

# 人口、经济发展与环境污染关系的定量分析

何林 袁建华

环境问题与经济发展和人类的社会活动密切相关。我国人口众多,人口基数大,在未来较长时间内,人口仍会有较大幅度的增加。人口的增长必然增大对经济发展和能源消费的需求。近年来,随着经济发展的步伐加快,尤其是工业生产迅速增长,产生的“副产品”——废气、废水、废渣使环境问题更趋严重。我国正面临着经济迅速增长与环境污染的双重压力和挑战。

自70年代以来,人口、资源、经济及环境之间的关系问题愈来愈受到人们的重视。人们的目标更加明确地转向人口、经济与生态环境协调发展上来。在大力发展经济的同时,治理环境,减少污染,保护生态平衡,已成为我国的一项迫切任务。本文将人口、经济、环境作为一个整体系统,运用通径分析方法,对人口增长、经济发展、能源消费等因素对环境污染的影响作了定量刻画,对各因素之间的相互关系,以及人口增长、能源消费结构给环境污染的压力作了分析。

## 一、通径分析的结果

通径分析是一种相关分解,即将相关因素的影响力按成因分解为若干组成部分,定量地刻画各因素对效应因素直接或间接的影响程度。

人口、经济、资源、能源、环境相互影响,相互制约,组成一个有机整体系统,其相互关系可用通径图(见图1)简单地描述。根据我国28个省和直辖市(除海南、西藏和台湾外)的数据资料

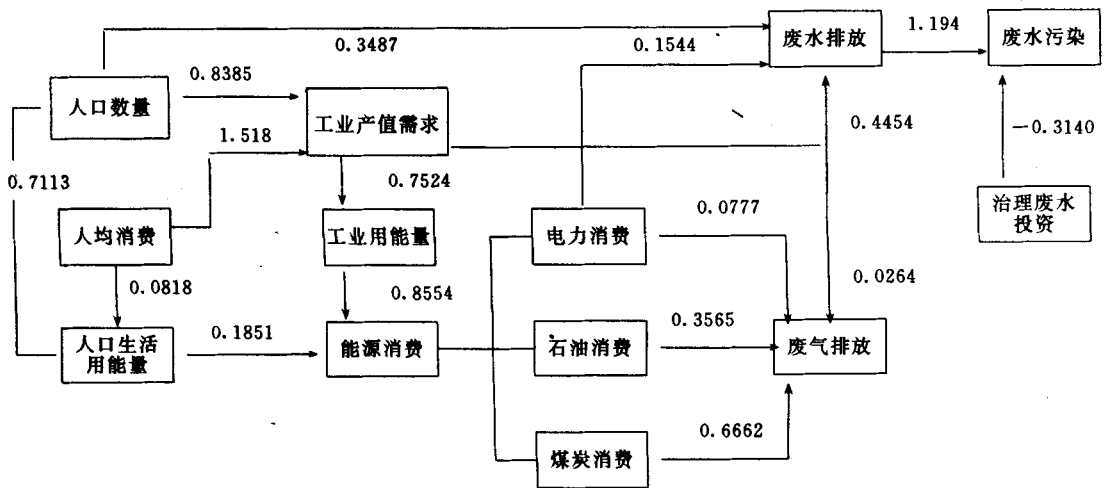


图1 人口—经济—能源—环境污染通径图

进行途径分析,计算出反映因素之间相互影响的途径系数(见图1中标出的数字)。图中的途径系数的大小表明了各因素对效应因素的直接影响的程度。例如,图1表明工业产值需求量主要取决于人口数量和人均消费水平,人口数量与人均消费水平对工业产值需求的途径系数分别为0.8385和1.518。这进一步表明,人均消费水平对工业发展的直接影响力大于人口数量对工业生产的直接影响力,事实上,这反映了不断提高人民的生活水平与大力发展经济的关系。再如,影响废水排放的各因素中,工业产值需求这一因素与废水排放的途径系数最大,即工业生产对废水排放总量的直接影响程度最大。由于各因素之间是相互联系、相互影响、相互作用的,所以某一因素对效应因素的影响,不仅产生直接影响力,而且通过其它因素对效应因素产生间接影响力。下面我们进一步分析各因素直接或间接地对环境污染的影响程度。

1. 人口增长、经济发展对废水排放的影响

废水排放主要是通过居民生活用水、工业生产用水和火电厂冷却用水产生。很显然,人口数量增多,用水需求就增多,产生的废水也增多;工业生产规模和火电厂规模扩大,用水和排出的废水随之增多。这些因素对废水排放总量的相对影响力是怎样的?表1给出了人口、工业生产、电力对废水排放总量的直接和间接途径系数及直接作用和间接作用的比重。

