

产业生态系统区域能值分析指标体系^{*}

陆宏芳¹, 彭少麟^{1,2}, 任海¹, 陈烈³

(1 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650)

2 中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广东 广州 510275

3 中山大学规划设计研究院, 广东 广州 510275)

摘 要: 针对当前产业生态系统评价指标体系缺乏和不完善的现状, 整合区域经济学和能值理论、概念、综述研究方法和评价指标体系与思路, 构建了产业生态系统区域能值分析指标体系。针对产业生态系统不仅具有闭路循环性, 而且具有开放性、本土性和经济性的基本特征的评价需求, 从资源消耗、内部循环、产出交换、废弃排放等方面, 在原有能值评价指标的基础上补充构建了外资能值依赖率、能值出口率和能值内部反馈率等新指标。顺德市产业生态系统改革开放 22 a 发展动态的案例研究表明, 新构建的产业生态系统区域能值指标, 能够针对产业生态系统特点, 进行有的放矢的分析研究, 并具有多尺度整合研究的扩展弹性。

关键词: 依赖; 影响; 反馈; 自组织

中图分类号: X32.02 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 02-0068-05

产业的生态化已成为了人类社会实现其向可持续发展道路转型的瓶颈和各界关注的焦点。产业生态学应运而生, 并先后经历了清洁生产^[1]、产业代谢^[2-3]和产业生态学^[4-8]等发展阶段, 研究尺度不断提升。当前的产业生态学研究已发展到从生产技术、流程、企业到区域性产业生态园的各个中、微观尺度, 但局部的最优并不等于整体的最优^[9-10]。城市是人类产业活动的基本单元, 城市尺度的研究必将成为产业生态学研究尺度提升历程的下一站。

产业生态系统是按生态经济学原理和知识经济规律组织起来的网络化生态-经济复合系统, 其产业生态系统的生态经济复合性质直接导致了产业生态学的多学科交叉特性^[11], 而产业生态学的研究方法则因而具有了多样性的特点。各种工程学、生态学、经济学、社会学的研究方法, 诸如工程设计^[12]、过程整合^[13]、生命周期评价^[14], 系统分析^[9]、总成本评价^[15]、Exergy 分析^[16]等, 在产业生态学研究中有运用价值, 但由于各自的学科侧重点不同, 往往不能从总体上全面地考查到包括生态、经济和社会在内的产业生态系统可持续发展研究的几大主要方面^[17-21]。以美国著名生态学家 H.T.Odum 为首于 20 世纪 80 年代创立的能值研究方法, 以能值 (Emergy) 这一全新的价值度量尺

度为量纲, 以能值转换率 (Emergy Transformity) 和能值货币比 (Emergy \$) 为转换介质, 突破了不同质量的能量统一评价的难题, 实现了生态与经济价值的统一评价, 对于能量等级结构和生态经济界面的统一评价方面具有明显的优越性^[22]。

面对产业生态学系统分析的需求, 原本面向各种生态经济系统分析所需而构建的能值评价指标体系过于强调各种系统共性的评价, 而缺乏针对产业生态系统固有的个体特性进行分析的评价指标, 而这正是产业生态系统分析评价研究所最需要的。本研究从产业生态系统基本特征出发, 沿产业生命周期链分区整合原有能值指标与区域经济学评价思路, 构建全新的产业生态系统能值评价指标体系, 并将其实践应用于顺德市产业生态系统改革开放 22 a 发展动态的综合分析研究。

1 产业生态系统区域能值指标体系

产业生态学能值整合方法的构建首先要适应产业生态学研究的需要。这就要求新构建的产业生态学能值分析、评价体系至少能就产业生态系统开放性、本土性、闭路循环性和经济性 4 大基本特征^[27]进行有针对性的分析和评价。Odum 创立的能值评价指标体系只能部分地满足这种针对性评价要求, 而区域经济学的系统评价思路恰好为满足这种

