

# 唐山市沙流河镇水资源供需平衡优化分析

张领先, 傅泽田, 王德成, 刘雪, 穆维松, 张小栓

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

**摘要:** 运用系统论和线性目标规划法, 结合唐山市沙流河镇实证研究, 构建小城镇水资源供需平衡优化数学模型, 剖析该镇水资源供需矛盾, 提出水资源供需平衡优化方案。结果显示, 沙流河镇水资源补给总量为  $1490.55 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ , 若对水资源利用量不加约束, 2001、2005 和 2010 年沙流河镇用水总量分别达到  $2352.73 \text{ 万 m}^3$ 、 $2429.73 \text{ 万 m}^3$  和  $2491.72 \text{ 万 m}^3$ ; 水资源超采量分别达到  $862.18 \text{ 万 m}^3$ 、 $939.18 \text{ 万 m}^3$  和  $1001.17 \text{ 万 m}^3$ ; 其中农业用水量最大, 占 90% 以上。鉴于农业用水比重较大、利用效率低, 提出沙流河镇实施推广节水灌溉技术和积极退耕还林等节水措施。经过逐年逼近平衡的办法, 到 2010 年沙流河镇水资源量可以节余  $63.32 \text{ 万 m}^3$ , 基本实现全镇水资源供需平衡。

**关键词:** 水资源供需平衡; 目标规划; 节水灌溉; 小城镇

**中图分类号:** TV 211.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2005)04-0038-05

张领先, 傅泽田, 王德成, 等. 唐山市沙流河镇水资源供需平衡优化分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 38-42

Zhang Lingxian, Fu Zetian, Wang Decheng, et al. Optimization of supply and demand balance of water resources at Shaliuhe Town of Tangshan city [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4): 38-42 (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

在小城镇生态诸要素中, 尤其水资源是系统基础自然资源, 是生态环境的控制性因素之一。随着经济建设全方位、大规模快速发展, 我国北方地区工农业和城镇居民生活缺水状况日益加剧。随着国家“小城镇, 大战略”的实施, 小城镇社会经济快速发展给水资源供应带来巨大的压力, 如何解决小城镇水资源供需平衡具有十分重要的意义。本文选取了我国水资源供需矛盾比较突出的华北地区唐山市沙流河镇为研究对象, 从小城镇生态系统制约因素—水资源生态要素方面<sup>[1]</sup>, 分析小城镇水资源供需矛盾; 基于生态系统平衡的原理, 运用经济平衡和线性目标规划法, 寻求小城镇水资源供需优化方案, 实现生态系统可持续发展。

## 1 沙流河镇概况

沙流河镇隶属河北省唐山市丰润区, 地处京津唐经济发展带, 东经  $117^{\circ}54'30'' \sim 118^{\circ}00'51''$ , 北纬  $39^{\circ}53'30'' \sim 39^{\circ}55'30''$ , 土地总面积为  $57 \text{ km}^2$ 。沙流河镇位于燕山南麓, 地处燕山山前冲积平原, 为还乡河、陡河冲积扇的顶部, 地势总体比较平坦, 由东北向西南倾斜, 海拔在  $10 \sim 40 \text{ m}$  间, 土壤土质为轻壤质褐土或砂壤质土。沙流河镇位于还乡河上游, 境内有 3 条支流从东北向西南延伸, 中间沙流河河道相对较深、较宽。由于降雨量在一年

内分布极不平均, 74% 的降雨量集中在 6~8 月份, 境内河流均为季节性河流, 长时间干涸。浅层地下水埋深  $5 \sim 15 \text{ m}$ , 以降水垂直入渗补给为主, 并接受山前侧向径流补给。沙流河镇属于东北季风暖温带半湿润气候, 年平均气温  $10.9^{\circ}\text{C}$ , 极端最高、最低气温分别为  $39.8^{\circ}\text{C}$  和  $-25.6^{\circ}\text{C}$ , 昼夜温差大, 无霜期 183 d, 平均日照  $2696 \text{ h} \cdot \text{a}^{-1}$ , 年平均降水量  $537 \text{ mm}$ <sup>[2]</sup>。

