

研究报告

产品实物型投入-转化-产出 全平衡模型的建立及应用

王健民* 钱兴福* 尹章仕

(城乡建设环境保护部南京环境科学研究所)

芮伟如 施才永 龚荣元

(苏州市环境监测中心站)

我们在《工业污染源的系统控制及控制系统》一文中^[1],已初步报道了该模型的简况,本文作进一步论述。

一、建模背景

“投入产出模型”系由美国经济学家瓦·列昂捷夫于1936年所创立。五十年来在近百个国家得到广泛应用,主要用于宏观经济的研究、预测、规划与管理,从宏观角度引入环境保护方面只是近十几年的事情。国内1960年开始研究,1976年编出了1973年部分产品的国民经济投入产出表,1979年又编出了价值型估算表,1981年编了实物型、价值型两种表,而用于环境保护方面才是近几年的事情^[2-4]。

“投入产出模型”是依据投入产出平衡原则、利用经济数学方法研究国民经济问题的有效手段之一。如:1.编制中长期国民经济计划;2.进行经济预测;3.研究某项重要经济政策对经济的影响;4.计算产品的物料消耗(直接消耗系数、间接消耗系数、完全消耗系数)及价格;5.分析国民经济中的一些主要比例关系;6.研究一些专门的社会问题、环境问题等^[2]。

按性质的不同可分为:实物型与价值型两类,价值型是由实物型转化而来。所以,实

物型是基础。

按范围和层次不同可分为:世界模型、国家模型、地区模型、部门模型及企业模型等^[2],以上都可划为宏观经济模型。宏观实物型投入产出模型未涉及产品物料生产过程中的成分、形态、性质的转化。我们研究的产品实物型投入-转化-产出全平衡模型可划为微观经济模型。

化工设计、生产管理应用投入产出原理,从微观经济角度建立了实物型(包括能、水、原材料)及价值型投入产出平衡计算,通常称为“物料衡算”^[5]。物料衡算可以是全衡算,也可以是部分物料衡算,还可以只对某种组分衡算,也还可以只对某种元素进行衡算。我们研究的属全衡算,它包含了全部物料、组分及元素在内的衡算。一般化工设计及生产管理只对进入产品的有关物料比较重视,管理较严格,但对于其它损耗物料一般重视不够,认为是产品生产所“必需的”、“不可避免的”,而正是这一部分(我们对六个行业的20多个产品研究表明,这一部分可多达50%至99.9%)造成了环境问题、污染危害。此外,其它行业过去普遍未作物料投入-转化-产出全衡算,所以这是一个重要的新课题,是解决工

* 执笔人。

业污染源系统控制及全面质量管理的关键。

我们是既从工业污染源的系统控制及包括环境保护指标在内的全面质量管理目的出发,又从促进生产角度考虑,力求获得资源、生产、经济、环境、社会等多种效益的同步发展,探讨了包括无机化工、有机化工、生物化

工、电镀、造纸、印染等行业建立“产品实物型投入-转化-产出全平衡模型”的可能性。事实表明,研究是成功的,是完全可能的,为丰富和发展投入产出模型作出了贡献,是投入产出模型在环保中应用的一个新模型。

表 1 产品实物型投入-转化-产出全平衡表(模型)

