

# 基于 SPA 的区域水资源与经济协调发展评价

孙丽萍<sup>1</sup>, 吴光<sup>1</sup>, 李华东<sup>2</sup> (1. 西南交通大学环境科学与工程学院, 四川成都 610031; 2. 成都纺织高等专科学校, 四川成都 610023)

**摘要** 从区域水资源与经济协调发展理念出发, 构建区域水资源与经济协调发展的评价指标体系, 运用集对分析 (SPA) 理论建立了区域水资源与经济协调发展的评价模型。实例分析结果表明, 该评价模型具有思路清晰、简单实用和分析结果可靠的优点, 可用于深入研究水资源和工业经济的协调发展。

**关键词** 集对分析; 协调发展; 联系度; 水资源

**中图分类号** F323.213 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2008)20-

## Evaluation on Coordinated Development of Regional Water Resources and Economy Based on SPA

SUN Li-ping et al (College of Environmental Science and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031)

**Abstract** Evaluation index system of regional water resource and economic coordination development was constructed from the opinion of coordinating development between regional water resource and economy. The evaluation model for coordinating development of regional water resource and economy was also established with the application of the set pair analysis theory. Example analysis result showed that this model had the advantages of clear conception, briefness, practicality and reliable results, which could be used in the further study of coordinating development between regional water resource and economy.

**Key words** Set pair analysis; Coordinated development; Connection degree; Water resources

20 世纪 80 年代以来, 由于社会经济的高速发展和水资源的不合理开发利用导致水资源短缺问题不断加剧, 严重制约了社会经济的进一步发展。因此, 研究区域水资源与工业经济的协调发展具有重大的战略意义。近年来, 集对分析 (Set Pair Analysis, SPA) 的理论和方法已在系统控制、现代科学管理、决策分析及环境科学等诸多领域得到了广泛应用, 并取得了较好的效果。因此, 笔者运用集对分析理论建立了区域水资源与经济协调发展的评价模型, 旨在为研究区域水资源与工业经济协调发展提供新的思路和途径。

### 1 集对分析简介

SPA 是我国学者赵克勤于 1989 年提出的一种处理不确定问题的系统分析方法<sup>[1]</sup>。其基本思路是: 由给定的且具有一定联系的 2 个集合 A、B 组成集对  $H = (A, B)$ , 在一定的背景背景下, 对集对  $H$  的特性进行同一性、差异性和对立性分析, 得到这 2 个集合的同、异、反联系度表达式:

$$u = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j = a + bi + cj \quad (a + b + c = 1) \quad (1)$$

式中,  $u$  为联系度;  $N$  为集对具有的特性总数;  $S$  为 2 个集合共有的特性数;  $P$  为 2 个集合相互对立的特性数;  $F$  为 2 个集合既不对立又不共有的特性数;  $a, b, c$  分别为同一度、差异度和对立度;  $i$  为差异度系数,  $i \in [-1, 1]$ ;  $j$  为对立度系数,  $j = -1$ 。在实际应用中, 经常把  $i$  和  $j$  当作标记。根据联系度表达式 (1) 中  $a, b, c$  的大小关系而进行的一种系统状态排序称为同异反态势排序。若对每一种排序用  $[0.0, 1.0]$  之间的一个相应实数值表示, 则每一个数值称为态势度<sup>[2]</sup>。基于联系度的同异反态势排序的态势度见表 1。

### 2 区域水资源 - 工业经济协调发展评价模型

**2.1 评价指标体系的构建** 为了充分反映水资源与工业经济发展的相互关系并客观、全面地评价区域水资源与工业经济协调发展水平, 在选取指标时应遵循真实性、完备性、可比

表 1 基于联系度的同异反态势排序的态势度

Table 1 The IDC trend degree based on connection degree

$a, b, c$ 的关系	名称	态势度
Relationship between $a, b$ and $c$	Name	Trend degree
$a > c, b = 0$	准同势	1.0
$b < c, b \neq 0$	强同势	0.9
$a > b \geq c$	弱同势	0.8
$b \geq a$	微同势	0.7
$a = c, b \geq a$	弱均势	0.6
$b < a$	强均势	0.5
$b = 0$	准均势	0.4
$a < c, b \geq c$	微反势	0.3
$c > b > a$	弱反势	0.2
$b < a$	强反势	0.1
$b = 0$	准反势	0.0

性、易获得性和简洁实用性等原则<sup>[3]</sup>。水资源具有资源、经济和环境的多种属性, 因此在构建该评价指标体系时应充分考虑到水资源的多重性。经过分析, 选择经济、水资源和水环境为 3 大类评价指标, 并给出了 3 大类指标下的 11 个单项指标, 构建了区域水资源与工业经济协调发展的指标体系。

