

# 基于投入产出模型的滦河流域水资源利用研究

李莹, 黄岁樑

(南开大学 环境科学与工程学院 环境污染过程与基准教育部重点实验室,  
天津市城市生态环境修复与污染防治重点实验室, 水环境数值模拟研究室, 天津 300071)

**摘 要:** 将投入产出表与产业部门的用水数据相结合, 建立滦河流域 2002 和 2007 年水资源投入产出表, 基于水资源投入产出模型, 系统地分析滦河流域 2002、2007 年三产业部门的用水效率与效益、产业间的水转移、虚拟水贸易量和消耗总量。结果表明: ①第一产业以直接用水为主, 效率低; 二、三产业以间接用水为主, 效率较高, 滦河流域第二、三产业的间接用水均主要来源于第一产业; ②用水效益方面, 第一、二产业较高, 第三产业很低。2007 年用水效率与效益较 2002 年均有显著提高; ③滦河流域是虚拟水贸易的净输出地区, 2007 年贸易量较 2002 年呈上升趋势, 其中第一产业所占比例最大, 上升 77%; 第三产业所占比例最小, 输入与输出接近平衡; ④2007 年虚拟水消耗总量是 2002 年的 2 倍。

**关键词:** 水资源; 虚拟水; 投入产出模型; 滦河流域

中图分类号: S213.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)04-0022-07

## Study on water resources utilization of Luanhe River Basin based on input – output model

LI Ying, HUANG Suiliang

(Numerical Simulation Group for Water Environment, Key Laboratory of Pollution Processes and Environmental Criteria of Ministry of Education, Tianjin Key Laboratory of Remediation and Pollution Control for Urban Ecological Environment, College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**Abstract:** The paper combined traditional water input – output table with data of water intake in order to construct water resource input – output table of Luanhe River Basin in 2002 and 2007. Then it analyzed the utilization efficiency and benefit, inter – sector water transaction coefficient, virtual water trade and total water consumption of the three industries systematically based on the input – output method of water resources. The results showed that ① The first industry directly uses water and has low efficiency; ② The second and third industries indirectly use water and have higher efficiency. The indirect water of the second and third industries is mainly from the first industry. But in aspect of water efficiency, the efficiency of first and second industries is higher and that of the third industry is very low. The efficiency and benefit of water use of 2007 was higher than that of 2002; ③ The study area is a net exporter of virtual water trade, and the quantity of trade rised from 2002 to 2007. The proportion of the first industry is the largest and its quantity has increased about 77%. At the same time, the third industry has the smallest proportion, and the quantity of input close to that of output; ④ The total of virtual water consumption of 2007 is two times that of 2002.

**Key words:** water resources; virtual water; input – output model; Luanhe River basin

收稿日期: 2015-03-26; 修回日期: 2015-04-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(51079068); 天津市科技支撑计划重点项目(09ZCGYSF00400); 天津市应用基础与前沿技术研究计划(15JCYBJC22500)

作者简介: 李莹(1982-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 在读博士研究生, 主要从事水文模型、水资源与 GIS 应用等研究。

