

# 天津市社会经济与水资源发展协同预警研究

孙 璇,刘玲基,居 娴

(河海大学商学院,江苏 南京 210098)

**摘要** :采用模糊综合评判法对天津市 1992 ~ 2007 年的社会经济与水资源发展的协同情况进行评价,预测 2008 ~ 2010 年的协同趋势,并对协同趋势做出预警。模糊综合评判法中涉及的权重问题采用离差最大化法确定。研究发现,天津市社会经济与水资源发展的协同度在 1999 年前总体呈现上升态势,之后协同度在总体上显示出下降趋势,2007 ~ 2010 年已经亮起预警危险信号,整个社会经济与水资源的协同发展很不理想,水资源短缺已经成为系统协调的重要障碍,而南水北调工程的新增水量在未来一段相当长的时期内可以缓解天津市缺水的压力。

**关键词** :离差最大化法;协同度;协同预警;天津市;社会经济;水资源

**中图分类号** :X821      **文献标识码** :A      **文章编号** :1004-693X(2009)06-0081-04

## Synergistic effect of social economy and water resources development in Tianjin

SUN Xuan, LIU Ling-ji, JU Xian

(Business School, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract** :The collaborative development of the social economy and water resources in Tianjin from 1992 to 2007 was assessed with fuzzy comprehensive evaluation, and collaboration trend prediction and early warnings were also made. The weight problem involved in the fuzzy comprehensive evaluation was determined with the maximizing deviation method. It was found that, before 1999, the synergy degree was overall upward, but after that, it showed a general downward trend. From 2007 to 2010, the collaborative development of the social economy and water resources was poor and flashed early warning danger signals. The shortage of water resources became a major obstacle to the collaboration system. The additional water from the South-to-North Water Diversion Project will relieve the water shortage and improve the synergy degree of Tianjin in the future.

**Key words** :maximizing deviation method; synergy degree; synergy early-warning; Tianjin; social economy; water resources

天津市是一个严重的资源型缺水的城市,人均水资源占有量为  $153 \text{ m}^3/\text{a}$ ,是全国人均水资源占有量的 6.9%,人均淡水占有量处于国内最低水平,居全国最后 1 位。“引滦入津”工程虽然在一定程度上缓解了水资源紧缺矛盾,但仍无法改变水资源持续匮乏的实际问题。另一方面,伴随着社会经济的快速发展,工业废水和生活污水大量排放,对河流湖泊污染越来越严重,境内的河流水体均为 V 类及劣 V 类水。水资源短缺和水污染已经成为制约天津发展

的重要因素<sup>[1-2]</sup>。

近几十年来,面对经济生产、社会的迅速发展和人口的剧烈增加、水资源供需紧张和生态环境的急剧恶化,人们逐渐认识到,衡量水资源是否可持续发展,不能仅仅考虑经济效益,而应综合考虑社会、经济和生态环境效益的平衡,其核心内容是水资源系统的社会效益、经济效益与生态效益之间的相互“协调”,以及人类与其他物种之间、当代人不同人群之间和当代人与后代人之间在区域水资源合理配置方

基金项目:江苏省社会科学基金(07EYC059)

作者简介:孙璇(1968—),女,江苏南京人,副教授,主要从事技术经济分析与教学工作。E-mail:sunxuan01@yahoo.com.cn

面的“公平”。实践证明,社会经济的发展和水资源的可持续利用这两者在发展过程中必须协同,即社会经济和水资源的发展运行应该始终围绕两者的均衡点进行。否则,若系统的运行长期偏离这一均衡点,则其运行或不可持续,或是无效率的。而要使这一高度复杂的系统,长期围绕着均衡点运行,必须建立一套相应的预警机制,并建立预控方案,从而为保障社会经济与水资源的协同发展提供技术保障<sup>[3]</sup>。

## 1 协同、协同预警与协同度的计算

协同学是一门跨领域研究的新兴学科,1973年由德国科学家海尔曼·哈肯(Hermann Haken)创立。它主要研究各种完全不同系统的结构自发形成的自组织问题。由于不同系统之间存在着自组织和组织的差异,因此系统中的组织与自组织及其相互作用的综合问题也是协同学的重要研究。简言之,协同学是寻求各种不同系统结构形成(自组织与组织及其综合)所遵循的共同的一般规律<sup>[4]</sup>。

