平原丘陵地区水土资源联合优化配置

李亚平,董增川,马婉丽
(河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098)

摘 要:通过对区域水资源和土地资源概况进行研究,利用大系统递阶优化思想,以供水对象相对缺水率最小和农业经济效益最大为目标,建立了区域水土资源联合优化配置模型,并以句容市为例,对平原丘陵地区的水资源在时间和区域上进行了合理安排、设计、组合和布局,对农业种植结构进行了调整。研究结果表明:水资源是土地资源发挥最大优势的基本条件,水资源利用合理与否,直接影响到土地资源的生产效率;而土地资源的利用程度也影响着水资源的变化,土地资源利用效率高,则为水资源的合理开发利用创造条件。

关键词:平原丘陵地区;水土资源;优化配置;种植结构

中图分类号:S275 **文献标志码**:A **文章编号**:1005-6254(2007)05-0033-03

Regional optimum allocation model of water and land resources in plato and hill

LI Ya-ping, DONG Zeng-chuan, MA Wan-li
(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract: Regional optimum allocation model of water and land resources is established with two objectives: minimum relative water shortage and maximum economical benefit in agriculture by means of hierarchical principle of large-scale system. As a case study, water resources are allocated in time and space, and agricultural crop structures are regulated for Jürong City. The results can be used in water and land resources allocation for Jürong City.

Key words: plato and hill; water and land resources; optimum allocation; agricultural crop structures

1 区域概况

位于苏南丘陵地区的句容市境内河流分属秦淮河水系、太湖水系和长江水系。水资源十分丰富,河道四通八达,共有大小河道44条,总长310多km。境内有中小型水库(湖)76个,总库容3.1亿m^3。此外,句容市将新建一批10万m^3以上小水库,彻底解决周边10个行政村的人畜饮用水和农业灌溉问题。全市现有农用地110 749.24万m^2,占全市土地总面积的79.83%;土地垦殖系数高达50.22%,复种指数1.67以上。全市非农建设用地23 712.89万m^2,占土地总面积的17.09%;其中城镇、居民点及工矿用地14 178.63万m^2,占土地总面积9.74%。

2 水土资源联合优化配置模型

水土资源优化配置是指在一定条件下,为了达到最优的生态经济效益,依据水土资源的特性和系统原理,对有限的水资源和土地资源在时间和区域上进行合理安排、设计、组合和布局,以提高水土资源利用效益,实现水土资源的可持续利用。水土资

收稿日期:2007-08-31
基金项目:教育部科学技术研究项目(104197)
作者简介:李亚平(1963-),男,江苏丹阳人,博士研究生,主要从事水资源可持续利用和经济社会可持续发展等研究。
董增川(1963-),男,山西芮城人,教授,博士生导师,主要从事水资源系统理论与可持续利用等研究。

源配置最终要实现经济效益目标、社会效益目标和生态环境效益目标的协调和统一[1]。

根据区域的实际情况，建立水土资源配置大系统多目标模型。一方面合理分配水资源，使区域相对缺水率最小。另一方面依据计算出的农业供水量对种植结构作出调整，以合理、高效地利用有限的土地资源；在土地利用发生变化的基础上，再进行水资源量变化计算；依此循环，经过多次迭代得到大系统的最优解。采用多级递阶结构的分解协调方法，把大系统划分成相对独立的2个子系统，如图1所示。

图1 两级结构分解协调示意图

2.1 水资源优化配置模型

目前国内外水资源配置理论和方法研究取得了很多有价值的成果[2]。本研究主要从水量角度对水资源在各类用户间进行优化分配。首先对实际水资源系统进行抽象和概念化，并绘制系统网络图。水资源系统中各类物理元素（如，水库工程、拦河闸、引水工程或扬水站、水资源计算单元、河渠道交汇点等）概化为节点，各节点间通过线段（如，河道或渠道等）连接形成水资源系统概化网络图。句容市各乡镇内都分布有小型水库和塘坝，是各乡镇区首要水源；6座中型水库，作为各乡镇区的后备水源。从用水角度出发，把句容市划分为10个片区。水资源的合理配置是针对水资源短缺和用水的竞争性提出来的，因此水资源合理配置的目标是使区域的经济与环境协调地发展。根据上述思路以及句容市水资源利用现状，确定目标函数为整个系统相对缺水率最小：

$$R = \min \sum_i \sum_t \left(\frac{D_{it} - Q_{it}}{D_{it}} \right)^2 \tag{1}$$

