

文章编号: 1000-0585(2000)01-0037-08

水资源可持续利用规划耦合模型与应用

蒋业放, 梁季阳

(中国科学院地理研究所, 北京 100101)

摘要: 介绍了水资源可持续利用规划耦合模型和应用实例。从数学形式上看, 它是多目标优化模型, 目标函数选用自由度较高并具竞争性的系统状态指标; 约束条件应该包括各相关子系统的状态模拟方程, 使模拟与优化实现耦合。在研究实例中, 选用了 GDP 和 COD 排放量指标来表征研究区的经济发展和环境状况, 约束条件主要包括水资源系统模拟模型和宏观经济系统扩大再生产—投入产出耦合模型。由于水资源可持续利用规划决策是半结构化的决策问题, 开发决策支持系统辅助决策有助于提高决策的科学性和有效性。

关 键 词: 水资源; 可持续利用规划; 决策支持系统

中图分类号: TV212.2 **文献标识码:** A

水资源的可持续利用是可持续发展战略的重要方面。水资源既是促进经济发展和社会进步必需的宝贵资源, 又是维持生态环境功能的基本要素, 在水资源的开发利用过程中, 确保社会效益、经济效益和环境效益的统一, 正逐渐成为不同空间尺度社会经济和水资源规划管理决策层共同遵循的基本准则。

以往的规划理论与方法均是在传统的经济发展模式下产生的, 对社会经济和环境相互协调发展重视得不够, 由此引发了许多有目共睹的环境问题。因此, 提出符合可持续发展原则的水资源规划管理的理论方法, 并付诸实施具有重要的理论意义和现实意义。

1 水资源可持续利用规划耦合模型

1.1 水资源系统分析

从系统科学的观点出发, 可把水资源规划管理研究对象按社会、经济、环境和水资源系统来处理, 社会经济系统和生态环境系统通过水资源系统联系起来, 构成一个有机整体——社会—经济—环境—水资源系统^[1,2]。水资源持续利用的实现, 就是这个系统功能可持续性的体现。同样数量和质量的水资源以及投资在系统中不同部门的分配比例不一样, 系统所表现出的整体经济效益和环境效益完全不同。因此, 在进行水资源规划与管理研究时, 应重点考察水资源和投资在社会经济系统内部的合理分配关系以及水资源开发对环境系统的影响, 对资金和资源在子系统内的分配比例必需随系统的发展作合理的调整^[3]。

收稿日期: 1999-01-15; 修订日期: 1999-09-13

基金项目: 中国科学院“九五”重大资助项目(KZ951-A1-203); 国家自然科学基金资助项目(49971020)

作者简介: 蒋业放(1965-), 男, 广西融安人, 中国科学院地理研究所博士研究生。从事水文地质和水文水资源研究, 已发表论文 10 余篇。

1.2 水资源可持续利用规划耦合模型

在进行水资源可持续规划时,追求的目标是社会效益、经济效益和环境效益同时最佳,并力图保持系统朝有序的良性循环方向发展。该过程可以用模拟的手段来评价各种开发政策条件下系统的状态演变,用优化方法对决策变量的操纵来控制系统的行为和发展方向,实现模拟与优化的耦合^[4]。

从形式上看,水资源可持续利用规划耦合模型为多目标优化模型,一般应该包括社会、经济和环境目标以及一系列约束方程,强调在约束方程集中嵌入各子系统的状态模拟方程。假设系统所处的空间和时间一定,其总体发展目标可以用综合效益(或净福利)最大来衡量,它的函数形式为^[2]:

$$\max [E(x), S(x), -R(x)] \tag{1}$$

$$G(x) < 0 \tag{2}$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中 X 为 n 维决策向量; E 、 S 、 R 分别为经济效益、社会效益和环境效益; G 为约束条件集,表示水资源承载力、环境容量、土地资源、其它社会约束和子系统状态方程等。

一般说,以上各函数的量纲是不可公度、相互矛盾和相互制约的。具体表现在:经济的增长会导致用水量的增加和污染物的排放(如 COD)的增加,进而加剧对环境的破坏;环境的恶化反过来制约社会经济的发展;经济的发展可以促进社会进步和加大对环境污染治理的投入,改善环境质量。

