

基于变化环境的地下水动态敏感性分析方法研究

张冠儒, 魏晓妹

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] **【目的】**探索、完善地下水动态敏感性分析方法。**【方法】**通过对地下水动态敏感性分析方法研究现状的分析,对地下水动态敏感性分析的概念进行了重新定义,并探索性地将正交试验与地下水动态建模相结合,用以进行地下水动态敏感性的分析。**【结果】**建立了基于改进正交试验法的地下水动态敏感性分析方法,将该方法用于宝鸡峡灌区,所得结果与现有其他方法所得结果相近,即均认为地表水灌溉量和蒸发量是影响灌区地下水动态的主要因素,并且该方法也在理论上克服了现有分析方法的一些局限性。**【结论】**基于改进正交试验法的地下水动态敏感性分析方法在实际中具有一定可行性,是对传统地下水动态敏感性分析方法的补充和完善。

[关键词] 地下水动态;敏感性分析;变化环境;改进正交试验法

[中图分类号] P641

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2011)02-0223-06

Methods study on sensitivity analysis of groundwater dynamics based on the changing environment

ZHANG Guan-ru, WEI Xiao-mei

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The study was done to explore and perfect the methods on sensitivity analysis for the groundwater dynamics. **【Method】** Based on analysis of the research status about the method on sensitivity analysis for the groundwater dynamics, we redefined the concept of sensitivity analysis for the groundwater dynamics and tentatively put forward an idea that the sensitivity of the groundwater dynamics can be analysed with the combination of the orthogonal experiment and the dynamic model of groundwater. **【Result】** We established a new method on sensitivity analysis for the groundwater dynamics based on the improved orthogonal test method. It has been applied in the Baojixia irrigation district, and gives a good sensitivity outcome similar with other methods, that is, the amount of surface irrigation and the amount of evaporation capacity are the main factors affecting the groundwater dynamics in the Baojixia irrigation district. It also overcomes some limitations of the existing analysis methods. **【Conclusion】** In practical application, the new method is feasible, and is a supplement for traditional study on groundwater dynamic sensitivity.

Key words: groundwater dynamics; sensitivity analysis; the changing environment; the improved orthogonal test method

地下水系统是一个开放性的自然-人工复合系统,其与外部环境之间存在着密切的联系,因此其动

态变化也与外部环境密切相关,这使得地下水动态的预测及其相关研究变得更为复杂和困难。为了从

* [收稿日期] 2010-06-23

[基金项目] 国家自然科学基金项目(50879071)

[作者简介] 张冠儒(1985-),男,河北正定人,在读硕士,主要从事水文学及水资源研究。E-mail:guanruzhang@126.com

[通信作者] 魏晓妹(1957-),女,甘肃甘谷人,教授,博士生导师,主要从事水资源转化理论与调控技术研究。

E-mail:weixiaomei57@tom.com

影响地下水动态的外部环境因素中筛选出敏感因素,为预测和调控地下水资源提供科学依据,对区域地下水动态进行敏感性分析是十分必要且具有实际意义的。

目前,关于地下水动态(本研究仅指地下水位动态)敏感性分析方法的研究还比较少,尚未形成一个完善的理论体系。对地下水动态敏感性的分析一般多采用灰关联分析法、缺省因子检验法、单因素敏感性分析法等^[1-6],但这些方法普遍存在一定的局限性,如无法确定自变量与因变量间的直接联系;敏感性分析过程中只变动 1 个因素,而固定其他因素不变等,这并不符合实际^[7-9]。针对这种情况,本研究探索性地对地下水动态敏感性分析的概念进行了重新定义,并将正交试验与地下水动态建模相结合,用来进行地下水动态敏感性分析,并以宝鸡峡为例,比较分析该方法的适用性、准确性,以期为地下水动态敏感性分析方法的研究提供参考。

1 地下水动态敏感性分析方法的研究现状

外部环境中较为稳定的因素可以忽略,将其他变化较大且对地下水系统有较大影响的因素称作变化环境因素。地下水动态敏感性分析是指从众多变化环境因素中,找出对地下水动态有重要影响的敏感因素,并分析其对地下水动态的影响程度。目前,关于地下水动态敏感性分析的方法包括灰色关联分析法、缺省因子检验法、单因素敏感性分析法等。

