

国民经济行业用水特性分析与评价

汪党献, 王浩, 倪红珍, 马静

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100044)

摘要: 本文对国民经济行业用水特性进行了分析, 提出了节水高效型国民经济生产体系的定量分析方法。内容包括: 建立了水资源投入产出分析模型; 分别从用水效率和用水效益两方面构建了国民经济行业用水特性评价指标体系; 提出了国民经济行业用水特性综合评价方法; 提出了节水高效型国民经济产业结构的判定标准及其方法。本文提出的方法, 可为制定国民经济和行业发展规划提供决策依据, 文中以北京为例说明本方法的应用结果。

关键词: 国民经济行业; 用水特性; 投入产出分析; 评价指标

中图分类号: TV213.9 **文献标识码:** A

建设节水高效型国民经济生产体系, 是缓解日益增长的水资源危机和水资源供需矛盾的基本对策和重要措施。问题是: 什么是节水高效型国民经济生产体系, 如何判定和衡量国民经济生产体系用水特性, 如何确定节水高效型国民经济生产体系的产业结构调整方向。为此, 本文将试图对上述问题进行回答, 并结合案例进行分析研究。

1 水资源投入产出分析模型

在投入产出模型的基础上, 增加第 象限, 将国民经济行业用水量纳入表中, 即可形成水资源投入产出分析模型, 如表1所示^[1]。

由表1, 可以构建以下数学模型

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

式中: X 、 Y 分别为总投入行向量和最终产品列向量, $(I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵。

引进第 j 行业取水定额(也称为直接取水系数) Q_j , 设定 Q_j 的对角矩阵为 Q , 则表1中的第 象限的矩阵形式表示为

$$W = XQ \quad (2)$$

式中: W 为各经济行业用水量的行向量, $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$ 。

式(1)和式(2)构成了水资源投入产出分析模型。该模型是反映了总产出与总投入的平衡关系及各行业对水资源的占用情况。

2 水资源投入产出分析

收稿日期: 2003-07-30

作者简介: 汪党献(1966-), 男, 安徽安庆人, 博士, 教授级高级工程师, 从事区域发展与水资源需求分析研究。

水资源投入产出分析，就是从经济系统角度，分析研究国民经济各行业用水效率与效益，可以通过各经济行业用水的投入系数和产出系数来反映。

表 1 水资源投入产出分析模型

	中间使用					最终使用										总产出	
	行业 1	行业 2	...	行业 n	合 计	消费			积累			调 入	调 出	合 计			
						城 居	农 居	社 会	合 计	固 定	流 动				合 计		
中 间 投 入	行业1	X ₁₁	X ₁₂	...	X _{1n}	μ ₁	C ₁ ^c	C ₁ ^r	C ₁ ^s	C ₁	F ₁ ⁱ	F ₁ ^s	F ₁	M ₁	E ₁	Y ₁	X ₁
	行业2	X ₂₁	X ₂₂	...	X _{2n}	μ ₂	C ₂ ^c	C ₂ ^r	C ₂ ^s	C ₂	F ₂ ⁱ	F ₂ ^s	F ₂	M ₂	E ₂	Y ₂	X ₂
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	行业n	X _{n1}	X _{n2}	...	X _{nn}	μ _n	C _n ^c	C _n ^r	C _n ^s	C _n	F _n ⁱ	F _n ^s	F _n	M _n	E _n	Y _n	X _n
合计	1	2	...	n		C ^c	C ^r	C ^s	C	F ⁱ	F ^s	F	M	E	Y	X	
最 初 投 入	折旧	D ₁	D ₂	...	D _n	D											
	劳动者	V ₁	V ₂		V _n	V						IV					
	收入和	Z ₁	Z ₂	...	Z _n	Z											
	税金																
	合计	N ₁	N ₂	...	N _n	N											
总投入	X ₁	X ₂	...	X _n	X												
用 水 量	行业1	W ₁₁	0		0	W ₁											
	行业2	0	W ₂₂		0	W ₂											
	·	·	·	·	·	·											
	·	·	·	V	·	·											
	行业n	0	0		W _{nn}	W _n											
合计	W ₁	W ₂		W _n	W												

2.1 取水系数分析 取水系数分析即用水效率分析，其分析指标包括直接取水系数、完全取水系数和取水乘数等。

2.1.1 直接取水系数 直接取水系数可以采用万元产值或万元增加值取水量表示，反映经济行业单位经济量生产对水资源直接取用水平。第j行业万元产值取水量为

$$Q^x_j = W_j / X_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

其行向量为 $Q^x = (Q^x_1, Q^x_2, \dots, Q^x_n)$ 。

设 r_j 为第 j 行业增加值率(第 j 行业增加值与其产值的比率),则第 j 行业万元增加值取水量为

$$Q_j^N = W_j/N_j = Q_j^X \times r_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中: N_j 为第 j 行业增加值。其行向量为 $Q^N = (Q_1^N, Q_2^N, \dots, Q_n^N)$ 。

