

# 基于多元统计方法的海洋环境-经济 系统协调发展度评价研究

王显丽<sup>1</sup>, 姜国强<sup>2</sup>, 王君丽<sup>3</sup>

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广东 广州 510655; 3. 广东水利电力职业技术学院, 广东 广州 510635)

**摘要:**近年来由于沿海省市海洋经济发展迅速, 导致其海洋环境与海洋经济矛盾日益凸显。为满足可持续发展要求, 需充分掌握海洋环境-经济系统协调发展情况, 故应对该系统进行科学评价。以广东省为例, 根据海洋经济特点及环境特征, 建立起由2个准则层、4个方案层、25个指标组成的海洋环境-经济系统协调发展度评价体系。先利用聚类分析法对指标内部联系进行分析, 再应用主成分分析法与综合指数法相结合的方式对该指标体系进行计算。计算结果表明, 2006~2008年广东省海洋环境-经济系统总体协调发展度呈上升趋势, 但2009年又出现了下降情况, 2010年上升到良好协调水平。总体来说, “十一五”期间其协调发展度仍然有些不稳定, 应制定较为系统且长远的对策来提升其海洋环境与经济的协调度。

**关键词:**环境-经济系统; 主成分分析法; 综合指数法; 协调发展度

**中图分类号:** X32      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-6336(2015)05-0777-06

## Evaluation of coordinated development of marine environment-economy system based on multivariate statistical methods

WANG Xian-li<sup>1</sup>, JIANG Guo-qiang<sup>2</sup>, WANG Jun-li<sup>3</sup>

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. South China Institute of Environmental Sciences, MEP, Guangzhou 510655, China; 3. Guangdong Technical College of Water Resources and Electric Engineering, Guangzhou 510635, China)

**Abstract:** In recent years due to the marine economy is developing rapidly, the marine economy and marine environment contradict with each other heavily. It is necessary to know the coordinated development of marine environment-economy system in order to get the requirements of sustainable development by scientific evaluation of the system. Using the situation of Guangdong Province as an example, a marine economy-environment evaluation system which involving 2 rule layers, 4 schematic layers and 25 indexes was built based on marine economy's characteristics and marine environment's characteristics. The system is calculated by using the method of combination of principal component analysis and comprehensive index method. The results showed that marine economy - environment system's coordinated development degree of Guangdong Province was increased from 2006 to 2010, but it was decreased in 2009. And then the coordinated development degree was increased in 2010 which showed a good result. In general, the coordinated development degree in unstable state, so some systematic and long-term countermeasures should be taken to improve marine economy-environment system's coordinated development degree of Guangdong Province.

收稿日期: 2014-09-24, 修订日期: 2014-10-16

基金项目: 环保公益性行业科研专项(201409036)

作者简介: 王显丽(1988-), 女, 湖北襄樊人, 博士, 主要从事环境水力学研究, E-mail: WangXianLi227@aliyun.com

通讯作者: 姜国强(1974-), 男, 山东海阳人, 研究员, 主要从事环境水力学研究, E-mail: JiangGuoqiang@scies.org

**Key words:** environment-economy system; principal component analysis; comprehensive index method; coordinated development degree

近年来,由于沿海各省市海洋经济不断快速发展,其环境与经济之间的矛盾日益凸显。以广东省为例,2009年,广东省沿海地带GDP为1860.14亿元,与2007年相比增长了37.8%,然而沿海发生赤潮累计面积却上升至750 km<sup>2</sup>,与2007年相比上升了96.9%。由此可知我们在大力发展海洋经济的同时也应对其海洋环境实施相应的保护,更好的掌握并了解环境与经济两者之间的协调发展程度。对沿海各省市的海洋环境-经济系统的协调发展度进行客观评价,能更好的了解目前其海洋环境及经济所存在的问题,从而为制定环境与经济协调发展决策提供科学保障及技术支持。