在地下水系统的相关研究中,多用灰色关联分析法确定地下水位序列与多个变化环境因素序列之间的关系。该方法采用关联度来量化各研究因素的相互关系、相互影响与相互作用。其基本思想是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密。曲线越接近,相应序列之间的关联度越高,联系越紧密,反之就越低^[1-3]。

缺省因子检验法是通过地下水动态模型不同输入因子的缺省进行重新建模、检验,根据其检验误差与全因子模型检验误差的比值 R_i ,确定地下水动态对缺省因子的敏感程度。 R_i 越大,对应变化环境因素对地下水动态的影响程度越大^[4]。

单因素敏感性分析法是一种较为简单的敏感性分析方法,其原理和步骤与经济学中的单因素敏感性分析法基本一致。单因素敏感性分析法的评价指标一般为地下水位,变化环境因素的变化范围应结合政府间气候变化委员会(IPCC)估计的气候变化

情景^[5-6]来确定,所选的值应尽量均匀,并能表征 IPCC 估计的气候变化情景。

上述分析方法虽各有其独特优点,但也普遍存在以下一些局限性:

1)无法确立自变量与因变量间的直接联系。实际研究中自变量和因变量很难相互独立,它们之间建立的联系为共变联系,这种联系包括两方面:一是自变量对因变量直接作用,与因变量产生直接联系;二是某一自变量对其他自变量产生作用(或其他自变量对该自变量产生作用),以其他自变量为桥梁,与因变量产生间接联系^[7-9],而现有的敏感性分析方法难以将之区分开来。

2)现有研究方法以只变动 1 个因素而其他因素不变为前提,这种前提在实际中难以完全满足。

3)没有去除自变量序列均值的影响。自变量序列的均值可看作一常数序列,其对地下水位波动没有贡献。地下水动态敏感性分析是分析自变量对地下水位波动的影响程度,因此敏感性分析中应去除自变量序列均值的影响,否则会产生一定误差。

通过上述分析,本研究认为地下水动态敏感性分析的本质是以各变化环境因素与地下水动态间的直接联系为纽带,分析各因素序列波动对地下水动态的影响程度。

2 地下水动态敏感性分析方法的探索

针对上述局限性,本研究探索性地提出了用改进正交试验法进行地下水动态敏感性分析的思路。该方法分 3 个步骤:第一步是选择合适的地下水动态模型进行建模;第二步是用正交表设计试验,并用地下水动态模型完成试验;第三步是用改进的极差法对正交试验结果进行分析,得出敏感性分析的结论。

2.1 地下水动态模型的建立

研究选择的模型应能准确模拟地下水动态以及自变量与因变量间的直接联系,但目前此类模型还比较少。为此,本研究选择基于核函数变换的 PLS 非线性结构模型,该模型能有效处理非线性拟合问题,能用于地下水动态模拟,并为后续正交试验的进行提供模型支撑。

2.2 正交试验的设计^[10-12]

2.2.1 正交试验指标、因素和水平数的确定 根据敏感性分析的目的,确定试验指标和因素(对试验指标有较大影响的因素),即地下水位和变化环境因素,然后确定每个因素的水平(因素可能出现的状

态)。因素的水平中必须包括该因素的均值,其他水平应能充分代表该因素序列的波动情况,所有水平对应概率之和应为 1。

2.2.2 合适正交表的选用 正交试验设计与分析需要通过正交表来实现,应根据试验因素及其水平数来选择合适的正交表。选择正交表的原则是既能安排下全部试验因素,又能使部分水平组合数尽可能地少。一般情况下,试验因素的水平数应恰好等于正交表记号中括号内的底数;因素个数应不大于正交表记号中括号内的指数;各因素的自由度之和(因素个数 \times (水平数-1))应小于所选正交表的总自由度。

2.2.3 正交试验的表头设计及试验方案的拟定 所谓表头设计,就是将试验因素填到所选正交表的表头各列。表头设计原则是:在不考虑交互作用的情况下,可以将各因素放在任意列上,以 1 个因素占 1 列。表头设计好后,将正交表中各列水平号换成各因素的具体水平即为试验方案。

2.2.4 正交试验 正交试验方案拟定后,就可利用拟定的试验方案和所选择的地下水动态模型进行试验,得出各水平对应的试验结果。

2.3 正交试验结果的改进极差法分析

2.3.1 传统极差法 一般正交试验结果的分析方法是传统极差法,该方法将因素各水平对应的试验指标均值的最大、最小值的差称作极差,极差越大,表明对应变化环境因素对地下水水位的影响程度越高。传统极差法仅考虑了因素的个别极值点,不能很好地反映因素的总体波动情况,因此需对传统极差分析法进行改进,以适应地下水动态敏感性分析的需要。

