

城市物质代谢的生态效率 ——以深圳市为例

张 妍 杨志峰*

(北京师范大学环境学院 环境模拟与污染控制国家重点实验室 北京 100875)

摘要 城市可持续发展研究的关键是城市物质代谢通量及其效率研究,但物质代谢通量仅能反映代谢速率,而其生态效率则能反映支持社会经济可持续发展的物质代谢能力。从工业、生活的源头循环(减少原生资源的消耗)和末端循环(减少污染物的产生)角度,构建城市物质代谢生态效率的度量模型,并依据中国城市化发展进程,选定深圳市作为研究区,核算城市水、能量和废物代谢通量以及代谢的生态效率。结果表明,随着深圳市社会经济的快速发展,水、能源和废物代谢通量呈现出增长势头,但代谢的生态效率不断提高。1998~2004年间,GDP增长2.7倍,城市水和电的代谢通量分别增长1.5倍和3.0倍;工业增加值增长3.7倍,工业水、电、能源和废物的代谢通量分别增长1.9、3.5、2.7倍和2.0倍,常住人口增长1.5倍,居民水和电的代谢通量分别增长1.8倍和1.7倍,资源效率提高1.8倍,环境效率提高3.7倍,生态效率提高2.3倍。虽然深圳市物质代谢的生态效率在提高,但是随着物质资源的日益稀缺,物质代谢的生态效率仍需进一步提高,而提高城市物质代谢生态效率的关键是资源效率和环境效率的协同发展,以及逐步构建废物资源化的循环链条。

关键词 城市 物质代谢 代谢通量 生态效率

文章编号:1000-0933(2007)08-3124-08 中图分类号:Q141,Q147 文献标识码:A

Eco-efficiency of urban material metabolism : a case study of Shenzhen

ZHANG Yan ,YANG Zhi-Feng*

*School of Environment , Beijing Normal University , State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and pollution control , Beijing 100875 , China
Acta Ecologica Sinica 2007 27 (8) 3124 ~ 3131.*

Abstract : The keys of studying urban sustainable development are material metabolism flux and efficiency. Metabolism flux of urban materials can only reflect the metabolism velocity , while its eco-efficiency can determine the metabolism capacity to support socio-economic development. The general model and the measure model of eco-efficiency were set up , based on the source recycle (decreasing the consumption of crude resources) and terminal recycle (decreasing the discharge of pollutants) of production and life. These models were employed to study material metabolism flux and efficiency in Shenzhen. Results showed water , energy and waste metabolism fluxes have increased since 1998 with constant socio-economic development , and their eco-efficiencies have also increased rapidly. When GDP rose by 2.7 times , the metabolism fluxes of urban water and electricity rose by 1.5 and 3.0 times , respectively. When added value of industry rose by 3.7 times , the metabolism fluxes of industrial water , electricity , energy , and waste rose by 1.9 , 3.5 , 2.7 , and 2.0 times , respectively. When population rose by 1.5 times , the metabolism fluxes of residential water and electricity rose by 1.8 and 1.7 times , respectively. During the period , the resource efficiency , environmental efficiency , and eco-efficiency

基金项目:国家(973)重点基础发展计划资助项目(2005CB724204)

收稿日期:2006-07-19;修订日期:2007-03-05

作者简介:张妍(1973~),女,吉林省镇赓人,博士,主要从事生态城市规划、战略环境评价研究。E-mail:zhangyanxy@163.com

*通讯作者 Corresponding author. E-mail:zfyang@bnu.edu.cn

Foundation item : The project was financially supported by the Major State Basic Research Program of China (973) (No. 2005CB724204)

Received date 2006-07-19 ; **Accepted date** 2007-03-05

Biography ZHANG Yan , Ph. D. , mainly engaged in eco-city planning and strategic environmental assessment. E-mail : zhangyanxy@163.com

rose by 1.8, 3.7, and 2.3 times, respectively. Whereas the efficiency of material metabolism has been improved in Shenzhen, the scarcity of material resources has become more and more serious. Therefore, it is necessary to further improve the efficiency of material metabolism. The keys of improving the Eco-efficiency of urban material metabolism are the increasing of resources, and environmental efficiencies, and the establishment of recycling chain of the re-utilization of waste resources.