2001 年沙流河镇总人口为 33905 人, 镇内流动人口为 5970 人; 总就业劳动力为 22631 人, 其中第一、二、三产业就业劳动力的比例为 15.6%。2001 年全镇国民生产总值为 33575 万元, 其中第一、二、三产业增加值占国民生产总值的比例分别为 35.8%、43.2%、21.0%; 农民人均纯收入为 3683 元, 镇区居民人均纯收入 4588 元。沙流河镇经济发展仍以农业为主, 着力发展高效生态农业; 近年来, 第二产业发展迅速, 二产增加值在全镇国民生产总值中的比例占据重要地位, 二产主要以建材、家居装饰、塑料化工业为支柱; 第三产业基础相对较弱, 以传统的商业和服务业为主<sup>[2]</sup>。

## 2 水资源供需现状分析

### 2.1 水资源需求

#### 1) 生活用水

生活用水包括城镇生活用水和农村生活用水。1997、1999 年全国城镇平均人均生活用水量分别为  $0.22 \text{ m}^3/\text{d}$  和  $0.227 \text{ m}^3/\text{d}$ , 河北省 1997 年为  $0.216 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 1997、1999 年农村生活用水全国平均人均用水量为  $0.089 \text{ m}^3/\text{d}$ , 河北省 1997 年为  $0.055 \text{ m}^3/\text{d}$ 。1980~1999 年, 全国城镇生活用水定额从  $0.117 \text{ m}^3/\text{d}$  增加到  $0.227 \text{ m}^3/\text{d}$ , 年均增长率为 4.95%; 农村生活用水定额从  $0.071 \text{ m}^3/\text{d}$  增加到  $0.089 \text{ m}^3/\text{d}$ , 年均增长率为

收稿日期: 2004-06-08 修订日期: 2005-03-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (70133001)

作者简介: 张领先 (1970-), 男, 河南固始人, 博士生, 主要从事农业系统与知识工程研究。北京市海淀区清华东路 17 号 中国农业大学 209# , 100083, E-mail: zlx131@163.com

通讯作者: 傅泽田 (1956-), 男, 河北承德人, 教授, 博士生导师, 副校长, 博士, 主要从事农业工程研究。北京 中国农业大学工学院, 100083, E-mail: fzt@cau.edu.cn

1.33%;二者合计,全国生活用水定额年均增长率为3.55%<sup>[4]</sup>。结合居民的生活水平和用水情况,2001年沙流河镇居民生活用水人均用水量为0.061 m<sup>3</sup>/d,全镇居民生活用水量为75.49万m<sup>3</sup>。随着群众生活水平的不断提高,人均用水量将随之上升,预测2005年将达到0.075 m<sup>3</sup>/d,2010年为0.090 m<sup>3</sup>/d<sup>[1,2]</sup>。

生活用水量计算模型为<sup>[1,3]</sup>:

$$W_1 = R_1 P_0 t \quad (1)$$

式中  $W_1$ ——生活用水量,万m<sup>3</sup>;  $R_1$ ——人均生活用水量,万m<sup>3</sup>;  $P_0$ ——现状人口数,人;  $t$ ——计算时段,d。

## 2) 工业用水

工业用水包括电力工业、一般工业和乡镇工业3部分工业用水。工业需水量利用万元工业产值耗水量计算。1997、1999年全国万元工业产值耗水量(含火电)平均值分别为103 m<sup>3</sup>和91 m<sup>3</sup>,河北省1997年为47 m<sup>3</sup>;1997、1999年全国万元工业产值耗水量(不含火电)分别为73 m<sup>3</sup>和71 m<sup>3</sup>,河北省1997年为41 m<sup>3</sup><sup>[4]</sup>。2001年沙流河镇主要工业企业是建材、水泥,万元工业产值耗水不到5 m<sup>3</sup>,全镇工业用水量约为27.79万m<sup>3</sup>。根据全国及河北省工业用水情况,结合沙流河镇今后社会经济发展趋势,预测2001~2015年沙流河镇新增万元工业产值耗水量均为30 m<sup>3</sup>。按照沙流河镇2001~2010年社会经济发展规划目标,2001~2005年沙流河镇工业产值年均增长15%,2005~2010年为20%<sup>[1,2]</sup>。