目前,已有多位国内外学者对某些城市或者区域的环境-经济协调发展度及可持续发展性进行了不同程度的研究<sup>[1-6]</sup>。从文献来看,对环境-经济系统的协调发展度评价方法大致分为以下几种:(1)综合指数法<sup>[7]</sup>:依据对协调概念的定义,认为环境系统得分与经济系统得分的离差值越小越好,从而由离差系数计算公式导出协调度计算公式,最终得到的协调发展度值越大,说明环境与经济协调性越好。(2)主成分分析法<sup>[8]</sup>:建立多指标的评价系统,将原始数据做线性组合,变成新的综合指标。即通过少数的主成分来解释多变量的方差-协方差结构。其优点是可以进行客观评价,不受主观影响,但缺点是无法有较为标准的分级评价结果,只能得到评价对象的相对变化趋势。(3)模糊数学法<sup>[9]</sup>:根据模糊数学理论中的隶属度概念,对环境与经济两个系统之间的协调程度进行计算。(4)系统熵法<sup>[10]</sup>:建立由环境系统和经济系统耦合而成多层析、多指标的复杂模型,计算模型得到熵值,该熵值代表了环境经济系统内部各系统不能协调发展的程度。(5)最大流原理分析法<sup>[11]</sup>:建立复杂的评价系统,基于最大流原理,将该系统内所有相关因素视为组元,通过模型不断进行模拟计算系统的稳定性系数,从而展现环境与经济系统的自组织演化规律。为方便对评价结果进行成因分析本研究将先应用聚类分析法得出各指标之间的潜在联系,再采用主成分分析法及综合指数法相结合的方式对广东省海洋环

境-经济系统的协调性进行评价,该种方式能很好的保证评价的客观性及横向的可对比性。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

广东省沿海经济带位于我国大陆东南部,东邻福建沿海,西连广西,南临南海。包括广州、深圳、汕头、汕尾、东莞、中山、阳江、湛江、潮州、惠州、茂名、揭阳、江门、珠海14个城市在内<sup>[12]</sup>。现拥有海洋国土面积45万 km<sup>2</sup>,海岸线长5782 km,由于其所处地带为亚热带,故其海洋资源非常丰富<sup>[13]</sup>,2010年海洋原油产量为1303.25万 t,居全国沿海省市第二位,海洋天然气产量816378万 m<sup>3</sup>,居全国沿海省市第一位。具体研究区域见图1粗线标记以内的区域。

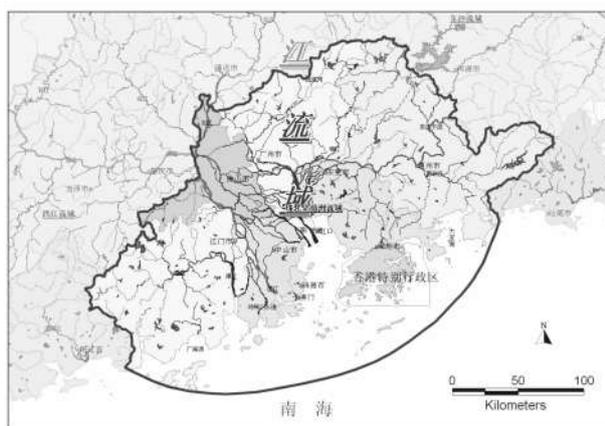


图1 研究区域

Fig. 1 Study region

### 1.2 评价方法

#### 1.2.1 评价体系的建立

针对海洋经济特点及环境特征,并结合多篇有关协调发展评价的研究文献,提出多个备选指标。再采用专家咨询法对备选指标进行筛选,即在提出初步评价体系的基础上,进一步咨询专家意见,从而对体系进行调整和完善,使得所建立的指标体系符合全面性、发展性、特殊性、可操作性及侧重性原则<sup>[14-15]</sup>。最终建立的海洋环境-经济系统协调度评价体系见表1。其中需特别说明计算方法的指标为:Moore结构变化值及产业结构熵数。

(1) Moore 结构变化值<sup>[16]</sup>:是表征产业结构变化程度的指标,Moore 结构变化值越小,表明产业结构变化速率越大。其计算公式为:

$$M_t = \frac{\sum_{i=1}^n (W_{it} \times W_{i,t+1})}{(\sum_{i=1}^n W_{it}^2)^{\frac{1}{2}} \times (\sum_{i=1}^n W_{i,t+1}^2)^{\frac{1}{2}}}$$