Key Words: city; material metabolism; metabolism flux; eco-efficiency

城市物质代谢研究已成为国内外关注的热点^[1,2]。1965年 Wolman 在其著作中提出城市物质代谢的概念^[3],他认为城市生态系统的运作是一个新陈代谢的过程。1995年 Tjallingii 提出,城市作为生态系统要维持正常运转,需要物质和能量输入,同时这些输入也带来了经济成本,产生生态环境问题。通过分析城市物质代谢,利用管理和技术修复其生态化的过程,能够提高城市物质代谢的生态效率^[4]。1999年 Newman 等人提出了城市物质代谢是基于资源输入与废弃物产出分析的生物系统模式^[5]。1978年 Newcombe 等人以物质代谢理论为基础,研究了香港的代谢过程^[6]。2001年, Kimberley Warren-Rhodes 和 Albert Koenig 更新了 Newcombe 的成果,对 1971~1997 年香港资源消耗和废弃物再生利用进行了深入研究,结果表明香港经济腾飞是以高昂的环境代价为基础的^[7]。1996年 Newman 等人对悉尼 1970 年和 1990 年的物质代谢进行了研究^[7]。1998年 Huang 等人应用热力学方法对我国台北进行了城市物质代谢研究^[9]。

我国物质代谢研究处于起步阶段,主要研究体现在:城市物质代谢^[10,11],城市家庭物质代谢^[12~14],土地利用变化的物质代谢响应^[15]等方面。虽然人们开始关注城市物质代谢研究,但多集中在对城市物质输入输出的量化上,对于城市物质代谢的生态效率的分析还相对欠缺。城市物质代谢方式决定代谢生态效率,而生态效率的高低进一步决定着城市的健康发展。因此,本文从城市物质代谢通量及其生态效率出发,构建了城市物质代谢生态效率的度量模型,并将其应用于深圳市的研究中,目的是使政策制定者确定城市中环境恶化的极限和根源,优化城市的物质代谢系统,促进城市化进程的健康发展。

2 城市物质代谢的生态效率模型

2.1 城市物质代谢的生态效率

城市物质代谢是指城市系统中物质输入、转化、储存以及废弃物排放等代谢过程。城市物质代谢的生态效率是指城市物质代谢过程中单位资源消耗和污染负荷所提供的社会服务量。通过对资源的循环利用和能量的梯级利用,降低或减少城市系统对物质原料的消耗强度以及废物排放数量,可以提高城市物质代谢的生态效率^[16]。生态效率不仅能够描述和反映经济与环境、资源的关系状况,也能够综合衡量资源、环境各领域之间的协调程度。它可以使政府确定提高资源利用效率和控制污染物排放的优先顺序,同时给决策者一个了解和认识改善城市生态环境进程的有效工具。

城市物质代谢生态效率分析主要研究物质代谢过程产生的环境影响,这种影响取决于进入城市的自然资源和物质的数量与质量,以及从城市生态系统排出的废弃物质的数量与质量^[17]。这种分析方法是对城市发展的资源环境负荷的定量描述,为可持续发展研究提供了一种新颖而简洁的思维方式与研究手段^[15]。

2.2 城市物质代谢生态效率概念模型

在借鉴反映经济和环境关系的“控制方程”的基础上,世界经济合作与发展组织(OECD)提出生态效率概念模型^[18],即 $E = S/I$, 式中 S 为社会服务量,可用人口数、年产值(如 GDP)和年工业增加值表示; I 为生态负荷,反映资源利用水平和污染物排放情况; E 为生态效率。如果社会服务量的增长倍数等于同期内生态负荷的增大倍数,那么生态效率只能维持在某一水平,如果社会服务量的增长倍数大于同期内生态负荷的增大倍数,那么生态效率就会增加。

生态负荷包括资源负荷和环境负荷,相应的生态效率可分为资源效率和环境效率,用符号 R 和 P 表示: R

$= \frac{\alpha (GDP \text{ 或人口数增长倍数})}{\beta (\text{资源和能源消耗量增长倍数})}$, $P = \frac{\alpha' (GDP \text{ 或工业增加值增长倍数})}{\beta' (\text{环境污染排放量增长倍数})}$ 。资源效率 R 和环境效率 P 模型, 分别从源头循环 (减少原生资源的消耗) 和末端循环 (减少污染物的产生) 的角度表征城市物质代谢的生态效率。

2.3 城市物质代谢生态效率度量模型

在量化环境效率和资源效率的基础上, 本文构建生态效率度量模型, 并以此为依据对深圳市物质代谢生态效率进行分析。图 1 中度量模型是在标准化环境效率和资源效率的基础上提出的, 由曲线 $E = \sqrt{x^2 + y^2}$ 和直线 $x = 0.5, y = 0.5$ 构成。曲线 $E = \sqrt{x^2 + y^2}$ 表示生态效率的走势, 曲线离原点越远, 生态效率值 E 就越高。环境效率和资源效率值位于 $[0, 1]$ 之间, 生态效率值位于 $[0, \sqrt{2}]$ 之间。直线 $x = 0.5$ 和 $y = 0.5$ 将 $[0, 1]$ 之间的正方形分成 A、B、C、D 等 4 个区域。

