

# 基于区域投入产出模型的甘肃省水资源状况分析

王文静, 石培基, 马忠

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 基于投入产出分析法, 以甘肃省 2007 年行业经济及用水数据为基础, 构建了地区水资源投入产出表。通过对甘肃省行业用水系数、用水乘数、用水量等指标的分析, 研究了甘肃省各行业对经济系统的水资源消耗间接拉动效应。在此基础上进一步研究了经济系统内部行业间虚拟水的转移, 分析了经济系统内部虚拟水的流向, 并通过计算甘肃省虚拟水的进出口量对经济系统间虚拟水的流向进行了分析。分析结果表明, 种植业用水系数、用水量在该省行业中处于最高, 对经济系统水资源的间接拉动影响较小, 是主要的虚拟水输出行业。其中一部分虚拟水流向制造业, 经由制造业流向建筑业与服务业等行业, 另一部分流向省外。在构建节水型经济系统的过程中, 由于行业间水资源消耗的关联性, 考虑到其他行业对种植业的间接拉动, 在采取缩小种植业规模提高种植业节水效率及调整区域产业结构的情况下, 应将减少消费端的物质消费因素考虑进去。

**关键词:** 水资源; 投入产出分析; 用水系数; 虚拟水

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)06-0296-05

中图分类号: F223

## Analysis on Water Resources of Gansu Province Using Regional Input—Output Model

WANG Wen-Jing, SHI Pei-ji, MA Zhong

(College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** The input—output analysis method was applied to construct a water resource Input—output table on the basis of the data collected in 2007 in Gansu Province. This study focused on the impacts of water resources on the industrial and economic development of Gansu Province by analyzing water use rate, water multiplier and water consumption. Furthermore, virtual water transfer between industry and economy system virtual water transfer among different industries, and the flow direction of virtual water in economic system were addressed. The results indicated that agriculture(plantation for example) had the highest water use rate and total volume but had little contribution to the indirect boost of economic system by water resource. Some water resources virtually flew to manufacturing and then subsequently to construction and service industry. In addition, considerably amount of water flew to other provinces. During the process of promoting the water saving economic system, we should reduce the scale of agricultural production and improve the efficiency of agricultural water use. We should also readjust industrial structure, considering the relevance of water resource consuming between the industries. In addition, we should take into account the factors reducing the consumption of goods by the clients.

**Keywords:** water resources; input—output method; water use coefficient; virtual water

投入产出法 (IOA) 是由美国经济学家列昂剔夫<sup>[1]</sup>于 20 世纪 30 年代提出的。该方法主要通过编制投入产出表及建立相应的数学模型来反映经济系统各个行业之间的相互关系。随着社会、经济的不断发展和人口规模的持续增长, 人类对水资源的消耗越来越大。随之所产生的水资源匮乏问题成为了制约

人类社会发展的主要因素之一。为了实现对水资源的合理开发利用和配置, 许多国内外学者<sup>[2-7]</sup>将投入产出法运用到水资源的消耗分析当中, 以解决日益严重的水资源短缺问题。甘肃省地处我国内陆腹地, 降水稀少, 气候干燥, 水资源匮乏, 是我国最缺水的省份之一。

收稿日期: 2011-12-09

修回日期: 2012-01-11

资助项目: 国家自然科学基金项目“内陆河流域城镇体系与流域空间结构相互作用的生态经济效应研究: 以石羊河流域为例”(40971078)

作者简介: 王文静(1986—), 男(汉族), 甘肃省天水市人, 硕士研究生, 主要从事城市与区域发展研究。E-mail: wangwenjign@126.com。

通信作者: 石培基(1961—), 男(汉族), 甘肃省临洮县人, 教授, 博士生导师, 主要从事城市与区域发展研究。E-mail: xbsdspj@163.com。

本研究以甘肃省为例,利用投入产出模型构建了甘肃省水资源地区投入产出表。通过研究经济系统内部各行业的用水系数,用水乘数以及用水量来分析行业与经济系统之间,行业与行业之间的间接拉动影响,并进一步计算间接拉动影响下的虚拟水净流量,来详细反映行业虚拟水的流向。经济系统之间虚拟水的净转移通过水资源的出口与进口之差算得。于此得出结论并提出相应的建议,为建立节水型社会体系的研究提供参考依据<sup>[7]</sup>。