通讯作者: 黄岁樑(1964-), 男, 湖南大通湖人, 博士(后), 教授, 博士生导师, 主要从事水体环境学与水环境数值模拟研究。

# 1 研究背景

20 世纪 90 年代,伦敦大学的 Tony Allan 首次提出虚拟水的概念<sup>[1-2]</sup>,又称为内嵌水或者外生水,是指生产商品和服务所需要的水资源数量。虚拟水既能如实地衡量一个国家或地区水资源利用状况,也能反映出该国家或地区对水资源的利用与依赖程度,弥补了传统方法的不足。虚拟水的定量研究多是针对具体产品的消费来计算,对于计算工业产品的虚拟水消费存在困难,而且进出口贸易计算也存在重复的风险<sup>[3]</sup>。因此,近年来国内外学者运用投入产出模型进行虚拟水研究<sup>[4]</sup>,有效地克服上述方法的不足,并且还能从整个国民经济系统来全面研究各产业部门之间虚拟水的流动关系,把握整体虚拟水的情况,更加直观准确的计算出区域间虚拟水的贸易量。研究尺度包括国家、省、市、流域等。印度、美国和中国是世界最大的虚拟水消费国<sup>[5]</sup>; Velázquez (2007)、Aldaya (2010) 运用虚拟水理论研究西班牙的水资源量,分析生产过程与商业贸易之间的水资源利用关系<sup>[6-7]</sup>; Yang Yu 等<sup>[8]</sup> (2010) 发现英格兰东南部地区比东北部的足迹高 22%; 2007-2011 年土库曼斯坦农牧业水足迹呈逐年上升趋势,2008 年增幅最大<sup>[9]</sup>; 在中国,1997-2007 年水足迹整体呈现下降趋势,中国是一个虚拟水的净出口国,主要出口到美洲、欧洲和亚洲,净出口主要集中于轻工业和服务业<sup>[10-12]</sup>。在我国各省虚拟水的研究中表明:广东省虚拟水的外部来源主要是湖南省、广西省和浙江省<sup>[13]</sup>; 河北省 2000-2005 年平均虚拟水总量为 20.78 亿 m<sup>3</sup><sup>[14]</sup>; 黑龙江省和甘肃省的虚拟水消费总量中农业用水量最大<sup>[15-16]</sup>; 辽宁省虚拟水资源的 47% 用于电力行业<sup>[17]</sup>。在城市尺度上,张掖市水资源的研究较全面,张掖市种植业、畜牧业和其他农业的用水效益和用水效率远低于其他行业,适当降低农业特别是种植业的比重是解决水资源短缺的有效途径<sup>[18-20]</sup>。在我国,虚拟水理论亦成功应用于流域尺度上,结果表明:黑河流域的虚拟水强度下降明显,2007 年为 2002 年的 13%~15%<sup>[16]</sup>; 海河流域 1997-2002 年也不断下降<sup>[21]</sup>; 黄河流域的上、中、下游水资源、经济结构和消费的模式差异很大<sup>[22-23]</sup>。

虚拟水贸易理论是缓解水资源紧缺的有效途径,尤其对于缺水地区更是意义重大。滦河是河北省的第二大河流,是京津冀人民生产生活的重要水源地。近年来,在气候变化和人类活动的影响下,地

表水资源量显著衰减,并引起滦河下游河道系统严重退化、近代滦河三角洲萎缩,已经成为水资源严重缺乏地区<sup>[24-25]</sup>。但是滦河流域虚拟水资源利用程度至今尚不清楚,各产业部门的虚拟水资源利用效率和效益以及产业间的水资源流动、虚拟水消费与贸易情况均不明确,非常不利于宏观调控滦河流域的水资源以及各产业的调整。可见,滦河流域虚拟水研究迫在眉睫。因此,本文采用水资源投入产出模型,系统地研究上述滦河流域虚拟水资源的利用问题,以期为滦河流域水资源的合理开发利用、有效配置和产业结构调整等应对策略的制定提供帮助。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 研究区域与数据来源

滦河是华北地区第二大单独入海的河流,是海河流域的重要水系,地理位置 115°30'E~119°15'E, 39°10'N~42°30'N,全长 888 km,流域面积 44 750 km<sup>2</sup>。滦河发源于河北省丰宁满族自治县的巴彦古尔图山北麓,流经内蒙古自治区、河北省以及辽宁省。滦河干流修建了潘家口、大黑汀、桃林口等大型水库,建成引滦入津、引滦入唐、引青济秦等大型引水工程,是天津、秦皇岛、唐山等经济中心的主要水源地和用水保障,同时兼顾发电和防洪功能。近年来,由于城镇化和社会经济的快速发展,滦河流域水资源日趋紧缺,已经成为制约其经济可持续发展的重要因素。

我国统计制度规定,每五年编制一次投入产出表,目前 2012 年投入产出表还处在编制中,在缺乏最新投入产出表及最新用水资料的情况下,2007 年水资源投入产出表可以反映研究区域水资源现状<sup>[15,26]</sup>。本文基于国家统计局编制的 2002 和 2007 年河北省、内蒙古自治区、辽宁省 3 个区域的投入产出表,根据 2003 年全国 1 km×1 km 的 GDP 矢量数据、全国行政区划矢量图(中国科学院地理科学与资源研究所资源环境数据中心)和流域范围矢量图(中华人民共和国水文年鉴),利用 ARCGIS 软件得到流域内各省 GDP 占本省的比重,制成滦河流域水资源投入产出表<sup>[17]</sup>,按照国家统计局的《三次产业划分规定》,将所有部门合并为第一产业、第二产业和第三产业,其中第一产业包括农林牧渔业、第二产业包括所有工业和建筑业、其他行业是第三产业;各产业的用水量数据主要来自于相关文献<sup>[27]</sup>。