工业用水量计算模型为<sup>[1,3]</sup>:

$$W_i = R_i V_i \quad (2)$$

式中  $W_i$ ——工业用水量,万m<sup>3</sup>;  $R_i$ ——工业用水定额量,万m<sup>3</sup>/万元;  $V_i$ ——工业产值,万元。

## 3) 农业用水

农业用水包括灌溉用水和林牧渔业用水,其中灌溉用水是用水大户,与灌溉面积、灌溉技术和当年的降水量多少有关。1993、1997和1999年全国亩均灌溉用水量分别为539 m<sup>3</sup>、492 m<sup>3</sup>和484 m<sup>3</sup>,全国亩均灌溉用水量呈减少趋势<sup>[4]</sup>。沙流河镇主要以种植业为主,种植作物有小麦、玉米、花生、高粱、薯类、大豆、棉花和蔬菜,其种植方式基本为连茬耕作或间作套种,种植业复种指数为1.63,耕地利用率比较高。因此,根据沙流河镇农业生产实际,可以采用单位耕地用水量来计算该镇农业用水,单位耕地平均用水量估计为6490 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>(433 m<sup>3</sup>/亩)。2001年全镇耕地面积为3466 hm<sup>2</sup>,全镇全年农业用水为2249.45万m<sup>3</sup><sup>[1,2,4]</sup>。

农业用水量计算模型为<sup>[1,3]</sup>:

$$W_a = R_a S_a \quad (3)$$

式中  $W_a$ ——农业用水量,万m<sup>3</sup>;  $R_a$ ——单位耕地用水量,万m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;  $S_a$ ——全镇耕地面积,hm<sup>2</sup>。

因此,沙流河镇水资源总需求量为:

$$W = W_1 + W_i + W_a \quad (4)$$

## 2.2 水资源补给

沙流河镇水资源主要为地表水和地下水资源。地表水资源主要为沙流河,境内河流均为季节性河流,大部

分时间处于干涸状态,且污染严重,不符合居民饮用和农业灌溉。全镇生产、生活用水主要依靠地下水资源。

地下水资源补给主要为降水入渗补给、地下水侧向径流补给和井灌入渗补给3种形式<sup>[1,5]</sup>。

1) 降水入渗补给量。降水入渗补给量计算模型为<sup>[3,5]</sup>:

$$Q_{\text{降}} = 10^{-1} X \cdot F \cdot a \quad (5)$$

式中  $Q_{\text{降}}$ ——降水入渗补给量,万m<sup>3</sup>;  $X$ ——计算区域各年平均降水量,mm,沙流河镇为537 mm;  $F$ ——计算区域面积,km<sup>2</sup>,全镇土地面积为57 km<sup>2</sup>;  $a$ ——降水入渗系数,采用原河北省水文总站试验分析建立的燕山山前平原区各类岩性的 $\alpha \sim P \sim Z$ 相关图,根据岩性、年降水量 $P$ 及汛期平均地下水埋深 $Z$ ,沙流河镇取0.20<sup>[1,6]</sup>。这样,计算得到降水入渗补给量 $Q_{\text{降}}$ 为612.18万m<sup>3</sup>。

2) 地下水侧向径流补给量。计算模型为<sup>[3,5]</sup>:

$$Q_{\text{侧}} = 10^{-4} K \cdot I \cdot H \cdot L \cdot t \quad (6)$$

式中  $Q_{\text{侧}}$ ——地下水侧向径流补给量,万m<sup>3</sup>;  $K$ ——渗透系数,m/d,取30;  $I$ ——水力坡度,沙流河镇断面平均坡度为0.001°;  $H$ ——含水层厚度,m,沙流河镇含水层厚度在20~150 m之间,计算取平均值85 m;  $L$ ——计算断面长度,m,沙流河镇计算断面长度为地下水流向横切长度,取7500 m;  $t$ ——计算时段,d<sup>[1]</sup>。由此可得地下水侧向径流补给量为698.06万m<sup>3</sup>。

