

基于密切值法的湖南省水资源利用现状评价

邹新波¹, 夏卫生¹, 黄道友²

(1. 湖南师范大学 资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081; 2. 中国科学院 亚热带农业现代化研究所, 湖南 长沙 410125)

摘要: 应用密切值法, 对湖南省 14 个设(区)市的水资源利用现状进行分区评价, 并利用各设(区)市密切值的散点图, 将其开发利用发展水平分成 3 类: 开发利用低度区、中度区和高度区, 绘出了分区等级图。结果表明, 湖南省水资源开发利用低度区有 5 个, 开发利用中度区有 6 个, 开发利用高度区有 3 个, 其中开发利用低度区占 35.7%, 开发利用中度区、高度区共占 64.3%。整体而言, 湖南省的水资源利用非常不均衡, 需要在不同的地区采取合适的开发利用措施。

关键词: 水资源; 密切值; 湖南省

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2011)01-0165-04

中图分类号: TV211.1

Evaluation on Water Resource Use Status in Hu'nan Province: Osculating Value Method

ZOU Xin-bo¹, XIA Wei-sheng¹, HUANG Dao-you²

(1. Hunan Normal University, College of Resources and Environmental Sciences, Changsha, Hu'nan 410081, China;
2. Chinese Academy of Sciences, Subtropical Institute of Agricultural Modernization, Changsha, Hu'nan 410125, China)

Abstract: A zonal evaluation of water resource use in the fourteen cities of Hu'nan Province was carried out using the osculating value method. According to the scatter plot of the osculating values, the utilization level of water resource was categorized into three zones: (1) weakly developed zone, (2) moderately developed zone, and (3) highly developed zone. A detailed map was drawn based on the classification. The results show that among the fourteen cities, five cities were classified as weakly developed zone, six cities as moderately developed zone and three cities as highly developed zone. The weakly developed zone accounts for 35.7% of the total area. Overall, the water resource use in Hu'nan Province is imbalanced. Appropriate practices are need in areas with different development levels.

Keywords: water resource; osculating value method; Hu'nan Province

湖南省依靠区位优势和资源优势, 长期以来一直是中部地区实现经济崛起的重要省份之一。

随着经济的迅速发展和人口的不断增加, 水环境污染、水资源浪费、水利工程建设滞后所造成的工程型缺水等问题变相地消弱了水资源可持续利用的承载力, 使水资源短缺现象越发突出, 严重地制约了农业和社会经济的可持续发展。因此, 科学合理地进行水资源利用现状评价, 对于科学有效用水, 技术节水, 改进用水制度, 缓解水资源供需矛盾具有十分重要的现实意义。

鉴于水资源在人们生产生活中的重要性, 湖南省在“资源节约型, 环境友好型”两型社会建设过程中非

常重视水资源利用发展问题, 并对此进行了许多研究工作。如张振全^[1]就湖南省水资源可持续利用策略与途径方面进行了研究, 提出了加速经济建设向节水型方向发展, 改变工农业布局, 积极开辟新水源等观点。杨奇勇^[2]运用灰色关联分析建立湖南省水资源开发利用程度综合评价的指标体系, 利用层次分析法确定了各评价指标的权重, 对湖南省水资源开发利用程度进行了评价。邹君^[3]利用三层次标度法对湖南省水资源可持续利用进行了综合评价。然而, 人口的急剧增长和经济的高速发展, 以及对水资源的过度开发与利用, 使湖南省水资源环境变得十分脆弱和敏感, 水资源利用问题受到威胁。为了更加科学合理地

收稿日期: 2010-01-10

修回日期: 2010-07-19

资助项目: 国家科技支撑计划项目“城郊土壤质量与修复技术研究”(2008BADA7B00); 湖南省教育厅重点项目“湖南省特大山洪灾害的地质土壤影响因子分析”(08A042); 湖南省科技厅项目“独立生活区污水处理系统研究”(2009FJ3171); 湖南省水利厅项目“山洪灾害的水文机制分析”; 湖南省自然科学基金项目“湖南省泥石流起始点的动力学特征研究”(10JJ3028)

作者简介: 邹新波(1982—), 男(汉族), 湖南省新化县人, 硕士研究生, 主要从事水土资源工程与土地资源管理方面的研究工作。E-mail: hnshdzb@sina.com。

