DOI: 10.5846/stxb201406171257
蔡国英,赵继荣.基于假设抽取法的黑河流域中游行业用水关联分析.生态学报,2015,35(12):4215-4223.
Cai G Y, Zhao J R.Linkage analysis of water use among industrial sectors in the middle reaches of the Heihe River Basin, China.Acta Ecologica Sinica, 2015,35(12):4215-4223.

基于假设抽取法的黑河流域中游行业用水关联分析

蔡国英[1,*],赵继荣[2]

1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 内陆河流域生态水文重点实验室,兰州 730000

2 兰州文理学院,兰州 730000

摘要:基于 2000—2012 年张掖市混合型水资源投入产出模型,运用改进的假设抽取法,分析了张掖市 6 部门水资源关联效应,揭示了水资源在行业间的消耗规律,为调整产业结构提供有利的参考。研究结果表明:(1)各部门水资源直接消耗量与满足自身所需的水资源量不对等,种植业的水资源直接消耗量和纵向集成消耗量均为最大,且其纵向集成消耗水量小于直接消耗量,是张掖市经济系统中真正的水资源净输出部门。(2)种植业的内部效应和复合效应均最大,对自身的依赖性极强。服务业的净后项关联最大,对其他部门的依赖程度最高。(3)水资源在各部门之间发生了转移,种植业是张掖市经济系统中最大的水资源供给者,服务业是各部门中最大的受水者,通过中间投入的方式,由种植业到服务业的路径是最大的水转移途径,而建筑业是"纯"输入部门。(4)2000—2012 年间,各部门的内部效应、复合效应、净前项关联和净后项关联均变化显著,进一步反映了产业部门水资源利用的动态关联。

关键词:关联效应;假设抽取法;纵向集成消耗;投入产出模型

Linkage analysis of water use among industrial sectors in the middle reaches of the Heihe River Basin, China

CAI Guoying[1,*], ZHAO Jirong[2]

1 *China Key Laboratory of Ecohydrology and Integrated River Basin Science, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, China Academy of Sciences, Lanzhou* 730000, *China*

2 *Lanzhou University of Arts and Science, Lanzhou* 730000, *China*

Abstract: With population increases and the socio-economic development of Chinese society, the demand for and use of water in China is increasing rapidly. Water scarcity is one of the main problems for sustainable development, especially in arid areas in the northwest of China. Water saving is thus one of the main concerns of local and national policy makers. Analysis of the linkage effects of water resource use between economic sectors, and the movement of commodities and services using water is helpful in water conservation management, water use rationalization, and in strengthening water-saving practices. The Heihe River is the second largest inland river basin in the northwest of China, and water scarcity is the key problem for its sustainable development. The Zhangye city area, which is in the middle Heihe River Basin, is a pilot area for water saving. For this reason, it was chosen as the research site for this study. To produce commodities and to supply services an area needs water. Water-movements associated with the complex linkages among sectors are usually ignored, however, in favor of measures of direct consumption. Studying the movement of commodities and services can reveal the movement of water. In this study, an input-output resource analysis is integrated with an hypothetical extraction method, to uncover the in-depth characteristics of the inter-sectoral patterns of water movement. Commodity input-output

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目资助(91125019)

收稿日期:2014-06-17; **修订日期**:2014-12-01

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: caigy1121@163.com

tables and water input-output tables were developed for Zhangye for the years 2000, 2002, 2005, 2007, 2010 and 2012. Based on a mixed type input-output model of Zhangye, water resources for the period 2000—2012, a modified hypothetical extraction method was applied to identify indicators and analyze the linkage effects among six economic sectors of Zhangye in relation to water resource use. These sectors were the planting industry, livestock farming, other agriculture, industry, construction, and service sectors. The results showed that: (1) by comparing direct water consumption with vertically integrated sectoral water consumption, the direct water consumption of all sectors was not equal to the water required to meet final demand in any of them. However, in view of the state of the economy, total direct water consumption in all sectors was deemed equivalent to the total of water required to meet internal demand. With respect to the water resources transferred among productive sectors, the planting industry consumes the largest amount of direct water, and of vertically integrated water consumption. However, because vertically integrated consumption is less than direct water consumption, the planting industry is a real net output sector with respect to water resources in Zhangye; (2) by measuring the internal effects, mixed effects, net forward linkages and net backward linkages in the six sectors, compared with other sectors the internal effects and mixed effects in the planting industry were the largest of all. In contrast, the net backward linkages in the service industry were the largest determinant of inter-sectoral water consumption, which shows that this sector has the highest dependency on other sectors; (3) in terms of the water resources transferred among sectors, the largest water resource provider in Zhangye was the planting industry, and transferred a large amount of water to the service industry by intermediate inputs (the largest recipient of water). Conversely, the construction industry does not make net water transfers to other sectors, but receives a certain amount of net water inputs from them. Thus, the construction industry is a "pure" input sector; and (4) the internal effects, mixed effects, net forward linkages, and net backward linkages of the six sectors were analyzed in terms of the Zhangye economic system between 2000 and 2012. These data show the dynamic linkages relating to water use among industrial sectors, and indicates clearly that the key sector in terms of water use in the Zhangye economic system is the planting industry. This paper argues that the linkage effects of water resource movements among different sectors actually stem from the demand that transfers from one sector to another. Using a modified hypothetical extraction method, and analyzing direct consumption and decomposing the components of water resources, this study could more directly and clearly quantify the linkage relationships found between and within each industrial sector in relation to water resources. This in turn revealed the regularity of industrial water consumption patterns, and therefore may provide a new perspective on structural adjustment, and a more scientific basis for policy-making.