3) 井灌入渗补给量。井灌入渗补给量计算模型<sup>[3,5]</sup>:

$$Q_{\text{井}} = Q_{\text{采}} \beta_{\text{井}} \quad (7)$$

式中  $Q_{\text{井}}$ ——井灌入渗补给量,万m<sup>3</sup>;  $Q_{\text{采}}$ ——地下水农业灌溉开采量,万m<sup>3</sup>,2001年地下水农业灌溉开采量为1287.96万m<sup>3</sup>/a;  $\beta_{\text{井}}$ ——井灌入渗系数,取0.14,沙流河镇全年井灌入渗补给量为180.31万m<sup>3</sup><sup>[1]</sup>。

由以上3个方面计算可知,沙流河镇年水资源补给量为1490.55万m<sup>3</sup>/a。

## 2.3 水资源供需现状

2001年沙流河镇水资源补给量为1490.55万m<sup>3</sup>/a,全镇用水量2352.73万m<sup>3</sup>,水资源超采约862.18万m<sup>3</sup>。随着社会经济的发展,用水量将逐年增加,按照当前水资源利用模式预测2010年用水量将达到2491.72万m<sup>3</sup>,超额1001.17万m<sup>3</sup>。从全镇用水结构来看,农业用水量最大,占全镇全年用水量的90%左右,其中2001年达到95.61%<sup>[1]</sup>。

## 3 水资源供需平衡优化分析

### 3.1 水资源供需平衡优化数学模型

水资源供需平衡优化数学模型的建立是基于生态系统在满足生态和社会功能的前提下,实现经济功能最大化<sup>[7]</sup>。水资源供需平衡优化数学模型为<sup>[16-20]</sup>:

$$\text{Opt } \max Z = \frac{V_a W_a}{R_a} + \frac{W_i}{R_i}$$

$$S. t \begin{cases} S_a - P_j \cdot \left\{ \sum_{i=1}^I (X_i/P_i) + \sum_{j=1}^J [Y_j \sum_{i=1}^I (T_{ji}/P_i)] \right\} \\ S_f = 5700r \\ W_1 = R_1 P_0 t \\ W_a = R_a S_a \\ S_f + S_a = 5700 \\ W_i < R_i V_i \\ W_1 + W_i + (1 - \beta) W_a = 1310.24 \\ S_f, r, W_1, W_i, \dots, W_a = 0 \end{cases}$$

式中  $Z$ ——最大经济指标值, 万元;  $v_a$ ——单位耕地农业产值, 万元/hm<sup>2</sup>;  $S_f$ ——林地面积, hm<sup>2</sup>;  $S_a$ ——农业耕地面积, hm<sup>2</sup>;  $r$ ——林地占有率, %;  $P_j$ ——规划期末人口数, 人;  $X_i, Y_j$ ——分别为平均每人每年对第  $i$  种植物性食物, 第  $j$  种动物性食物的需要量, kg/a;  $T_{ji}$ ——饲料转化率;  $P_i$ ——第  $i$  种植物性作物的单产, kg。

从模型中可以反映出, 目标函数是要达到的最大经济指标; 约束条件上, 社会方面需要当前或今后一定发展时期内满足区域人口承载的需求<sup>[8]</sup>, 而水资源可持续利用则为实现经济和社会两大目标的限制因素。因此, 沙流河镇经济、社会和环境等生态要素约束体现了各个用水项目间的相互制衡, 水资源利用约束是对系统用水总量的控制, 是生态系统可持续发展的基础。

