

DOI :10.3969/j.issn.1003-9511.2011.01.003

# “港口—产业—城市”复合系统协调度模型

蒋柳鹏, 封学军, 王 伟

(河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 分析了“港口—产业—城市”复合系统(port-industry-city composite system, 以下简称 PICCS)的特性, 认为 PICCS 是具有耗散结构特征的开放系统。依据协同原理, 构建了 PICCS 协调度模型, 运用该模型计算连云港市 PICCS 的协调度。结果表明, PICCS 协调度模型能够量化地显示 PICCS 的协调发展状况, 并找出 PICCS 发展过程中存在的主要问题, 从而为港口地区港口、产业、城市协调发展机制的建设以及社会经济宏观发展目标的制定提供数据支持与决策依据。

**关键词:** 协调度; 协同论; “港口—产业—城市”复合系统; 耗散结构

**中图分类号:** F552.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-9511(2011)01-0011-04

纵观世界经济和港口城市发展历程, 目前全世界经济总量的 50% ~ 70% 以上聚集在距海岸线宽度 100 km 以内的沿海、沿河地带。全世界的经济发达地区都与港口结合在一起, 共生共荣, 如在莱茵河两岸, 出现了伦敦、汉堡、鹿特丹等港口城市和莱茵河产业带, 在美国东西海岸和五大湖区形成了洛杉矶、蒙特利尔等著名的港口城市和经济区。总结这些地区的发展规律可以发现, 这些港口城市都存在一些共性特征, 即港口、产业、城市发展三者紧密相连。随着经济全球化进程的加快, 国际产业转移活动日趋频繁, 以港口为核心的综合交通体系的开发和建设, 带动了相关产业的兴起和发展; 产业的兴起又促进了港口的繁荣, 带动城市的发展和繁荣; 城市作为载体, 为各种产业以及港口提供物质基础和发展空间, 城市文化也是港口经济发展极其重要的条件。在此背景下, 港口、产业与城市形成一个“三位一体”的系统, 三者之间相辅相成, 共同形成一个“港口—产业—城市”复合系统(port-industry-city composite system, 以下简称 PICCS)。

国内外学者开展了港城关系研究: 为探索港口、产业与城市的关系, Hayuth<sup>[1]</sup>提出港口优先发展论和新贸易理论, 并对港城关系进行了解释; Matthew<sup>[2]</sup>从计量地理学探讨了港口群系统的演化机制; Samuel<sup>[3]</sup>用数学模型分析了港口群系统中子系统的协同关系; 国内学者封学军<sup>[4]</sup>从港口在物流

系统的地位和带动临港产业发展两方面阐述了港航经济系统构成因素; 陈洪全<sup>[5]</sup>以废黄河三角洲为例, 分析了港口、产业、城镇三位一体的空间结构模式; 陈再齐, 等<sup>[6]</sup>以广州港为例, 进行了港城互动的理论分析; 匡海波<sup>[7]</sup>借助关联度分析方法, 研究了城市经济对港口发展的带动效应, 并分析了港口经济发展对城市经济发展的作用, 并以大连港为例做实证研究; 郑辉<sup>[8]</sup>从港口核心竞争力角度研究了港城系统演化推动力。随着研究的深入和模型的日趋复杂化, 此类研究的对象逐渐由单个港口转向港口、产业与城市复合系统。可见, 对港口、产业与城市关系相关研究的涉及面很广, 从单个港口到港城互动、从港城关系到国际政策, 均有涉及, 但这些研究的不足之处主要是不能满足港口、产业与城市系统整体性和互动性的要求。此外, 由于 PICCS 相关的理论方法体系尚未建立, 基于理论基础之上的港口、产业与城市协调发展相关对策的研究仍很薄弱。

## 1 PICCS 的特性分析

### 1.1 PICCS 是开放的复合系统

由相互作用、相互依赖、相互制约的若干部分组成的具有特定功能的有机整体被视为系统。PICCS 是指特定港口区域的港口生产、产业发展与城市相容一系列活动, 港口、产业与城市子系统通过相互作用、相互影响、相互制约而构成具有一定结构和功能

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(50909042); 江苏省哲学社会科学基础研究基地课题(09JD017); 江苏省 2010 年度普通高校研究生科研创新计算项目(1045B10053)

作者简介: 蒋柳鹏(1984—), 男, 江苏泰兴人, 博士研究生, 从事港口经济研究。

的有机整体。可记 PICCS 为  $S = f(S_1, S_2, S_3)$ , 其中  $S_1$  为港口子系统,  $S_2$  为产业子系统,  $S_3$  为城市子系统,  $f$  为复合函数。