Key Words: linkage effect; hypothetical extraction method; vertically integrated consumption; input-output model

水资源是人类生存和社会经济发展中的基本要素和战略资源[1],水资源短缺和水环境恶化问题已成为制约干旱-半干旱内陆河流域经济可持续发展和社会福利的瓶颈[2-4]。在一定的资源约束条件下,明确自然资源在国民经济发展中的作用和地位,保护区域内脆弱的生态环境,对特定区域水资源合理利用具有重大的现实意义。这就要求我们在社会经济发展过程中,对水资源的利用状况进行科学的定量测度,重点关注产业各部门的投入产出状况,科学测量资源使用情况,合理分析水资源在各产业部门的关联效应和流动转移。产业系统的水资源关联效应以混合型水资源投入产出模型为基础,从经济系统内部分析各部门内及各部门间的水资源利用,确定经济系统的关键部门,解析各部门之间的关联关系。在产业部门关联效应研究中,假设抽取法(Hypothetical Extraction Method, HEM)被广泛应用于研究产业结构变动对产业系统的影响[5]。在纵向集成测算法基础上,Sanchez Choliz 和 Duarte 改进了假设抽取法,以纵向集成消耗形式,将部门用水关联效应分解为内部、复合、净前项和净后项 4 个组成要素,通过用水量的变化测算了经济系统产业部门间的用水关联特性[6-7]。

黑河流域是我国西北干旱区内陆河流域之一,其景观类型完整、流域规模适中、社会-经济-生态问题典

型,成为内陆河研究的代表性流域,是探讨寒区、旱区水资源的热点地区[8]。作为内陆河流域的典型绿洲区,处于黑河流域中游的张掖市是干旱绿洲农业区的代表,该地区集中了全流域 95%的耕地、91%的人口和 89%的国内生产总值,是流域内水资源的主要利用地区[9]。由于人口增长和绿洲农业的快速发展,张掖市用水量持续增加,导致黑河下游可用水量不断减少,生态环境急剧恶化。为了治理黑河流域下游生态退化, 2000 年起国家实施了黑河分水措施[10]。黑河分水给张掖市的各方面发展带来了严峻考验[11]。鉴于此,本文以改进的 HEM 为基础,参考混合型水资源投入产业模型,以张掖市经济系统产业部门为研究对象,借鉴 Duarte 的部门关联效应分解法,比较分析黑河分水后张掖市产业部门的水资源利用关联效应,为黑河中游地区优化水资源管理、调整产业布局提供科学的依据。

1　研究方法设计

传统 HEM 关联效应分析法以投入产出模型为基础,既可测度部门之间的关联关系,也可区分系统中的“关键部门”。Schultz 首先运用该方法分析单个部门变动对整体经济系统的影响[12],随后被广泛用于分析经济系统单个部门的关联,如农业部门[13]、建筑业[14]等,也可分析环境系统要素如 CO_2[15]和资源利用如水资源[7]、土地资源[16],以及能源利用[17]等的关联关系。其基本思想是:假设将 J 部门从经济系统中抽走,通过比较抽走 J 部门前后经济系统总产出的变化,分析 J 部门对整个经济系统造成的影响,从而测算该部门的重要性。通过对经济系统进行部门分块,可以确定相似经济部门构成的部门块(块内各部门)与经济系统其它部门块(其它部门)间的关联作用[12-17]。基于纵向集成消耗的 HEM 关联效应分析法不但可量化部门间水资源消耗的关联影响,更能明确整个系统中各部门水资源的转移量和具体转移方向。

1.1　传统 HEM 关联效应分析法

HEM 下产业部门的关联效应分析以投入产出模型为基础,将经济系统分为两个产业群 Q_S 和 Q_{-S},其中 Q_S 表示经济系统若干部门(或一个部门)构成的部门块, Q_{-S} 表示由其他剩余部门构成的部门块[18]。则任意矩阵 Q 可表示为:

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{S,S} & Q_{S,-S} \\ Q_{-S,S} & Q_{-S,-S} \end{bmatrix} \tag{1}$$

根据投入产出模型,可将经济系统分块为:

$$\begin{bmatrix} X_S \\ X_{-S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{S,S} & A_{S,-S} \\ A_{-S,S} A_{-S,-S} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_S \\ X_{-S} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_S \\ Y_{-S} \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} X_S \\ X_{-S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \triangle_{S,S} & \triangle_{S,-S} \\ \triangle_{-S,S} \triangle_{-S,-S} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_S \\ Y_{-S} \end{bmatrix} \tag{2}$$