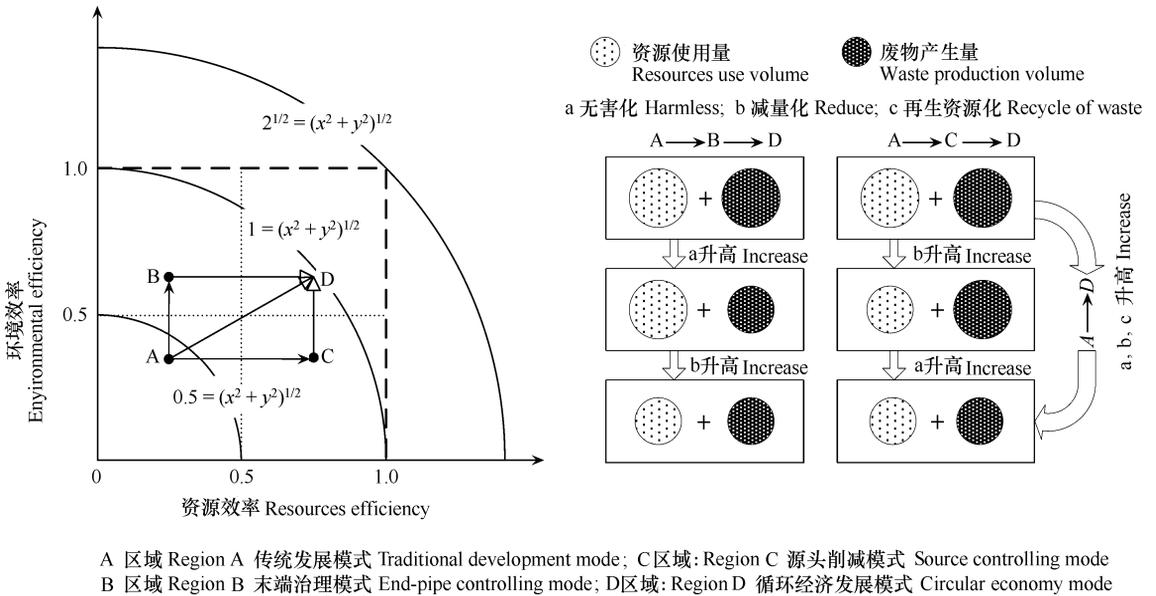


图 1 生态效率度量模型

Fig. 1 Measure model of eco-efficiency

图 1 中概念性表征了城市发展模式。A 区域表征“资源—产品—污染排放”的传统发展模式, 生态效率较低, 表明城市无害化、减量化水平较低。随着工业的发展、生产规模的扩大和人口的增长, 人类从自然中获取资源, 又不加任何处理地向环境排放废弃物, 环境的自净能力削弱乃至丧失, 这种发展模式导致的环境问题日益严重, 资源短缺的危机愈发突出。B 区域表征末端治理模式, 生态效率中等, 表明城市无害化水平较高。C 区域表征源头削减模式, 生态效率中等, 表明城市减量化水平较高。D 区域表征循环经济发展模式, 生态效率较高, 表明城市无害化、减量化以及由此产生的再生资源化水平较高。该模式提倡合理利用自然资源和环境容量, 在物质不断循环利用的基础上发展经济, 使经济系统和谐地纳入到自然生态系统的物质循环过程中。ABD 是中国城市传统发展轨迹, 符合环境库兹尼茨曲线发展规律, 即无害化→减量化。该轨迹反映了中国一般城市的发展状况, 表征城市环境污染已成为急需解决的问题, 所以当务之急是先提高环境效率, 提高废物再生资源化水平, 进而提高资源效率。ACD 是属于减量化→无害化发展轨迹, 该轨迹反映了国外个别城市的发展状况, 表征城市在发展初期就注重资源消耗问题, 尽量少利用资源以产生较少的污染物, 所以不会带来大的环境污染, 资源效率提高的基础上环境效率自然就会提高。ABD 轨迹是中国建设新兴城市应避免的。而对于中国的现实国情实施 ACD 轨迹是有很大难度的。因为, 中国快速的城市化和工业化进程, 以及人口的快速增长, 在保持社会经济增长的同时, 很难实现资源消耗的稳态, 因而环境效率提高先于资源效率的提高。AD

是城市循环经济发展轨迹,是“穿越环境高山”的发展曲线^[19],即资源化发展轨迹,城市加强无害化、减量化的协调和循环,城市再生资源化水平明显提高。AD 是目前城市发展追求的主要目标,符合现有城市发展的实际情况,所以走 AD 的发展轨迹既是现实的,也是可行的。

