

应用数值模拟法划分滕州岩溶水水源保护区

王义生, 吴晓华, 王学森

(山东省鲁南地质工程勘察院, 山东兖州 272100)

摘要: 根据2007年2月1日实施的《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ/T338-2007), 以滕州荆泉岩溶水系统为研究对象, 采用Visual Modflow中的MT3DMS模块建立地下水溶质运移模型, 进行了水源地规划开采状况下的数值模拟研究。依据模拟结果和有关技术要求分别将污染物运移100 d和1 000 d恰好到达水源地中心的捕获区划分为一级保护区、二级保护区, 二级保护区以外的地下水补给区划分为准保护区。水源保护区的划分为保护地下水水质、保障城市供水安全提供了决策依据。

关键词: 地下水源保护区; 裂隙岩溶水; 溶质运移模型; 数值模拟

中图分类号: P641.8

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2008)03-0242-09

滕州市是山东省人口最多的县级市, 荆泉地下水水源地是滕州市城区29万余人口的唯一供水水源, 保障城市饮用水安全具有重要意义。科学划分和建立饮用水水源保护区, 是保护地下水水质、保障城市供水安全的有力手段和依据。本文以滕州市荆泉水源地为例, 运用数值模拟方法, 划分了饮用水水源保护区, 为加强饮用水水源安全管理提供了决策依据。

1 研究区地质与水文地质特征

研究区位于山东省滕州市西北部, 是我国北方岩溶区发育比较典型的系统之一, 北、西、南三面环山, 中间为荆薛山前冲洪积平原。荆泉水源地处于山前冲洪积平原区。

研究区所在荆泉断块属鲁西台隆山亭凸起区, 由其西部的峰山断裂、北部的长龙断裂、南部的桑村穹隆所控制, 为一完整的水文地质单元。区域地层发育有太古宙变质岩系, 古生界寒武系、奥陶系、石炭系, 中生界侏罗系, 新生界古近系、第四系(图1)。

荆泉断块内第四系厚度较薄, 岩溶水与孔隙水存在越流补给, 最大岩溶发育深度约在210 m, 下部可视为隔水边界。荆泉断块东部边界为碳酸盐岩分布区, 接受上游地下水的侧向径流补给, 构成补给

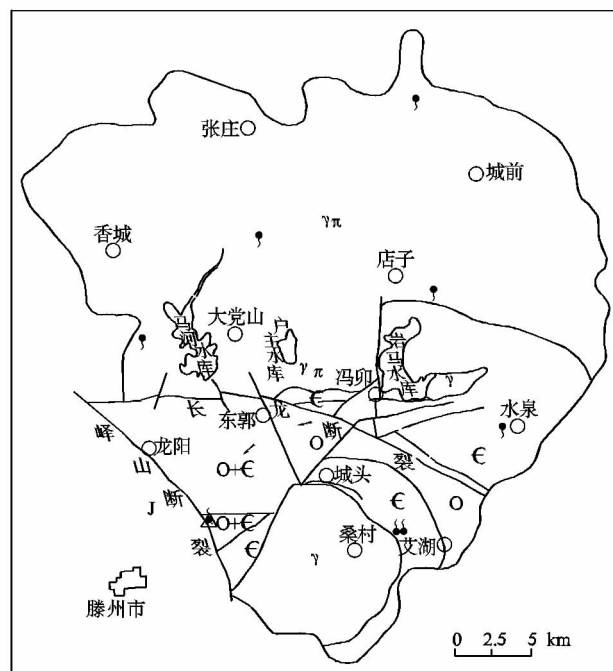


图1 荆泉断块岩溶水系统地质-水文地质略图

Fig. 1 Geological-hydrogeological sketch map of Jingquan Karst water system

- 1.地表分水岭; 2.断裂; 3.泉; 4.地层界线;
5.地下水流向; 6.水源地位置

边界; 北部边界以长龙断裂和变质岩地层界线为界, 为隔水边界; 南部为桑村穹隆周围的变质岩、岩

收稿日期: 2008-05-06 责任编辑: 林晓辉

作者简介: 王义生(1961-), 男, 山东东平人, 高级工程师, 主要从事水工环境地质及地质灾害勘查、评价与管理工。联系电话: 0537-3424929, 3496376, E-mail: wxh1993@126.com。