2.1.2 完全取水系数 完全取水系数主要用来分析经济行业取水量与整个经济系统取水量之间的关系。某一行业完全取水系数为该行业每增加一万元的最终产品,整个经济系统所累计增加的取水量。由式(1)和式(2)可以作以下分析

将矩阵 Q^X 左乘式(1),则有

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

设定: $Q^X (I - A)^{-1} = [cq_{ij}]_{(n \times n)}$

则第 j 行业完全取水系数 Cq_j 为

$$Cq_j = \sum_{i=1}^n cq_{ij} \quad (5)$$

完全取水系数行向量为 $CQ^X = (Cq_1, Cq_2, \dots, Cq_n)$ 。

2.1.3 取水乘数 取水乘数为某一行业增加单位取水量,整个经济系统所增加的取水量。取水乘数用于反映经济行业取水量的乘数效应。第 j 行业取水量乘数计算公式为

$$MW_j = Cq_j / Q_j \quad (6)$$

其行向量可表示为 $MW = (MW_1, MW_2, \dots, MW_n)$ 。

2.2 用水产出系数分析 用水产出系数分析即用水效益分析,可以通过包括用水直接产出系数、完全产出系数和产出乘数等指标来分析国民经济行业和整个经济系统的用水效益。

2.2.1 用水直接产出系数 某一经济行业直接产出系数为该行业单方用水量所生产的产值量或增加值量,可以反映经济行业生产用水的直接经济效益。

第 j 行业用水产值产出系数 O_j 为

$$O_j = X_j / W_j = 10000 / Q_j^X \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

其列向量为 $DO^X = (O_1, O_2, \dots, O_n)^T$

第 j 行业用水增加值产出系数 O_j^N 为

$$O_j^N = N_j / W_j = O_j \times r_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

其列向量为 $CO^N = (O_1^N, O_2^N, \dots, O_n^N)^T$

式(7)和式(8)中的各符号同上。

2.2.2 用水完全产出系数 用水完全产出系数用来反映某一经济行业增加或减少单方水使用量所引起的整个经济系统经济量的变化量。用水完全产出系数可从产值和增加值两种统计口径分别衡量和计算。

引进对角矩阵 O , $O=[O_{ij}]$, $O_{ij}=O_i=O_j$ ($i=j$), 设定完全产出矩阵 CO , $CO=(I-A)^{-1}O=[CO_{ij}]_{(n \times n)}$

则对于第 j 行业用水完全产出系数 Co_j 为

$$Co_j = \sum_{i=1}^n Co_{ij} \quad (9)$$

则用水完全产出系数行向量为 $CO^X=(Co_1, Co_2, \dots, Co_n)$ 。

根据产值与增加值之间的关系, 用水增加值完全产出系数 Co_j^N 计算公式为

$$Co_j^N = Co_j \times r_j \quad (10)$$

则用水完全增加值产出系数行向量为 $CO^N=(Co_1^N, Co_2^N, \dots, Co_n^N)$ 。

2.2.3 用水产出乘数 某一行业产出乘数为该行业每增加单位取水量所引起的整个经济系统产出价值量的增加量。第 j 行业用水产出乘数计算公式为

$$MO_j=Co_j/O_j=Co_j^N/O_j^N \quad (11)$$

其行向量可表示为 $MO=(MO_1, MO_2, \dots, MO_n)$ 。

3 经济用水特性综合评价

经济用水特性综合分析, 就是从行业用水的水投入系数和行业用水的水产出系数两方面, 分析比较水的投入与产出关系及其对经济系统的影响程度, 以判定和权衡节水高效型国民经济产业结构的调整方向。国民经济行业用水程度是相对的, 其衡量的基础可以是当地国民经济系统总体用水水平。衡量的标准有: 其一为各行业用水量占总用水量的比重, 反映用水结构水平; 其二为各行业耗用水相对指标的比较。从水量的消耗来说, 总是希望国民经济系统以减少水资源量的耗用为目标, 而从经济产出来看, 总是追求经济系统总体产出最大为目标。视具体的经济系统而言, 两目标可以完全重合, 也可能发生背离。当发生背离时, 如何确定国民经济发展方向, 以尽可能少的水资源消耗, 追求尽可能多的经济产出, 这就需要进行科学判别和正确抉择。而判别与抉择的基础是进行定量分析和计算。为此, 需要引进评价指标, 并提出评价方法。

