

基于水资源可持续利用的流域产业结构分析

张文国^{1~4}, 杨志峰^{1~4}, 伊锋^{1~4}, 王焯^{1~4}, 李其军⁵

(1. 北京师范大学环境科学研究所, 北京 100875; 2. 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875;

3. 北京师范大学水科学研究所, 北京 100875; 4. 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875; 5. 北京市水利科学研究所, 北京 100044)

摘 要: 本文以官厅水库流域为例, 从宏观经济学角度出发, 将流域水资源利用中存在的污染、浪费问题与产业结构的合理性结合起来进行研究。首次采用 Fuzzy 分析模型对流域产业结构进行分析, 据此按发展的适宜性对流域产业进行排序; 探讨了导致流域水资源利用问题的深层原因在于产业结构不合理。根据流域现状, 提出了产业结构的调整方案, 为流域可持续发展决策提供了依据。

关键词: 产业结构; 水资源; 可持续; 官厅水库; 流域

中图分类号: TV 213

文献标识码: A

官厅水库是首都北京的重要水源之一。但由于水库水体污染问题, 自 1997 年已停止向北京供水。造成水库污染的根本原因是什么? 解决方案是什么? 通过建设污水处理厂和严格执行 PPP 原则是通常的解决途径, 但无数事实证明, 这样的方法对流域整体而言只能治“标”而不能治“本”。

经济系统分析中^[1], 传统的方法是针对区域的, 即以行政区域为基础进行的, 结构分析、数据积累侧重于人为可控因素, 区域边界划分也具有主观性, 其结论常常以是否符合传统的经济规律为标准来衡量。而以流域为基础讨论产业结构, 分析经济系统变化, 则侧重流域产业结构变化的水资源驱动力研究, 探讨产业结构本身同水资源之间的内在联系^[2~6], 因此, 这一过程更客观地考虑水资源等自然影响因素, 遵从客观性, 其结论在满足经济规律的同时, 还要满足水资源约束, 以水资源作为流域经济社会发展的重要驱动力。在投入产出分析中, 有将水资源列入产业部门的投入产出模型^[7], 其实质是通过水资源参与国民经济生产的过程研究水资源同其它产业部门的关系, 但这类投入产出模型的研究基础仍然是区域的。针对流域产业结构特点, 传统

的经济系统分析方法^[8]在进行相似比较时难于取得满意的结果, 目前国内外尚没有成熟的方法对流域产业结构进行分析评判。本文将通过官厅水库流域的实例, 从水资源作为产业结构变化内在驱动力角度出发, 试图从流域产业结构与水资源利用的关系中寻找深层次的原因, 采用新的指标体系和评价模型对流域产业结构进行分析, 研究水库水质恶化同产业结构的内在联系, 提出流域产业结构调整方案, 探讨流域水资源可持续利用的新途径, 为流域可持续发展决策提供依据。

1 流域产业特点与水资源利用

1.1 农业产业与水资源利用

官厅水库流域内农业产业包括: 种植业、林业、畜牧业、及渔业, 其中以传统种植业为支柱产业。在产值结构中, 比例分配为农业: 林业: 牧业: 渔业 = 58.8: 5.9: 45.4: 1.0, 传统种植业及牧业占主导地位, 其中牧业产值比重过大, 对草场和植被构成潜在威胁。在种植结构中, 种植结构单一, 旱地作物以广种薄收的粗放式种植方式为主, 造成了土地资源的

收稿日期(Received date): 2003- 01- 13; 改回日期(Accepted): 2003- 03- 01。

基金项目(Foundation item): 国家重点科技攻关项目(96- 920- 40- 04), 水利部科技创新项目(SCX2000- 31), 北京市重大科技项目(9550610400)。[Funded by state key item of researching on science & technology(96- 920- 40- 04), innovation item of science and technology of MWR of China, Beijing Metropolis key item of science & technology(9550610400).]

作者简介(Biography): 张文国, (1963-), 男, 博士后。主要从事水文学水资源, 流域管理, 区域环境评价等研究, 发表论文 20 余篇。E-mail: Wenguo zg@sohu.com. Tel: 01066155047. [ZHANG Wen-guo(1963-), male, postdoctoral researcher, main researching interests on Hydrology and Water Resources, Water basin Management, Regional Environment Assessment etc. Some 20 articles published.]