其中: $M_t$ 表示第  $t$  期 Moore 结构变化值; $W_{it}$ 表示第  $t$  期第  $i$  产业占全部产业的比重; $W_{i,t+1}$ 表示第  $t+1$  期第  $i$  产业占全部产业的比重;这里  $t$  从 2006 年取到 2010 年。依据《中国海洋统计年鉴》选取 6 个产业作为计算所需,即海洋渔业、海洋电力与海水利用、海洋船舶制造业、海洋交通运

输业、滨海旅游、海洋油气业六大产业。

(2) 产业结构熵数<sup>[17]</sup>:是反映在经济发展过程中产业内部质量方面的变动程度。 $e_t$  越大,说明产业结构发展形态趋于多元化,各产业部门发展比较均衡;相反, $e_t$  越小,则产业结构发展形态趋于单一化。其计算公式为: $e_t = \sum_{i=1}^n [W_{it} \ln(1/W_{it})]$

其中: $e_t$ 为  $t$  期产业结构熵数值; $W_{it}$ 为  $t$  期第  $i$  产业产值所占海洋产业总产值的比重; $n$ 为产业部门个数。

表 1 海洋环境-经济系统协调发展度评价体系及权重

Tab. 1 Index system and weights of marine environment-economy environment system's coordinated development degree evaluation

目标层	准则层	准则层权重	方案层	方案层权重	指标层	指标层权重
海洋环境-经济系统协调发展度(A1)	海洋经济(B1)	0.5	海洋产业结构(C1)	0.5	沿海地带 GDP 占全省比重(D1)	0.14
					人均 GDP(D2)	0.16
					第一、二产业产值比(D3)	0.17
					第二、三产业产值比(D4)	0.14
					第三产业比例(D5)	0.11
					Moore 结构变化指标(D6)	0.16
					产业结构熵数(D7)	0.14
					海洋沿海运输船舶总吨数(D8)	0.22
					人均滩涂面积(D9)	0.22
					人均水域面积(D10)	0.22
	海洋环境(B2)	0.5	海洋环境压力(C2)	0.5	海洋原油产量(D11)	0.13
					海洋天然气产量(D12)	0.21
					工业废水排放总量(D13)	0.24
					工业废水直接排入海量(D14)	0.24
					工业废水符合排放标准量(D15)	0.24
					工业固体废物排放量(D16)	0.21
					工业固体废物综合利用量(D17)	0.07
					海水中无机氮平均含量年际变化(D18)	0.10
					近岸海域海水中活性磷酸盐平均含量年际变化(D19)	0.11
					污染海域面积(D20)	0.14
					底栖生物栖息平均密度(D21)	0.13
					鱼卵浮游生物密度(D22)	0.15
					仔稚鱼生物密度(D23)	0.11
					广东沿海发生赤潮累计面积(D24)	0.12
					浮游植物平均密度的年际变化(D25)	0.14

注:表中原始数据来源于文献[18-20]

### 1.2.2 指标聚类分析

聚类分析是一种探索性的模式识别技术<sup>[21]</sup>,可根据各个指标的特点及差异性,对个体相似的指标进行分类,从而更好的知晓各指标内部联系<sup>[22]</sup>,对深入探讨问题成因具有重大意义。本次研究采用层次聚类分析中常使用的组间连接法和欧氏距离平方和法,对指标的内在联系及数据信息进行深度挖掘。由聚类结果(图 2)可知,聚类结果基本分为四大类:第一类为指标 D1、D2、D3、

D4、D6、D7、D8、D17、D20、D24,说明海洋运输业会影响海洋产业结构变化,并且海洋运输业的高度发展会诱发赤潮产生;第二类为指标 D5、D12、D21、D22 及 D23,可知海洋天然气开采会影响海洋生态系统平衡,导致海洋生物量发生变化;第三类为指标 D9、D10、D16、D18 及 D19,说明海洋水产产业产生的污染物为海水中无机氮及磷酸盐的主要来源;第四类为指标 D11、D13、D14、D15 及 D25,可知工业废水入海量会引起海洋浮游植物