3.1 取水指标 取水指标可采用相对取水系数和相对取水乘数来反映。取水指标是从经济系统的角度, 比较分析各行业用水特性及其对系统影响程度, 可以作为评价经济行业水量消耗规律的定量参考依据。

某行业相对取水系数为该行业直接取水系数和经济系统综合平均直接取水系数的比值, 该指标可以分析比较不同经济行业用水水平的高低。计算公式为

$$RQ_j^X=Q_j^X/Q_o^X \quad \text{其中: } Q_o^X = \sum_{j=1}^n W_j / \sum_{j=1}^n X_j \quad (12)$$

$$RQ_j^N=Q_j^N/Q_o^N \quad \text{其中: } Q_o^N = \sum_{j=1}^n W_j / \sum_{j=1}^n N_j \quad (13)$$

式中: RQ_j^X 和 RQ_j^N 分别为第 j 行业产值相对取水系数和增加值相对取水系数, Q_o^X 和 Q_o^N 分别为系统产值和增加

值综合平均取水系数。

当某行业相对取水系数等于1,表明该行业用水水平和整个经济系统用水水平持平;大于1,则表明其用水水平高于平均水平;小于1则小于平均水平。

设定 RMW_j 为第j行业产值相对取水乘数,其计算公式设定如下:

$$RMW_j = MW_j / \left(\sum_{j=1}^n MW_j / n \right) \quad (n \text{ 为行业数}) \quad (14)$$

相对取水乘数指标主要反映各经济行业取水量的变化对经济系统取水总量的影响程度。显然,相对取水乘数越大的行业,其生产用水对经济系统总用水量的增加贡献大,反之则小。

3.2 产出指标 某行业相对产出系数为该行业水的产出系数与经济系统平均产出系数的比值。设定 RO_j^X 和 RO_j^N 分别为第j行业产值相对产出系数和增加值相对产出系数, O_0 和 O_0^N 分别为经济系统产值和增加值综合平均产出水平值。则其计算公式如下:

$$RO_j^X = O_j / O_0 \quad \text{其中: } O_0 = \sum_{j=1}^n X_j / \sum_{j=1}^n W_j = 10000 / Q_0 \quad (15)$$

$$RO_j^N = O_j^N / O_0^N \quad \text{其中: } O_0^N = \sum_{j=1}^n N_j / \sum_{j=1}^n W_j = 10000 / Q_0^N \quad (16)$$

某一经济行业用水相对产出乘数为该行业产出乘数与经济系统平均产出乘数的比值,反映某经济行业增加取水量所增加的经济产出量对整个经济系统经济产出量的影响程度。经济系统平均产出乘数为各行业产出乘数的平均值。设定 RMO_j 为第j产值相对产出乘数,则其计算公式如下:

$$RMO_j = MO_j / \left(\sum_{j=1}^n MO_j / n \right) \quad (n \text{ 为行业数}) \quad (17)$$

3.3 用水结构指标 为了反映行业用水量对经济用水特性综合评价指标经济系统影响程度,引进相对用水结构系数指标,相对用水结构系数 RS_j 的计算公式为

$$RS_j = (W_j / W_0) / \left(\sum_{j=1}^n W_j / W_0 / n \right) \quad (j \text{ 为行业序号, } n \text{ 为行业数}) \quad (18)$$

式中, $W_0 = \sum_{j=1}^n W_j$ 为总用水量。

3.4 用水效率评价 根据上述评价指标,可以进行高用水行业、一般用水行业、潜在高用水行业等的判别。

高用水行业:相对用水结构系数或相对取水系数 > 1 的行业为高用水行业。相对用水结构系数 < 1 ,表

明该行业用水水平大于或等于系统的平均水平；相对取水系数 ≥ 1 ，表明该行业其生产单位产品所取用(或耗用)水量大于或等于经济系统的平均水平。显然，这些行业可以定义为高用水行业，其判别标准为

$$RQ_j^x \text{ 或 } RQ_j^N \geq 1 \text{ and (or) } RS_j \geq 1 \quad (19)$$

一般用水行业：相对取水乘数和相对取水系数均小于1的行业可以定义为一般用水行业。一般用水行业判别标准为

$$RQ_j^x \text{ 或 } RQ_j^N < 1 \text{ and } RS_j < 1 \quad (20)$$

有些行业现状用水量占用水总量的比重比较低，且其相对取水系数也较小，但其取水乘数较大。虽然这些行业目前耗用水程度不高，但随着未来的发展，其耗用水量将迅速提高，其占经济系统总用水量的比重也将迅速上升，逐渐成为高用水行业。根据乘数效应的概念，凡是取水乘数大的行业，其对经济系统用水总量增长的放大倍数也大，这些行业的发展将促进整个经济系统用水量的快速增长，因而可以将这些行业定义为潜在高用水行业，其判别标准为