表1 各因素对废水排放总量的直接、间接和总的影响力

因素	影响力	直接影响	间接影响	总的的影响
人口	途径系数	0.3487	0.3649	0.7136
	比重(%)	48.86	51.14	100.00
工业生产	途径系数	0.4454	0.3368	0.7822
	比重(%)	56.94	43.06	100.00
电力需求	途径系数	0.1544	0.5293	0.6837
	比重(%)	22.58	77.42	100.00

从表1我们可知,人口、工业生产、电力需求各因素对废水排放总量的影响力分别为0.7136,0.7822,0.6837。工业生产对废水排放总量的影响中,其直接影响力占56.94%,而电力需求对废水排放总量的影响中,直接影响力仅占22.58%,间接影响力占77.42%。这种间接影响力的产生和大小,是由于人口、工业生产和电力需求之间存在着密切的联系。例如,人口增多,必然要求增加工业生产,工业生产和人口的增加,必然会导致电力消费的增加和火电厂规模的扩大。这一连锁反应产生了如下结果:一方面人口增加生活用水增多,对废水排放直接产生影响力;另一方面,由于人口增多而引起对工业生产和火电生产的需求增大而产生废水。表2给出了由于各因素相互影响对废水排放产生的间接传递影响力。

表2 途径系数及各影响力所占比重

因 素	传递因素	人口	工业生产	电力需求	其它	总影响
人口		0.3487	0.2584	0.1059	0.0006	0.7136
		48.86%	36.21%	14.84%	0.09%	100%
工业生产		0.2023	0.4454	0.1343	0.0002	0.7822
		25.86%	56.94%	17.17%	0.02%	100%
电力需求		0.2392	0.3153	0.1544	0.0252	0.6837
		34.99%	46.12%	22.58%	3.45%	100%

表2清楚表明,由于人口增加对废水排放总量产生的影响,直接影响力占48.86%,通过工业产生的影响为36.21%,通过电力消费产生的影响为14.84%,通过其它因素产生的影响为0.09%。

## 2. 经济发展、能源消费与废气排放

燃料燃烧过程中和工业生产工艺过程中都会产生废气，排放到大气中会造成大气的污染。这些废气中含有大量的SO<sub>2</sub>、颗粒物、氢氧化物、一氧化碳等，这些污染物质危害人的健康，损毁庄稼、植物，使农业遭到污染受到损失，使生态环境失去平衡。废气排放主要产生于工业生产过程、能源消费过程，它们对废气排放总量的直接和间接影响力见表3。

表3 各因素对废气排放总量的直接和间接影响力

因素	影响力	直接影响	间接影响	总的影晌
工业生产	通径系数	0.0264	0.719	0.7454
	比重(%)	3.54	96.46	100.00
煤炭消费	通径系数	0.6662	0.2405	0.9067
	比重(%)	73.01	26.99	100.00
石油消费	通径系数	0.3565	0.3797	0.7362
	比重(%)	48.42	51.58	100.00
电力消费	通径系数	0.0777	0.8575	0.9352
	比重(%)	8.31	91.69	100.00

在各因素对废气排放总量的影响中，产生直接影响力最大的因素是煤炭消费，其次是石油消费。电力消费和工业生产直接产生的影响较小，它们主要是通过煤炭消费和石油消费而间接产生影响的。在加工转换二次能源的投入量中，煤炭用能占煤炭消费总量的比重为34%左右。火电厂是产生废气的一主要发源地，我国火电占总发电量的比重为78%左右，用于发电的煤炭消费占总煤炭消费的22%左右。居民和工业用电的需求增加，由此而使废气排放增加。表4给出了工业生产、能源消费各因素对废气排放总量产生的直接和间接传递影响力。

表4 通径系数及各影响力所占比例

因 素	传 递 因 素	工业生产	煤炭消费	石油消费	电力消费	其它因素	总的影晌
工业生产		0.0264	0.3720	0.2792	0.0678	0.0000	0.7454
		3.54%	49.91%	37.46%	9.09%	0.00%	100%
煤炭消费		0.0147	0.6662	0.1600	0.0655	0.0003	0.9067
		1.62%	73.48%	17.65%	7.22%	0.03%	100%
石油消费		0.0206	0.2991	0.3565	0.0594	0.0006	0.7362
		2.80%	40.64%	48.42%	8.06%	0.08%	100%
电力消费		0.0229	0.5616	0.2728	0.0777	0.0002	0.9352
		2.45%	60.05%	29.17%	8.31%	0.02%	100%

