

晋祠泉域地下水开采决策的风险分析

束龙仓, 朱元生

(河海大学水文水资源及环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要 以山西省太原市晋祠泉为例, 在简要阐述研究区基本条件及风险分析基本概念的基础上, 对该泉域地下水开采决策进行了风险分析, 计算泉水发生断流的概率, 分析断流对工农业生产、旅游业和生态环境的影响, 为实现泉域地下水的持续开发利用提供必要的基础信息.

关键词 晋祠泉域 地下水开采 决策 风险分析

中图分类号 P641.8 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2000)06-0090-04

晋祠泉域岩溶水系统分布于山西省太原市的西山一带, 其范围主要包括古交市的大部分地区, 泉域面积 1528 km², 其中裸露可溶岩面积 551 km², 奥陶系中统为岩溶水主要含水层. 含水层接受大气降水和汾河罗家曲—镇城底、河口—寺头段的渗漏补给后, 形成向西边山断裂带的径流, 其主径流带为古交—晋祠, 在径流量上占主导地位, 除少部分侧向排入盆地外, 晋祠泉为该主径流带上的集中排泄点群, 泉水出露标高为 802.59 m. 晋祠泉群泉水总流量在 50 年代平均为 1.945 m³/s, 1961 年太原化学工业集团在晋祠附近开凿 5 眼深井, 其开采量高达 0.62 m³/s; 1968 年又在开化沟开凿 3 眼深井开采岩溶水, 最大开采量 0.3 m³/s, 致使晋祠泉流量由 1958 年的 1.98 m³/s 减少到 1971 年的 1.30 m³/s; 1978~1979 年间, 清徐县在平泉和梁泉又开凿了 14 眼自流井, 最大自流量达 1.03 m³/s, 1979 年南郊洞儿沟自流井建成, 最大自流量 0.125 m³/s. 由于 70 年代的干旱少雨, 沿西边山断裂带陆续开凿 24 眼农灌井, 开采岩溶水.

泉域内岩溶水的大量开采, 使得晋祠泉水流量急剧下降, 由 1971 年的 1.3 m³/s 下降到 1980 年的 0.8 m³/s, 泉域内的鱼沼、善利两泉断流. 进入 80 年代以来, 西山煤矿的大规模开采, 矿坑排水量骤增, 加快了晋祠泉流量的衰减速度, 泉流量由 1980 年的 0.8 m³/s 减至 1990 年的 0.3 m³/s 左右, 同年 6 月下旬泉流量减少为 0.168 m³/s, 在晋祠泉群中, 难老泉 10 个分水孔中的 3 个孔断流. 到 1994 年 4 月 30 日, 千古名胜难老泉终于不堪重负, 出现断流^[1].

晋祠泉群的断流与泉域内地下水资源开发利用决策不当有密切关系, 因为泉域内自然背景和气候条件在近 50 年来并未发生很大变化, 主要原因是泉域内地下水开采量的急剧增加. 当前面临的迫切任务是为保证地区社会、经济的可持续发展, 如何调整泉域内地下水开采量的决策.

晋祠泉群是一个复杂的地下水径流系统, 存在众多的因素, 其中有些是可控的, 有些是不可控的, 有些是确定的, 而有些是未知的和不确定的. 调整开采方案决策的难点, 在于建立模型, 考虑各种不确定因素作用的条件下, 在可控因素中选取一些对晋祠泉流量敏感的因素, 确定相当可靠和有效的决策方案. 为此, 需要引进风险的概念, 分析各种不确定因素对决策的风险. 分析中必须建立晋祠泉水位的模拟模型, 本文采用遗传算法识别模型中的待定参数, 充分利用了现有的观测资料.

1 风险分析的基本概念

目前风险(Risk)的定义还没有完全统一, 它随着具体研究问题的不同而有一定的差别. 简单地说, 风险就是系统失效的概率, 即工程达不到预期目标的概率. 当提出“什么是风险”时, 实际上是提出了三个问题, 即在这项工程中或在系统运行过程中会出现什么事故? 发生事故的可能性有多大? 如果发生了, 其后果会怎样?

收稿日期: 1999-09-13

基金项目: 中国博士后科学基金项目(1997/7)

作者简介: 束龙仓(1964—), 男, 安徽无为, 人, 博士, 副教授, 水文水资源专业, 主要从事地下水资源研究.