2 研究实例

2.1 研究区概况

研究区域是山西省平定县。全县总面积 1 394 km², 1995 年人口 32 万,国内生产总值约 11 亿元。1996 年 4 月该县第十一届人民代表大会第四次会议审议通过了国民经济和社会发展“九五”规划和 2010 年远景目标纲要,提出了“九五”期间国民经济和社会发展的目标和任务。水资源在质和量方面能否满足这个发展目标的需要?为了实现这个目标,对有限的水资源如何进行优化配置才能取得最佳的社会效益、经济效益和环境效益?什么样的水资源开发利用模式才是该地区的可持续发展模式?这是水资源规划管理决策所面临的基本问题。为了提高决策的有效性,减少决策风险,有必要建立水资源可持续利用规划耦合模型和开发决策支持系统来加以研究和解决。

2.2 系统的描述层次

对研究区而言,宏观经济系统主要由农业、煤炭、化工、建材、冶金、轻纺食品(简称轻食)、机械、建筑、三产和其它等 10 个产业部门构成,其中农业进一步划分为种植业和林牧渔业,种植业包括粮食、蔬菜、经济作物和水果 4 类作物。根据供水系统和耕地的空间位置关系,模型中农业按 4 个分区进行处理。它们依次是:桃河灌区(A)、南川河灌区(B)、阳胜河灌区(C)和其它地区(D)。水资源系统分别由供水、输水和用水系统组成。研究区供水主要来源于娘子关泉水、地表水和地下水。用水系统除工业和农业外还有城镇生活与农村人畜饮水。研究区地表水和地下水有密切的水量交换关系,地表水水质恶化必然导致地下水的污染。因此,对环境系统的研究重点考察地表水体的水质状况。

2.3 水资源可持续利用规划目标的辨识与量化

在模型中把 GDP 和 COD 分别作为经济发展和环境目标。原因是 GDP 反映该地区经济发展水平, 规定了积累与消费的总体规模。COD 排放越多, 对环境的危害越大, 与其它污染指标具有良好的相关关系, 它不仅与工业生产有关, 而且与生活有关, 适用于描述城市污水治理及河流的水质状况。

2.4 数学模型

模型时段划分与该县国民经济和社会发展“九五”规划和 2010 年远景目标纲要一致。具体分两个规划期, 第一规划期为 1995 年到 2000 年, 第二规划期为 2000 年到 2010 年, 共 15 个时段, 各时段长均为 1 年。为了便于比较, 经济指标按 1995 年现价进行计算。

水资源可持续利用规划耦合模型具体化之后为多目标线性规划模型, 目标函数为 GDP 最大和 COD 最小, 宏观经济模型和供水需水模型作为等式约束条件嵌套在模型中。对宏观经济系统采用动态投入产出模型与年度扩大再生产模型相耦合进行模拟。投入产出模型可以模拟一个地区各经济部门之间的技术经济联系、产品流向和综合平衡关系, 扩大再生产模型用来模拟本地区积累及外来投资对经济增长的影响, 两者耦合起来可以较好地模拟一个地区宏观经济系统的状态变化。

2.4.1 目标函数

$$GDP= \max \sum_{t=1}^{15} \sum_{i=1}^{10} \tau_{it} x_{it}$$
 (4)

$$COD= \min \sum_{t=1}^{15} \left(\sum_{i=2}^{10} y_{it} x_{it} + L_{CODt} \right)$$
 (5)

式中 GDP 为国内生产总值 (万元), COD 为工业和生活污水化学耗氧量 (kg), x_{it} 为 i 行业 t 时段末产值 (万元), τ_{it} 为增加值系数, y_{it} 为单位产值 COD 排放量 (kg/万元), L_{CODt} 为生活污水 COD 总量 (kg)。

2.4.2 约束条件

(1) 投入产出约束

$$(I - A)X = Y$$
 (6)

式中 I 为单位阵, A 为直接消耗系数矩阵, X 和 Y 分别为各行业产值和最终产品产值向量。 X 和 Y 为决策变量。 A 为 10×10 阶方阵, 它随时间的变化可用 RAS 法进行修正。

