

基于过程模拟的李官堡水源地地下水污染预警

吴庆¹, 郭永丽¹, 滕彦国², 左锐², 姜光辉¹, 罗飞¹

(1. 国土资源部/广西岩溶动力学重点实验室, 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004;
2. 北京师范大学地下水污染控制与修复教育部工程研究中心, 北京 100875)

摘要: 基于过程模拟的地下水污染预警是基于包气带和饱和带过程模拟的耦合实现的, 且融合了涵盖整个地下水系统的四个预警指标。选取浑河冲洪积扇的李官堡水源地为例, 基于 Hydrus-1D 和 Visual Modflow 分别进行包气带过程模拟和饱和带过程模拟, 针对潜层和承压层的复杂程度分别制定了各自的预警临界值; 经分析可知, 随着时间的推移, 地表污染物持续进入到地下水中, 污染晕范围不断扩大, 地下水中最大浓度值和水源井浓度值也持续增加, 且承压含水层的预警级别要高于潜水含水层; 同时基于潜层和承压层中污染物最大浓度值与时间分别近似呈线性关系和指数关系可进行长时间尺度的预警; 并提出了零级预警区和一级预警区管理措施以监测和预防为主, 二级预警区、三级预警区和四级预警区管理措施以控制和监测为主。

关键词: 过程模拟; 地下水污染预警; 李官堡水源地

中图分类号: P641 文献标识码: A 文章编号: 1000-0852(2017)01-0019-06

地下水属于自然资源, 是地球系统中的重要组成部分, 在水循环和地质构造中传递着瞬间变化的信息^[1]。目前, 地下水资源受人类活动的影响日趋加重, 如农业、城市化进程的加快、工业发展和矿山资源的开发等, 对地下水污染的威胁越来越明显^[2-4]; 由于地下水系统本身的隐蔽性, 地下水污染不易察觉, 一旦察觉地下水已被污染, 地下水污染治理和修复工程不宜开展、难度大、且耗资高等, 并带来很多难以解决的后续问题。因此, 预防和防止地下水污染已成为目前研究的重点^[5]。目前, 在地下水污染领域研究较为普遍的有地下水脆弱性和地下水污染风险, 主要是针对地下水系统本身抵抗污染的能力和潜在污染源作用下地下水被污染的可能性^[6-7]。随着地下水污染评价理论和方法的不断完善和推进, 地下水污染的恶化现状、恶化趋势及负向演化方面也不断开展起来, 在地下水资源的可持续利用、保护和管理中具有很重要的指导意义^[5,8]; 国内外关于地下水污染预警与人类健康、生态环境等

方面研究较少^[9-10]; 故本文在阐述地下水污染预警涵义及预警指标的基础上, 探讨基于过程模拟的李官堡水源地地下水污染预警研究, 为完善地下水污染预警方法和理论研究提供一定的指导。

1 基于过程模拟的地下水污染预警模型

地下水污染预警是在对水文地质条件、污染源的详细调查、监测及分析的基础上实现对未来水质发展趋势的定量化预测, 分析在某一时段内地下水可能发生污染的区域及污染的程度, 从而能够在地下水可能发生污染之前提出预警、预报^[10-13]。地下水污染预警因子整体上可归纳为地下水脆弱性、潜在污染源特征、地下水功能和地下水水质变化趋势; 这四个指标综合了包气带过渡地带的防护性能、污染源的潜在污染地下水的能力、地下水水质和地下水水量等因素, 构成整个地下水系统的污染预警研究^[13]。本文综合考虑《国家突发环境事件应急预案》(四级)和地下水污染风险

收稿日期: 2015-10-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41472239, 41172231); 中国地质调查局项目(DD20160061); 环保公益性行业科研基金重大项目(201009009)

作者简介: 吴庆(1987-), 男, 广西桂林人, 硕士, 研究实习员, 从事地质、水文地质方面的工作。E-mail: wuqing11@karst.ac.cn