3 深圳市物质代谢

3.1 社会经济发展

深圳是中国南部海滨城市,与香港新界一河之隔,全市总面积 2020 km²。深圳是从小镇向现代化大都市快速转变的典型个例。1979 年 3 月建市,1980 年 5 月设立经济特区,2004 年成为无农村的城市。经过 25a 建设和发展,深圳已由当时的小城变为现在的华南经济中心之一。深圳市作为资源短缺型城市、工业化进程和城市化进程高度压缩型城市,亟需转变经济“线性增长”模式,实现经济增长与资源消耗、环境污染物排放的“分离”,走出一条“低消耗、高产出、少污染”的经济发展之路^[19~21]。

表 1 深圳市历年社会经济指标、资源利用指标、环境污染排放指标增长状况*

Table 1 Indicators of socio-economic development, resources use, and pollutants discharge in Shenzhen City

指标 Indicator	年份 Year						
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
本市生产总值 ^① (×10 ⁸ ¥)	1289.02	1436.03	1665.47	1954.65	2256.82	2895.41	3422.80
工业增加值 ^② (×10 ⁸ ¥)	517.45	587.46	727.95	905.18	1076.55	1540.71	1912.96
年末常住人口 ^③ (×10 ⁴ 人 person)	394.96	405.13	432.94	468.76	504.25	557.41	597.55
总用水量 ^④ (×10 ⁸ m ³)	10.77	11.50	12.27	12.88	13.32	14.90	16.01
用电总量 ^⑤ (×10 ⁸ KWH)	129.43	149.88	190.35	212.29	259.92	323.43	390.31
居民用水量 ^⑥ (×10 ⁸ m ³)	3.46	3.70	4.22	3.96	4.40	5.64	6.14
工业用水量 ^⑦ (×10 ⁸ m ³)	2.46	2.63	2.95	3.19	3.42	4.63	4.65
工业能源消耗总量 ^⑧ (×10 ⁴ t)	377.34	415.82	461.63	503.81	626.09	827.70	1018.81
工业用电总量 ^⑨ (×10 ⁸ KWH)	64.50	74.98	101.88	116.81	147.24	179.33	223.48
居民用电总量 ^⑩ (×10 ⁸ KWH)	26.65	28.99	33.36	35.27	32.23	40.96	46.10
工业废水排放总量 ^⑪ (×10 ⁸ t)	0.31	0.38	0.43	0.40	0.46	0.57	0.65
工业废气排放总量 ^⑫ (×10 ⁸ m ³)	507.00	568.00	667.20	468.39	731.33	820.64	1082.42
工业固废产生量 ^⑬ (×10 ⁴ t)	32.56	33.32	43.08	43.80	41.80	58.63	71.26
工业 SO ₂ 排放量 ^⑭ (×10 ⁴ t)	2.33	2.90	3.84	3.93	4.08	4.54	4.36
工业烟尘排放量 ^⑮ (×10 ⁴ t)	0.29	0.34	0.33	0.34	0.42	0.49	0.61
工业粉尘排放量 ^⑯ (×10 ⁴ t)	68.00	75.00	95.00	55.48	60.00	129.10	110.02

* 数据来源于深圳统计信息年鉴 (1999~2005 年)、深圳市水资源公报 (1998~2004 年) 和中国环境统计年鉴 (1999~2005 年) Data were cited from shenzhen Statistical information yearbook (1999 to 2005), Shenzhen water resources communique (1998 to 2004) and China environmental statistical yearbook (1999 to 2005)

①Gross domestic product; ②Increased value of industry; ③Year-end permanent population; ④Total amount of water consumption; ⑤Total amount of electricity consumption; ⑥Residential water consumption amount; ⑦Industrial water consumption amount; ⑧Industrial energy consumption amount; ⑨Industrial electricity consumption amount; ⑩Residential electricity consumption amount; ⑪Volume of industrial waste water discharge; ⑫Emission amount of industrial waste gas; ⑬Volume of industrial solid waste produced; ⑭Volume of industrial SO₂ emission; ⑮Volume of industrial soot emission; ⑯Volume of industrial dust emission

从经济总量看,深圳经济已具备相当规模,2004 年 GDP 总量已突破 3000 亿元。由表 1 可知,1998~2004 年的 7a 间,随着经济向纵深发展,2004 年 GDP 增长到 1998 年的 2.7 倍,工业增加值增长 3.7 倍。工业增加值增长速度明显高于 GDP 的增长速度,是拉动深圳市经济增长的主力军。年末常住人口相对增长速度不大,2004 年增长到 1998 年的 1.5 倍。但是自 1979 年建市以来大量外部移民涌入带来的人口基数,使人口数量在短期内必将持续缓慢增长。

