

文章编号: 1000-6788(2002)02-0074-10

# 北京市人口、资源、环境与经济协调发展的多目标规划模型

魏一鸣<sup>1</sup>, 曾 嵘<sup>1</sup>, 范 英<sup>1</sup>, 蔡宪唐<sup>2</sup>, 徐伟宣<sup>1</sup>, 傅小锋<sup>3</sup>

(1. 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 北京 100080; 2. 台湾中山大学, 台湾 高雄 80424; 3. 中国 21 世纪议程管理中心, 北京 100089)

**摘要:** 人口、资源、环境和经济之间的相互作用构成了一个动态开放的复杂系统。本文以北京市为例, 采用北京市的历史统计数据, 开展了人口、资源、环境和经济协调发展实证研究, 建立了人口、资源、环境和经济协调发展的非线性多目标模型。以模型计算结果为依据, 给出了相关的政策建议。结果表明, 该模型可较好地反映各子系统协调发展的制衡关系, 完整地体现了这一复杂系统的整体性特征。

**关键词:** 目标规划; 复杂系统; 可持续发展

**中图分类号:** N 94

**文献标识码:** A

## A Multi-Objective Goal Programming Model for Beijing's Coordination Development of Population, Resources, Environment and Economy

WEI Yim ing<sup>1</sup>, ZENG Rong<sup>1</sup>, FAN Ying<sup>1</sup>,  
TSAI Hsientang<sup>2</sup>, XU Weixuan<sup>1</sup>, FU Xiao-feng<sup>3</sup>

(1. Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080; China; 2. Sun Yat-Sen University, Kaohsiung 80424, China; 3. The Administrative Center for China's Agenda 21, Beijing 100089, China)

**Abstract** Population, resources, environment and economy form a complex system we called PREE system. For this system, a multiobjective model is formulated based on nonlinear goal programming. In practice, we take social development plan of Beijing as a case study. According to the targets of the 9th and 10th Five-Year Plan, the authors put forward concrete target functions by fitting the statistic data, and then get the results of those decision making variables and target variables with the model. In the last part of the paper, the authors analyzed these results and proposed some suggestions related to public policy. The application shows that this model could provide decision support for the plan of society development.

**Keywords:** goal programming; complex system; sustainable development

### 1 引言

可持续发展(sustainable development)的研究,自20世纪末以来非常活跃。从联合国、世界银行,各个国家,再到更小的区域,一大批指标体系及相应的评价模型被建立起来<sup>[1-5]</sup>;在部门领域,农业可持续发展、工业可持续发展、金融可持续发展等一系列专门的指标体系与评价模型涌现出来。这对可持续发展从理论到实践层次上的推进起到了非常积极的作用。中国政府和学者也积极的开展这一领域的研究<sup>[6-9]</sup>。概

收稿日期: 2001-08-28

资助项目: 北京市自然科学基金(9992003); 国家自然科学基金(79900002); 国家软科学基金(K99-10-57)

括起来, 这些工作都是从评价的角度出发的, 由于评价是对已发生状态的研究, 具有一定的滞后性, 其用途是用来做发展状态的比较, 因此, 其研究结果难以应用于预测、规划、优化等方面。

尽管目前关于可持续发展的解释还不尽相同, 但可持续发展的实质是自然与社会系统(或人地关系)的协调发展, 其核心内容可以归纳为人口(Population)、资源(Resource)、环境(Environment) 和经济(Economy) (以下简称 PREE) 四项关键要素。它们的相互作用、相互制约构成了一个动态开放的复杂系统, 这里简称为 PREE 系统<sup>[10, 11]</sup>。针对 PREE 复杂系统, 我们曾开展过系统分析, 并建立了一个与之相适应的三层次的模型体系结构, 建立了基于非线性目标规划的多目标集成模型<sup>[12]</sup>。本文以北京市为例, 针对规划的需要, 根据《北京市统计年鉴》(1949- 1999) 提供的北京市 50 年来的统计数据<sup>[13]</sup>, 开展了实证研究。研究结果, 可为制订宏观发展规划提供科学的依据和政策建议。