量变化,产生有机污染。聚类分析结果也表明了海洋环境与经济因素是相互影响,密不可分的,因此应充分协调两者的关系,从而维持海洋生态的稳定,保证海洋经济的可持续发展。

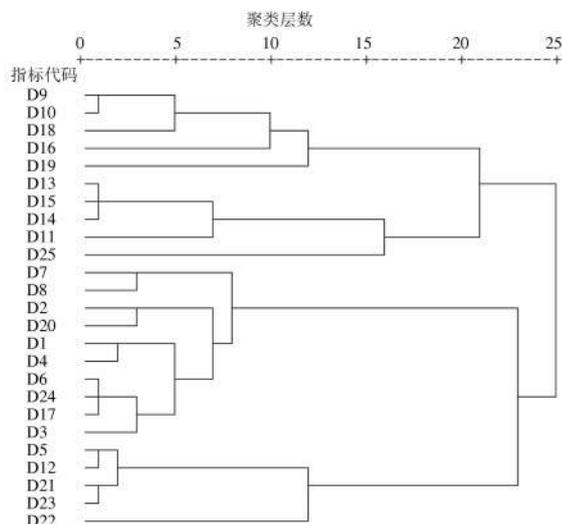


图2 各指标因子聚类结果

Fig. 2 The indexes' clustering results

### 1.2.3 评价方法

#### 1.2.3.1 样本矩阵的无量纲化处理

样本矩阵由广东省沿海经济带2006~2010年各项指标数据构成,记为 $A^* = (a_{ij}^*)_{n \times m}$ ,无量纲化后矩阵记为 $A = (a_{ij})_{n \times m}$ 。采用“Range0~1”方法对样本矩阵进行无量纲化处理,具体计算公式为:

$$a_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij}^* - a_{j\min}^*}{a_{j\max}^* - a_{j\min}^*}, & a_{ij}^* \text{ 为越大越好型指标} \\ \frac{a_{j\max}^* - a_{ij}^*}{a_{j\max}^* - a_{j\min}^*}, & a_{ij}^* \text{ 为越小越好型指标} \end{cases}$$

其中: $n$ 为评价指标的年份个数; $m$ 为评价指标的个数; $i$ 的取值范围为 $(1, 2, \dots, n)$ ; $j$ 的取值范围为 $(1, 2, \dots, m)$ ; $a_{ij}$ 为第 $i$ 年第 $j$ 个指标的实测数据; $a_{ij}^*$ 为第 $i$ 年第 $j$ 个指标的无量纲值; $a_{j\min}$ 为第 $j$ 项指标的最小值; $a_{j\max}$ 为第 $j$ 项指标的最大值。

#### 1.2.3.2 要素层及指标层的权重计算

采用主成分分析法<sup>[23]</sup>对要素层及指标层的权重计算。计算结果见表1,具体计算步骤如下:

(1)对矩阵 $A$ 进行标准化处理。标准化的计算公式为:

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij} - \bar{a}_j}{S_j}$$

其中: $\bar{a}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij}$ 是第 $j$ 个指标的样本均值;

$S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_{ij} - \bar{a}_j)^2}$ 是第 $j$ 个指标的样本标准差。

(2)计算相关系数矩阵 $R$ 。因 $ARA^T = \Lambda$ ,可得

$R = \frac{1}{n-1} AA^T$ 。具体相关系数 $r_{ij}$ 的计算公式为:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n (a_{ii} - \bar{a}_i)(a_{ij} - \bar{a}_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_{ii} - \bar{a}_i)^2 \sum_{i=1}^n (a_{ij} - \bar{a}_j)^2}}$$

若计算得出的系数矩阵 $R$ 的相关系数 $r_{ij}$ 大多数都大于0.3,则说明该体系适合作主成分分析。

(3)通过解特征方程 $|R - \lambda E| = 0$ ,计算相关矩阵 $R$ 的特征值 $\lambda_j$ ,并求出相应的特征向量矩阵 $P$ 。其次根据特征值计算方差贡献率 $m_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^m \lambda_j}$

$\times 100\%$ 。

(4)指标权重计算。先计算主因子载荷矩阵 $B$ 。选取累计贡献率为85%以上的特征根,通过公式 $B = P\Lambda^{\frac{1}{2}}$ ,得到因子载荷矩阵 $B$ ,其中 $ARA^T = \Lambda$ 。再求出第 $i$ 个主成分的特征向量在第 $j$ 个变量的分量,公式为: $k_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sqrt{\lambda_j}}$ ;最后求出指标的权系数 $\mu_j$ ,公式为 $\mu_j = \sum_{i=1}^n (|k_{ij}| \cdot m_j)$ ;最后对权系数进行归一化处理,公式为: $w_j = \frac{\mu_j}{\sum_{j=1}^m \mu_j}$ 。