式中 R 为相对缺水率，%；D_{it} 为 i 片区 t 时段的需水量，万 m^3；Q_{it} 为 i 片区 t 时段的供水量，万 m^3。

对于整个供水系统，有以下几个方面的约束：

1）水库库容的约束

$$\begin{cases} V_t = V_{t-1} + I_t - Q_t \\ V_{\min} \le V \le V_{\max} \end{cases} \tag{2}$$

式中 V_t 为 t 时段末的库容，万 m^3；V_{t-1} 为上一时段末的库容，万 m^3；I_t 为 t 时段该水库的来水量，万 m^3；Q_t 为 t 时段该水库供水量，万 m^3；$V_{\min}$ 为水库死库容，万 m^3；$V_{\max}$ 为兴利库容，万 m^3。

2）供水量约束

$$Q_{it} \le D_{it} \tag{3}$$

式中 Q_{it} 为 t 时段水库向 i 片区供水量，万 m^3；D_{it} 为 i 片区 t 时段的需水量，万 m^3。

3）供水能力约束

$$q_t \le C_t \tag{4}$$

式中 q_t 为水厂 t 时段供水量，万 m^3；C_t 为水厂 t 时段供水能力，万 m^3。

4）非负约束

$$Q_{it} \ge 0 \tag{5}$$

2.2 农业种植结构调整模型

一个多种作物最优结构调整模型的建立，能为农作物的合理布局和水资源优化配置提供科学依据，从而在取得最大经济效益的同时，利于生态环境的保持与发展[3]。

模型以各作物种植面积 X_j（j 代表作物，其中1为水稻，2为小麦，3为玉米，4为薯类，5为大豆，6为油菜，7为棉花，8为蔬菜瓜类）作为决策变量，以所有作物取得的经济效益最大为目标：

$$\max Z = \sum_{j=1}^{8} (P_j B_j - C_j - S_j) X_j \tag{6}$$

式中 Z 为经济效益，万元；P_j 为 j 作物产品单价，元/kg；B_j 为 j 作物单位面积产量，kg/万 m^2；C_j 为 j 作物单位面积耕种成本（包括种子、化肥、农药、人力等），元/万 m^2；S_j 为 j 作物单位面积灌水费用，元/万 m^2；X_j 为 j 作物种植面积，万 m^2。

