

# 基于 DPSEIR 模型的生态港口评价

叶善椿<sup>1</sup>, 韩 军<sup>2</sup>

(1. 东莞职业技术学院物流工程系, 广东 东莞 523808; 2. 上海国际航运研究中心, 上海 201306)

**[摘要]** 为了科学评价生态港口建设水平, 在 DPSIR (driver-pressure-state-impact-response) 基础上, 构建了 DPSEIR (driver-pressure-state-effect-response) 框架, 筛选出 29 个指标作为评价体系, 结合网络层次分析法 (analytic network process, ANP) 建立了 DPSEIR 模型。实证研究结果表明: DPSEIR 模型能更加全面地评价生态港口建设水平; 生态港口建设水平根本性影响因素是集装箱吞吐占比因子和腹地经济发展水平。

**[关键词]** 生态港口; DPSEIR; ANP; 评价

**[中图分类号]** U 691.1

## Application of DPSEIR Model in Evaluation of Eco-port

YE Shanchun<sup>1</sup>, HAN Jun<sup>2</sup>

(1. Department of Logistics Engineering, Dongguan polytechnic, Dongguan 523808, China;

2. Shanghai International Shipping Institute, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** According to the connotation of eco-port, a driver-pressure-state-effect-response (DPSEIR) framework is set up based on the improvement of driver-pressure-state-impact-response framework. 29 indices are chosen as the evaluation index system, and combined with Analytic Network Process (ANP) a DPSEIR model is built to evaluate the level of eco-port. The empirical research shows; the DPSEIR model can be used for more comprehensive evaluation on the level of an eco-port; the portion of container throughput and the economic development level of the hinterland have a fundamental influence on the level of an eco-port; and the eco-levels of some newly-built ports are relatively low.

**Keywords:** eco-port; DPSEIR; ANP; evaluation

## 0 引言

随着全球经济的发展, 世界各国越来越重视生态环境建设, 绿色生态港的建设是港口发展的重要部分, 生态港口就是将生态理念贯穿到港口发展的全过程, 使港口既满足经济社会发展, 又符合生态可持续发展需要<sup>[1]</sup>。国内外许多学者对生态港口建设进行了研究与探索。邵超峰等<sup>[2]</sup>在分析生态港口内涵的基础上, 指出生态港口指标体系的设计原则和方法, 根据 DPSIR (driver-pressure-state-impact-response) 模型建立了天津港的生态港口评价指标体系; 刘芳<sup>[3]</sup>构建基于正态云模型的生态港口综合评价模型, 并将之应用到我国沿海十大主要港口的评价研究上; 文献 [4-5] 提出了我国建设绿色生态港口的一些思路与对策; 刘翠莲等<sup>[6]</sup>利用 DPSIR 模型构建了生态港口群的评价指标体系, 并结合层次分析法

（AHP）给出了辽宁省生态港口群评价的各指标权重，但未利用各指标权重对生态港口进行评价；赵宇哲等<sup>[7]</sup>利用 *R* 聚类 and 变异系数的定量方法，与专家经验的定性方法相结合，对指标进行筛选与补充，最后将筛选出来的 23 个指标应用到上海港、宁波 - 舟山港等 17 个主要港口中，计算结果表明，筛选后的指标对原始指标的信息贡献率达到 93.91%；文献 [8] 利用 DPSIR 模型研究滇池的生态安全；文献 [9] 利用 DEMATEL 模型与模糊 AHP 方法研究沿海地区土地规划的原则；文献 [10] 选取全球 36 个城市为样本，利用 DPSIR 框架来研究社会经济发展对环境的影响。

现有的关于生态港口的研究具有三方面的特征：1）大部分都是关于生态港定义、内涵以及评价原则与评价指标体系构建等定性研究，定量分析的较少；2）在研究方法上，运用 DPSIR 框架的较多，由于该框架中的“影响”指标仅仅是反映了人类经济活动对生态环境的负面影响，而对生态环境有正向作用的方面却没有体现出来，即没有全面地反映人类经济活动对生态环境的影响，因而有必要对 DPSIR 模型进行调整。本文在 DPSIR 框架基础上，提出 DPSEI 框架，然后利用网络分析法来确定各指标的权重，并将研究结果应用到珠三角港口的评价中。