通信作者: 夏卫生(1966—), 男(汉族), 湖南省安化县人, 教授, 主要从事水土保持和土地资源管理方面的研究。E-mail: xws@hunnu.edu.cn。

制定水资源利用发展规划,促进科学有效地利用水资源,有必要对水资源利用现状进行评价研究,为湖南省水资源开发利用提供理论依据和技术支持,这将对实现湖南省水资源有效利用的目标,促进经济和社会协调发展起到非常重要的作用。

1 评价模型选择

目前,用于水资源开发利用评价的方法很多,如主成分分析法^[4]、模糊人工神经网络^[5]、模糊模式识别方法^[6-7]、综合评价指数法^[8]、模糊数学评判^[9]等。这些方法在一定程度上对水资源评价起到了很好的作用,但也存在其自身的局限性。如主成分分析法的样本容量是否足够大,评价单位的多少及增减,都可能改变权数,从而影响评价结论。模糊综合评判是一种对主观产生的“离散”过程进行综合的处理,其方法本身存在明显的缺陷,取小取大的运算法则会导致有用信息遗失,模型的信息利用率减少,当评价因素越多,遗失的有用信息就越多,信息利用率则越低,有时会带来一些误差。

因此,本文在应用密切值法的基础上,建立数学模型,对湖南省水资源利用现状进行评价。密切值评价模型是多目标决策的一种数学建模方法,目前广泛应用于医学、生态、水环境质量评价等领域^[10-13],该法具有结构合理,排序明确,应用灵活的特点。可充分利用原始数值信息,排序结果能定量反映不同评价对象的优劣程度,直观可靠,对数据无严格要求,能消除不同量纲带来的影响,可同时引入不同量纲的评价指标进行评价。现将该法应用步骤简介如下^[10-14]。

(1) 首先建立指标矩阵。假设影响水资源评价结果的指标有 n 个,即存在 n 个评价指标 G_1, G_2, \dots, G_n , 且已拟定了 m 种方案 F_1, F_2, \dots, F_m , 令第 i 个决策方案第 j 个指标的数值为 a_{ij} , 则建立指标矩阵 A 如下:

$$A = (a_{ij})_{m \times n} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

分别采用(1), (2) 式将指标进行规范化处理

$$r_{ij} = a_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2} \quad (\text{当 } j \text{ 为正向指标时}) \quad (1)$$

$$r_{ij} = -a_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2} \quad (\text{当 } j \text{ 为负向指标时}) \quad (2)$$

$$(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

可得规范化指标矩阵 R 为:

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$$

(2) 求决策点集(方案集)的最优点和最劣点。“最优点”为各项指标最佳情况(r_j^+)结合成的虚拟向量, 设其为 F^+ ; “最劣点”为各项指标最差情况(r_j^-)结合成的虚拟向量, 设其为 F^- 。分别求出各决策方

案与最优点和最劣点的距离, 即可为方案的综合评价提供一个量的依据。

各项指标最佳情况 r_j^+ 和最差情况 r_j^- 的选择原则为:

$$r_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} \{r_{ij}\} \quad (j=1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

$$r_j^- = \min_{1 \leq i \leq m} \{r_{ij}\} \quad (j=1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

则最优点 F^+ 为: $F^+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+)$, 最劣点 F^- 为: $F^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-)$ 。

(3) 求各种决策点(方案)与最优点 F^+ 和最劣点 F^- 的欧氏距离。第 i 个市州距最优点欧式距离 d_i^+ 和最劣点的欧式距离 d_i^- 分别为:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad (i=1, 2, 3, \dots, m; j=1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad (i=1, 2, 3, \dots, m; j=1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

(4) 计算各指标的密切值 C_i 。密切值的大小反映了各市州水资源开发利用情况与极端点的接近程度。

$$C_i = d_i^+ / \min_{1 \leq i \leq m} \{d_i^+\} - d_i^- / \max_{1 \leq i \leq m} \{d_i^-\} \quad (7)$$

由(7)式知, 各市州的密切值 $C_i \geq 0$ 。而且, 密切值越小, 水资源利用程度越低, 未来开发潜力越大。密切值越大, 水资源利用程度越高, 未来开发潜力越小。