$$RMW_j \geq 1 \quad (21)$$

上述指标中建议采用相对增加值取水系数指标为主，相对产值取水系数指标为辅。

3.5 用水效益评价 凡是用水相对产出乘数 ≥ 1 的行业，为高效用水行业，反之则为一般用水行业；凡是用水相对产出乘数 < 1 的行业，为潜在高效利用水的行业。由此，提出行业产出特性的判别标准。

高效用水行业判别标准为

$$RQ_j^x \text{ 或 } RO_j^N \geq 1 \quad (22)$$

潜在高效用水行业判别标准为

$$RMO_j > 1 \quad (23)$$

3.6 用水特性综合评价 对于水资源紧缺地区，在制定经济发展规划时，要充分考虑水资源的制约作用，应限制高用水行业的发展速度与发展规模，同时大力鼓励低耗水、高产出的行业发展，以追求国民经济的高速、持续发展；对于水资源相对丰富的地区，在供水条件不受制约的情况下，可以适度促进高产出、高耗用水行业的发展，对于这些地区可适度安排高产出且高用水行业的供水要求，以促进区域经济的快速发展；而对于低产出且高用水的行业，原则上应不安排或限制其供水需求。

4 案例分析

根据1997年北京市投入产出表^[2]，结合北京市有关行业用水资料情况^[3, 4]，将国民经济行业归并成18部门的行业用水特性指标计算及其评判结果见表2、表3所示。

表2 北京市1997年国民经济行业用水效率指标及其用水性质评判

行业	万元产值取水量*	完全取水系数*	万元增加值取水量*	取水乘数	相对取水系数	相对用水结构系数	相对取水乘数	用水程度判定	潜在用水程度判定
农业	1092.6	1419.4	2160.5	1.30	14.10	9.68	0.15	高	一般
采掘	38.3	114.9	84.0	3.00	0.55	0.08	0.36	一般	一般
食品	50.7	589.1	295.4	11.62	1.93	0.69	1.38	高	高
纺织	29.5	232.8	132.9	7.89	0.87	0.22	0.94	一般	一般
木材	16.1	119.5	63.3	7.43	0.41	0.03	0.88	一般	一般
造纸	119.1	198.2	237.1	1.66	1.55	0.50	0.20	高	一般
石油	52.3	148.1	327.7	2.83	2.14	0.24	0.34	高	一般
化学	58.5	208.1	274.6	3.56	1.79	0.89	0.42	高	一般
建材	42.4	137.8	123.5	3.25	0.81	0.25	0.39	一般	一般
冶金	47.0	144.6	207.4	3.08	1.35	0.83	0.37	高	一般
机械	36.0	128.9	131.9	3.58	0.86	0.62	0.43	一般	一般
电子	4.6	93.0	25.0	20.23	0.16	0.10	2.40	一般	高
电力	281.5	316.6	405.1	1.13	2.64	1.24	0.13	高	一般
其它工业	5.0	63.2	9.8	12.64	0.06	0.02	1.50	一般	高
建筑	3.0	98.6	10.7	32.86	0.07	0.09	3.90	一般	高
货邮	2.5	62.7	5.1	25.07	0.03	0.04	2.97	一般	高
商饮	85.0	200.0	153.1	2.35	1.00	1.53	0.28	高	一般
服务	8.0	65.9	17.2	8.24	0.11	0.97	0.98	一般	一般

注：*单位为 m^3 /万元。

通过表2可以看出，目前北京市高用水行业主要集中在农业和以资源加工为主的工业以及商饮业。潜在高用水行业中，电子工业、建筑业和货运邮电业的直接取水定额均很小，但因取水乘数大，这些行业的发展对整个经济系统总的耗用水量影响大。同时，这些行业基本上均是未来北京市发展的主导行业，其耗用水影响应予以重视。

通过表3分析，目前北京市高效用水行业相对较多，这些行业基本集中在第二产业中的制造业和第三产业，这是因为将农业纳入国民经济体系中进行综合评价，而由于农业用水产出率低而使整个经济系统的平均产出率下降，从而凸现出上述行业的产出率相对较高所致。潜在高效用水行业均为第二产业，且以加工制造业为主。这表明，工业结构的升级和第三产业的发展会使水资源利用高效化，工业化和城镇化进程也是高效用水的进程，对水资源高效利用意义重大。

