

GAMS 在灌区水资源优化分配中的应用

布海力切木·阿布都热哈克尔, 吾买尔·吐尔逊 (新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要 水资源的短缺是全球性问题, 水资源优化分配是重要的农业节水措施, 是目前农业节水研究的重大课题之一。当水资源优化分配中未知量较多时, 传统的手工计算方法已不能满足需要, 必须用计算机模型来计算。GAMS 是国外应用较广的计算机语言, 能通过很简单的计算程序迅速求解线性规划、非线性规划、整数规划问题。通过 GAMS 语言, 建立了简单的灌区水资源分配模型, 求解了不同水库泄水条件下的各用户最优水量分配方式。

关键词 GAMS; 水资源; 灌区; 优化分配

中图分类号 S271 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)10-04556-03

The Application of GAMS Software in Water Resource Optimal Allocation

BUHAILIQEMU Abudurehakeer et al (College of Water Conservancy and Civil Engineering of Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052)

Abstract Water resource scarcity is a global issue. Water resource optimal allocation is one of the agricultural water saving measurement, is the important topic of the current irrigation water resource saving research. It is extremely hard or even impossible to calculate the optimal water allocation by hand when the problem includes many variables, so computer modeling is the only way to solve the problem. The GAMS is a very popular model at aboard, and suits for solving the linear, non-linear, and integer problems. Through a simple water allocation issue to introduce the GAMS model and its main characteristics, and don't modifying the entire model but only changing the amount of water released from reservoir to calculate the net benefit response to the different reservoir release.

Key words GAMS; Water resource; Irrigation district optimization; Allocation

水资源是人类社会一切生产生活的物质基础, 没有水资源就没有人类^[1-3]。在干旱、半干旱地区, 随着工农业生产的迅速发展, 各用水部门需水量急剧增长, 水资源供需矛盾更加突出。资源性缺水、工程性缺水、污染性缺水和水资源的不合理的调度方式导致经济效益降低, 生态环境恶化及其抵御自然灾害的能力降^[4]。在我国用水结构中, 农业用水约占 70% 以上, 但农业用水效率低, 农业节水潜力很大。目前, 国内外所采用的农业节水措施大体上可分为三大类, 即灌溉节水措施、农业节水措施、管理节水措施等^[5]。灌区优化分水属于管理节水措施范畴, 是一定水资源条件下将有限的水资源分配到各用水户, 使全灌区获得最大效益, 是目前节水农业研究的重大课题之一。

根据规划方法的不同, 灌区优化配水模型可分为线形规划模型、非线性规划模型、动态规划模型等。当目标函数或约束条件全是线性函数时, 就称线性规划问题, 否则称为非线性规划模型。动态规划虽然在水资源优化调度中应用较广泛, 但它不像线性规划那样有一个标准的数学表达式和明确定义的一组规则, 而必须对具体问题进行分析处理。因此, 除了要对基本概念和方法正确理解外, 应以丰富的想象力去建立模型, 用创造性的技巧去求解。因为水资源系统的复杂性导致所求的未知量数量增加, 不论采用何种方法, 掌握计算方法和求解手段是关键。GAMS (General Algebraic Modeling System, 通用代数建模系统) 是当前国际流行的数学规划问题的高层次模型系统^[6]。GAMS 作为运筹学软件之一, 在国外资源优化分配、水质管理、水库优化调度中应用广泛。笔者通过一个实例介绍 GAMS 软件在灌区水资源优化

分配中的应用。

1 GAMS 软件及其应用

GAMS 是一种面向应用的构造模型的高级计算机语言, 能为用户在模型、算法和数据之间提供一个便捷的接口。该系统主要包括集合、数据、模型、求解和输出 5 个部分, 利用这些语句再结合一些内部函数、基本参数设置及用户界面环境的糅合, 便可以构成一个完整的模型系统, 它为用户提供了模型和数据库直接交互^[7]。GAMS 是特别为建模线性、非线性和混合整数最优化问题而设计的^[8]。其主要特点有:

(1) GAMS 善于解决复杂问题。GAMS 对于处理大型的、复杂的、需要多次修订才能最终确定精确模型的独一无二的问题特别有帮助。GAMS 可以运行在个人计算机、工作站、大型机和超级计算机上。系统以高度简洁和自然的方式来建模问题。使用者能够快速和方便地更改公式, 能从一个求解器转到另一个, 甚至稍加费心就能从线性转换到非线性。

(2) 使用者可以把精力集中到建模上。通过排除考虑纯技术上的机器特定的问题的需要, 比如地址计算、存储分配、子程序链接、输入输出和流程控制, GAMS 增加了用于概念化和运行模型、分析结果的时间。GAMS 本身构建了良好的建模习惯, 通过请求简明而精确的实体和关系的规范, GAMS 语言形式上和通常使用的编程语言相似, 因此对于那些有编程经验的使用者将非常熟悉。

(3) 使用 GAMS, 数据仅仅需要一次就能在熟悉的列表和表格形式中输入。模型以简练的代数声明来描述, 对于人和机器都很容易读懂。非常相关的约束的整个集合都被输入到一个声明中, GAMS 自动生成每个约束等式, 并让使用者处理例外情况, 假使那里一般来说是不需要的。在模型中的声明能够被重用, 而不需要更改代数式。