模型运算中, 规划期末人口数采用文献[2]有关沙流河镇经济社会发展规划中该镇人口预测结果, 其中2005年和2010年沙流河镇总人口分别约为37500人、42500人。国际上常常采用能量标准转化的方法, 如热量、蛋白质、脂肪等, 来衡量人们对食物的消费水平。按照卫生部对2000年我国人口营养标准的规划, 每个成年人每天平均摄入食物热量应为2400 kcal, 蛋白质72 g, 脂肪73 g。据此营养标准所制定的符合我国资源与传统饮食习惯的食物人均消费量为: 粮食(成品粮)132 kg, 蔬菜水果168 kg, 鱼、肉、奶、蛋、禽78 kg, 豆、薯、糖等66 kg<sup>[9]</sup>。由于小城镇农业生产在其国民经济中占居重要的位置, 以及社会经济发展水平相对较低, 小城镇与城市有机营养物质供应结构有所不同, 小城镇粮食一般靠生产自给, 消费量大, 而水果和肉食品消费比例较小。依据沙流河镇居民饮食结构情况, 可以确定2003~2010年该镇食物人均消费量: 口粮237 kg, 牛奶17 kg, 鸡蛋12.5 kg, 蔬菜170 kg, 鸡肉20 kg, 猪、牛、羊肉15 kg<sup>[11, 21]</sup>; 有关食用动物的饲料转化率采用文献[10]研究的结果, 牛奶、鸡蛋、鸡肉、猪肉、牛肉、羊肉的饲料转化率分别为1.11%、2.22%、3.03%、3.33%、10.00%和14.29%。从景观生态学的角度, Forman等人提出的不可替代格局和最优景观格局原理对小城镇景观生态结构调整与功能优化具有重要指导意义, 以此作为景观生态规划的总体原则<sup>[16]</sup>。该原理要求在土地利用上首先要保证森林绿地的规划面积, 由此体现生态系统的稳定性<sup>[11]</sup>。性能优良的生态系统森林覆盖率一般在30%以上, 达到50%为最佳比例。沙流河镇农田防护林比较完善, “四旁”植树面积较大, 以及该镇人地的矛盾, 因此林

地占有率  $r$  的取值要低于森林覆盖率, 在运算中沙流河镇  $r$  初始可以取实际值13.4%。

### 3.2 水资源供需平衡分析

1) 模型校验。通过所构建的模型, 利用2001年沙流河镇水资源利用情况数据进行验证。2001年沙流河镇农业总产值为8953.8万元, 单位面积产值为2.5833万元/hm<sup>2</sup>; 工业产值为55580万元。在模型的资源约束条件下, 模型无最优解; 若对水资源利用总量不加约束, 模型有解, 地下水超采862.18 m<sup>3</sup>(表1)。结果说明该镇掠夺式利用区域地下水资源, 水资源供需失衡。从表1可以看出, 由于沙流河镇连续4年降水量差别比较大, 模型预测每年超采量与该镇地下水蓄变量存在差异, 误差变化大, 但从平均数据来看模型运算结果的可靠性可达到89.54%<sup>[12]</sup>, 说明观察时间越长则其可靠性就越高, 因此该模型对沙流河镇中、长期预测具有可靠性。从唐山市的中心区、东矿区由于超量开采地下水已经形成了地下水漏斗<sup>[13]</sup>来看, 地下水水位缓慢下降也间接地验证了模型结果的可靠性。

表1 2001~2003年沙流河镇地下水蓄变量与模型预测超采量对比情况<sup>[12]</sup>

Table 1 Comparison between groundwater reserves annually varied and excessive exploitation volume calculated by the model at Shaliuhe town in 2001~2003

项目	2000年	2001年	2002年	2003年	平均
年降雨量/mm	480.2	556.1	307.9	601.6	488.53
地下水埋深(年底)/m	9.31	9.43	9.65	9.57	9.55
地下水蓄变量/万m <sup>3</sup>	—	-684.00	-1254.00	-456.00	-798.00
模型预测超采量/万m <sup>3</sup>	-	-862.18	-881.43	-900.68	-881.43

2) 优化分析。沙流河镇水资源利用不平衡, 主要为农业用水, 用水量占90%以上, 且水资源利用效率低; 而工业用水量相对较小, 加之乡镇企业的发展对于吸纳农村剩余劳动力、加速城镇化进程以及解决当前“三农”问题具有非常重要的作用。因此, 解决水资源供需矛盾只有依靠减少农业用水, 一方面提高农业节水率, 减少大水漫灌等不科学农业灌溉方式; 另一方面调整农业结构, 在满足粮食供应的情况下, 减少耕地面积, 将一些不适宜耕作的土地积极退耕还林。