2.3.2 改进极差法 计算出因素各水平对应的试验指标均值(以下简称指标均值)后,以因素各水平对应的指标均值减去因素均值对应的指标均值,取其绝对值,称作各水平对应的去均差。以各水平在因素序列中的概率作为其对应去均差出现的概率,由此得到去均差的概率均值,以此衡量因素整体波动对地下水动态的影响程度。概率均值越大,则表示对应的变化环境因素对地下水动态的影响程度越高。

3 基于改进正交试验法的地下水动态敏感性的实例分析

为了说明利用改进正交试验法进行地下水水位动态敏感性分析的过程,并对该方法进行检验,本研究

选择变化环境因素及地下水水位资料相对完整的陕西宝鸡峡灌区作为研究对象,对其进行地下水动态敏感性分析,并与其他方法的分析结果进行比较。

3.1 研究区概况^[13-16]

宝鸡峡灌区位于陕西省关中平原西部,总面积 2 355 km²。灌区地形在陕西常兴以西为狭窄的黄土陡坡和渭河、千河川台地带;常兴以东则为开阔的黄土台塬地带,形成了平坦的三级阶地台塬区和一、二级阶地的川塬区,俗称为塬上和塬下部分,是灌区的两大地貌单元。灌区属大陆性季风气候,年平均降水量 576 mm,年平均蒸发量 1 110 mm。大气降水入渗、引地表水灌溉入渗是研究区地下水的主要补给来源;地下水侧向径流、人工地下水开采及局部浅埋区的潜水蒸发是地下水的主要排泄方式。

3.2 基于改进正交试验法的地下水动态敏感性分析

3.2.1 模型的建立及检验 首先建立基于核函数变换的 PLS 非线性结构模型,模拟灌区的地下水动态。根据灌区地下水补排条件,选取降水量、蒸发量、地表水灌溉量、井灌量 4 个因素作为变化环境因素,并将其与上一月的地下水水位共同作为模型输入因子,以潜水水位作为模型输出因子。考虑到水文地质条件和地表水灌溉水源等的不同,对塬上灌区和塬下灌区分别建模。通过灌区内宝鸡、咸阳、岐山等 11 个站,获得了 1990-01-2000-10 的 130 组月输入和输出资料。将各输入因子的分段个数定为 4,对自变量空间的每一维进行核函数变换,然后对新的自变量和因变量进行标准化处理,最终用 PLS 法进行回归求参,得到地下水动态模型。宝鸡峡塬上、塬下灌区地下水动态模型的拟合结果见图 1。从图 1 可以看出,塬上和塬下灌区地下水的模拟值拟合效果较好,其复相关系数分别为 0.98 和 0.96。可见,基于核函数的 PLS 非线性模型的拟合精度较高,能表征变化环境对地下水水位动态的影响。

3.2.2 试验设计及结果分析 试验因素选用对地下水水位有较大影响的因素,即变化环境因素(降水量、蒸发量、地表水灌溉量、井灌量)和上一月地下水水位(为辅助因素,不分析其对地下水动态的影响)。为充分反映试验因素序列的总体情况,每个因素选定 5 个分布较均匀的水平。依据正交表选择原则,选用 L₂₅(5⁶)正交表。采用改进极差法进行敏感性分析,分析结果列于表 1。由表 1 可知,依据敏感性由大到小,塬上灌区地下水水位动态敏感性因素依次为蒸发量、地表水灌溉量、井灌量和降水量;塬下灌

区依次为地表水灌溉量、蒸发量、降水量和井灌量。塬上、塬下灌区地表水灌溉量的敏感性排序均较井灌量高,说明前者对地下水动态的影响程度较后者大。在塬上、塬下灌区,地表水灌溉量(人类活动因素)在 4 个变化环境因素的敏感排序中分别处于第

2 和第 1 位,说明人类活动对灌区地下水动态的影响占有重要地位。塬下灌区的蒸发量、地表水灌溉量和降水量的去均差概率平均值明显高于塬上灌区,说明塬下灌区的地下水动态对上述 3 个因素更敏感。