其中

$$(I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} \triangle_{S,S} & \triangle_{S,-S} \\ \triangle_{-S,S} \triangle_{-S,-S} \end{bmatrix}$$

对于假设抽取某部门块后的经济系统,可将该部门块省略或赋零值。假设部门块 Q_S^* 在虚拟的经济系统中不与其他部门发生产品交易,则其经济结构为:

$$\begin{bmatrix} X_S^* \\ X_{-S}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{S,S} 0 \\ 0 \quad A_{-S,-S} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_S^* \\ X_{-S}^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_S \\ Y_{-S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I - A_{S,S})^{-1} 0 \\ 0 \qquad\qquad (I - A_{-S,-S})^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_S \\ Y_{-S} \end{bmatrix} \tag{3}$$

式(2)减去式(3),可知抽取的部门对总产量变化的影响:

$$X - X^* = \begin{bmatrix} X_S - X_S^* \\ X_{-S} - X_{-S}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_{S,S} - (I - A_{S,S})^{-1} \Delta_{S,-S} \\ \Delta_{-S,S} \Delta_{S,-S} - (I - A_{-S,-S})^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_S \\ Y_{-S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{S,S} C_{S,-S} \\ C_{-S,S} C_{-S,-S} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_S \\ Y_{-S} \end{bmatrix} \tag{4}$$

引入表示货币价值的单位向量 $u = (1,1,\cdots,1)$,可将式(4)变形为表示产业群 Q_S 的总关联(TL)、前项关联(FL)和后项关联(BL)(式(5))。其中, $TL = BL + FL$ 。

$$\begin{aligned} TL &= u[X - X^*] \\ BL &= u[C_{S,S}C_{-S,S}]\,Y_S \\ FL &= u\begin{bmatrix} C_{S,-S} \\ C_{-S,-S} \end{bmatrix} Y_{-S} \end{aligned} \tag{5}$$

1.2 改进的 HEM 关联效应分析法

Rosa Duarte 基于 Pasinetti 的纵向集成消耗,以各部门消耗的水量为度量,引入部门直接用水系数,将部门用水关联效应分解为内部效应、复合效应、净后项关联和净前项关联 4 个要素,清晰量化了水资源部门关联效应[7][19-22]。

令 A_{iJ} 为投入产出表中列昂惕夫逆矩阵元素,即完全需要系数,则 J 产业水资源的纵向集成消耗(VIC)为:

$$\mathrm{VIC}_J = \sum_{i=1}^{N} q_i A_{iJ} Y_J \tag{6}$$

式中, VIC_J 为 J 产业纵向集成消耗, q_i 为 I 产业直接用水系数, Y_J 为 J 产业最终需求。

由此,式(5)可分解为式(7)、(8)、(9)和(10):

$$IE = q_s(I - A_{S,S})^{-1} Y_S \tag{7}$$

式中, IE 表示内部效应,是水资源仅在本产业群内部部门间的消耗量。

$$ME = q_s C_{S,S} Y_S = q_s[\Delta_{S,S} - (I - A_{S,S})^{-1}]\,Y_S \tag{8}$$

式中, ME 表示复合效应,是产业群 Q_S 的部分产品被产业群 Q_{-S} 购买作为中间投入,用于生产产业群 Q_{-S} 的产品,之后这些产品又被产业群 Q_S 购买作为中间投入,形成最终消费 Y_S 所消耗的水量。

$$\mathrm{NFL} = q_s C_{S,-S} Y_{-S} = q_s \Delta_{S,-S} Y_{-S} \tag{9}$$

式中,NFL 表示净前项关联,是产业群 Q_S 的产品中被产业群 Q_{-S} 购买作为生产最终需求的消耗水量,反映产业群 Q_S 真正的水资源净输出。

$$\mathrm{NBL} = q_{-s} C_{-S,S} Y_S = q_{-s} \Delta_{-S,S} Y_S \tag{10}$$

式中,NBL 表示净后项关联,是产业群 Q_S 通过购买产业群 Q_{-S} 产品来获得最终需求 Y_S 而消耗的产业群 Q_{-S} 的水量,反映产业群 Q_S 真正的水资源净输入。

同时,可知:水资源纵向集成消耗=直接消耗,纵向集成消耗=内部效应+复合效应+净后项关联,直接消耗=内部效应+复合效应+净前项关联。

1.3 部门水资源净转移推算

式(9)和(10)反映的是部门净输出和净输入总量,对其进一步分解,可清晰表达水资源在部门间的转移流动,明确净输出的具体部门及输出量,以及净输入的来源地和输入量。

若产业群 Q_{-S} 由多部门组成,可将产业群 Q_S 的净后项关联进一步分解。设 M 部门是产业群 Q_{-S} 中的部门,则:

$$\begin{aligned} \mathrm{NBL}_{M\to S} &= q_M C_{M,S} Y_S \\ \mathrm{NBL} &= \sum \mathrm{NBL}_{M\to S} \end{aligned} \tag{11}$$