浪费并在不同程度上加剧了山地、坡耕地的水土流失。

土地利用和水土流失: 流域内耕地面积占总面积 16 369 km² 的 24. 06%, 经济林面积 119. 12×10³ hm², 林地面积 220. 42×10³ hm², 牧草地面积 66. 9×10³ hm², 荒山荒坡面积 431. 2×10³ hm², 城镇等用地 156×10³ hm², 未利用土地面积 249. 3×10³ hm²。在全部耕地中, 水浇地 160. 13×10³ hm², 梯田 64. 5 10³ hm², 沟坝地 7. 54×10³ hm², 坡耕地 161. 7×10³ hm²。坡耕地中, 坡度< 5°的面积为 37. 4×10³ hm², 坡度为 5°~ 15°的面积为 83. 7×10³ hm², 坡度为 15°~ 25°的面积为 33. 82×10³ hm², 坡度> 25°的面积为 6. 69×10³ hm²。1982 年, 流域共有水土流失面积 10 602. 06 km², 经过 17a 综合治理, 到 1999 年累计治理水土流失面积 4 396. 25 km², 占总面积的 41. 47%; 未治理面积有 6 206. 18 km², 占流域土地总面积的 37. 9%。1999 年流域平均土壤侵蚀模数为 4 600 t/km²·a⁻¹, 年流失沙量 2 867×10⁴t。多年的水土流失造成河流下游河道淤积严重, 河床面积加宽, 严重影响汛期行洪, 同时

造成官厅水库严重淤积, 目前已淤积泥沙 6. 4×10⁸ m³, 使水库不能发挥其设计工程效益, 同时对北京市用水构成潜在威胁。

农业用水分析: 截止 1999 年, 流域共有水浇地 175. 6×10³ hm², 总用水量 7. 18×10⁸ m³, 平均用水 4 080 m³/hm²。农业种植业灌溉面积 160. 1×10³ hm², 林地灌溉面积 1. 48×10³ hm² 万亩, 果园灌溉面积 14. 0×10³ hm²。近年共发展节水灌溉面积 58. 8×10³ hm², 占总灌溉面积的 33. 5%。

由表 1 可知, 流域内 20 个万亩以上灌区平均用水达 5 865 m³/hm², 单位水量产出粮食 0. 96 kg/m³, 比全国平均水平略高, 而大大低于北京市的 2. 0 kg/m²(见图 1)。可见, 流域农业灌溉节水潜力巨大。而造成农业用水浪费的主要原因有两个: 一是 20 个灌溉面积万亩以上灌区全部为渠灌, 由于管理粗放, 致使灌区的渠系利用系数过低, 只有 0. 4~ 0. 5, 有的仅 0. 2, 使水资源利用效率降低; 二是大水漫灌造成单位面积用水量居高不下。流域内亩均用水量较我国北方平均水平高 50 m³ 左右, 可见节水的潜力是有的。

表 1 流域 20 个灌区地表水灌溉效率表

Table 1 Irrigation efficiency with surface water of 20 irrigation areas in studied basin

流域	灌区数(个)	引水量 (10 ⁴ m ³)	灌溉面积 (10 ³ hm ²)	粮食播种面积 (10 ³ hm ²)	粮食产量 (10 ⁴ t)	单位面积粮食产量 (kg/hm ²)	单位面积用水 (m ³ /亩 ¹⁾)	单位用水量 (kg/m ³)
洋河	15	26872	45. 1	66. 3	27. 2	4110	5541	0. 63
桑干河	5	19436	33. 7	35. 7	31. 7	8880	5755	1. 42
官厅流域	20	46308	78. 9	102. 1	59. 0	5779. 5	5865	0. 96