## 1 水资源投入产出模型的建立

经济系统内部(不考虑外地虚拟水的调入影响),水资源的流动见图 1。行业对水资源的直接消耗会产生对水资源的直接拉动,这部分水为直接用水。此外,还需要其他行业的产品作为中间投入,这部分产品在生产过程中也需要消耗一定的水资源,所以这部分水是以产品为载体在行业之间进行需求转移,称之为虚拟水。由于行业之间的这种投入产出关系,便产生了行业对水资源的间接拉动。直接拉动与间接拉动之和等于完全拉动,虚拟水的净转移则是某一行业对其他行业的间接拉动与其他行业对该行业间接拉动之和。在经济系统内部,考虑到拉动力方向性, $j$ 行业对其他行业虚拟水的间接拉动与其他行业对 $j$ 行业虚拟水的间接拉动为一对反向作用力。

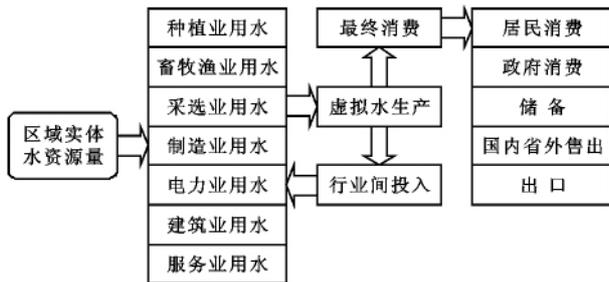


图 1 经济系统水资源流向

### 1.1 行业水资源消耗指标

1.1.1 直接用水系数 该系数的计算公式为:

$$Q = W / X \quad (1)$$

假设将经济系统分为  $n$  个行业,公式(1)中  $W = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n)$  为经济系统内各行业的直接用水量,  $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  为各个行业的总产出。将直接用水系数表示成行向量的形式,记为:  $Q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)$

1.1.2 完全用水系数 在直接用水系数的计算中,只考虑了各行业的直接用水量,但实际上任何一个行业在生产单位产品时所引发的水资源需求量都会大

于直接用水系数<sup>[8]</sup>。差别在于在产品的生产过程中需要其相关联部门的产品作为中间投入。因此把中间投入的这一部分产品所含的水(虚拟水)量也计入该部门的水资源消耗总量当中,即行业的直接用水量加间接用水量等于完全用水量。用完全用水系数来表示经济系统各行业为生产单位最终产品消耗的直接用水和间接用水的总量。

$$B^d = Q(I - \hat{\alpha}A)^{-1} \quad (2)$$

式中:  $I$ ——单位矩阵;  $a_{ij} = x_{ij} / X_j$ ,  $a_{ij}$ ——直接消耗系数;  $x_{ij}$ —— $i$ 行业对 $j$ 行业的投入;  $X_j$ —— $j$ 行业的总产出。 $\hat{\alpha}A = [a_{ij}]$ ——自产率调整后的地区直接消耗系数矩阵;  $(1 - \hat{\alpha}A)^{-1}$ ——地区自产产品的 Leontief 逆矩阵,即当地产业乘数矩阵。将外地调入虚拟水剔除后的完全用水系数  $B^d$  用行向量的形式表达为:  $B^d = (b_1^d, b_2^d, b_3^d, \dots, b_n^d)$