最后求出指标的权系数 $\mu_j$ ,公式为 $\mu_j = \sum_{i=1}^n (|k_{ij}| \cdot m_j)$ ;最后对权系数进行归一化处理,公式为: $w_j = \frac{\mu_j}{\sum_{j=1}^m \mu_j}$ 。

最后对权系数进行归一化处理,公式为: $w_j = \frac{\mu_j}{\sum_{j=1}^m \mu_j}$ 。

最后对权系数进行归一化处理,公式为: $w_j = \frac{\mu_j}{\sum_{j=1}^m \mu_j}$ 。

#### 1.2.3.3 协调发展度的计算

采用综合指数法进行协调系数的计算。具体计算步骤如下:

(1)计算综合环境效益函数 $f(x)$ 及综合经济效益函数 $g(x)$ 。公式为:

$$f(x) = \sum_{k=1}^p w_k x_k, g(x) = \sum_{k=1}^q w'_k y_k$$

其中: $w_k$ 及 $w'_k$ 分别为环境系统与经济系统指标的权重系数; $x_k$ 及 $y_k$ 分别为环境系统与经济系统指标的无量纲值。

(2)计算协调系数 $C$ 。为显示环境与经济系统效益最大化,构造出协调系数计算公式:

$$C = \left\{ \left[ \frac{f(x) \cdot g(y)}{f(x) + g(y)} \right]^2 \right\}^k$$

其中:K为调节系数,一般 $K \geq 2$ 。本研究中K取2。

(3) 计算协调发展度D。(协调发展度评价标

准见表2)先计算环境与经济效益综合评价指数T,公式为: $T = \alpha f(x) + \beta g(y)$ ,其中 $\alpha \beta$ 为环境系统与经济系统的权重系数,因为环境和经济同样重要,故 $\alpha \beta$ 均取0.5。再计算协调发展度D,计算公式为: $D = \sqrt{C \cdot T}$ 。

表2 海洋环境-经济系统协调发展度评价标准<sup>[24]</sup>

Tab.2 Evaluation criteria of marine economy-environment system's coordinated development degree

D	0.90~1.00	0.80~0.89	0.70~0.79	0.60~0.69	0.50~0.59	0.40~0.49	0~0.39
协调等级	优质协调	良好协调	中级协调	初级协调	勉强协调	濒临协调	失调

## 2 结果与讨论

### 2.1 指标因子载荷分析结果

应用主成分分析法,可得到各指标因子的主成分因子载荷值。通过该值可有效分析各子系统的指标因子的表征特点<sup>[25-26]</sup>。由图3可知,于海洋产业结构子系统中,提取出两个主成分,贡献率分别为56.29%和34.5%,主要决定因子为“Moore结构变化指标”、“人均GDP”、“第一二产业产值比”、“沿海地带GDP占全省比重”,表明产业结构的调整速率及产业结构比例都会极大影响到全省GDP的产生;于海洋产业资源子系统中,提取出两2个主成分,

贡献率分别为71.83%和22.04%,其中“人均滩涂面积”、“人均水域面积”都在第一主成分上有较大的正载荷,故为主要表征因子,共同表征了海洋水产资源;于海洋环境压力子系统中,提取出两个主成分,贡献率分别为74.13%与19.70%,主要表征因子为“工业废水排放总量”、“工业废水符合排放标准量”、“工业废水直接排入海量”,表征了污染物入海量;于海洋环境状态子系统中,提取出3个主成分,贡献率分别为37.85%、30.32%及29.09%,海洋生态环境质量成为了影响该子系统的主要因素,与其相关的因子为“底栖生物栖息平均密度”、“仔稚鱼密度”、“鱼卵浮游生物密度”。

