

Energy and Environmental Input-output Analysis
Model, Method and Application

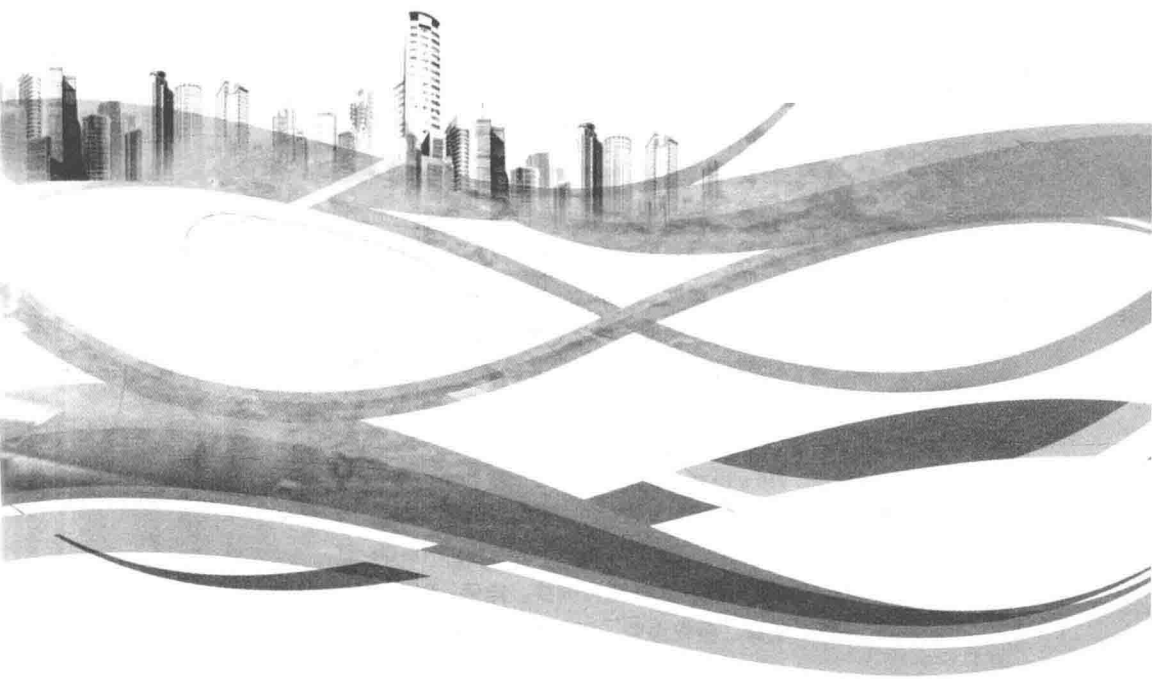
能源环境投入产出分析 模型、方法与应用

庞军 / 著

能源环境投入产出分析

模型、方法与应用

庞军 / 著



中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

能源环境投入产出分析: 模型、方法与应用/庞军著.
—北京: 经济科学出版社, 2016. 4
ISBN 978 - 7 - 5141 - 6817 - 4

I. ①能… II. ①庞… III. ①能源经济 - 投入产出
分析 - 中国 IV. ①F426. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 075736 号

责任编辑: 李 雪 袁 激

责任校对: 王肖楠

责任印制: 邱 天

能源环境投入产出分析

——模型、方法与应用

庞 军 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http://jjkxcbs. tmall. com](http://jjkxcbs.tmall.com)

北京密兴印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 13.75 印张 200000 字

2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 6817 - 4 定价: 48.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191510)

(版权所有 侵权必究 举报电话: 010 - 88191586)

电子邮箱: [dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn)



目 录

第一章 能源环境投入产出分析原理.....	1
第一节 投入产出模型的基本原理.....	1
第二节 能源环境投入产出模型的原理和方法	11
第二章 能源环境投入产出分析国内外研究综述	25
第一节 国外文献综述	26
第二节 国内文献综述	45
第三章 中国出口贸易的能源环境影响分析	54
第一节 引言	54
第二节 模型方法与数据来源	56
第三节 结果与分析	64
第四节 结论与建议.....	102
第四章 中国对外贸易隐含碳分析.....	107
第一节 引言.....	107
第二节 模型方法及数据来源.....	109
第三节 结果及分析.....	115
第四节 结论与建议.....	130