1.1.3 用水乘数 用水乘数  $H^d$  是用来反映行业产出对当地水资源的间接带动程度,即某一个行业因生产需要对其他行业用水量的间接带动,从而使其他行业的用水量增加。其值为各行业完全用水系数  $B^d$  与直接用水系数  $Q$  的商,计算公式为:

$$H^d = B^d / Q \quad (3)$$

1.1.4 完全用水量与当地完全需水量 完全用水量  $T^d$  是行业直接用水量和间接用水量的总和,通过行业虚拟水的生产,一部分虚拟水作为中间投入流向后向关联产业,另一部分成为当地最终使用。计算公式为各行业的完全用水系数  $B^d$  与总产出  $X$  的乘积,其数学表达式为:

$$T^d = B^d X \quad (4)$$

类似地推出当地完全需水量的计算公式:

$$t_{wj}^d = b_j^d y_j^d \quad (5)$$

式中:  $y_j^d$ ——当地最终使用;  $t_{wj}^d$ ——当地完全需水量,表示 $j$ 行业为生产最终使用产品对整个经济系统各个行业直接需求和间接需求的总量,国外研究成为 Pasinett 纵向集成消耗<sup>[9]</sup>。

1.1.5 间接用水量 根据直接用水量、间接用水量及完全用水量之间的关系,得出行业的间接用水  $M^d$  的计算公式:

$$M^d = T^d - W \quad (6)$$

采用行向量的形式表示为:  $M^d = (m_1^d, m_2^d, m_3^d, \dots, m_n^d)$ ,行向量中的元素分别表示各个行业的间接用水量。

1.1.6 经济系统内部行业之间水资源的转移 由公式(6)得出各行业的完全用水总量等于直接用水总量与间接用水总量之和。根据投入产出表平衡关系得知各行业的完全用水总量亦等于中间消耗总量加当

地完全需水总量。所以推出各行业的直接用水量之和等于当地完全需水总量,行业间的水资源在经济系统内部进行需求转移。为了描述行业水资源的这种需求转移,令  $j$  行业虚拟水净转移量为:

$$D_{wj} = t_{wj}^d - \omega_j \quad (7)$$

式中: $D_{wj}$ —— $j$  行业转移到其他行业的虚拟水。若  $D_{wj} > 0$ , 即  $j$  行业对其他行业水资源的间接拉动影响大于其他行业对  $j$  行业的间接拉动影响,说明  $j$  行业是以购入其他行业产品的方式来输入虚拟水。若  $D_{wj} < 0$ , 则  $j$  行业是以售出自身产品的方式对其他行业输出虚拟水。为了详细反映行业间虚拟水的净转移量,采用马忠<sup>[7]</sup>在计算张掖市行业间虚拟水转移中的方法,运用行业部门转移矩阵即完全需水矩阵  $VW$  与其转置矩阵  $VW^T$  之差来诠释之间的关系。用矩阵的形式表达为:

$$TVW = VW - VW^T \quad (8)$$

$TVW$  为虚拟水行业部门转移矩阵,横向表示行业间虚拟水分量的输出,纵向表示行业间虚拟水分量的输入。

1.1.7 经济系统之间的虚拟水转移 用  $\omega_i^e$  来表示经济系统虚拟水的输出量,  $\omega_i^m$  来表示经济系统虚拟水输入量。则虚拟水的净输出量为:

$$\omega_i^{net} = \omega_i^e - \omega_i^m \quad (9)$$

其中输出量等于调出产品的总量乘以当地完全用水系数,输入量等于调入产品的总量乘以其生产地的完全用水系数。由于数据的获取较困难,本研究采用全国平均数代替。

## 1.2 数据来源与处理

根据《甘肃省 2007 年投入产出表》中的行业分类,把分类细致的行业数据与分类较粗的行业数据进行口径统一。将甘肃省投入产出表中  $144 \times 144$  行业矩阵合并为  $7 \times 7$  行业矩阵。种植业,畜牧渔业及服务业等的用水采用《甘肃省 2007 年水资源公报》中的数据。由于工业用水计算复杂,数据获取比较困难,所以部分用水数据来自于《甘肃省 2007 年水资源公报》,另一部分用水与建筑业用水数据依据《甘肃省行业用水定额》以及《甘肃省统计年鉴》中 2007 年的主要产品年产量计算得出。

## 2 结果及分析

### 2.1 甘肃省行业用水系数及用水乘数分析

为了避免外地流入产品对省内行业用水特性造成的偏差,将进口产品和国内省外购进产品剔除,从而较精确地计算出省内各行业的用水系数(表 1)。

表 1 甘肃省 2007 年各行业用水系数

$m^3$ /万元

行业	种植业	畜牧渔业	采选业	制造业	电力业	建筑业	服务业
直接用水系数	2 037.20	242.36	25.15	39.78	76.05	5.94	10.72
完全用水系数	2 307.92	461.47	69.19	165.64	99.17	153.61	79.78
用水乘数	1.13	1.90	2.75	4.16	1.30	25.86	7.44