2 北京市 PREE 协调发展的非线性多目标规划模型

2.1 目标

在 PREE 协调发展系统中, 存在三类目标:

第一类中的目标为: 国内生产总值(GDP)、各产业结构比例(GRC<sub>*i*</sub>)、家庭人均收入(GA D)。

第二类目标主要包含资源和环境限制方面的目标。这类目标包括: 人口总量目标(GPP)、有限的水资源(GRW)、有限的土地资源(GRA)、能源供需平衡(GREB)、第 *i* 种污染物排放量目标(GWO<sub>*i*</sub>)、第 *i* 种污染物治理目标(GW Pi)、城市绿化目标(GEG)。

第三类目标是需要满足的“法定约束”, 这类目标主要是取决于决策变量的现实要求。根据北京市“九五”、“十五”规划, 我们设计了 2000 年和 2005 年各目标的具体理想值, 其中 GDP、产业结构、人均收入、人口总量以及城市绿化覆盖率, 规划中都有具体规定。因此, 我们确定了各目标在 2000 年和 2005 年的预期值, 如表 1 所示。

表 1 选择目标及其说明

目标	意 义	统计指标	2000 年	2005 年
$y_1$	国内生产总值	GDP(亿元)	2013	3700
$y_2$	第一产业比例	GDP 中第一产业所占比例(%)	4.5%	2.70%
$y_3$	第二产业比例	GDP 中第二产业所占比例(%)	45.5%	37.30%
$y_4$	第三产业比例	GDP 中第三产业所占比例(%)	50%	60%
$y_5$	家庭人均收入	居民家庭平均每人年现金收入(元)	11133	15184
$y_6$	人口总量目标	常住人口总数(万人)	1125	1160
$y_7$	有限的水资源	水资源消耗总量(万吨)	75968	75968
$y_8$	有限的土地资源	耕地面积(公顷)	341057	341057
$y_9$	工业废水处理率	工业废水处理率(%)	95.6%	100%
$y_{10}$	空气污染指数	空气污染指数	100	75
$y_{11}$	生活垃圾处理率	生活垃圾处理率(%)	52.7%	80%
$y_{12}$	城市绿化水平	城市绿化覆盖率(%)	35%	40%

2.2 决策变量

在本模型中我们通过分析选取如下变量为决策变量

人口总量(P);

第一、二、三产业的劳动力数量( $L_i, i=1, 2, 3$ );



- 教育水平(E);
- 各产业水资源使用效率(EW<sub>i</sub>)及生活用水效率(EW<sub>l</sub>);
- 能源投资(FI);
- 能源利用效率(EE);
- 有效耕地面积(AL);
- 环保投入(ED);
- 三次产业固定资产投资额(FI<sub>i</sub> i= 1, 2, 3);

- 10 消费总额(C);
- 11 科技人员及 R&D 经费(T);

影响各目标的可控要素不仅存在认识和地区上的差异,而且随着人们对系统认识的不断深入和扩展,这些决策变量也会有所不同.根据《北京市统计年鉴》所提供的数据指标,我们确定的决策变量和目标,如表 2.

表 2 模型决策变量

决策变量	表示符号	意 义	统计指标
$x_1$	FI <sub>1</sub>	第一产业的固定资产投资额	第一产业固定资产投资(亿元)
$x_2$	FI <sub>2</sub>	第二产业的固定资产投资额	第二产业固定资产投资(亿元)
$x_3$	FI <sub>3</sub>	第三产业的固定资产投资额	第三产业固定资产投资(亿元)
$x_4$	P	人口总量	常住人口总量(万人)
$x_5$	L <sub>11</sub>	第一产业的劳动力投入	第一产业的社会劳动者人数(人)
$x_6$	L <sub>12</sub>	第二产业的劳动力投入	第二产业的社会劳动者人数(人)
$x_7$	L <sub>13</sub>	第三产业的劳动力投入	第三产业的社会劳动者人数(人)
$x_8$	E	教育水平	大专文化程度以上人员(万人)
$x_9$	T	科技水平	科研活动经费支出(万元)
$x_{10}$	C	消费基金	最终消费额(亿元)
$x_{11}$	EW	万元工业产值耗水量	万元工业产值耗水量(万吨/万元)
$x_{12}$	AREA	有效耕地面积	耕地面积(公顷)