约束条件反映资源对生产活动的限制、社会需求限制、农业生产内部客观规律限制、社会经济条件限制等。

1）土地资源约束

$$\sum_j X_j \le L_{\max} \tag{7}$$

式中 $L_{\max}$ 为规划可用耕地面积，万 m^2

2）水资源约束

$$\sum_j m_j X_j \le W \tag{8}$$

式中 m_j 为 j 作物灌溉定额，m^3/万 m^2；W 为农业供水量，万 m^3。

3）人均粮食产量约束

$$\frac{\sum_i B_i X_i}{P} \ge b \tag{9}$$

式中 B_i 为粮食作物单产，kg/万 m^2；X_i 为粮食作物种植面积，万 m^2；P 为区域总人口数，万人；b 为人均粮食产量，kg/人。

4）作物种植面积、比例约束

此项为政策性约束，如粮经种植比例。由于国家对小麦实行“保护价”政策，区域缩油扩麦趋势渐现。基于居民生活对蔬菜需求的考虑，蔬菜种植略有增加。

5）变量非负约束

$$X_j \geqslant 0 \tag{10}$$

3 结果及分析

根据句容市水资源优化配置计算得：中等干旱年 $P=75\%$，特殊干旱年 $P=95\%$，各片区水资源配置结果见表1。

表1　水资源配置结果　万 m^3

片区	类别	中等干旱年		特殊干旱年
		2005	2010	2010
边城	需水	2 269.2	2 177.5	2 348.2
	供水	2 242.0	2 177.5	2 247.2
白兔	需水	3 252.0	3 081.8	3 334.3
	供水	3 155.9	3 081.8	3 060.9
黄梅	需水	3 036.3	2 885.6	3 117.4
	供水	3 036.3	2 885.6	3 110.7
华阳开发区	需水	3 742.5	3 829.0	4 065.9
	供水	3 742.5	3 829.0	3 737.9
后白	需水	4 348.2	4 100.5	4 432.7
	供水	4 348.2	4 100.5	3 800.6
茅山	需水	3 703.1	3 546.8	3 834.8
	供水	3 703.1	3 546.8	3 353.1
下蜀	需水	1 815.7	1 752.9	1 881.4
	供水	1 815.7	1 752.9	1 881.4
宝华	需水	1 126.2	1 109.8	1 190.0
	供水	1 126.2	1 109.8	1 185.4
郭庄	需水	5 062.8	4 768.8	5 163.4
	供水	5 062.8	4 768.8	4 681.5
天王	需水	4 256.3	4 050.5	4 374.6
	供水	4 256.3	4 050.5	3 886.5

由配置结果可知，区域现状年在中等干旱年份，除边城镇和白兔镇的农业相对缺水率为1.34%和3.20%外，其他片区各时段需水均能满足。规划2010年中等干旱年份由于节水措施的推广等因素，总需水量较现状年减少3.87%，故2010年各片区内各部门每时段需水均能满足。规划2010年特殊干旱年份区域缺水2 797.6万 m^3，相对缺水率为8.07%。

由于供水设施规模的限制，远景规划年生活、工业需水不能得到满足。所以，为了满足需水要求，句容市要加强水利设施建设，提高供水能力。近年来，句容市对行政区划进行了合并，原有部分水厂的供水格局应该作出相应调整，以使各片区合理利用内部水资源。对种植结构调整模型采用二阶段单纯形求解[4]，结果见表2。

表2　种植结构调整结果　万 m^2

类别	2005年		2010年预测	
	实际情况	模型调整	中等干旱年	特殊干旱年
水稻	29 440.1	28 213.5	29 893.5	29 440.1
小麦	6 000.0	8 693.4	7 413.4	6 000.0
玉米	2 013.3	1 586.7	1 613.3	2 013.3
薯类	1 573.3	1 886.7	1 260.0	1 573.3
大豆	1 713.3	2 053.3	2 053.3	1 713.3
油菜	23 146.8	20 453.4	21 733.4	23 146.8
棉花	1 740.0	4 433.4	3 153.3	1 740.0
蔬菜瓜类	7 653.4	8 033.4	8 033.4	7 653.4
纯效益/万元	66 541.43	76 308.71	76 943.04	75 975.84

由2005年模型计算结果可知，由于受到水资源量的限制，水稻种植面积减少，而随着小麦单产的提高和保护价收购政策，缩油扩麦趋势明显。考虑到节水措施的实行、推广，2010年各作物需水定额减小，水稻面积较2005年有所增加。但是，特殊干旱年份农业供水量小，耗水量较大的水稻面积减小；出于增加粮食产量的约束，小麦要扩大种植面积，油菜面积相应减小；由于控制经济作物种植总面积，棉花面积将增大。今后，应大力发展节水农业，合理、高效地利用水土资源，兼顾生态效益。

4 结　语

水资源是土地资源发挥最大优势的基本条件，水资源利用合理与否，直接影响到土地资源的生产效率；而土地资源的利用程度也影响着水资源的变化，土地资源利用效率高，则为水资源的合理开发、利用创造条件。本研究以大系统优化理论为指导，建立了水土资源优化配置的大系统模型，提出了多级递阶结构的分解协调方法，进行了句容市水土资源优化配置，具有显著的经济、社会和生态效益。

参考文献(References)

[1] 高　凡. 关中地区水土资源可持续承载力及优化配置研究[D]. 西安：西北大学硕士学位论文，2005.

[2] 王　浩，王建华，秦大庸. 流域水资源合理配置的研究进展与发展方向[J]. 水科学进展，2004，15(1)：123－128.

[3] 李　霆，康绍忠，粟晓玲. 农作物优化灌溉制度及水资源分配模型的研究进展[J]. 西北农林科技大学学报：自然科学版，2005，33(12)：148－152.

[4] 魏国华，傅家良，周仲良. 实用运筹学[M]. 上海：复旦大学出版社，1987.

（责任编辑　赵　鸥）