单位:吨

投 料			进入产品			可能流失量	可能流失物的形式、种类及数量					备 注
编 号	投料 名称	组分 名称	投料量	结构 中量	组分 中量		产品形式	产品中间 体形式	原料形式	其它副产 物形式	不 明	
							(名称)	(名称)	(名称)	(名称)		
A_1	A_2	A_3	A	B_1	B_2	C	D_1	$D_2 \cdots$	$D_1 \cdots$	$D_n \cdots$	D_q	
共 计 (Σ)												
1			A_1	B_{11}	B_{21}	C_1	D_{11}	$D_{21} \cdots$	$D_{11} \cdots$	$D_{n1} \cdots$	D_{q1}	
1-1			$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$\vdots$			$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
1-f			$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$\vdots$			$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
1-n			$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
2			$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$\vdots$			$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
k			A_k	B_{1k}	B_{2k}	C_k	D_{1k}	$D_{2k} \cdots$	$D_{1k} \cdots$	$D_{nk} \cdots$	D_{qk}	
$\vdots$			$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
m			A_m	B_{1m}	B_{2m}	C_m	D_{1m}	$D_{2m} \cdots$	$D_{1m} \cdots$	$D_{nm} \cdots$	D_{qm}	
可能流失物的流失 形态、种类及数量。			气 态		E_1		E_{11}	$\cdots$	$E_{11} \cdots$	$\cdots$	E_{q1}	
			液 态		E_2		E_{12}	$\cdots$	$E_{12} \cdots$	$\cdots$	E_{q2}	
			固 态		E_3		E_{13}	$\cdots$	$E_{13} \cdots$	$\cdots$	E_{q3}	
			不 明 态		E_4		E_{14}	$\cdots$	$E_{14} \cdots$	$\cdots$	E_{q4}	
可能流失物的回收、综合利用量					F_1		F_{11}	$\cdots$	$F_{11} \cdots$	$\cdots$	F_{q1}	
可能流失物的无害化处理减少量					F_2		F_{12}	$\cdots$	$F_{12} \cdots$	$\cdots$	F_{q2}	
流失物排入环境的 排放形态、种类及 数量			气 态		G_1		G_{11}	$\cdots$	$G_{11} \cdots$	$\cdots$	G_{q1}	
			液 态		G_2		G_{12}	$\cdots$	$G_{12} \cdots$	$\cdots$	G_{q2}	
			固 态		G_3		G_{13}	$\cdots$	$G_{13} \cdots$	$\cdots$	G_{q3}	
			不 明 态		G_4		G_{14}	$\cdots$	$G_{14} \cdots$	$\cdots$	G_{q4}	

审核人:

年 月 日

制表人:

年 月 日

二、模型的建立

依据物质不灭定律、投入产出平衡原则及物质定组成原理,考察一个典型产品的物料投入-转化-产出全过程,可以分出以下七个有机组成部分,并可以用矩阵的形式将它们之间联系起来(见表1)。

A. 投入部分 这一部分反映出产品生产所需的物料消耗、种类、成分和数量;进一步可反映出物料性质、价值及可能对环境产生的潜在影响。存在如下平衡关系:

$$A = \sum_{k=1}^m A_k \quad (\text{投料种类数 } k = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (1-1)$$

$$A_k = \sum_{j=1}^n A_{jk} \quad (\text{组分种类数 } j = 1, 2, \dots, n) \quad (1-2)$$

$$A_{jk} = \sum_{i=1}^p A_{ijk} \quad (\text{元素种类数 } i = 1, 2, \dots, p) \quad (1-3)$$

$$A_k/A = \eta_{Ak} \quad \left(\sum_{k=1}^m \eta_{Ak} = 1 \right) \quad (1-4)$$

式中, A ——投入物料(报告期)的总量;

A_k —— K 种物料的分量;

A_{jk} ——组成 A_k 的 j 种组分的分量;

A_{ijk} ——组成 A_{jk} 的 i 种元素的分量;

η_{Ak} —— A_k 与 A 的比例系数。

B. 进入产品部分 这一部分反映出进入产品(包括副产品)的有关物料的种类、成分和数量;进一步一方面可反映出产品的实际利用物料的经济效益,另一方面反映出未进入产品的可能损失物料情况。任何生产都追求投料尽可能多的转化为产品、商品和价值,但往往只有部分、甚至是少部分投料(组分、元素)进入产品的结构(B_1)或以组分形式存在于产品之中(B_2)。存在如下平衡关系:

$$B = \sum_{k=1}^m B_k \quad (2-1)$$

$$B_k = \sum_{j=1}^n B_{jk} \quad (2-2)$$

$$B_{jk} = \sum_{i=1}^p B_{ijk} \quad (2-3)$$

$$B_k/B = \eta_{Bk} \quad \left(\sum_{k=1}^m \eta_{Bk} = 1 \right) \quad (2-4)$$

式中, B ——产品(报告期)的总产量;