2.3 北京市 PREE 系统协调发展多目标集成模型

下面给出了在既定的经济发展目标下,寻找合适的人口、资源、环境政策规划的非线性多目标规划模型.

$$\min a = \{P_1(n_1 + n_5), P_2(p_6), P_3(p_7 + n_8), P_4(n_9 + p_{10} + n_{11} + n_{12}), P_6(p_2 + p_3 + n_4)\}$$
$$s\ t\ \frac{GDP_i}{\sum_{i=1}^3 GDP_i} \times 100\% + n_{i+1} - p_{i+1} = y_i$$
$$- 560\ 4 + 14680\ 72 \times C/P + n_5 - p_5 = y_5$$
$$P + n_6 - p_6 = y_6$$
$$EW \times GDP_2 + 357.5 \times P - 332681 + n_7 - p_7 = y_7$$
$$- 0\ 0285 \times P + 0\ 9326 \times GDP_1 - 0\ 23 \times GDP_2 + 464\ 7615 + n_8 - p_8 = y_8$$
$$0\ 0159 \times GDP - 0\ 0614 \times GDP_2 + 0\ 1981 \times P + 83\ 0568 + n_9 - p_9 = y_9$$
$$0\ 1841 \times P - 0\ 05514 \times GDP + n_{10} - p_{10} = y_{10}$$



$$\begin{aligned} &0.0073 \times GDP - 0.0907 \times P + 0.0787 \times T + 125.792 + n_{11} - p_{11} = y_{11} \\ &29.2948 + 0.003 \times GDP + n_{12} - p_{12} = y_{12} \\ &n_k \times p_k = 0, \quad k = 1, \dots, 12 \end{aligned}$$

其中:

$$\begin{aligned} GDP_1 &= -0.0806 + 0.1258 \times FI_1 + 0.0163 \times L_1 \times E + 0.6016 \times GDP_2 + 0.2814 \times AREA \\ GDP_2 &= -0.09417 + 0.1123 \times FI_2 + 0.1684 \times L_2 \times E + 0.7887 \times T \\ GDP_3 &= -0.8389 + 0.6360 \times FI_3 + 0.3596 \times L_3 \times E + 0.8788 \times T \\ P &= 1.104641 \times \sum_{i=1}^3 L_i + 342.749 \\ C &= 0.4252 \times \sum_{i=1}^3 GDP_i - 0.06181 \times f \left( \sum_{i=1}^3 FI_i \right) - 10.0448 \\ n_k, p_k &\geq 0, \quad k = 1, \dots, 12 \end{aligned}$$

式中  $p_k$  是目标优先等级;  $(n_k, p_k)$  是各决策变量的边界约束目标的正负偏差变量;  $i$  表示不同的投资形式

2.4 模型的解算与结果讨论

针对上述模型,采用模式搜索算法对模型进行了解算,其中决策变量的初值取变量在 1998 年的值,最大搜索步长为 2000 步,搜索精度为  $10^{-5}$ .解算中可根据不同的情况,修改达到目标的优先等级,得到不同状态下模型的解.

1) 在预定的 GDP 情况下,讨论各个系统决策状态

$$\min a = \{P_1(n_1 + n_5), P_2(p_6), P_3(p_7 + n_8), P_4(n_9 + p_{10} + n_{11} + n_{12}), P_5(p_2 + p_3 + n_4)\}$$

决策变量求解结果如表 3 所示,从中可以看出,要达到 GDP 和人均收入目标,首先是减少人口总量.同时,经济结构的变化使得劳动力和资本越来越转向第三产业,第一产业的劳动力和固定资产投入甚至还出现了零的现象,这主要是因为我们拟合的方程为线性的形式.GDP 的增长和人口的下降,教育水平和科技水平也得到了相应的提高.同时,由于人口压力的缓解,水资源和耕地也能够保持在一定的水平.