(2) 年度扩大再生产约束。对某行业而言, 年末产值与年初固定资产和从业劳动力有关, 而劳动力与固定资产之间存在关系, 这种关系可用克布-道格拉斯 (Coob-Douglas) 函数来描述。固定资产与本地区积累及外来投资有关。据此可得到如下扩大再生产约束方程:

$$\begin{aligned} x_{it} &= \theta_{it} k_{it} \\ k_{it} &= (1 - \delta_{it}) k_{i,t-1} + \Delta k_{it} \\ \Delta k_{it} &= \beta_{it} I_{it} + \beta_{i,t-1} I_{i,t-1} + \beta_{i,t-2} I_{i,t-2} + \dots + ; \forall i, t \\ I_t &= \sigma_{t-i} \sum_{i=1}^{10} x_{i,t-1} + H_t ; \forall t \end{aligned}$$
 (7)

式中 x_{it} 为 i 行业 t 年末产值, θ_{it} 为资本产出率, k_{it} 为年初固定资产, δ 为折旧率, Δk_{it} 为固定资产增量, β 为各年投资形成当年固定资产的比率, I 为投资, σ 为积累率, H 为外来投资。

式 (6) 和式 (7) 通过 x_{it} 实现耦合。 x_{it} 是投入产出模型各行业产值向量的元素, θ_{it} 和

β 需要根据以往的统计资料和未来的发展趋势分析确定, σ 从投入产出表的最终产品产值的积累栏求得, 其它参数数据统计资料计算。

(3) 工业与城镇生活供水需水约束

$$\sum_{i=2}^{10} \alpha_i x_{it} + 0.365 \eta_i PC_t - SPG_t + KARST_t + ADD_t; \forall t \quad (8)$$

式中 t 为时段, SPG_t 为泉水提水工程可供水量, $KARST_t$ (10^4 m^3) 为岩溶水设计开采量, ADD_t 为除上述两项外的水源可供水量 (10^4 m^3), α_i 为万元产值取水量 ($10^4 \text{ m}^3/\text{万元}$), x_{it} 为 i 行业产值 (万元), η_i 为人均用水定额 (升/人·日), PC_t 为城镇人口 (人)。

(4) 农业经济与水平衡约束方程。农业经济方程和农业水平衡方程分别为:

$$x_{it} = \sum_{j=1}^4 \left\{ aw_{ij} \left[\sum_{j=1}^4 (p_{wj} up_{wj} - p_{ji} up_{ji}) \right] + t_{ai} \sum_{j=1}^4 p_{ji} up_{ji} + FH F_i \right\}; \forall t \quad (9)$$

$$aw_{ij} \sum_{j=1}^4 p_{wj} \beta_{jt} + FH F_i \beta_{it} - RSV_{it} + EL_{it} + WW_{it} + GW_{it}; \forall i, t \quad (10)$$

式中 x_{it} 为全县农业总产值 (万元), i 为分区号, j 为作物种类, t 为时段序号, aw_{ij} 为水浇地面积 (亩), p_{wj} 和 p_{ji} 分别为水浇地和旱地 j 类作物种植比例, up_{wj} 和 up_{ji} 分别为水浇地和旱地 j 类作物单产 (万元/亩), t_{ai} 为 i 区耕地总面积 (亩), $FH F_i$ 为 i 区林牧渔业产值 (万元), β_{jt} 为 j 类作物灌溉定额 ($10^4 \text{ m}^3/\text{亩}$), β_{it} 为林牧渔业单位产值用水定额 ($10^4 \text{ m}^3/\text{万元}$), RSV_{it} 为水库供水量, DVS_{it} 为旱井可供水量, EL_{it} 为提水量, WW_{it} 为污水可利用量, GW_{it} 为地下水可供水量, 式 (10) 的水量单位均为 10^4 m^3 。

农业水资源经济模型一方面是等式约束, 另一方面可用来进行农业与水的关系分析。

(5) COD 排放量与产值上下界约束

$$\sum_{i=2}^{10} Y_i x_{it} + L_{CODT} - CODUP_t; \forall t \quad (11)$$

$$XLOW_{it} - x_{it} - XUP_{it}; \forall i, t \quad (12)$$

式中 $CODUP_t$ 为 COD 上限, XUP_{it} 和 $XLOW_{it}$ 分别为 i 行业产值上界和下界, 其余符号同 (5)。

模型中, 各行业产值、最终产品产值和各行业固定资产增量为决策变量, 其余变量为需要分析给定或预测的参数。模型中具有 300 多个决策变量和大量的参数, 参数的预测和确定以及多目标优化模型解的生成需要决策者的参与。因此, 可开发适应交互决策模式的水资源决策支持系统 (WRDSS) 来辅助决策。