第五章 中国对欧美出口贸易的隐含污染研究	135
第一节 引言	135
第二节 模型方法与数据来源	137
第三节 结果与分析	143
第四节 结论与建议	155
第六章 中国省区碳足迹及碳转移研究	161
第一节 引言	161
第二节 模型方法与数据来源	162
第三节 结果与分析	177
第四节 结论与建议	185
附表 1 GTAP 8 中各个国家及地区名称对应缩写表	189
附表 2 GTAP 8 中各行业名称对应缩写表	192
参考文献	193
后记	210

第一章

能源环境投入产出分析原理

第一节 投入产出模型的基本原理

所谓投入产出技术，是利用数学方法研究某个系统各项活动中的投入和产出之间的数量关系，特别是研究和分析国民经济各个部门在产品的生产和消耗之间数量依存关系的一门科学。投入产出技术由美国经济学家列昂惕夫（leontief）所创立。1936年，列昂惕夫在美国《经济统计评论》上发表的“美国经济系统中的投入与产出数量关系”一文（Leontief, 1936），标志着投入产出技术的创立。列昂惕夫在该技术初创阶段取得的成果主要包括其编制的美国1919年、1929年投入产出表。特别地，1944年美国劳动统计局在列昂惕夫指导下编制的包括96个生产部门的1939年美国投入产出表得到了美国政府部门和军方的重视。此后，投入产出技术在美国得到了广泛应用。1948年，列昂惕夫于哈佛大学建立了哈佛经济研究项目组，推进投入产出技术的研究和相关人才的培养。1973年，列昂惕夫作为“唯一的和无可争辩的投入产出分析的创始人”获得了诺贝尔经济学奖。

就投入产出技术在世界各国的传播来看，从20世纪50年代开始，诸如日本、埃及、马来西亚、赞比亚以及苏联和东欧许多国家先

后编制了投入产出表。中国于 1971 年开始编制投入产出表，并且中国国务院决定从 1987 年开始每隔五年编制一次全国投入产出表。到 1979 年世界上约有 90 多个国家曾编制投入产出表，2000 年以后约有 100 多个国家曾编制和应用投入产出表。1988 年，国际投入产出协会成立，成为世界各国交流投入产出技术研究进展的平台和投入产出技术创新与发展的有力推动者。

将复杂的经济现实模型化，必须建立在一些重要的假设之上。在了解基本的静态价值型投入产出模型之前，先介绍投入产出模型的两个基本假设。

1. 同质性假定

同质性假定又称为纯部门假定，是投入产出模型中最基本最核心的假设。这个假设要求每个产业部门只生产一种特定的同质的产品，具有单一的投入结构，而且只用一种生产技术方式生产。这样，产业部门和产品之间就建立了一一对应的关系，投入产出表中的部门就不再是通常所说的管理部门或产业部门，而是纯部门。这个假设意味着，同一部门的各种产品的生产消耗结构和使用方向结构均具有一致性，即有相同的直接消耗系数和直接分配系数。

此外，只有在同质性假定的基础上，才能假设直接消耗系数具有稳定性，投入产出分析才能超越单纯的流量数据记录而成为一种经济模型。

2. 比例性假定

比例性假定的基本含义是各部门的投入与产出成正比例关系，产出增加一个比例，则生产过程中所需要的各种投入也增加相同的比例。这样，投入系数（包括直接消耗系数、各种初始投入系数）就与生产规模无关。