表 3 决策变量求解结果

决策变量	意 义	初始值	求解结果	
			2000 年	2005 年
$x_1$	第一产业的固定资产投资额(亿元)	2.6	4.07	0.10
$x_2$	第二产业的固定资产投资额(亿元)	310.2	307.84	268.31
$x_3$	第三产业的固定资产投资额(亿元)	702.1	708.37	1201.72
$x_4$	人口总量(万人)	1091.5	1023.08	927.72
$x_5$	第一产业的劳动力投入(万人)	71.45	65.17	0.00
$x_6$	第二产业的劳动力投入(万人)	225.99	225.23	146.61
$x_7$	第三产业的劳动力投入(万人)	324.71	325.49	382.95
$x_8$	教育水平	156.3	159.01	252.13
$x_9$	科技水平(亿元)	145.97	148.68	242.33
$x_{10}$	消费基金	809.82	814.90	1472.33
$x_{11}$	万元工业产值耗水量	17.72	17.72	17.72
$x_{12}$	有效耕地面积	341.05	340.28	333.91

表 4 目标值

目标	意 义	2000 年		2005 年	
		目标值	计算结果	目标值	计算结果
y <sub>1</sub>	国内生产总值(亿元)	2013	2088.45	3700	3700.00
y <sub>2</sub>	第一产业比例(%)	4.50%	4.50%	2.70%	4.10%
y <sub>3</sub>	第二产业比例(%)	45.50%	38.90%	37.30%	38.95%
y <sub>4</sub>	第三产业比例(%)	50%	56.60%	60%	56.95%
y <sub>5</sub>	家庭人均收入(元)	11133	11133.00	15184	22738.57
y <sub>6</sub>	人口总量目标(万人)	1125	1023.08	1160	927.72
y <sub>7</sub>	有限的水资源(万吨)	75968	47468.98	75968	24514.26
y <sub>8</sub>	有限的土地资源(千顷)	341	336.38	341	248.20
y <sub>9</sub>	工业废水处理率(%)	95.60%	95.83%	100%	100%
y <sub>10</sub>	空气污染指数	100	73.22	50	0
y <sub>11</sub>	生活垃圾处理率(%)	52.70%	59.94%	80%	87.73%
y <sub>12</sub>	城市绿化水平(%)	35%	35.56%	40%	40.39%

另外,我们也能够得到各目标变量的达到情况,如表 4 所示:在既定的 GDP 目标下,第三产业比重在逐渐增加,但是以目前的发展趋势,到 2005 年还难以达到规定的 60%。由于人口压力的减轻,水资源消耗能够保持一定的限度,但随着经济增长,耕地数量呈下降趋势。环保投入的增加、经济结构的变化以及科技水平的提高使得环境得以一定程度的改善。

## 2) 增加人口数量限制,讨论系统中的决策状态

上述结果是在直接减少人口数量的基础上得到的,事实上,北京市人口仍然在逐步增长。因此,我们将人口设定在一定的数量,观察各决策变量和目标值的变化,即将达到函数改为:

$$\min \bar{a} = \{P_1(p_6 + n_6), P_2(n_1 + n_5), P_3(p_7 + n_8), P_4(n_9 + p_{10} + n_{11} + n_{12}), P_5(p_2 + p_3 + n_4)\}$$

得到的结果如表 5 和表 6 所示。与上面的结果相比较,我们发现:随着人口增长,必须创造出更多的 GDP 才能达到人均收入水平,如果 2000 年的 GDP 保持在 2013 亿元,通过计算表明人均收入只有 9661 元/人。同时,人口增加带来资源消耗上的压力,在原有效率的基础上,水资源将难以为继,耕地面积也大大降低,第三产业需要更多的资金和劳动力投入以提高产业比例。教育水平和科技水平也有不同程度的下降,污染治理能力也随之降低。

表 5 决策变量求解结果

决策变量	意 义	初始值	求解结果	
			2000 年	2005 年
x <sub>1</sub>	第一产业的固定资产投资额(亿元)	2.6	1.25	0.00
x <sub>2</sub>	第二产业的固定资产投资额(亿元)	310.2	306.29	282.98
x <sub>3</sub>	第三产业的固定资产投资额(亿元)	702.1	748.90	1285.03
x <sub>4</sub>	人口总量(万人)	1091.5	1125.00	1160.00
x <sub>5</sub>	第一产业的劳动力投入(万人)	71.45	100.18	169.34
x <sub>6</sub>	第二产业的劳动力投入(万人)	225.99	254.66	147.89