浆岩,可视为阻水边界;西部以峰山断层为界,断层西盘为不透水的侏罗系粉砂岩与砂质泥岩互层,为隔水边界,断块内其它次级断层均为导水断层。

荆泉岩溶水系统具有中国北方岩溶区的典型特点^[1],岩溶发育层位为寒武 – 奥陶系碳酸盐岩。含水介质为溶隙网络 – 强径流带组合型,在溶蚀作用强烈区往往形成连通性好的溶蚀裂隙带,为地下水的强径流带。溶隙网络中的地下水向强径流带汇集,

在适宜的水文地质条件下溢出地表成为大泉,组成一个完整的地下水系统。

在岩溶含水层中,不同时代的地层(寒武、下奥陶、中奥陶)在区域上的分布不同、岩溶发育程度也不同。总体来看,愈接近排泄带,渗透系数愈大, O_2 和 O_4 地层的渗透系数要比其他地层大,根据抽水实验和前人工作成果经模型识别验证确定的渗透系数数值在 5 ~ 20 m/d 之间,含水层的储水率在 10^{-4} ~

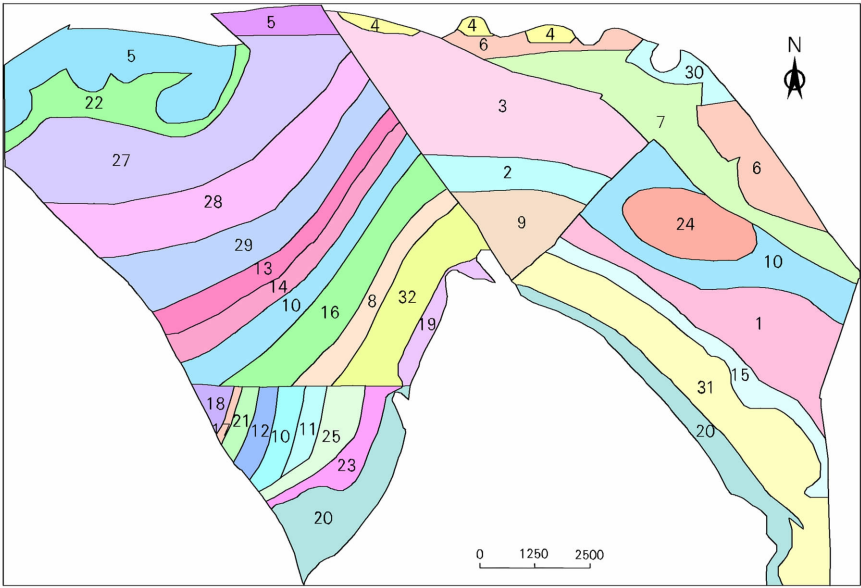


图 2 模拟区岩溶含水层参数分区图

Fig. 2 Parameter division of the simulation Karst aquifers

表 1 岩溶含水层水文地质参数分区表

Table 1 Karst aquifer hydro-geological parameter division

分区号	渗透系数	储水率	给水量	分区号	渗透系数	储水率	给水量
	(m/d)	(m^{-1})			(m/d)	(m^{-1})	
1	84.1	0.000 2	0.01	17	69.02	0.000 012	0.01
2	15	0.000 06	0.01	18	150	0.000 0125	0.01
3	46.72	0.000 025	0.01	19	64.99	0.000 1	0.01
4	5	0.000 025	0.01	20	40	0.000 025	0.01
5	8.03	0.000 05	0.01	21	40	0.000 015	0.01
6	100	0.000 12	0.01	22	7.2	0.000 03	0.01
7	40	0.000 22	0.01	23	400	0.000 12	0.01
8	30	0.000 05	0.01	24	80	0.000 05	0.01
9	10	0.000 07	0.01	25	50	0.000 037	0.01
10	40	0.000 15	0.01	26	10	0.000 02	0.01
11	20	0.000 022 5	0.01	27	48.395	0.000 02	0.01
12	70.729	0.000 015	0.01	28	50	0.000 02	0.01
13	70.729	0.000 02	0.01	29	60	0.000 02	0.01
14	70	0.000 19	0.01	30	238.358	0.000 22	0.01
15	58	0.000 2	0.01	31	200	0.000 24	0.01
16	58.031	0.000 18	0.01	32	520.32	0.000 05	0.01

10^{-6} 数量级(图2、表1)。

上层第四系孔隙含水层不是本次工作重点,对其刻画较粗,渗透系数在 $4 \sim 20 \text{ m/d}$ 之间,给定给水度值为 0.05。

本区岩溶水具有补给面积大,径流条件好,排泄集中的特点。岩溶水的补给以大气降水入渗、地表水渗漏补给为主,沿主径流带向北东-南西方向运移,受峰山断裂阻挡溢出地表形成当地有名的岩溶大泉——荆泉。荆泉水源地的集中大量开采为岩溶水的主要排泄方式。岩溶水的补给、径流、排泄水动力分布见图3。