通讯作者: 郭永丽(1989-), 女, 河南太康人, 硕士, 助理研究员, 主要从事水文地质方面的研究。E-mail: gylguo@karst.ac.cn

(五级),将地下水污染预警等级划分为四级(不含零级),还有零级(无)预警,预警不同等级分区的颜色由低到高用灰色、蓝色、黄色、橙色和红色表示。

基于过程模拟的地下水污染预警方法是基于包气带和饱和带的水流模型和溶质迁移转化模型模拟预测潜在污染源的污染特征污染物在地下水系统中的迁移转化对保护目标的影响程度(预警等级),确定地下水受到污染的范围和程度,最终划定出地下水污染范围内不同的地下水污染预警级别;该方法不仅可综合评价地下水系统中的水量和水质,模型本身也可验证该方法的可靠性^[14-16];包气带和饱和带的水流模型和溶质迁移转化模型可涵盖整个地下水系统的四个预警指标。

包气带过程模拟,“源”指地表潜在污染源,“路径”指污染源所处的垂向包气带厚度范围内,“目标”指潜水含水层水面。DRASTIC模型是地下水脆弱性评价中最常用的方法,与研究区相结合综合分析该模型的评价指标可知,净补给量(R)和地形坡度(T)在模拟范围内变化不大;地下水水位埋深(D)本身就是包气带的厚度;包气带的影响(I)考虑的是包气带岩性及其厚度对地下水脆弱性的影响^[16-17]。包气带过程模拟的溶质运移模型考虑了潜在污染源的类型、排放量及其是如何将污染物释放出来的,潜在污染源的污染特征污染物的种类、浓度、吸附系数和降解系数等。因此,包气带过程模拟综合了地下水污染预警研究中的预警因子——地下水脆弱性中的净补给量(R)、包气带的影响(I)、地形坡度(T)、地下水水位埋深(D)和潜在污染源。

包气带和饱和带之间的链接采用松散连接的方式,本次研究中该链接体现到污染物浓度方面:即包气带过程模拟的污染物从地表到达潜水面的 C_{\max} (最大浓度值),通过文件形式作为饱和带过程模拟模型上部边界的输入条件。

饱和带过程模拟,“源”指进入到潜水含水层水面的污染物,“路径”指含水层系统的地下水径流路径,“目标”是具有重要意义的泉/井/河流。含水层介质(A)和含水层导水系数(C)是构建饱和带水流模型的基础资料和参数,同时本次所构建的地下水水流模型中,地下水水位情况体现了地下水资源功能,水文地质概念模型体现了地下水地质环境功能,二维稳定流模型体现了地下水生态功能;饱和带溶质运移模型表征了地下水水质变化趋势预警因子。因此,饱和带过程模拟融合了地下水污染预警因子中的地下水脆弱性中的含水层导水系数(C)和含水层介质(A),地下水功能和地下

水水质变化趋势。

2 案例分析

2.1 研究区概况

研究区位于下辽河平原东北浑河冲洪积扇沈阳市区的西南部,浑河中下游北岸,细河南岸,总趋势为由东北向西南逐渐降低,坡降0.75%,地势比较平坦。研究区范围为西至沈大高速公路以西,西北至细河南岸,东部至铁路线,南至浑河北岸;研究区属半湿润大陆季风型气候,多年平均气温为7℃~8℃。研究区受季风环流水汽来源及地形等因素影响,降雨及其季节分配不均匀,年平均降雨量为657.7mm。本区地下水主要接受大气降雨入渗、浑河入渗和地下水侧向径流的补给。

本文针对的是李官堡水源地附近的垃圾堆放场地土壤中的污染物在降水作用下,经包气带作用到达地下水水面以及进入到含水层中的迁移转化特征,分析并预测其对李官堡水源地某供水井的影响,划定相应的预警级别。