* 收稿日期: 2005 08 10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30170147 3027028); 广东省自然科学基金资助项目 (04002319)

作者简介: 陆宏芳 (1976 生), 女, 博士, 副研究员; 通讯联系人, 彭少麟; E-mail: lssps@mail.sysu.edu.cn

需求提供了极好的参考。这要求我们在对原有能值评价指标进行挑选的基础上，进行根据需要进行能值分析指标与区域经济学分析指标的整合。

1.1 开放性能值评价指标体系

产业系统的开放性是指其生态经济活动是全球地球化学循环、经济大市场和工艺发展网络中的一环，不可避免地与其他系统发生联系和互作，理想的产业生态系统就是能够正确认识自身在上述大循环、市场和网络中的生态位点，从而与其他系统协同进化的产业系统^[23]。产业生态系统开放性的评价实质上是针对目标系统与其外部生态、经济环境界面的互作评价，具体表现在投入的对外依赖性和产出的对外影响度。现有能值评价指标中，能值产出率和能值投资率都是反映系统能值投入结构中，当地“免费”的自然资源与社会经济反馈投入能值所占的比率情况的指标，两者应呈现相反的变化趋势^[22 24]。在高度依赖于社会经济反馈投入、社会经济水平高度发展的城市产业生态经济系统中，能值投资率比能值产出率具有更高的敏感性。与自然生态系统不同，产业生态系统不仅通过自身的组织能力从外界摄取资源，而且受到外部资源和市场的拉动力影响，如外资的投资流入、产品的出口、外销等。这种特性的评价在原有的能值评价指标体系中尚未涉及。而在区域经济学的评价研究中，外资利用率、产品外销率则早有应用。由于这些指标所需要的数据在小至企业大到国家的各级产业系统的统计报表中往往都是可得，而且可以通过能值转换率和能值货币比转化为统一的能值单位，因而可将其评价思路引入产业生态系统能值评价指标体系的构建，以实现产业生态系统开放性更为全面的评价。具体构建如下：

$$\text{外资能值依赖率 (DFC)} = \frac{\text{外资能值投入量}}{\text{能值投入总量}} = \frac{DC}{U}$$
$$\frac{DC}{R+N+F+RI}$$
$$\text{能值出口率} = \frac{\text{出口能值量}}{\text{能值产出量}}$$

由于各地市统计数据口径所限，具体的出口能、物流数据多不可得，而只能得到出口额（EO，货币单位），即出口能值与出口交易中能值交换率（EER）的乘积数据。同时，各种产出品生产过程亦非系统层面，尤其是城市系统层面的研究所能一一明晰的。如果将自用产品和运出产品统一归为产出能值，总产出能值（Y）等于总投入能值（U）。通过市场交换后的系统产出收益（EB）为产出能值与系统总能值交换率（包括出口交易的EER）的乘积。显然 EB 与 EO 统计口径一致，具

可比性，故可将上述能值出口率（ERO）的构建公式变型为：

$$ERO = \frac{\text{出口额} \times \text{能值货币比}}{\text{能值产出量} \times \text{能值交换率}} =$$
$$\frac{EO \times Em / \$ \text{ ratio}}{U \times EER} = \frac{EO \times Em / \$ \text{ ratio}}{(R+N+F+RI) \times EER}$$

1.2 本土性能值评价指标体系

产业生态系统的本土性特征是指产业生态系统具有不断提高自组织能力，提高资源使用效率，降低资源的对外依赖和废物（能）排放的污染转移影响的特性。产业生态系统开放性与本土性是一个问题的两个方面，其评价可从投入端的对外依赖和产出端的对外影响两个方面进行，以产业系统对于本地资源和能源的依赖程度以及系统产出对本地影响等为重点。能值自给率^[23]，明显地具有这种评价的针对性，但鉴于其与能值投资率的直接相关关系，仅选取能值分析研究中应用更广的能值投资率进行两方面的兼顾分析。在系统产出的本土性影响方面，可引入区域经济学的产品内销率评价指标思路，以产出中供系统自用的能值除以产出能值总产出，构建能值内部反馈率指标（ERF）：

$$\text{能值内部反馈率 (ERF)} = \frac{\text{内部反馈能值}}{\text{系统能值总产出}} = \frac{EF}{U}$$
$$\frac{EF}{R+N+F+RI}$$