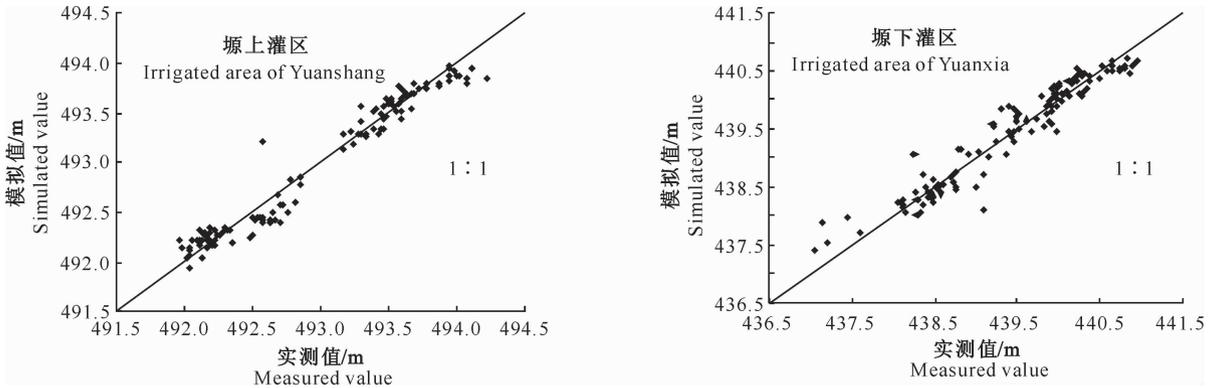


图 1 宝鸡峡塬上、塬下灌区地下水动态的拟合

Fig. 1 Groundwater dynamic fitting about irrigated area of Yuanshang and Yuanxia in Baojixia

表 1 基于改进正交试验法的宝鸡峡灌区地下水动态敏感性分析

Table 1 Sensitivity analysis for the groundwater dynamics in Baojixia irrigation district based on improved orthogonal test method

区域 Region	指标 Index	降水量 Amount of precipitation	蒸发量 Evaporation capacity	地表水灌溉量 Amount of surface irrigation	井灌量 Amount of well irrigation
塬上灌区 Irrigated area of Yuanshang	去均差概率平均值 Probability mean value of difference removed average value	0.008	0.059	0.053	0.014
	敏感性排序 Sensibility rank	4	1	2	3
塬下灌区 Irrigated area of Yuanxia	去均差概率平均值 Probability mean value of difference removed average value	0.038	0.101	0.119	0.034
	敏感性排序 Sensibility rank	3	2	1	4

资料分析发现,塬上灌区地表水的灌溉量约是井灌量的 6 倍,表明前者对地下水动态的影响应比后者大;对于灌区而言,人类活动对地下水动态的影响一般占有重要地位;由于塬下灌区地下水埋深较塬上灌区浅,导致蒸发量、地表水灌溉量和降水量对其地下水动态的影响较塬上灌区更为明显。上述的定性分析结果与本研究正交试验的分析结果一

致,表明改进正交试验法有良好的准确性。

3.3 与其他地下水动态敏感性分析方法的比较

3.3.1 缺省因子检验法 选用基于核函数的 PLS 非线性模型进行宝鸡峡灌区地下水动态模拟,并依照缺省因子检验法的原理,对变化环境因素逐一缺省、建模,利用敏感性指数(R)进行分析,结果列于表 2。

表 2 基于缺省因子检验法的宝鸡峡灌区地下水动态敏感性分析

Table 2 Sensitivity analysis for the groundwater dynamics in Baojixia irrigation district based on default factor test method

区域 Region	指标 Index	缺降水量 Default of amount of precipitation	缺蒸发量 Default of evaporation capacity	缺地表水灌溉量 Default of amount of surface irrigation	缺井灌量 Default of amount of well irrigation
塬上灌区 Irrigated area of Yuanshang	R	0.98	1.09	1.05	0.99
	排序 Rank	4	1	2	3
塬下灌区 Irrigated area of Yuanxia	R	1.02	1.1	1.34	1
	排序 Rank	3	2	1	4

由表 2 可以看出,依据敏感性由大到小,塬上灌区地下水动态敏感性因素依次为蒸发量、地表水灌溉量、井灌量和降水量,塬下灌区依次为地表水灌溉

量、蒸发量、降水量和井灌量,该结果与改进正交试验法所得结果完全一致。

3.3.2 单因素敏感性分析法 选用基于核函数的

PLS 非线性模型进行宝鸡峡灌区地下水动态模拟,依据单因素敏感性分析法的原理进行分析,其中斜

率是以因素变化率为横坐标、以水位变化率为纵坐标所得曲线的斜率。分析结果列于表 3。

表 3 基于单因素敏感性分析法的宝鸡峡灌区地下水动态敏感性分析

Table 3 Sensitivity analysis for the groundwater dynamics in Baojixia irrigation district based on single factor sensitivity analysis method