### 2.2 研究方法

投入产出模型是采用矩阵形式来表达国民经济

各部门在一定时期(通常是一年)生产中的投入和产出,揭示各部门之间相互依存与制约的数量关系<sup>[28]</sup>。将权威统计部门编制的价值型投入产出表与水资源消耗数量相结合,构造水资源投入产出分析模型,可以科学合理的描述虚拟水的消耗情况<sup>[29]</sup>。

**2.2.1 用水效率分析** 用水效率由直接耗水系数、增加值耗水系数、完全耗水系数和耗水乘数 4 个指标来反映<sup>[26,28,30]</sup>。

(1)直接耗水强度系数:表示生产一单位产品使用的自然形态的水的数量,用来反映各部门生产本部门产品过程中的直接用水强度,亦被称为用水定额。计算公式如下:

$$D = [d_j], d_j = \frac{w_j}{x_j} \quad (1)$$

式中: $d_j$  为第  $j$  部门生产单位产品需要的水量; $w_j$  为第  $j$  部门的用水量, $x_j$  为  $j$  部门的产出。

(2)完全耗水强度系数:表示各部门增加单位产品时,整个经济体系总用水量的增加量,包括直接和间接用水的数量。计算公式如下:

$$V = [v_j], V = D(I - A)^{-1}, (I - A)^{-1} = [b_{ij}] \quad (2)$$

式中: $v_j$  为生产第  $j$  部门单位最终产品需要的水量; $(I - A)^{-1}$  为 Leontief 逆矩阵; $b_{ij}$  为满足部门  $j$  单位最终需求时,部门  $i$  的总生产量。

(3)增加值耗水强度系数:表示各部门创造单位增加值所直接使用的水资源数量。计算公式如下:

$$Z = [z_j], z_j = \frac{w_j}{c_j} \quad (3)$$

式中: $z_j$  代表第  $j$  部门的增加值; $c_j$  增加值用水系数; $w_j$  代表第  $j$  部门的用水量。

(4)耗水乘数:表示某一行业增加单位用水量时,整个经济系统所增加的用水量,其反映行业用水量的乘数效应。计算公式如下:

$$M = [m_j], m_j = \frac{v_j}{d_j} \quad (4)$$

式中: $m_j$  为生产第  $j$  部门耗水乘数; $v_j$  为生产第  $j$  部门单位最终产品需要的水量; $d_j$  为第  $j$  部门生产单位产品需要的水量。

**2.2.2 用水效益分析** 用水效益分析是分析经济行业使用单方水的产出水平,常用用水产出系数来反映,包括水的直接产出系数、完全产出系数和产出乘数三类<sup>[26,29]</sup>。

(1)直接产出系数:表示某行业单方用水量所

生产的产值量或增加量,用以反映经济行业生产用水的直接经济效益。计算公式如下:

$$Q_j = \frac{x_j}{w_j} \quad (5)$$

式中: $Q_j$  为第  $j$  行业单方水产值产出系数; $x_j$  为  $j$  部门的产出; $w_j$  为第  $j$  部门的用水量。

(2)完全产出系数:表示某行业增加或减少单方水使用量所引起的整个经济系统的变化量。计算公式如下:

$$BO_j = (I - A)^{-1}O_j, BOC_j = BO_j \times z_j \quad (6)$$

式中: $B = [b_{ij}]$ ,  $BO_j$  为第  $j$  行业单方水完全产出系数; $BOC_j$  为第  $j$  行业增加值完全产出乘数; $z_j$  为第  $j$  部门的增加值; $O_j$  为第  $j$  行业单方水产值产出系数。

(3)产出乘数:表示某一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。计算公式如下:

$$MO_j = \frac{BO_j}{O_j} = \frac{BOC_j}{OC_j} \quad (7)$$

式中: $MO_j$  为第  $j$  行业产出乘数,  $BOC_j$  为第  $j$  行业增加值完全产出乘数; $O_j$  为第  $j$  行业单方水产值产出系数。