3.2 水和能源代谢

水和能源是深圳市快速发展用得最多的消费品^[22, 23]。核算资源效率的关键是分析深圳市水、能源代谢通量以及与社会经济增长的关系。

深圳淡水资源非常缺乏。2004 年按常住人口计算,人均水资源量为 232 m³,为全国平均的 1/8,属严重缺水城市。由表 1 可知,深圳市 1998~2004 年水资源总量明显减少,但供水总量却持续增长,其中大部分须靠境外水源解决,随着东江流域各城市发展、东江生态保护等原因,深圳增加境外引水量的可能性越来越小,深圳市水资源供需矛盾将会越来越突出。7a 来随着深圳市社会经济高速增长,用水总量增长 1.5 倍,其中工业用水量增长 1.9 倍,生活用水量增长 1.8 倍。由于调整产业结构,淘汰高耗水行业,推行节水改造,城市工业用水量的增长倍数逐渐呈现平稳趋势。但人口的持续增长使生活用水量持续上升。面对严峻现实,深圳市一方面充分利用本地水资源,积极实施境外引水工程;另一方面调整产业结构、发展高新技术产业,节约用水;三是增强人们节水意识,倡导可持续消费模式。

深圳市工业能源结构以原煤、燃料油、柴油为主,原煤虽占 40% 左右,但主要用于二次能源转换,所以总体上深圳市能源消耗以优质能源为主。2004 年工业能源消耗总量为 1018.81 × 10⁴ t 标准煤,其中原煤为 38.2%、燃料油为 38.3%、柴油为 14.4%、电力为 5.2%。1998~2004 年工业能源消耗总量增长 2.7 倍,年均增长率 17.0%,支持了工业增加值年均递增 24.4% 的高速增长;同期电力消费增长迅速,其占工业能源终端消费的比例由 4% 增长到 5%。1998~2004 年用电总量年均增长 20.2%,其中工业用电量年均增长 23.0%,居民用电量年均增长 9.6%。能源结构中燃料油和电力的消费增长最快,分别达到 4.6 倍和 2.8 倍,原煤消耗增长为 2.1 倍,液化石油气为 1.7 倍。面对能源消耗持续增长的情况,深圳市应一方面充分开发可再生清洁能源,另一方面积极调整产业结构,实施节能工程。

1998~2004 年,工业用水量变化趋势最为平坦或趋于平坦,基本上实现了“穿越环境高山”^[19]之路。同期内工业能源消耗总量、居民用水量、工业和居民用电量仍呈现较快的增长势头。

3.3 废物代谢

工业作为拉动深圳市经济增长的最主要因素,对环境的影响显得尤为重要^[22]。表 1 给出了深圳市工业废弃物的排放情况。由表 1 可知,伴随深圳市工业经济的快速发展,1998~2004 年工业废弃物排放量均呈现出增长趋势,增长倍数均在 2.0 左右波动,说明废弃物污染治理是深圳市非常值得关注的问题。

4 深圳市物质代谢的生态效率

4.1 资源效率

从水、能源消耗两方面评估深圳市的资源效率。由表 2 可知,在 1998~2004 年间,伴随深圳市社会经济的快速发展,资源能源消耗也呈现出增长的趋势。总用水效率、工业用水效率、工业用电效率、工业用能效率等大于 1,资源消耗的增长速度已小于经济增长速度,实现了经济增长与资源消耗的“分离”,说明随着经济结构的调整,生产资源消耗效率明显提高,但提高的幅度不大,而且起伏较大。总用电效率、生活用水效率和生活用电效率小于 1,生活资源消耗的增长速度大于人口增长速度,未实现社会发展与资源消耗的“分离”。2004 年总用水资源效率、工业用水资源效率、工业用电资源效率、工业能源效率分别增长到 1998 年的 1.786、1.956、1.067 倍和 1.369 倍,总用电效率、生活水资源效率和生活电资源效率分别减少到 1998 年的 0.881、0.853 倍和 0.875 倍,可见伴随深圳城市化进程加快,工业资源节约工作成效显著,但人类消费方式和模式仍没有多大变化,生活消费的环境意识有待提高。随着深圳社会经济的进一步发展,资源消耗总量也会持续增加,如何提高资源效率,遏制本已相对紧张的物质供求关系,是深圳城市可持续发展的关键。