# 1 生态港口评价指标体系

## 1.1 DPSEI 框架构建

1993 年经济合作组织（OECD）提出了环境评价的指标 PSR（pressure-state-response）模型与 DSR（driver-state-response）模型，随后欧洲环保局综合 PSR 模型与 DSR 模型的优点建立了 DPSIR 框架，并将其运用到判断环境状态及其与社会经济之间的关系上<sup>[11]</sup>。

DPSIR 框架图如图 1 所示。其中：“驱动力”指造成环境变化的内在振动力；“压力”是指社会经济活动对环境造成直接影响，主要为废弃物的排放；“状态”是指环境在上述压力下所表现出来的状态；“影响”是指环境所处的状态对社会经济的负面影响；“响应”是指人类在改善环境现状所采取的对策和制定的积极政策，将会对上述四个因素造成影响。

但是，人类社会经济活动对生态环境的影响并不仅仅都是负面的，也有很多积极的且对生态环境有所改善的活动。因此，“影响”（impact）并不能全面地概括人类社会经济活动对于生态环境的影响。本文将“影响”（impact）修改为“结果”（effect）。“结果”（effect）是中性地反映人类社会经济活动对生态环境的影响，既包括人类社会经济活动对生态环境的积极影响，如扩大就业的贡献率，也包括人类社会经济活动对生态环境的消极影响，如危险品泄露事故发生等。新构建的 DPSEI 框架如图 2 所示。

DPSEI 框架中，5 个准则层指标来自于社会系统、经济系统和生态环境系统。其中，驱动力主要来自于社会经济发展的需要，处于经济系统和社会系统中；压力

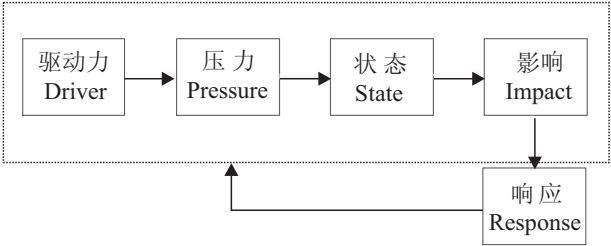


图 1 DPSIR 框架  
Fig. 1 DPSIR Framework

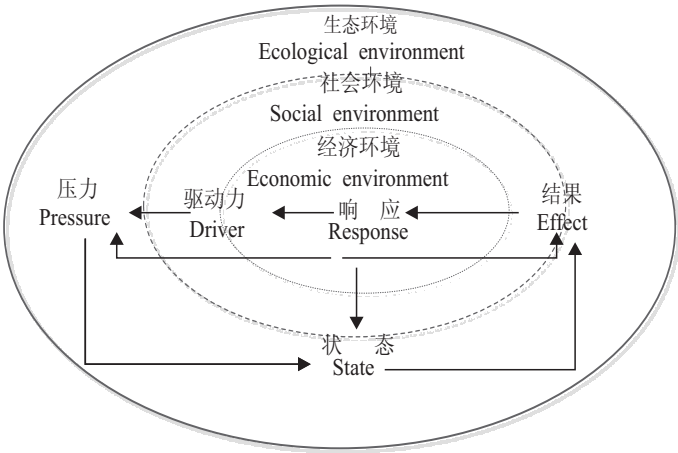


图 2 DPSEI 框架  
Fig. 2 DPSEI Framework

主要是受到驱动力后对生态环境的直接影响,处于生态环境系统中;状态是生态环境处于上述压力下的表现;结果是人类经济社会活动对生态环境与人类社会的积极及消极影响,位于社会系统与生态环境系统间;响应是人类在促进可持续发展进程中所采取的社会经济措施。