2.1.1 直接用水系数 从表 1 中看出直接用水系数一行中,种植业的直接用水系数为  $2 037.20 m^3$ /万元,与直接用水系数最小的建筑业相比,两者相差了 190 倍,这说明种植业对水资源的直接拉动大,依赖性强。畜牧渔业的直接用水系数为  $242.36 m^3$ /万元,采选业、制造业、电力业和服务业的直接用水系数均小于  $100 m^3$ /万元,说明相对于种植业来说,这些行业对水资源的直接拉动较小,依赖性较弱。

2.1.2 完全用水系数 表 1 中完全用水系数数据表明,种植业的完全用水系数仍然是最大,达到  $2 307.92 m^3$ /万元,与完全用水系数最小的服务业相比,相差了 24 倍,说明种植业对整个经济系统的水资源需求量仍是最大。

横向来看,各个行业的完全水系数均大于直接用水系数,特别是种植业和畜牧渔业,完全用水系数相对于省内其他行业较大,扩大其生产规模会对整个地区的水资源造成很大的消耗。

2.1.3 用水乘数 表 1 中用水乘数数据表明,各行业都存在着对水资源的中间使用。除种植业、畜牧渔业与电力业以外的所有行业,用水乘数均大于 2,最高的建筑业达到 25.86,制造业和服务业也相对较高,分别为 4.16 和 7.44。原因在于这类行业在生产过程当中,为了满足原材料的需求,需要其他行业的产品和服务作为中间投入,其中的绝大部分中间投入为种植业的初级产品,对种植业水资源的间接拉动影响大。种植业,畜牧渔业,电力业的用水乘数均小于 2,这是由于这些行业一方面直接用水量较大,另一方面作为其他行业主要的原材料生产行业,不需要太多其他行业的产品和服务作为中间投入,这就减小了直接用水量与完全用水量的差距,用水乘数较小,即对其他行业水资源的间接拉动影响较小。

### 2.2 甘肃省行业用水量以及虚拟水的净流量分析

2.2.1 完全用水量 从表 2 中看出,种植业是甘肃省的用水大户,完全用水量的 85.54%来自于直接用

水,间接用水占 14.46%。其次是制造业,完全用水量的 24.12%来自于直接用水,75.88%来自于间接用水。相比较于种植业和制造业而言,其他行业的完全用水量则小的多,完全用水量之和仅为甘肃省总量的 21.77%。

2.2.2 间接用水量 间接用水量与行业在产业链中的位置有关。处于产业链起始端的行业,以种植业以为例,主要以初级产品的生产为主,不需要太多其他行业的产品作为中间投入,对其他行业水资源的间接拉动影响较小。而随着产业链的推进,如制造业、服务业等行业,需要其他行业水资源的投入量相对于自身直接用水量的比例越来越大。

甘肃省间接用水中,制造业间接消耗量最大,为  $3.58 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,种植业、建筑业和服务业数量相当。但考虑到像建筑业以及服务业这样的行业,虽然完全用水量较小,其和占该省总量的不到 20%。但由于这些行业直接用水量也相对较小,从而表现出间接用水量相对较大的特点,会对上游行业特别是以初级产品为主要生产的行业水资源消耗拉动较大,因此会对整个经济系统水资源消耗产生较大的拉动力。完全在拉动力下的行业以及行业间的虚拟水净转移量(间