式中, $\mathrm{NBL}_{M\to S}$ 是 M 部门转移到产业群 Q_S 的水量。

同理,对式(9)分解,可知

$$\begin{aligned} \mathrm{NFL}_{S\to M} &= q_S C_{S,M} Y_M = q_M \Delta_{S,M} Y_M \\ \mathrm{NFL} &= \sum \mathrm{NFL}_{S\to M} \end{aligned} \tag{12}$$

式中, $\mathrm{NFL}_{S\to M}$ 是产业群 Q_S 转移到 M 部门的水量。

比较式(9)和(10),两者的差值即为水资源在产业群 Q_S 的净转移量。即:

$$NT = \mathrm{NFL} - \mathrm{NBL} \tag{13}$$

若 NT 为正值,表示产业群 Q_S 向经济系统净输出水资源;若 NT 为负值,则认为产业群 Q_S 从经济系统净输入水资源。

2　实证分析

2.1　数据来源及产业群划分

根据张掖市 2002 年价值型投入产出表,采用延长表的编制方法,依照当地具体经济发展状况,将产业部门划分为种植业、畜牧业、其他农业、工业、建筑业和服务业 6 个部门,编制了 2000、2002、2005、2007、2010 和 2012 年 6 期张掖市投入产出表。根据部门用水系数,编制了相应 6 期张掖市水资源投入产出表[9,23]。

2.2　计算结果及分析

2.2.1　2012 年张掖市部门用水关联效应及净转移分析

(1)纵向集成消耗与直接消耗对比

根据式(6)可得张掖市水资源纵向集成消耗(表 1),部门水资源纵向集成消耗总量等于水资源直接消耗总量,即经济系统中部门通过产业链流动的直接消耗的自然形态水量等于各部门为满足最终需求直接和间接消耗的水量。水资源直接消耗量和纵向集成消耗量均最大的是种植业,直接消耗量占其总量的 88%,纵向集成消耗量占其总量的 79%,这与张掖市绿洲农业为主的实际情况相符。服务业的直接消耗量最少,但其纵向集成消耗量却远大于建筑业和工业,纵向集成消耗占总量的比例与其他农业持平均为 4%。建筑业的纵向集成消耗为各部门最低,仅占总量的 1%。

由于水资源的纵向集成消耗量表示满足部门最终需求的水量,因此,若部门的水资源纵向集成消耗大于其直接消耗,则反映生产此部门产品需要其他部门为其提供水。反之,则表明此部门用水实际上转移到其他部门。从表 1 可知,仅有种植业的纵向集成消耗水量小于其直接消耗量,说明张掖市的种植业是经济系统中其他部门水资源的供给者,是真正的水资源净输出部门,净输出 21776 万 m^3,占其直接消耗量的 10%,也表明种植业直接消耗水量的 90%直接用于农产品的生产,直接消耗水量的 10%转移到其他部门。畜牧业、其他农业、工业、建筑业和服务业的纵向集成消耗水量均大于直接消耗水量,这说明这些部门通过中间投入为水资源的接受者。水输入的部门中,服务业的输入量最大,输入量是其直接消耗量的 15.78 倍,而服务业的直接消耗水量为各部门最少,这说明为满足自身生产,服务业用水对其他部门的依赖程度最高。

表 1　2012 年张掖市部门水资源纵向集成消耗与直接消耗

Table 1　Direct and vertically integrated water consumption of dirrerent industries in Zhangye in 2012

类别 Categories	种植业 Planting industry	畜牧业 Livestock farming	其他农业 Other agriculture	工业 Industry	建筑业 Construction	服务业 Service	总计(TC) Total consumption
直接消耗量(DC) Direct consumption/($10^4 m^3$)	211562	14874	7362	4166	965	515	239443
DC/TC	0.88	0.06	0.03	0.02	0.00	0.00	
纵向集成消耗(VIC)/($10^4 m^3$) Vertically integrated consumption	189786	19737	10649	7127	3508	8635	239443
VIC/TC	0.79	0.08	0.04	0.03	0.01	0.04	
转移(DC-VIC) Transfer/($10^4 m^3$)	21776	−4863	−3287	−2962	−2543	−8121	
(DC-VIC)/DC	0.10	−0.33	−0.45	−0.71	−2.63	−15.78	

(2)内部效应、复合效应、净前项关联和净后项关联分析

根据式(7)、(8)、(9)和(10),可得张掖市水资源利用的内部效应、复合效应、净后项关联和净前项关联(表 2)。其中,种植业的内部效应排名第一,即种植业为满足自身最终需求所需的水量中,99.28%来自于行业内部的产品交换,说明种植业对自身部门的依赖性极强。同时,种植业的复合效应也是第一,这表明种植业的

产品被其他部门购买作为中间投入,用来生产自身产品,之后这些其他部门的产品又被种植业购买作为中间投入,形成最终需求所消耗的水量为 928 万 m^3。种植业的净后项关联排名第六,占纵向集成消耗的比例也最低,表明种植业对其他部门的水资源依赖性较低。服务业的净后项关联最大,占其纵向集成消耗的 94.57%,说明为满足服务业最终需求所需的水资源中,对其他部门的依赖性极高。种植业的净前项关联最大,占其直接消耗 10.5%的水资源通过为其他部门提供中间投入而流出,是该部门真正的水资源净输出。同时,工业的净前项关联占直接消耗的比例最大,为 49.01%,说明该部门有近一半的水资源净输出。