PICCS 由 3 个具有相互关联的子系统组成, 是多目标、多介质和多功能的复杂动力学系统, 系统中的子系统间存在各种依存和制约关系, 但系统的核心是港口, 没有合理的港口生产活动, PICCS 就不能有效运行。系统运行过程中, 具有输入和输出流, 系统周围环境向系统输入资金、土地、信息、劳动力等资源, 系统向周边环境输出港口服务、产业发展与城市经济增长效益等。在系统与外部环境不断交换物质、能量和信息过程中的一定阶段, 港口、产业与城市保持均衡, 也就是说, 健康发展的 PICCS 是一个开放的复合系统。

### 1.2 PICCS 具有耗散结构特征

根据耗散结构理论, 对于一个开放系统, 环境向系统输入的正“熵”与系统内自发产生的“熵”结合为系统总“熵”, 系统总“熵”增加, 导致系统无序化。但当环境向系统输入负“熵”, 而这个负“熵”又足以抵消系统内产生的“熵”, 并使系统的总“熵”减少时, 则系统将自发有序化。有序化是通过系统内部“涨落”的非线性机制放大效应完成的。

PICCS 在与外界系统不断交换物质、能量和信息的过程中, 外界环境输入因素的变化(例如突发金融危机导致的货运需求大幅萎缩, 或者世界产业转移带动的货运需求旺盛等)使 PICCS 获得自身的“负熵流”, 并通过自身的调节控制机制使系统不断有序化, 系统结构也不断复杂化。PICCS 是高度组织化和有序化的系统。从港城互动发展历程上看, PICCS 的新结构最初总是对旧结构的某种偏离和涨落, 当这种扰动超过某个阈值时, PICCS 通过某种活动, 使系统结构发生突变, 从而 PICCS 新结构代替旧结构, 新的“港口-产业-城市”秩序得以形成。

### 1.3 PICCS 是远离平衡的具有非线性作用机制的系统

根据耗散结构理论, 在远离平衡的非线性区, 缺少定态的稳定性, 在适当的条件下, 宏观有序的结构有可能自发形成。一方面 PICCS 与外界系统不断进行物质、能量和信息交换, 而外界系统输入的物质、能量和信息具有非线性特征, 这使得 PICCS 的结构和功能不断复杂, 在远离平衡态的状况下系统无序度不断增加; 另一方面由于 PICCS 的结构具有多层次和多方面的复杂性, 其子系统之间关系复杂、相互作用, 具有非线性特征, 因此 PICCS 是远离平衡态的具有非线性作用机制的系统。

## 1.4 PICCS 的役使原理

根据协同学的役使原理, 系统在相变点处的内部变量可以分为快弛豫变量和慢弛豫变量两类。慢弛豫变量通过役使原理决定各个部分的行为, 所有子系统都受这些“慢变量”的支配。慢弛豫变量衰减变化较慢, 主宰整个系统演变的方向, 通过它们就可以描述系统的演化, 也称系统的序参量。快弛豫变量数目相对较多, 其衰减变化较快。快弛豫变量服从于慢弛豫变量, 对系统的结构、功能变化不起主导作用, 可以不加考虑。PICCS 从无序走向协调的机制关键在于其序参量之间的协同作用, 因此, 研究港口-产业-城市的协同演化行为可以通过构建 PICCS 序参量变量演化方程来确定。根据协同学理论, 对 PICCS 的组织过程及效用采用如下方程描述:

$$q = Aq + B(F)q + C(F) \quad (1)$$

式中:  $q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ , 为 PICCS 的序参量;  $F$  为系统外的作用力;  $A, B(F), C(F)$  分别为相应的序参量系数集;  $B(F), C(F)$  为  $F$  的线性或非线性函数, 且有  $\lim_{F \rightarrow 0} B(F) = \lim_{F \rightarrow 0} C(F) = 0$ 。

式(1)说明了在其他系统外部作用力  $F$  的影响下, PICCS 内部序参量之间的协同效果是  $q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  的一组具体取值; 当其他组织影响消失以后, 系统内部序参量之间的协同效果仅取决于系统内部的自组织过程。