2 水源地开发利用现状与规划

荆泉水源地始建于 1974 年,其开采层位为中奥陶统碳酸盐岩。1978 年 5 月扩建,至 1990 年实际供水量达到 $4.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,此后供水量逐年增长,最大开采量为 2003 年的 $5.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,近五年的开采量基本稳定,2006 年实际供水量 $5.47 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,目

前共有供水井 11 眼,输水、配水能力为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,为一大型岩溶水水源地。根据水源地多年开采动态资料(图4、表2)分析,目前水源地处于多年动态平衡状态,还具有一定的开采潜力。《滕州市城乡供水“十一五”计划和 2020 年规划》确定的 2020 年荆泉水源地的规划开采量为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

3 荆泉岩溶水水源保护区划分

2007 年 2 月 1 日实施的《饮用水水源保护区划分技术规范(HJ/T338-2007)》是水源地保护区划分的最新标准,该标准规定大型地下水水源地保护区划分应采用数值模型法。

数值模拟方法主要运用地下水模拟系统中的 MODFLOW 软件或其它计算机软件,模拟研究区的地下水水位,建立地下水流场,按污染物的降解时间不同,将水源地作为起点,运用溶质运移模块模拟计算各保护区在降解时间内水流到达水源地的

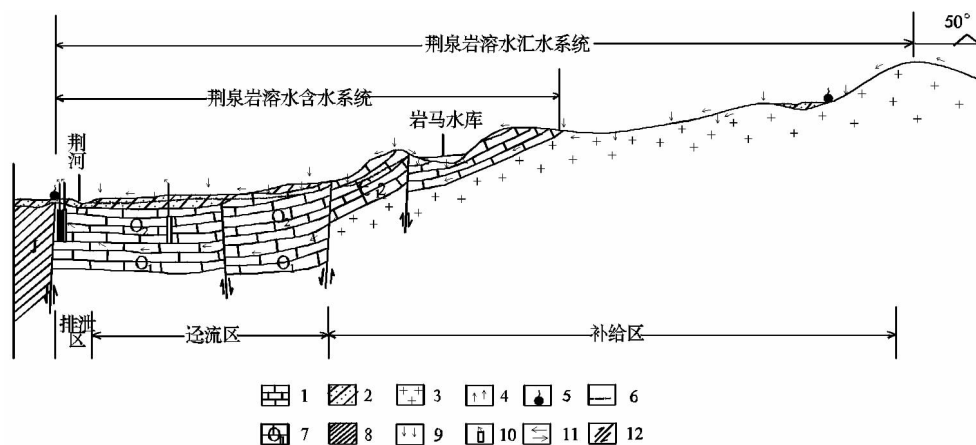


图3 荆泉断块岩溶水系统补、径、排示意图

Fig. 3 The sketch map of Jingquan Karst water systems recharge, runoff and drainage conditions

1. 岩溶含水层; 2. 第四系弱透土层; 3. 碎质岩及岩浆岩隔水层; 4. 顶托补给; 5. 泉; 6. 基岩地下水位;
7. 下奥陶统相对隔水层; 8. 侏罗系相对隔水层; 9. 大气降水及地表水入渗; 10. 开采井; 11. 地下和地表径流方向; 12. 断层

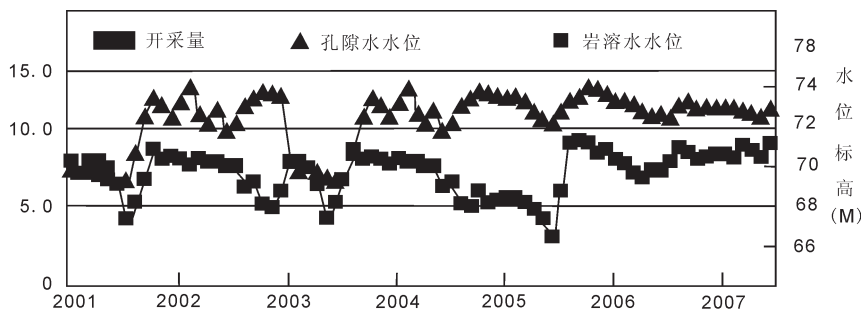


图4 荆泉水源地开采动态曲线图

Fig. 4 Exploitation change curve of jingquan groundwater wellfield

Table 2 List showing the pumping dynamic characteristics in Jingqian water source place