区域 Region	指标 Index	降水量 Amount of precipitation	蒸发量 Evaporation capacity	地表水灌溉量 Amount of surface irrigation	井灌量 Amount of well irrigation
塬上灌区 Irrigated area of Yuanshang	斜率概率平均值($\times 10^{-5}$) Probability mean value of gradient	1.5	22.0	16.0	5.6
	排序 Rank	4	1	2	3
塬下灌区 Irrigated area of Yuanxia	斜率概率平均值($\times 10^{-5}$) Probability mean value of gradient	17.0	41.0	40.0	12.0
	排序 Rank	3	1	2	4

由表 3 可知,依据敏感性由大到小,塬上灌区地下水动态敏感性因素依次为蒸发量、地表水灌溉量、井灌量和降水量,塬下灌区依次为蒸发量、地表水灌溉量、降水量和井灌量,该结果与改进正交试验法所得结果相近。

上述对比分析结果表明,改进正交试验法与现有敏感性分析方法所得结果基本一致,说明改进正交试验法是可行的。

4 结 论

1) 本研究对地下水动态敏感性分析概念的重新定义,弥补了现有概念的不足,明确了敏感性分析研究的对象是地下水位和变化环境因素的波动,研究的重点内容之一是确定变化环境因素与地下水位间的直接联系,而现有概念对上述两点均缺乏明确的界定。

2) 改进正交试验法依靠对传统极差法的改进及与地下水动态建模的结合,在一定程度上克服了现有敏感性分析方法的一些局限性,例如在变动一个因素时考虑了其他因素的变动情况,去除了自变量均值的影响等,使分析结果更趋近于真实情况。在宝鸡峡灌区的应用,也充分验证了改进正交试验法拥有良好的可靠性,将其应用于实际具有一定的可行性。

3) 需要说明的是,本研究的改进正交试验法仍有一定缺陷。如地下水动态随机模型一般较难模拟出自变量与因变量间的直接联系,导致分析结果会有一定偏差,因此该方法还有待于进一步完善。

【参考文献】

[1] 房艳君,杨木壮. 地下水水质评价方法综述 [J]. 地下水, 2007, 29(5):19-24.
Li Y J, Yang M Z. A review of groundwater quality evaluation methods [J]. Ground Water, 2007, 29(5):19-24. (in Chinese)

[2] 马健成,梁工谦,吴冲. 改进灰色关联度分析法在供应商选择中的应用 [J]. 现代制造工程, 2007(9):36-39.
Ma J C, Liang G Q, Wu C. The improved grey relation grade analysis and its application in supplier selection [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2007(9):36-39. (in Chinese)

[3] 张光辉,费宇红,张行南,等. 滹沱河流域平原区地下水水流场异常变化与原因 [J]. 水利学报, 2008, 39(6):747-752.
Zhang G H, Fei Y H, Zhang X N, et al. Abnormal variation of groundwater flow field in plain area of Hutuo River basin and analysis on its cause [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(6):747-752. (in Chinese)

[4] 冯绍元,霍再林,康绍忠,等. 干旱内陆区-人工条件下地下水动态的 ANN 模型 [J]. 水利学报, 2007, 38(7):873-878.
Feng S Y, Huo Z L, Kang S Z, et al. ANN model for simulating dynamic variation of groundwater under the condition of natural-human activity in arid-inlan area [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(7):873-878. (in Chinese)

[5] 谢正辉,梁妙玲,袁星,等. 黄淮海平原浅层地下水埋深对气候变化的响应 [J]. 水文, 2009, 29(1):30-35.
Xie Z H, Liang M L, Yuan X, et al. The response of shallow water table depths to climate change in Huang-Huai-Hai Plain [J]. Hydrology, 2009, 29(1):30-35. (in Chinese)

[6] 刘春葵,刘志雨,谢正辉. 地下水对气候变化的敏感性研究进展 [J]. 水文, 2007, 27(2):1-6.
Liu C Z, Liu Z Y, Xie Z H. Recent advances in research on sensitivity of groundwater to climate changes [J]. Hydrology, 2007, 27(2):1-6. (in Chinese)