(5) 根据密切值 C_i 的大小进行排序。因为 $d_i^+ \geq d^+$, $d_i^- \leq d^-$, 而且在一般情况下 $d^+ \neq 0, d^- \neq 0$, 所以 $C_i \geq 0$, 当 $C_i = 0$ 时, 为最佳决策点; 当 $C_i > 0$ 时, 偏离最佳决策点, 此时 C_i 值越小评价结果越好。这样, 就可以先对 C_i 的大小进行排序, 然后对各种决策点 F_i 进行优劣比较。

2 密切值评价模型在湖南省的应用

2.1 湖南省水资源利用现状

湖南省属亚热带季风气候区, 雨量充沛, 降水量极为丰富。多年平均降水量为 1 427 mm, 全省降雨量折合水资源量在 $4.15 \times 10^{11} \sim 2.75 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 之间, 属于我国天然富水区之一。多年地表水(浅层)资源总量为 $1.68 \times 10^{11} \text{ m}^3$, 多年地下水资源总量为 $3.92 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 多年水资源总量为 $2.07 \times 10^{11} \text{ m}^3$, 人均占有量为 3 095.8 m^3 , 为全国人均水量的 1.3 倍。其水资源利用现状如表 1 所示。

2.2 评价指标体系确定和模型计算

近年来, 湖南省经济建设快速发展, 各行各业对水资源开发利用都提出了新的要求, 水资源供需矛盾日益突出。在对湖南省水资源影响因素综合分析的基础上, 在咨询专家基础上, 分析了湖南省 2003, 2004,

2007,2008 年 14 个设(区)市的水资源利用数据信息(数据主要来源于各年的《湖南省水资源公报》),选取了 12 个指标: X_1 降水量(mm); X_2 地表径流量(10^4 m^3); X_3 地表水资源量(10^8 m^3); X_4 地下水资源量(10^8 m^3); X_5 人均综合用水量($\text{m}^3/\text{人}$); X_6 万元 GDP 用水量($\text{m}^3/10^4 \text{ 元}$); X_7 万元工业增加值用水量($\text{m}^3/10^4 \text{ 元}$); X_8 人均水资源量($\text{m}^3/\text{人}$); X_9 地均水资源量($10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$); X_{10} 城市居民生活用水[L/(人·d)];

X_{11} 农村居民生活用水[L/(人·d)]; X_{12} 单位面积耕地平均水资源量(m^3/hm^2)。用这 12 个指标进行密切值评价研究,各指标平均值如表 2 所示。

利用(1),(2)式得规范化指标矩阵,通过式(3)和式(4)求决策点集(方案集)的最优点 F^+ 和最劣点 F^- ,应用(5)式和(6)式求各种决策点(方案)与最优点 F^+ 和最劣点 F^- 的欧氏距离,按(7)式得各种决策点 F_i 的密切值并对其进行排序,结果如表 3 所示。

表 1 湖南省水资源利用现状

10^8 m^3

年份	供水量			用水量			
	地表水	地下水	其它水源	农业用水	工业用水	居民生活用水	公共生态用水
2003	296.30	21.00	1.53	215.10	68.40	33.74	1.62
2004	303.20	19.70	0.77	202.30	76.40	31.56	2.91
2007	303.98	19.57	0.71	193.90	82.55	32.14	3.21
2008	303.67	19.96	—	198.99	82.04	32.66	3.35