[illegible]

迹线起点,以此获取地下水流截获区,不同时间的迹线点连线即为各级保护区的范围。

据前所述,荆泉岩溶水系统内容蚀裂隙网络基本上遍布于整个含水层,地下水流具有统一的地下水面,水流运动基本服从 Darcy 定律。淄博大武源地裂隙岩溶水水头的数值计算也表明,等效多孔介质模型水头的拟合误差满足《地下水资源管理模型工作要求(GB/T14497-93)》的相关规定^[2]。

3.1 地下水流场模拟

根据研究区的区域地质、水文地质条件,建立研究区的水文地质概念模型,进而建立相应的数学模型,运用 Modflow 计算机软件,对研究区的实测地下水水位进行识别,可以得到研究区的模型参数值,建立地下水流场,并以此确定规划开采状态下的地下水流场,作为污染物运移模拟流场。

根据前述地质及水文地质条件,荆泉断块地下水流可用如下微分方程的定界问题描述:

$$\begin{cases} S \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \varepsilon & x, y, z \in \Omega, t \geq 0 \\ h(x, y, z, t) \big|_{t=0} = h_0 & x, y, z \in \Omega \\ \mu \frac{\partial h}{\partial t} = K_x \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right)^2 + \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right)^2 - \frac{\partial h}{\partial z} & (K_x + p) + p \\ & x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0 \\ K_n \frac{\partial h}{\partial n} \big|_{\Gamma} = q & x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0 \end{cases}$$

式中: Ω - 渗流区域; h - 地下水水位标高(m); K - 含水介质的水平渗透系数(m/d); K_z - 含水介质垂向渗透系数(m/d); ε - 含水层的源汇项(1/d); h_0 - 系统的初始水位分布(m); S - 自由面以下含水层储水率(1/m); Γ_0 - 渗流区域的上边界,即地下水的自由表面; μ - 潜水含水层在潜水面上的重力给水度; p - 潜水面的蒸发和降水入渗强度等(m/d); Γ - 渗流区域的流量边界; K_n - 边界面法向方向的渗透系数(m/d); n - 边界面的法线方向; q - Γ 边界的单位面积上的流量(m/d)。

3.2 溶质运移模型的建立及验证

污染物在地下水中的运移转化过程是极其复杂的,不仅仅有对流、弥散,而且可能有固体颗粒吸附与离子交换、化学反应、微生物降解等化学和生物化学作用。含有对流、弥散和颗粒吸附、生物降解作用的平面二维溶质运移可用以下微分方程的定解问题描述^[3]:

$$\begin{cases} R \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i C) + \frac{q_s}{\theta} C_s - \frac{q'_s}{\theta} C \\ - \lambda \left(C + \frac{\rho_b}{\theta} \frac{\partial C^*}{\partial t} \right) & x, y, z \in \Omega, t \geq 0 \\ C(x, y, z, t) \big|_{t=0} = C_0(x, y, z) & x, y, z \in \Omega \\ C(x, y, z, t) \big|_{\Gamma_1} = C_1(x, y, z, t) & x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0 \\ -\theta D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \big|_{\Gamma_2} = f_i(x, y, z) & x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0 \\ q_i C - \theta D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \big|_{\Gamma_3} = g_i(x, y, z) & x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0 \end{cases}$$

式中: Ω - 渗流区域; C - 污染组分浓度(mg/L), $C = C(x, y, z, t)$; u_i - 三个方向地下水实际流速,可由地下水流模型求得(m/d); D_{ij} - 水力弥散张量的9个分量(m²/d); θ - 有效孔隙度; q_s - 源的补给强度(1/d); C_s - 源的溶质浓度(mg/L); q'_s - 汇的排泄强度(1/d); ρ_b - 含水层岩土干容重; λ - 生物降解系数; C^* - 固体颗粒吸附的溶质浓度(mg/L); R - 阻滞因子,其值常大于1, $R = 1 + \frac{\rho_b}{\theta}$

$\frac{\partial C^*}{\partial C}$; $C_0(x, y, z)$ - 污染组分的初始浓度(mg/L); Γ_1 - 一类边界; $C_1(x, y, z, t)$ - 一类浓度边界值,即在该边界上浓度值已知(mg/L); Γ_2 - 二类边界; $f_i(x, y, z, t)$ - 二类边界值,即通过该边界的溶质通量已知(mg/L·m/d); Γ_3 - 三类边界; q_i - 边界上单位面积的渗透率(m/d); $g_i(x, y, z, t)$ - 三类边界值(mg/L·m/d)