4.2 环境效率

选择单位工业增加值的工业废气、废水、固废、SO₂、烟尘、粉尘排放量等 6 项指标分析环境效率,反映工业部门的生产排污水平的高低。由表 2 可知,2004 年废水环境效率、废气环境效率、废渣环境效率、SO₂ 环境效率、烟尘环境效率和粉尘环境效率分别增长到了 1998 年的 1.760、1.732、1.689、1.978、1.763 倍和 2.285 倍。

可见伴随深圳城市化进程的快速发展,工业环境保护工作取得了可喜的成果,但随着深圳经济的迅速发展,污染排放总量也会持续增加,如何进一步提高环境效率,是深圳生态城市建设的关键。

表 2 深圳市资源效率和环境效率

Table 2 Resources efficiency and environmental efficiency in Shenzhen City

指数 Indicator	年份 Year						
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
总用水资源效率 (X_1)	1.000	1.043	1.134	1.268	1.416	1.624	1.786
总用电资源效率 (X_2)	1.000	0.962	0.879	0.925	0.872	0.899	0.881
工业用水资源效率 (X_3)	1.000	1.062	1.173	1.349	1.496	1.582	1.956
工业用电资源效率 (X_4)	1.000	0.977	0.891	0.966	0.911	1.071	1.067
工业能源效率 (X_5)	1.000	1.030	1.150	1.310	1.254	1.357	1.369
生活用水资源效率 (X_6)	1.000	0.959	0.899	1.037	1.004	0.866	0.853
生活用电资源效率 (X_7)	1.000	0.943	0.876	0.897	1.056	0.918	0.875
废水环境效率 (X_8)	1.000	0.922	1.010	1.361	1.408	1.626	1.760
废气环境效率 (X_9)	1.000	1.013	1.069	1.894	1.442	1.840	1.732
废渣环境效率 (X_{10})	1.000	1.109	1.063	1.300	1.621	1.654	1.689
SO ₂ 环境效率 (X_{11})	1.000	0.914	0.855	1.040	1.191	1.532	1.978
烟尘环境效率 (X_{12})	1.000	0.986	1.262	1.495	1.439	1.777	1.763
粉尘环境效率 (X_{13})	1.000	1.029	1.007	2.144	2.358	1.568	2.285

X_1 :Water resources efficiency; X_2 :Electricity resources efficiency; X_3 :Industrial water resources efficiency; X_4 :Industrial Electricity resources efficiency; X_5 :Industrial energy efficiency; X_6 :Living water resources efficiency; X_7 :Living Electricity resources efficiency; X_8 :Waste water environmental efficiency; X_9 :Waste gas environmental efficiency; X_{10} :Solid waste environmental efficiency; X_{11} :SO₂ environmental efficiency; X_{12} :Industrial soot environmental efficiency; X_{13} :Industrial dust environmental efficiency

4.3 生态效率

选取表 2 中列出的 13 项效率指标进行因子分析,主要目的是将具有相近的因子载荷的各个变量置于一个公因子之下,当初始因子不能典型的代表变量的含义时,应对因子载荷矩阵实行旋转,使因子载荷量向两个极端发展(见图 2),以便对因子的意义做出更合理的解释。运用因子分析方法,提取出两个主因子(累积贡献率为 82.559%),满足了因子选取的原则 m 个因子的累积贡献率 $\sum_{i=1}^m \frac{\lambda_i}{p} \geq 80\%$ 。旋转前后因子载荷的变量结果基本一致,总的信息量无损失,说明提取的两个主因子就可以很好的反映原始信息,可作为城市生态效率分析的依据。由图 2 可以看出,第一主因子主要由粉尘环境效率 X_{12} 、废渣环境效率 X_{10} 、废水环境效率 X_8 组成,可定义为城市环境效率,最大因子载荷量为 0.940;第二主因子主要由生活用水资源效率 X_6 、工业用电资源效率 X_4 和工业用水资源效率 X_3 组成,最大的因子载荷量为 0.875,表现为城市资源效率。依据本文所建立的生态效率度量模型和资源效率、环境效率得分(图 3),可以计算出深圳市不同年份的生态效率值(表 3)。

5 结论

(1)随着深圳市社会经济的快速发展,水、能源和废物代谢通量不断增长。1998~2004 年短短的 7a 之间,GDP 增长 2.7 倍,城市水和电的代谢通量分别增长 1.5 倍和 3.0 倍;工业增加值增长 3.7 倍,工业水、电、能源和废物的代谢通量分别增长 1.9、3.5、2.7 倍和 2.0 倍;常住人口增长 1.5 倍,居民水和电的代谢通量增长 1.8 和 1.7 倍。