## 2 基于协同理论的 PICCS 协调度模型构建

在复合系统的研究中, “熵”经常用来描述系统的复杂度与协调程度。作为非平衡复合系统的“熵”值是无限增大的, 且可对比性较差, 所以对 PICCS 协调程度的评价不宜采用“熵”来表达。本文用标量函数  $H \in [0, 1]$  来度量 PICCS 的协调度, 其值越大, 表明系统各种因素的匹配程度和内外部的适应程度越高, 系统的协调效果越好。这里, 重点需解决两个问题: 一个是序参量有序度的评价; 另一个是系统协调度与系统序参量有序度之间的关系。

### 2.1 PICCS 序参量的选择与评价

根据 PICCS 运行过程中的各参数及其相互关系, 通过 2 个步骤确定 PICCS 的序参量。第一步: 宏观定性分析, 设计专家问询表格。通过层次分析法计算各序参量  $q_i (i = 1, 2, \dots, n)$  的权重  $w_i (i = 1, 2, \dots, n)$ , 选择那些对 PICCS 协调度有决定性影响的独立序参量; 第二步: 根据权重结果进行排序, 排除相互有依存关系的参数, 筛选出 PICCS 的序参量。笔者选取①港口规模, ②港口服务能力, ③产业规模, ④产业结构, ⑤城市经济规模, ⑥城市土地, ⑦政府政策导向, 作为 PICCS 序参量。这里只是在一般

意义上对 PICCS 的序参量进行讨论,具体的序参量的个数并不会影响研究结果。

## 2.2 PICCS 协调度定义及分析

本文就 PICCS 协调度作如下定义:设 PICCS 的序参量由  $\{q_i | i = 1, 2, \dots, n\}$  组成,序参量  $q_i$  的发展水平分别由  $\{E_i | i = 1, 2, \dots, n\}$  来表示,序参量发展水平  $E_i$  是序参量  $q_i$  的函数,而 PICCS 整体发展水平由  $E_*$  来表示。设 PICCS 整体发展水平与各序参量发展水平满足以下关系:

$$E_* = \sum_{i=1}^n \omega_i E_i \quad (2)$$

式中:  $E_*$  为 PICCS 整体发展水平;  $E_i$  为序参量发展水平;  $\omega_i$  为各序参量对于复合系统整体的权重。

在时间点  $t$  可以定义序参量衰变速度为

$$\left(\frac{dE_i}{dt}\right)_i = \frac{(E_i)_t - (E_i)_{t-1}}{(E_i)_{t-1}} \quad (3)$$

式中  $(E_i)_t$  和  $(E_i)_{t-1}$  分别为序参量在时间点  $t$  和  $t-1$  时的发展水平。

序参量  $q_i$  在时间  $t$  点的协调度  $H_i$  可以定义为

$$H_i(t) = \begin{cases} \exp\left(\frac{dE_i}{dt} - \frac{dE_*}{dt}\right) & \frac{dE_i}{dt} < \frac{dE_*}{dt} \\ 1 & \frac{dE_i}{dt} = \frac{dE_*}{dt} \\ \exp\left(\frac{dE_*}{dt} - \frac{dE_i}{dt}\right) & \frac{dE_i}{dt} > \frac{dE_*}{dt} \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $H_i(t)$  为序参量  $q_i$  在时间  $t$  点的有序度,  $\frac{dE_*}{dt}$  为 PICCS 整体发展速度。

当  $\frac{dE_i}{dt} < \frac{dE_*}{dt}$  时,说明序参量  $q_i$  在  $t$  时刻的衰变速度大于 PICCS 整体发展速度,即序参量  $q_i$  衰变过快;当  $\frac{dE_i}{dt} = \frac{dE_*}{dt}$  时,说明序参量  $q_i$  在  $t$  时刻的衰变速度与 PICCS 整体发展速度相等,处于协调发展状态;当  $\frac{dE_i}{dt} > \frac{dE_*}{dt}$  时,说明序参量  $q_i$  衰变缓慢,其发展速度落后于 PICCS 整体发展速度。根据式(3),

序参量  $q_i$  的协调度  $H_i \in [0, 1]$ ,且仅当  $\frac{dE_i}{dt} = \frac{dE_*}{dt}$  时,序参量  $q_i$  的协调度达到最大。

## 2.3 序参量与系统协调度之间的关系

序参量是时间的函数,在此将序参量作为一个向量。由于在 PICCS 发展的不同时期,各个序参量对系统协调度的重要程度并不相同,有的并不起作用,而有的则起关键作用,因此,在 PICCS 的协调度与序参量的关系中,还应该有一个表示每个序参量作用程度大小的系数,称之为权系数。基于以上分