**2.2.3 行业间水转移系数** 行业间用水关系矩阵( $W^*$ )为完全耗水强度系数矩阵与直接耗水强度系数矩阵的差值,其形式如下:

$$W^* = \hat{d} [(I - A)^{-1} - I] \quad (8)$$

式中: $\hat{d}$  为直接耗水强度系数的对角矩阵形式; $W^*$  的元素  $W_{ij}^*$  为表示整个经济系统中部门  $j$  增加单位产量时所需要间接消耗部门  $i$  的水。该矩阵可以转换成行业间水转移系数矩阵,该矩阵反映了一个部门与其他部门之间关于水资源依赖关系的建立<sup>[20]</sup>。其定义如下:

$$\beta_{ij}^w = \frac{w_{ij}^*}{d_j} \quad (9)$$

式中: $\beta_{ij}^w$  为当部门  $j$  需求增加一单位用水量时,部门  $i$  需要间接消耗的水; $W_{ij}^*$  为整个经济系统中部门  $j$  增加单位产量时所需要间接消耗部门  $i$  的水。

**2.2.4 虚拟水贸易与虚拟水消耗总量计算** 由于我国编制的投入产出表属于进口竞争型投入产出表,即假定进口产品和国内同类产品可以相互替代,进口商品可以假定具有本地生产部门相同的完全耗水强度<sup>[23]</sup>。

(1)净输出虚拟水量:表示区域内虚拟水出口与进口的差值。

$$NWF = [nwf_j], nwf_j = v_j e_j \tag{10}$$
式中:  $nwf_j$  为生产第  $j$  部门产品净输出虚拟水数量;  $e_j$  为生产第  $j$  部门产品净输出;  $v_j$  为生产第  $j$  部门单位最终产品需要的水量。

(2) 虚拟水消耗总量:表示区域内最终需求的用水量。

$$WF = [wf_j], wf_j = v_j f_j \tag{11}$$
式中:  $wf_j$  为生产第  $j$  部门产品用于区域内消费和净出口的最终需求的用水量;  $f_j$  为水资源最终使用量,包括国内最终消费、资本积累总额和净输出消费;  $v_j$  为生产第  $j$  部门单位最终产品需要的水量。

3 研究结果与讨论

3.1 滦河流域各产业用水效率分析

耗水强度系数是部门用水强度的测量指标,反映各部门生产活动对水资源的依赖程度和利用效率。计算结果见表 1,可以看出,由于各产业部门生产技术的不断提高使得滦河流域 2007 年 3 个产业部门用水效率比 2002 年有显著提高。其中,第一、二、三产业直接耗水强度系数分别提高 50%、53%、42%;间接耗水强度系数分别提高 47%、43%、40%;完全耗水强度系数分别提高 50%、45%、40%。

2002 年滦河流域第一产业直接和完全耗水强度分别较全国平均水平<sup>[12]</sup>低 17% 和 21% 左右;2007 年直接和完全耗水强度系数分别较全国平均水平低 23% 和 24% 左右。说明滦河流域各行业对水资源非常重视,开展节水农业,对节约水资源的贡

献很大,使得滦河流域水资源的利用水平高于全国平均水平。此外,与黑河流域相比<sup>[16]</sup>,2002 年滦河流域第一、二产业完全耗水强度均比其低 70% 左右,第三产业低 80% 左右;2007 年第一、二、三产业完全用水强度分别低 18%、22% 和 54%。这是由于滦河流域是京津冀地区重要农业和工业基地,经济比黑河流域发达,高新技术产业与节水型产业较多,水资源利用效率高。

在用水结构方面,2002、2007 年滦河流域第一产业虚拟水直接和完全消耗系数最大,第三产业最小;第一产业创造单位增加值时直接用水数量最大、第三产业最少。第一产业消耗虚拟水以直接用水为主,直接耗水系数约为完全耗水系数的 80%;第二、三产业以间接用水为主,间接耗水系数为完全耗水系数的 85% 左右。显然,直接用水为主的产业要消耗大量的当地的水资源,而间接用水占优势的产业部门可以依靠进口或者调入水资源来加大中间投入,对当地的水资源压力较小。这说明限制第一产业,大力发展第二、三产业对于缓解滦河流域水资源压力是十分有利的。但是研究区域内,第一产业用水乘数最小,二、三产业稍大,而用水乘数高的部门新增用水对滦河流域整个经济系统水资源消耗影响最大<sup>[31]</sup>,因此,积极发展以间接用水为主的产业的同时,还需要提高他们的用水重复利用率。综上分析可知,在滦河流域水资源日趋紧缺的情况下,适当限制第一产业部门,优先加大农业内部的节水改造,提高节水高效作物的比例和提高农业生产技术水平迫在眉睫,同时增加第二、三产业比例。