同我国北方大多数岩溶水源地类似,区内岩溶含水层中溶质的运移也是以对流方式为主,因而,地下水流场和流速对污染质的运移起着决定性作用。若仅考虑污染物的对流和弥散作用,则上述溶质运移方程可简化为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i C) + \frac{q'_s}{\theta} C_s \quad (x, y, z) \in \Omega, t \geq 0$$

模型建立后采用2004年实测地下水位等值线和荆泉水源地附近地下水长观孔J3动态过程线的拟合,微调水文地质参数(表3),对模型进行进一步识别和验证,模型验证结果表明比较贴合作业区水文地质条件,观测孔J3水位过程线的拟合见图5。

3.3 数值模拟计算方法

对于地下水水流模型,许多文献中都有介绍,在此不再详述。而对于溶质运移模型,对流占优势运移问题的求解多采用拉格朗日法,其中最常用的

表 3 2004 年 J3 孔水位实测值及计算值对照表
Table 3 Data of observing and calculating for Hole J3,2004

观测值	天数	0	30	60	90	120	150	180
	水位(m)	72.41	72.08	71.58	71.42	71.78	71.74	72.29
	天数	210	240	270	300	330	360	
计算值	水位(m)	72.84	72.72	72.68	72.86	72.88	72.88	
	天数	0	30	60	90	120	150	180
	水位(m)	72.23	71.46	71.2	71.29	71.01	71.21	71.32
	天数	210	240	270	300	330	360	
	水位(m)	71.91	72.11	72.35	72.46	72.59	72.58	

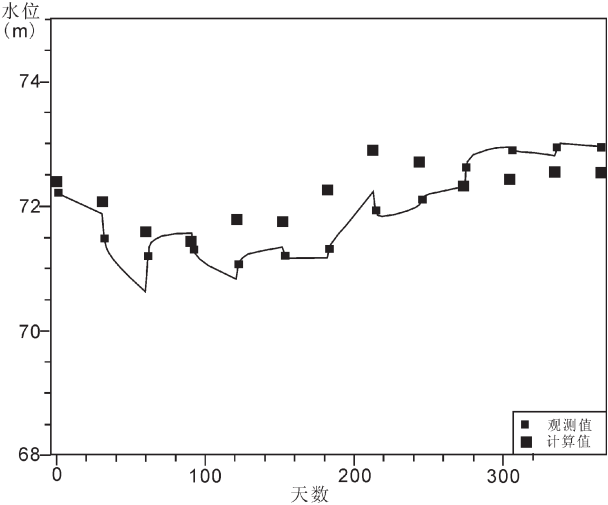


图 5 2004 年 J3 孔水位过程线拟合图
Fig. 5 J3 hole water level process fitting line

是混合欧拉－拉格朗日方法。根据求解对流项的拉格朗日技术不同,又可分为沿着时间方向追踪质点的特征线法(MOC)、逆时间方向追踪质点的改进特征线法(MMOC)以及二者结合或称混合特征线法。由于本次工作的质点为未知预测点,应根据保护区划分要求试算保护区边界点,因此本次计算采用 MOC 法,即使用传统的质点追踪方法来求解对流项^[4],污染物运移的计算主要采用 MT3D MS 软件,它是目前最通用、功能最强大的求解地下水中污染质运移的模拟软件,而且该软件可以和 Modflow 配套使用。

3.4 模型参数取值

根据区内地下水水质现状、污染源的分布及类型,结合 2000 年以来地下水中各项组分的含量变化情况,对区内地下水环境质量影响负荷较大的指标主要为三氮,而《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)中,三氮指标又以亚硝酸盐氮最为严格,因此,本次研究选择亚硝酸盐氮作为区内代表性污

染溶质进行模拟预测。
岩溶含水层渗透系数、储水率和给水度根据水量模型的识别与验证确定,在与介质有关的参数中纵向和横向弥散度的敏感度系数非常小^[9],直接选用经验值,取纵向与横向弥散系数比为 0.1,纵向与垂向弥散系数的比为 0.01。
弥散系数具有明显的尺度效应,多数学者认为它是由介质的非均匀性引起的^[6],即使通过室内实验或局部地段的野外试验取得参数,用于区域尺度比较大的数值模拟模型中也并不完全适宜。依据弥散系数－污染质运移距离关系图(图 6、表 4),研究

