

基于 GIS 的地下水资源可持续性评价

张久川¹, 任树梅¹, 马明², 刘洪禄², 杨培岭¹

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 北京市水利科学研究所, 北京 100044)

摘要: 该文根据区域水资源评价工作的特点和 GIS 技术强大的空间分析功能, 探讨了 GIS 技术在区域水资源可持续性评价中的可行性, 并将其应用到北京市通州区潞城镇地下水资源可持续性评价中。根据 GIS 技术与动态均衡法的结合, 评价得出自 1988 年以来, 潞城镇地下水储量一直处于亏损状态, 16 年累计亏损 1715.577 万 m³, 地下水位平均每年下降 0.12 m。表明今后该区域地下水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

中图分类号: S273.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)08-0035-05

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.

Zhang Jiuchuan, Ren Shumei, Ma Ming, et al. Evaluation of the sustainability of groundwater resources using GIS[J].

Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 35-39 (in Chinese with English abstract)

0 引言

地理信息系统 (Geographic Information System, 简称 GIS) 是与人类的发展、进步密切相关的一门信息科学与技术, 愈来愈受到人们的重视。在地下水资源方面, 地理信息系统已经发展成为一个非常有效的工具。在国外的地下水模型研究中, 地理信息系统应用范围已经很广。Jonathan 等人在 San-Gabriel 盆地流域地下水研究中, 利用 ArcInfo 的 AML 语言实现与地下水流模型 CFEST 的集成, GIS 作为模型的前处理和运算结果的分析。在佛罗里达南部水资源管理中, 采用三维有限差分模型 ModFlow 作为地下水模拟系统, 在 ArcInfo 环境下, 利用 AML 和 Fortran77 开发了 ModelGIS。El-Kadi, A. I 等将 GIS 作为模型的外壳, 在 Oahu 和 Hawaii 岛建立了二维数值模拟模型^[1]。GIS 主要是完成数据管理和模型的前后处理。Tang-Changyuan, etc 建立了基于 ArcView GIS 的地下水流模型^[2]。Kenneth, K E^[3,4]还在 GIS 环境下, 建立了地下水勘探开发、模拟、评价与管理信息系统。

国内有一些学者利用 GIS 的属性功能对数据文件修改, 计算结果经过转换实现可视化编辑。武强等研究开发了以 MapInfo 为平台的塔里木盆地地下水资源管理系统^[5]。宫立辉建立了 GIS 技术支持下的城市水资源管理模型^[6]。魏加华^[7]开发了北京密云—怀柔—顺义地区地下水地理信息系统, 实现了 GIS 功能与地下水系统分析模型的完全集成和三维可视化。从目前研究水

平和应用现状看, 与 GIS 集成的模型以集中参数模型和解析式模型居多, 由于分布参数模型涉及时空维数据, 很多系统只是实现了模型与 GIS 的数据交换^[8]。

本文对通州区潞城镇地下水资源的可持续性进行了研究。利用动态水均衡法与 GIS 技术相结合的评价方法, 充分利用了 GIS 的数据管理、查询、显示功能和空间分析功能对地下水的水位变化、水量的空间分布进行了分析和计算, 得出了地下水资源多年的变化趋势和分布特点, 为潞城镇地下水资源的综合规划提供参考。

1 研究区概况

潞城镇位于通州区东部, 南北长约 6 km, 东西宽约 11.6 km, 总面积约为 71 km²。北运河、潮白河、运潮减河 3 条河流流经镇域。所处地为潮白河冲积平原, 地表为第四系松散沉积物所覆盖, 地势西北高东南低, 土质肥沃, 土层深厚。现开采的地下水以浅层地下水和第四系松散孔隙水为主, 深层地下水开采量较少, 作为通州区城区供水的水源地之一。多年平均蒸发量 1815 mm, 是降水量的 3 倍多。汛期为 6~9 月, 一般汛期降水量占全年的 85% 以上。

2 研究方法

2.1 数字化方法

地图数字化主要有手扶跟踪数字化和光学扫描仪的栅格扫描数字化两种类型。本文采用手扶跟踪形式。地图数字化包括以下 6 个图层数字化: 等高线图层、水系图层、地物图层、地名图层、区界图层和交通图层等。

根据有关 GIS 的图层、数据库以及数字化的图层, 利用 GIS 技术绘制规划区的边界图、岩性参数分区图、行政区划图和三维地形图等 (其中的图层应包括规划区内的水系、水域、道路、桥梁、居民、种植结构)。利用 GIS 系统中的 Spline 模块和 ArcScene 工具对全球定位系统 (GPS) 所测得的地理信息数据 (*.E00 文件) 进行处理和分析, 绘制了通州区潞城镇地区地形、水系三维示意