表 2 2012 年张掖市部门用水关联效应/$10^4 m^3$

Table 2 Results of linkage effects of water use among sectors in Zhangye in 2012

部门块 Sector blocks	内部效应/排名 Internal effect/ranking	复合效应/排名 Mixed effect/ranking	净后项关联/排名 Net backward linkage/ranking	净前项关联/排名 Net forward linkage/ranking
种植业 Planting industry	188410/1	928/1	448/6	22223/1
畜牧业 Livestock farming	14545/2	12/3	5180/2	317/4
其他农业 Other agriculture	6863/3	4/5	3782/4	495/3
工业 Industry	2088/4	36/2	5003/3	2042/2
建筑业 Construction	951/5	1/6	2557/5	14/6
服务业 Service	463/6	6/4	8167/1	46/5

(3)部门水资源净转移分析

根据式(11)、(12),对各部门的净后项关联和净前项关联进一步分解(表 3),反映了各部门在生产过程中与其他部门关联产生的水资源转移量和转移方向。从横向来看,体现了各部门通过中间投入转移到其他部门的水量。种植业是最大的水资源供给者,分别向畜牧业、其他农业、工业、建筑业和服务业转移水量 5006.24 万 m^3、3640.23 万 m^3、4786.17 万 m^3、1653.02 万 m^3和 7137.50 万 m^3。从纵向来看,表达了各部门通过中间投入接受的具体部门的水量。服务业从各部门中接受到的水量最高,分别从种植业、畜牧业、其他农业、工业和建筑业获得水量为 7137.50 万 m^3、75.49 万 m^3、204.21 万 m^3、737.14 万 m^3和 12.29 万 m^3。

表 3 2012 年张掖市各部门净前项关联和净后项关联分解/$10^4 m^3$

Table 3 Results of linkage decomposition among sectors in Zhangye in 2012

部门块 Sector blocks	种植业 Planting industry	畜牧业 Livestock farming	其他农业 Other agriculture	工业 Industry	建筑业 Construction	服务业 Service	净前项关联 Net forward linkage
种植业 Planting industry	—	5006.24	3640.23	4786.17	1653.02	7137.50	22223.16
畜牧业 Livestock farming	29.03	—	15.29	152.19	44.75	75.49	316.75
其他农业 Other agriculture	9.81	4.18	—	48.48	227.87	204.21	494.55
工业 Industry	404.18	167.12	121.37	—	611.75	737.14	2041.56
建筑业 Construction	0.19	0.09	0.14	0.80	—	12.29	13.51
服务业 Service	4.37	2.11	4.66	15.41	19.15	—	45.70
净后项关联 Net backward linkage	447.57	5179.73	3781.69	5003.06	2556.54	8166.63	—

根据式(13)及表 3 中的数据可明确表示张掖市水资源净转移的数量和具体方向(图 1)。种植业是各部门中“真正的”水资源净输出行业,但净转移到其他部门的水量有所差异。其中,从种植业转移到服务业的水量最多,为 7133.13 万 m^3,其次是转移到畜牧业的水量,这与张掖市绿洲农业的基本经济情况相符。另外,工业也向除种植业之外的部门转移了 1420.49 万 m^3的水量,是第二大转移部门。建筑业是“纯”输入部门,种植业、畜牧业、其他农业、工业和服务业分别对其输入 1652.83 万 m^3、44.66 万 m^3、227.73 万 m^3、610.95 万 m^3和 6.87 万 m^3的水量。