本文所指的协同是指社会经济与水资源发展间的相互依赖、相互促进的关系,协同度则是对这种相互依赖、相互促进关系程度的评价,协同度的计算可以通过计算各指标加权平均值的方法得到。

协同预警是以警报为导向、以矫正系统偏差为手段、以免疫和安全性为目的的防错、纠错机制,其本质是内部的自组织能力与预控能力。社会经济与水资源发展的协同预警是通过对社会经济及水资源发展演化过程中有可能引起系统变化的因素进行识别、监控、预测、评价,借助预防控制策略及时矫正系统发展过程出现的偏差<sup>[5]</sup>。

对于社会经济领域内的某一对象进行经济数量评价的方法多种多样,根据各种方法的本质特征,大致可分为3种,即标杆分析法、层次分析法和模糊数学综合评判法。本文中采用的模糊综合评判法利用模糊变换原理对各指标加以合成,从而进行综合评判,通过离差最大化来确定各指标的权重。

### 1.1 协同度指标体系

计算协同度需要建立一个指标体系。基于科学性、实用性、系统优化、通用可比等原则,同时考虑数据可得性,研究中选择了万元GDP耗水量,人均供水量,单位工业增加值污水排放量,人均生活用水量,就业率,污水处理率,供需比7个指标构建了一个指标体系。

### 1.2 离差最大化法基本原理

设多指标决策问题的方案集为  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , 指标集为  $G = \{G_1, G_2, \dots, G_m\}$ , 方案  $A_i$  对指标  $G_j$  的指标值记为  $s_{ij} = (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots,$

$m)$  矩阵  $S = (s_{ij})_{n \times m}$  表示方案集  $A$  对指标集  $G$  的“决策矩阵”。

通常,指标有“效益型”指标、“成本型”指标、“固定型”指标和“区间型”指标之区别。效益型指标是指属性值愈大愈好的指标,成本型指标是指属性值愈小愈好的指标,固定型指标是指属性值既不能太大又不能太小,而以稳定在某个固定值为最佳的一类指标,区间型指标是指属性值以落在某个固定区间内为最佳的一类指标。

为了消除量纲和量纲单位不同所带来的不可比性,决策之前首先应将评价指标无量纲化处理,假设  $r_{ij}$  是无量纲化处理得到的结果。

对于效益型指标,令

$$r_{ij} = \frac{s_{ij} - s_j^{\min}}{s_j^{\max} - s_j^{\min}} \quad (1)$$

式中  $s_{ij}$  表示第  $j$  个指标某年份值,  $s_j^{\max}$ ,  $s_j^{\min}$  分别为指标  $j$  的最大值和最小值。

对于成本型指标,令

$$r_{ij} = \frac{s_j^{\max} - s_{ij}}{s_j^{\max} - s_j^{\min}} \quad (2)$$

对于固定型指标,有

$$r_{ij} = 1 - \frac{|s_{ij} - s_j^*|}{\max |s_j - s_j^*|} \quad (3)$$

式中  $s_j^*$  代表评价对象第  $j$  个指标的最优稳定值。

对于指标值处在一定范围内为优的变量定义为区间型指标(指标值落在某个区间为最好)。对于区间型指标,令

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{a - s_{ij}}{\max\{(a - s_j^{\min})(s_j^{\max} - b)\}} & s_{ij} < a \\ 1 & a < s_{ij} < b \\ 1 - \frac{s_{ij} - b}{\max\{(a - s_j^{\min})(s_j^{\max} - b)\}} & s_{ij} > b \end{cases} \quad (4)$$

式中  $[a, b]$  为  $j$  指标的适度区间<sup>[6]</sup>。

### 1.3 离差最大化法的具体步骤

根据离差最大化法的基本原理,多指标决策与排序方法和步骤可以归纳为<sup>[7]</sup>:

①根据评价指标类型构造规范化决策矩阵  $r = (r_{ij})_{n \times m}$ ;

②根据离差最大化方法计算最优加权向量  $\omega^*$ , 同时计算各决策方案的多指标综合评价决策矩阵  $D_i = (\omega^* \chi_i = 1, 2, \dots, n)$ ;