续表 5 决策变量求解结果

决策变量	意 义	初始值	求解结果	
			2000 年	2005 年
$x_7$	第三产业的劳动力投入(万人)	324.71	353.31	422.61
$x_8$	教育水平	156.3	162.95	245.25
$x_9$	科技水平(亿元)	145.97	152.90	235.26
$x_{10}$	消费基金	809.82	896.08	1466.28
$x_{11}$	万元工业产值耗水量	17.72	20.36	0
$x_{12}$	有效耕地面积	341.05	333.60	250.43

表 6 目标值

目标	意 义	2000 年		2005 年	
		目标值	计算结果	目标值	计算结果
$y_1$	国内生产总值(亿元)	2013	2284.62	3700	3700.00
$y_2$	第一产业比例(%)	4.50%	4.50%	2.70%	3.93%
$y_3$	第二产业比例(%)	45.50%	40.73%	37.30%	37.15%
$y_4$	第三产业比例(%)	50%	54.77%	60%	58.92%
$y_5$	家庭人均收入(元)	11133	11133.00	15184	17996.50
$y_6$	人口总量目标(万人)	1125	1125.00	1160	1160.00
$y_7$	有限的水资源(万吨)	75968	88449.39	75968	82021
$y_8$	有限的土地资源(千顷)	341	314.57	341	251.26
$y_9$	工业废水处理率(%)	95.6%	92.54%	100%	100%
$y_{10}$	空气污染指数	100	81.18	50	20.61
$y_{11}$	生活垃圾处理率(%)	52.70%	52.47%	80%	66.10%
$y_{12}$	城市绿化水平(%)	35%	36.15%	40%	40.39%

3) 资源环境目标优先, 经济与人口系统的状态

如果讨论优先考虑资源与环境目标的情况下, 经济及人口子系统的状况, 即达到函数为:

$$\min a = \{P_1(p_7 + n_8), P_2(n_9 + p_{10} + n_{11} + n_{12}), P_3(p_6 + n_6), \\ P_4(n_1 + n_5), P_5(p_2 + p_3 + n_4)\}$$

此时得到的解见表 7 和表 8 .

表 7 决策变量求解结果

决策变量	意 义	初始值	求解结果	
			2000 年	2005 年
$x_1$	第一产业的固定资产投资额(亿元)	2.6	0.17	225.17
$x_2$	第二产业的固定资产投资额(亿元)	310.2	311.96	96.17
$x_3$	第三产业的固定资产投资额(亿元)	702.1	971.05	1717.47

续表 7 决策变量求解结果

决策变量	意 义	初始值	求解结果	
			2000 年	2005 年
$x_4$	人口总量(万人)	1091. 5	1085. 42	1089. 57
$x_5$	第一产业的劳动力投入(万人)	71. 45	69. 90	91. 49
$x_6$	第二产业的劳动力投入(万人)	225. 99	251. 74	124. 46
$x_7$	第三产业的劳动力投入(万人)	324. 71	350. 68	460. 13
$x_8$	教育水平	156. 3	168. 72	375. 41
$x_9$	科技水平(亿元)	145. 97	120. 49	226. 23
$x_{10}$	消费基金	809. 82	835. 19	1915. 83
$x_{11}$	万元工业产值耗水量	17. 72	44. 44	11. 68
$x_{12}$	有效耕地面积	341. 05	392. 19	510. 94