这一假定实际上是同质性假定的延伸，它的经济内涵有以下几点：没有技术进步和劳动生产率的提高；生产要素不发生替代；价值表中价格不变化；不发生部门合并或分解。

根据这一假定,可以利用不变的消耗系数建立部门之间的联系,从而进行经济预测和制定经济计划。

一、静态价值型投入产出模型

(一) 静态价值型投入产出表的基本架构

投入产出表,简单地说,就是将投入和产出结合起来编制的棋盘式表格。投入指的是产品生产中所消耗的原材料、燃料、动力、固定资产折旧和劳动力等等;产出指的是各部门产品的数量及其使用去向。表1-1是一个简化了的静态价值型投入产出表的示例。

表 1-1

静态价值型投入产出表示例

单位:亿元

产出 投入		中间需求				最终需求				总产出
		1 农业	2 工业	3 其他	合计	消费	资本形成	净出口	合计	
中间投入	1 农业	200	200	0	400	450	100	50	600	1000
	2 工业	200	800	300	1300	500	250	- 50	700	2000
	3 其他	0	200	100	300	400	300	0	700	1000
	合计	400	1200	400	2000	1350	650	0	2000	4000
初始投入	固定资产折旧	50	100	50	200					
	从业人员报酬	400	350	300	1050					
	生产税净额	50	150	100	300					
	营业盈余	100	200	150	450					
	合计	600	800	600	2000					
总投入		1000	2000	1000	4000					

资料来源:陈锡康、杨翠红等编著,《投入产出技术》p23, 2011。

从表1-1中我们可以看到,投入产出表的水平方向代表产出,垂直方向代表投入。从数字上看,农业、工业和其他三部门的总投入

和总产出是相等的，依次是 1000 亿元、2000 亿元和 1000 亿元。水平方向上的产出栏，有中间需求和最终需求（也叫中间产出和最终产出）两栏。中间需求部分显示的是当年生产的产品又进入当年生产过程的那部分产品需求。例如，工业部门当年对农业部门的中间需求为 200 亿元。最终需求部分显示的是每个部门当年生产出来的脱离了生产过程的那部分产品需求，依据表 1-1 分为消费，资本形成和净出口三部分。例如，农业部门当年产出中有 450 亿元用于消费、100 亿元用于资本形成、50 亿元用于净出口，合计共 600 亿元产出用于满足最终需求而脱离了生产过程。垂直方向上的投入栏，有中间投入和初始投入两栏。中间投入是指当年某部门生产的产品投入到其他部门（包括本部门）的产品，例如农业部门该年投入到工业部门的产值为 200 亿元。初始投入包括固定资产折旧、从业人员报酬、生产税净额和营业盈余。后两项合称为纯收入，即新创造的价值。

总之，投入产出表的主栏是投入栏，总投入 = 中间投入 + 初始投入；宾栏是产出栏，总产出 = 中间产出 + 最终产出。投入产出表的行向反映各部门的产品分配使用和实物的运动去向，列项反映各部门生产投入及价值形成过程，从而基于投入产出表可以从双向考察和分析国民经济系统。

（二）静态价值型投入产出表的四个象限

如表 1-2 中，第一象限，即由中间投入和中间需求两部分交叉形成的 $n \times n$ 的方阵，称为中间流量矩阵或中间消耗关系矩阵。其中的每一个元素 Z_{ij} 表示 j 部门消耗的 i 部门产品的数量。这是投入产出表中最重要象限。

第二象限是由中间投入和最终需求两部分交叉而成的矩阵，是第一象限在水平方向上的延伸，显示的是以生产法计算的国民收入的数量及其构成。行向上看，其反映了各部门最终产品的总量及使用方向；从列项上看，其反映投资、消费和出口的来源及其部门构成。这

一矩阵被称为最终需求矩阵。

第三象限是由初始投入和中间需求两部分交叉而成的，是第一象限在垂直方向上的延伸，显示的是以收入法计算的国民收入的数量及构成。这一矩阵被称为初始投入矩阵，又称为增加值矩阵。