(2)1998~2004 年,随着水、能源和废物代谢效率不断提高,资源效率和环境效率在波动中不断增加。资源效率呈现出先增加再减少然后再增加的趋势,表明深圳市总体上资源效率不断提高,但在提高的过程中,仍无法避免以资源消耗为代价的财富积累,特别是工业能源的消耗不断增长,之后随着产业结构调整,资源效率不断提高。环境效率呈现出增加的趋势。但初期环境效率提高很快,之后环境效率增长的幅度减缓。这是由于环保基础设施的投入在初期能大量减少废弃物的产生,之后随着经济发展速度的增加,环保设施的规模已

不能满足废弃物再生处理处置能力,环境效率呈现出缓慢增长趋势,然后随着资源效率的提高,产生的环境污染量不断减少,导致环境效率随之不断增加。

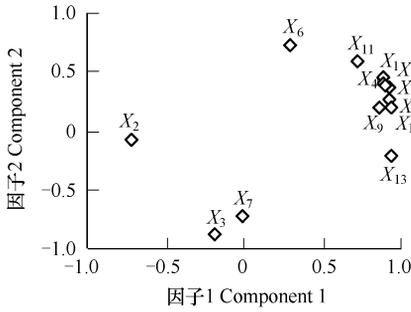


图2 因子载荷图

Fig. 2 Plot of component loads

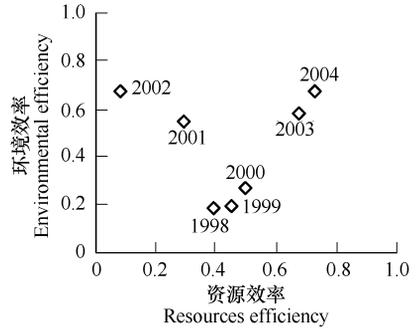


图3 环境和资源效率得分图

Fig. 3 Scores of environmental efficiency vs resources efficiency

表3 深圳市生态效率

Table 3 Eco-efficiency of Shenzhen City

年份 Year	组分得分 Component scores		归一化得分 Standardized scores		生态效率值 Eco-efficiency values $e = \sqrt{x^2 + y^2}$
	R	P	R	P	
1998	-0.240	-1.176	0.391	0.183	0.432
1999	0.036	-1.141	0.453	0.191	0.491
2000	0.225	-0.797	0.494	0.267	0.562
2001	-0.695	0.468	0.290	0.548	0.620
2002	-1.642	1.019	0.079	0.671	0.675
2003	1.045	0.596	0.677	0.577	0.889
2004	1.272	1.033	0.727	0.674	0.991

(3) 1998~2004年间,生态效率呈现出上升趋势。资源效率增加了1.8倍,环境效率增长了3.7倍,相应的生态效率大致增加2.3倍。依据本文所建立的生态效率度量模型可知,深圳市在短短7年时间里,经历了传统经济发展模式、末端治理模式和循环经济发展模式的转变,已经实现了经济发展模式的较大跨越,生态效率不断提高,对中国其他城市的健康发展有较大的启示作用。

6 讨论

(1) 深圳市物质代谢生态效率提高的深层次原因是深圳市加强宏观政策调整,大力发展废物资源化产业,淘汰资源能源消耗比较大的行业。深圳市已经认识到城市发展已不能单纯依赖于污染物的治理,而应该加强废物资源化水平,提高资源利用效率。在重视节水方面,深圳利用水价作杠杆,阶梯收费,鼓励企业加强废水循环利用,推广海水和中水利用。在节能上,积极发展电力和石油制品等高效清洁的二次能源,提高能源环境效益。同时深圳建立环保末位淘汰制,加速高消耗、高污染企业的退出。

(2) 城市物质代谢生态效率度量模型从量化资源效率和环境效率入手,分析城市生态系统的健康水平,可以满足城市系统分析和评价的要求,能够对寻求城市生态系统症因和优化城市生态系统有直接的意义。

(3) 城市物质代谢通量仅能反映城市的代谢速率,而其生态效率则反映支持城市社会经济可持续发展的物质代谢能力。提高城市物质代谢生态效率的关键是资源效率和环境效率的协同发展,以及逐步构建废物资源化的循环链条。

References :

[1] Sahely H R , Dudding S , Kennedy C A. Estimating the urban metabolism of Canadian cities : Greater Toronto Area case study. Canadian Journal of

Civil Engineering ,2003 ,30 (2) :468 —483.