表4再一次表明，燃煤是产生废气的最主要的因素。工业生产、石油消费、电力消费各因素通过煤炭消费而间接对废气排放总量的影响力占各自对废气排放总影响力的比例分别为49.91%、40.64%和60.05%。

## 二、分析结果带来的思考

### 1. 人口增长对环境的压力

人口增长对环境的压力主要表现为：一方面人口的迅速增长，使得对有限资源的消费需求日益迅速增长，从而导致资源枯竭或退化，使生态平衡遭到破坏；另一方面，人口的增多不断增大对经济发展的需求，在工业化和城市化进程中产生大量的废弃物使环境遭到严重的污染。在前面的通径分析中，我们将人口数量和人均消费水平作为问题的源头，通过对工业生产需求、能源消费需求等过程作用于环境污染的影响的分析，直接和间接地反映了人口增长对环境污染的压力。

我国是一个人口大国，人口总数是世界人口的22%。1990年底，我国人口总数已达到11.43亿，是建国初1949年人口5.4亿的2倍多，仅41年就翻了一番多。自70年代在我国实行计划生育以来，人口迅猛增长的势头虽然有所控制，但我国人口仍处于增长状态。妇女生育水平仍高于

更替水平。人口迅速增长首先是对经济发展带来沉重的压力。改革开放以来,我国经济有了很大的发展。1978—1990年,国民经济年平均增长8.7%,居民消费总额年平均递增7.8%,而人均消费水平年平均仅递增6.3%,在总消费额中,约20%被每年新增人口吃掉,使得人均消费水平难以迅速提高。

社会主义生产的目的是不断地满足人民物质生活和精神生活日益增长的需求。由此,我国提出了在本世纪末国民生产总值比1980年翻两番及全国人民生活从温饱水平达到小康水平的目标,然而,在实现这一宏伟目标的同时,我国人口形势正面临着新的挑战,这无疑将给经济发展和生态环境带来更大的压力。上一次人口出生高峰期1963年至1975年出生的人口,已陆续进入了婚育年龄,在1990年,他们中最大的为27岁,最小的为15岁,其总数接近3亿多,这就决定了我国在90年代人口将再次形成一个前所未有的出生高峰。预计90年代我国每年将有2500万左右的人出生,这样除去死亡人口,在90年代将净增1.4—1.7亿人口,2000年我国人口将接近或突破13亿,严峻的人口形势将冲击已经承受沉重压力的经济,冲击已经处于脆弱状态的生态环境。因此,严格控制人口是保证我国经济顺利发展和减缓环境压力的一项十分重要的策略。

### 2. 以煤为主的能源资源对环境污染的压力

通过上述人口、生产、能源对环境污染的影响作用的分析,我们知道大量消费煤炭产生大量废气是造成大气污染的最主要因素。但根据我国现有能源资源的情况,工业生产、火电厂发电、炼焦及人民生活均离不开煤。1985年至1990年,我国煤炭消费量年平均增长4.97%,煤炭消费弹性系数为0.6384,即国民生产每平均增长1个百分点,煤炭消费需求平均增长0.6384个百分点。我国的经济建设和发展十分依赖于煤这个主要的能源资源。

我国年产煤量居世界第一。在一次能源消费总量中,煤的比重为76%左右。但由于它含硫量及微粒量最高,因而被称为最脏的能源资源。基于我国能源资源的条件以及我国经济发展的水平一时还不可能有新能源代替这个“脏”能源,从而就决定了本世纪以至下世纪初,以煤为主的能源资源的格局不会有大的改变。为适应经济发展的需要,我国的煤炭生产和消费需求还会提高。初步测算,能源消费需求将每年平均递增3.86%,到2000年,能源消费需求将达到14.3亿吨标准煤。届时煤的消费需求量将会是1985年的1.86倍。

自1985年以来,每年向大气排放的废气平均为78626.5亿标立方米,1990年达到85390亿标立方米。每年向大气排放的二氧化硫平均为1415亿吨,近三年达到1500多亿吨。燃料燃烧产生的废气所占的比例为66.8%左右,而煤的燃烧是产生废气、二氧化硫的主要因素,到时如果治理废气水平仍保持在原有的水平,那么大气污染程度便将成倍地增加。因此,在未来十几年内,以煤为主的能源资源的消费,带给环境污染的压力将继续加重。如何减轻燃煤带给大气的污染将是我国面临的长期任务。实践证明,提高能源效率是减少环境污染的重要途径,发展洁净燃煤技术可以减轻燃煤大气污染,这些值得我们重视。