③根据各决策方案多指标综合评价值的大小,对多指标决策与排序问题做出科学的评价比较和排序分析。

具体为:设评价指标加权向量为  $\omega = (\omega_1, \omega_2,$

... , $\omega_m$ )<sup>T</sup>,且满足:  $\sum_{j=1}^m \omega_j^2 = 1$ ,在加权向量  $\omega$  的作用下,构造加权规范化决策矩阵:

$$D = \begin{bmatrix} \omega_1 r_{11} & \dots & \omega_m r_{1m} \\ \omega_1 r_{n1} & \dots & \omega_m r_{nm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: $\omega_j r_{ij}$ 即为第  $j$  个指标第  $i$  个指标值的综合指数。再设  $V_{ij}(\omega)$  表示第  $j$  个指标的第  $i$  个比较对象与其他比较对象之间的离差之和:

$$V_{ij}(\omega) = \sum_{k=1}^n |\omega_k r_{ikj} - \omega_j r_{ikj}| \quad (6)$$

$V_j(\omega)$  表示第  $j$  个指标的第  $i$  个比较对象的总离差,即第  $i$  个指标式对式(6)再求和:

$$V_j(\omega) = \sum_{i=1}^n V_{ij}(\omega) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |\omega_k r_{ikj} - \omega_j r_{ikj}| \quad (7)$$

根据离差最大化的思想,评价指标的权数应该使所有指标中各比较对象间的总离差最大,即使  $\sum V_j(\omega)$  最大。

因此,可以构造如下目标规划:

$$\begin{aligned} \max F(\omega) &= \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}| \omega_j \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{j=1}^m \omega_j^2 = 1 \end{aligned} \quad (8)$$

解此最优化问题得:

$$\omega_j = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}| \right]^2}}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

对其进行归一化处理得:

$$\omega_j^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

于是权重向量: $\omega = (\omega_1^*, \omega_2^*, \dots, \omega_m^*)^T$

#### 1.4 经济社会与水资源发展协同度的计算

若  $C$  表示城市经济社会与水资源发展协同度,则

$$C = r\omega$$

其中: $r = (r_{ij})_{n \times m}$ ;  $\omega = (\omega_1^*, \omega_2^*, \dots, \omega_m^*)^T$

## 2 天津市社会经济与水资源发展协同度实证结果分析及预警信号的输出

### 2.1 协同度实证结果分析

计算数据根据文献[8-13]相关数据整理,而2005~2010年的数据则是根据前面13年的数据每5年作1次移动平滑而得到,指标计算所需相关数据见表1。

表1 社会经济与水资源协同度计算指标数据

年份	万元GDP耗水量/ m <sup>3</sup>	人均供水 m <sup>3</sup>	工业增加值 污水排 放量/ (m <sup>3</sup> ·万元 <sup>-1</sup> )	人均 生活 用水量/ (m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	就 业 率/%	污 水 处 理 率/%	供 需 比
1992	154.11072	108.3451	34.6	37.78	97.3	12.5	0.552
1993	117.04719	106.3596	22.3	38.22	98.1	29.4	0.641
1994	109.05821	107.7074	19.0	38.70	98.0	37.0	0.744
1995	91.18968	113.9170	10.7	46.70	98.0	58.0	0.864
1996	83.68893	121.0902	10.8	46.80	97.7	46.8	1.003
1997	75.41496	120.7528	10.1	49.50	97.7	50.1	1.164
1998	65.47185	115.5420	8.8	52.80	95.8	49.2	1.351
1999	57.06973	108.7070	7.8	53.70	98.5	53.3	1.568
2000	43.89610	89.6445	7.6	49.80	98.6	58.8	1.820
2001	42.17850	93.0387	8.0	53.50	98.5	61.2	2.113
2002	37.44008	90.5519	7.0	48.50	98.3	43.2	2.453
2003	29.71262	85.0536	5.8	47.80	98.5	43.9	2.847
2004	24.78202	84.3701	4.6	45.30	98.6	53.7	3.305
2005	18.45403	65.4228	4.9	45.10	96.3	58.0	3.836
2006	30.51345	82.3905	6.1	48.04	98.0	52.0	4.43
2007	28.18044	80.5468	5.7	46.95	97.9	50.2	5.169
2008	26.32851	78.8053	5.4	46.64	97.9	51.6	6.000
2009	25.65169	77.6642	5.3	46.41	97.8	53.1	6.964
2010	25.82563	76.4490	5.5	46.63	97.6	52.9	8.084