1) 1 亩= 0. 067 hm²

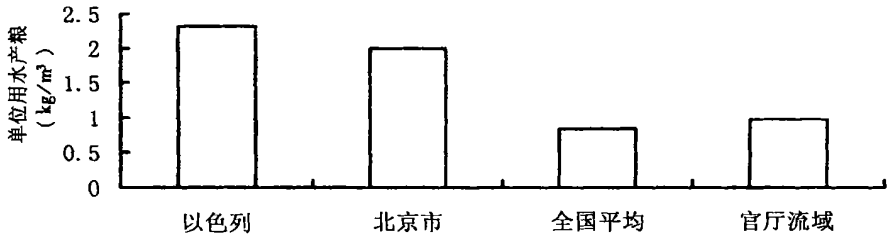


图 1 农业用水效率的比较

Fig. 1 Efficient comparison of agricultural water use

1. 2 流域工业产业与水资源利用

产业结构: 2000 年流域内调查工业企业 367 家, 其中重点行业 114 家, 重点行业中大中型企业 88 家。目前, 已形成以化工、机械、冶金、轻纺、建材、酿酒、医药、食品工业为主导的工业体系。产值

较大的 20 家企业其产值占流域工业总产值的 70%。工业产业结构以资源消耗型为主, 科技型企业、信息产业发展缓慢, 比重小, 成为“瓶颈”产业, 制约了流域产业的升级发展。

产值结构: 据 1995 年统计资料, 按行业划分乡

及以上工业产值结构, 采掘业: 制造业: 电力+ 煤气 + 水生产业= 1: 14. 5 1. 2, 其中超 10 亿的产业集中在制造业, 有烟草加工业、化学原料及化学品制造业、黑色金属冶炼及压延加工业。由此可看出流域支柱产业集中在资源、能源消耗型行业, 对流域整体环境形成巨大压力。

工业用水分析: 1999 年官厅水库流域重点调查 367 家企业年用水量 $7.83 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中新鲜用水量 $1.43 \times 10^8 \text{ m}^3$, 重复用水 $6.39 \times 10^8 \text{ m}^3$, 重复利用率 81. 67%。扣除电力行业用水, 年用水量为 $2.09 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中新鲜用水量为 $0.99 \times 10^8 \text{ m}^3$, 重复用水量为 $1.1 \times 10^8 \text{ m}^3$, 重复利用率为 52. 77%。由图 2 可知, 工业用水集中在洋河流域, 占用水总量的 82. 4%。

行业用水及用水大户: 行业用水量的大小排序为: 电力行业、冶金行业、化工行业、食品行业, 这些行业的新鲜水取用量排序基本与此排序一致。在对

用水量较大的 23 家企业调查后, 其取用新鲜水量为 $0.76 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占总新鲜水量的 52%。

工业污水排放量分析: 1999 年流域废水排放为 7 844. 8 万 t。按废水排放量(区域、行业)、等标污染负荷比(区域、行业)、首要污染物等标污染负荷比将流域工业废水情况统计如下(表 2)。