1.2 评价指标体系构建

在总结前人研究的基础上,初筛选出 162 个评价指标,利用主成分分析和聚类分析剔除部分指标,再邀请专家组(专家组成员分别来自:政府部门 4 名,港口企业 6 名,海事院校及研究院所 5 名)对相关指标进行再次筛选,最后确定 29 个指标为 DPSEI 框架的评价指标,具体如表 1 所示。

表 1 DPSEI 框架评价指标体系  
Tab.1 Evaluation indicator system of DPSEI framework

类别 Category	指标 Index	类别 Category	指标 Index
驱动力 Driver	GDP 增长率 GDP growth rate	结果 Effect	单位吞吐量 GDP Unit throughput GDP
	港口竞争力水平 Port competitiveness		船舶溢油事故的发生概率及影响水平 Occurrence probability and impact level of ship oil spill accidents
压力 Pressure	港口货物吞吐量增长率 Port cargo throughput growth rate		危险品泄露事故的发生概率及影响水平 The probability of occurrence of dangerous goods leakage accidents and the impact level
	港口营业利润 Port operating profit		扩大就业的贡献率 Increase the contribution rate of employment
	港口服务效率 Port service efficiency	响应 Response	交通便利指数 Traffic convenience index
	单位吞吐量综合能耗 Unit throughput comprehensive energy consumption		旅游人数增长率 Tourist growth rate
	单位吞吐量废水产生量 Unit throughput Wastewater production		污水排放达标率 Sewage discharge compliance rate
	单位吞吐量有害气体排放量 Unit throughput of harmful gas emissions		废气排放达标率 Exhaust emissions compliance rate
	单位吞吐量能源消耗量 Unit throughput energy consumption		环境噪声达标区覆盖率 Environmental noise compliance area coverage
状态 State	单位吞吐量固体废弃物年排放量 Unit Throughput Solid Waste Annual Emissions		危险废弃物安全处置率 Hazardous waste safe disposal rate
	空气综合污染指数 Air pollution index		清洁能源使用率 Clean energy usage
	水环境功能区覆盖率 Water environment function area coverage		资源回收利用率 Resource recycling rate
	噪声达标区覆盖率 Noise compliance area coverage		港口应急码头能力建设 Port emergency terminal capacity building
	港区绿化覆盖率 Port green coverage		公众对生态港口的认知率 Public awareness of the ecological harbor
			环保人员比例 Environmental protection personnel ratio

2 DPSEI 模型构建

利用 ANP (analytic network process) 方法确定各指标的权重,然后根据历年统计数据计算出各年份的生态港口得分。

2.1 指标权重确定方法

采用非线性内部循环依存递阶系统的 ANP 计算指标权重,具体计算步骤如下<sup>[12]</sup>:

1) 根据 ANP 评价结构计算判断矩阵,构造分析结构的超矩阵。以上层因素集中各因素为控制标准,将下层因素集中各因素进行两两比较,构造出两两比较判断矩阵,然后,根据 AHP 给出的判断矩阵处理方法,求出下层因素集中各因素的单排序权重向量,并基于这些权重向量分别构造出目标集对准则集,准则集对下一层因素集(即小准则集),...,倒数第二层因素集对最后一层因素集,指标集对方案集的影响矩阵  $W_{2,1}$ ,  $W_{3,2}$ , ...,  $W_{D,D-1}$ 。

与上述因素集之间影响矩阵的构造方法不同,因素集内部因素之间的依存矩阵是按如下方法予以

构造的: 先以  $g_i$  为控制标准,  $i = 1, \dots, n$ , 将目标  $g_1, \dots, g_n$  进行两两比较, 得出如式 (1) 所示的判断矩阵  $\mathbf{Z}^{(i)} = (z_{ij})_{n \times n}$ ,  $i, j = 1, \dots, n$ 。

$$\mathbf{Z}^{(i)} = \begin{bmatrix} g_i & g_1 & g_2 & \cdots & g_n \\ g_1 & z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ g_2 & z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_n & z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nn} \end{bmatrix} \circ \quad (1)$$