析,序参量向量与 PICCS 协调度之间的关系可以表示为

$$H_s(t) = F(q(t), \omega(t)) \quad (5)$$

式中:  $H_s(t)$  为 PICCS 在  $t$  时刻的系统协调度,  $q(t) = (q_1(t), q_2(t), \dots, q_n(t))^T$  为序参量向量;  $\omega(t) = (\omega_1(t), \omega_2(t), \dots, \omega_n(t))^T$  为权系数向量,随系统的变化,在不同的系统发展阶段,这个权重系数矩阵也不相同,所以将其定义为时间的函数。权重系数矩阵反映了相应序参量对系统协调程度的贡献程度的大小,且  $\sum_{i=1}^n \omega_i(t) = 1$ 。则系统在  $t$  时刻的整体协调度计算模型为

$$H_s(t) = \sum_{i=1}^n \omega_i(t) H_i(t) \quad (6)$$

## 2.4 序参量发展水平评价指标体系的构建

根据上述 PICCS 系统协调度的定义, PICCS 系统协调度评价模型实施的关键是如何确定各序参量的发展水平及 PICCS 系统整体发展水平。在本研究中通过建立综合评价指标体系来实现这一过程。笔者设计的 PICCS 序参量发展水平评价指标体系如表 1 所示。

表 1 PICCS 序参量发展水平评价指标体系

序号	序参量	要素层	指标层 ( $X_{ij}$ )	权重	
1	港口规模	港口硬件	集装箱码头个数	$\omega_{11}$	
			深水码头个数	$\omega_{12}$	
		港口效益	港口产值	$\omega_{13}$	
2	港口通过能力	货物通过能力	港口吞吐量	$\omega_{21}$	
			集装箱吞吐量	$\omega_{22}$	
		港口效率	船舶平均压港时间	$\omega_{23}$	
			泊位平均装卸效率	$\omega_{24}$	
3	产业规划	临港产业效益	临港产业生产总量	$\omega_{31}$	
			临港产业利润率	$\omega_{32}$	
		临港产业企业	入驻临港产业企业数量	$\omega_{33}$	
4	产业结构	临港产业类别	第三产业比重	$\omega_{41}$	
			辅助产业比重	$\omega_{42}$	
		港口上游产业比重	港口上游产业比重	$\omega_{43}$	
			城市经济	城市居民生产总值	$\omega_{51}$
				港口所占城市经济比重	$\omega_{52}$
5	城市经济规模	城市货运量	港口货运量占货运总量比重	$\omega_{53}$	
		城市土地供给	岸线资源	城市可用岸线长度	$\omega_{61}$
6	城市土地供给		城市已开发岸线的比例	$\omega_{62}$	
		土地供给	港口产业用地规模	$\omega_{63}$	
			港口土地价格	$\omega_{64}$	
7	政府政策导向	政策层面	政府重视程度	$\omega_{71}$	
		资金层面	政府资金投入	$\omega_{72}$	

采用层次分析法(AHP)确定各指标权重  $\omega_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, 7; j = 1, 2, 3, 4$ ),在不同时间节点设计专家调研问卷,计算出序参量及指标的权重。由于本研究中建立的 PICCS 发展水平评价指标体系所涉及的评价指标较多,难以对每一个评价指标值确定出

一个最优标准,因此采用级差法将指标标准化:

设  $X_s$  为指标标准化值,对于正向指标:

$$X_s = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (7)$$

式中:  $X_i$  为评价指标取值,  $X_{\min}$  和  $X_{\max}$  为指标可能取得的最低值和最高值。

对于逆向指标:

$$X_s = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (8)$$

### 3 实例分析

以江苏沿海地区连云港市 PICCS 为例。连云港港现为江苏省最大海港、苏北和中西部地区最经济便捷出海口、新亚欧大陆桥东桥头堡,是我国沿海交通枢纽港和能源外运的重要口岸之一,以腹地内集装箱运输为主,并承担亚欧大陆间国际集装箱水陆联运的重要中转。综合分析影响港口吞吐量发展的各种相关因素,预测连云港港 2010 年及 2020 年吞吐量分别达 1.2 亿 t 和 1.9 亿 t,其中集装箱吞吐量达 340 万标准箱和 800 万标准箱。