1.3 闭路循环性能值评价指标体系

闭路循环性的实质是指产业生态系统对于其环境母系统压力具有最小化的特性，实现路径一是主要依赖系统自然的可更新资源投入，二是能过系统内部自组织能力的不断提高，系统内部反馈不断加强，资源利用效率不断提高，废弃、污染物（能）排放不断减少。其评价应可从资源消耗压力和排放影响两个方面进行。闭路循环性的评价实质上是针对目标产业系统对资源和能源的利用效率而进行的评价。现行能值分析指标中的环境负载率，即产业系统投入构成中不可更新资源能值与可更新资源能值的比率^[22]和能值废弃率，即系统废弃能值占总能值用量的比重来衡量系统的资源使用效率^[25]；过往的研究中没有系统地区分和归类以明确用于此方面的评价研究。

1.4 经济性能值评价指标体系

作为生态-经济复合系统的产业生态系统在具有生态特点的同时，亦无从摆脱其经济性的属性，即在降低环境压力的同时，终以追求最佳的经济效益为目标，以最低的不可更新资源消耗换取最大的经济收益，这就是产业生态系统的经济性特征。其具体的实现途径和评价角度，一是资源利用效率，

表现在人力资源和土地资源的利用上;二是市场不等价交换中的财富暗流所带来的额外利润或亏损^[23]。

能值交换率 (EER), 即系统在对外交易中售出单位能值产品所换回的能值价值, 是评价系统在市场交换中所处地位的理想指标, 但在单一系统目标的分析中尚未得到足够的重视。

上述城市产业生态系统区域能值评价指标体系 (图 1), 不仅可以用于目标系统的静态分析, 研究其现状, 还可用于目标系统的动态分析。

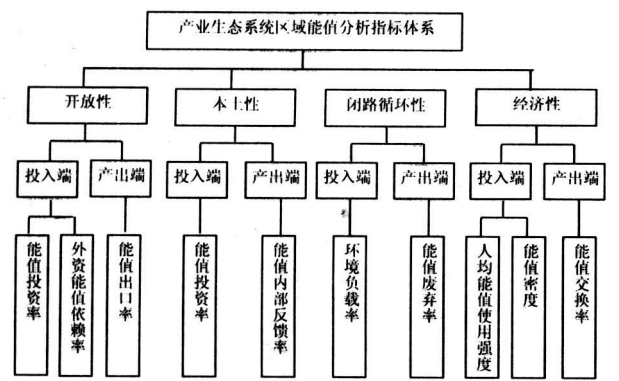


图 1 产业生态系统区域能值分析指标体系构架

Fig. 1 Framework of the emergy - based indices system for regional analysis of industrial ecosystem

2 案例研究

顺德产业生态系统位于广东省珠江三角洲中部, 属于西江和北江下游河网中心的河口冲平原。农业方面是全国最大的优质水产、花卉生产基地和出口基地。在工业方面是全国最大的电风扇、电冰箱、空调器、微波炉、燃气具、饲料和家具生产基地^[26]。对这样一个广东省乃至全国的示范县市改革开放 20 余年的生态经济发展动态进行客观、量化地分析评价研究, 对于我国的城市化进展无疑具有深远的现实意义。

以统计年鉴和政府各部门统计资料为基础, 结合随机调查, 获取顺德产业生态系统 1978 - 2000 年间 7 个时间年度时间的段的物质、能值、货币流动数据, 分类归并为后得到系统能值流简表 (表 1)。将能值流数据代入上述能值评价指标的计算公式, 即可得到环境负载率、能值产出率、能值投资率等一系列评价顺德市产业生产系统 22 a 的能值指标动态 (表 2)。