2.2 分析和讨论

2.2.1 包气带过程模拟

包气带过程模拟是基于Hydrus-1D软件构建垂向一维水流和污染物迁移转化模型,模拟的是垃圾堆放场地土壤中的有机氮、氨氮和硝酸盐氮在包气带中的迁移转化特征,及污染物到达潜水水面浓度的大小。

根据垃圾堆放场所处位置的包气带介质可知,包气带过程模拟模型由上到下可分为种植土层、细砂层和粗砂含砾层三层。垃圾堆放处土壤中有有机氮、氨氮和硝酸盐氮的浓度值分别为2.40mg/L、1.44mg/L和4.60mg/L;包气带过程模拟模型主要针对氨氮的线性吸附作用和硝化作用,硝酸盐氮的反硝化作用,模拟的时间为7200d;由所模拟出的包气带底部氨氮和硝酸盐氮浓度值随时间的变化趋势可知(见图1),垃圾堆放处的土壤在降水淋滤作用下,第1年硝酸盐氮就可穿透包气带到达潜水含水层,而氨氮则需要6年;随着时间的延续,到达地下水水面的氨氮和硝酸盐氮的浓度值在前12年均呈对数增长趋势,之后趋于稳定,氨氮和硝酸盐氮的最高浓度值分别为 1.08×10^{-3} mg/L和12mg/L;与输入值(土壤中浓度值)相比,氨氮浓度减小,硝酸盐氮浓度增大,表明模拟区垃圾堆放场所处位置硝酸盐氮反硝化所用小于氨氮的硝化作用,垃圾堆放场所处位置 EH 值较高,属于氧化环境;也表明硝酸盐氮进入到含水层系统中对第二目标(供水井、泉和河流)的影响较大。

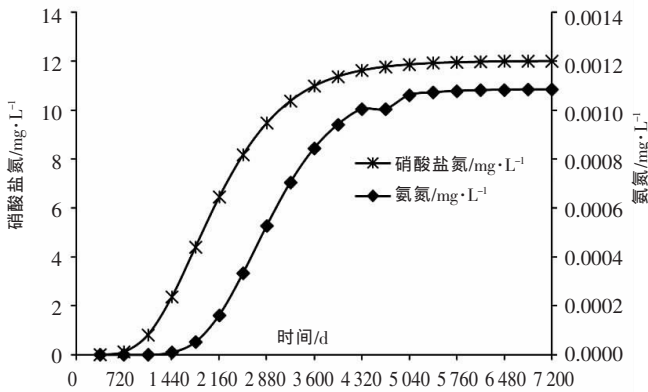


图1 包气带底部的氨氮和硝酸盐氮浓度随时间的变化趋势
Fig.1 The variation trends of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ with time in the bottom of unsaturated zone

2.2.2 饱和带过程模拟及预警分区

模拟区长约 7 700m,宽约 3 300m,面积约 25km²;含水层的岩性主要为砂砾石、砂卵石和粗砂,垂向上可将含水层系统概化为三层:第一层岩性主要为粗砂,为潜水层,厚为 26m;第二层岩性主要为亚粘土,划分为弱透水层,厚为 5m;第三层岩性主要为砂砾石,为承压含水层,厚为 29m;含水层系统的渗透系数、给水度和贮水率的赋值情况详见图 2 和表 1。

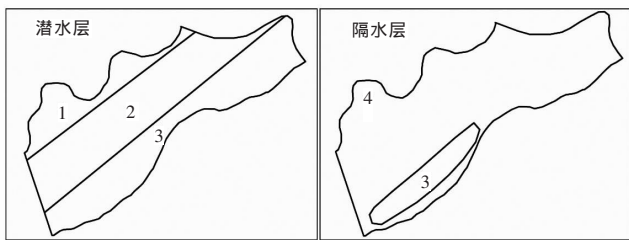


图2 左图为潜水渗透系数分区,右图为隔水层分区
Fig.2 The distribution of the permeability coefficient of unconfined aquifer and aquiclude

表1 研究区含水层水文地质参数
Table1 The statistics of the hydro-geological parameters of the study area