| 表 1 2002、2007 年滦河流域三产业消耗水强度系数 |      |         |        |         |         | m <sup>3</sup> /万元 |
|-------------------------------|------|---------|--------|---------|---------|--------------------|
|                               | 产业   | 直接耗水系数  | 间接耗水系数 | 增加值耗水系数 | 完全耗水系数  | 耗水乘数               |
| 2002 年                        | 第一产业 | 1314.08 | 312.00 | 2374.54 | 1626.08 | 1.24               |
|                               | 第二产业 | 42.59   | 243.72 | 145.75  | 286.31  | 6.72               |
|                               | 第三产业 | 20.95   | 115.43 | 39.15   | 136.38  | 6.51               |
| 2007 年                        | 第一产业 | 655.63  | 164.49 | 1120.09 | 820.12  | 1.25               |
|                               | 第二产业 | 19.76   | 137.35 | 75.53   | 157.11  | 7.95               |
|                               | 第三产业 | 12.24   | 69.71  | 23.44   | 81.95   | 6.70               |

3.2 滦河流域各产业用水效益分析

用水效益可采用用水产出系数来分析,包括水的直接产出系数、完全产出系数和产出乘数等。根据上述公式(5)~(7),得出滦河流域 2002 和 2007 年不同部门水资源利用效益的变化情况(表 2)。研究发现,2002-2007 年,各产业的用水效益都有显

著提高,其中第一、二、三产业直接产出系数分别提高 100%、115%、71%;完全产出系数分别提高 123%、141%、70%;产出乘数第一、二产业升高 11.31%、11.67%,第三产业下降 2.42%。从整体来看,第一产业直接产出系数和完全产出系数都远低于第二产业和第三产业。蔡国英等<sup>[18]</sup>研究发现,用

水效益指标中,直接产出系数、完全产出系数和产出乘数较高的行业,其用水的经济效益也较高,对经济系统产出量的贡献率也较大。由此可见,虽然滦河流域第一产业的直接产出系数和完全产出系数最小,但两者相差 10 倍,相差较多,说明其间接经济效益占比例大,即农副产品的加工业经济效益较高。同时,第一产业产出乘数最大且趋势上升,即其增加单方水所引起的整个经济系统产出价值较高,这也说明农副产品加工行业比较发达<sup>[3,18,31]</sup>。滦河流域是京津冀地区重要粮食和副食品生产基地,第一产业是滦河流域的基础产业,在国民经济中具有基础性地位;滦河流域也是京津冀地区重要工业基地,特别是南部沿海工业园区的迅速崛起,促使经济快速增长。滦河流域第二产业的完全产出系数最大,虽然其产出乘数不高,但是呈现上升趋势(表 2),用水效益大。因此,第二产业用水量增加对整体经济价值的影响增加,说明第二产业的发展对水资源的利用效益的提高有显著影响。而第三产业直接和完全产出系数虽然比较大,但是产出乘数很低,略有下降,用水量增加时对整体经济价值的影响下降,说明滦河流域第三产业处于初级阶段,有待大力发展。

表 2 2002、2007 年滦河流域 3 个产业消耗水产出系数

|      |      | 元/m <sup>3</sup> |         |       |
|------|------|------------------|---------|-------|
| 年份   | 产业   | 直接产出系数           | 完全产出系数  | 产出乘数  |
| 2002 | 第一产业 | 7.61             | 68.63   | 9.02  |
|      | 第二产业 | 234.78           | 892.94  | 3.80  |
|      | 第三产业 | 477.35           | 786.72  | 1.65  |
| 2007 | 第一产业 | 15.25            | 153.13  | 10.04 |
|      | 第二产业 | 506.20           | 2152.95 | 4.24  |
|      | 第三产业 | 817.14           | 1313.74 | 1.61  |