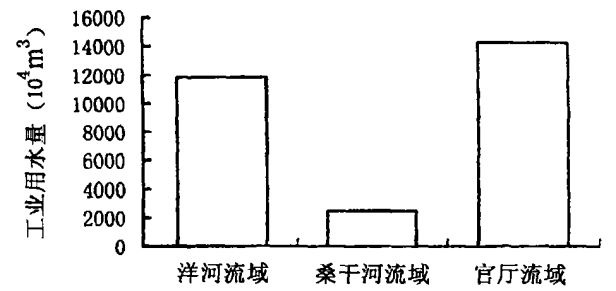


图 2 流域用水现状
Fig. 2 Present water use in the basin

表 2 流域工业废水排放状况

Table 2 Waste water discharge from industrial sector in the basin

排 序	区域废水排放量 (10^4)	区域等标污染 负荷比(%)	行业废水排放量 (10^4)	行业等标污染 负荷比(%)	首要污染物等标 污染负荷比(%)
1	宣化区(3400)	张家口市区(36.06)	化工(1749.2)	食品、烟草(28.52)	化学需氧量(69.17)
2	张家口市区(1686)	宣化区(26.64)	黑色金属(1184)	医药(24.89)	硫化物(20.15)
3	怀来县(550)	宣化县(10.62)	电力、水生产(1147.7)	造纸(18.51)	悬浮物(4.75)
4	宣化县(493)	涿鹿县(7.83)	造纸(978.1)	化工(16.11)	石油类(1.90)
5	涿鹿县(439.1)	蔚县(5.50)	食品、烟草(908.6)	采掘(5.57)	氰化物(1.86)
6	下花园区(374.4)	怀来县(5.19)	采掘(612.8)	石油、炼焦(1.81)	挥发酚(1.59)
7	蔚县(372)	怀安县(2.74)	石油、炼焦(390.3)	电力、水生产(1.78)	汞(0.08)
8	怀安县(248)	崇礼县(2.33)	机械(321)	黑色金属(1.53)	铅(0.05)
9	崇礼县(154.7)	万全县(1.54)	医药(257.7)	机械(0.98)	镉(0.03)
10	万全县(85.5)	下花园区(1.10)	非金属(120)	纺织(0.08)	六价铬(0.02)
11	阳原县(42)	阳原县(0.44)	水泥(63.3)	皮革(0.06)	砷(0.01)
12			纺织(29.2)	非金属(0.05)	
13			金属制品(22.6)	水泥(0.04)	
14			其他(20.4)	橡胶(0.02)	
15			皮革(12.9)	金属制品(0.00)	
16			橡胶(7.3)		
17			有色金属(7.3)		
18			印刷(6.4)		
19			塑料(6.0)		
合计	7844.8	99.99	7844.8	100	100

可以看出, 流域工业废水主要排放区域为: 宣化区、市区, 达 $5.086 \times 10^4 \text{ t}$ 。主要污染物是化学耗氧量为 $3.47 \times 10^4 \text{ t}$, 其次为悬浮物、硫化物等; 按行业划分为: 主要污染物排放行业依次是食品、医药、造纸、化工、采掘、石油加工、电力、冶金、机械等。

第三产业耗水及排污主要集中在宾馆、饭店等餐饮行业, 耗水及排污量比较稳定。这部分污水包含在生活污水中。流域生活污水排放量 1999 年为 $4.199.5 \times 10^4 \text{ t}$ 。

2 流域产业结构评价

产业结构合理化是一个相对概念,它是在国民经济效益最优的目标下,根据地理环境、资源条件、经济发展阶段、科学技术水平、人口规模等特点,通过对产业结构的调整,使之达到与上述条件相适应的各产业协调发展的状态^[1]。衡量产业结构是否合理,通常有以下几种方法^[8]:比重法,类比法,速度法,协调法。实践中,这些方法都存在局限性。为准确把握流域产业结构现状,综合分析流域产业结构与水资源利用的内在关系,这里尝试采用 Fuzzy 评价方法分析流域产业结构。

2.1 流域产业结构 Fuzzy 评价模型^[9]

模型: 设 n 个有待优选的目标,反映目标结构性质的指标有 m 个,构成目标的指标集 x_{ij}

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} = (x_{ij}) \quad (1)$$

首先对指标进行规格化处理。对已知的 m 项指标,若指标越大,该指标对产业结构优的隶属度(相对优属度) r_{ij} 越大,有

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\bigvee_i x_{ij} + \bigwedge_i x_{ij}} \quad (2)$$

指标越大,对产业结构优的隶属度越小,则

$$r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\bigvee_i x_{ij} + \bigwedge_i x_{ij}} \quad (3)$$

由此得到 n 个目标 m 项指标对产业结构优的相对隶属度矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} = (r_{ij}) \quad (4)$$

式中 x_{ij} 为第 i 个目标第 j 项指标的特征值; r_{ij} 为第 i 个目标第 j 项指标对产业结构优的相对隶属度; \bigwedge 、 \bigvee 分别为取大、取小运算符; $\bigvee_i x_{ij}$ 、 $\bigwedge_i x_{ij}$ 分别表示目标 $i = 1, 2, \dots, n$, 对指标 j 的指标取大、取小。