2.5 水资源决策支持系统与模型求解

WRDSS 由模型库、数据库和人机对话 (交互) 系统三部分组成。模型库集成了人口预测模型、宏观经济模型、供水需水模型、河流—含水层水力耦合模型、用水需水指标预测模型、河水 COD 负荷计算模型、农业水资源经济模型及多目标优化分析模型。数据库储存基础信息、模型反馈信息和模型交换信息。人机交互系统以友好的界面形式体现, 主要功能是引导用户实施模型调用、组织模型数据输入、优选模型参数、进行各种水资源开发利用策略下的社会经济和环境情景分析, 辅助决策。人机交互系统还具备对数据库进行浏览、查询、检索、编辑和报表等功能。WRDSS 用 BV 5.0 和 ACCESS97 开发。系统开发全部使用基于 Windows 95 的面向对象开发工具, 这样便于系统的集成和推广使用。此外, 系统还具有规模小、模块化和便于移植的特点。

多目标优化模型的求解过程就是水资源配置方案的生成过程。决策方案主要由资金资源分配及方案实施的模拟结果两部分构成。在求解多目标模型时使用了逐步法(STEM)。第一步求理想解,若决策者对结果不满意,然后再求权衡解。权衡过程是一个迭代过程,每进行一步,要求决策者根据自己的经验、知识和偏好选择妥协的目标和妥协的程度,系统向用户反馈水资源和资金分配方案和方案实施的可能结果等信息,辅助决策者分析判断。当决策者对某权衡解满意后,说明优化方案已经生成,即可停止计算。若决策者在权衡过程中仍找不到满意解,可返回到有关模型进行参数修改和优选,再继续寻优,直至满意。

2.6 计算结果与分析

利用WRDSS进行水资源优化配置分析的步骤是:调用人口模型计算规划期人口;调用用水取水定额模型分析确定有关定额;调用供水模型确定可供水量;调用河水COD模型分析确定COD指标;调用河流—含水层耦合模型模拟确定河川径流量;调用农业水资源经济模型分析确定在可供水约束下的种植结构,进行水资源供需平衡分析,模拟计算产值、产量、灌溉效益和农业对固定资产投资的占有量;调用宏观经济模型确定经济参数;最后调用水资源多目标优化模型,确定优化方案。

水资源优化配置方案包括水资源和资金分配结构,以及由此产生的社会经济和环境效益(或效应)的模拟结果等内容。它们主要用投资与资源分配结构(表1、表2)、投入产出表、产业结构、各行业发展速度(表3)、农业种植结构与产值(量)、COD排放量和河水COD负荷(表4)等信息来表示。限于篇幅,这里只提供了与分析有关的部分信息。

由于本地水资源相对贫乏,水环境污染严重,根据可持续发展原则要求,模型优化的总原则是鼓励单位产值COD排放少而耗水量低的产业优先发展。

表 1 固定资产投资 (万元) 分配表
Tab. 1 Optimal allocation of fixed capital investment among economic sectors

项 目	农业	煤炭	化工	建材	冶金	轻食	机械	建筑	三产	其它	合计	固定资 产投资
1995 年初净值	8722	33652	22024	24906	15271	22996	8320	5490	81990	4014	227385	
1995 ~ 2000 增量	4431	8044	9008	37500	16886	14610	4584	3082	79778	617	178541	210000
2000 年末总值	11486	36326	27119	63158	31363	33341	11520	7797	155308	4255	560214	
1995 ~ 2010 增量	9553	12496	20255	58746	52523	18032	4743	7691	244218	4465	432723	600000
2010 年末总值	17446	34028	37712	98962	75149	35938	10095	12974	369190	7999	1132217	

表 2 工业取水量分配 (10⁴m³) 与用水结构 (%) 表
Tab. 2 Optimal allocation of water resources among industry sectors

项 目	煤炭	化工	建材	冶金	轻食	机械	其它	小计	生活	取水 合计	可供 水量	供需 余缺
1995 年取水量	208	319	132	210	251	24	333	1486	182	1668	2212	544
1995 年结构	12. 5	19. 1	7. 9	12. 6	15. 6	1. 4	19. 9	89. 1	10. 9	100. 0		
2000 年取水量	219	370	287	404	333	30	350	1993	227	2220	2330	110
2000 年结构	9. 9	16. 7	13. 0	18. 2	15. 0	1. 3	15. 7	89. 8	10. 2	100. 0		
2010 年取水量	261	459	435	1384	339	28	692	3658	283	3941	3970	29
2010 年结构	6. 6	11. 6	11. 1	35. 1	8. 6	0. 7	17. 6	92. 8	7. 2	100. 0		