系统运行中会出现什么事故,可用事故树 S_i (即事故的集合) 来表示, S_i 描绘系统会出现什么事故,是如何出现的. 与地下水开采有关的主要事故或主要环境问题有 区域地下水水位的持续下降、地下水污染(或水质恶化)、地面沉降(塌陷)、泉水断流、海水入侵等. 出现事故的可能性用 L_i 表示 ;出现事故的损失或后果用 X_i 表示,包括了各种可能出现的损失总和,如 社会的、环境的、经济的损失等. 因此可用三位体的全集 $\{< S_i, L_i, X_i > \}_c$ 来定量地定义风险 R :

$$R = \{< S_i, L_i, X_i > \}_c$$

风险分析(Risk analysis)包括三个相互联系的部分,即 风险辨识、风险估算和风险评价. 风险辨识即为分析系统在特定的决策条件下发生什么样的事故. 对地下水供水工程来说,就是分析在某一决策条件下运行供水工程会产生什么环境问题. 风险估算则着眼于定量地描述事故发生的概率,即计算出事故发生的可能性有多大. 风险评价的主要任务是阐述事故将会产生什么样的社会、经济和环境负效应,即对事故所产生的后果进行评价^[2~6].

2 晋祠泉断流风险模型的建立

为了建立起晋祠泉地下水水位的模拟模型,并充分利用现有的地下水水位、泉域内地下水开采量和汾河的渗漏补给量等观测资料,采用遗传算法识别模型中的待定参数.

遗传算法模拟生物的进化规律,把一组随机生成的待估参数的可行解作为父代个体,将参数估计的最优化准则作为父代个体适应环境能力的度量,进行杂交生成子代个体,后者再经变异,优胜劣汰,如此反复进化,使个体的适应能力不断提高,待估参数值不断地向真值逼近.

遗传算法在求解实际问题时,常包括以下几步 :(a) 待估参数的编码(二进制或十进制) ;(b) 待估参数父代个体的随机生成 ;(c) 待估参数父代个体的适应能力评价 ;(d) 待估参数父代个体的随机选种 ;(e) 待估参数父代个体的杂交 ;(f) 待估参数父代个体的自然变异 ;(g) 进化迭代^[7].

通过对晋祠泉泉口附近观测孔的地下水水位与泉域内地下水的开采量(包括煤矿矿坑的排水量)、汾河的渗漏补给量的分析,可建立起地下水水位模拟模型 :

$$H_t = A_1 + A_2 \times H_{t-1} + A_3 \times Q_{\text{开}t} + A_4 \times Q_{\text{河渗}t} \tag{1}$$

式中 : A_1, A_2, A_3, A_4 ——模型的待估参数 ; $Q_{\text{开}t}$ ——泉域内当年地下水开采量,包括当年煤矿矿坑的排水量, m^3/s ; $Q_{\text{河渗}t}$ ——泉域内当年汾河的渗漏补给量, m^3/s ; H_{t-1} ——前一年的地下水水位, m ; H_t ——当年的地下水水位, m .

选用了 1981 ~ 1994 年共 14 年的资料,用遗传算法识别上述模型的待估参数. 经计算,确定的待估参数分别为 : $A_1 = 104.199$; $A_2 = 0.8702$; $A_3 = -0.1435$; $A_4 = 0.3523$. 因此,地下水水位的模拟模型为

$$H_t = 104.199 + 0.8702 \times H_{t-1} - 0.1435 \times Q_{\text{开}t} + 0.3523 \times Q_{\text{河渗}t} \tag{2}$$

该模型计算结果的精度较高,其相对误差大部分为 0.02% 左右.

3 泉域地下水开采决策的风险分析

3.1 泉水发生断流的概率

对方程(1)的绝对误差值(即表 1 中的第四列)求其均值和方差,再用蒙特卡罗方法来模拟随机项 ϵ (方程(3)中的最后一项),该随机项 ϵ 相互独立,且服从 $n(a, \sigma_\epsilon)$ 分布^[8].

$$H_t = 104.199 + 0.8702 \times H_{t-1} - 0.1435 \times Q_{\text{开}t} + 0.3523 \times Q_{\text{河渗}t} + \epsilon \tag{3}$$

将 ϵ 的 6000 次模拟结果代入方程(3). 式中的其它项取值如下 : H_{t-1} 取值 802.31 m (1994 年水位) ; $Q_{\text{河渗}t}$ 分别取枯水年、平水年和丰水年对应的 0.66 m^3/s , 1.17 m^3/s , 1.54 m^3/s ; $Q_{\text{开}t}$ 分别取值 1.34 m^3/s , 1.25 m^3/s , 1.12 m^3/s (工农业开采量消减到 0.62 m^3/s , 0.53 m^3/s , 0.40 m^3/s , 而煤矿矿坑的排水量取 0.72 m^3/s , 即 1990 ~ 1994 年 5 年的平均值),得到该条件下的 6000 个水位模拟值,再计算水位值小于 802.59 m 的概率,其计算结果见表 1.