### 3. 环境污染的治理

我国是一个发展中国家,在发展中面临着环境污染和环境治理的双重问题,同时还受到人口多、增长快的压力。前车之辙、后人之鉴,我们不能走一些国家以严重污染环境为代价发展经济的道路,但发展过程中环境污染是不可避免的,我们当然也不可能为此而放弃发展经济,我们应当在边发展边治理中最大限度地减少污染。

早在50年代,我国就提出了“三废”——废气、废水、固体废弃物的综合利用。1972年又在联合国人类环境会议上正式提出了“全面规划,合理布局,综合利用,化害为利,依靠群众,大家动

手,保护环境,造福人民”的中国环境保护工作方针,并在实践中开展了边发展边治理环境污染的工作。如我们采取了征收排污费用等措施,国家每年也拿出一部分资金用于环境的治理。征收排污费在筹集资金用于加强治理,落实“谁污染、谁治理”的工作及限制污染物的过度排放方面起到了一定的成效。但由于我国经济实力不强,近10年来用于治理环境污染的投资占国民收入的比重平均仅为0.38%,因此治理率还很低。在我国目前处于经济不发达的时期,如何用最经济,最有效的手段获取最佳的防治效果是我们面临的急需解决的重要课题。

(作者工作单位:北京信息控制研究所)

### 附: 对通径分析方法的几点说明

1. 通径分析亦称为标准化的多元线性回归分析。它可以描述各种因素对效应因素直接影响程度的相对大小。设效应因素  $y$  受到  $X_1, \dots, X_k$  多种因素的影响,并它们之间存在这样的关系:

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k + e \quad (1)$$

由于模型(1)中  $y, x_1, \dots, x_k$  的量纲不同,因此不能用  $a_1, a_2, \dots, a_k$  来刻画  $x_1, \dots, x_k$  对  $y$  的影响力的相对大小。因此,要对模型进行标准化处理。标准回归模型为:

$$\frac{y - \bar{y}}{\sigma_y} = P_{1y} \left( \frac{x_1 - \bar{x}_1}{\sigma_1} \right) + P_{2y} \left( \frac{x_2 - \bar{x}_2}{\sigma_2} \right) + \dots + P_{ky} \left( \frac{x_k - \bar{x}_k}{\sigma_k} \right) + P_{ey} \left( \frac{e}{\sigma_e} \right) \quad (2)$$

其中  $\bar{y}, \bar{x}_i (i=1, \dots, k)$  为  $y, x_i (i=1, \dots, k)$  各变量的均值,  $\sigma_y, \sigma_i (i=1, \dots, k)$  为它们的标准差,假定  $e$  的标准差为  $\sigma_e$ , 均值为  $0, P_{1y}, \dots, P_{ky}, P_{ey}$  分别为式(2)中各项的系数,称为标准偏回归系数,也称为通径系数,它们的大小反映了各个因素对  $y$  的直接影响力。

2. 通过通径分析方法,我们可以判断各因素对效应因素的直接影响和间接影响的大小。

设  $r_{iy}$  为  $x_i$  与  $y$  的相关系数,由(1)则有:

$$r_{iy} = \frac{\text{cov}(x_i, y)}{\sigma_i \sigma_y} = \frac{\text{cov}(x_i, a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k + e)}{\sigma_i \sigma_y}$$

由于  $x_i$  与  $e$  相互独立,则  $\sigma_{ie} = 0$

$$\begin{aligned} r_{iy} &= \frac{a_1\sigma_{i1} + a_2\sigma_{i2} + \dots + a_k\sigma_{ik} + \sigma_{ie}}{\sigma_i\sigma_y} \\ &= \frac{a_1\sigma_1}{\sigma_y} \cdot \frac{\sigma_{i1}}{\sigma_i\sigma_1} + \frac{a_2\sigma_2}{\sigma_y} \cdot \frac{\sigma_{i2}}{\sigma_i\sigma_2} + \dots + \frac{a_k\sigma_k}{\sigma_y} \cdot \frac{\sigma_{ik}}{\sigma_i\sigma_k} \end{aligned}$$

令  $P_{iy} = \frac{a_i\sigma_i}{\sigma_y}$ , 又  $r_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_i\sigma_j}$ , 即  $x_i$  与  $x_j$  的相关系数

$$\text{所以, } r_{iy} = P_{1y} \cdot r_{i1} + P_{2y} \cdot r_{i2} + P_{ky} r_{ki} \quad (3)$$

(i=1, 2, \dots, k)