收稿日期: 2004-06-08 修订日期: 2005-02-25

作者简介: 张久川, 男, 硕士, 从事北京市“十五”项目中“北京市城乡水资源优化配置”研究工作。北京 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083

通讯作者: 任树梅, 教授, 主要从事国家“863”项目子课题和北京市“十五”节水项目的研究工作。北京 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083。Email: renshumei@126.com

图(Digital Elevation Model, 简称DEM), 如图 1 所示。可以看出研究区没有高低起伏的山脉, 为平原区; 地理走势是西北高, 东南低。北运河水系流经境内, 潮白河在边界上经过。

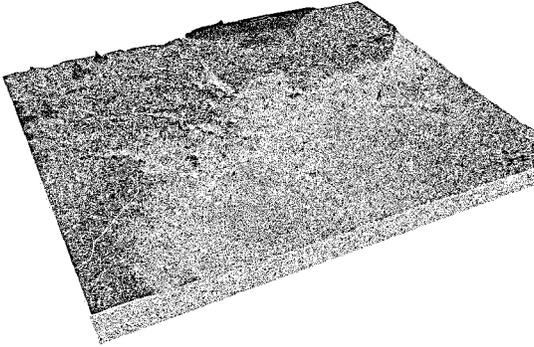


图 1 潞城镇地区地形、水系三维示意图

Fig 1 Three-dimensional diagram of Lucheng Town area landform and water system

2.2 动态均衡法

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:

$$W_{补} = W_{排} + W_{蓄}$$

地下水年补给量和排泄量与地下水位升降有如下关系:

$$W_{排} = \mu F \frac{\Delta H_{下}}{\Delta T}$$

式中 $W_{蓄}$ —— 地下水年蓄变化量, 万 m^3/a ; $W_{补}$ —— 地下水年补给量, 万 m^3/a ; $W_{排}$ —— 地下水年排泄量, 万 m^3/a ; H_t —— 分区时段初平均水位, m; H_{t-1} —— 分区时段末平均水位, m; ΔH —— 计算时段内平均水位上升或下降幅度, m; ΔT —— 计算时段(取 15 d); F —— 计算分区面积, m^2 ; μ —— 分区地下水位变化带含水层平均给水度。

2.3 网格化方法

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 GIS 技术将通州区潞城镇进行网格化定。本文网格划分为 $1000m \times 1000m$, 代表 $1.0 km^2$ 的区域, 覆盖研究区的网格共计 71 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。

由于研究区边界不规则, 所以按照面积为 $1 km^2$ 的单元网格进行分区, 不能正好将规划区分成 71 个单元格, 而且所分的网格在边界处并不是边长为 $1 km$ 的正方形而是不规则的多边形, 为了减少计算误差, 要对所划分的单元格进行修正。按照少删多补的原则, 即如果在规划区内所占比例大于 $1/3$, 则将其添补成边长为 $1 km$ 的正方形; 如果在规划区内所占的比例小于 $1/3$, 则将其删掉。修正后的分区网格如图 2 所示。

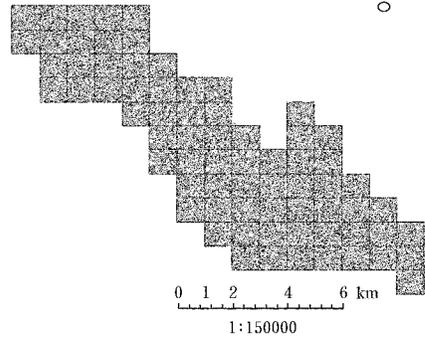


图 2 研究区域的网格化分区图

Fig 2 Gridding subarea of the research region

3 水文地质条件概化

3.1 水文地质参数的确定

为了把各种水文地质特征参数分配到每个网格内, 需要对研究区域的水文地质参数按照网格化的方法进行剖分。剖分前绘制“水文地质分区图”, 如图 3 所示。研究区域可分为细砂、粉砂和粉土。将地质参数分配到相应的网格单元中。

