

临沂市城区岩溶地下水流模拟

郭士昌¹, 姚春梅¹, 张乐进², 李景波³, 卞加升³

(1. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014; 2. 济南大学, 山东 济南 250022; 3. 临沂市国土资源局, 山东 临沂 276000)

摘要:地下水动力条件变化是导致临沂市城区岩溶塌陷的诱因和动因,通过分析岩溶区地质及水文地质条件,建立了临沂市城区岩溶地下水流数值模型,预测了2007年6月至2019年6月地下水水位时空变化过程。从流场拟合情况看,所建模型拟合效果良好,客观反映了地下水系统演化规律,可以用于岩溶塌陷预警预报,为岩溶塌陷地质灾害防治提供技术依据。

关键词:岩溶;地下水;数值模型;山东临沂

中图分类号:P642.354 **文献标识码:**A

0 引言

研究区地处山东省临沂市城区西部一带,包括临沂市罗庄区北部、兰山区西部、费县及苍山县的一部分,面积411.65 km²,为一相对独立的水文地质单元。北部和西南部为丘陵,海拔209~270 m,中部和东南部的沂河两侧为山前冲洪积平原,海拔50~80 m,地势总体由NW向SE倾斜,地貌类型有剥蚀地形和堆积地形2大类。多年平均降水量861.78 mm,多年平均蒸发量1734.37 mm。

研究区内地层的分布受探沂-临沂隐伏弧形断裂带、朱陈断裂和岩坡断裂控制,寒武纪、奥陶纪、石炭纪、二叠纪和第四纪地层出露。其中城区第四纪地层厚6~12 m,下伏基岩为奥陶纪碳酸盐岩。

研究区内分布有寒武系、奥陶系、石炭系及第四系等不同类型的含水层。其中奥陶纪灰岩分布广、厚度大,岩溶十分发育,富水性良好,在构造有利地段单井涌水量可达到20 000 m³/d,是区内主要的含水层。地下水的补给来源主要有大气降水入渗补给、侧向边界径流流入补给和费县许家崖水库灌溉水入渗补给等。地下水的排泄途径以人工开采、涑

河河水排泄及侧向边界流出为主,其运动方向受地形、岩层倾向及断裂构造的制约,总体流向由西北向东南^①。

自20世纪80年代以来,临沂城区已发生19次岩溶塌陷,形成塌陷坑30多个,岩溶塌陷造成地面建筑物开裂、住宅损坏、交通阻塞,水质污染等多种危害,对人民生命财产安全构成较大威胁,已成为当地突出的地质灾害^②。区内岩溶塌陷的影响因素包括地质条件和水动力条件两大方面,尤其是地下水动力条件变化是导致岩溶塌陷的诱因和动因,主要表现在地下水水位的时空变化所造成的渗透潜蚀和真空吸蚀等。该文旨在建立岩溶地下水流数值模型,模拟和预测地下水水位的时空变化,为岩溶塌陷预警预报提供水文地质依据,从而达到科学防治岩溶塌陷地质灾害的目的。

1 水文地质概念模型和数值模型

1.1 水文地质概念模型

建立地下水流模型首先应确定水文地质概念模型。水文地质模拟区范围基本是临沂市区西部水文地质单元的范围,西部以岩坡断裂为界,南部以朱陈

* 收稿日期:2009-02-24;修订日期:2009-03-12;编辑:陶卫卫

作者简介:郭士昌(1957—),男,山东费县人,高级工程师,主要从事水文地质、环境地质勘查研究工作。

①山东省地质环境监测总站,姚春梅等,临沂市城区岩溶塌陷预警系统建设及研究报告,2008年。

②山东省地质环境监测总站,冯克印、姚春梅等,山东省临沂市地质环境调查与岩溶塌陷预警系统建设研究,2005年。

断裂为界,北部、东部以探沂-临沂弧形断裂为边界(图1)。由于该区第四纪地层厚度较薄(一般小于10 m),且直接覆盖于岩溶地层之上,而岩溶含水层较厚,确定模拟水文地质结构为一层含水层,并把该区概化为基岩孔隙-裂隙岩溶含水层中的平面二维流问题^[1]。从空间上看,地下水流整体以水平运动为主、垂向运动为辅,常温常压下符合达西定律;地下水系统符合质量守恒定律和能量守恒定律;系统的输入输出随时间、空间变化,故地下水为非稳定流;参数随空间变化,体现了系统的非均质性,但在各个方向上无明显差异性,故概化为非均质各向同性介质。这些参数主要是根据模拟区的水文地质条件和前人工作成果确定,渗透系数和给水度具有由山前地带向平原区、由河谷向两侧,参数由大变小的总体趋势,渗透系数的变化范围为3~300 m/d,给水度的变化范围为0.03~0.23。模型源汇项有降水入渗量,农业回灌量和侧向流入量等补给项以及开采量、蒸发量、河流排泄量和泉流量等排泄项^[2]。

