

基于数据包络分析的行业最小需水定额研究

陈 静, 杨 凯

(华东师范大学 环境科学系, 上海 200062)

摘要: 行业最小需水定额研究是用水定额管理的基础性课题. 本文首先阐述了行业最小需水定额的定义, 并提出3条编制原则, 即因地制宜、先进性和合理性及动态调整原则. 在此基础上, 应用数据包络分析方法计算行业在一定用水技术管理水平下单位产值的最小取水量, 以此反映该行业的最小需水定额值. 最后, 以上海市2004年纺织行业为例计算其最小需水定额. 结果表明, 数据包络分析方法能表征最小取水量与一定产出的数量关系, 以此确定的行业最小需水定额, 能较准确地反映行业处于最优状态时一定用水水平下创造单位产值的理论取水量.

关 键 词: 数据包络分析; 生产前沿面; 最小需水定额

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2008)04-0095-04

A study of minimum industrial water-demand-quota based on data envelope analysis

CHEN Jing, YANG Kai

(Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Minimum industrial water-demand-quota is the fundamental research for the management of water use quota. In this paper, the definition of minimum industrial water-demand-quota is illustrated and the four basic principles are put forward, which include the following three aspects: (1) Adjusting measures to local conditions; (2) Establishing advanced and reasonable minimum water-demand-quota; (3) Adjusting the minimum industrial water-demand-quota dynamically. Afterwards, the method of data envelope analysis is employed to determine the least water consumption for every unit of production value that can reflect the rating water quantity of a certain industry at a certain water utilization level. Finally, a case study is made on the textile industry of Shanghai in the year 2004. The analysis results show that the model of data envelope analysis can indicate the quantity relationship between the least consumption of water and the output production value. Furthermore, it can determine the theoretical water amount per unit output value of industry at a certain water utilization level when external factors are all optimal.

Key words: data envelope analysis; production frontier; minimum water-demand-quota

收稿日期: 2008-01-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70673022)

作者简介: 陈 静(1980-), 女, 湖南娄底人, 博士研究生, 主要从事水资源评价与管理. E-mail: chenjing7618@163.com

水是城市最重要的资源,是未来制约中国城市成长和发展的的重要因素.我国目前人均水资源量为 $2\,300\text{ m}^3$,不足世界平均水平的 $1/4$,列世界第 108 位.加之水资源时空分布与生产力布局不相适应等,水资源短缺成为我国可持续发展的重大制约因素之一.然而,在 20 世纪后 50 年内我国工业用水增长十分迅速,工业用水量占全部总用水量的比重迅速提高;为有效控制工业用水量,提高其用水效率,推行用水定额管理势在必行.其中,行业最小需水定额研究(这里主要研究“单位产值最小需水量”)是用水定额管理的基础性课题.因此,进行行业最小需水定额研究是一项极为重要的工作.

目前,国内对于工业用水定额研究颇多^[1-7],但作为其前期性工作的各行业单位产值最小需水定额的研究较为缺乏,通常应用统计分析法制定行业最小需水定额,虽然为其方法论奠定了一定基础,但由于各行业取水量与供水方式、原料质量、水质状况和季节变化等诸多外界因素有关,而统计分析法不能排除各种外界因素的干扰,确定的最小需水定额值往往偏大,从而难以较准确地找出各行业在一定用水技术管理水平下单位产值仅需的最小取水量.为此,本文基于数据包络分析方法^[8-11]确定行业最小需水定额值,以期对相关政府部门编制科学合理的行业最小需水定额提供参考依据.

1 行业最小需水定额的编制原则

行业最小需水定额是某地某行业在供水方式、原料质量、水质状况和季节变化等诸多外界因素处于最优状态时一定用水技术管理水平下单位产值的理论取水量.它的制定应遵循如下基本原则:

(1)因地制宜原则.由于各行业的取水量与用水水平、供水方式、水质状况和季节变化等诸多因素有密切关系,而各地行业的用水技术管理水平、供水方式和水质状况等条件不同.因此,编制最小需水定额应贯彻因地制宜的原则.

(2)先进性和合理性原则.最小需水定额是用水定额制定的基础,最小需水定额的制定应反映各行业的先进用水技术管理水平.同时,为了能将用水定额管理制度落到实处,作为基础性资料的最小需水定额的制定应具有合理性.因此,先进用水技术管理水平应为一定时期内当地该行业领先的用水技术管理水平.

(3)动态调整原则.由于目前各地行业用水技术管理水平不断提高,创造单位产值所需的取水量呈下降趋势.因此,应根据不同时期的先进用水水平情况,适时调整最小需水定额指标值.