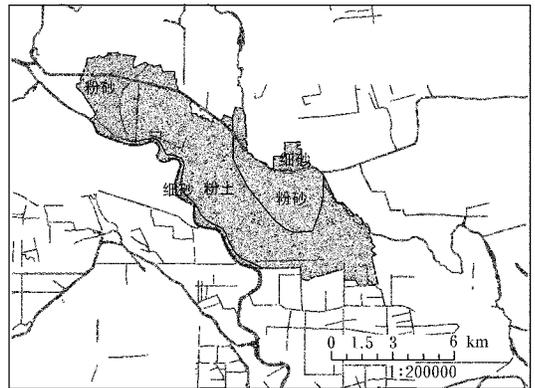


图 3 水文地质分区图

Fig 3 Subarea map of hydrology and geology

3.2 补给、排泄处理

根据地下水位在同一时间段内的绝对变化量进行补给量的计算。降雨入渗补给量的计算是通过 GIS 技术得出面上的降雨量, 并将其分配到每个网格内, 再乘以每个网格相应的降雨入渗补给系数; 侧向补给量主要是区外来水补给, 它与地表水渗漏补给等其它补给量在本研究中都统一归到某一时段内地下水量的总变化中并未分项计算。

4 Sp line 统计分析

利用 Sp line 工具进行面降雨量和地下水变化量的统计分析和计算。根据降雨等值线图 and 地下水等值线图求解出每个单元网格内的降水入渗量和地下水变化量, 对所有单元网格的叠加求出降雨入渗补给量和地下水绝对变化量。

图 4 和图 5 分别为潞城镇 1962~ 2003 年汛期降水

量多年平均等值线图 and 2000 年 9 月 16 日地下水水位等值线图。从图 4 中可以看出: 西北部的降雨量明显大于东南部, 因此, 西北部的地下水水位应该高于其他部分, 正如图 5 所反映,

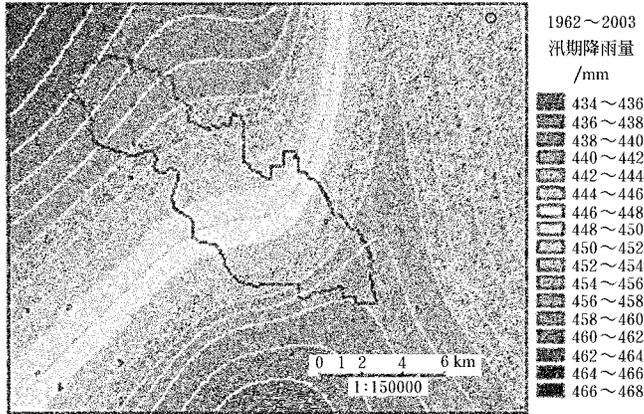


图 4 潞城镇(1962~2003)汛期降水量多年平均等值线图
Fig 4 Perennial average isoline of rainfall during flood season in Lucheng Town (1962~2003)

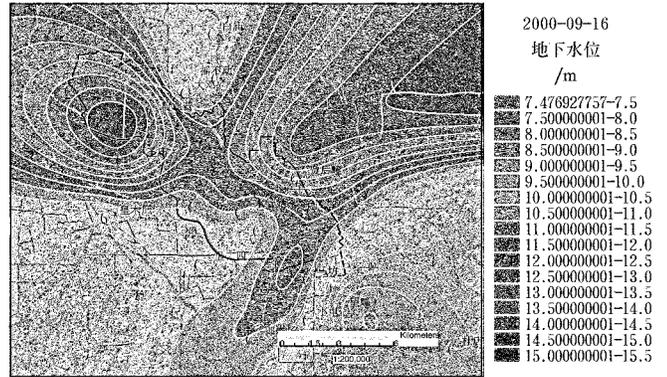


图 5 潞城镇 2000 年 9 月 16 日地下水水位等值线图
Fig 5 Groundwater isoline of Lucheng Town on Sep. 16 2000