接拉动之和)可以通过表 2—3 的计算结果来量化。

2.2.3 行业间虚拟水的转移 表 3 中看出种植业和电力业是以虚拟水输出的形式进行转移,其中种植业虚拟水的净输出量较高。种植业将近 1/2 的完全用水量主要以粮食以及农副产品为载体,通过向其他行业提供原材料的方式进行虚拟水的输出。种植业虚拟水净输出量的 69.19%流向制造业,19.62%流向服务业,10.73%流向畜牧渔业。畜牧渔业、制造业、建筑业、服务业相对与种植业来说,处于产业链下游的位置,主要以中间产品和最终产品的生产为主,需要其他行业的大量投入,而自身产品大部分用于当地最终使用,对其他行业的投入相对较小。因此是以虚拟水输入的形式进行转移,净输入量分别为  $3.28 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $1.49 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,  $1.02 \times 10^9 \text{ m}^3$  和  $1.12 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。其中流向畜牧渔业、制造业和服务业的虚拟水当中,1/2 以上均来自于种植业。

根据表 3 中的计算结果,判断虚拟水的主要流向是从产业链的上游到下游,间接拉动的组成行业由单一化趋向于多样化,从种植业流向畜牧渔业、制造业与服务业,从制造业流向建筑业与服务业。采选业与电力业的虚拟水进出量相当。

表 2 甘肃省 2007 年各行业用水量及虚拟水转移

 $10^8 \text{ m}^3$ 

项目	完全用水量	间接用水量	直接用水量	当地完全需水量	行业间虚拟水净转移	省外虚拟水净转移
种植业	105.36	12.32	93.04	54.57	-38.49	43.51
畜牧渔业	8.74	4.15	4.59	7.87	3.28	-1.54
采选业	2.36	1.51	0.87	1.07	0.22	0.75
制造业	47.18	35.80	11.38	26.28	14.90	-2.00
电力业	3.47	0.80	2.67	1.34	-1.33	-0.76
建筑业	13.44	12.92	0.52	10.74	10.22	-1.01
服务业	14.30	12.38	1.92	13.12	11.20	-3.39
合计	194.87	79.88	114.99	114.99	0.00	37.22

表 3 甘肃省行业间虚拟水转移矩阵

 $10^8 \text{ m}^3$ 

项目	种植业	畜牧渔业	采选业	制造业	电力业	建筑业	服务业	合计
种植业	0.00	4.13	0.00	26.63	0.18	0.00	7.55	38.49
畜牧渔业	-4.13	0.00	0.07	-0.08	-0.03	0.60	0.29	-3.28
采选业	0.00	-0.07	0.00	-0.57	0.04	0.60	-0.22	-0.22
制造业	-26.63	0.08	0.57	0.00	-0.81	8.28	3.61	-14.90
电力业	-0.18	0.03	-0.04	0.81	0.00	0.22	0.49	1.33
建筑业	0.00	-0.60	-0.60	-8.28	-0.22	0.00	-0.52	-10.22
服务业	-7.55	-0.29	0.22	-3.61	-0.49	0.52	0.00	-11.20
合计	-38.49	3.28	0.22	14.90	-1.33	10.22	11.20	0.00

2.2.4 经济系统间虚拟水的转移量 甘肃省与省外区域间虚拟水的转移是以种植业的输出为主,甘肃省作为我国西部的农业大省,种植业与其他农业产品调

出总量为 23 3971 万元,小于制造业的产品调出量。但由于种植业产品为水密集型产品,单位产品的虚拟水含量远远高于其他行业单位产品的虚拟水含量,虚

拟水净输出量高达  $4.35 \times 10^9 \text{ m}^3$ , 占甘肃省行业完全用水量的 41.30%。其他行业如: 畜牧渔业、制造业、电力业、建筑业、服务业都以虚拟水的输入进行转移, 虚拟水的输入量分别为  $1.54 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $2.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $7.60 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,  $1.01 \times 10^8 \text{ m}^3$  与  $3.39 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。整体来看, 该省是以虚拟水输出的方式进行转移, 净输出量为  $3.72 \times 10^9 \text{ m}^3$ , 基本符合甘肃省现状。

### 3 结论

本研究基于投入产出技术, 比较分析了 2007 年甘肃省水资源消耗利用的状况, 将水资源管理分为供给管理、技术性节水、结构性节水和社会化管理 4 个阶段, 后 3 个阶段也可以统称为需求管理阶段<sup>[10]</sup>。其中直接用水系数反映了节水技术因素, 完全需要系数反映了产业关联(间接拉动力影响)因素, 最终需求代表了虚拟水战略的社会化管理因素。在此基础上, 并将构建节水型社会的相关政策考虑进去。