设第 i 个目标对产业结构优的相对隶属度为

u_i ; m 个指标的权重向量为 $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$, 满足归一化条件, 即。根据模糊集理论可将隶属度定义为权重, 则加权广义距离

$$D(r_i) = u_i^p \sqrt[p]{\sum_{j=1}^m w_j |r_{ij} - 1|}^p \quad (5)$$

完善地描述了目标 i 距产业结构优的距离。为求解 u_i 的最优值, 建立目标函数

$$\min \{ F(u_i) = u_i^2 \left[\sum_{j=1}^m (w_j |r_{ij} - 1|)^p \right]^{2/p} + (1 - u_i)^2 \left[\sum_{j=1}^m (w_j \times r_{ij})^p \right]^{2/p} \} \quad (6)$$

$$\text{对 } u_i \text{ 求偏导数并使之等于零 } \left(\frac{dF(u_i)}{du_i} = 0 \right),$$

解得

$$u_i = \frac{1}{1 + \left[\frac{\sum_{j=1}^m (w_j |r_{ij} - 1|)^p}{\sum_{j=1}^m (w_j^* r_{ij})^p} \right]^{2/p}} \quad (7)$$

式(7)即是可应用于若干目标对产业结构优评价的模糊优选理论模型。

根据最大隶属度原则, 可得到所有目标对产业结构优的相对隶属度的相对排序。相对隶属度值越大, 则该产业为流域相对适宜发展产业; 反之, 该产业在流域内应限制发展。

2.2 Fuzzy 模型评价结果

评价指标选择及指标确定: 根据污染负荷大小和产业分布特性, 将流域内重点产业列出, 共 11 个产业。并选取万元产值耗水量等 6 个指标对流域产业结构进行评价(见表 3)。

由 Fuzzy 评价结果可以看出, 按流域现有行业比较分析, 目前最适合发展的行业为机械、电子等, 而不适合发展的行业则为造纸、化工等。而造纸、化工、食品行业恰恰是工业废水排放量大、污染负荷高的行业, 是进一步调整结构、治理污染的重点。

综上所述, 按产业的流域发展适宜性强弱顺序, 将产业现状和长远发展排列如下:

现状(13个): 农业、第三产业、机械电子、采掘、电力、建材、冶金、皮革、其它、纺织、食品、化工、造纸。

Fuzzy 模型计算结果及评价: 应用 Fuzzy 模型进行计算, 得到结果如表 4 和图 3。

长远(5个): 第三产业、生态农业、机械电子、电力、化工。从长远发展看, 造纸、建材、冶金、纺织等行业不适宜在流域内发展, 而医药、化工、食品行业也应限制发展。

表 3 官厅水库流域产业结构评价指标

Table 3 Indicators for assessment of industrial structure in the reservoir basin

行业	万元产值耗 水量(m ³)	万元产值 COD 排放量(kg)	产业关联 度系数	水资源重复 利用率(%)	等标污染 负荷比	万元产值 能耗(t/万元)
电力	345	1.8	2.618	97	1.79	5.84
机械	42	2.8	2.1	65	0.98	1.19
冶金	144	3.1	2.407	92	1.52	13.95
化工	318	20.6	3.19	90	41.45	8.07
纺织	133	3.0	1.739	6	0.08	1.87
造纸	300	740.9	2.065	35	18.3	2.93
采掘	71	153.1	2.323	54	5.64	3.62
建材	123	0.6	1.76	64	0.05	5.87
食品	92	80.1	1.371	54	28.18	2.43
皮革	107	12.1	1.953	0	0.06	0.51
其它	261	0.01	1.569	68	0.04	1.15

表 4 流域各行业的优化结果

Table 4 Fuzzy optimal selection on different industrial sectors in the basin

行业	机械	采掘	电力	建材	冶金	皮革	其它	纺织	食品	化工	造纸
优属度	0.961	0.901	0.853	0.846	0.832	0.820	0.808	0.764	0.649	0.638	0.270