B_k —— K 种物料进入 B 的分量;

B_{jk} ——组成 B_k 的 j 种组分进入 B 的分量;

B_{ijk} ——组成 B_{jk} 的 i 种元素进入 B 的分量;

η_{Bk} —— B_k 与 B 的比例系数。

C. 投料可能流失量部分 这一部分反映出产品生产过程中投料可能流失的种类、成分和数量;也就可进一步反映出可能流失物的价值及对环境的潜在影响。存在如下平衡关系:

$$C = \sum_{k=1}^m C_k \quad (3-1)$$

$$C_k = \sum_{j=1}^n C_{jk} \quad (3-2)$$

$$C_{jk} = \sum_{i=1}^p C_{ijk} \quad (3-3)$$

$$C_k/C = \eta_{Ck} \quad \left(\sum_{k=1}^m \eta_{Ck} = 1 \right) \quad (3-4)$$

式中, C ——可能流失物料(报告期)的总量;

C_k —— K 种物料可能流失分量;

C_{jk} ——组成 C_k 的 j 种组分可能流失分量;

C_{ijk} ——组成 C_{jk} 的 i 种元素可能流失分量;

η_{Ck} —— C_k 与 C 的比例系数。

D ——可能流失物的可能流失种类、形式部分 这一部分反映出损耗物料经加工过程(机械物理、化学、物理化学、生物化学等)之后,转化成可能流失物的形式、种类和数量;更进一步反映出可能流失物的环境特性,价值及对环境的潜在影响。对环境保护来说,这是关键部分,对生产来说也是重要的一部分,以往宏观经济模型未能反映出来。

这一部分通常转化为五种亚类形式: D_1 产品形式、 D_2 中间产品形式、 D_n 副产物形式、 D_l 原料形式和 D_q 不明形式。存在如下平衡关系:

$$D = \sum_{l=1}^q D_l$$

(可能流失物种类数 $q = 1, 2, \dots, q$) (4-1)

$$D_k = \sum_{l=1}^q D_{lk} \quad (4-2)$$

$$D_l = \sum_{k=1}^m D_{lk} \quad (4-3)$$

$$D_{lk} = \sum_{j=1}^n D_{lij} \quad (4-4)$$

$$D_{lik} = \sum_{i=1}^p D_{liik} \quad (4-5)$$

$$D_l/D = \eta_{dl} \quad \left(\sum_{l=1}^q \eta_{dl} = 1 \right) \quad (4-6)$$

$$D_{lk}/D = \eta_{dlk} \quad \left(\sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^q \eta_{dlk} = 1 \right) \quad (4-7)$$

$$D_{lik}/D_l = \eta_{dlik} \quad \left(\sum_{k=1}^m \eta_{dlik} = 1 \right) \quad (4-8)$$

$$D_{lik}/D_k = \eta_{dklik} \quad \left(\sum_{l=1}^q \eta_{dklik} = 1 \right) \quad (4-9)$$

式中, D ——可能流失物各种类、形式的总量(报告期),其值与 C 相等;

D_k —— K 种投料转化成的可能流失物数量;

D_l ——可能流失物 l 类的数量;

D_{lk} —— K 种投料转化进入 l 种可能流失物的数量;

D_{lik} —— K 种投料中 i 组分进入 l 种可能流失物的数量;

D_{liik} —— K 种投料中 i 组分的 i 元素进入 l 种可能流失物的数量;

η_{dl} —— D_l 与 D 的比例系数;

η_{dlk} —— D_{lk} 与 D 的比例系数;

η_{dlik} —— D_{lik} 与 D_l 的比例系数;