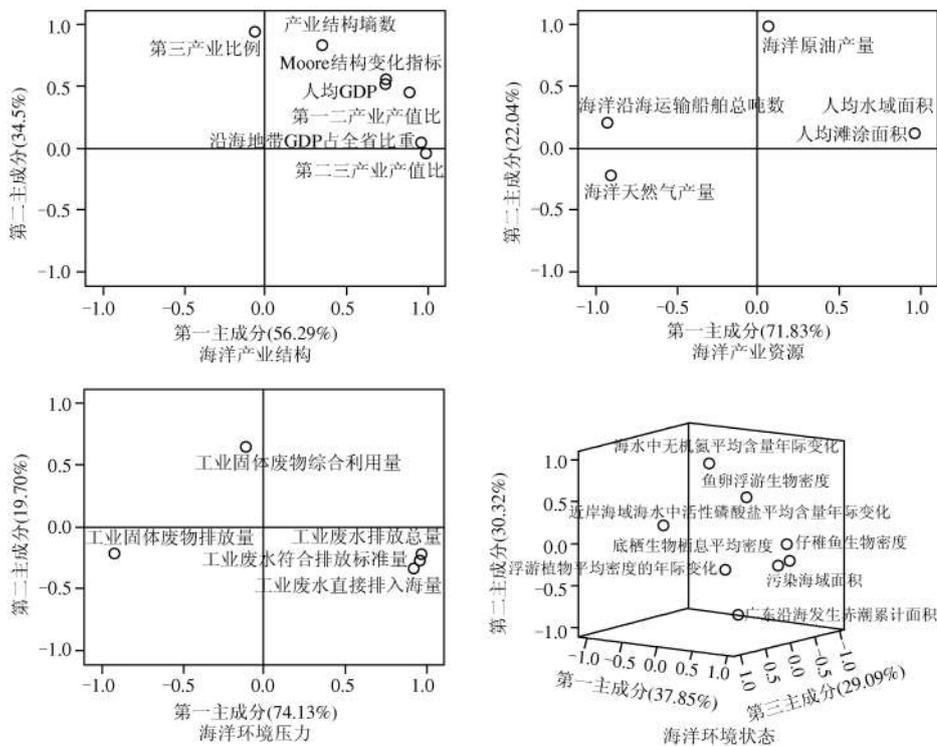


图3 主成分因子载荷值

Fig.3 Principle Component Factor Scatter

## 2.2 协调发展度综合评价结果及分析

通过计算,得到2006~2010年广东省海洋环境-经济系统协调发展度评价结果,见表3。由评价结果可知,目前广东省海洋环境-经济系统处于良好协调等级。2006年时,协调发展程度较差,为勉强协调程度,但经后期调整,整体水平有所上升。通过观察方案层得分趋势图(图4)可知,海洋产业结构得分大体呈上升趋势,说明广东省近几年的海洋产业结构有较好的调整。目前广东省正大力发展海洋第三产业并加强海洋与渔业科技

表3 2006~2010年广东省海洋环境-经济系统协调发展度

Tab.3 The evaluation result of marine environment-economy system's coordinated development degree of Guangdong Province from 2006 to 2010

年份	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
协调发展度	0.57	0.60	0.75	0.69	0.86
协调等级	勉强协调	初级协调	中级协调	初级协调	良好协调

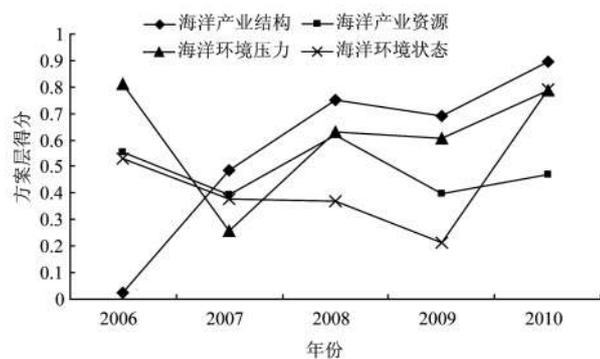


图4 评价体系方案层得分趋势

Fig.4 Trend Map of schematic layers' score

## 3 结论

(1)进行聚类分析,可更好的了解海洋环境因子与海洋经济因子的交互关系,从而更好的从深层次角度来协调二者关系。

(2)在海洋环境-经济系统协调发展度评价中引入主成分分析法,既可得到各因子的客观赋权,又可通过二维或者三维坐标直观显示各因子的相似性,利于后续分析。

(3)虽然2010年广东省海洋环境-经济系统协调发展度已达0.86,处于良好协调状态,但统观“十一五”整个时期,广东省目前海洋经济与环境和谐持续发展水平仍处于不稳定阶段,所制定的海洋经济与环境和谐持续发展制度仍存在问题,需采取一定的措施来不断提升及稳定其协调发展程度。