层位序号	分区号	渗透系数/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$			给水度
		水平方向 $/10^{-4}(x, y)$	垂直方向 $/10^{-5}(z)$	贮水率 $/10^{-5}\text{m}^{-1}$	
第一层	1	2.60	2.60	1.00	0.11
	2	3.40	3.40	1.00	0.13
	3	5.50	5.50	1.00	0.14
第二层	4	5.84×10^{-3}	5.84×10^{-3}	2.00	0.04
	3	5.50	5.50	2.00	0.04
第三层	5	1.00	1.00	7.50	0.15

饱和带过程模拟模型顶部为补给边界,接收包气带过程模拟模型底部水流的下渗补给;模拟区地

下水水流方向为自东北向西南,故东北部为补给流量边界,西南部为排泄边界;模拟区北部紧靠细河,南部紧靠浑河,故细河/北部和浑河/南部为河流边界;饱和带过程模拟模型底部,即承压含水层底板,划分为隔水边界。补给来源可分为垂向补给、侧向径流补给/排泄和河流补给;排泄项主要为人工开采。

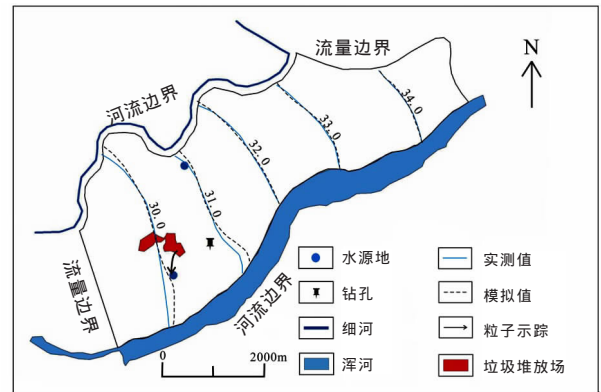


图3 地下水水流模拟拟合图和粒子示踪示意图
Fig.3 The fitting chart of the groundwater flow simulation and schematic diagram of particle tracing

模拟区面积较小,且地下水水流缓慢,该区地下水水流概化为二维稳定流模型。图3为模型模拟流场与实际流场的拟合图,基本吻合;在垃圾堆放场所处的单元格设置示踪粒子,基于 MODPATH 模块模拟淋滤之后的污染物进入地下水后的迁移路径,可知在水源地供水时,示踪粒子整体上随地下水水流运移时,会偏向水源地供水井;如果不采取相应措施进行防范,垃圾堆放场地的土壤在长期淋滤作用下,最终将污染地下水水源地。

根据包气带过程模拟结果可知,饱和带过程模拟模型顶部(仅限垃圾堆放场所处位置)氨氮和硝酸盐氮的输入值分别为 $1.08 \times 10^{-3} \text{mg/L}$ 和 12mg/L ,地下水中硝酸盐氮污染物多是由人类活动引起的,具有代表人为因素的作用;故只选取影响较大的硝酸盐氮污染物,分析其进入到地下水中,随着地下水水流运动对李官堡水源地某供水井的影响。

饱和带过程模拟不考虑含水层中硝酸盐氮的背景值,不考虑其它的硝酸盐氮来源,不考虑硝酸盐氮的反硝化作用和吸附作用;只考虑硝酸盐氮在含水层中的对流-弥散作用;故在设定预警等级划分时,只要所模拟的硝酸盐氮到达水源井就发布预警。模型中所模拟的含水层有两层,即潜水含水层和承压含水层;承压含水层相对潜水含水层而言,地下水污染治理成