表 8 目标值

目标	意 义	2000 年		2005 年	
		目标值	计算结果	目标值	计算结果
$y_1$	国内生产总值(亿元)	2013	2174. 39	3700	4825. 71
$y_2$	第一产业比例(%)	4. 50%	3. 86%	2. 70%	9. 19%
$y_3$	第二产业比例(%)	45. 50%	34. 09%	37. 30%	33. 93%
$y_4$	第三产业比例(%)	50%	62. 05%	60%	56. 88%
$y_5$	家庭人均收入(元)	11133	10735. 93	15184	25253. 16
$y_6$	人口总量目标(万人)	1125	1085. 42	1160	1089. 57
$y_7$	有限的水资源(万吨)	75968	88301. 12	75968	75958. 70
$y_8$	有限的土地资源(千顷)	341	341. 57	341	470. 87
$y_9$	工业废水处理率(%)	95. 6%	96%	100%	100%
$y_{10}$	空气污染指数	100	100. 00	50	98. 39
$y_{11}$	生活垃圾处理率(%)	52. 70%	52. 70%	80%	80. 00%
$y_{12}$	城市绿化水平(%)	35%	35. 82%	40%	43. 77%

从得到的结果发现, 要达到预期的环境质量, GDP 要以更快的速度发展, 同时要大力降低第二产业的比例, 提高科技水平. 要维持目前的资源状况, 一方面要稳定人口数量, 同时发展农业生产能力, 提高资源的利用效率.

3 结果分析及相关政策建议

根据不同情形下, 模型的计算结果, 我们分别就人口、资源、环境与经济系统分别做出如下政策建议.

3.1 人口系统

加大力度, 确保人口总量保持稳定

人口数量是整个系统中最为敏感的要害, 从规划模型的结果分析中我们认为(见图 1), 从经济增长的



角度上看,人口增长一方面意味着需要更多的消费基金来保证居民的生活水平,使得消费压力的增大,这是人口对经济发展不利的一面;另一方面,人口增长带来劳动力供给的增大以及消费需求的上升,将对经济起积极作用。但是,从资源环境角度上看,人口的增长,水资源、耕地资源的消耗加大,环境治理的难度也相应提高。同时,结果表明,人口增长还会带来教育水平和科技水平的下降。

### 积极引导劳动力向第三产业转移

随着经济的发展和产业结构的调整,第三产业劳动力比例将由1998年的52%增长到2000年的57%,需求总量也将由1998年的32.71万增加到42.261万人。因此,如何将第一、第二产业的劳动力合理引导至第三产业是北京市面临的重要问题。

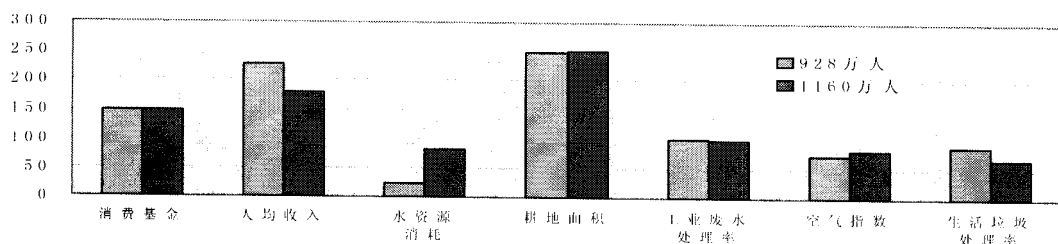


图1 2005年不同人口条件下的计算结果

### 创造条件扩大就业机会

虽然经济的发展促使劳动力需求增加,但是随着人口教育水平的提高,这种需求增加的趋势是相对下降的。另一方面,劳动力需求的增长主要体现在第三产业上,廉价外来劳动力容易抢占北京市传统服务行业的就业市场,而高科技行业更是需要大量的外来人才。因此,虽然北京市人口处于一个缓慢增长的阶段,但产业结构调整以及外来人员的冲击将给北京的就业形势不容乐观。