创新基地建设。海洋产业资源得分呈逐年下降趋势,原因是广东省为保证资源不过度开发,从而限定海洋养殖捕捞量及海洋原油产量开采量所致。海洋环境压力得分呈现震荡持平趋势,说明近几年广东省海洋环境所受压力基本没有太大转变。海洋环境状态得分在2006~2009年时呈现下降趋势,在2010年却明显转好,原因是2010年,广东省制定了一系列海洋环境保护法规,并加强海洋突发环境事件应急管理所致。

(4)加强循环经济体系建设,着力构建渔业、工业及服务行业的循环经济产业链。渔业方面,可打造生态渔业循环经济产业链,即联合废弃物的生态化综合利用产业、生态渔业开发产业与生态旅游。工业方面,可建立石油化工、建材、造纸、电力等行业的循环经济产业链。服务业方面,可建立生态旅游及绿色物流循环产业链。

(5)完善各类制度及标准体系,为协调发展提供有力保障。一方面可以逐步完善相关的法律法规,规范各行业的排污措施及资源利用措施。另一方面可以组织制定相应的技术标准及技术规范,建立健全的资源节约标准体系,积极推进绿色生态经济的标准化建设。

## 参考文献:

- [1] MUNDA G. "Measuring sustainability": a multi-criterion framework[J]. Environment, Development and Sustainability, 2005, 7(1):117-134.
- [2] HAN R Q, ZHAO M H. Evaluation on the coordination of economy and environment with scarce water resources in Shandong Peninsula, China [J]. Procedia Environmental Sciences, 2012, 13:2236-2245.
- [3] LI Q F, DANG Y G, QIAN W Y. Study on measurement of level of economic-environmental system's coordination development in Yixing City[J]. Energy Procedia, 2011, 5:1937-1943.
- [4] 丛方杰,周惠成. 区域水资源复合系统可持续发展机制研究[J]. 水科学进展, 2008, 19(4):512-518.
- [5] 马向东,孙金华,胡震云. 生态环境与社会经济复合系统的协同进化[J]. 水科学进展, 2009, 20(4):566-571.

应考虑外海潮位变化的影响。

(2)该地区海水入侵过渡区,季节变化的地下水位与季节变化的地下水  $\text{Cl}^-$  含量呈现明显的正相关关系,相关方程为  $\text{Cl}^- (\text{mg/L}) = -40.477 \times h (\text{m}) + 211.32$ ,相关系数 0.92 以上,因此该地区海水入侵过渡区域,地下水位的变化可以间接的反应出该区域地下水中  $\text{Cl}^-$  含量的变化。

(3)通过该地区地下水位与氯度值的相关关系,我们可以得出该地区的海水入侵过渡区(250 mg/L)对应的地下水位值为  $-2.22 \text{ m} \sim 0.25 \text{ m}$ 。对于我们确立该地区海水入侵过渡断面的位置提供间接的依据和参考。