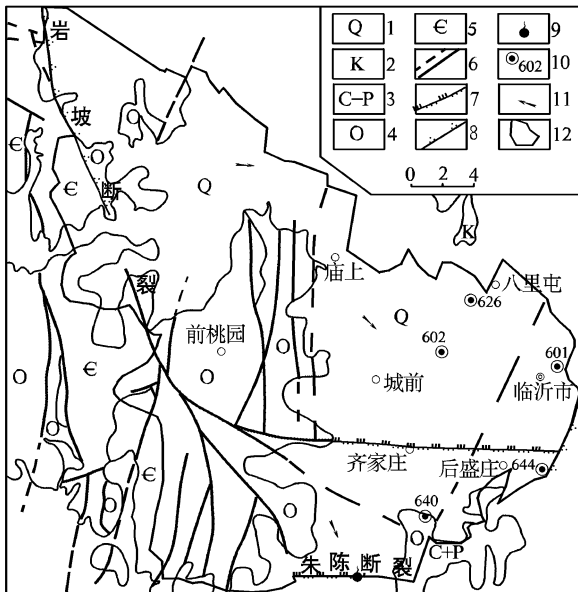


图1 计算区水文地质条件及观测孔位置图

1—第四系;2—白垩系;3—石炭-二叠系;4—奥陶系;5—寒武系;6—推测及实测断层;7—导水断裂;8—阻水断裂;9—泉水溢出点;10—省级监测点位置及编号;11—岩溶地下水流向;12—计算区边界

1.2 数值模型

根据水文地质概念模型,对非均质各向同性、空间二维结构、非稳定地下水流系统,可用如下方程的

定解问题来描述:

$$\begin{aligned} \mu \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \varepsilon \quad x, y, \in \Omega, t \geq 0 \\ h(x, y, t) |_{t=0} &= h_0 \quad x, y \in \Omega, t \geq 0 \\ K \frac{\partial h}{\partial n} |_{\Gamma_1} &= q(x, y, t) \quad x, y \in \Gamma_1, t \geq 0 \end{aligned}$$

式中: Ω —渗流区域; h —含水层的水位标高(m); K —水平方向渗透系数(m/d); ε —含水层的源汇项(m/d); h_0 —含水层的初始水位分布(m); μ —含水层的给水度; Γ_1 —渗流区域的侧向和下边界; q — Γ_1 边界的流量,流入为正,流出为负,隔水边界为0(m/d); n —一边界面的法线方向。

根据所建立的数值模型,确定模拟期为2001年1月到2007年5月。采用基于有限差分算法的GMS软件进行空间和时间离散,其中空间上把模拟区剖分为92行,100列,300 m×300 m的规则矩形网格;时间上剖分为77个应力期;以2001年1月初的流场作为模型的初始水位,以2007年5月末的流场作为拟合流场。对以上所建模型进行反复调试,主要包括对流场和水位过程线的拟合,最终确定合理的水文地质参数。

2 模型识别和验证

2.1 流场拟合

从流场拟合情况来看,计算流场基本上反映了地下水流动的趋势和规律。西南部山前地带水力坡度较大,等水位线较密。西北部地区开采强度相对较弱,水力坡度较小,等水位线较疏。受地形控制,地下水大体由西北向东南方向流动。东部城区开采较大,模拟期末在齐家庄附近已形成地下水降落漏斗,漏斗中心水位44.42m,扩展面积1.1 km²(52 m闭合等值线)。总之,模拟末流场与实际末流场总体趋势相同,拟合良好。

2.2 过程线拟合

根据模型区水位观测点的分布情况,选择5个省级监测点(601,602,626,640和644)作为重点水位拟合孔(图1)。所选取的省级监测点位于岩溶塌陷点附近,有利于分析岩溶水水位动态与岩溶塌陷发生机理的相互关系。水位动态过程曲线拟合平均误差为-0.703 m,平均绝对误差为0.797 m,各重点孔拟合效果良好(图2)。各观测孔的拟合过程曲线大体反映了研究区受降水和开采综合影响的岩溶

水水位动态。2002—2003年,受枯水期降水较少的影响,当地岩溶水水位大幅下降,此时也是岩溶塌陷频发的阶段。模拟期末,受强烈开采影响,640号孔附近水位急剧下降,岩溶水水位远低于基岩顶板,已形成地下水降落漏斗。