然后运用特征根法对式 (1) 进行求解, 计算出各目标的单排序权重向量  $(W_1^{(i)}, \dots, W_n^{(i)})^T$ , 并基于他们构造出目标集内部因素之间的依存矩阵  $\mathbf{W}_{1,1}$ , 即

$$\mathbf{W}_{1,1} = \begin{bmatrix} W_1^{(1)} & W_1^{(2)} & \cdots & W_1^{(n)} \\ W_2^{(1)} & W_2^{(2)} & \cdots & W_2^{(n)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_n^{(1)} & W_n^{(2)} & \cdots & W_n^{(n)} \end{bmatrix} \circ \quad (2)$$

最后, 与  $\mathbf{W}_{1,1}$  的构造方式类似, 分别构造出准则集内部因素之间的依存矩阵  $\mathbf{W}_{2,2}, \dots, \mathbf{W}_{D-2,D-2}$ , 指标集内部因素之间的依存矩阵  $\mathbf{W}_{D-1,D-1}$ 。

依据  $\mathbf{W}_{2,1}, \dots, \mathbf{W}_{D,D-1}$  以及  $\mathbf{W}_{1,1}, \dots, \mathbf{W}_{D-1,D-1}$  和反映方案集的  $D$  阶单位矩阵, 则有

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{1,1} & & & & 0 \\ \mathbf{W}_{2,1} & \mathbf{W}_{2,2} & & & \\ & \mathbf{W}_{3,2} & \ddots & & \\ & & \ddots & \mathbf{W}_{D-1,D-1} & \\ 0 & & & \mathbf{W}_{D,D-1} & \mathbf{W}_{D,D} \end{bmatrix} \circ \quad (3)$$

2) 构造加权矩阵, 并求出加权超矩阵。分别将各因素集作为控制标准, 构造因素集之间的两两比较判断矩阵, 计算出第  $d$  个因素集下因素集之间的相对排序向量  $(x_{1d}, \dots, x_{Dd})^T$ ,  $d = 1, \dots, D$ , 并基于这些排序向量, 构造出如式 (4) 所示的加权矩阵  $\mathbf{X}$ 。

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & & & & 0 \\ x_{2,1} & & x_{2,1} & & \\ & \ddots & & \ddots & \\ 0 & & x_{D,D-1} & & 1 \end{bmatrix} \circ \quad (4)$$

根据式 (3) 和式 (4), ANP 给出如式 (5) 所示的加权超矩阵  $\bar{\mathbf{W}}$ 。

$$\bar{\mathbf{W}} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{1,1}x_{1,1} & & & & 0 \\ \mathbf{W}_{2,1}x_{2,1} & & \mathbf{W}_{2,2}x_{2,2} & & \\ & \ddots & & \ddots & \\ 0 & & \mathbf{W}_{D,D-1}x_{D,D-1} & & \mathbf{W}_{D,D} \end{bmatrix} \circ \quad (5)$$

3) 计算加权超矩阵  $\bar{\mathbf{W}}$  的极限超矩阵  $\lim_{k \rightarrow \infty} \bar{\mathbf{W}}^k$ , 计算出各指标的权重。

由于 ANP 计算过程较为复杂, 采用 SUPERDECISION 软件进行计算。

## 2.2 DPSEER 评价模型

将表 1 中的所有评价指标录入到 SUPERDECISION 软件上, 根据专家组对各指标之间相关性的判断, 可以得到 DPSEER 模型的网络结构, 图 3 即为在 SUPSUPERDECISION 软件上的 DPSEER 模型网络结构截图。根据 DPSEER 模型设计调研问卷, 邀请专家组专家按照表 2 的 Saaty 标度法标示各个指标之