### 参考文献:

- [1] 丁玲,李碧英,张树深. 海岸带海水入侵的研究进展[J]. 海洋通报,2004,23(2):82-87.
- [2] 李新运,姜文明,张乃兴. 莱州湾东南岸海水入侵相关分析和趋势预测[J]. 中国地质灾害与防治学报,1994(4):33-39.
- [3] 郑新奇,张乃兴,李新运. 莱州湾东南沿岸地下水水位动态与海水入侵相关规律研究[J]. 水文地质工程地质,1997(3):6-9.
- [4] 刘冬雁,庄振业,邱汉学,等. 莱州海水入侵与地下水位负值区的演变模式[J]. 海洋湖沼通报,1999(2):18-23.
- [5] 郑丹,王大国,韩光. 潮汐循环作用下海水入侵模型现状及展望[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009,28(S1):240-242.
- [6] 张怡辉,王玉广,许有良,等. 辽东湾西侧绥中砂质平原海水入侵岸段地下水化学特征[J]. 海洋环境科学,2013,32(5):717-720.
- [7] 王凤和,孙洪梅. 电导仪法在海水入侵监测分析中的应用[J]. 吉林水利,2007(12):30-31.
- [8] 孙乃波,钱玉香,田仙言,等. 电导率替代氯离子在海水入侵自动监测管理系统中的应用研究[J]. 山东水利科技论坛 2007,2007:16-20.
- [9] 刘冀闽,师沙沙,韩涛. 电导率法在海水入侵监测中的应用[J]. 中国环境管理干部学院学报,2009,19(1):77-79.
- [10] 刘忠义,刘文军,汤玉福. 电导仪在海水入侵监测分析中的应用[J]. 东北水利水电,2012,30(6):34-42.
- [11] 国家海洋局 908 专项办公室. 海洋灾害调查技术规程[M]. 北京:海洋出版社,2006.
- [12] 罗宏,王业耀,冯慧娟,等. 论流域环境经济学[J]. 环境科学研究,2010,23(2):232-236.
- [13] 王重玲,朱志玲,王梅梅,等. 宁夏沿黄经济区城市群人居环境与经济协调发展评价[J]. 水土保持研究,2014,21(2):189-194.
- [14] 桑秋,张平宇,苏飞,等. 20世纪90年代以来沈阳市人口、经济、空间与环境的协调度分析[J]. 中国人口·资源与环境,2008,18(2):115-119.
- [15] 熊鹰,曾光明,董力三,等. 城市人居环境与经济协调发展不确定性定量评价-以长沙市为例[J]. 地理学报,2007,62(4):397-406.
- [16] 孙志高,秦泗刚,刘景双,等. 环境经济系统分类及协调发展的熵研究[J]. 华中师范大学学报:自然科学版,2004,38(4):533-538.
- [17] 李倩,鞠美庭,邵超峰,等. 基于复杂系统理论的天津市环境经济关系分析[J]. 环境科学研究,2013,26(1):109-114.
- [18] 刘志霞,张加恭. 广东省沿海经济带区域差异探析[J]. 云南地理环境研究,2006,18(6):57-62.
- [19] 郭晋杰. 广东省海洋经济构成分析及主要海洋产业发展战略构思[J]. 经济地理,2001,21(增刊):209-212.
- [20] 刘渝琳. 我国可持续发展指标体系的设计和评价方法探索[J]. 生态经济,1999(6):17-20.
- [21] 李勇,王金南. 经济与环境协调发展综合指标与实证分析[J]. 环境科学研究,2006,19(2):62-65.
- [22] 韩增林,狄乾斌,刘锴. 辽宁省海洋产业结构分析[J]. 辽宁师范大学学报:自然科学版,2007,30(1):107-111.
- [23] 纪建悦,孙岚,张志亮,等. 环渤海地区海洋经济产业结构分析[J]. 山东大学学报:哲学社会科学版,2007(2):97-102.
- [24] 国家海洋局. 中国海洋统计年鉴[M]. 北京:海洋出版社,2007-2011.
- [25] 国家统计局. 广东统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2007-2011.
- [26] 广东省海洋与渔业局. 海洋环境质量公报:2007-2011[R]. 广东:广东省海洋与渔业局,2007-2011.
- [27] 周丰,郭怀成,黄凯,等. 基于多元统计方法的河流水质空间分析[J]. 水科学进展,2007,18(4):544-551.
- [28] 张妍,尚金城,于相毅. 主成分-聚类复合模型在水环境管理中的应用——以松花江吉林段为例[J]. 水科学进展,2005,16(4):592-595.
- [29] 王红莉,姜国强,陶建华. 渤海湾水环境系统多级灰关联评价[J]. 海洋技术,2004,23(4):48-52.
- [30] 郑晶. 宁德市生态环境与经济协调发展度分析评价[J]. 化学工程与装备,2014(7):242-246.
- [31] HOSONO T, SU C C, SIRINGAN F, et al. Effects of environmental regulations on heavy metal pollution decline in core sediments from Manila Bay[J]. Marine Pollution Bulletin,2010,60(5):780-785.
- [32] 曾庆飞,谷孝鸿,周露洪,等. 东太湖水质污染特征研究[J]. 中国环境科学,2011,31(8):1355-1360.

(上接第782页)