2 基于数据包络分析方法的行业最小需水定额的计算模型

数据包络分析方法是处理不含参数边界模型的有力工具,本质上它是一种以数学上线性规划理论为依据的求解最优的方法.它能描述生产过程中在某种组合下投入要素与产出要素之间依存关系的数学表达式.数据包络分析方法的基本思想是由 n 个独立单元构成决策群体,通过对投入值和产出值的综合分析,以各个投入和产出指标的权重为变量进行运算,确定生产前沿面.其中,生产前沿面是在既定技术水平下有效率的投入产出向量的集合,即投入一定下的产出最大值或产出一定下的投入最小值的集合.而行业最小需水定额是某行业在一定用水技术管理水平下单位产值的最小取水量.因此,能以数据包络分析法中生产前沿面的投入参数与产出参数的比率(即单位产值取水量)表示为行业最小需水定额.

行业最小需水定额确定的基本思路是:在某行业 n 个企业范围内,用企业 $j(j=1,2,\dots,n)$ 的投入参数——取水量 x_j (这里仅考虑取水量变化对产值的影响)作为输入值,企业 j 的产出参数——生产总值 y_j 作为输出值,利用数据包络分析方法,通过对输入输出值变化趋势和变化程度进行综合分析.

对于输入值 x_j 和输出值 y_j 满足 $x_j, y_j \in E_1$, 其中 E_1 为各企业的指数状态集.指数状态 $\{(x_j, y_j)\}_{j=1}^n$ 的凸集 T 为:

$$T = \left\{ (x, y) \mid \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq x, \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (1)$$

由于各企业用水技术管理水平不同,存在各自的最小需水定额值,当计算第 j_0 个企业的最小需水定额值时,首先采用如下公式:

$$\begin{cases} \min P \\ s. t. \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq P x_{j_0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_{j_0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

(2)式是通过系数 P 和 λ 进行优化的.公式的关键是求出最小值 P^* .对于第 j_0 个企业存在 $P_{j_0}^*, P_{j_0}^*$ 的取值范围为 $P_{j_0}^* \in (0, 1]$.采用 Matlab 软件编程,计算求得各企业的 $P_{j_0}^*$. $P_{j_0}^*$ 越小说明该企业的用水技术管理水平越高,则该企业的最小需水定额越小;反之,则企业的最小需水定额越大.计算企业 j_0 的最小需水定额值 E_{j_0} 为:

$$E_{j_0} = P_{j_0}^* \frac{x_{j_0}}{y_{j_0}} \quad (3)$$

式中: x_{j_0} 为第 j_0 个企业的取水量; y_{j_0} 为第 j_0 个企业的生产总值.

由于行业最小需水定额反映的是一定用水技术管理水平下单位产值最小取水量,为体现先进性和合理性,其用水技术管理水平应为当地该行业已达到的最佳水平.因此,一定时期内某地区某行业最小需水定额的计算公式为:

$$E = \min(E_{j_0}) \quad (4)$$

3 案例研究

行业最小需水定额依不同地区不同时段而异,本文选取上海市 2004 年 18 家纺织企业为样本,并采用 Matlab 计算软件,其取水量作为输入值,生产总值作为输出值,利用以上介绍的方法确定上海市 2004 年纺织行业的最小需水定额(以下简称“市最小需水定额”)为 $12.83 \text{ m}^3/\text{万元}$ (表 1).

表 1 上海市 2004 年纺织行业最小需水定额

Tab. 1 Minimum water-demand-quota of the textile industry in Shanghai in 2004

企业 序号	取水量 / m^3	生产总值 /万元	单位产值取水 量($\text{m}^3/\text{万元}$)	最小需水定 额($\text{m}^3/\text{万元}$)	企业 序号	取水量 / m^3	生产总值 /万元	单位产值取水 量($\text{m}^3/\text{万元}$)	最小需水定 额($\text{m}^3/\text{万元}$)
1	251 194.5	11683.5	21.50	13.19	10	84 700.0	2 200.0	38.50	12.86
2	79 992.0	1 800.0	44.44	14.61	11	160 000.0	5 000.0	32.00	13.08
3	38 008.8	1 600.0	23.76	16.44	12	200 200.0	3 000.0	66.73	12.97
4	33 000.0	1 000.0	33.00	26.30	13	111 540.0	1 875.0	59.49	14.03
5	241 839.0	18 299.0	13.22	13.22	14	502 908.0	27 154.0	18.52	18.52
6	26 297.7	2 050.0	12.83	12.83	15	270 880.0	4 100.0	66.07	13.05
7	636 263.6	19 000.0	33.49	13.82	16	85 270.0	1 800.0	47.37	14.61
8	122 851.2	5 852.2	20.99	13.11	17	34 650.0	850.0	40.76	30.94
9	509 760.0	9 000.0	56.64	13.16	18	124 560.0	3 600.0	34.60	13.02

注:数据来源于上海市环保局,由于数据限制,仅计算上海市大部分纺织企业,这里假定它们代表整个上海地区的纺织企业.