3.3 各行业间水转移系数

滦河流域第二、三产业间接用水所占比重较高(表 1),他们的间接耗水主要来源于第一产业部门,2007 较 2002 年转移系数变化不大、略有上升(表 3)。以 2007 年为例,为满足第二、三产业的用水需求,消耗 1 m<sup>3</sup>直接用水的同时还分别需要第一产业部门额外提供约 5 和 4 m<sup>3</sup> 的用水量用于生产。由此可知,虽然第二、三产业的直接耗水量不多(表 1),但是由于其间接耗水的特性,其新增加的用水量对经济系统整体总耗水量的增多存在影响。因此,关注直接耗水多的产业的同时不能忽视间接耗水较多的部门。

表 3 2002、2007 年滦河流域水资源转移系数

| 年份   | 产业   | 第一产业 | 第二产业 | 第三产业 |
|------|------|------|------|------|
| 2002 | 第一产业 | 0.21 | 4.13 | 3.68 |
|      | 第二产业 | 0.02 | 1.38 | 1.40 |
|      | 第三产业 | 0    | 0.21 | 0.43 |
| 2007 | 第一产业 | 0.22 | 4.93 | 3.89 |
|      | 第二产业 | 0.02 | 1.82 | 1.41 |
|      | 第三产业 | 0    | 0.21 | 0.40 |

3.4 滦河流域虚拟水消费与贸易

根据公式(10)、(11)计算得出各部门的虚拟水消费总量和虚拟水贸易量(见图 1、图 2)。2002 – 2007 年,滦河流域虚拟水消费总量呈现明显上升的趋势。2007 年消耗虚拟水较 2002 年增加了一倍,其中三个产业部门的虚拟水消费都出现不同程度的增加,第一产业虚拟水消耗总量变化不大,仅增加 6.5%;第二、三产业增大的趋势非常显著,均比 2002 年增加约 2 倍。这是近年来滦河流域第二、三产业迅速发展结果。尤其是滦河流域第二产业的迅速发展,使得第二产业虚拟水消耗总量从 2002 年低于第一产业,转变为 2007 年的是第一产业的 2 倍。滦河流域是海河流域的组成部分,面积占其总面积的 16%,但 2007 年虚拟水消费总量仅为海河流域京津冀地区<sup>[32]</sup>的 5.2%。这说明滦河流域较京津冀三省市在我国经济和重要城镇密集度方面都较低,虚拟水的需求量相对较小。

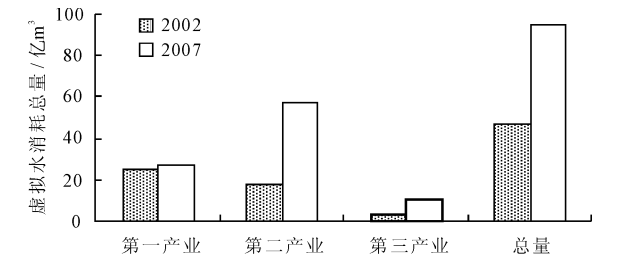


图 1 滦河流域虚拟水消耗总量图(2002,2007)

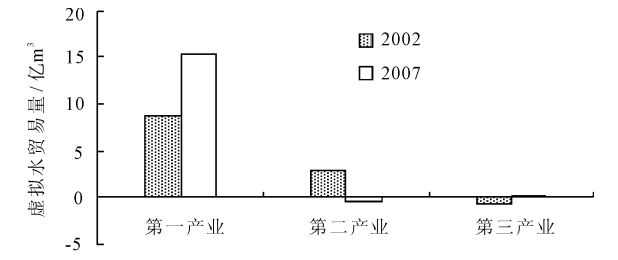


图 2 滦河流域虚拟水净输出贸易量(2002,2007)

滦河流域第一、二产业以贸易净输出为主,尤其是第一产业净输出量从 2002 年的 8.6 亿 m<sup>3</sup> 增加到

2007年的15.12亿 $\text{m}^3$ ,增长约77%(图2);第三产业占虚拟水贸易量的比例最小,且输出和输入量接近平衡。说明农副产品输出的同时,还大量地输出了本地的水资源。华北地区是我国的缺水地区,随着人口增长和社会的快速发展,对水资源需求量急剧增加,水资源成为制约滦河流域经济发展的重要因素<sup>[33]</sup>。研究结果表明滦河流域是虚拟水净输出地区(图2),与黑河流域<sup>[16]</sup>相同,与黄河流域<sup>[23]</sup>相反,净输出虚拟水量呈现逐年增长的趋势。由于虚拟水净输出的大幅度增加,更加剧了该流域水资源的短缺,影响其水资源安全,不利于水资源的可持续利用。因此,对净流出的水资源量进行一定的控制是必要的。应实施虚拟水战略,减少高耗水产品的出口并相应地增加其进口数量。此外,贸易输出的产品类型与区域的产业结构有一定的关系<sup>[34]</sup>,调整滦河流域产业结构在某种程度上,也可以促进水资源的可持续发展。