2.1 开放性与本土性分析

2.1.1 投入端分析 在改革开放的 22 a 中, 顺德产业生态系统能值投资率提高了 16.57 倍, 系统对

于社会经济系统反馈性投入的依赖程度不断攀升。1995 年产业系统外资能值依赖率达 1980 年水平的 64.33 倍 (表 2)。2000 年的外资利用总量下降为 1995 年水平的 46.98% (表 1), 而外资能值依赖率则下降至 1.98%, 仅为 1995 年水平的 16% (表 2)。表明经过 22 a 的发展积累, 顺德产业生态系统依靠自身财力从外部获取负熵以维持和提高自身稳定和进化的自组织能力得到显著提高。

2.1.2 产出端分析 20 世纪 80 年代, 顺德产业生态系统的能值出口率一直在 20% 以下浮动, 90 年代大幅上升, 2000 年达到 1978 年水平的 4.10 倍, 而产出能值中供顺德自用的能值内部反馈率则在小幅波动中持续由 1978 年的 3.51% 降至 2000 年的 2.34%。系统总能值产出减去出口能值和自用能值后即为供国内其他地区使用的产出能值。由此述 2 指标的动态可知, 顺德产业能值产出对于外界的影响在 80 年代主要集中于国内市场, 而在 90 年代逐渐转向国际市场, 系统对产出端的对外影响力不断扩大。

2.2 闭路循环性分析

2.2.1 消耗端分析 1978 - 2000 年的 22 a 间, 顺德产业生态系统的环境负载率围绕 8.28 在上下 4.34 的范围内波动, 未显示出明显的连续变化趋势。表明系统产业构成波动较大, 工农业增长点交替出现, 在原材料绿色化方面没有明显进展。

2.2.2 排放端分析 顺德产业系统的能值废弃率在 80 年代不断上升, 到 1990 年已升至 1978 年水平的 1.45 倍。而在 90 年代迅速下降, 2000 年降至 1990 年水平的 11.60%。表明在 80 年代走的是数据扩充的规模化发展道路, 资源利用效率不高。而 90 年代则通过企业内部和城市尺度渐渐开始一系统环保措施, 显著降低了产出端的环境压力。

2.3 经济性分析

2.3.1 资源利用端分析 1978 - 2000 年顺德产业生态系统单位面积的能值使用强度增加了 16.31 倍, 而人均能值使用强度只增加了 9.70 倍, 结合能值投资率 16.57 倍的增幅和环境负载率的无规律变化, 表明在改革开放的 22 a 中, 顺德产业发展走的是劳动密集型的道路, 外部不可更新石化和矿产资源的利用效率没有明显提高, 系统向知识密集型产业转移的脚步有待加快。

2.3.2 产出外销端分析 22 a 来, 顺德产业系统产出能值的能值交换率基本呈下降趋势。1978 - 1980 年期间的能值交换率大于 1, 表示当时的顺德产业系统通产出在市场上所能换取的能值价值高于其能值成本, 系统通过市场交换获得正的生态经济利

表 1 顺德产业生态系统能值流简表 (sej)