从表 1 可见,(1)企业 6 的用水行为达到市最小需水定额水平,说明该企业的用水效率较高,其用水技术管理水平为当时上海市纺织行业的最佳水平.其他企业用水效率有待提高;(2)除企业 6 以外,其它企业都未达到各自企业的最小需水定额水平,说明这些企业除用水技术管理水平有待提高外,影响取水的其他因

素也应加以重视;(3)除企业 6 以外,企业 10,12 和 18 等的最小需水定额值次之,说明这些企业用水技术管理水平较高,但企业 12 的单位产值取水量却较高,说明这两家企业取水量较大的主要原因在于除用水技术管理水平以外的其他因素;(4)企业 9,12,13 和 15 的用水行为与市最小需水定额水平相差较大,其差距分别为 43.81,53.90,46.66 和 53.24 $\text{m}^3/\text{万元}$. 针对这些企业,可通过加强用水计量管理、改革用水管理体制和强化技术能力建设等措施提高企业用水效率;(5)企业 17 的最小需水定额较高,则说明该企业的用水技术管理水平较低。

显然,通过数据包络分析方法能表征既定用水技术水平下最小取水量与一定产出的数量关系,此法确定的行业最小需水定额水平能反映某行业在各种外界因素处于最优状态时一定用水技术管理水平下创造单位产值的理论取水量,从而能较为准确地发现企业节水存在的差距,为制定合理的用水定额提供前提条件。

4 结 语

(1)论述了行业最小需水定额的含义,并阐述了因地制宜原则、先进性和合理性原则、动态调整原则等行业最小需水定额的制定原则;

(2)针对行业最小需水定额的编制原则,应用数据包络分析方法,确定了行业最小需水定额的数学模型;

(3)选取上海市 2004 年 18 家纺织企业为样本,其取水量作为输入值,生产总值作为输出值,利用数据包络分析方法确定其最小需水定额为 12.83 $\text{m}^3/\text{万元}$. 研究表明,基于数据包络分析的行业最小需水定额模型能反映某行业在各种外界因素处于最优状态时一定用水技术管理水平下创造单位产值的理论取水量,从而能较为准确地发现企业节水存在的差距;

(4)应用数据包络分析计算最小需水定额时,所选取的样本应能反映当地该行业用水水平. 因而,其样本量应较大。

参 考 文 献:

- [1] 郭青平, 万日明, 杨应健. 天津市工业用水定额制定方法的探讨[J]. 海河水利, 2003, (3): 22-24.
- [2] 秦 毅, 王学风. 城市计划管理用水定额与其分析计算[J]. 西安理工大学学报, 2001, (1): 51-56.
- [3] 丁立国, 高 悦, 那利. 统计分析法在工业用水定额制定中的应用[J]. 东北水利水电, 2003, (9): 12-13.
- [4] 陈学福, 关洪林, 刘军武. 湖北省工业和城市生活用水定额研究[J]. 中国农村水利水电, 2002, (4): 32-35.
- [5] 周广安. 工业动态用水定额数学模型[J]. 中国给水排水, 2002, 18(6): 64-67.
- [6] 曹型荣, 王宏义. 关于编制工业用水定额工作之商榷[J]. 水利发展研究, 2002, (7): 11-14.
- [7] 秦福兴, 耿雷华, 陈晓燕. 确定万元 GDP 取水量定额方法的探索[J]. 水利学报, 2004, (8): 119-128.
- [8] Banker R D. Estimating most productive scale size using data envelopment analysis[J]. **European Journal of Operational Research**, 1984, 17(1): 35-44.
- [9] Adolphson D L, Cornia G C, Walters L C. Railroad property valuation using data envelopment analysis[J]. **Interfaces**, 1989, 19(3): 18-26.
- [10] Andersen P, Petersen N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. **Management Science**, 1993, 39: 1261-1264.
- [11] BANKER R D, CHARNES A, COOPER W W. Some models for estimating technical and scale inefficiency in data envelopment analysis[J]. **Management Science**, 1984, 32: 1078-1092.