## 4 结 语

水资源投入产出模型是分析地区产业消耗水资源的较为科学和全面的方法,本文依据此模型分析2002和2007年滦河流域3个产业部门水资源利用的发展趋势,得出如下结论:

(1)2007较2002年,滦河流域3个产业用水效率和用水效益呈上升趋势,其中第一产业是滦河流域的基础产业,直接用水量最大、用水效率最低;第二产业用水效益和用水效率都较高,发展迅速,带动滦河流域经济的增长;第三产业用水效率高但用水效益很低,发展缓慢,处于初级阶段。因此针对滦河流域的产业用水特点,建议适当调整产业结构,优先发展二、三产业,尤其是服务行业,它是节水环保部门,耗水量较低而且是现代经济的重要增长点。同时,继续推动节水技术,加大第一产业尤其是农业的技术改造,虽然研究结果表明滦河流域节水方面取得了一些成绩,但是还应该进一步推广。

(2)滦河流域第二、三产业以间接用水为主,间接用水量主要从第一产业部门转移而来,且2007年转移系数略有上升。建议关注直接耗水率较大的产业部门的同时也要注意间接耗水多的部门,从产业链整体上开展节水措施。

(3)滦河流域2002-2007年以虚拟水净输出为主,输出量呈上升趋势,其中第一产业净输出量占主要部分。由于通过贸易而带来的虚拟水输出输入量相当大,建议在粮食安全、地方需求和环境保护的

基础上,合理控制虚拟水净流出,并借助虚拟水贸易理论来缓解水资源短缺,出口低耗水高效益的产品,同时进口高耗水产品。

## 参考文献:

- [1] Allan J A. Fortunately there are substitutes for water: otherwise our hydropolitical futures would be impossible [C]//Prioritized for Water Resources Allocation and Management, London, 1993:13-26.
- [2] Allan J A. Overall perspectives on countries and regions [M]. Rogers, P. and Lydon, P. Water in the Arab World: perspectives and prognoses, Harvard University Press, Massachusetts, 1994.
- [3] 黄晓荣,汪党献,裴源生. 宁夏国民经济用水投入产出分析[J]. 资源科学,2005,27(3):135-139.
- [4] 肖强,胡卫聃,郭振,等. 水资源投入产出方法研究进展[J]. 生态学报,2011,31(19):5475-5483.
- [5] Chen Zhanming, Chen G Q. Virtual water accounting for the globalized world economy: national water footprint and international virtual water trade[J]. Ecological Indicators, 2013, 28: 142-149.
- [6] Velázquez E. Water trade in Andalusia. Virtual water: An alternative way to manage water use[J]. Ecological Economics, 2007, 63(1): 201-208.
- [7] Aldaya M M, Allan J A, Hoekstra A Y. Strategic importance of green water in international crop trade[J]. Ecological Economics, 2010, 69(4): 887-894.
- [8] Yang Yu, Klaus H, Feng Kuishuang, et al. Assessing regional and global water footprints for the UK[J]. Ecological Economics, 2010, 69(5): 1140-1147.
- [9] 张雪妮,吕光辉,秦璐,等. 土库曼斯坦农牧业水足迹研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(3):38-42.
- [10] 王艳阳,王会肖,张昕. 基于投入产出表的中国水足迹走势分析[J]. 生态学报,2013,33(11):3488-3498.
- [11] 和夏冰,张宏伟,王媛,等. 基于投入产出法的中国虚拟水国际贸易分析[J]. 环境科学与管理,2011,36(3):7-10.
- [12] 赵旭,杨志峰,陈彬. 基于投入产出分析技术的中国虚拟水贸易及消费研究[J]. 自然资源学报,2009,24(2):286-294.
- [13] 谭圣林,邱国玉,熊育久. 投入产出法在虚拟水消费与贸易研究中的新应用[J]. 自然资源学报,2014,29(2):355-364.
- [14] 李素丽,苗慧英,邢九平,等. 虚拟水理论在河北省农业用水管理中的战略应用分析[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(4):153-156.
- [15] 崔海燕. 黑龙江省水资源投入产出分析[D]. 哈尔滨:

东北农业大学. 2008.