按照以上的优化思路, 结合沙流河镇农业灌溉用水效率低以及河北省农业节水灌溉技术发展与推广情况<sup>[14, 15]</sup>, 模型对全镇2001、2005和2010年水资源利用进行了优化, 通过逐年逼近, 2010年实现全镇水资源可持续利用。从表2可知, 2001年农业用水节水达20%左右, 即单位耕地用水量为0.5167万m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 加上退耕还林66 hm<sup>2</sup>, 全镇水资源超采量可以降低到311.20万m<sup>3</sup>, 经济效益仅仅减少169.6万元; 2005年农业用水节水提高到30%, 单位耕地用水量降低到0.4543万m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 再退耕还林200 hm<sup>2</sup>, 全镇水资源超采量可以降低到120.35

万 $m^3$ ,经济效益比预测减少687.3万元;2010年,节水提高到40%,单位耕地用水量降到0.3894万 $m^3/hm^2$ ,再退耕还林200 $hm^2$ ,全镇水资源量可以节余63.32万

$m^3$ ,经济效益比预测减少1203.9万元,基本上实现了可持续利用。

表2 沙流河镇水资源供需对比分析

Table 2 Comparison between data of excessive water utilization and optimized results by the model at Shaliuhe town

项 目	2001年		2005年		2010年	
	掠夺式开采	平衡优化利用	掠夺式开采	平衡优化利用	掠夺式开采	平衡优化利用
居民生活用水/万 $m^3$	75.49	75.49	128.60	128.60	139.61	139.61
工业用水/万 $m^3$	27.79	27.79	51.68	51.68	102.66	102.66
农业用水/万 $m^3$	2249.45	1765.30	2249.45	1453.85	2249.45	1168.20
小计/万 $m^3$	2352.73	1868.58	2429.73	1634.13	2491.72	1507.84
超采量/万 $m^3$	-862.18	-311.20	-939.18	-120.35	-1001.17	+63.32
最大经济效益/万元	64532.8	64363.2	72489.2	71801.9	89465.5	88261.6
耕地面积/ $hm^2$	3466	3400	3466	3200	3466	3000
林地面积/ $hm^2$	762	808	762	1028	762	1228

从优化的结果来看,全镇经济效益均逐年降低,原因是多方面的。如果考虑林业生态、经济和社会效益,以及维持良好的生态环境,其效益将会明显地升高。目前,该镇因水资源严重超采而导致地下水位迅速下降,直接的影响是开挖的井位逐年加深,灌溉成本升高,地表下陷,这便是对以前水资源掠夺开采最好的印证<sup>[2]</sup>。

#### 4 结 论

1) 基于小城镇生态系统平稳运行需要满足经济、环境和社会功能出发,利用经济均衡和线性目标规划的方法,构建水资源供需平衡优化数学模型可广泛地运用于小城镇水资源供给中、长期预测与规划。沙流河镇模型预测结果表明,每年度预测结果与该镇地下水蓄变量存在差异,但平均数据显示模型运算结果的可靠性高,观察时间越长则其可靠性就越高,该模型对沙流河镇中、长期预测具有可靠性。

2) 从沙流河镇水资源生态要素方面分析,水资源供需失衡,水资源供需矛盾突出。通过调整产业结构,改变当前水资源利用分配模式,可以暂时解决小城镇水资源供需矛盾。但从可持续发展的角度,小城镇产业发展规模要在其生态承载力范围内,不能采取掠夺式发展措施;从水资源利用生态要素方面,要积极开源节流,促进水资源永续利用。

3) 通过减少耕地面积、实施退耕还林的方法可以减缓沙流河镇水资源供需矛盾的问题。鉴于目前农业生产水平和农村就业压力,退耕还林面积逐年增加;随着农业科技发展和城镇化建设,农村人口向城镇转移,到2010年全镇可以退耕还林466 $hm^2$ 。