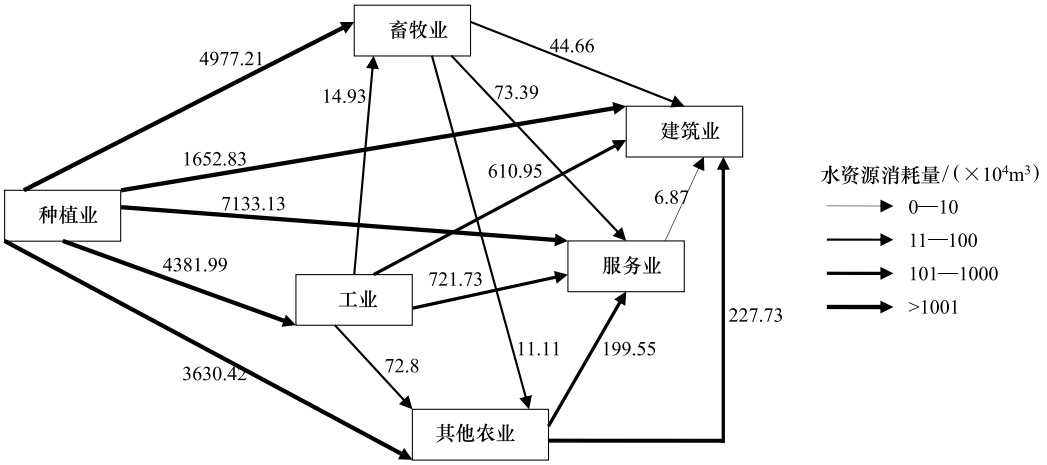

图 1　2012 年张掖市各部门水资源净转移图

Fig.1　The analysis of net water transfer among sectors in Zhangye in 2012

2.2.2　近 10 年部门用水关联效应分析

由式(7)、(8)、(9)和(10),可得 2000—2010 年张掖市水资源利用的内部效应、复合效应、净后项关联和净前项关联。种植业的内部效应和净前项关联总体呈递增状态,说明种植业为满足最终需求的水量大部分来自自身产品交换的水量,对其他部门的依赖性持续降低,也表明种植业是该地区水资源的净输出部门。复合效应先降后升,为部门中最大值,显示出种植业的部门产品被其他部门利用来生产,随后生产的新产品又流入种植业作为最终消费所需的水量最大。净后项关联呈下降趋势,降低了 4.85 倍,显著表明种植业对其他部门的巨大贡献(图 2)。由此可知,种植业历年来均为张掖市水资源利用的"关键部门",是"纯"净输出部门,这与该地区绿洲农业为主、河西走廊粮仓的实际情况相符。

近年来,张掖市开展了百万头肉牛建设工程,成效显著,以肉牛产业为主带动了该地区畜牧业的长足发展,也对其他产业产生了积极影响。畜牧业的内部效应呈稳增趋势,提高了 6.22 倍,表明畜牧业对自身的依赖性在增加。净前项关联和复合效应在 2002 年均递减,随后稳步提升。净后项关联由 2000 年的 7601.55 万 m^3增加到 2002 年的 8017.47 万 m^3,随之持续下降到 2012 年的 5179.73 万 m^3,说明其他部门对畜牧业对的依赖先减后增(图 3)。

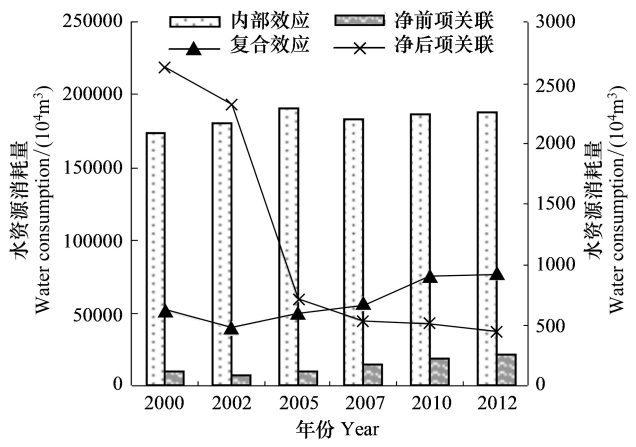

图 2　种植业关联效应

Fig.2　The linkage effects of crop farming

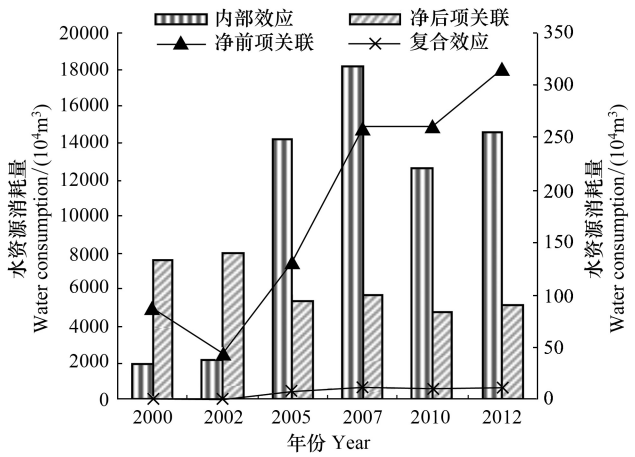

图 3　畜牧业关联效应

Fig.3　The linkage effects of livestock farming

其他农业的内部效应先升后降,净前项关联和复合效应总体呈下降趋势,降幅较大。净后项关联稳增,

2010 年开始增幅较大(图 4)。工业的内部效应呈下降趋势,从 2012 年比 2000 年降低了 1148.26 万 m^3。净后项关联和净前项关联在 2002 均降低,随后均出现增长,总体呈先降后升趋势。复合效应在 2005 年降到最低值,随后有缓慢增长,但总体呈降低趋势,说明部分工业产品流入其他部门生产新产品,随后这些产品又流入工业,形成最终消费所耗的水量总体呈下降趋势(图 5)。张掖市的工业经济总量持续稳增,从水资源利用角度来看,成为继种植业之后的第二“输水”部门。

建筑业的内部效应、净前项关联和复合效应均在 2002 年达到最小值,随后总体呈增加趋势(图 6)。服务业的内部效应呈递增趋势,2012 年达到最大值。净后项关联呈先降后涨趋势,比 2000 年增长了 2.26 倍。净前项关联在 2002 年达到最大值,随后急剧下降。复合效应在 2005 年将为最低值,随后增加,到 2012 年达到最大值(图 7)。