间的重要程度系数。

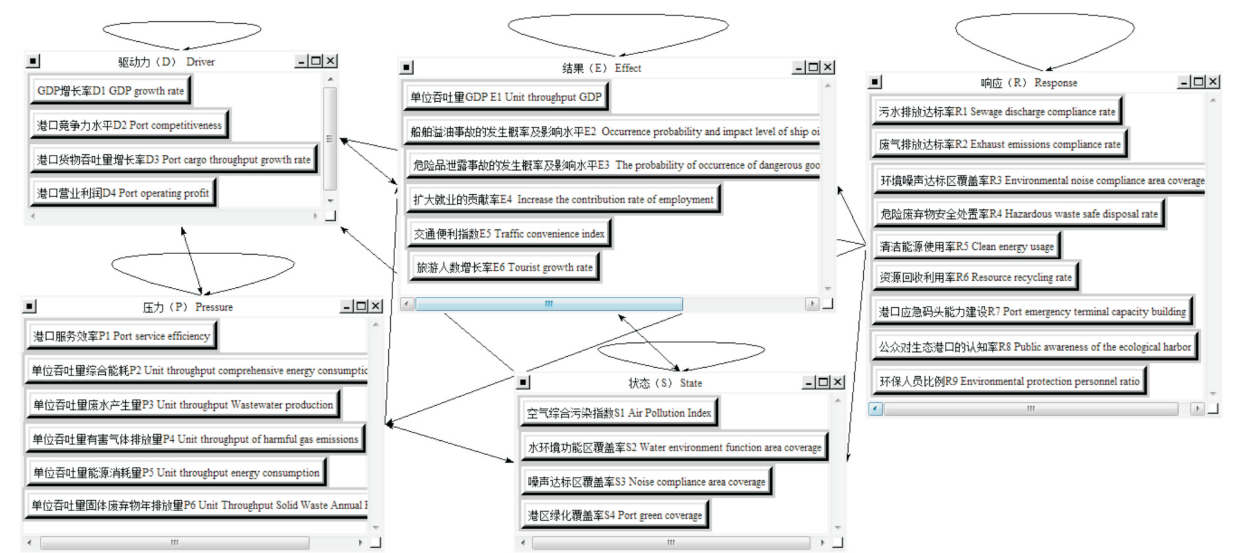


图 3 DPSER 模型网络结构  
Fig.3 DPSER model framework

表 2 Saaty 标度法  
Tab.2 Saaty fundamental scale

标值 Value	含义 Meaning	说明 Description
1	相同重要 Same important	两个指标一样重要 Two indicators are as important
3	稍微重要 Slightly important	前一个指标比后一个指标稍微更重要 The former index is slightly more important than the latter index
5	明显重要 Clearly important	前一个指标比后一个指标明显更重要 The former is obviously more important than the latter
7	强烈重要 Strongly important	前一个指标比后一个指标强烈更重要 The former indicator is more important than the latter indicator
9	极端重要 Extremely important	前一个指标比后一个指标极端更重要 The former index is more important than the latter
2,4,6,8	中间值 Median	

将专家问卷调查的结果输入 SUPERDECISION 软件中, 经一致性检验得到判断矩阵的一致性系数为  $0.047\ 47 < 0.1$ , 表明权重可以接受。经过计算加权矩阵和加权超矩阵, 最后得到极限超矩阵

$\lim_{k \rightarrow \infty} \bar{W}^k$ , 即各因素的权重, 如表 3 所示。

从计算结果来看, 港口竞争力水平单位吞吐量废水产生量、水环境功能区覆盖率、危险品泄漏事故的发生概率及影响水平、污水排放达标率的权重最高。因此, 要加强生态港口建设需要着重提高港口竞争力水平、水环境功能区覆盖率和污水排放达标率, 减少单位吞吐量废水产生量和危险品泄漏事故的发生概率及影响水平。

此外, 改进后的 DPSER 模型与 DPSIR 模型相比, 加入了“扩大就业的贡献率”、“交通便利指数”、“旅游人数增长率”三个人类经济社会对生态环境的积极影响因素, 使得对生态港口的评价更加全面。扩大就业的贡献率、交通便利指数、旅游人数增长率的权重分别为 0.021 44、0.021 66、0.022 11, 说明这三方面的因素对生态港口的建设影响不容忽视。

表 3 生态港口 DPSEr 模型评价指标权重  
Tab.3 Weight of DPSEr model evaluation index for ecological port