本更高,地下水修复更困难,地下水污染所带来的人类健康风险、生态风险更难以预测,故承压含水层的预警临界值的划定与潜水含水层既有一定联系,也有区别。

由于包气带底部污染物进入到含水层中,会明显降低硝酸盐氮的浓度,且垃圾堆放场所处位置的含水层中的硝酸盐氮的浓度会随着模拟时间的延长而增加,故迭加利用四分位距法确定潜水层预警界线的划分,警戒线为 1.50mg/L、3.00mg/L 和 6.00mg/L。潜水含水层中硝酸盐氮的最大浓度值和抽水井中硝酸盐氮的浓度范围在 1 440d、1 800d、3 600d、5 400d、7 200d 和 9 000d 分别为 1.4mg/L、2.0mg/L、3.5mg/L、5.0mg/L、6.0mg/L 和 7.0mg/L, 和 0~0.5mg/L、0~0.5mg/L、0~1mg/L、0~1mg/L、0~1mg/L 和 0~1mg/L;承压含水层中的硝酸盐氮的最大浓度值和抽水井中硝酸盐氮的浓度范围在 2 880d、3 600d、5 400d、7 200d 和 9 000d 分别为 0.012mg/L、0.02mg/L、0.06mg/L、0.12mg/L 和 0.20mg/L, 和 0~0.002mg/L、0~0.005mg/L、0~0.01mg/L、

0~0.02mg/L 和 0~0.05mg/L。整体上来讲,相同时间段内潜水层中污染物浓度最大值是承压层中污染物浓度最大值的 50 倍,故承压层预警等级临界值的设定是潜水层的 1/50,故警戒线设定为 0.03mg/L、0.06mg/L 和 0.12mg/L。

分析不同时间内污染晕中最大硝酸盐氮浓度值和水源井中硝酸盐氮的浓度范围,以及不同时期内预警等级分区图(见图 4)可知,随着垃圾堆放场地土壤中污染物持续进入到地下水中,污染晕质心随着地下水水流方向移动,污染晕不断扩大,影响范围更大;最大浓度和水源井的浓度值也持续增加;与潜水含水层相比,承压层的预警级别划分更需谨慎;由图 4 可知,随着时间的推移,承压含水层的预警级别要高于潜水含水层,以引起更多地对承压含水层地下水资源的保护。潜水含水层和承压含水层中污染物最大浓度值与时间分别近似呈线性 ($R^2=0.9857$) 和指数关系 ($R^2=0.9721$)(见图 5),基于此,可预测更长时间的影响。

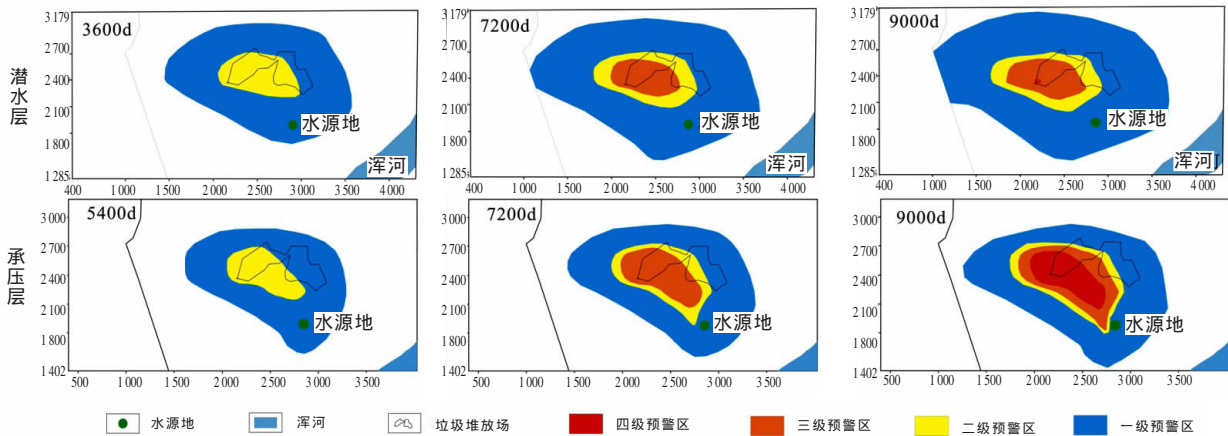


图 4 不同时期潜水层和承压层预警分区图

Fig.4 The early-warning zones of the unconfined aquifer and confined aquifer in different periods