注:资料来源于各年的《湖南省水资源公报》。

表 2 湖南省水资源利用现状评价的各指标平均值

名称	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
湘潭	61.5	283 391.50	34.6	6.9	666.8	486.0	334.3	1 345.0	75.2	162.0	120.0	58.9
长沙	147.7	723 829.75	76.4	16.2	541.5	237.0	208.3	1 641.5	81.4	171.8	124.3	65.7
娄底	105.9	519 074.50	58.0	13.4	401.0	517.3	318.5	1 728.8	85.1	158.5	109.0	71.9
株洲	158.7	769 807.50	88.8	24.3	626.5	427.8	288.3	2 750.0	90.8	163.8	120.0	79.7
衡阳	189.3	823 235.00	102.5	18.2	464.0	531.5	307.8	1 547.4	71.6	160.3	107.5	64.1
岳阳	186.3	78 1847.50	92.3	18.9	585.3	451.3	274.8	1 986.6	69.7	158.0	114.8	62.3
常德	264.7	987 280.00	143.7	31.7	611.8	547.3	280.8	2 187.4	72.1	153.8	111.8	57.3
张家界	160.0	648 730.30	102.3	19.5	305.8	405.5	326.8	5 526.3	90.6	157.5	105.8	106.6
益阳	167.8	747 759.30	89.8	19.5	451.0	633.0	377.5	2 198.5	80.6	159.3	106.5	64.8
郴州	268.5	1 237 110.00	150.1	47.3	523.5	516.5	297.8	3 629.1	105.0	158.0	105.5	95.6
永州	302.0	145 7592.50	171.4	49.7	459.8	686.8	305.8	3 440.5	90.1	151.3	106.5	88.8
怀化	381.0	1 527 575.00	215.3	53.3	335.5	487.0	283.5	4 197.7	74.1	149.3	102.3	97.5
邵阳	263.8	1 208 515.00	147.6	37.7	371.8	719.3	330.0	2 212.1	79.0	154.5	110.5	72.2
湘西	232.8	942 882.00	136.6	29.0	260.3	546.8	264.0	4 787.9	81.0	156.0	103.5	94.4

表 3 湖南省水资源利用现状分区评价结果

名称	2003 年			2004 年			2007 年			2008 年			综合级别
	C_i 值	排序	利用度										
长沙	1.954	12	中	2.255	12	高	2.165	13	高	2.269	13	高	高
株洲	1.527	7	中	1.699	7	中	1.370	8	中	1.490	8	中	中
湘潭	2.512	14	高	2.814	14	高	2.292	14	高	2.447	14	高	高
衡阳	1.721	10	中	1.907	11	中	1.638	10	中	1.679	11	中	中
邵阳	0.718	9	低	0.884	4	低	0.868	5	低	0.726	4	低	低
岳阳	1.411	6	中	1.863	9	中	1.822	11	中	1.790	10	中	中
常德	0.757	11	低	1.174	5	中	1.103	6	中	0.976	5	低	中
张家界	1.395	5	中	1.848	8	中	1.135	7	中	1.263	7	中	中
益阳	1.603	8	中	1.902	10	中	1.396	9	中	1.500	9	中	中
郴州	0.368	3	低	0.665	3	低	0.087	2	低	0.224	3	低	低
永州	0.107	2	低	0.263	2	低	0.145	3	低	0.061	1	低	低
怀化	0.000	1	低	0.000	1	低	0.024	1	低	0.169	2	低	低
娄底	2.247	13	高	2.512	13	高	2.053	12	高	2.138	12	高	高
湘西	0.747	4	低	1.275	6	中	0.768	4	低	1.164	6	中	低

利用 14 个设(区)市水资源开发利用密切值的散点图,结合湖南省水资源利用的现实情况,将湖南省 14 个设(区)市的水资源开发利用发展水平分成 3 类:开发利用低度区($0 < C_i < 1$),开发利用中度区($1 < C_i < 2$),开发利用高度区($2 < C_i < 3$),其中开发利用低度区占 35.7%,开发利用中度区占 42.9%,开发利用高度区占 21.4%。

3 结果与分析

通过模型计算,得到密切评价价值,运用散点图法可将湖南省水资源利用现状分为 3 类区域。第 1 类:水资源开发利用低度区,有邵阳、郴州、永州、怀化、湘西 5 市。第 2 类:水资源开发利用中度区,有株洲、衡阳、岳阳、常德、益阳、张家界 6 市。第 3 类:水资源开发利用高度区,有长沙、湘潭、娄底 3 市。通过定量分析得到的这一结果,与湖南省水资源利用现实基本相符(见表 2)。另外,分区结果基本保持了行政区的完整性,可以作为湖南省水资源综合区划的依据。