表 3 各行业产值 (万元) 及其年增长速率 (%)

Tab. 3 Output-value of industry sectors and their growth rate (%)

项 目	农业	煤炭	化工	建材	冶金	轻食	机械	建筑	三产	其它	合计
1995 ~ 2000 速率	2. 45	1. 00	3. 00	17. 00	14. 0	5. 00	5. 00	6. 00	11. 83	0. 99	
2000 ~ 2010 速率	2. 56	3. 26	5. 04	8. 00	14. 00	4. 00	3. 00	5. 00	7. 98	4. 15	
2000 产值	27276	16822	40202	92734	49308	26863	12470	21992	154678	1227	443571
2000 增加值	17214	8279	10543	34854	15049	6682	3209	6627	71362	556	174375
2010 产值	35106	25582	83110	200205	182795	39764	16758	35822	366864	2428	988435
2010 增加值	22544	12980	23636	78995	59598	10788	4685	11545	175185	1141	401097

表 4 COD 排放量 (10³kg) 与优化结果统计表

Tab. 4 Waste water COD discharge

年 份	煤炭	化工	建材	冶金	轻食	机械	其它	小计	生活	合计	河水 COD 负荷 /mg · l ⁻¹
1995 (实排)	0. 192	7629	846	1076	14439	137	84	24212	1819	26031	186
2000 (优化)	0. 875	8040	1669	1874	16763	162	80	28589	1563	30152	215
2010 (优化)	1. 202	14960	3203	6215	22347	184	143	47054	1497	48551	347

(1) 农业与水资源。在可供水量、可能实现的节水灌溉措施和耕地面积等约束下,并考虑农业的发展目标和总体效益,确定了各灌区的种植结构。经计算,2000 年和 2010 年平定县农业总产值分别达 27 276 万元和 35 106 万元,粮食产量分别为 93 188 kg 和 112 008 kg,比 1995 年多 19 188 kg 和 38 008 kg。受耕地面积和水资源条件限制,平定县农业规划时段内的发展速度难以超过 3%,粮食产量难以实现原规划确定的 2000 年末突破 $12 \times 10^4 \text{t}$ 的目标要求。

(2) 固定资产投资与分配。根据投入产出模型模拟得到的 GDP 和积累率,并考虑外来投资,确定平定县“九五”和 2000 年前 10 年的总投资,再根据固定资产投资比例计算固定资产投资额。经模型反复分析,确定“九五”和 2000 年前 10 年固定资产投资分别控制为 210 000 万元和 390 000 万元,共 600 000 万元较合适。

表 1 中所列的固定资产投资分配,是优化模型求得的规划期每年固定资产投资经折旧处理后的结果。从表 1 看出,1995 ~ 2000 年对投资占有较多的依次为三产、建材业和煤炭业,2000 ~ 2010 年依次为三产、建材业和冶金业,这些顺序尽管与表 3 的产值增长速率顺序不一致(因增长速率与资本产出率有关),但说明了这些行业对固定资产投资的优先占有顺序。

(3) 宏观经济、水资源与环境。从表 2、表 3 和表 4 可以看出,平定县规划期优化的水资源分配方案,以及相应的经济和环境效益。模型分析表明,平定县工业和城镇生活用水 2000 年以前完全可能得到满足,但从 1000 ~ 2010 年,水资源供需矛盾日趋突出,必须逐步采取强制节水措施,要求将取水定额在 1995 年基础上再降低 30% ~ 50%,水资源才能满足发展的需要。

平定县原规划到 2000 年和 2010 年 GDP 分别达到 20 亿元和 50 亿元。模型计算得到,2000 年和 2010 年平定县工农业总产值可分别达到 443 571 万元和 988 435 万元, GDP 分别

为 174 375 万元和 401 097 万元, 人均 GDP 分别为 5 303 元和 11 463 元, 较原规划值低。由于以上结果是资本产出率参数按保守趋势外延得到的, 说明实现原规划目标的主要困难在经济效益, 至于科技进步将资本产出率提高到何程度才能实现规划目标, 可以用 WRDSS 进行演算分析。