5 地下水资源评价

5.1 计算成果

利用动态水均衡法的计算模型计算出潞城镇 1988~2003 年历年地下水的补给量和排泄量, 如表 1。

表 1 地下水动态均衡法计算成果表

Table 1 Calculated results of groundwater with dynamic balanced method

年份	地下水补给、排泄量/ $10^8 m^3$				平均地下水水位/m			
	总补给量	总排泄量	蓄变量	累计蓄变	年末水位	水位变幅	累计下降	平均水位
1988	2337.79	2580.9558	-243.1658	-243.1658	14.791179			
1989	1469.265	2419.0399	-949.7749	-1192.941	13.635428	-1.155751	-1.155751	14.093441
1990	2475.094	2398.7014	76.392587	-1116.548	13.703426	0.0679973	-1.087753	13.76347
1991	1858.715	2780.024	-921.309	-2037.857	12.595704	-1.107722	-2.195475	13.18428
1992	1977.006	2023.8083	-46.80235	-2084.659	12.575119	-0.020585	-2.21606	12.509014
1993	1742.294	1635.7944	106.49965	-1978.16	12.694038	0.1189185	-2.097141	12.547408
1994	3543.55	1718.1494	1825.4006	-152.7592	14.891611	2.1975731	0.1004317	13.217257
1995	1855.146	1983.4184	-128.2724	-281.0316	14.734222	-0.157389	-0.056957	14.509003
1996	2113.54	1810.7691	302.77093	21.739344	15.081612	0.3473901	0.2904328	14.639253
1997	1346.899	1880.9216	-534.0226	-512.2832	14.446522	-0.635089	-0.344657	14.663838
1998	2171.178	2117.5612	53.616825	-458.6664	14.484648	0.038126	-0.30653	14.817115
1999	725.5098	1666.1701	-940.6603	-1399.327	13.374373	-1.110275	-1.416806	13.806303
2000	1312.895	1721.5488	-408.6538	-1807.981	12.896471	-0.477902	-1.894707	12.810453
2001	1339.703	1186.1909	153.5121	-1654.468	13.093299	0.1968274	-1.69788	12.746155
2002	1364.115	1182.1054	182.00959	-1472.459	13.291216	0.1979176	-1.499963	13.013214
2003	1262.721	1505.8394	-243.1184	-1715.577	13.003661	-0.287556	-1.787518	12.742342
平均	1805.964	1913.1874	-107.2234					

5.2 地下水可开采量评价

浅层地下水可开采量是指在“合理条件下”, 可以开采得到的水量。一般采用开采系数法确定: 实际开采系数 $\rho = \text{实际开采模数} / \text{总补给模数}$ 。

所谓合理条件下是指所设定的多年平均可开采量在实践中不应导致地下水位的持续下降。因此, 本文认为地下水总补给量即为可开采量。

图 6 和图 7 分别为 2000 年和 2003 年地下水水量分布示意图, 它代表了地下水的变化动态。图中颜色由深到浅表示水量由多到少。从图中看出: 地下水是以西北多, 东南少为变化规律(以正上方为正北方向), 而且以 2000 年和 2003 年的对比, 2003 年的图形中, 浅颜色较多, 这表示地下水逐年较少, 且变化较大。

表 2 潞城镇地下水历年可开采量计算结果

Table 1 Calculated results of groundwater amount for every year exploitation $10^4 m^3$

年份	可开采量	年份	可开采量	年份	可开采量
1962	1887.9131	1977	2122.7021	1992	1977.0063
1963	1747.7518	1978	2450.7974	1993	1742.2942
1964	3061.9348	1979	2934.6165	1994	3543.5496
1965	1558.3879	1980	1652.0741	1995	1855.1462
1966	2169.2695	1981	1155.7587	1996	2113.5403
1967	2271.5180	1982	1908.7204	1997	1346.8991
1968	1494.4975	1983	1527.2565	1998	2171.1776
1969	2924.2462	1984	1913.7747	1999	725.50977
1970	2324.8463	1985	2128.2468	2000	1312.8945
1971	1736.4115	1986	1841.5421	2001	1339.7026
1972	1342.8566	1987	2509.8499	2002	1364.1153
1973	2336.3035	1988	2337.7898	2003	1262.7209
1974	1662.2737	1989	1469.2653	平均(42a)	1929.1490
1975	1342.6010	1990	2475.0937	平均(24a)	1813.8000
1976	2122.7021	1991	1858.7147		

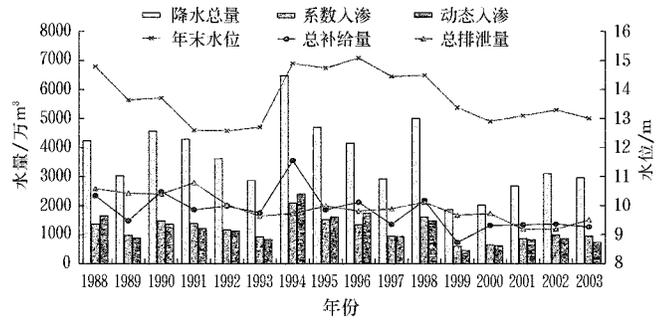


图 8 平均降水量、地下水补给量、地下水排泄量与年末地下水平均水位图

Fig 8 Annual average rainfall, groundwater replenishment, groundwater drainage and groundwater level