4) 通过实施农业节水技术,提高农业用水效率,可以大幅度降低农业用水量。单位耕地用水量从2001年的0.5167万 $m^3/hm^2$ 降到2010年的0.3894万 $m^3/hm^2$ ,加上退耕还林466 $hm^2$ ,全镇水资源量可以节余63.32万 $m^3$ ,基本上实现全镇水资源供需平衡。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张领先,王德成,王志琴.唐山市沙流河镇园林绿化总量控制分析[J].中国农业大学学报,2004,9(2):85-88
- [2] 王德成.小城镇建设与发展[M].北京:中国农业科学技术出版社,2003:31-49
- [3] 李广贺.水资源利用与保护[M].北京:中国建筑工业出版社,2002:60-239
- [4] 刘昌明,陈志恺.中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[M].北京:中国水利水电出版社,2001:80-88
- [5] 凌丽凡.元宝山区节水灌溉增效示范项目区水资源供需平衡分析[J].现代农业,2003(7):42-42
- [6] 刘钟慧,高寅堂.秦皇岛市地下水资源评价成果分析验证[J].河北水利科技,1996,17(1):23-25
- [7] 王 铮,郑一萍,冯皓洁,等.水资源供需平衡的安全分析[J].安全与环境学报,2002,2(5):13-18
- [8] 张鼎华.城市林业[M].北京:中国环境科学出版社,2001:41-110
- [9] 李 敏.城市绿地系统与人居环境规划[M].北京:中国建筑工业出版社,1999:73-76
- [10] 裴晓菲,黄文秀.饲料资源高效转化指标、影响因素与提高途径[J].中国草地,1998,(5):64-71
- [11] 俞孔坚,李迪华.城乡与区域规划的景观生态模式[J].国外城市规划,1997(3):27-31
- [12] 河北省水文水资源勘测局信息中心,河北省水文水资源勘测局.河北省平原区地下水通报(第5-14期)[EB/OL].http://www.hbsw.net/jianbao/SmallClass.asp?BigClassName=地下水通报&SmallClassName=地下水通报,2004-11-18
- [13] 史世平.京津唐平原区地下水资源及合理开发利用[J].地下水,2001,23(1):21-22
- [14] 李志宏.海河流域农田节水技术与对策[J].河北农业科学,2003,7(2):58-62
- [15] 陈素英,张喜英,胡春胜,等.河北平原高产粮田综合节水模式研究[J].中国生态农业学报,2004,12(1):148-151
- [16] Amir I, Fisher F M. Response of near-optimal agricultural production to water policies[J]. Agricultural System, 2000, (64): 115-130

- [17] Amir I, Fisher F M. Analyzing agricultural demand for water with an optimizing model [J]. *Agricultural System*, 1999, 61(1): 45- 56
- [18] Amer Zahi Salman, Emad A l-Karablieh. Measuring the willingness of famers to pay for groundwater in the highland areas of Jordan [J]. *Agricultural Water Management*, 2004, (68): 61- 76
- [19] Doppler W, Saman A, A l-Karablieh E, et al. The impact of water price strategies on the allocation of irrigation water: the case of the Jordan Valley [J]. *Agricultural Water Management*, 2002, 55 (3): 171 - 182
- [20] Foman R T T. Some general principles of landscape and regional ecology [J]. *Landscape Ecology*, 1995, 10(3): 133- 142

## Optimization of supply and demand balance of water resources at Shaliuhe Town of Tangshan city

Zhang Lingxian, Fu Zetian, Wang Decheng, Liu Xue, Mu Weisong, Zhang Xiaoshuan  
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Applying system theory and linear objective programming, a reliable mathematical optimization model for supply and demand balance of water resources for small towns was developed, the contradiction of supply and demand of water resources for Shaliuhe town of Tangshan city was analyzed, and an optimization measure of water utilization was put forward. Results showed that the total water supply was 14 9055 million  $m^3$ , while the total demands more than 90% of which were used in farming rose to 23 5273 million  $m^3$ , 24 2973 million  $m^3$ , 24 9172 million  $m^3$ , with an excessive exploitation of 8 6218 million  $m^3$ , 9 3918 million  $m^3$ , 10 0117 million  $m^3$  in 2001, 2005, 2010, respectively if consumption was not restricted. Taking the high rate and low efficiency of agricultural water utilization into account, water saving measures, such as conducting and spreading water saving irrigation techniques, reforesting on farmland, were put forward. By means of year-by-year balance approximation, the amount of water exploitation surplus of the town would be 0 6332 million  $m^3$  in 2010, and the supply and demand balance of water resources would be ultimately realized basically at the town.

**key words:** supply and demand balance of water resources; objective programming; water-saving irrigation; small towns