经优化分析得到, 若不进行污水处理, 2000 年和 2010 年平定县工业和生活废水 COD 排放量最少可分别达到 30 252 t 和 48 551 t, 河水 COD 负荷 (单位体积河水的 COD 承载量) 分别达 215 mg/l 和 347 mg/l。据河北平原的研究结果, COD 负荷超过 35 mg/l, 地表水质已不符合五级水要求。可见, 平定县地表水污染严重, 必须尽快实施污水处理措施, 否则, 污染的地表水渗入地下, 使区内主要的供水水源——娘子关泉水遭污染, 将影响生活和工业用水, 使社会经济的可持续发展落为空谈。

3 结论

可持续水资源规划管理研究应以系统分析方法为指南, 其核心内容是寻求社会系统、经济系统、环境系统和水资源系统之间的有序、协调发展模式。从数学形式上看, 水资源可持续利用规划耦合模型是多目标规划模型, 通常包括社会、经济和环境等目标函数和一系列约束条件。目标函数之间往往互相矛盾、不可公度。约束条件主要包括资源约束、子系统状态方程约束和经济发展速度与规模约束等。系统状态方程是系统行为仿真模型, 最重要的是宏观经济系统的动态投入产出—扩大再生产耦合模型和水资源系统供需模型。系统状态方程与优化模型的耦合体现了模拟与优化相结合的思想, 这样可以策划出过程与发展目标相统一的水资源规划管理方案, 规范和控制人类对水资源的开发利用沿着理想的轨迹和目标迈进。

求解水资源可持续利用规划模型的过程实质上是水资源可持续开发方案的策划过程。由于水资源规划管理决策问题结构化程度较低, 而且是多目标、多层次、多时段、多决策者的决策问题, 一般可以开发适应于交互式决策模式的水资源决策支持系统来辅助决策。

参考文献:

- [1] 冯尚友, 刘国全. 水资源持续利用的框架[J]. 水科学进展, 1997, 8(4): 301 ~ 306.
- [2] 冯尚友, 梅亚东. 水资源持续利用系统规划[J]. 水科学进展, 1998, 9(1): 2.
- [3] Gao Yanchun, Liu Changming. Research on simulated optimal decision making for a regional water resources system[J]. *International Journal of Water Resources Development*, 1997, 13(1): 123 ~ 134.
- [4] Loucks D P. Developing and implementing decision support systems: a critique and a challenge[J]. *Water Resources Bulletin*, 1995, 31(4): 571 ~ 582.

Integrated model of sustainable water resources planning: formulation and application

JIANG Ye-fang, LIANG Ji-yang

(Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: This paper deals with the concept, formulation and a case study of integrated model of sustainable water resources planning. Water resources development involves multiple objectives, which often conflict with each other and are not commensurable. In general, they are identified as social objective, economic objective, and environmental objective. Social and economic development demands more water supply, and produces more waste, which has negative impacts on the environment. Environment deterioration will thwart economic growth and social progress. Economic development will make it possible to invest more money in environmental improvement and to increase water supply. Sustainable water resources planning aims to achieve a balance between these needs. The goal of this paper is to develop a model framework, which can assist in model design for sustainable water resources planning.

Mathematically, an integrated model of sustainable water resources planning is a multiobjective programming model, which has maximum social, economic and environmental benefit objectives, subject to a series of constraints. As to a specific region, sustainable water resources development means the social-economic-environmental-water resources system develops in a harmony and ordered state. The model, which integrates water resources system state equation, environment system state equation and macro-economic state equation, among other constraints can regulate the system to the designed goals while maintaining its performance within a specified range.

In the case study, maximum GDP (Gross Domestic Production) and minimum COD (Chemical Oxygen Dissolution) discharge are designed as economic and environmental objectives respectively, and water resources budget equation, integrated enlarged reproduction and input-output equation, and stream flow COD load equation etc are embedded as constraints. The sector output-value and allocation of fixed capital investment between economic sectors are decision variables. A water resources decision support system (WRDSS) is developed to generate solution to the model. Application of the WRDSS shows that the system can properly demonstrate macroeconomic state and environmental state under various water resources development policies and can assist decision-makers in evaluating water resources planning programs.

Key words: water resources; sustainable development planning; decision support system