准则层指标 Guidelines levelindex	因素层指标 Factor levelindex	权重 Weight
驱动力 Driver	GDP 增长率 D1 GDP growth rate	0.013 65
	港口竞争力水平 D2 Port competitiveness	0.014 99
	港口货物吞吐量增长率 D3 Port cargo throughput growth rate	0.013 90
	港口营业利润 D4 Port operating profit	0.013 90
压力 Pressure	港口服务效率 P1 Port service efficiency	0.068 57
	单位吞吐量综合能耗 P2 Unit throughput comprehensive energy consumption	0.072 41
	单位吞吐量废水产生量 P2 Unit throughput Wastewater production	0.076 71
	单位吞吐量有害气体排放量 P4 Unit throughput of harmful gas emissions	0.076 69
	单位吞吐量能源消耗量 P5 Unit throughput energy consumption	0.072 84
	单位吞吐量固体废弃物年排放量 P6 Unit Throughput Solid Waste Annual Emissions	0.073 44
状态 State	空气综合污染指数 S1 Air Pollution Index	0.054 70
	水环境功能区覆盖率 S2 Water environment function area coverage	0.054 75
	区域噪声平均指数 S3 Noise compliance area coverage	0.054 69
	港区绿化覆盖率 S4 Port green coverage	0.051 77
结果 Effect	单位吞吐量 GDP E1 Unit throughput GDP	0.021 36
	船舶溢油事故的发生概率及影响水平 E2 Occurrence probability and impact level of ship oil spill accidents	0.024 91
	危险品泄露事故的发生概率及影响水平 E3 The probability of occurrence of dangerous goods leakage accidents and the impact level	0.024 99
	扩大就业的贡献率 E4 Increase the contribution rate of employment	0.021 44
	交通便利指数 E5 Traffic convenience index	0.021 66
	旅游人数增长率 E6 Tourist growth rate	0.022 11
响应 Response	污水排放达标率 R1 Sewage discharge compliance rate	0.017 81
	废气排放达标率 R2 Exhaust emissions compliance rate	0.017 22
	环境噪声达标区覆盖率 R3 Environmental noise compliance area coverage	0.016 84
	危险废弃物安全处置率 R4 Hazardous waste safe disposal rate	0.017 33
	清洁能源使用率 R5 Clean energy usage	0.016 36
	资源回收利用率 R6 Resource recycling rate	0.016 03
	港口应急码头能力建设 R7 Port emergency terminal capacity building	0.016 18
	公众对生态港口的认知率 R8 Public awareness of the ecological harbor	0.016 33
	环保人员比例 R9 Environmental protection personnel ratio	0.016 42

3 实例分析

选取珠三角主要港口广州港、深圳港、东莞港为研究样本。表 4 为三大港口 2015 年的货物吞吐情况，其中“集装箱吞吐占比因子”为集装箱吞吐量除以货物吞吐量，表示该港口集装箱货物吞吐量在整个港口货物吞吐量中的比重。集装箱吞吐占比因子越大，表示集装箱货物吞吐量在该港口所有货物吞吐中的比重越高；反之，则越低。

根据 DPSEr 模型，从广州港、深圳港、东莞港的相关年度报告、统计公报、统计年鉴查找 29 个指标数据，然后进行数据换算，无量纲化处理，最后得到各港口的 29 个指标数值。将指标数值乘以各指标权重，并求和，得到各港口的生态港口建设得分：深圳港 49.61 分，广州港 46.71 分，东莞港 26.83 分。从得分结果可以分析得出：1）深圳港得分最高，广州港得分次之，东莞港得分最差；深圳港集装箱货物吞吐量最大，集装箱吞吐占比因子最大，为 0.111 50；东莞港集装箱货物吞吐量最