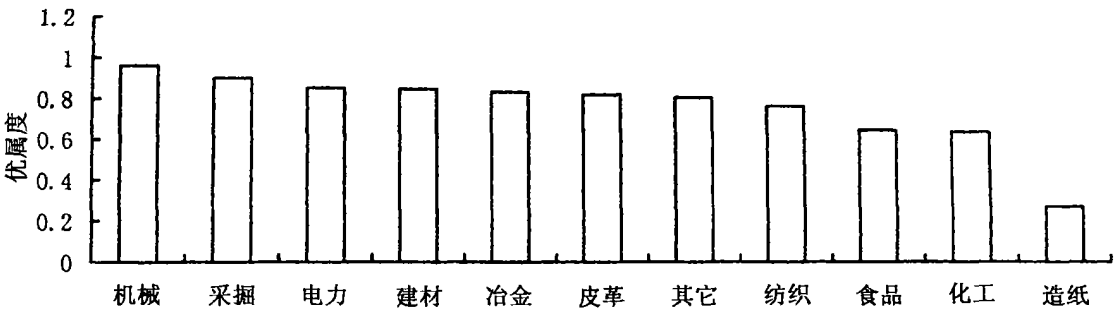


图 3 流域行业按优属度排序

Fig. 3 Industrial sectors ordered by relative membership degree

3 流域产业结构调整方案

由产业结构评价结果可知,流域水污染产生的根本原因是产业结构不合理。因此,结合流域特点及 Fuzzy 优化模型结果,并依据“十五”规划和流域水资源质与量的限制,提出基于水资源可持续利用的流域产业结构调整方案。

农业产业: 结合流域特点,大力发展特色农业,如种植经济林,发展畜牧业、蔬菜种植业及生态旅游等。鼓励发展农产品深加工业,增加农业产品的

科技含量,以科技为动力拉动农业产业发展。同时,要大力推广节水灌溉等新技术、新方法,使节水灌溉面积达到水浇地面积的 70% ~ 80%。因此,发展绿色、节水农业将是流域农业产业结构调整的主方向,这里绿色是指减少农药、化肥用量,减少污灌面积;节水是指节水灌溉,减少用水量。

工业产业: 按“十五”规划要求,根据流域产业结构和水资源利用现状,并兼顾流域水质污染治理的近期和远期目标,工业产业结构调整基本方案有以下 4 种(表 5)。

将上述 4 个基本方案组合后可得到 8 个可选方案(表 6)。表中第三行同时给出了以差、一般、好、

很好对这些方案的评价。实际上, 方案 I、II、III V 实施对产业结构不构成根本影响, 适合在近期内对流域水质进行改善使用, 从长远看, 则难以保持水质

改善的成果, 会在改善之后出现反弹。要从根本上解决官厅水库水质问题, 方案 VII则是最好的选择, 是推荐首选方案。

表 5 流域工业产业调整基本方案
Table 5 Basic schemes for adjustment on industrial sector in the basin