由表 1 中数据可知:当汾河渗漏量相同时,随着地下水开采量的逐步消减,晋祠泉断流(即泉口水位低于 802.59 m)的可能性逐渐降低;当地下水开采量相同时,随着汾河渗漏量的增加,晋祠泉断流的可能性也逐渐降低.当汾河渗漏量为 $0.66\text{ m}^3/\text{s}$ (即枯水年的情况下),地下水开采量为 $1.34\text{ m}^3/\text{s}$ 时,晋祠泉断流的概率高达 91.23%,而当汾河渗漏量为 $1.54\text{ m}^3/\text{s}$ (即丰水年的情况下),地下水开采量消减为 $1.12\text{ m}^3/\text{s}$ 时,晋祠泉断流的概率仅 16.67%.由此可知,要 100% 地保证晋祠泉复流,就必须尽快引用黄河的水,即尽早地利用万家寨引黄工程的黄河水,以便消减地下水的开采量,真正地实施晋祠泉域地下水的可持续开采.

3.2 泉水断流的后果分析

晋祠泉的断流已影响到整个泉域,甚至整个太原市社会、经济的可持续发展,具体体现在以下几个方面:

3.2.1 泉水断流影响工农业供水

晋祠灌区原设计灌溉面积 $1\,360\text{ hm}^2$,实有灌溉面积 $1\,507\text{ hm}^2$,其灌溉水源为晋祠泉水,主要种植水稻和蔬菜.由于泉水断流,不得不引污水灌溉.曾为贡品的晋祠大米,品质明显下降,连当地居民都不愿意吃,其产量也大幅度下降,原产量 $21\text{ kg}/\text{hm}^2$,现为 $15\text{ kg}/\text{hm}^2$.由于水源缺乏,灌区内 20% 的优质水浇地已变为旱田,部分已成为荒地.

原泉水流量的 46% 供太原化学工业集团公司的工业和生活用水,由于泉水断流,导致该集团公司用水严重短缺,据其初步估算,缺水所造成的经济损失在 1.0 亿元以上.

3.2.2 旅游效益明显下降

据初步估算,由于泉水断流,使晋祠泉风景区的旅游观光收入每年减少约 300 万元,加上其他的经济损失每年估计在 600 万元以上.

3.2.3 生态环境恶化

- a.原靠晋祠泉水养殖的优质红鳟鱼已绝迹,鱼厂被迫关闭,直接经济损失在 100 万元以上.
- b.由于水位持续下降,晋祠院内的珍稀树种银杏、水杉、周柏等均出现老化趋势,整个院内的生态环境明显恶化.
- c.为了保护泉水,花在洞儿沟自流井、平泉自流井及晋祠院内泉水人工造景循环系统上的治理费用已达 350 万元之多.

事实上,自从晋祠泉断流后,泉域内的生态环境具有明显的恶化趋势.晋祠是国家重点文物保护单位,晋祠泉是晋祠的主要景观之一.为了保护晋祠泉,太原市水利局一方面抓紧实施平泉自流井群的综合治理工程,同时起草了《太原市晋祠泉域保护条例》,该条例已于 1991 年 2 月经太原市人大常委会讨论通过.为此,泉域内的地下水开采应严格地按照该条例执行.

4 结 语

以山西省太原市晋祠泉为例所进行的地下水开采决策的风险分析,所得结果可为指导该泉域地下水的合理开采提供必要的依据,同时可使泉域内与地下水开采决策有关的失误减小到最低程度.研究认为,只有进行了有关的风险分析,才能提供各种地下水开发利用决策下的风险信息,并据此提出实现该泉域地下水可持续开采的具体措施,使地下水开采决策方案能够实现预期的目标,即晋祠泉尽早复流.

参考文献:

[1] 韩行瑞,鲁荣安,李庆松. 岩溶水系统——山西岩溶大泉研究[M]. 北京:地质出版社,1993. 211 ~ 229.
[2] 赵国藩. 工程结构可靠性理论与应用[M]. 大连:大连理工大学出版社,1996. 195 ~ 217.
[3] 束龙仓. 基岩裂隙水专家系统中不确定性知识的处理[J]. 长春地质学院学报,1997,27(增刊 1)33 ~ 35.
[4] McKinney D C, Lin M D. Genetic algorithm solution of groundwater management models[J]. Water Resources Research, 1994,30(6):

表 1 不同条件下晋祠泉断流的概率
Table 1 Frequency of zero flow of Jinci spring
under different conditions

$Q_{河渗}/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	$Q_{井}/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$		
	1.34	1.25	1.12
0.66	91.23%	89.99%	87.22%
1.17	53.95%	51.15%	45.82%
1.54	22.30%	20.45%	16.67%

1897 ~ 1906.