## 3.2 资源系统

从资源丰度的评价结果中(图2)可以发现,北京市的资源支持能力正不断下降,而且这种趋势仍将持续下去,资源的匮乏已成为北京市进一步发展的瓶颈。

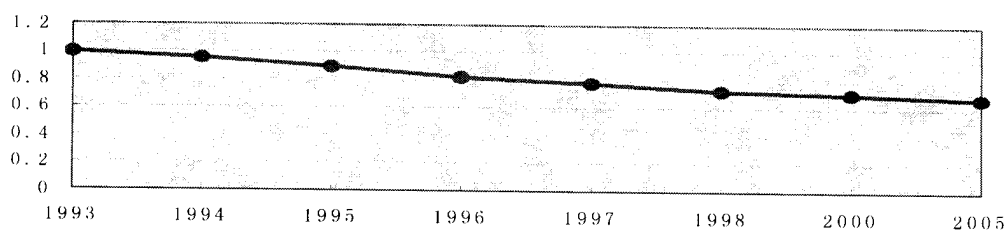


图2 资源丰度评价结果

### 需要进行提高公民节水意识,节约生活用水

从图3我们可以知道,过去的十几年中,北京市的生活用水与人口呈明显的线性关系,虽然这与人民的生活水平的提高有关,但是最主要的是居民的节水意识不强。因此,一方面要大力宣传,提高公民的节水意识;另一方面,也要采取一些措施,从经济利益和行政强制上鼓励居民节约用水。

## 3.3 环境系统

从图4表明环境状况发展的趋势上看,北京市的环境状况呈逐年好转的形势。随着产业结构的调整,环保投资力度的加大以及科技水平的提高,环境治理水平(如工业废水处理率、生活垃圾处理率等)有明显的提高,生态环境(如城市绿化覆盖率、森林覆盖率等)有明显改善。但仍存在很大的问题。



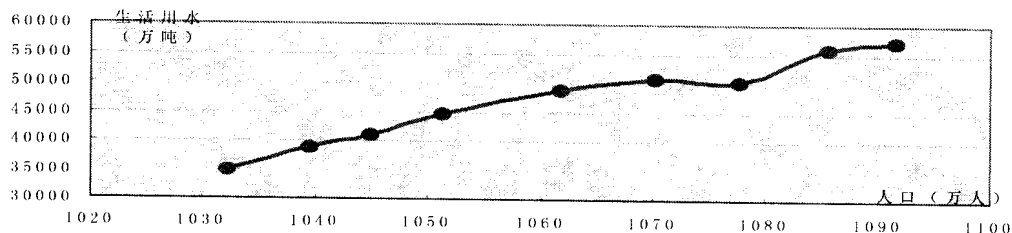


图3 1990-1998年间人口总量与生活用水量的关系

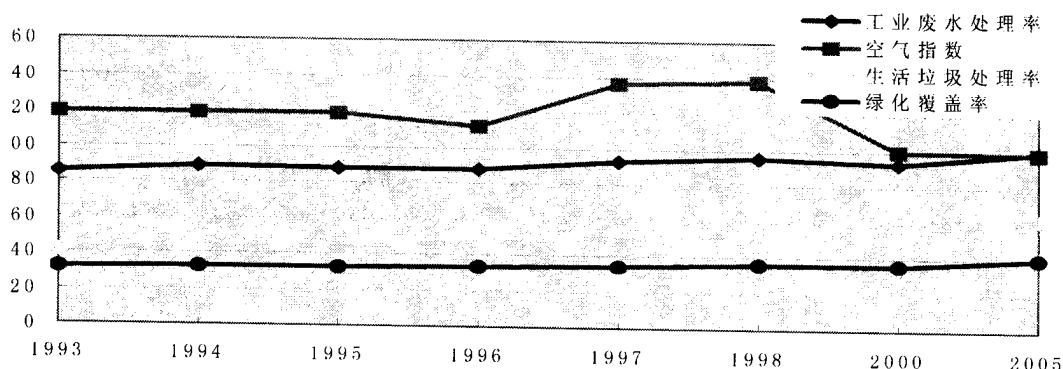


图4 环境指标年度变化图

### 环境整体水平不高, 加大环境治理投资力度

至2005年, 生活垃圾处理率达到66.1%, 空气污染指数为98.39, 均低于一般的中等发达国家水平。在影响环境的因素中, 环境投资起着决定性作用。因此, 在未来的一段时间里, 加大环境投资在国民经济中的比例是必要的。

### 重点进行空气污染治理

从数据中可以看出, 北京市空气质量不断的波动变化, 多年来均低于国家二级标准。同时, 影响空气的主要因素从SO<sub>2</sub>排放变为空气悬浮物以及NO<sub>x</sub>的排放, 这说明过去对工业企业和生活取暖设施的改造是成功的。但是, 由于周边环境的不断恶化、建筑工地面积的扩大以及汽车数量的增多, 空气质量仍难以改善。因此, 提高汽车尾气标准、控制汽车数量是必要的, 同时, 要加强对周边地区环境的监测和保护。