长沙、湘潭、娄底 3 市在水资源利用现状评价中处在开发利用高度区,其密切评价价值分别达到了 2.0 以上,说明其水资源利用程度高,挖掘其潜在的水资源开发能力不大,在未来经济发展中会出现水资源短缺现象。其主要原因是这些地区抓住“中部崛起”发展战略机遇,利用区域优势和资源优势大力发展经济产业,再加之人口多,水利工程投资建设与经济发展不协调,工业污水排放大,净污技术落后,城市供水能力有限等因素所致。2007 年上半年 GDP 增长数据显示,娄底在用水大户涟钢等规模工业的带动下增幅位居第 1,达到 17.6%,增幅比 2006 年同期快 6.8 个百分点。长沙、湘潭 2 市增幅分别位居第 2 和第 3,达到了 14.3%和 12.7%,增长速度均高于全省平均水平。从表 3 中可以看出,这类地区在降水量、地表地下径流量、人均水资源量等方面属 14 设区市中相对较少区域。长沙在万元 GDP 用水量、万元工业增加值用水量 2 个指标上为所有地区中最低,分别为 237, 208.5 m^3 /万元,这与长沙的节水技术和节水意识相对较高分不开,需要积极开发替代水源,提高水资源调蓄能力。湘潭、娄底在水资源非常有限的情况下,其在万元 GDP 用水量、万元工业增加值用水量方面湘潭分别达到了 486, 334.25 m^3 /万元,娄底分别达到了 517.3, 318 m^3 /万元,形势严峻,在今后的社会发展中应转变经营模式,提倡节约用水,开发节水减排生产新技术,提高废水回收利用率。

株洲、衡阳、岳阳、常德、益阳、张家界 6 市在利用现状评价中体现出中等水平,这些地区水资源相对较

充足,近年来,在新形势下,抓住机遇,大力发展城市经济建设,2008 年其 GDP 分别增长了 13.4%, 12.0%, 14.0%, 13.2%, 13.3%, 13.2% 经济发展迅速,对水资源的开发利用已具规模,在水资源挖掘潜力上还存在较大空间,为未来经济的进一步发展对水资源的需求提供了有利条件。但其单位面积在万元 GDP 用水量、万元工业增加值用水量、单位面积耕地平均水量、人均综合用水量等方面还有待加强,整体形势不容乐观。在今后的社会发展中应进行生产技术革新,引进新工艺、新方法,采用农业节灌技术,转变农业生产模式,提高节水意识,加大节约用水宣传力度。

邵阳、郴州、永州、怀化、湘西 5 市水资源评价处于开发利用低度区,这些地区降水丰富,在人均水资源量、地均水资源量、耕地均水资源量等方面普遍较高,未来开发潜力巨大,对今后经济发展在水资源的利用上提供了有力保障,形势较为乐观,为水资源的可持续利用提供了良好的资源条件。但是这些地区经济、技术水平相对低下,农业灌溉尚未完全摆脱粗放式生产模式,使其在万元 GDP 用水量、万元工业增加值用水量、单位面积耕地平均水资源量等指标上出现较高值。因此,这些地区除在合理利用水资源上还需不断努力外,还应在加强人民群众节水意识的培养,努力提高科学技术和加大现代化农田水利建设和保护水环境等方面多下功夫。

4 结论

在综合考虑影响湖南省水资源利用因素的基础上,运用密切值法,建立数学模型对湖南省 14 个设(区)市的水资源利用现状进行了评价研究。结果表明,湖南省开发利用低度区占 35.7%,开发利用中度区占 42.9%,开发利用高度区占 21.4%。这说明了湖南省作为丰水地区水资源可持续利用正面临严重威胁,分区总体上符合实际情况,较为合理。在此基础上从湖南省水资源现实情况出发对其利用现状进行评价分析,提出改进方法和对策,为湖南省水资源综合区划提供科学依据。由于密切值模型在湖南省水资源利用现状评价中尚属首次探索性应用,在指标体系构建及其评价结果进行分等定级等问题上如何考虑湖南省水资源利用现状特点使其趋于更加合理,尚待今后进一步深入研究。

[参 考 文 献]

- [1] 张震权. 湖南省水资源可持续利用的策略与途径[J]. 中国水利, 2001(5): 59-60.
- [2] 杨奇勇, 李景保, 王克林, 等. 湖南省水资源开发利用程度综合评价[J]. 水土保持通报, 2007, 27(2): 150-153.