表3 北京市1997年国民经济行业用水综合分析

行业	产值产出系数*	完全取水系数*	增加值产出系数*	产出乘数	相对产值产出系数	相对增加值产出系数	相对产出乘数	用水效益程度判定	潜在用水效益程度判定
农业	9.15	20.56	4.63	10.40	2.25	0.07	0.81	一般	一般
采掘	261.10	629.61	119.06	287.10	2.41	1.83	0.87	高	一般
食品	197.24	656.42	33.85	112.65	3.33	0.52	1.20	一般	高
纺织	338.98	1077.69	75.24	239.20	3.18	1.15	1.15	高	高
木材	621.12	1934.66	158.05	492.29	3.12	2.42	1.12	高	高
造纸	83.96	195.89	42.18	98.41	2.33	0.65	0.84	一般	一般
石油	191.20	586.65	30.52	93.64	3.07	0.47	1.11	一般	高
化学	170.94	565.51	36.41	120.45	3.31	0.56	1.19	一般	高
建材	235.85	650.98	80.95	223.44	2.76	1.24	1.00	高	一般
冶金	212.77	660.76	48.21	149.72	3.11	0.74	1.12	一般	高
机械	277.78	899.25	75.81	245.14	3.23	1.16	1.17	高	高
电子	2173.91	8167.99	400.80	1505.92	3.76	6.14	1.36	高	高
电力	35.52	64.04	24.69	44.52	1.80	0.38	0.65	一般	一般
其它工业	2000.00	4471.63	1018.33	2276.80	2.24	15.61	0.81	高	一般
建筑	3333.33	10116.70	935.45	2839.10	3.04	14.34	1.10	高	高
货邮	4000.00	9525.73	1976.28	4706.38	2.38	30.29	0.86	高	一般
商饮	117.65	255.98	65.30	142.08	2.18	1.00	0.79	高	一般
服务	1250.00	3001.61	581.40	1396.11	2.40	8.91	0.87	高	一般

注：*单位为m³/万元。

根据表2和表3的结果，对北京市行业用水性质综合评价见表4。

表4 北京市行业用水性质分类

用水特性	行业名称
高用水	农业、食品工业、造纸工业、石油工业、化学工业、冶金工业、电力工业、商饮业
潜在高用水	食品工业、电子工业、其它工业、建筑业、货运邮电业
高效用水	采掘业、纺织工业、木材工业、建材工业、机械工业、电子工业、其它工业、建筑业、货运邮电业、商饮业、服务业
潜在高效用水	食品工业、纺织工业、木材工业、石油工业、化学工业、冶金工业、机械工业、电子工业、建筑业

5 结语

通过本文研究，可以认为节水高效型国民经济生产体系是完全可以定量分析的。分析的基础是构建水资源投入产出分析模型和进行国民经济行业用水特性的综合评价。本文所提出的用水效率与用水效益定量评价指标及其计算方法，以及节水高效型国民经济生产体系的判别标准，可为节水型国民经济生产体系的

科学决策提供了理论与方法的依据。通过北京市案例研究表明，本文所建立的方法具有实际应用价值。

参考文献：

- [1] 汪党献. 水资源需求分析理论与方法研究[D]. 北京：中国水利水电科学研究院，2002.
- [2] 北京市投入产出办公室、北京市统计局. 1997年北京市投入产出表[R]. 北京：北京市投入产出办公室，北京市统计局，1997.
- [3] 北京市统计局. 1996年北京市统计年鉴[R]. 北京：北京市统计局，1996.
- [4] 中华人民共和国水利部. 1997年中国水资源公报[R]. 北京：中华人民共和国水利部，1997.

Analysis and assessment of water use in different sectors of national economy

WANG Dang-xian, WANG Hao, NI Hong-zhen, MA Jing
(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: Based on the analysis on the characteristics of water use in different industrial sectors of national economy, a method for quantitatively determining the production system of water saving oriented and high efficiency water utilized society is proposed. The model for analyzing the input and output of water resources and the index systems for assessing the characteristics of water use from the viewpoints of efficiency and benefit are established respectively. A comprehensive method for assessing the characteristics of water use in various industrial sectors of national economy and the standard for discriminating the necessary adjustment of economic development tendency according to the water use are suggested. The proposed method is applied to analyze the situation in Beijing.

Key words: industrial sectors of national economy; characteristics of water use; analysis on input and output; assessment index system