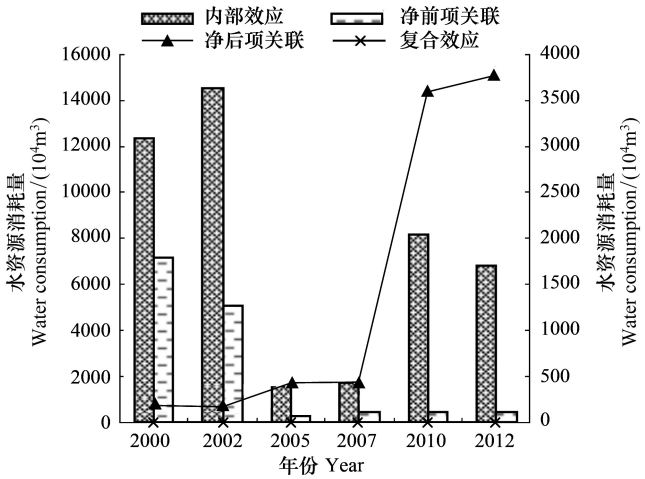

图 4 其他农业关联效应

Fig.4 The linkage effects of other agriculture

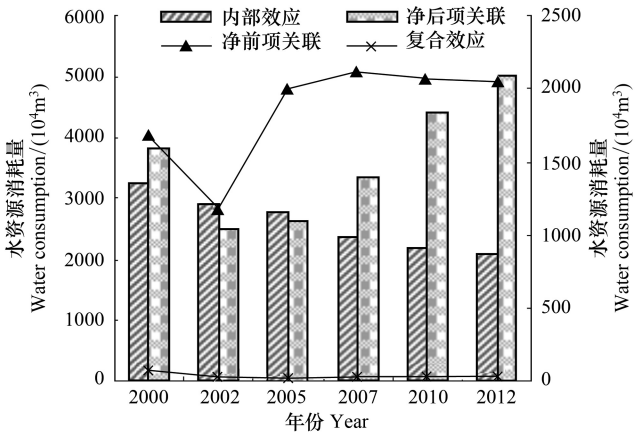

图 5 工业关联效应

Fig.5 The linkage effects of industry

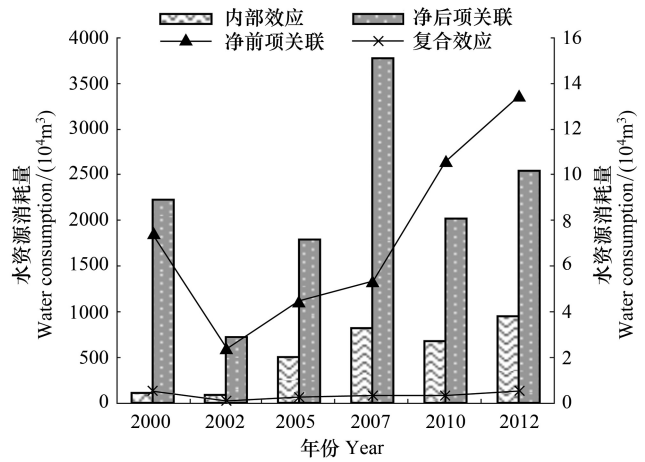

图 6 建筑业关联效应

Fig.6 The linkage effects of construction

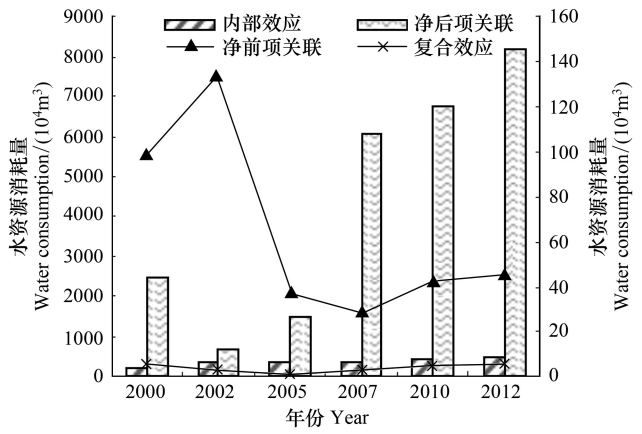

图 7 服务业关联效应

Fig.7 The linkage effects of service

3 结语

本文基于混合型水资源投入产出模型,运用改进的假设抽取法,分析部门用水的关联效应,并以 2000—2012 年黑河流域中游的张掖市为例实证研究。主要结论如下:(1)种植业是各部门中水资源直接消耗量和纵