第四象限是再分配象限，一般不填写，如果填写则表示国民收入的再分配。

表 1-2 静态价值型投入产出表的四个象限

投入 \ 产出		中间需求				最终需求				总产出
		部门 1	部门 2	...	部门 n	投资	消费	出口	合计	
中间投入	部门 1	$[z_{ij}]_{n \times n}$				K1	C1	F1	Y1	X1
	部门 2					K2	C2	F2	Y2	X2
	...					...	...	...	...	...
	部门 n					Kn	Cn	Fn	Yn	Xn
初始投入	固定资产折旧 D	D1	D2	...	Dn					
	从业人员报酬 W	W1	W2	...	Wn					
	生产税净额 T	T1	T2	...	Tn					
	营业盈余 S	S1	S2	...	Sn					
	合计	V1	V2	...	Vn					
总投入		X1	X2	...	Xn					

(三) 静态价值型投入产出数学模型

1. 主要系数介绍

(1) 直接消耗系数。

直接消耗系数是投入产出模型中最重要的基本概念。指的是某部门生产单位产品对相关部门产品的直接消耗量，反映了第 j 部门与第 i 部门间的技术经济联系，因此又被称为技术系数、投入系数。影响直接消耗系数大小的因素主要有：技术水平、管理水平、部门内部的产品结构、价格的相对变动、需求与生产能力的利用程度等。其定义如下：

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

其中, a_{ij} 代表 j 部门对 i 部门的直接消耗系数, 即第 j 部门生产单位产出对第 i 部门产出的直接消耗量, Z_{ij} 是 j 部门生产过程中对 i 部门产出的直接消耗量, X_j 是 j 部门的总产出。

n 个部门的直接消耗系数矩阵如下所示:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

(2) 初始投入系数。

初始投入系数又称为增加值系数, 定义式如下:

$$a_{vj} = \frac{v_j}{X_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

其中, a_{vj} 表示第 j 部门生产单位产出获得的增加值, v_j 表示 j 部门获得的增加值。

根据增加值的构成, 可以定义固定资产折旧系数 a_{dj} , 从业人员报酬系数 a_{wj} , 生产税净额系数 a_{tj} , 以及营业盈余系数 a_{sj} 。它们的定义式如下:

$$a_{dj} = \frac{d_j}{X_j}, \quad a_{wj} = \frac{w_j}{X_j}$$

$$a_{tj} = \frac{t_j}{X_j}, \quad a_{sj} = \frac{s_j}{X_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

而且这四类系数满足如下关系式:

$$a_{vj} = a_{dj} + a_{wj} + a_{tj} + a_{sj} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

其中, d_j , w_j , t_j , s_j 分别表示 j 部门的固定资产折旧、从业人员报酬、生产税净额和营业盈余。

(3) 完全消耗系数。

在考虑完全消耗系数之前, 我们先来了解一下直接消耗与间接消

耗的概念。

举一个例子来便于说明问题。例如，生产钢材需要消耗煤炭、铁矿石和电力等，此处对电力的消耗是钢材对电力的直接消耗；进一步，考虑到钢材生产过程中也消耗了煤炭和铁矿石等原材料，而煤炭和铁矿石的生产也需要消耗电力，这部分电力消耗是钢材对电力的第一次间接消耗；同时，煤炭和铁矿石在开采过程中需要坑木，生产坑木也要消耗电力，这部分电力消耗是钢材对电力的第二次间接消耗；依次递推，可得到钢材对电力的第三次、第四次、……、第无穷次间接消耗。

所谓完全消耗，就是直接消耗和间接消耗之和。前面我们已经了解了直接消耗系数，现在我们来推导完全消耗系数的计算公式。

已知直接消耗系数 a_{ij} 。假设 j 部门产品通过消耗 k 部门产品而间接消耗了 i 部门产品，同时知道 k 部门产品对 i 部门产品的完全消耗系数为 b_{ik} ，则 $b_{ik} \times a_{kj}$ 就是 j 部门产品通过消耗 k 部门产品而间接消耗的 i 部门产品。所以， j 部门产品对 i 部门产品的全部间接消耗为