(1) 从水资源的利用效率和用量来看, 甘肃省种植业的用水的效率在全省行业中处于最低, 用水量最大。所以, 调整种植业中耗水量较大的作物生产规模已刻不容缓, 特别是在不动摇种植业基础地位及粮食安全问题的前提下, 对小麦和玉米等用水量较大的农作物的生产规模以及种植面积进行适当的压缩。与此同时, 改变传统农业粗放式的种植方式, 通过采用先进的农业节水灌溉技术, 发展高效节水型农业, 增加高效作物的种植比例, 从而提高水资源的利用率, 减少种植业用水对该省水资源的压力。

(2) 从拉动力方面分析, 尽管种植业用水量大, 畜牧渔业、制造业、建筑业、服务业的用水量相对较小, 但种植业用水量中将近 1/2 的用水是因其他行业对其拉动需求所产生的。其中畜牧渔业、制造业和服务业对种植业的间接拉动影响较大。因此在考虑到调整种植业生产规模及提高用水效率的前提下, 将行业间接拉动影响的因素考虑进去。减少消费端的物质消费, 可以有效地减少用水量较小的行业对用水量大的行业水资源的拉动影响, 从而有效地减轻社会水资源压力。

(3) 社会化管理阶段是水资源需求管理的较高层次, 充分认识到水资源的社会属性, 以水资源的社会属性为主线, 充分利用各种外部资源来缓解局部地区水资源的紧缺<sup>[11]</sup>。目的是增加区域外水密集型产品的输入与减少区域内水密集型产品的输出来缓解当地水资源短缺的问题。本研究在计算甘肃省虚拟

水贸易量中发现, 减少种植业等水密集型产品的输出, 能够很大程度上缓解省内水资源紧缺的压力。

(4) 构建节水型社会是干旱地区应对水资源短缺的根本出路。甘肃省水资源利用效率较低, 在生产和生活领域存在严重的结构型、生产型和消费型浪费, 节水潜力巨大。首先, 大力发展绿色经济, 实现生态与经济的协调发展, 人与自然和谐相处。其次, 实行严格的水资源管理制度, 围绕水资源的配置、节约及保护, 建立并实施水资源管理“三条红线”。即实行对水资源总量的控制, 遏制水资源浪费, 控制工业排污等条例。并坚持政府主导、市场调节、公共参与的原则来促进水资源的可持续利用。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 严婷婷, 贾邵风. 水资源投入产出模型综述[J]. 水利经济, 2009, 27(1): 8-13.
- [2] Kumiko K. Economic analysis of water resource in Japan: Using factor decomposition analysis based on input-output tables[J]. Environmental Economics and Policy Studies, 2005, 7(2): 109-129.
- [3] Okadera T, Watanabe M, Xu Kaiqin. Analysis of water and water pollutant discharge using a regional input-output table: An application to the city of Chongqing, upstream of the Three Gorges Dam in China[J]. Ecological Economics, 2006, 58(2): 221-237.
- [4] 赵旭, 杨志峰. 基于投入产出分析技术的中国虚拟水贸易及消费的研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(2): 286-294.
- [5] 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): 35-139.
- [6] 中国投入产出学会课题组. 国民经济各部门水资源消耗及用水系数的投入产出分析: 2002 年投入产出表系列分析报告之五[J]. 统计研究, 2007, 24(2): 20-25.
- [7] 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.
- [8] 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[J]. 中国沙漠, 2011, 31(3): 799-803.
- [9] Sanchez C, Duarte R. Analyzing pollution by way of vertical integrated coefficients with an application to the water sector in Arag[J]. Cambridge Journal of Economics, 2003, 27(3): 433-448.
- [10] Ohisson L. The turning of a screw: Social resource scarcity as a bottleneck in adaptation to water scarcity [J]. Stockholm Water Front, 2000, 30(1): 10-11.
- [11] 程国栋. 虚拟水中国水资源安全战略的新思路[J]. 中国科学院院刊, 2003(2): 260-265.