小, 集装箱吞吐占比因子最小, 为 0.025 90; 由此可以看出, 集装箱吞吐占比因子越大的港口, 其生态港口建设水平也越高, 这是由于集装箱运输的大部分都是高附加值低污染的货物, 对生态环境影响较小所决定的。2) 生态港口建设水平的高低很大程度上取决于腹地经济水平, 东莞港的经济腹地主要是东莞市, 东莞市是一个典型的制造业城市, 而深圳港的经济腹地是以深圳为主的珠三角地区, 高科技产品较多, 从这点可以看出腹地经济越发达, 生态港口建设水平往往也更高。3) 东莞港集装箱主体港区 2008 年才投入使用, 虽然投入使用时间短, 但是生态港口建设得分却最低, 这表明后开发建设的港口生态建设水平并不一定高, 这点也说明我国新开发建设的港口并没有都把生态港口建设摆在很重要的位置。

表 4 三大港口货物吞吐量与集装箱吞吐量  
Tab.4 cargothroughput and container throughput of three ports

港口名称 Port name	货物吞吐量 Cargo throughput/万 t	集装箱吞吐量 Container throughput/万 TEU	集装箱吞吐占比因子 Container throughput accounting factor
广州港 Guangzhou Port	50 053.01	1 739.66	0.034 76
深圳港 Shenzhen Port	21 706.38	2 421.00	0.111 50
东莞港 Dongguan Port	13 000.00	336.30	0.025 90

4 结论

1) DPSEIR 模型比 DPSIR 模型对生态港口建设因素评价更为全面; 2) 集装箱吞吐占比因子比重大的港口生态港建设水平更高; 生态港口建设水平的高低很大程度上取决于腹地经济发展水平的高低, 腹地经济发展水平越高, 生态港口建设水平也就越高, 反之, 则越低。因此, 加快发展腹地经济和推动产业转型升级也是提升生态港口建设水平的一有力措施; 3) 生态港口的建设任重道远, 必须引起各相关部门的高度重视, 把生态港口建设提高到重要位置。

[ 参 考 文 献 ]

[1] 薄锋. DL 港生态港口发展对策研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2013: 32-33.

[2] 邵超峰, 鞠美庭, 何迎, 等. 基于 DPSIR 模型的生态港口指标体系研究 [J]. 海洋环境科学, 2009, 28(3): 333-336.

[3] 刘芳. 基于正态云模型的生态港口评价研究 [J]. 现代商业, 2014, 3(1): 201-203

[4] 邵超峰, 鞠美庭. 国内外生态港口建设现状分析及启示 [J]. 中国港湾建设, 2012, 2(1): 68-73.

[5] 王淑瑞, 王远渊. 我国绿色生态港口建设现状及对策 [J]. 世界海运, 2013, 36(3): 9-12.

[6] 刘翠莲, 刘健美, 刘南南, 等. DPSIR 模型在生态港口群评价中的应用 [J]. 上海海事大学学报, 2012, 6(2): 61-64.

[7] 赵宇哲, 刘芳. 生态港口指标体系的构建——基于 R 聚类、变异系数与专家经验的分析 [J]. 科研管理, 2015, 2(2): 124-132.

[8] ZHEN WANG, JINGQING ZHOU. A dpsir model for ecological security assessment through indicator screening: a case study at dianchi lake in china [J]. Plos One, 2015, 24(6): 137-150.

[9] FARNAZ NAJAFINASAB, ABDOL REZA KARBASSI, JAMAL GHODDOUSI. Fuzzy analytic network process approach to evaluate land and sea criteria for land use planning in coastal areas. [J]. Ocean&Coastal Management, 2015, 16(2): 368-381.

[10] GUANGHONG ZHOU, JAGDEEP SINGH, JIECHEN WU, et al. Evaluating low-carbon city initiatives from the DPSIR framework perspective [J]. Habital International, 2015, 12(5): 289-299.

[11] GERVENTV, BLOCK, GEENS J, et al. Environmental response indicators for the industrial and energy sector in flanders [J]. Journal of Cleaner Production, 2007, 15(10): 886-894.

[12] 孙永河. 基于非线性复杂系统的 ANP 决策方法研究 [M]. 北京: 光明日报出版社, 2013: 145-158.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)