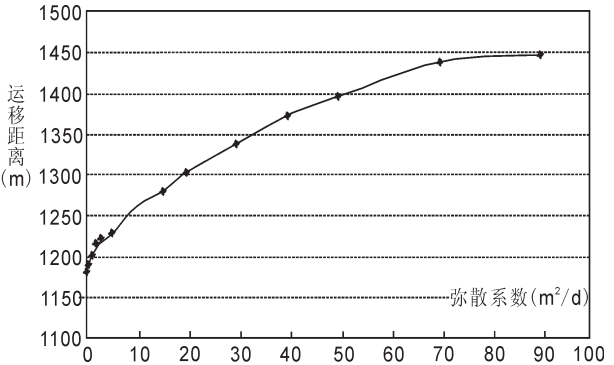


图 6 弥散系数－污染物运移距离关系图
Fig. 6 Relationship between the dispersion coefficient and contaminants transport distance

表 4 弥散系数－污染物运移距离对应关系计算结果表
Table 4 Relationship of data both dispersion coefficient and contaminants transport distance

弥散系数(m²/d)	0	0.1	0.5	1	2	3
运移距离(m)	1182	1186	1190	1202	1217	1224
弥散系数(m²/d)	5	10	15	20	30	40
运移距离(m)	1228	1261	1280	1303	1338	1374
弥散系数(m²/d)	50	70	90	100	1000	
运移距离(m)	1396	1440	1448	1514	2018	

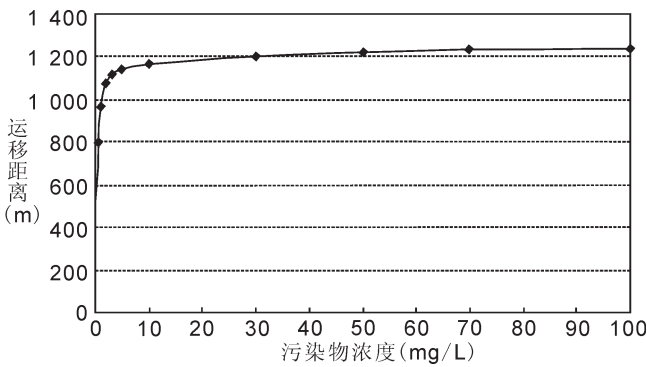


图 7 污染物浓度 - 运移距离关系图

Fig 7 Relationship of contaminant concentration and transport distance

表 5 污染物浓度 - 运移距离对应关系计算结果

Table 5 Calculation of the relationship of contaminant concentration and transport distance

浓度(mg/l)	0.1	0.5	1	2	3	5	10
距离(m)	310	803	968	1082	1116	1141	1169
浓度(mg/l)	30	50	70	100	500	800	1000
距离(m)	1205	1223	1233	1242	1294	1310	1321

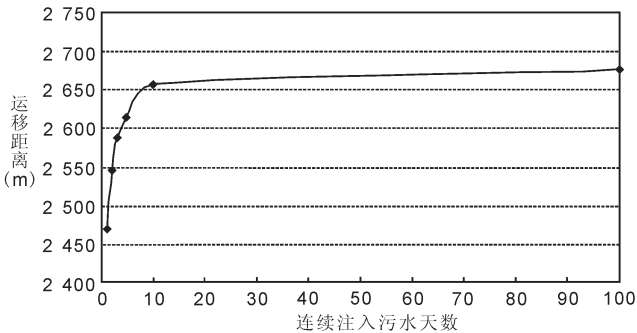


图 8 污染物连续排放天数 - 运移距离关系图

Fig. 8 Relationship of consecutive days of concentration and transport distance

表 6 污染物连续排放天数 - 运移距离对应关系计算结果表

Table 6 Relationship between the consecutive days of concentration and transport distance

排放天数(d)	1	2	3	5	10	100
距离(m)	2470	2545	2588	2613	2657	2677

区弥散系数取 $70 \text{ m}^2/\text{d}$ 。

由于污染来源为非确定的假设点,污染物进入到地下水的浓度和总量更难以确定。依据污染物浓度 - 运移距离关系图(图 7、表 5),当污染物的浓度大于 10 mg/L 时,其浓度增加对污染物锋面的运移距离已不再有太大影响,因此研究区溶质浓度即污染物浓度取 10 mg/L 。

当污染物浓度一定的条件下,污染物向含水层中排放时间的长短实际上就是排放量的大小。依据污染物连续排放天数 - 运移距离关系图(图 8、表 6),污染物连续排放时间超过 10 d 以后,污染物锋面运移的距离与排放时间的影响已经关系不大。根据保护区划分规范的要求,以污染物运移 100 d 和 1000 d 作为一级和二级保护区边界是相对安全的。