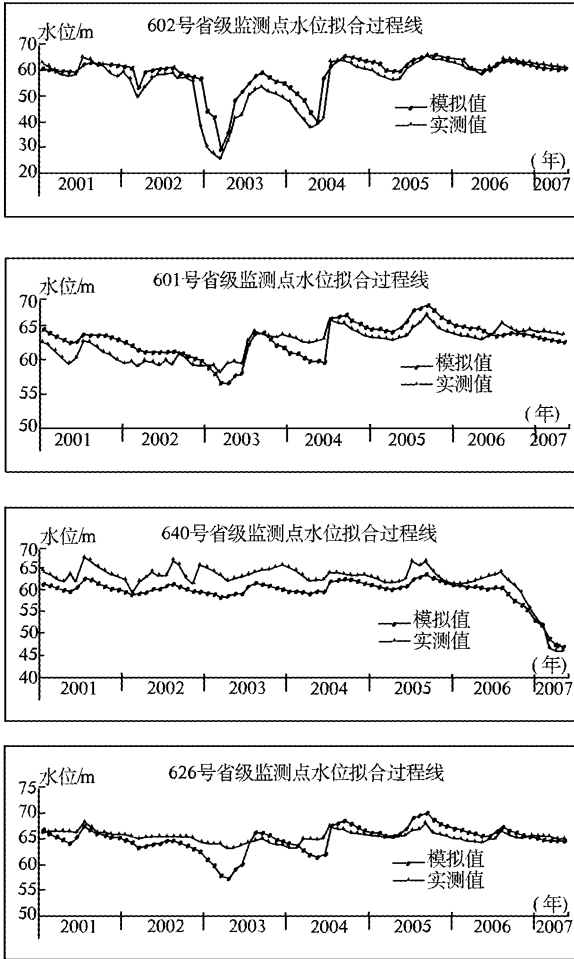


图2 重点观测孔水位过程拟合曲线图

2.3 地下水均衡

研究区的水量均衡要素主要有降水入渗、河流渗漏、侧向流出、井开采量、一类边界和蒸发量(表1)。地下水系统的主要补给来源是降水入渗,占97.01%。主要排泄途径是工业开采和蒸发,分别占47.91%和39.36%。模拟期处于负均衡状态,总计-1.87亿 m^3 。

表1 2001年1月—2007年5月水量均衡要素($10^8 m^3$)

降水入渗	灌溉回渗	河流渗漏	侧向流出	井开采量	一类边界	蒸发量	均衡差
6.16	0.19	-0.15	-0.72	-3.94	-0.18	-3.24	-1.87

2.4 水文地质参数

水文地质参数是表征含水介质储水、释水和地下水运动能力的指标。分析、研究、求取水文地质参数,是地下水资源计算与评价的重要环节之一,参数选取的准确与否,直接影响地下水资源计算与评价的精度。经过模型拟合,确定的主要水文地质参数有渗透系数和给水度。由图3和图4可知,研究区西南部、西部山前地带渗透性和出水性差;中部为岩溶水径流区,渗透性和出水性良好;东部、东南部岩溶水排泄区,渗透性也较差。