根据所整理的数据及最大离差法中权重的计算步骤,可以计算出各指标的权重见表2所示。

表2 天津社会经济与水资源协同指标权重

指标	万元GDP耗水量	人均供水	单位工业增加值污水排放量	人均生活用水量	就业率	污水处理率	供需比
权重	0.109	0.166	0.166	0.151	0.132	0.116	0.160

将各指标权重乘以各年份的指标值并相加,得到各年份的指标加权值见表3。

表3 天津社会经济与水资源协同指标数据加权值

年份	加权值	年份	加权值	年份	加权值	年份	加权值
1992	0.348	1997	0.756	2002	0.687	2007	0.610
1993	0.480	1998	0.670	2003	0.684	2008	0.588
1994	0.519	1999	0.840	2004	0.712	2009	0.561
1995	0.721	2000	0.760	2005	0.522	2010	0.522
1996	0.713	2001	0.793	2006	0.645		

根据表3得到天津社会经济与水资源协同度演化趋势,见图1所示。

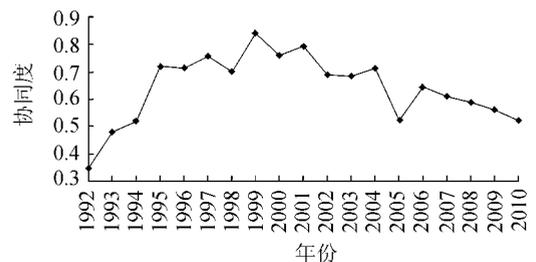


图1 天津社会经济与水资源协同度趋势

图1显示,根据统计数据计算而得的天津市社会经济与水资源发展的协同度在1999年以前虽然年份之间存在一定程度的波动,但总体上呈现一种

上升态势;而此后,协同度在总体上显示出下降趋势,说明连续数年的干旱年使得天津市水资源的短缺与社会、经济快速发展之间的矛盾更加突出。

## 2.2 预警信号的输出

警限是协同预警系统的一个非常重要的概念,警限的划分也有多种。对比判断法是通过纵横比较,将警限的确定和警度的划分转化为相应隶属度的确定和划分,具有一定的现实可行性。专家确定法则是集聚各个领域专家的集体智慧和经验加以确定。因此,在对天津市社会经济与水资源发展协同预警研究中,采用对比判断法,同时综合考虑专家的建议,将警限确定为良好、安全、一般、危险、危机5个区间,并分别为分别对应 $(0.8, 1]$  $(0.7, 0.8]$  $(0.6, 0.7]$  $(0.5, 0.6]$  $(0, 0.5]$

预警信号的发出可采取“亮牌”方式,当所测得的协同度对应状态为“良好”时,则“亮”出“绿牌”;当所测得的协同度对应状态为“安全”时,则“亮”出“黄绿牌”;当所测得的协同度对应状态为“一般”时,则“亮”出“黄牌”;当所测得的协同度对应状态为“危险”时,则“亮”出“红牌”;当所测得的协同度对应状态为“危机”时,则“亮”出“双红牌”。“亮牌”的目的在于警示管理者协同度所处的状态以便针对当地应采取对策措施。

假设在横比或纵比中预警指标  $F_i$  的最优值  $g_i$ , 最劣值  $b_i$ , 则隶属度为:

当  $g_i \geq b_i$  时

$$R(F_i) = \begin{cases} 1 & F_i \geq g_i \\ \frac{F_i - b_i}{g_i - b_i} & b_i < F_i < g_i \\ 0 & F_i \leq b_i \end{cases}$$

当  $g_i < b_i$  时

$$R(F_i) = \begin{cases} 1 & F_i \leq g_i \\ \frac{F_i - b_i}{g_i - b_i} & b_i < F_i < g_i \\ 0 & F_i \geq b_i \end{cases}$$