根据分析结果还可以看出,不同参数变化而污染物的最大运移距离一般小于 3 km ,该值可以近似看成一级保护区的最大半径。

据上分析,确定研究区溶质运移模型中各参数取值为:纵向与横向弥散系数比为 0.1 ,纵向与垂向弥散系数的比为 0.01 ,纵向弥散系数 $70 \text{ m}^2/\text{d}$,污染物浓度 10 mg/L ,污水排放量 $100 \text{ m}^3/\text{d}$,水源地一级和二级保护区污染物连续排放时间分别选定 100 d 和 1000 d 。

3.5 保护区划分

根据模拟的地下水流场,运行溶质运移模型,模拟计算在规定时间内污染物捕获带的位置,以此作为保护区边界点进行划定。

三维流状态下, t 时间截获区是指在 t 时间内,从污染点到水源地的迹线组所包含的体积。若忽略垂向流速分量,则截获区为污染物从污染点出发,在 t 运移时间内,到水源地的水平迹线组所包含的面状区域。亦即,截获区是指污染质在某时间内,污染质可降解到符合国家饮用水水质标准,该时间段内污染物的运移范围就是截获区,即地下水保护区的范围^[7]。

具体做法为利用 MT3DMS 软件能计算出任意时间质点运移轨迹和运移距离的特点,在水源地周围不同的位置预先设置污染源(点)进行试算,考察连续注入污染物 100 d 和 1000 d 时,污染质锋面是否到达最近的水源井附近,刚好达到水源井附近的污染点,就是沿该径流方向一级和二级保护区的边界点,将水源地周围这些边界点圈闭,就是形成对水源地产生影响的污染质在 100 d 和 1000 d 时间内运移的捕获带范围,即溶质运移模拟模型计算出的水源地一级或二级保护区的理论范围。部分溶质质点的运移模拟如图 9、图 10 所示。

根据数值模拟计算结果,污染物运移 100 d 到达水源地中心的最短距离为 1912 m ,最长距离为 2479 m ,污染物运移 1000 d 到达水源地中心的最短

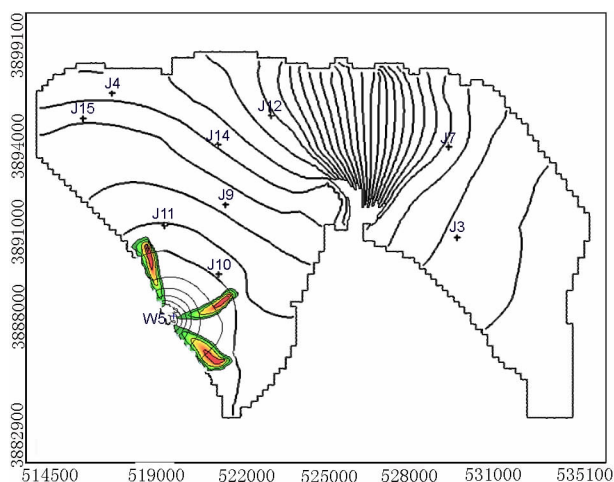


图9 一级保护区部分质点运移模拟追踪图

Fig. 9 Part of the particle in the first-class protection zone transport simulation tracking

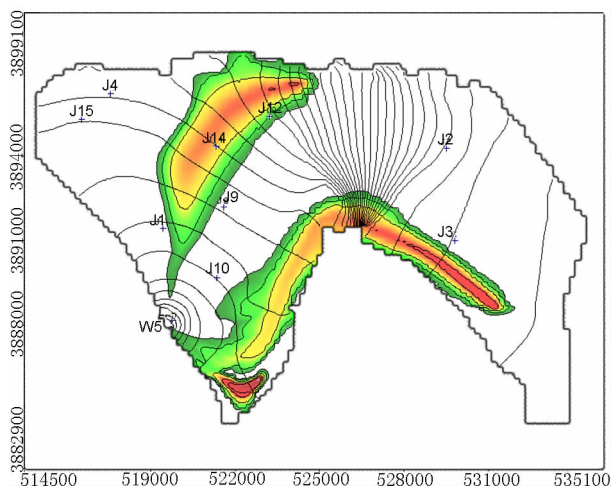


图10 二级保护区部分质点溶质运移模拟追踪效果图

Fig. 10 Part of the particle in the second-class protection zone transport simulation tracking

距离为 3.71 km,最长距离为 13.77 km。按《饮用水水源保护区划分技术规范 (HJ/T338-2007)》的规定,一级、二级保护区边界点以溶质运移模拟结果为主要依据,但是设置饮用水水源地保护标志时应充分利用有明显标志的交通道路、输电线路或行政区界线。