由动态均衡法评价计算的潞城镇地下水多年平均总补给量为 1805.964 万 m^3 ，多年平均总排泄量为 1913.187 万 m^3 。总排泄量比总补给量多 107.223 万 m^3 。地下水动态分析表明，自 1988 年以来，潞城镇地下水储量一直处于亏损状态，16 年累计亏损 1715.577 万 m^3 ，地下水位平均每年下降 0.12 m 。

6 结论

本文采用 GIS 技术，使评价结果更加形象化和可视化，而且把 GIS 的数据库与自编的 EXCEL 计算模块相关联，实现了 GIS 分析出的数据通过计算模块可自行计算的自动化功能，减少了计算量。但由于研究区域资料的限制，本文没有计算侧向补给，田间灌溉回补等补给量，而且没有分析历年地下水的可开采量和实际开采量之间的对比，使本文的结论分析受到了一定的影响，在以后的研究中弥补这些不足，以进一步完善和提高该方法的科学性和先进性。

[参考文献]

- [1] EL-Kadi A I, Olufa A A, Eltahan A A, et al Use of a geographic information system in site-specific groundwater modeling[J]. Groundwater, 1994, 32(4): 617- 625.
- [2] Tang-Changyuan, Kondoh-Akihiko Regional groundwater model with GIS [A] 30th International Geological Congress, Beijing, China Abstracts-Congress Geologique International, Resumes[C]. 30, 1996, 1: 471.
- [3] Cama S J, Kenneth K E Conceptualization, characterization and numerical modeling of the Jackson Hole alluvial aquifer using ArcPInfo and Modflow [J]. Engineering Geology, 1996, 42(2- 3): 119- 1371.
- [4] Kenneth K E Conceptualization and characterization of groundwater systems using geographic information systems [J]. Engineering Geology, 1996, 42(2- 3): 111- 118.
- [5] 武强, 邹德禹, 董东林, 等 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).
- [6] 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.
- [7] 魏加华 地下水地理信息系统—集成、可视化及实例研究

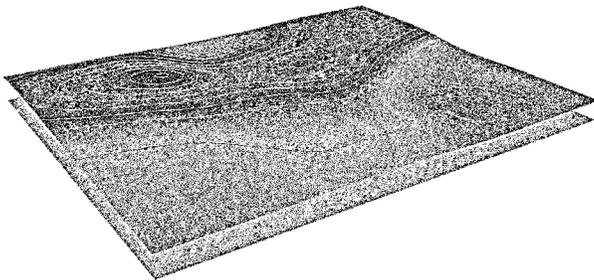


图 6 2000 年地下水位分布三维示意图

Fig 6 Three-dimensional diagram of groundwater distribution in 2000

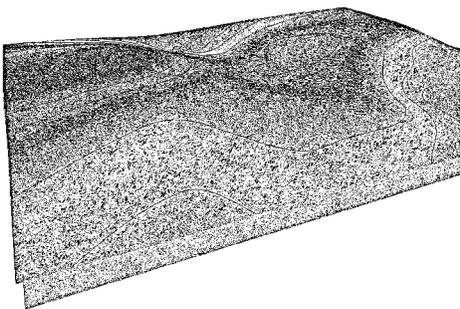


图 7 2003 年地下水位分布三维示意图

Fig 7 Three-dimensional diagram of groundwater distribution in 2003

5.3 成果合理性检验

点绘 1988- 2003 年潞城镇平原区年平均降水量、地下水补给量、地下水排泄量与年末地下水平均水位图，如图 8 所示。动态均衡法计算的补、排量与大气降水和地下水位之间的关系符合地下水开采、排泄与地下水动态变化的一般规律，比较真实地反映了地下水储量与补给和开采条件的内在联系。



- [D] 北京: 中国地质大学, 2001.
- [8] 魏加华, 王光谦, 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.

Evaluation of the sustainability of groundwater resources using GIS

Zhang Jiuchuan¹, Ren Shumei¹, Ma Ming², Liu Honglu², Yang Peiling¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2 Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100044, China)

Abstract According to characteristics of regional water resource evaluation work and strong space distribution function of GIS, the feasibility of using GIS in regional water resource sustainability evaluation was approached in the paper. A case study of Lucheng Town, Tongzhou district of Beijing was conducted by using the method. According to combining the GIS technology with dynamic balanced method, the results showed that the groundwater of Lucheng Town was still in serious over exploitation since 1988, and waned 17.15577 million m³ in 16 years, the groundwater table fell 0.12 m. These showed that the relevant measures should be taken to mitigate the pressure in the region.

Key words: GIS; groundwater resources; evaluation