运用前述方法分析连云港市港口、产业、城市协调发展状况,对 PICCS 协调度模型进行了实证分析,以验证所提出模型的正确性与可操作性。考虑数据的获得性和计算的工作量,对序参量和序参量发展水平指标评价体系做了简化。依据《连云港统计年鉴(2000~2009 年)》以及相关资料,得到连云港港口

—产业—城市协调度评价的基础数据如表 2 所示。将各指标截取 2000~2009 年的 PICCS 统计样本数据,计算得到该区域 PICCS 协调度  $H_s$  共 10 个节点数据,这些计算数据的时间历程趋势如图 1 所示。

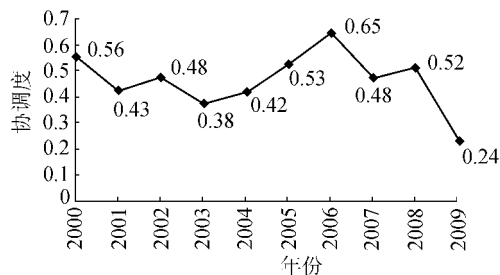


图 1 2000~2009 年连云港市 PICCS 协调度时间历程

从总体上看,连云港市 PICCS 具有正协调度,即该系统处于协调发展状态,协调度的峰值不高(运算结果表明:  $H_{s, \max} = 0.698$ ),即系统的整体协调程度不高,协调度的“抖动”程度比较大,第 9~10 号节点有明显下降坡度,可以认为是 2008 年开始的金融危机对连云港市港口产生影响。而其他节点无明显规律性,说明连云港市 PICCS 的协调状况不是非常稳定。

### 4 结论

笔者分析了 PICCS 的系统特征,依据协同理论筛选出 PICCS 的序参量,并构建了协调 PICCS 序参量指标体系来计算 PICCS 序参量的协调度,依据

表 2 连云港港口—产业—城市协调度评价基础数据

年份	GDP/亿元	人均 GDP/元	二三产业比重/%	工业增加值/亿元	固定资产投资/亿元	销售过亿企业数量/个
2000	293.19	6488	74.2	104.95	127.93	24
2001	316.05	6906	75.4	113.39	151.82	24
2002	350.30	7585	76.6	127.11	180.54	26
2003	351.13	7536	76.4	114.06	212.28	29
2004	416.36	8891	78.7	144.03	246.30	30
2005	455.97	10003	79.5	149.41	384.60	50
2006	527.38	11656	81.8	188.36	423.89	73
2007	615.23	13710	83.4	229.34	507.37	113
2008	750.10	16808	83.6	281.29	777.68	165
2009	941.13	21144	83.6	342.21	1000.10	184

年份	运输业增加值/亿元	进出口总额/亿美元	港口吞吐量/万 t	集装箱吞吐量/万标准箱	科研总投入/亿元	技术人员数量/万人	支柱产业产值/亿元
2000	22.67	4.85	2708.2	12.01	4.32	11.23	112.23
2001	19.90	6.81	3058	15.75	4.45	13.16	153.46
2002	22.33	7.46	3316.2	20.51	4.87	18.58	173.40
2003	19.09	9.83	3752	30.11	5.98	20.15	234.32
2004	23.40	15.39	4352	50.23	7.39	23.13	239.28
2005	30.54	20.39	6016	100.5	7.43	24.59	253.98
2006	45.80	27.13	7232	130.00	10.30	25.48	272.63
2007	64.20	32.53	8507	200.31	13.20	28.38	425.34
2008	85.40	44.49	10060	300.05	18.20	31.20	576.43
2009	97.20	38.60	11378	303.20	20.30	33.10	659.73

(下转第 18 页)

比  $E_B = 1.769 > 1$ 。

评价指标结果表明,工程的建成发挥了巨大的防洪除涝作用,产生了良好的社会经济效益。同时,由于工程投资费用影响因素较多,难以对其进行敏感性分析,本文仅分析效益变化对主要经济评价指标的影响,分析结果见表4。

表4 敏感性分析结果

效益调整方案	经济净现值/万元	经济内部收益率/%	效益费用比
基本方案	16333.60	17.44	1.769
效益增加10%	20090.84	19.87	1.946
效益减少10%	12576.36	15.13	1.592
效益增加20%	23848.08	21.17	2.122
效益减少20%	8819.12	12.91	1.415

由表4可知,效益减少时,经济净现值及内部收益率变化较大,说明降低工程标准会使得工程效益减少程度较大,不宜减少现有工程规模;效益增加时,虽然经济净现值变化也较大,但是现有工程规模已基本满足防洪和除涝要求,若过大提高工程标准来提高工程经济效益,必将会引起工程投资的大幅提高。可见现有工程规模和标准较为合理,且效益变化时各项指标依然能够满足要求,工程具有一定抗风险能力。