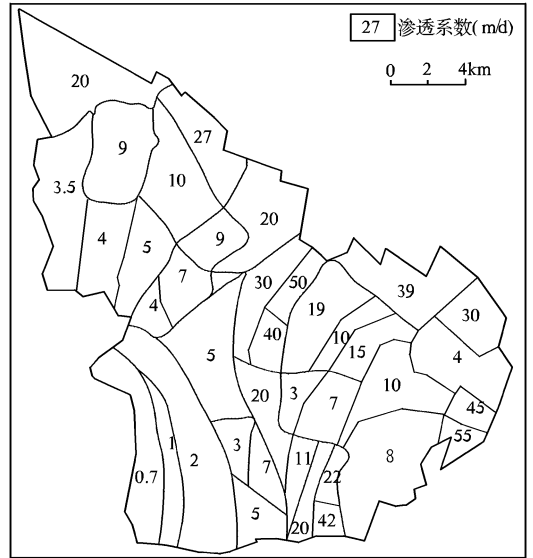


图3 研究区识别好的渗透系数分区图

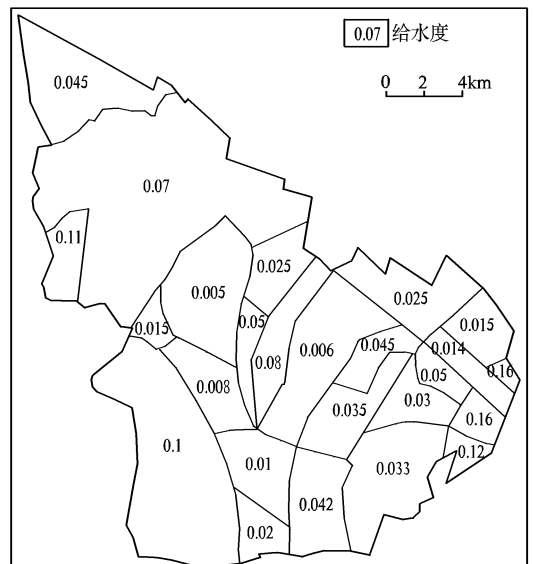


图4 研究区识别好的给水度分区图

3 地下水位预测分析

由上可知,所建模型拟合效果良好,客观反映了地下水系统演化规律,可以用于地下水水位的预测。利用此模型按现状(2006年6月—2007年5月)岩溶地下水开采方案预测2007年6月—2019年6月12年的地下水流场和动态变化过程。预测2019年6月的流场(图5),在现状开采条件下,12年后该区地下水流场整体趋势变化不大,但是水位下降幅度不等,漏斗中心区下降幅度超过了30 m。由此可见,现状地下水开采方案不合理,若按此方案继续开采,长久下去必将导致岩溶塌陷发生的危险升级,直接威胁国民经济建设和人民生命财产安全。

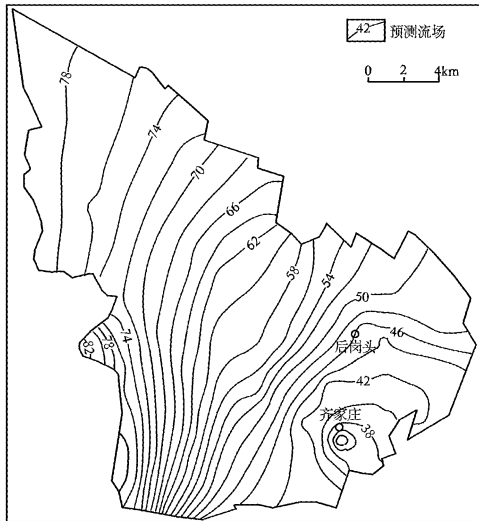


图5 研究区2019年6月预测流场图

4 结论

该文使用GMS软件建立了岩溶地下水数值模型,模拟了2001年1月—2007年5月期间的地下水位时空变化,获得了相关的水文地质参数。模拟结果显示,2007年前地下水降落漏斗位于城区后岗头一带,其中2004年枯水期漏斗面积为56 km²,中心水位为38.34 m,低于基岩顶板20.97 m;到2007年枯水期,降落漏斗转移到了齐家庄附近,其面积1.1 km²,中心水位44.42 m,低于基岩顶板18.28 m,与实际水文地质条件吻合性好。

由于诱发岩溶塌陷的水文、地质条件一般不具有可控性,而人类开发利用地下水直接影响的地下水水位,可以通过更加合理的开采方案得到调整,具有很强的可控性,而且地下水水位是控制岩溶塌陷发生的关键性因子,因此制定合理的地下水开采方案,并辅其他防治手段,临沂市城区的岩溶塌陷发生的可能性一定能降低到最低程度。

参考文献:

- [1] 冯克印,任翠爱,姚春梅,等. 地下水数值模拟在岩溶塌陷预警系统中的应用:以山东临沂市城区岩溶塌陷为例[J]. 中国地质灾害与防治学报,2007,18(2):112-116.
- [2] 姚春梅. 数值模拟在岩溶塌陷预警系统建设中的应用[J]. 水文地质工程地质,2007,34(4):94-97.

Simulation of Karstic Groundwater Flow in Linyi City

GUO Shi - chang¹, YAO Chun - mei¹, ZHANG Le - jin², LI Jing - bo³, BIAN Jia - sheng³

(1. Shandong Monitoring Center of Geological Environment, Shandong Jinan 250014, China; 2. Jinan University, Shandong Jinan 250022, China; 3. Linyi Bureau of Land and Resources, Shandong Linyi 276000, China)

Abstract: Through analysis on geological and hydrogeological conditions of karstic areas, numerical model of karstic groundwater flow is established in Linyi city, and the water level change from June 2007 to June 2019 is predicated as well. As showed by the result, it is conform with the hydrogeological conditions in research areas. Thus, it can be used to predicate karst collapse and to provide technical basis for preventing and controlling geological disasters in karst collapse areas.

Key words: Karst; groundwater; mathematical model; Linyi in Shandong province