η_{dklik} —— D_{lik} 与 D_k 的比例系数。

E ——可能流失物的可能流失形态部分

这一部分反映出可能流失物的可能流失形态及其各种类、形式可能流失物的数量,一般分为气态(E_1)、液态(E_2)、固态(E_3)及不明态(E_4)。气态包括颗粒粉尘、烟尘、气体化合物;液态包括废液、废水、悬浮物;固态包括废渣、废料、污泥等。进一步可反映出环境可能影响的形态、性质及危害。存在如下平衡关系:

$$E = \sum_{r=1}^4 E_r \quad (5-1)$$

$$E_r = \sum_{l=1}^q E_{lr} \quad (5-2)$$

$$D_l = \sum_{r=1}^4 E_{lr} \quad (5-3)$$

$$E_r/E = \eta_{er} \quad \left(\sum_{r=1}^4 \eta_{er} = 1 \right) \quad (5-4)$$

$$E_{lr}/E_r = \eta_{elr} \quad \left(\sum_{l=1}^q \eta_{elr} = 1 \right) \quad (5-5)$$

$$E_{lr}/D_l = \eta_{dllr} \quad \left(\sum_{r=1}^4 \eta_{dllr} = 1 \right) \quad (5-6)$$

式中, E ——可能流失物总量 D 分解为可能流失形态分量之和;

E_r ——组成 E 的 r 形态的可能流失物分量;

E_{lr} ——组成 E_r 的某种形态 r 的可能流失物 l 分量;

η_{er} —— E_r 与 E 的比例系数;

η_{elr} —— E_{lr} 与 E_r 的比例系数;

η_{dlr} —— E_{lr} 与 D_l 的比例系数。

F . 可能流失物的回收利用及无害化处理减少量部分 这部分是反映有毒、有害、有用的可能流失物经回收、利用转化为新的资源、产品或商品 (F_1) 及经无害化处理转化为无毒(低毒)、无害(低害)、有益的流失物 (F_2) 的种类及数量, 这对生产与环境保护都有重要作用。存在如下平衡关系:

$$F = \sum_{r=1}^2 F_r \quad (6-1)$$

$$F_r = \sum_{l=1}^q F_{rl} \quad (6-2)$$

$$F_r / F = \eta_r \quad (6-3)$$

$$F_{rl} / F_r = \eta_{rl} \quad (6-4)$$

$$F_{rl} / D_l = \eta_{dlr} \quad (6-5)$$

式中, F ——回收利用及无害化处理减少的可能流失物总量;

F_r ——回收利用或无害化处理减少的可能流失物分量;

F_{rl} ——组成 F_r 的可能流失物分量;

η_r —— F_r 与 F 的比例系数;

η_{rl} —— F_{rl} 与 F_r 的比例系数;

η_{dlr} —— F_{rl} 与 D_l 的比例系数。

G . 流失物实际排入环境的部分 这一部分反映出最终排入环境的流失物(排放物)的形态、形式、种类和数量, 因此, 能相当确切的进一步评价其性质、价值及对环境可能影响和危害, 并进一步制定控制与管理的环境对策。存在如下平衡关系式:

$$G = \sum_{r=1}^4 G_r \quad (7-1)$$

$$G_r = \sum_{l=1}^q G_{lr} \quad (7-2)$$

$$G_r / G = \eta_{gr}$$

$$\left(\sum_{r=1}^4 \eta_{gr} = 1 \right) \quad (7-3)$$

$$G_{rl} / G_r = \eta_{glr}$$

$$\left(\sum_{l=1}^q \eta_{glr} = 1 \right) \quad (7-4)$$

式中, G ——最终排入环境的流失物总量;

G_r ——组成 G 的形态 r 的流失物分量和;

G_{lr} ——组成 G_r 的形态 r 的流失物 l 分量;

η_{gr} —— G_r 与 G 的比例系数;

η_{glr} —— G_{lr} 与 G_r 的比例系数。

以上七个组成部分之间又存在如下平衡关系:

1. 总物料平衡

$$A - B = C = D = E = F + G \quad (8-1)$$

2. 某物料平衡

$$A_k - B_k = C_k = D_k \quad (8-2)$$

3. 某组分平衡

$$A_{ik} - B_{ik} = C_{ik} = D_{ik} \quad (8-3)$$

4. 某元素平衡

$$A_{ijk} - B_{ijk} = C_{ijk} = D_{ijk} \quad (8-4)$$

5. 某流失物的平衡

$$D_l = \sum_{r=1}^4 E_{lr} = \sum_{r=1}^2 F_{rl} + \sum_{r=1}^4 G_{lr} \quad (8-5)$$