由(1),(2)不难证明,标准回归系数也就是(3)式中的  $p_{iy} (i=1, \dots, k)$ 。因此,从(3)式中我们可以得到: $r_{iy}$  为  $x_i$  对  $y$  的总影响力; $x_i$  对  $y$  的直接影响力为  $p_{iy}$ ;由于  $x_i$  与  $x_j$  相关, $x_i$  通过  $x_j$  对  $y$  的间接通径系数为  $p_{jy} \cdot r_{ij}$ ,它为  $x_i$  通过  $x_j$  对  $y$  的间接影响力。

#### 参考文献:

“通径分析方法简介”,袁志发,《国外农学·麦类作物(3)》,1981年。

附表 1

中国 28 省市自治区人口、经济、资源、能源、环境数据表

	人口总数 (万人)	人均消费 水平(元)	人口生活用能量 (万吨标准煤)	工业总产 值(亿元)	工业能源消费量 (万吨标准煤)	石油消费 量(万吨)	电力消费量 (亿千瓦时)	煤炭消费量 (万吨)	能源消费量 (万吨标准煤)	废气排放量 (亿标立方米)	废水排放 量(万吨)	治理废水 投资(万元)	实际处理的 废水(万吨)	未被处理的 废水(万吨)
北京	1037	1249	339.45	709.00	1723	545.39	157.98	2311	2612	2759	85183	31902	33285	51898
天津	856	1135	213.02	635.20	1344	451.50	114.13	1730	2028	1472	44231	20888	21310	22921
河北	5881	583	1174.20	1026.10	4022	369.53	321.72	7760	5962	4911	137067	34655	73481	63586
山西	2793	516	834.78	487.60	3362	127.73	227.39	7245	4799	4474	78862	27671	30410	48452
内蒙古	2122	602	405.61	241.70	1256	96.92	99.15	3395	2036	2700	40815	15754	26433	14382
辽宁	3876	941	775.02	1546.40	5814	1183.19	426.71	7929	7583	8269	226026	80246	132087	93939
吉林	2403	782	581.70	530.40	2112	361.40	177.67	3621	3284	2777	89435	43821	26547	62888
黑龙江	3510	748	1019.66	804.80	3069	738.94	261.94	5591	4998	4778	147973	60115	58384	89589
上海	1276	1586	220.85	1515.30	2354	854.24	240.69	2467	2981	3616	193323	79378	102328	90995
江苏	6536	741	550.76	2507.40	4163	668.61	372.66	6072	5508	5171	282936	88110	77364	205572
浙江	4208	795	251.42	1333.90	1840	278.46	207.36	2339	2424	2551	147635	38359	38837	108798
安徽	5469	520	322.15	627.70	1925	233.85	168.30	3157	2589	2471	127530	28779	48054	79476
福建	2896	677	191.77	489.00	935	114.09	114.11	1210	1360	1369	100851	33123	25842	75009
江西	3695	499	239.79	406.20	1251	137.66	117.22	2321	1756	1641	111194	23135	35086	76108
山东	9160	569	694.64	1920.90	4410	1064.83	381.43	6472	6297	6418	137165	77875	81986	55179
河南	8231	408	1269.17	953.60	3259	311.06	301.30	6274	5292	3726	156205	51666	63527	92678
湖北	5259	631	377.05	976.90	2924	503.47	254.74	3369	3879	3278	249010	44162	100626	148384
湖南	6009	528	637.38	680.10	2641	274.78	204.86	4109	3861	2653	226740	59318	85925	140815
广东	6025	872	474.78	1647.20	2222	919.37	290.36	2275	3360	3053	243159	58571	66082	177077
广西	4151	460	86.71	327.00	912	82.31	102.39	1496	1160	1291	134996	17741	38610	96386
四川	10706	527	1642.29	1147.30	4324	201.28	294.70	6681	6318	5147	291861	47369	56394	235467
贵州	3169	400	580.41	201.40	1059	68.32	89.71	2391	1990	1677	53392	15250	14166	39226
云南	3648	417	312.90	304.90	1132	76.64	105.60	2104	1622	1441	56680	16842	26581	30099
陕西	3191	535	469.09	406.70	1302	121.10	144.97	2553	2076	1740	66592	18040	12564	54028
甘肃	2172	484	305.24	248.30	1363	266.04	149.48	1709	2020	1649	44916	20697	19789	25127
青海	440	673	106.71	54.20	274	42.73	30.06	446	447	396	12688	2384	1466	11222
宁夏	455	545	84.43	58.50	377	27.82	43.44	727	550	539	13512	1937	3660	9852
新疆	1454	746	490.11	187.40	920	292.08	54.72	1596	1791	1013	21784	20745	9113	12691

资料来源:《中国统计年鉴 1990 年》,《中国能源统计年鉴 1989 年》