向集成消耗量的最大者,服务业的直接消耗量最少,建筑业的纵向集成消耗为各部门最低。同时,种植业的纵向集成消耗水量小于其直接消耗量,是张掖市经济系统中真正的水资源净输出部门。(2)种植业的内部效应和复合效应均最大,说明种植业对自身部门的依赖性极强。但其净后项关联最低,占其纵向集成消耗的比例也最低,说明种植业对其他部门的水资源依赖性最弱。服务业的净后项关联最大,对其他部门的依赖程度最高。(3)通过部门水资源净转移分析可知,种植业是最大的水资源供给者,服务业是各部门中最大的受水者。种植业中 7133.13 万 m^3的水转移到服务业,是水量最大的转移途径。(4)2000—2012 年间,各部门的内部效应、复合效应、净前项关联和净后项关联均变化显著,表明了水资源在各部门的不同运移,也说明种植业是张掖市水资源可持续利用的关键部门。

为推动区域水资源的可持续利用,辨明水资源利用中的关键部门和具体的流动规律将会为张掖市水资源开发、利用、管理和保护等提供科学依据。假设抽取法结合投入产出分析,直观量化了生产部门在经济生产过程中的作用,明确了经济系统中的关键部门,成为研究资源的生产部门关联特性的新热点。从本文来看,种植业是张掖市水资源利用过程中的关键部门,也是该地区的耗水大户,为了有效合理的利用水资源,需加快推进该地区现代农业、新型工业、生态绿洲旅游等发展,增加生产部门的水资源利用附加值,提高用水效率。

参考文献(References):

[1] 王勇, 肖洪浪, 任娟, 陆明峰. 基于 CGE 模型的张掖市水资源利用研究. 干旱区研究, 2008, 25(1): 28-34.

[2] 魏胜文, 马忠, 牛俊义. 基于地区投入产出模型的干旱区水资源效益评价——以黑河流域甘肃张掖市为例. 中国沙漠, 2011, 31(3): 799-803.

[3] 程怀文, 李玉文, 徐中民. 水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例. 生态学报, 2011, 31(5): 1430-1439.

[4] 邓晓红, 徐中民. 内陆河流域试验拍卖水权定价影响因素——以黑河流域甘州区为例. 生态学报, 2012, 32(5): 1587-1595.

[5] 马忠, 徐中民. 改进的假设抽取法在产业部门用水关联分析中的应用. 水利学报, 2008, 39(2): 176-182.

[6] Sánchez-Chóliz J, Duarte R. Analysing pollution by way of vertically integrated coefficients, with an application to the water sector in Aragon. Cambridge Journal of Economics, 2003, 27(3): 433-488.

[7] Duarte R, Sánchez-Chóliz J, Bielsa J. Water use in the Spanish economy: an input-output approach. Ecological Economics, 2002, 43(1): 71-85.

[8] 肖生春, 肖洪浪, 蓝永超, 杨永刚. 近 50a 来黑河流域水资源问题与流域集成管理. 中国沙漠, 2011, 31(2): 529-535.

[9] 蔡国英, 徐中民. 黑河流域中游地区国民经济用水投入产出分析——以张掖市为例. 冰川冻土, 2013, 35(3): 770-775.

[10] 李传哲, 于福亮, 刘佳. 分水后黑河干流中游地区景观动态变化及驱动力. 生态学报, 2009, 29(11): 5832-5842.

[11] 石敏俊, 王磊, 王晓君. 黑河分水后张掖市水资源供需格局变化及驱动因素. 资源科学, 2011, 33(8): 1489-1497.

[12] Schultz S. Approaches to identifying key sectors empirically by means of input - output analysis. The Journal of Development Studies, 1977, 14(1): 77-96.

[13] Cai J N, Leung P S. Linkage measures: a revisit and a suggested alternative. Economic Systems Research, 2004, 16(1): 65-83.

[14] Song Y, Liu C L, Langston C. Linkage measures of the construction sector using the hypothetical extraction method. Construction Management and Economics, 2006, 24(6): 579-589.

[15] Wang Y, Wang W Q, Mao G Z, Cai H, Zuo J, Wang L L, Zhao P. Industrial CO_2 emissions in China based on the hypothetical extraction method: linkage analysis. Energy Policy, 2013, 62: 1238-1244.

[16] 王亚菲. 北京市生产性土地的部门关联效应分析. 中国人口.资源与环境, 2011, 21(5): 56-60.

[17] Guerra A I, Sancho F. Measuring energy linkages with the hypothetical extraction method: An application to Spain. Energy Economics, 2010, 32(4): 831-837.

[18] Cella G. The input-output measurement of interindustry linkages. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 1984, 46(1): 73-84.

[19] 马忠, 石培基, 胡科. 张掖市产业部门用水关联分析. 地球科学进展, 2010, 25(6): 666-672.

[20] 黄素心, 王春雷. 产业部门重要性测算: 基于假设抽取法的实证. 统计与决策, 2011, (9): 4-6.

[21] 和夏冰, 王媛, 张宏伟, 王文琴, 王丽丽. 我国行业水资源消耗的关联度分析. 中国环境科学, 2012, 32(4): 762-768.

[22] 钱明霞, 路正南, 王健. 基于假设抽取法的产业部门碳排放关联分析. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(9): 34-41.

[23] 肖强, 胡聃, 郭振, 王天祥, 谭宏. 水资源投入产出方法研究进展. 生态学报, 2011, 31(19): 5475-5483.