评价内容		方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
调整方向及内容		按国家“一控双达标”和关闭“十五小”要求, 对 2000 年不能达标排放的企业, 坚决实行“关、停、并、转”, 即将 80% 以上的污染企业关闭, 达到控制污染的目的。近期已初步确定 6 家企业(造纸、化工)实施关停 ¹⁾ 。	按现状条件(企业排污现状不变), 洋河沿线拟修建污水处理厂 6 座, 处理能力达 $50 \times 10^4 \text{ t/日}$, 完全可满足近期(2010 年)污水处理需求。(现状 $8210 \times 10^4 \text{ t/a}$, 2005 年 $9872 \times 10^4 \text{ t/a}$, 2010 年 $11673 \times 10^4 \text{ t/a}$)。6 个污水处理厂投资约需 15.3×10^8 元。	维持现有产业结构不变。依靠国家和地方投入对企业现有污水处理设备进行改造。在企业升级改造过程中, 针对污水处理给予优惠政策(如减免、免税等), 使企业在改制过程中维持正常污水处理能力。近期对 19 家企业污水处理设施改造预计投资 7.0×10^8 元。对 5 家化肥企业氮氮进行专项治理, 投资 1.56×10^8 元。	对现有产业结构进行升级改造。逐步淘汰高耗能、高耗水、高污染的产业、产品(如造纸、烟草等产业)。支持主导产业、主导产品的升级换代。大力扶持发展信息产业、生物产业等高科技产业。结构调整是一个循序渐进的过程, 需要国家和地方政策和资金支持, 同时充分运用市场机制, 实行优胜劣汰。对低污染、高产出行业(如信息、科技产业)应优先发展; 对主导产业、主导产品(如化工产业)优先进行升级; 对高污染、低产出、产品市场竞争力差的产业(如造纸行业), 应限制发展或关停。
环境效益评价		较短时间使污染得到控制, 水质好转。	2005 年前基本完成建设, 投入运行, 并控制污染。	年削减 COD8939t, 占流域污染负荷总量的 14.5%。削减氮氮 3002t, 占总量 83%。环境效益可观。	可获得长久的环境效益。从根本上解决流域和水库的水污染问题。
经济效益评价		经济损失较大, 估计关闭 ¹⁾ 的 6 家企业损失达 28726×10^4 元/年。20 家排污大户产值 74×10^8 元, 占工业产值 70%。	一次投资较大。按目前估算运营成本过高。每年运营费用约 2×10^8 元。能耗大, 反过来加大了能源消耗。	需国家和地方联合加快投资决策, 对企业和流域水环境是双赢的选择。	在转型期内, 企业要付出一定代价。长远看, 有利流域的可持续发展。
社会效益评价		职工安置困难, 影响社会稳定, 6 家企业涉及职工人数 4900 人。20 家大企业涉及职工 5 万人以上。	有较好的社会效益。	有较好的社会效益。	近期对社会效益不能期望过高, 远期会有好的社会效益。
可持续性评价		以舍弃上游发展为代价满足下游发展, 方案的可持续性差。	不能从根本上解决产业结构问题, 不利于流域整体的可持续发展。	不能解决能耗和资源消费结构, 不具备整体可持续性。	流域可持续发展的根本措施。
实施措施	工程措施	不需要工程措施。	需要工程措施才能实现。	需少量工程措施。	需要一定的工程措施。
	非工程措施	依据行政命令或法律法规。	需要配套地方性法规(排污费、水费等)。	需地方性政策支持。	需要区域宏观政策支持及制定中长期调整规划。
可行性评价		可进行部分操作, 如关闭“十五小”和治污无望企业。但对不达标企业全部实行关停在近期不现实。该方案可行性一般。	方案的可操作性强, 牵涉面小。资金到位后可在短期内实现。	短期内可控制污染加剧。但需加强执法监督力度。防止反弹。	方案可行。但需要过程。即在制定近期和远期区域发展计划时, 结合官厅水库水质改善目标, 完成具体实施方案, 并采取行动。

1) 河北省实施恢复官厅水库饮用水源功能工程规划(2000-12)。

表 6 流域工业产业调整可选方案

Table 6 Integrated schemes for adjustment on industrial sector in the basin

可选方案号	I	II	III	IV	V	VI	VIII	IX
方案组合	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 2+ 3	方案 2+ 4	方案 3+ 4	方案 2+ 3+ 4
评价	差	一般	一般	一般	好	好	好	很好

4 结论

通过讨论, 本文有如下结论:

1. 水资源是流域产业结构变化的重要内在资源驱动力和制约因素。这一结论改变了资源无价的传统认识。因此, 流域内产业结构调整的政策确定也必须将水资源作为制约因素优先考虑。

2. 传统的经济系统分析以区域为基础, 它对水资源的使用、分割是硬性的、人为的, 因而, 造成分析结论中对水资源等资源认识的片面。从流域角度出发, 探讨水资源同产业结构的关系, 改变了以区域为基础的分析模式, 对流域整体可持续发展有利。

3. 从水资源可持续利用角度出发, 采用全新的指标体系和模型对流域产业结构进行了评价分析, 得出目前流域产业结构为资源、能源消耗型的结论。并指出农业用水效率低下和工业产业结构不合理是流域水资源浪费及水污染产生的根本原因。

4. 结合官厅水库流域, 首次采用 Fuzzy 优选方法分析产业结构, 并将产业按流域发展的适宜性强弱进行了排序。

5. 根据流域资源、能源, 尤其是水资源现状及产业结构分析结果, 对流域产业结构近期及长远发展进行了分析, 并给出了农业和工业产业结构调整方案。并对流域产业结构调整提出建议方案。

参考文献(References):

[1] Gao Hong-shen. Introduction to Economic System Analysis. Beijing: China Auditing Publishing House. 1998, 101~ 126. [高洪深. 经济系统分析导论[M]. 北京: 中国审计出版社. 1998, 101~ 126.]

[2] Yang Zi-sheng. Review of study on soil erosion of sloping cultivated land and its sustainable use in the north east mountain region of Yun-

nan Province of the upper Yangtze River. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17(sup): 1~ 5. [杨子生. 长江上游滇东北山区坡耕地水土流失与可持续利用研究[J]. 山地学报, 1999, 17(增刊): 1~ 5.]