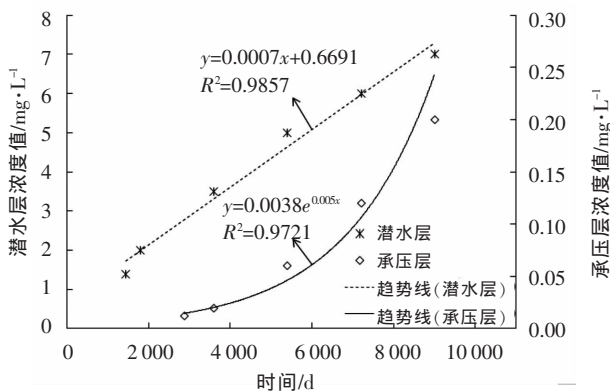


图 5 潜水承压含水层中污染物浓度最大值与时间关系曲线图
Fig.5 The relation of the maximum value of NO₃-N in the unconfined aquifer and confined aquifer with time

2.2.3 预警管理措施

(1) 零级和一级预警区

零级和一级预警区管理措施以监测和预防为主。

监测:根据所模拟的水源地附近的污染晕,布置监测网,监测污染晕的扩散速度和污染物浓度的变化速率,分析污染晕和污染物浓度的时空变化趋势。

预防:在所模拟预测的硝酸盐氮到达水源地的时间范围内,零级预警区的预防措施有:对垃圾和所处位置的土壤采取适当的防渗措施,对垃圾堆放场采取适当措施清除地下水中污染物。硝酸盐氮已到达水源

地,但浓度较低,一级预警区的预防措施有:切断污染源,将垃圾堆放场移走,并对垃圾和所处位置的土壤进行适当处理;防止污染物向水源地扩散,通过抽水或注水,改变模拟区的地下水水流场,使污染物向别的方向扩散;收集污染物。

(2)二级、三级和四级预警区

二级、三级和四级预警区管理措施以控制和监测为主。

对于二级预警区、三级预警区和四级预警区,到达该三区地下水中的污染物浓度值较高,该三区内地下水水质已经趋于恶化,恶化或具有明显的恶化趋势。基于此,在查明地下水污染源和污染途径的基础上,首先应当切断地下水污染源,其次考虑以下控制措施:通过注水或抽水方式改变含水层系统中地下水贮存量,降低污染物进入水源地的量;采用合理的物理化学方法净化已经被污染的地下水;在污染较重的包气带可采用生物方法,阻止污染物向含水层系统中扩散;利用堵塞或截流措施控制地下水中污染物的弥散迁移,防止污染物进入水源地。

二级、三级和四级预警区,地下水中污染物浓度较高,已对地下水水质造成影响,此时应及时进行地下水污染的相关监测,在最短的时间内熟知地下水潜在污染源、污染物类型、污染物浓度、污染晕方位及其所造成的各种问题;也亟需在最短的时间内制定出一套全面、细致的地下水污染监测方案,充分考虑造成地下水污染的各种影响因素。

3 结论与展望

基于过程模拟的地下水污染预警模型中包气带和饱和带过程模拟融合了地下水脆弱性、潜在污染源、地下水功能和地下水水质变化趋势四个预警因子;模型中包气带过程模拟和饱和带过程模拟分别是基于Hydrus-1D和Visual Modflow软件进行的,通过松散链接方式实现两者的耦合,最终获取预警分区。基于过程模拟的地下水污染预警模型所构建水流和溶质运移模型需详细的相关资料,且预警过程严谨,精确性高,主要针对特定污染源或突发环境事故对地下水水源地的影响,以定量评价方法为主,适用于重点地区。

本文研究区位于浑河冲洪积扇的李官堡水源地。首先利用包气带过程模拟分析其附近的垃圾堆放场地土壤中氨氮和硝酸盐氮经包气带到达地下水水面的详细过程,第1年硝酸盐氮就可穿透包气带,而氨氮则需