**2.2 评价标准的建立** 由于目前国内外对区域水资源与工业经济的指标还没有统一的评价标准, 因此笔者在西南地区统计资料的基础上, 运用专家咨询法进行修订, 确定 I 级标准 (最劣值)、II 级标准和 III 级标准 (最优值) (表 2)。

**2.3 经济效益、工业用水效益态势度和水环境态势度** 利用集对分析理论对区域水资源与工业经济协调发展进行综合评价, 现将区域经济效益、工业用水效益和水环境的指标值, 与它们相应的评价标准视为 2 个集合构成一个集对, 并根据集对的特性对这 2 个集合从同、异、反 3 方面进行系统分析。若所建立的指标体系中有  $N$  个评价指标, 则将这  $N$  个评价指标作为集对所具有的特性总数。

在制定评价标准的基础上, 若认定  $i$  ( $i = I, II, III$ ) 级作为评价标准, 在  $N$  个指标中, 优于  $i$  级标准的评价指标数  $S$  为 2 个集合共有的特性数; 符合  $i$  级标准的评价指标数  $F$  为 2 个集合既不对立又不共有的特性数; 劣于  $i$  级标准的评价指标数  $P$  为 2 个集合相互对立的特性数<sup>[5]</sup>。该处指标值符合 I 级

作者简介 孙丽萍 (1979 -), 女, 江苏丹阳人, 硕士研究生, 研究方向: 环境评价、规划与管理。

收稿日期 2008-04-25

表 2 评价指标及其等级  
Table 2 Assessment indices and their degrees

等级 Level	经济效益指标 Economic benefit index			工业用水效益指标 Industrial water benefit index				水环境指标 Water environment index			
	$C_1//\%$	$C_2//\%$	$C_3//\%$	$C_4//\text{m}^3$	$C_5//\%$	$C_6$	$C_7//\%$	$C_8//\%$	$C_9//\text{t}$	$C_{10}//\%$	$C_{11}//\text{kg}$
I	20	20	30	400	35	0.35	50	84	45	45	10
II	35	30	20	325	45	0.50	65	92	25	35	7
III	50	40	10	100	55	0.65	80	100	10	15	2

注： $C_1$  为工业增加率(%)； $C_2$  为工业产值占总产值的比重(%)； $C_3$  为高废水<sup>[4]</sup>排放行业产值比重(%)； $C_4$  为万元工业增加值用水量( $\text{m}^3$ )； $C_5$  为工业用水比重(%)； $C_6$  为工业用水减量趋势； $C_7$  为工业重复用水率(%)； $C_8$  为工业废水排放达标率(%)； $C_9$  为万元工业产值废水排放量(t)； $C_{10}$  为高废水排放行业排放比重(%)； $C_{11}$  为万元工业产值 COD 排放量(kg)。表 3 同。

标准：对效益型指标来说，是指标值  $\leq$  I 级标准；对成本型指标来说，是指标值介于 I ~ II 级。指标值符合 II 级标准和 III 级标准的情况，可以依次类推。根据对经济效益、工业用水效益和水环境指标特征的分析，在指定某一等级作为评价标准后，按照式(1)可得到联系度表达式中  $a, b, c$  的值。再根据  $a, b, c$  的大小关系对照表 1 可得到同异反态势排序的态势度，并分别称为经济效益态势度  $d_{ie}$ 、工业用水效益态势度  $d_{wr}$  和水环境态势度  $d_{we}$ 。

2.4 工业经济、水资源环境协调发展指数 工业经济发展和水资源环境效益之间的相互关系可以用生长曲线指数模型<sup>[6]</sup>

来描述，定义水资源与工业经济协调发展指数  $I$  公式为：

$$I = \frac{1}{1 + (1 - d_{we})e^{-d_{wr}d_{ie}}} \quad (2)$$

式中， $d_{ie}$  为经济效益态势度； $d_{wr}$  为工业用水效益态势度； $d_{we}$  为水环境态势度。其取值区间均为  $[0.0, 1.0]$ 。经过对  $d_{ie}$ 、 $d_{wr}$  和  $d_{we}$  取不同值时的  $I$  值分析，可以得到  $I$  的取值范围与协调发展评价结果之间的对应关系： $I$  值区间分别为  $[1.00, 0.90]$ 、 $[0.90, 0.72]$ 、 $[0.72, 0.61]$ 、 $[0.61, 0.50]$  时，其评价等级分别为高度协调、基本协调、弱协调和不协调。