用产品总量 (B) 除上各数值, 便可进一步得到一张《单位产品实物型投入-转化-产出全平衡系数表(模型)》, 它是由以下七个非常重要的生产-环境物料系数组成, 它们之间又存在如下平衡、转化方程式:

$$K_7 = K_5 - K_6 \quad (9-1)$$

$$K_7 = K_5 (1 - \eta_3) \quad (9-2)$$

$$K_7 = K_4 \eta_2 (1 - \eta_3) \quad (9-3)$$

$$K_7 = K_3 \eta_1 \eta_2 (1 - \eta_3) \quad (9-4)$$

$$K_7 = (K_1 - K_2) \eta_1 \eta_2 (1 - \eta_3) \quad (9-5)$$

式中, K_1 ——投料单耗系数;

K_2 ——投料单产系数;

K_3 ——投料单流系数;

K_4 ——投料单转系数;

K_5 ——可能流失物单流系数;

K_6 ——可能流失物单减系数;

K_7 ——实际单排系数;

η_1 ——损失的各种投料转化为各种可能流失物的转化率(同 η_{aklk});

η_2 ——以气、液、固态和不明态存在的各种可能流失物占各自分量的百分率(同 η_{allr});

η_3 ——各种可能流失物经回收、利用、无害化处理而减少的百分率(同 η_{lr}).

三、模型的作用

1. 模型本身的建立属微观经济模型, 弥补了以往宏观经济模型的不足, 应用是成功的;

2. 得到产品生产物料投入-转化-产出的全部参数, 将生产与环境保护紧密联系起来;

3. 得到一整套的物料平衡关系式;

4. 得到 15 个平衡比例系数;

5. 得到 7 个生产-环境物料系数;

6. 利用上述结果, 还可以外延得到一系列其它成果。如纵向可以基准年推出历史的动态变化及预测未来; 横向可推出同类型产品的投入产出情况; 还可以在这个基础模型上, 建造全国工业污染源的数据库; 编制排放

系数手册等等。

可见, 本模型的建立与应用, 将大大促进工业生产与环保两方面效益的同步发展。

四、模型的应用

(一) 已完成的产品

应用此模型我们已对下列产品进行了投入-转化-产出平衡计算: 硫酸、磷肥、精制硫酸铝、糖精、甲醛、H 发泡剂、乌洛托品、邻苯二甲酸二辛酯、THFZ-63-1 自熄性覆铜箔环氧纸层压板、THFB-65 覆铜箔醛玻璃布层压板、THAB-65 覆铜箔环氧玻璃布层压板、3240 环氧醛玻璃布层压板、THFB-65-1 自熄性覆铜箔环氧玻璃布层压板、味精、肌苷、镀锌、镀镉、镀硬铬、镀手工亮镍铬、发黑、机制纸、印染布等 20 多种产品。

(二) 推广应用

天津市环境保护局在天津工业污染源重点普查中发放了这张表, 并经天津市统计局(83)津统字 15 号文批准执行。已有 200 多家工厂近 600 个产品填报了这张表, 使我们这一成果得到了应用。上海市环境保护局在上海工业污染源普查中也要求重点工厂填报这张表, 一些厂正在应用。

参 考 文 献

- [1] 王健民等, 中国环境科学, 4(5), 7-11(1984).
- [2] 陈锡康等, 经济数学方法与模型, 第 1-10 页, 中国财政经济出版社, 1982 年.
- [3] 乌家培等, 投入产出法在中国的应用, 第 5-8 页, 山西人民出版社, 1984 年.
- [4] 过孝民等, 中国环境科学, 3(6), 1-6(1983).
- [5] 马树泉等, 化工基本计算例题集, 31-36 页, 化学工业出版社, 1982 年.