[5] Simonovic S P. Risk in sustainable water resources management[A]. Sustainability of Water Resources under Increasing Uncertainty (Proceedings of Rabat Symposium SI[C]. IAHS Publication, 1997,240 :3 ~ 17.

[6] Wagner B J ,Gorelick S M. Optimal groundwater quality management under parameter uncertainty[J]. Water Resour Res, 1987, 23(7) : 1162 ~ 1174.

[7] 周明,孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京 国防工业出版社,1999.32 ~ 64.

[8] 徐士良. FORTRAN 常用算法程序集(第二版)[M]. 北京 清华大学出版社,1995.501 ~ 511.

Analysis of Risk Decision Making for Groundwater Exploitation
within Jinci Spring Area, Shanxi Province

SHU Long-cang,ZHU Yuan-sheng

(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098, China)

Abstract:There are some uncertainties in the process of decision making for groundwater exploitation, and the “uncertainties” and “risk” are closely related. The Jinci spring area of Taiyuan city, Shanxi Province is chosen for case study. Based on a brief introduction to the basic hydrogeological conditions and concept of risk analysis, the risk existing in the process of decision making for groundwater exploitation is analyzed, and important data are provided for implementation of sustainable development of groundwater resources in the spring area.

Key words Jinci spring area ; groundwater exploitation ; decision making ; risk analysis

+++++

河海大学特聘教授招聘启事

国家教育部正在实施“长江学者奖励计划”,建立特聘教授岗位制度,已批准在我校五个重点建设学科 水文学及水资源,岩土工程,水力学及河流动力学,水工结构工程和港口,海岸及近海工程设立特聘教授岗位.其中水文学及水资源和岩土工程为国家重点建设学科,其它学科均为省(部)级重点建设学科,并且都是“211 工程”重点建设学科.现特向国内外公开招聘,欢迎国内外专家学者应聘.

- 招聘岗位:水文学及水资源特聘教授
岩土工程特聘教授
水力学及河流动力学特聘教授
水工结构工程特聘教授
港口、海岸及近海工程特聘教授

岗位职责:讲授本学科核心课程;主持国家重大科研项目研究;领导本学科学术梯队建设;带领本学科在其前沿领域赶超或保持国际先进水平.

工作条件:提供专用办公室及现代化办公设备;配备青年教师、博士生和硕士生梯队.提供实验设备和场地,包括现有的水资源国家专业实验室,岩土工程实验室、水工水力学实验中心、水工结构实验室、港口航道实验室、河口海岸实验室等部省重点实验室;保证必要的科研条件,提供科研启动经费 50 万元;享受特聘教授岗位津贴 10 万元/年;提供三室一厅住房和安家费,解决家属工作和小孩入学.

应聘条件:能从事科研教学第一线工作,年龄一般在 45 岁以下(最多不超过 55 岁);一般应具有博士学位.在本学科领域内有一定的科研教学工作经历,并取得国内外同行公认的重要成就.对本学科建设和发展有创造性构想.

应聘材料:基本情况和简历.主要教学及科研业绩,含著作、论文、获奖和科研项目清单.

应聘时间:请尽可能于 2001 年 1 月底之前联系,并在 2001 年 2 月底之前提交材料.

联系信息 河海大学研究生部 任青文 电话 025 - 3789354 ;张玮 025 - 3780914 ;赵玉英、吴立平 025—3789154. 传真 025 - 3739219, e - mail :qingwenren@yeah.net or wlpwlping@sina.com.

水文学及水资源学科 河海大学水资源学院 董增川,电话 025 - 3713777 - 50621, e - mail :shxy@mailsvr.hhu.edu.cn.

岩土工程学科 河海大学岩土工程研究所 刘汉龙,电话 025 - 3713777 - 51918, e - mail :geotech@mailsvr.hhu.edu.cn.

水力学及河流动力学 河海大学水电学院 严忠民,电话 :025 - 3713777 - 50511, e - mail :zhom@mailsvr.hhu.edu.cn.

水工结构工程学科 河海大学 姜弘道,电话 :025 - 3713777 - 50283,e - mail :hdjiang@mailsvr.hhu.edu.cn ;河海大学水电学院 朱岳明,电话 :025 - 3713777 - 50533.

港口、海岸及近海工程学科 河海大学港口航道及海岸工程学院 严以新,电话 025 - 3713777 - 51611,e - mail :ghxy@mailsvr.hhu.edu.cn 或 hhghxy@hotmail.com.

注 应聘者须填写《高等学校特聘教授候选人推荐表》,表格可与我校联系,也可在网上下载,网址 :www.cksp.edu.cn