Tab 1 Energy flow of industrial ecosystem in Shunde

项目	1978年	1980年	1985年	1990年	1992年	1995年	2000年
从业人数 人	8.23×10 ⁴	8.87×10 ⁴	9.89×10 ⁴	1.20×10 ⁵	1.27×10 ⁵	1.10×10 ⁵	1.28×10 ⁵
总面积 km ²	5.23×10 ⁸	5.27×10 ⁸	5.24×10 ⁸	5.29×10 ⁸	5.34×10 ⁸	5.05×10 ⁸	5.03×10 ⁸
外资投入 (FC)	0.00×10 ⁰	6.54×10 ⁸	1.47×10 ²⁰	6.28×10 ²⁰	7.83×10 ²⁰	2.81×10 ²¹	1.32×10 ²¹
投入							
本地可更新资源能值投入 (R)	6.52×10 ¹⁹	6.57×10 ¹⁹	6.54×10 ¹⁹	6.60×10 ¹⁹	6.66×10 ¹⁹	6.30×10 ¹⁹	6.27×10 ¹⁹
本地不可更新资源能值投入 (N)	3.88×10 ¹⁸	3.92×10 ¹⁸	3.89×10 ¹⁸	3.93×10 ¹⁸	3.97×10 ¹⁸	3.75×10 ¹⁸	3.73×10 ¹⁸
可更新资源能值反馈投入 (R1)	3.94×10 ²⁰	4.63×10 ²⁰	7.93×10 ²⁰	3.16×10 ²¹	2.83×10 ²¹	3.65×10 ²¹	5.25×10 ²¹
不可更新资源能值反馈投入 (F)	3.54×10 ²¹	3.46×10 ²¹	1.20×10 ²²	1.27×10 ²²	2.87×10 ²²	2.40×10 ²²	6.13×10 ²²
系统能值使用总量 (U)	4.00×10 ²¹	3.99×10 ²¹	1.29×10 ²²	1.59×10 ²²	3.16×10 ²²	2.78×10 ²²	6.66×10 ²²
产出							
直接市场价值 (MV)	5.12×10 ²¹	4.69×10 ²¹	7.57×10 ²¹	1.21×10 ²²	1.48×10 ²²	1.46×10 ²²	1.99×10 ²²
废弃产出 (W)	2.17×10 ²⁰	2.03×10 ²⁰	6.66×10 ²⁰	1.25×10 ²¹	1.02×10 ²¹	8.22×10 ²⁰	6.08×10 ²⁰
内部反馈能值 (EF)	1.41×10 ²¹	1.53×10 ²¹	2.21×10 ²¹	2.61×10 ²¹	2.85×10 ²¹	2.78×10 ²¹	1.56×10 ²¹
能值出口量 (EO)	9.56×10 ²⁰	1.04×10 ²¹	6.67×10 ²⁰	1.37×10 ²¹	6.65×10 ²¹	8.99×10 ²¹	1.53×10 ²²

表 2 顺德产业生态系统能值评价表

Tab. 2 Energy evaluation table for the industrial ecosystem of Shunde

能值指标	1978年	1980年	1985年	1990年	1992年	1995年	2000年
环境负载率 (EIR)	7.71×10 ⁰	6.55×10 ⁰	1.40×10 ¹	3.94×10 ⁰	9.88×10 ⁰	6.48×10 ⁰	1.15×10 ¹
能值产出率 (EYR)	1.02×10 ⁰	1.02×10 ⁰	1.01×10 ⁰	1.00×10 ⁰	1.00×10 ⁰	1.00×10 ⁰	1.00×10 ⁰
能值投资率 (EIR)	5.69×10 ¹	5.63×10 ¹	1.85×10 ²	2.27×10 ²	4.46×10 ²	4.15×10 ²	1.00×10 ³
能值交换率 (EER)	1.28×10 ⁰	1.18×10 ⁰	5.89×10 ⁻¹	7.58×10 ⁻¹	4.68×10 ⁻¹	5.26×10 ⁻¹	2.99×10 ⁻¹
能值密度 (ED)	7.65×10 ²	7.57×10 ¹²	2.45×10 ¹³	3.01×10 ¹³	5.91×10 ¹³	5.49×10 ¹³	1.32×10 ¹⁴
人均能值使用强度	4.86×10 ¹⁶	4.50×10 ¹⁶	1.30×10 ¹⁷	1.33×10 ¹⁷	2.49×10 ¹⁷	2.52×10 ¹⁷	5.20×10 ¹⁷
能值废弃率 (WR)	5.43×10 ⁻²	5.08×10 ⁻²	5.18×10 ⁻²	7.87×10 ⁻²	3.22×10 ⁻²	2.96×10 ⁻²	9.13×10 ⁻³
能值内部反馈率 (EFR)	3.51×10 ⁻¹	3.84×10 ⁻¹	1.72×10 ⁻¹	1.64×10 ⁻¹	9.03×10 ⁻²	1.00×10 ⁻¹	2.34×10 ⁻²
外资能值依赖率 (DFC)	0.00×10 ⁰	1.64×10 ⁻³	1.14×10 ⁻²	3.94×10 ⁻²	2.48×10 ⁻²	1.01×10 ⁻¹	1.98×10 ⁻²
能值出口率 (ERO)	1.87×10 ⁻¹	2.22×10 ⁻¹	8.82×10 ⁻²	1.14×10 ⁻¹	4.51×10 ⁻¹	6.16×10 ⁻¹	7.66×10 ⁻¹