由此  $R(F_i)$  的具体计算可得协同度各数值,并输出预警信号图如图2所示。

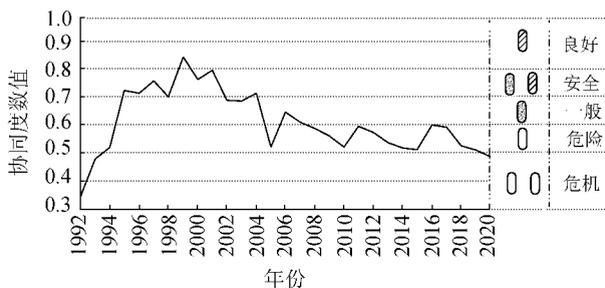


图2 天津社会经济与水资源协同预警信号输出

由图2可以看出,仅在1999年天津市协同度数值达到0.8以上,预警信号为“绿牌”,社会经济与水资源发展协同度较高,系统和谐,系统内各指标因素值接近或好于期望值。1995~1997年、2000、2001年以及2004年这3年的协同度落在安全区间,预警信号亮“黄绿牌”,可以看到进入21世纪后天津市社会经济与水资源的协同度有所下降。从2002到2007年间,除了2004年有所好转外,天津市社会经济与水资源协同度已经由“安全”下降为“一般”,预警信号亮“黄牌”,社会经济与水资源系统内已经趋向不协同,可见伴随经济快速增长,经济与水资源之间矛盾加剧。2008~2010年,预警信号已经亮起“红牌”,整个社会经济与水资源的协同度处于危险情况下,从整个趋势来看,从1999年起,天津市的经济与水资源协同度总体呈下降趋势,也就是说,尽管社会经济发展越来越快,但社会、经济、水资源这个系统却越来越不协调,持续数年的干旱少雨使得水资源短缺已经成为系统协调的重要障碍,为此天津市从2000年开始,不得不4次从黄河引水解决缺水问题。

南水北调这项巨大工程的实施,将能极大地改善天津市的用水情况。笔者对南水北调工程供水后天津市的经济与水资源协同度进行粗略预测,并据此绘制了1990至2020年的预警信号图(图2),随着南水北调工程来水量的增加,天津市社会经济与水资源协同度会暂时得到改善,此后随着社会经济的发展其协同度逐年缓慢下滑。总之,天津市社会经济与水资源发展协同度的提高,或是需要更多外来水量的支撑,或依靠内部节水技术的提高,提高水资源利用率,这是根本所在。

## 3 结语

城市社会、经济、水资源和生态环境之间存在相互作用,实践发展显示,由于水资源条件的制约,水资源承载能力与社会经济发展和生态环境保护之间的矛盾日趋尖锐,阻碍了当地社会经济的发展,影响了社会整体和谐状况,因此要关注水资源与社会、经济、生活与环境之间的相互协调发展,加强水利工程建设,保证缺水地区水资源的持续供应,保证经济生产与居民生活。天津市缺水严重,作为南水北调工程的一个受水城市,南水北调工程通水,将可以缓解缺水情况,改善社会经济与水资源发展的和谐状况,给天津市带来了社会、经济、生态多方面效益,然而这些效果的显现,依赖于高效完善的组织机构,周密合理的调水计划,以及公平合理的水价形成机制,应对这些方面开展详细而深入的研究。值得注意的是,尽管南水北调工程的新增水量在(下转第89页)

通过宏观政策加以协调。东江水资源管理体制将有更多的创新机遇。

## 4.2 东江水资源环境管理研究价值

探索东江问题有助于深入完善现有水资源环境管理体制与制度创新,其学术意义为后续研究指明了方向。东江问题的学术价值主要表现在:

a. 研究高强度经济开发地区水资源开发与利用的管理特征。东江流域处在我国改革开放的前沿地带,流域经济发展迅速。东江流域下游的珠三角作为一个高经济密度区、高强度开发区,研究其水资源开发利用、污染防治和生态保护特征及其管理对策,是制定我国经济发达区域的流域水资源综合规划、水环境保护规划以及产业结构政策的基础,对研究和解决我国其他高强度经济开发地区水资源环境管理有辐射作用。

b. 探索跨界、跨流域、“一国两制”水资源管理。水资源作为一种共有资源,受到公共物品外部性的影响,在我国现有体制下容易造成水资源浪费和水环境污染,实施水资源公共物品管理有助于将这种外部性内部化,从而达到保护和合理开发利用水资源相统一的目的。