4 结论

(1)地下水资源是城市地质环境承载力的主要因子之一,做好饮用水水源保护工作对保障城市饮

用水安全,实现经济社会的可持续发展具有重要意义。

(2)按最新实施的《饮用水水源保护区划分技术规范 (HJ/T338-2007)》将荆泉水源保护区划分为三级,一、二级保护区内污染质子到达水源地的时间分别为 100 d 和 1 000 d,准保护区为除一、二级保护区以外的地下水补给区。

(3)建立地下水水流模型和溶质运移模型,模拟地下水流程和污染质子运移状况,划定了水源地保护区边界,探讨了各参数的取值范围,为我国北方岩溶区地下水水源地的保护提供了可借鉴的划分方法。

(4)保护区划分仅为饮用水源的保护工作提供了初步依据,应严格按照有关规定对保护区进行管理。同时开展应急供水水源地的规划和勘察评价工作,增加城市的供水水源储备,提高城市供水安全的保障程度。

(5)介质的非均质性及由此而产生的相关参数的尺度效应以及对流弥散方程的数值求解方法需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 何宇彬,邹成杰. 中国南北方喀斯特水特征对比[J]. 中国岩溶,1996,15(3):259-268.
- [2] 朱学愚,刘建立. 山东淄博大武水源地裂隙岩溶水中污染物运移的数值研究[J]. 地学前缘,2001,8(1):171-177.
- [3] ZHENG C, BENNETT G D. Applied Contaminant Transport Modeling: Theory and Practice[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995, 1-432.
- [4] 钱家忠,汪家权,葛晓光,等. 我国北方型裂隙岩溶水流及污染物运移数值模拟研究进展 [J]. 水科学进展, 2003,14(4):509-512.
- [5] 郭飞,朱学愚,刘建立,等. 山东淄博裂隙岩溶水中污染物运移的数值模拟及治污措施[J]. 水利学报,2004,4:1-8.
- [6] 王锦国,周志芳. 裂隙岩体地下水溶质运移的尺度问题 [J]. 水科学进展,2002,13(2):239-245.
- [7] 王金生,王澎,刘文臣,等. 划分地下水源保护区的数值模拟方法[J]. 水文地质工程地质,2004,31(4):83-86.

Application of Numerical Simulation on Division of the Protecting Area of Karst Water in Tengzhou

WANG Yi-sheng, WU Xiao-hua, WANG Xue-sen

(Shandong Lunan Geologic Engineering Survey Institute, Shandong Lunan 272100, China)

Abstract: According to the *Technical guideline for delineating source water protection areas* (HJ/T338-2007), take Jingquan karst water system in Teng Zhoujing, Shandong Province as research object, we establish groundwater solute transport model with MT3DMS module in Visual Modflow, make a numerical simulation research on the condition of mining plan. Base on the simulation results and technical requirements, we delineate the first-class protection area and the second-class protection area separately: the captive section which pollutant just arrived at the groundwater wellfield center by transporting 100 d and 1 000 d. And the ground water supply district that outside the second-class protection area is delineated the quasi-protection area. The water source protectorate division provide the policy-making basis for protect the ground water quality, safeguard the urban water supply safely.

Key words: groundwater protection zones; fracture-karst water; solute transport model; numerical simulation

学术论文的引言内容要求

引言(又名前言、序言、概述)经常作为论文的起始段落,主要回答“为什么做该项研究”这个问题,细分起来又可包括两个方面的内容,一是问题从何说起,即问题的出处,二是问题为何提出,即提出的必要性。总的来说,其目的是阐述问题的由来。具体要简明介绍论文的研究背景,通过文献综述所研究领域的研究现状,找到存在问题,给出本次研究的起点,研究方法,追求的目标和取得的主要成果,以此来表明本篇论文的创新性,体现文章的价值,使读者明了文章主题的性质和份量,引起他们的重视和兴趣。可以归纳为 5 个基本要素:总结和分析相关研究成果,找出研究中未解决的问题,提出论文要解决的问题,阐明研究问题的思路,简述研究问题的方法。

引言应言简意赅,不要等同于论文的摘要,或成为摘要的注释。引言中不要详述同行熟知的定义,包括教科书上已有陈述的基本理论、实验方法和基本方程的推导等。如果在正文中采用比较专业化的术语、缩写词,或引入新概念,最好先在引言中定义说明或加以解释。一般情况下,文章的这一部分都比较简短。

刘新秒