- [16] 蔡振华. 甘肃省及黑河流域水足迹及虚拟水贸易研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [17] Okadera T, Geng Yong, Fujita T, et al. Evaluating the water footprint of the energy supply of Liaoning Province, China: A regional input – output analysis approach [J]. Energy Policy, 2015, 78: 148 – 157.
- [18] 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 [J]. 冰川冻土, 2013, 35 (3): 770 – 775.
- [19] 马忠, 张继良. 张掖市虚拟水投入产出分析 [J]. 统计研究. 2008, 25(5): 65 – 70.
- [20] Wang Yong, Xiao H L, Lu M F. Analysis of water consumption using a regional input – output model: Model development and application to Zhangye City, Northwestern China [J]. Journal of Arid Environments, 2009, 73 (10): 894 – 900.
- [21] Zhao Xu, Yang Hong, Yang Zhifeng, et al. Applying the input – output method to account for water footprint and virtual water trade in the Haihe River Basin in China [J]. Environmental Science Technology, 2010, 44(23): 9150 – 9156.
- [22] Feng Kuishuang, Siu Yim Ling, Guan Dabo, et al. Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A consumption based approach Original Research Article [J]. Applied Geography, 2012, 32(2): 691 – 701.
- [23] 蔡燕, 王会肖, 王红瑞, 等. 黄河流域水足迹研究 [J]. 北京师范大学学报 (自然科学版), 2009, 45(5): 616 – 620.
- [24] 路献品, 王刚, 陈宁, 等. 滦河流域水资源开发的水文效应及其生态环境响应 [J]. 环境保护科学, 2014, 40(1): 18 – 21.
- [25] 王腾飞, 苏布达, 翟建青, 等. 1961 – 2012 年滦河流域干旱演变分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29 (5): 180 – 185.
- [26] 吴争程. 福建省水资源投入产出分析 [D]. 福州: 福州大学, 2006.
- [27] 田建平, 张俊栋. 滦河流域水资源可持续利用评价及对策 [J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(2): 56 – 59.
- [28] 刘起运, 陈璋, 苏汝劼. 投入产出分析 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2011.
- [29] 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.
- [30] 许健, 陈锡康, 杨翠红. 直接用水系数和完全用水系数的计算方法 [J]. 水利规划设计, 2002(4): 28 – 30, 36.
- [31] 成琨, 付强, 陈曦, 等. 基于投入产出模型的黑龙省水资源利用效率分析 [J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5): 141 – 145.
- [32] 姜莉. 海河流域京津冀地区虚拟水实证研究 [D]. 大连: 辽宁师范大学, 2011.
- [33] 刘玉芬. 滦河流域水资源可持续利用对策分析 [J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 2012(1): 6 – 9.
- [34] 刘梅, 许新宜, 王红瑞, 等. 基于虚拟水理论的河北省水足迹时空差异分析 [J]. 自然资源学报, 2012, 27 (6): 866 – 867.

(上接第 21 页)

- [2] 胡汝骥, 姜逢清, 王亚俊, 等. 论中国干旱区湖泊研究的重要意义 [J]. 干旱区研究, 2007, 24(2): 137 – 140.
- [3] 胡汝骥, 姜逢清, 王亚俊, 等. 亚洲中部干旱区的湖泊 [J]. 干旱区研究, 2005, 22(4): 424 – 430.
- [4] 周云凯, 姜加虎. 近 50 年岱海生态与环境变化分析 [J]. 干旱区研究, 2009, 26(2): 162 – 168.
- [5] 胡林奎, 鲁文林. 凉城县岱海流域水环境现状及补水必要性分析 [J]. 内蒙古水利, 2014(1): 109 – 110.
- [6] 曹建廷, 王苏民, 沈吉, 等. 近 40 年来内蒙古岱海水位下降的主要原因 [J]. 干旱区研究, 2002, 19(1): 1 – 6.