(下转第 255 页)

- vised universal soil loss equation: A case study of the rainfall-runoff erosivity R factor[J]. *Ecological Modelling*, 2002, 153:143-155.
- [4] Onori F, Bonis P D, Grauso S. Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation(RUSLE) in a catchment of Sicily(Southern Italy) [J]. *Environmental Geology*, 2006, 50(8):1129-1140.
- [5] Nyakatawa E Z, Reddy K C, Lemunyon J L. Predicting soil erosion in conservation tillage cotton products systematic using the revised universal soil loss equation (RUSLE)[J]. *Soil & Tillage Research*, 2001, 57: 213-224.
- [6] 秦伟,朱清科,张岩. 基于 GIS 和 RUSLE 的黄土高原小流域土壤侵蚀评估[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(8):157-163.
- [7] 于洋,王晓燕,欧洋. 基于 GIS 的 RUSLE 模型在密云水库流域的应用[J]. *首都师范大学学报:自然科学版*, 2009, 30(4):63-68.
- [8] 许月卿,邵晓梅. 基于 GIS 和 RUSLE 的土壤侵蚀量计算:以贵州省猫跳河流域为例[J]. *北京林业大学学报*, 2006, 28(4):67-71.
- [9] 杨娟,葛剑平,李庆斌. 基于 GIS 和 USLE 的卧龙地区小流域土壤侵蚀预报[J]. *清华大学学报:自然科学版*, 2006, 46(9):1526-1529.
- [10] 欧洋,王晓燕,郑玉涛,等. 密云水库流域降雨径流侵蚀力时空分布研究[J]. *首都师范大学学报:自然科学版*, 2008, 29(4):74-78.
- [11] 门明新,赵同科,彭正萍,等. 基于土壤粒径分布模型的河北省土壤可蚀性研究[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(11):1647-1653.
- [12] 周为峰,吴炳方. 基于遥感和 GIS 的密云水库上游土壤侵蚀定量估算[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(10):46-50.
- [13] 卜兆宏,唐万龙,潘贤章. 土壤流失量遥感监测中 GIS 像元地形因子算法研究[J]. *土壤学报*, 1994, 31(3): 321-329.
- [14] Robert Hickey. Slope angle and slope length solutions for GIS[J]. *Cartography*, 2000, 29(1):1-14.
- [15] 黄金良,洪华生,张路平,等. 基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(5):75-79.
- [16] 王万中,焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. *水土保持通报*, 1996, 16(5):2-19.
- [17] 贺然,王棒,朱国平,等. 密云水库北京集水区土壤侵蚀预测[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(S):579-582.

(上接第 168 页)

- [3] 邹君. 湖南省水资源可持续利用综合评价研究[J]. *节水灌溉*, 2007(2):18-21.
- [4] 麻荣永,郑二伟,王魁,等. 基于主成分分析法的广西水资源可持续利用综合评价[J]. *广西大学学报:自然科学版*, 2003, 33(1):70-73.
- [5] 刘丹丹,宋松柏. 陕北地区水资源可持续利用评价[J]. *干旱地区研究*, 2008, 26(4):254-258.
- [6] 高建颖,赵德奎. 天津市水资源可持续利用评价[J]. *地下水*, 2007, 29(3):1-3.
- [7] 陈守煜. 区域水资源可持续利用评价理论模型与方法[J]. *中国工程科学*, 2001, 3(2):33-38.
- [8] 胡会亮,齐实,张广焰. 山西省水资源可持续利用评价[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(22):9661-9663.
- [9] 王汝发,王汝涛. 水资源可持续利用的评价模型[J]. *统计与决策*, 2008, 12(14):60-61.
- [10] 李柞泳,张辉军,邓新民. 密切值法用于环境质量的比较[J]. *环境科学研究*, 1992, 5(4):15-17.
- [11] 杨文海,王丽芳,王坤,等. 改进密切值法在水环境质量评价中的应用[J]. *水资源与水工程学报*, 2005, 16(2): 69-71.
- [12] 何东进,洪伟. 多目标决策的密切值法及其应用研究[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2001, 17(2):96-98.
- [13] 任力锋,王一任,张彦琼,等. TOPSIS 法的改进与比较研究[J]. *中国卫生统计*, 2008, 25(1):64-66.
- [14] 杨明,孙雪花,远亚丽. 改进的 TOPSIS 在公路网规划方案选择中的应用[J]. *铁路运输与经济*, 2008, 30(6): 76-78.