$\sum_{k=1}^n b_{ik} \times a_{kj}$ 。所以， j 部门产品对 i 部门产品的完全消耗系数为：

$$b_{ij} = a_{ij} + \sum_{k=1}^n b_{ik} \times a_{kj}$$

写成矩阵形式 $B = A + BA$ ，即 $B(I - A) = A$

所以有 $B = A(I - A)^{-1} = [I - (I - A)](I - A)^{-1} = (I - A)^{-1} - I$

$B = (I - A)^{-1} - I$ 即为完全消耗系数矩阵的表达式。

2. 静态价值型投入产出行模型

静态价值型投入产出表的行向平衡关系为：

中间需求 + 最终需求 = 总产出，

用符号表示如下：

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} + Y_i = X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

其中， z_{ij} 代表 j 部门对 i 部门产品的中间需求， Y_i 代表社会对 i

部门产品的最终需求合计, X_i 是 i 部门的总产出。

将直接消耗系数的定义式代入上式, 可得

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + Y_i = X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

令 $X = (X_1 \ X_2 \ \dots \ X_n)'$, $Y = (Y_1 \ Y_2 \ \dots \ Y_n)'$, 则上式用矩阵表示为

$$AX + Y = X$$

经过矩阵变换后得到

$$X = (I - A)^{-1} Y$$

这就是列昂惕夫模型, 反映了最终需求和总产出的关系, 是投入产出模型中最核心、最重要的公式。其中, $(I - A)^{-1}$ 是列昂惕夫逆矩阵。

3. 静态价值型投入产出列模型

静态价值型投入产出表的列项平衡关系为:

中间投入 + 初始投入 = 总投入,

用符号表示为:

$$\sum_{i=1}^n z_{ij} + V_j = X_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

同样, 将直接消耗系数的定义式代入上式, 可以得到

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} X_j + V_j = X_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

令 $\hat{A}_c$ 是由 $(\sum_{i=1}^n a_{i1} \ \sum_{i=1}^n a_{i2} \ \dots \ \sum_{i=1}^n a_{in})$ 生成的对角阵, $V = (V_1 \ V_2 \ \dots \ V_n)'$, 则上式可以用矩阵形式表示为

$$\hat{A}_c X + V = X$$

经过进一步变换后得到

$$X = (I - \hat{A}_c) V$$

这就是静态价值型投入产出列模型, 它反映了增加值和总投入之间的关系。

二、静态实物型投入产出模型

静态价值型投入产出模型是以价值量为计量单位的,目前世界各国在实际使用中大多数采用价值型投入产出模型。但是以实物量为计量单位的静态实物型投入产出模型也具有重要地位,例如它可以克服价值型投入产出表中投入产出关系受价格变化影响较大这一缺点。我国编制的第一个国民经济投入产出表即 1973 年投入产出表就是实物型投入产出表。

(一) 静态实物型投入产出表的基本结构

表 1-3 是一个简化的静态实物型投入产出表的结构。主栏是投入栏,包括物质消耗和劳动力投入栏,表示产品生产过程中消耗的各种投入要素如原材料、燃料、劳动力等。宾栏为产出栏,表示产品分配使用的去向,同价值型投入产出表一样也包括中间产品和最终产品。

在介绍静态实物型投入产出数学模型之前,我们先通过实物型表与价值型表的对比来初步地了解其特点及特征。

首先,直观地观察两种表的表式,可以发现价值型投入产出表有四个象限,且表的最右端和最下方均有合计栏,各部门对应的行列之和总是相等的。而实物型投入产出表并没有第三象限,列项不能求和,下端自然也没有合计栏。

第二,二者涵盖的经济活动的范围存在差异。价值型投入产出表无论包含的纯部门是多是少,都能涵盖社会经济系统中的全部产品和服务;但是实物型投入产出表由于显示的都是具体的产品类,不可能包含社会经济系统的所有产品。