要6年;氨氮和硝酸盐氮到达地下水水面的浓度值随时间均呈对数增长趋势,6480d后达到稳定状态;氨氮和硝酸盐氮到达地下水水面的最高值分别为 $1.08 \times 10^{-3} \text{mg/L}$ 和 12mg/L 。本文只分析具有研究意义的硝酸盐氮进入到地下水中随地下水水流运移对水源地的影响,不考虑其反硝化作用和吸附作用,经模拟可知4和8后到达水源井的潜层和承压层;随着垃圾堆放场地土壤中污染物持续进入到地下水中,污染晕质心随着地下水水流方向移动,污染晕不断扩大,影响范围更大;最大浓度值和水源井浓度值也持续增加,同时可基于潜层和承压层中最大浓度值与时间分别近似呈线性关系和指数关系进行长时间的预警。本文同样针对潜层和承压层的复杂程度分别制定了各自的预警临界值划分;经分析可知,随着时间的推移,承压含水层的预警级别要高于潜水含水层,以引起更多地对承压含水层地下水资源保护的关注。

本文是对基于过程模拟的地下水污染预警模型的探讨及应用分析,是为了完善地下水污染预警研究的理论和方法,实现地下水污染预警在地下水资源管理中的指导作用,体现在:①通过地下水污染预警分析识别出主控因素,明确地下水资源管理的主要方向;②地下水污染预警分区可为优化地下水水位和水质监测网提供理论依据;③地下水污染预警结果可为预防地下水污染奠定理论基础,并有助于建立地下水污染防控和治理的基本原则;④通过数值模拟的地下水污染预警结果可为人类健康风险评价和生态风险评价提供基础资料。

参考文献:

- [1] 王大纯,张人权,史毅虹,等. 水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社, 1995:1-5.(WANG Dachun, ZHANG Renquan, SHI Yihong, et al. Hydrogeology [M]. Beijing: Geology Publishing House, 1995:1-5.(in Chinese))
- [2] MOHAMMAD N, KALUARACHCHI A J J. Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds[J]. Journal of Hydrology, 2007,343:211-229.
- [3] EMMANUEL E, PIERRE M G, PERRODIN Y. Groundwater contamination by microbiological and chemical substances released from hospital wastewater: Health risk assessment for drinking water consumers[J]. Environment International, 2009,35:718-726.
- [4] JAMIN P, DOLL F, CHISALA B, et al. A regional flux-based risk assessment approach for multiple contaminated sites on groundwater bodies[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2012,127:65-75.
- [5] 卢耀如. 建设生态文明保护地下水资源促进可持续开发利用[J]. 地球学报, 2014,35(2):129-130.(LU Yaoru. Build ecological civilization