[7] 王海燕,杨方廷,刘鲁. 标准化系数与偏相关系数的比较与应用 [J]. 数量经济技术经济研究, 2006(9):150-155.
Wang H Y, Yang F T, Liu L. Comparison and application of standardized regressive coefficient & partial correlation coefficient [J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2006(9):150-155. (in Chinese)

[8] 李钢. 关于偏相关系数计算思想的思考 [J]. 商场现代化, 2008(8):388-389.
Li G. The thinking about computing method of partial correlation coefficient [J]. Market Modernization, 2008(8):388-389. (in Chinese)

[9] 林秀梅. 谈谈相关系数与偏相关系数在经济变量相关分析中的

- 使用 [J]. 吉林财贸学院学报, 1991(3): 72-74.
- Lin X M. The application of correlation coefficient and partial correlation coefficient in economic variables correlation analysis [J]. Journal of Jilin University of Finance and Economics, 1991(3): 72-74. (in Chinese)
- [10] 付建勋. 用正交表优化实验 [J]. 焦作大学学报, 2005(3): 71-72.
- Fu J X. Optimization experiment with orthogonal table [J]. Journal of Jiaozuo University, 2005(3): 71-72. (in Chinese)
- [11] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统: 实验设计、统计分析及模型优化 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- Tang Q Y, Feng M G. DPS data processing system: Experimental design, statistical analysis and model optimization [M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)
- [12] 杨继红, 刘汉东, 秦四清, 等. 黄河堤防边坡稳定性多因素敏感性分析 [J]. 人民黄河, 2008, 30(1): 15-17.
- Yang J H, Liu H D, Qin S Q, et al. Analysis on multi-factor sensibility of slope stability of the Yellow River Embankments [J]. Yellow River, 2008, 30(1): 15-17. (in Chinese)
- [13] 降亚楠. 基于 GIS 的灌区地下水资源评价系统研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- Jiang Y N. Evaluation of groundwater resources in irrigation basing on GIS system [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2008. (in Chinese)
- [14] 刘俊民, 李佩成. 论渭北黄土高原灌区地下水可持续利用 [J]. 干旱地区农业研究, 1999(1): 106-110.
- Liu J M, Li P C. On sustainable use of groundwater resources in the Loess Taiyuan Irrigation Areas [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1999(1): 106-110. (in Chinese)
- [15] 刘俊民. 渭北黄土台塬区地下水及开发利用的可持续性研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农业大学, 1996.
- Liu J M. The research of groundwater and its development and utilization sustainability in Weibei Loess Upland [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest Agricultural University, 1996. (in Chinese)
- [16] 刘俊民, 孙勇. 关中地区水资源特性分析及可持续利用对策 [J]. 人民黄河, 2006, 28(1): 39-41.
- Liu J M, Sun Y. Analysis on characteristics of water resources in the Central Shaanxi Plain and countermeasures for sustainable utilization [J]. Yellow River, 2006, 28(1): 39-41. (in Chinese)

(上接第 222 页)

- [9] 厉艳君, 杨木壮. 地下水水质评价方法综述 [J]. 地下水, 2007, 29(5): 19-23.
- Li Y J, Yang M Z. A review of groundwater quality evaluation methods [J]. Ground water, 2007, 29(5): 19-23. (in Chinese)
- [10] 周仰效, 李文鹏. 地下水水质监测与评价 [J]. 水文地质工程地质, 2008(1): 1-11.
- Zhou Y X, Li W P. Groundwater quality monitoring and assessment [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2008(1): 1-11. (in Chinese)
- [11] 韩慧毅, 丛刚春. 大连地区地下水水质现状 [J]. 东北水利水电, 2003, 2(5): 33-34.
- Han H Y, Cong G C. Present situation of groundwater quality in Dalian area [J]. Water Resources & Hydropower of North-east China, 2003, 2(5): 33-34. (in Chinese)
- [12] 刘征, 刘洋. 水污染指数评价方法与应用分析 [J]. 南水北调与水利科技, 2005, 3(4): 35-37.
- Liu Z, Liu Y. Methods and analysis of water pollution index assessment [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005, 3(4): 35-37. (in Chinese)
- [13] 王文强. 综合指数法在地下水水质评价中的应用 [J]. 水利科技与经济, 2008, 14(1): 54-55.
- Wang W Q. Application of aggregative index number method in groundwater quality evaluation [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2008, 14(1): 54-55. (in Chinese)