### 3 结语

根据防洪除涝工程特点对国民经济后评价方法进行分析,并结合实际工程进行计算,结果表明,工程经济效益显著、工程规模合理、抗风险能力强。但从阶段性效益看,工程效益远小于投资,其原因是防洪除涝工程为公益性工程,一次性投资大,运行期长,工程价值尚未充分体现。只有提高工程的科学管理、加强工程日常维护、落实相应的运行及设备更

新经费,才能保证工程发挥长期效益<sup>[14]</sup>。同时,由于国民经济后评价对工程投资决策有着重要影响,因此,应当加强反映工程建设及运行情况的基础数据收集与整理,并依据工程实际采用合理的分析方法开展评价,从而得到科学的后评价结论。

### 参考文献:

[1] 中国水利经济研究会. 水利建设项目后评价理论与方法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

[2] 刘红, 吴婷婷, 方国华. 多层次灰色评价法在城市防洪工程后评价中的应用[J]. 水利经济, 2010, 28(3): 5-8.

[3] PETER D. Marketing management and strategy[M]. New Jersey: Prentice Hall Inc, 1994.

[4] 季云. 水利建设项目后评价研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2003, 23(3): 57-59.

[5] 涂开登. 浅析如何做好水利建设项目后评价[J]. 广东水利水电, 2004(4): 88-89.

[6] SL72—94 水利建设项目经济评价规范[S].

[7] 何建新. 安徽省怀洪新河工程项目后评价[D]. 南京: 河海大学, 2007.

[8] 河南省老科技工作者协会. 河南省淮干流陈族湾大港口圩区治理工程后评价报告[R]. 郑州: 河南省水利厅, 2005.

[9] SL206—98 已成防洪工程经济效益分析计算及评价规范[S].

[10] 冯民权, 周孝德, 张根广. 洪灾损失评估的研究进展[J]. 西北水资源与水工程, 2002, 13(1): 32-36.

[11] 雷杨, 梁忠民. 防洪工程经济效益计算方法研究进展[J]. 水利经济, 2008, 26(3): 6-20.

[12] 吴泽宁, 张超, 赵仁荣, 等. 工程项目系统评价[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.

[13] 国家发展和改革委员会, 建设部. 建设项目经济评价方法与参数[M]. 3版. 北京: 中国计划出版社, 2006.

[14] 覃琼霞, 黄笛. 防洪减灾治理中的非工程措施: 以瓯江流域为例[J]. 水利经济, 2010, 28(1): 8-10.

(收稿日期 2010-09-01 编辑 张志琴)

(上接第14页)

PICCS 序参量协调度与 PICCS 的关系, 估算出 PICCS 的协调度。以连云港市为例, 验证本文构建的 PICCS 协调度评价模型, 结果表明, 该模型能够量化表示 PICCS 的协调发展状况, 并能找出 PICCS 发展过程中存在的主要问题, 从而为港口地区港口、产业、城市协调发展机制的建设以及社会经济宏观发展目标的制定提供数据支持与决策依据。通过对这一问题的研究, 可为 PICCS 的演化机理和相互作用情况等的进一步研究打下理论基础。

### 参考文献:

[1] HAYUTH Y. Rationalization and deconcentration of the U.S. container port system[J]. Professional Geographer, 1988, 40

(3): 279-288

[2] MALCHOW B M. An analysis of port selector[D]. Berkeley: University of California, 2001.

[3] SAMUEL B. Adaptive synchronization between two different chaotic dynamical systems[J]. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2007, 12(6): 976-985.

[4] 封学军, 王伟, 蒋柳鹏. 港口群系统优化模型及其算法[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(3): 122-126.

[5] 陈洪全. 基于港口、产业、城镇三位一体的空间结构模式构建[J]. 盐城师范学院学报: 人文社会科学版, 2009, 29(3): 28-33.

[6] 陈再齐, 曹小曙, 阎小培. 广州港经济发展及其与城市经济的互动关系研究[J]. 经济地理, 2005, 25(3): 373-378.

[7] 匡海波. 基于关联度模型的港口经济与城市经济关系研究[J]. 中国软科学, 2007(8): 100-107.

[8] 郑辉. 我国港口竞争力及其演化的理论与方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.

(收稿日期 2010-06-10 编辑 彭桃英)