润。1985-2000年的能值交换率小于 1，表明顺德产业系统在这一时期的能值交换中实际处于亏损状态，在商品的对外交换的表面繁荣背景下处于生态经济的不利地位。提高自身产品中的技术和科技含量，尽快实现从劳动密集型的规模扩展向知识密集型的集约发展转型是顺德产业生态系统当前要解决的关键问题。

3 结 论

本研究构建的区域能值指标体系与原有能值流分析相结合，能够根据产业生态系统开放性、本土性、闭路循环性和经济性等 4 个基本特征的评价需要，沿产业“生命周期”链，对资源消耗、内部循环、产出交换、废弃排放等生态经济界面进行有的放矢的分析研究，具有向系统上下层次扩展，进行多尺度动态整合研究扩展弹性；多方面分别评价

与联立评价相结合，实现系统发展现状、动态与动因的整合分析；对产业生态系统优化点的发现与优化方向的确定有直接的意义。

经过 22 a 改革开放的发展积累，顺德产业生态系统自组织能力明显提高，系统对周边负熵资源，尤其是不可更新资源的依赖性仍不断提高，但利用效率不高，产出商品的对外交换中处于表面繁荣背景下的生态经济不利地位，系统已到了向知识密集型发展道路转变的拐点域。

致谢：感谢顺德市国土局马锦文先生及其顺德市统计局、环保局、工业局、农业局、建设局、经贸局等有关部门和同志在案例数据采集和调查中所给予的大力支持。

参考文献：

[1] 王守兰, 武少华, 万融, 等, 清洁生产理论与实务 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. 11-13.
[2] AYRES R U. Industrial Metabolism [M]. // AUSUBEL J H, et al. eds. Technology and the Environment