东江问题区别于我国其他跨界水资源环境管理问题的一个主要特点,在于其所涉及的利益相关方不似松花江水污染事件中呈现的中俄外交关系,也区别于太湖流域 COD 排放交易设计的江苏、上海这

样的同一行政体制内部行政区的跨界关系,它综合了省(市)级行政区交界和内地与香港的不同行政体制下的复杂利益群体。国际上关于跨界水资源保护管理的经验表明,实行流域综合管理是一种有效的水资源管理模式,在流域国家友好合作的基础上有利于流域上下游地区的协调。在探讨东江流域实行流域统一管理模式下在内地现行以政府行政为主导的条件下具备管理优势,但需要吸收包括香港特别行政区在内的全流域利益相关方的共同参与,有必要探讨行政与市场政策的交叉运用,在“一国两制”方针下探索跨界跨流域水资源利用与保护具有更多的制度创新机遇。

## 参考文献:

- [1] 王好芳,郭乐,龚实.东江流域水资源承载力评价及可持续利用对策[J].节水灌溉,2007(8):52-57.
- [2] 广东省水利厅.广东省水资源公报(2006年)[R].广州:广东省水利厅,2006.
- [3] 张荣峰,胡立平.东江源区水资源问题与防治对策探讨[J].水资源保护,2004(5):49-51.
- [4] 车秀珍.河源市生态环境建设的思路与对策探讨[J].热带地理,2004,24(2):182-186.
- [5] 张立.东江流域上下游经济协调发展研究[J].人民珠江,2004(4):5-7.
- [6] 毛术文.《水污染防治法(修订草案)》评析及完善建议[J].法制与社会,2007(12):77-78.

(收稿日期:2008-06-11 编辑:高渭文)

(上接第84页)未来一段相当长的时期内可以缓解缺水的压力,但对于缺水这样一个长期的、全局的、大范围的问题,需要高速发展的经济为其提供另一缓解途径,如减少污水排放量,提高污水处理率,并从节水入手,引导大众爱水、节水<sup>[14]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 曹喆,张震,王斌.天津市水环境问题及成因分析[J].水资源保护,2007,23(S1):14-16.
- [2] 国延恒,高晓利.天津市经济增长与环境污染的关系[J].水资源保护,2006,22(S2):89-94.
- [3] 周姣,史安娜.南水北调东、中线受水区水资源、经济、生态和谐发展模型[J].水利经济,2007(5):9-11.
- [4] 顾培亮.复杂适应系统协同理论、方法和应用研究[D].天津:天津大学,2003.
- [5] 李忱,王春和.可持续发展的协同机制研究[J].中国软科学,2004(3):155-159.
- [6] 陈自力,李尊卫.离差最大化法在商业银行内部控制评价中的应用[J].重庆大学学报:自然科学版,2005,28(10):154-157.

- [7] 任全,李为民.最小偏差的指标赋权方法研究与应用[J].系统工程,2003,21(2):118-121.
- [8] 水利部,国家发展计划委员会.南水北调工程总体规划(附件1):南水北调工程节水规划要点[R].北京:水利部,国家发展计划委员会,2002.
- [9] 水利部,国家发展计划委员会.南水北调工程总体规划(附件4):南水北调工程城市水资源规划[R].北京:水利部,国家发展计划委员会,2002.
- [10] 水利部,国家发展计划委员会.南水北调工程总体规划(附件5):海河流域水资源规划[R].北京:水利部,国家发展计划委员会,2002.
- [11] 海河水利委员会.海河流域水资源利用情况调查报告[R].天津:海河水利委员会,2000.
- [12] 国家统计局.中国统计年鉴2005年[M].北京:中国统计出版社,2006.
- [13] 《中国水利年鉴》编辑委员会.中国水利年鉴(1998-1999、2002-2005)[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [14] 刘昌明,陈志恺.中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[C]//中国可持续发展水资源战略研究报告集(第2卷).北京:水利电力出版社,2001.

(收稿日期:2008-10-21 编辑:高渭文)