- [2] White R R ed. Urban environmental management : environmental change and urban design. Chichester , Engl. John Wiley ,1994. 254.
- [3] Wolman A. The metabolism of cities. Scientific American ,1965 ,213 (3) :179 —190.
- [4] Tjallingii S P ed. Ecopolis : Strategies for Ecologically Sound Urban Development. Leiden : Backhuys Publishers ,1995. 44 —53.
- [5] Newman P W G. Sustainability and cities : extending the metabolism model. Landscape and Urban Planning ,1999 ,44 (4) 219 —226.
- [6] Newcombe K , Kalina J D , Aston A R. The metabolism of a city : the case of Hongkong. AMBIO ,1978 ,7 (1) 3 —5.
- [7] Warren-Rhodes K , Koenig A. Escalating trends in the urban metabolism of Hongkong : 1971 —1997. AMBIO ,2001 ,30 (7) :429 —438.
- [8] Newman P W G , Birrel R , Holmes D , et al. In : Newman P. W. G. ed. Human settlements in state of the environment Australia. Melbourne , Australia : state of the environment advisory council , CSIRO Publishing ,1996. 1 —57.
- [9] Huang S L. Urban ecosystems , energetic hierarchies and ecological economics of Taipei metropolis. Journal of Environmental Management ,1998 , (52) 39 —51
- [10] Yan W H , Liu Y M , Huang X , et al. The change of urban metabolism and the effect of waste being created of Shenzhen. Cities Problem ,2003 , (1) :40 —44.
- [11] Yu S T , Huang X J. Studies on material metabolism in the regional system—a case study of Nantong City , Jiangsu Province. Journal of Natural Resources ,2005 ,20 (2) 212 —221.
- [12] Liu J R , Wang R S , Wang Z , et al. Metabolism and driving forces analysis of Chinese urban households. Acta Ecologica Sinica ,2003 23 (12) : 2672 —2676.
- [13] Lenzen M , Dey C , Foran B. Energy requirements of Sydney households. Ecological Economics ,2004 ,49 375 —399.
- [14] Naiminfu Nashun , Hu C Y. Material flow accounting and analysis in the unit of a family , a case study of Baotou. In : China Society of Natural Resources ed. The Colloquium of China Society of Natural Resources Annual Conference of 2004. Beijing : Science Publishers ,2004. 138 —148.
- [15] Huang X J , Yu S T , Ma Q F , et al. Studies on material metabolism response of regional land use change. Journal of Natural Resources ,2006 21 (1) :1 —8.
- [16] Vogtländer J G , Bijma A , Brezet H C. Communicating the eco-efficiency of products and services by means of the eco-costs/value model. Journal of Cleaner Production ,2002 ,10 (1) 57 —67.
- [17] Chen X Q , Zhao T T , Guo Y Q , et al. Material input and output analysis of Chinese economy system. Acta Scientiarum Naturalium Universities Pekinensis ,2003 ,39 (4) 538 —547.
- [18] Bjorn Stigson ed. What is eco-efficiency. Sydney : WBCSD ,1999.
- [19] Lu Z W , Mao J S. Crossing “Environmental Mountain” — On the Increase and Decrease of Environment Impact in the Process of Economic Growth. Engineering Science ,2003 ,5 (12) 36 —42.
- [20] Arrow K , Bolin B , Costanza R , et al. Economic growth , carrying capacity , and the environment. Science ,1995 ,268 :520 —521.
- [21] Rao P K. In : Rao P. K. ed. Sustainable Development : Economics and Policy. New Jersey : Blackwell Publishers ,2000. 97.
- [22] Aryes R U ed. Industrial metabolism. Japan : United Nations University Press ,1994.

参考文献 :

- [10] 颜文洪 ,刘益民 ,黄向 ,等. 深圳城市系统代谢的变化与废物生态效应. 城市问题 ,2003 1 :40 ~44.
- [11] 于术桐 ,黄贤金. 区域系统物质代谢研究——以江苏省南通市为例. 自然资源学报 ,2005 20 (2) 212 ~221.
- [12] 刘晶茹 ,王如松 ,王震 ,等. 中国城市家庭代谢及其影响因素分析. 生态学报 ,2003 23 (12) 2672 ~2676.
- [14] 奈民夫 ,那顺 ,胡春元. 家庭的物质流核算与分析——以内蒙古包头市为例. 中国自然资源学会主编. 中国自然资源学会 2004 年学术年会论文集. 北京 :科学出版社 ,2004. 138 ~148.
- [15] 黄贤金 ,于术桐 ,马其芳 ,等. 区域土地利用变化的物质代谢响应初步研究. 自然资源学报 ,2006 21 (1) :1 ~8.
- [17] 陈效述 ,赵婷婷 ,郭玉泉 ,等. 中国经济系统的物质输入与输出分析. 北京大学学报 (自然科学版) ,2003 39 (4) 538 ~547.
- [19] 陆钟武 ,毛建素. 穿越环境高山——论经济增长过程中环境负荷的上升与下降. 中国工程科学 ,2003 5 (12) 36 ~42.