第三,建立数学模型的基础是行或列的平衡关系。价值型投入产

出表的行列均存在平衡关系，但是实物型投入产出表却只有列项平衡关系。

表 1-3 简化的静态实物型投入产出

产出 投入		实物 单位	中间产品				最终产品			总产品
			1	2	...	n	投资	消费	出口	
物质消耗	1		q_{11}	q_{12}	...	q_{1n}	K_1	C_1	F_1	Q_1
	2		q_{21}	q_{22}	...	q_{2n}	K_2	C_2	F_2	Q_2
	...		...	...	...	...	...	...	...	...
	n		q_{n1}	q_{n2}	...	q_{nn}	K_n	C_n	F_n	Q_n
劳动力投入			l_1	l_2	...	l_n				L

(二) 静态实物型投入产出数学模型

1. 直接消耗系数

静态实物型投入产出表中的各种系数计算方法与价值型投入产出表相同，例如直接消耗系数、各种初始投入系数，等等，唯一的不同的是这些系数带有实物量单位。这里我们只列出实物型投入产出表中直接消耗系数的计算公式：

$$a_{ij} = \frac{q_{ij}}{Q_j}$$

其中， a_{ij} 是直接消耗系数，表示 j 部门生产单位产品对 i 部门产品的直接消耗量（实物量）， q_{ij} 表示 j 部门对 i 部门产品的中间需求（实物量）， Q_j 表示 j 部门的总产出（实物量）。

2. 行模型

静态实物型投入产出表的行向平衡关系为：

中间产出 + 最终产出 = 总产出，

用符号表示为：

$$\sum_{j=1}^n q_{ij} + y_i = Q_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

其中, y_i 表示社会对 i 部门产品的最终需求总和。

把直接消耗系数的计算公式代入上述行平衡关系, 可以得到

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} Q_j + y_i = Q_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

用矩阵形式表示为

$$AQ + Y = Q$$

经过矩阵变换可得

$$Q = (I - A)^{-1} Y$$

这就是静态实物型投入产出模型。可以看到, $(I - A)^{-1}$ 就是静态实物型投入产出模型的列昂惕夫逆矩阵。

第二节 能源环境投入产出模型的原理和方法^①

能源环境投入产出模型是以投入产出技术的产生与发展为基础的, 将投入产出技术应用于能源环境领域源于人类经济社会发展的需要。能源环境投入产出模型, 实际上是在原有单纯考虑经济系统的投入产出模型中纳入能源系统和环境系统, 摒弃过去单纯向自然界索取、认为自然界的能源和环境可以随意消耗的观念, 重新认识能源 - 环境 - 经济系统之间的关系, 并以此指导和规划人类的经济活动。

一、能源环境投入产出表的两种基本形式

考虑经济 - 能源 - 环境三个子系统之间的相互作用关系, 能源环

^① 本节内容基于高敏雪、许健、周景博主编《资源环境统计》第十章“资源 - 环境 - 经济投入产出模型”中的部分内容改编而成。

境投入产出表通常有两种形式。

第一种能源投入产出表主要是从能源、环境与经济三个子系统之间的物质流动关系考虑问题，将能源投入和污染排放两类物质流动直接置于传统投入产出表的下方，见表 1-4。

表 1-4 第一种能源环境投入产出表的基本形式

		中间需求	最终需求	总产出
		1, 2, ..., n		
中间投入	1	中间产出	最终产出	总产出
	2			
	...			
	n			
初始投入		初始投入		
总投入		总投入		
能源投入	1	各部门各类能源投入量	最终需求领域的各类能源投入量	能源投入总量
	2			
	...			
	m			
污染物排放	1	各部门各类污染物排放量	最终需求领域的各类污染物排放量	污染物排放总量
	2			
	...			
	k			

资料来源：高敏雪、许健、周景博主编，《资源环境统计》p293，2004，作者稍作调整。

第二种能源环境投入产出表是在传统投入产出表中划分出了一般部门、能源部门、污染部门（可以理解为不同类型污染物）和污染治理部门。在行向上，用能源部门、污染部门反映能源投入和污染物排放数量；在列项上，用能源部门、污染治理部门表示与能源环境有关的生产活动的投入，如表 1-5 所示。