[3] Zhang Shi-rong, Liao Er-hua, Deng Liang-ji, etc. Study on the exploitation of agricultural water resources in Sichuan Province. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(4): 320~ 326. [张世熔, 廖尔华, 邓良基, 等. 四川农业水资源利用研究[J]. 山地学报, 2001, 19(4): 320~ 326.]

[4] Li Yi-chun, Chen Fa-hu. Water resources sustainable utilization countermeasures in Minqin Basin of Gansu Province. *Journal of Mountain Science*. 2001, 19(5): 465~ 469. [李忆春, 陈发虎. 民勤盆地水资源可持续利用对策[J]. 山地学报, 2001, 19(5): 465 ~ 469.]

[5] Zhang Wen-jing, Li Ming, Wu Zhi-gen. Features and Evaluation of Glaciations Landscape Resources in Heshui County, Sichuan Province. *Journal of Mountain Science*. 2002, 20(4): 461~ 465. [张文敬, 李明, 吴志根, 等. 四川省黑水县冰川水资源的特征与评价. 山地学报, 2002, 20(4): 461~ 465.]

[6] Yang Zi-sheng, Peng Ming-chun, Wang Yun-peng. The basic contents of soil erosion and sustainable use map of sloping cultivated land and its compiling method in the northeast mountain region of Yunnan Province. *Journal of Mountain Science*. 1999, 17(1): 93~ 96. [杨子生, 彭明春, 王云鹏. 滇东北山区坡耕地水土流失与可持续利用图的基本内容与编制方法[J]. 山地学报, 1999, 17(1): 93~ 96.]

[7] He Qi-xiang. Analysis on Input-output. Beijing: Science Publishing House. 1999, 12~ 55. [何其祥. 投入产出分析[M]. 北京: 科学出版社. 1999, 12~ 55.]

[8] Yuan Jia-xin. Analysis on Economic System. Beijing: Social Science Literature Publishing House. 1997, 189~ 196. [袁嘉新, 等. 经济系统分析[M]. 北京: 社会科学文献出版社. 1997, 189~ 196.]

[9] Chen Shou-yu. Engineering Fuzzy sets: Theory and Application. Beijing: Defense Industry Publishing House. 1998, 122~ 127. [陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社. 1998, 122~ 127.]

Industrial Structure and Sustainable Use of Water Resources in Reservoir Basin

ZHANG Wen-guo^{1~4}, YANG Zhifeng^{1~4}, YI Feng^{1~4}, WANG Xuan^{1~4}, and LI Qijun⁵

(1. *Institute of Environmental Sciences of Beijing Normal University, Beijing, 100875 China;*

2. *State Key Laboratory of Water Environment Simulation, Beijing, 100875 China;*

3. *Water Science Institute of Beijing Normal University, Beijing, 100875 China;*

4. *Key Laboratory of Water and Sediment Sciences of Education Ministry, Beijing, 100875 China;*

5. *Water Conservancy Institute of Beijing Municipality Beijing 100044 China)*

Abstract: In past decade, Water pollution has become a serious problem in most river basins in northern China where water is precious and less than 600m³ per capita. To solve the problem, more and more sewage plants are under construction or under programming. This is certainly an effective way, but to some extent negative. Therefore, positive measures are needed and should be complemented along with sewage plants. The relation between industrial structure and water resources in a reservoir basin is discussed in this paper and taken as a positive way of thinking. Considering Guanting Reservoir (located 80 km north-west of Beijing) basin as an example, from the macroeconomic point of view, the problems of river pollution and waste of water are studied together with the analysis on industrial structure of the basin. The Fuzzy Optimal Selection Model was introduced first time to deal with the problem of industrial structure analysis. With this model, a significant conclusion is made: the fundamental factor with respect to river pollution is the unreasonable industrial structure basin-wide. With the present situation of the studied basin in hand, a integrated management scheme is presented to adjust the industrial structure of the basin and some countermeasures on decision-making for authorities and local governments is also suggested.

Key words: industrial structure; water resources; sustainable development; Guanting Reservoir; reservoir basin