- Washington (DC): National Academy Press 1989.
- [3] FROSC R A, GALLOPOLOS N. Strategies for manufacturing [J]. *Scientific American* 1989 261(3): 94 – 102.
- [4] 郝新波. 工业生态学基本理论及其应用初探 [J]. 太原科技, 2000 3: 1 – 2 4.
- [5] ROBERT E, NICOLAS G. Sustainable development strategy of industry development [J]. *American Scientists* 1989 9: 106 – 115.
- [6] ALLENBY B R, RICHARDS D J. The Greening of Industrial Ecosystems [M]. Washington D C: National Academy Press 1994. <http://www.nap.edu/openbook>
- [7] 杨建新, 王如松. 产业生态学基本理论探讨 [J]. 城市环境与城市生态, 1998 11(2): 56 – 66.
- [8] 邓南圣, 吴峰. 工业生态学——理论与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002 382 – 383.
- [9] GNAUCK A. Fundamentals of ecosystem theory from general systems analysis [M] // JORGENSEN S E, et al. eds. *Handbook of Ecosystem Theories and Management*. New York: CRC Press LLC 2000.
- [10] 许国志, 顾基发, 车宏安. 系统科学 [M]. 北京: 上海科技教育出版社, 2000 17 – 23.
- [11] 杨建新, 王如松. 产业生态学的回顾与展望 [J]. 应用生态学报, 1998 9(5): 555 – 561.
- [12] HOSTROP M, HARPER P M, GANI R. Design of environmentally benign processes: integration of solvent design and separation process synthesis [J]. *Computers and Chemical Engineering* 1999 23(10): 1395 – 1414.
- [13] EDEN M R, JORGENSEN S B, GANI R, et al. Property integration – a new approach for simultaneous solution of process and molecular design problems [J]. *Computer & Chemical Engineering* 2002 10: 79 – 84.
- [14] EHRENFELD J R. The importance of LCA – wars and all [J]. *Journal of Industrial Ecology* 1997 1(2): 41 – 49.
- [15] MACYE R. Accounting for environmental cost [M] // RICHARDS D, ed. *The Industrial Green Game*. Implications for Environmental Design and Maintenance. Washington D C: National Academy Press 1997: 185 – 199.
- [16] BJORK H, PEDERSEN E K, MARN S L. A method for life cycle assessment environmental optimization of a dynamic process exemplified by an analysis of an energy system with a superheated steam dryer integrated in a local district heat and power plant [J]. *Chemical Engineering Journal* 2002 87: 381 – 394.
- [17] CANO – RUIZ J A, MCRAE G J. Environmentally conscious process design [J]. *Annual Review on Energy Environment* 1998 23: 499.
- [18] HOFSTETTER B, BAUMGARTNER T, SCHOLZ R W. Modelling the valuesphere and the ecosphere: integrating and the decision makers' perspectives into LCA [J]. *International Journal of Life Cycle Assessment* 2000 5(3): 161 – 175.
- [19] WENS J W. Life cycle assessment: constraints on moving from inventory to impact assessment [J]. *Journal of Industrial Ecology* 1997 1(1): 37 – 49.
- [20] FROSC R A, GALLOPOULOS N E. Strategies for manufacturing [J]. *Scientific American* 1989 261(3): 144 – 152.
- [21] DINCER I. Thermodynamics: exergy and environmental impact [J]. *Energy Sources* 2000 22: 723 – 732.
- [22] ODUM H T. Environmental accounting: energy and decision making [M]. New York: John Wiley & Sons 1996 57 – 58 85 – 86.
- [23] 彭少麟, 陆宏芳. 产业生态学的新思路 [J]. 生态学杂志, 2004 23(4): 127 – 130.
- [24] 陆宏芳, 蓝盛芳, 李雷, 等. 评价系统可持续发展能力的能值指标 [J]. 中国环境科学, 2002 22(4): 380 – 384.
- [25] 黄书礼. 都市生态经济与能量 [M]. 台北: 詹氏书局, 2004 79 – 85.
- [26] 陈烈. 中国发达地区顺德市域可持续发展研究 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2002.

Emergy Based Indices System for Regional Analysis of Industrial Ecosystem

LIU Hong-fang¹, PENG Shao-lin^{1,2}, REN Hai¹, CHEN Lie³

(1. South China Botany Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650 China

2. School of Life Sciences, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275 China

3. Planning Design & Research Institute, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275 China)

Abstract A emergy-based indices system was established to fill the evaluation need of industrial ecosystems by integration emergy synthesis and regional economics methods. Based on the fundamental characteristic of industrial ecosystem, not only roundput but also opening locality and economy, three new emergy-based indices: Dependence on Foreign Capital (DFC), Export Ratio of Output (ERO) and Emergy Feedback Ratio (EFR), were established and integrated with some current emergy indices to fill the evaluation need of industrial ecological system from resource consumption, intra cycle trading and disuse interface aspects. The case study of 22 years dynamic of Shunde industrial ecosystem shows that the new established indices system could fill the special evaluation need of industrial ecosystems and has the compatibility on multi-scale studies.

Key words dependence, effects, feedback, self organization