表 3 2003 ~ 2006 年重庆市各评价指标的实际值  
Table 3 Real value of assessment indices from 2003 to 2006 in Chongqing City

年份 Year	经济效益指标 Economic benefit index			工业用水效益指标 Industrial water benefit index				水环境指标 Water environment index			
	$C_1//\%$	$C_2//\%$	$C_3//\%$	$C_4//\text{m}^3$	$C_5//\%$	$C_6$	$C_7//\%$	$C_8//\%$	$C_9//\text{t}$	$C_{10}//\%$	$C_{11}//\text{kg}$
2003	30.07	32.70	20.15	380	46.87	0.301	52.3	89.86	51.59	38.28	6.92
2004	27.80	33.40	22.89	330	47.01	0.379	54.2	91.41	38.75	56.93	5.47
2005	28.36	33.30	22.45	322	47.16	0.483	56.1	93.66	33.61	29.43	4.71
2006	26.30	35.30	21.12	311	52.50	0.707	58.4	93.92	26.71	34.58	3.65

注：数据来源于《重庆市统计年鉴》和《重庆市水资源公报》。

Note: Data came from the Chongqing Statistical Yearbook and the Report on Water Resources of Chongqing.

3 实例计算与分析

以重庆市为例，利用 2003 ~ 2006 年的统计资料(表 3)，运用上述方法对该区域水资源与工业经济的协调发展水平进行评价。鉴于该区域发展状况宜以 II 级作为评价标准，可得评价结果(表 4)。

表 4 重庆市区域水资源与经济协调发展评价结果

Table 4 Assessment result of regional water resources of Chongqing and economy coordinated development

年份 Year	$d_{ie}$	$d_{wr}$	$d_{we}$	$I$	评价结果
					Assessment result
2003	0.6	0.2	0.3	0.616 9	弱协调 Weak coordination
2004	0.6	0.6	0.3	0.671 9	弱协调 Weak coordination
2005	0.6	0.7	0.6	0.791 9	基本协调 Basic coordination
2006	0.6	0.7	0.6	0.791 9	基本协调 Basic coordination

注： $d_{ie}$  为经济效益态势度； $d_{wr}$  为工业用水效益态势度； $d_{we}$  为水环境态势度； $I$  为协调发展指数。

Note:  $d_{ie}$ . State degree of economic benefit;  $d_{wr}$ . State degree of industrial water benefit;  $d_{we}$ . State degree of water environment;  $I$ . Coordinated development index.

表 4 表明，重庆地区在 2003 ~ 2006 年的工业经济和水资源环境的协调发展指数逐年上升，由弱协调向基本协调过渡。在 2003 ~ 2004 年，重庆地区的工业用水效益偏低，水环境状况处于劣势；2005 年以后，重庆地区从调整和改善工业生产结构入手，降低高水耗、高污染排放行业占重庆地区工业经济的比重，增加工业生产中的科技含量，积极扶植培育新技术产业，从而从根本上提高重庆地区工业经济的发展水

平。可见该评价结果与重庆地区在该期间提高工业用水效益、重视资源环境、由传统工业的发展战略转向工业可持续发展战略的实际情况相符。

4 结论

该研究从区域水资源与经济协调发展理念出发，采用集对分析理论构建了工业经济与水资源协调发展评价模型。模型中的态势度  $d_{ie}$ 、 $d_{wr}$  和  $d_{we}$  揭示了区域工业经济、用水效益和水环境状况 3 者之间相互影响相互制约的协调发展关系，这对区域经济可持续发展具有较强的指导意义。实例分析表明，该评价模型具有思路清晰、简单实用和分析结果可靠的优点，为深入研究水资源和工业经济的协调发展提供了一定的理论支持。

参考文献

[1] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[J]. 大自然探索, 1994, 13(1): 67 - 72.  
 [2] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000: 187 - 189.  
 [3] 金建君, 恽才兴, 巩彩兰. 海岸带可持续发展及其指标体系研究——以辽宁省海岸带部分城市为例[J]. 海洋通报, 2001, 20(1): 61 - 66.  
 [4] 黄贤金. 区域循环经济发展评价[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2006: 125 - 126.  
 [5] 邵金花, 刘贤赵. 基于集对分析的区域水资源开发利用综合评价[J]. 中国农村水利水电, 2006(10): 17 - 19.  
 [6] 李凯, 代丽华, 韩爽. 运用生长曲线模型预测中国钢铁工业的峰值点[J]. 冶金经济与管理, 2005(2): 41 - 43.