每年的蓄变量都是亏损状态,1997 ~ 2005 年亏损累计达 $6.89 \times 10^8 \text{ m}^3$,这说明该区域的补水能力在现有的开采条件下在不断地下降。

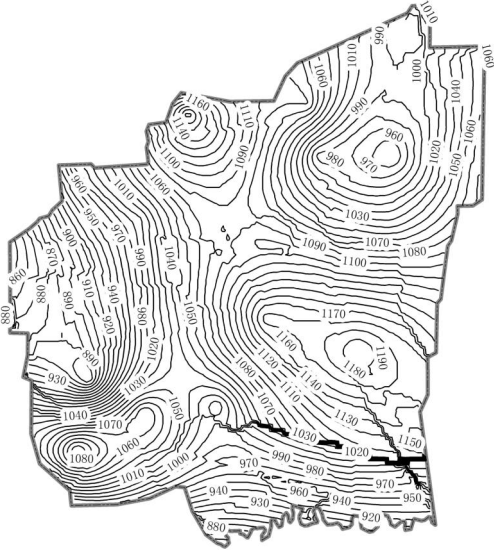


图 5 2005 年 12 月末地下水等值线图(单位:cm)

| 表 1 四农场地下水动态平衡法计算结果 10^8 m^3 | | | | |
|--|------|------|--------|--------|
| 年 份 | 总补给量 | 总排泄量 | 蓄变量 | 累计蓄变量 |
| 1997 | 5.15 | 4.87 | 0.64 | 0.64 |
| 1998 | 5.40 | 6.12 | - 0.72 | - 0.08 |
| 1999 | 6.84 | 7.79 | - 0.95 | - 1.03 |
| 2000 | 5.75 | 6.56 | - 0.81 | - 1.84 |
| 2001 | 4.98 | 6.65 | - 1.67 | - 3.51 |
| 2002 | 5.07 | 6.80 | - 1.73 | - 5.24 |
| 2003 | 4.24 | 4.66 | 0.42 | - 5.66 |
| 2004 | 3.71 | 3.82 | - 0.11 | - 5.77 |
| 2005 | 4.02 | 5.14 | - 1.12 | - 6.89 |

结合以上分析,虽说该区域地下水水位埋藏相对较浅,地下水资源非常丰富,一般在 $3\,000 \sim 5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$,地下水资源潜力模数为 $5 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4 \text{ m}^3/(\text{a} \cdot \text{km}^2)^{[3]}$,地下水资源开采潜力较大,但以现在开采速度,应必须采取相应的工程技术措施、合理开采方案和管理模式对地下水进行及时补充;另外本区域处于三江平原沼泽湿地区域,湿地又是地下水的补给来源,湿地还具有生态效益、经济效益和社会效益几大功能。因此,科学合理地开发利用地下水资源,建立三江平原区域性地下水优化管理,有效

地保护湿地资源,以保证这个商品粮基地资源与环境的可持续发展。

4 结 语

GIS 技术的发展及新技术与传统评价方法的有机结合大大促进了可持续开采量评价的发展^[4],提高了地下水及其环境问题分析的工作效率。利用

参考文献:

[1] 姚长青,杨志峰,赵彦伟,等. 分布式水文 - 土壤 - 植被模型与 GIS 集成研究[J]. 水土保持学报,2005,20(1): 168 - 171.

[2] 张久川,任树梅,马明,等. 基于 GIS 的地下水资源可持续性评价[J]. 农业工程学报,2005,21(8): 35 - 39.

[3] 杨湘奎,孔庆轩,李晓抗. 三江平原地下水资源合理开发利用模式探讨[J]. 水文地质工程地质,2006,3: 51 - 52.

[4] 王金生,王长申,滕彦国. 地下水可持续开采量评价方法综述[J]. 水利学报,2006,37(5): 525 - 533.

[5] 杨建强,罗先香,高振会,等. GIS 支持下人类活动对地下水动态影响的定量分析[J]. 水科学进展,2003,14

GIS 与动态均衡法的模型对地下水可更新补给量的评价,主要突出了地下水水位的动态变化和地下水资源的可更新能力。随着 GIS 技术的不断发展和地下水模型体系的支持下,两者有机结合有效地促进可持续开采量评价的发展,为地下水资源的管理与合理开发提供有效的技术手段。

(3): 358 - 362.

[6] 孔金玲,王文科,翁晓鹏,等. 基于 GIS 的地下水及其环境问题分析[J]. 吉林大学学报,2005,35(6): 771 - 774.

[7] 朱永清,李占斌,崔灵周,等. 基于 GIS 地貌形态特征分形信息维数与等高距关系研究[J]. 水土保持学报,2005,19(1): 105 - 113.

[8] 刘继朝,杨齐青,李永刚,等. 华北平原地下水资源空间信息系统的构建. 地下水,2005,27(4): 296 - 298.

[9] 魏加华,王光谦,李慈君,等. GIS 在地下水研究中的应用进展[J]. 水文地质工程地质,2003,2: 94 - 97.

[10] 刘明柱,陈鸿汉. GIS 在区域地下水资源评价中的应用[M]. 北京:中国地质大学,2000.

(上接第 91 页)

表中列出了 24 a 的历史降雨径流与 2003 年降雨径流的相似性分析结果,1983 年、1968 年和 1996 年的降雨径流与 2003 年具有较大的综合相似性,相反 1966 年、1961 年和 1953 年与 2003 年的降雨径流有较大的不一致性。

4 结 语

通过非平权距离系数法,对历史降雨径流资料和 2003 年资料进行比较,得出 1983 年、1968 年和 1996 年的降雨径流与 2003 年具有较大的综合相似性,相反 1966 年、1961 年和 1953 年与 2003 年的降雨径流有较大的不一致性,结论在一定程度上符合实际情况。本文得出的结果是运用非平权距离系数法的结论,而且随着本文选取的降雨、径流影响因子的不同结论亦不同,本文仅对降雨径流的相似性进行了初探,所得结论还需到现实中去检验。

参考文献:

[1] 丁晶,王文圣. 水文相似和尺度分析[J]. 水电能源科学,2004,(1): 1 - 4.

[2] 常福宣,丁晶,姚健. 降雨随历时变化标度性质的探讨[J]. 长江流域资源与环境,2002,(1): 79 - 83.

[3] 常福宣,丁晶,艾南山,等. 嘉陵江流域洪水区域分析[J]. 长江流域资源与环境,2001,(5): 473 - 480.

[5] 叶守泽,夏军. 水文科学研究的世纪回眸与展望[J]. 水科学进展,2002,(1): 93 - 104.

[6] 常福宣,丁晶,姚健. 年最大洪峰区域变化的标度特性[J]. 四川大学学报(工程科学版),2001,(1): 5 - 8.

[7] 李长兴. 论流域水文尺度化和相似性[J]. 水利学报,1995,(1): 277 - 283.

[8] 章四兵,周美力. 系统相似性度量中的非平权距离系数法[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2004,(8): 903 - 906.