## 3.4 经济系统

### 经济发展要达到一定的速度

比较表3至表8的结果可以发现, 在人口数量增长的情况下, 要达到预定的资源环境水平, GDP必须超过预定的目标值。这说明, 经济的快速发展是保持社会稳定和提高环保能力的前提。

### 第三产业是经济发展的关键

在与第一产业和第二产业的比较中可以发现, 对GDP的增长效率, 第三产业中劳动力和科技要素的作用要大大高于后两者, 但是资金的投资效率明显不足, 这也是我们在2005年计算结果中难以达到预期产业比例的关键原因。因此, 一方面要加大R&D投入, 提高教育和科技水平, 吸引更多的劳动力从事第三产业; 另一方面, 要大力发展高新技术产业, 提高第三产业中高新技术产业的比重, 提高资金的使用效率, 政府不仅要在政策上给予扶持, 更重要的是鼓励和吸引高科技人才。

## 4 主要结论

本文从规划的角度,通过目标规划的方法初步建立了一个 PREE 复杂系统的综合集成模型,预测在既定的目标和一定的约束条件下,各子系统未来发展的状态.这个模型反映了各子系统的主要要素及其主要联系.它是在可持续发展领域的一个有益的尝试.

作为一项应用研究,本文不仅从理论上探讨了模型的形式,同时通过对北京市实证研究,验证了这种方法的可行性和有效性.求解得到的 2000 年结果与目前的事实基本相符,体现了该模型具有可操作性.

## 参考文献

- [1] United Nations Commission on Sustainable Development 1996 Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies [R] New York: United Nations Publication
- [2] World Bank Word Bank Develops New System to Measure Wealth of Nations [M] Washington DC 1995
- [3] United Nations System of National Accounts 1993[M] New York: United Nations, 1993
- [4] Cocklin C R. Methodological problems in evaluating sustainability[J] Environment Conservation, 1989, 16(4): 27- 32
- [5] Moffatt I On measuring sustainable development indicators[J] The International Journal of Sustainable Development and World Ecology 1994, 1(2): 102- 112
- [5] 刘培哲. 可持续发展理论与《中国 21 世纪议程》[A] 北京:《中国可持续发展指标体系研究》课题组, 1997: 1- 11.
- [6] 中国科学院可持续发展研究组 中国可持续发展研究报告(2000). 北京: 科学出版社, 2001.
- [7] 关晓涵, 顾培亮 系统理论在可持续发展中的应用研究[J] 科学管理研究, 1999, 17(3): 41- 45
- [8] 汪应洛, 蒋正华 人口与经济协调发展规划模型[A] 中国经济的发展与模型[C] 北京: 中国财政经济出版社, 1990: 140- 146
- [9] 曾嵘, 魏一鸣, 范英, 李之杰 人口、资源、环境与经济协调发展系统分析[J] 系统工程理论与实践, 2000, 20(12): 1- 6
- [10] 曾嵘, 魏一鸣, 范英, 李之杰 北京市人口、资源、环境与经济协调发展分析与评价指标体系[J] 中国管理科学, 2000, 8(专辑): 310- 318
- [11] 曾嵘 人口、资源、环境与经济协调发展的多目标集成模型及其应用[D] 北京: 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 2001: 43- 63
- [12] 北京市统计局 北京五十年[M] 北京: 北京市统计局, 1999

---

(上接第 73 页)

- [6] Russell R R. Measure of technical efficiency[J] Journal of Economic Theory, 1985, 35: 109- 126
- [7] Ruggiero J, Bretschneider S The weighted Russell measure of technical efficiency[J] European Journal of Operation Research, 1998, 108: 438- 451
- [8] Tone K A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J] European Journal of Operational Research, 2001, 130: 498- 509
- [9] Charnes A, Cooper W W. Programming with linear fractional functionals[J] Naval Research Logistics Quarterly, 1962, 15: 333- 334