- and protect groundwater resources to promote sustainable development and utilization[J]. 2014,35(2):129-130. (in Chinese))
- [6] STICTER T Y, RIBEIRO L, CARVALHO D A M M. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agriculture regions in the south of Portugal[J]. Hydrogeology Journal, 2006,14(3):79-99.
- [7] NGUYEN V A, BANG S, VIET P H, et al. Contamination of groundwater and risk assessment for arsenic exposure in Ha Nam province, Vietnam[J]. Environment International, 2009,35:466-472.
- [8] 王凯军,曹剑峰,徐蕾,等. 地下水资源管理预警系统的建立及应用研究—以长春城区为例[J]. 水科学进展,2005,16(2):238-243. (WANG Kaijun, CAO Jianfeng, XU Lei, et al. Establishment and application of early-warning system in groundwater resource management in the urban area of Changchun [J]. Advances in Water Science, 2005,16(2):238-243. (in Chinese))
- [9] GRASSO V F, SINGH A. Global environmental alert service (GEAS)[J]. Advances in Space Research, 2008,41:1836 - 1852.
- [10] 白利平,王业耀,郭永丽,等. 基于风险管理的区域(流域)地下水污染预警方法研究[J]. 环境科学,2014,35(8):2903-2910. (BAI Liping, WANG Yeyao, GUO Yongli, et al. Research of early-warning method for regional groundwater pollution based on risk management[J]. Environmental Science, 2014,35(8):2903-2910. (in Chinese))
- [11] ALFIERI L, SALAMON P, PAPPENBERGER F, et al. Operational early warning systems for water-related hazards in Europe [J]. Environmental Science and Policy, 2012,21:35-49.
- [12] 张伟红. 地下水污染预警研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2007:2-6. (ZHANG Weihong. Study on the Early Warning of Groundwater Pollution[D]. Jilin: Jilin University, 2007:2-6. (in Chinese))
- [13] 郭永丽,姜光辉,郭芳,等. 地下水污染预警研究进展[J]. 水文, 2015,35(6):20-28.(GUO Yongli, JIANG Guanghui, GUO Fang, et al. Research overview of early warning of groundwater pollution[J]. Journal of China Hydrology, 2015,35(6):20-28. (in Chinese))
- [14] CHRISTOPH N, RAFIG A. Quantitative assessment of intrinsic groundwater vulnerability to contamination using numerical simulations[J]. Science of the Total Environment, 2009,408(2): 145-254.
- [15] 邹环,王金生,滕彦国,等. 基于过程模拟的地下水脆弱性评价研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2013,32(1):121-126. (HUAN Huan, WANG Jinsheng, TENG Yanguo, et al. Progress in groundwater vulnerability based on process simulation[J]. Bulletin in Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2013,32(1):121-126. (in Chinese))
- [16] 郭永丽,滕彦国,王威. 不确定性过程模拟的地下水污染风险评估[J]. 地球科学进展, 2012,27:343-345. (GUO Yongli, TENG Yanguo, WANG Wei. Groundwater pollution risk assessment based on uncertainty process simulation method [J]. Advances in Earth Science, 2012,27:343-345. (in Chinese))
- [17] 姚文锋. 基于过程模拟的地下水脆弱性研究[D]. 北京:清华大学, 2007:17-18.(YAO Wenfeng. Study on Groundwater Vulnerability Based on Process Simulation [D]. Beijing: Tsinghua University, 2007:17-18. (in Chinese))

Groundwater Pollution Early-warning of Liganpu Water Source Based on Process Simulation

WU Qing¹, GUO Yongli¹, TENG Yanguo², ZUO Rui², JIANG Guanghui¹, LUO Fei¹

(1. Karst Dynamics Laboratory, Ministry of Land and Resources/Guangxi, Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences; Guilin 541004, China; 2. Engineering Research Center for Groundwater Pollution Control and Remediation, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The process simulation of unsaturated zone and saturated zone can represent 4 early-warning factors, which cover the whole groundwater system. The process simulation of unsaturated zone combined with the process simulation of saturated zone is the method of groundwater pollution early-warning based on process simulation. This paper chose the Liganpu water source as the study area, made process simulation of unsaturated zone saturated zone based on Hydrus-1D and Visual Modflow, and determined the critical value for early warning according to the complexity of the unconfined aquifer and confined aquifer. The results show that the contaminant plume increase with the time, and the maximum concentration of the plume and water source well also increased in both unconfined aquifer and confined aquifer. This paper proposed different critical values of early-warning for unconfined aquifer and confined aquifer, and the early-warning level of confined aquifer is higher than unconfined aquifer with the passage of time. The relationships between the maximum concentrations of unconfined aquifer and confined aquifer with time are linear and exponential, which can be used for the early-warning in the long time. This paper also proposed that monitoring and preventing will be taken as the principal thing in the management strategies for the first-level and zeroth-level early-warning areas, and controlling and monitoring be taken as the principal thing in the management strategies for the forth-level, third-level and second-level early-warning areas.

Key words: process simulation; groundwater pollution early-warning; Liganpu water source