作者简介 布海力切木·阿布都热哈克尔(1978-), 女, 维吾尔族, 新疆乌鲁木齐人, 讲师, 硕士, 从事水资源优化配置模型研究, E-mail: 8402729@163.com。

收稿日期 2013-03-07

(4)GAMS 是灵活而强大的。模型可以非常方便的从一个计算机平台移到另外一个,只要 GAMS 已经在每个平台被安装好。GAMS 很容易进行敏感度分析。使用者能够方便地规划模型来求解一个成分的不同值,然后生成一个输出报告,列出了每种情况的解决方案特征。模型能够同时被开发和文档化,因为 GAMS 允许使用者包含解释性的文本作为任意符号和等式的定义和解释。

(5)当其他的实例是相同的或出现了相关问题,错误的位置和类型会在尝试解决方案前被查明。

2 水资源优化分配实例

水资源优化分配的重要性体现在以最小的投入获得最大的收益,许多实际问题都是用非线性规划的方法进行优化,水量分配问题就是其中一例。水量分配问题是讨论将有限的水资源合理地分配到几个用水部门,以期得到最大的经济效益,现举一实例说明。某灌区从某水库引水,引水渠灌溉期最大引水量为 18 万 m³,通过 6 个引水闸供给用水户(图 1),每个用户的用水量与增产效益关系如图 2 所示。如该年为枯水年,最多能引 10 万 m³,应如何分配这些水量,才能得到最大的收益? 分析不同水库泄水量对灌区净效益的影响? 由图 2 可知,用户用水量与净效益服从二次表达式 $z(x_i) = a_i x_i - b_i x_i^2$ 。因此,该问题是非线性规划问题,目标函数和约束条件可写成以下形式:

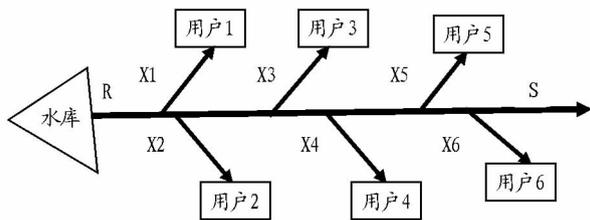


图 1 灌区布置图

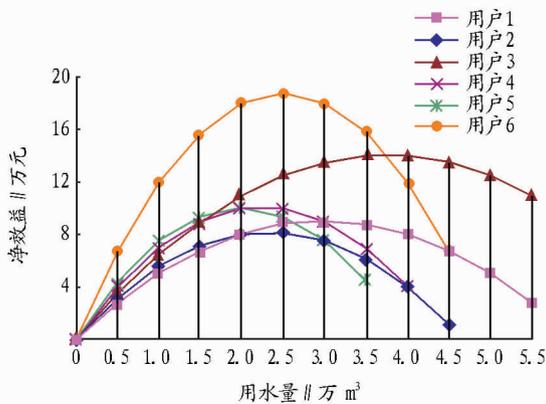


图 2 灌区用水量及净效益关系曲线

目标函数: $Maximize \quad z = \sum_{i=1}^6 (a_i x_i - b_i x_i^2)$

约束条件: $\sum_{i=1}^6 x_i + S - R = 0$

- $x_i \geq 0$
- $S \geq 2$
- $R \leq 10$

其中, z 为灌区净效益,是 x_i 的函数。 a_i, b_i 为常数, x_i 为分配

给第 i 用户的水量(万 m³), S 为下游最小需水要求(2 万 m³), R 为上游水库泄水量(10 万 m³)。

以上问题的 GAMS 模型如下:

```

----- GAMS Model -----
SETS i /1,2,3,4,5,6/; 集合,即分别为 6 个用户
SCALAR R RELEASE /10.0/; 水库下泄水量(10 万 m³)
PARAMETER 参数
a(i) /1 6.0, 2 7.0, 3 7.5, 4 9.0, 5 10.0, 6 15.0/ 常数
a(i)赋值
b(i) /1 -1.0, 2 -1.5, 3 -1.0, 4 -2.0, 5 -2.5, 6 -3.0/; 常数 b(i)赋值
VARIABLES obj OBJECTIVE; obj 为变量
POSITIVE VARIABLES 非负变量
x(i) USE, 用户分水量
s DOWNSTREAM FLOW; 河道流量
S.lo = 2.0; 河道最小流量要求,下限为 2 万 m³。
EQUATIONS objective, cap; 方程 objective, cap
objective.. obj = E = SUM(i, a(i) * x(i) + b(i) * x(i) * * 2); 目标函数
cap.. sum(i, x(i)) + s - r = E = 0.0; 河段水量平衡
方程
MODEL user /ALL/ ; 模型
SOLVE user USING NLP MAXIMIZE obj ; 用非线性规划求解
FILE res /WaterUser.txt/ 输出结果保存为 WaterUser.txt 文件
PUT res 输出
PUT 'RELEASE ', PUT r, PUT ' DOWNSTREAM FLOW ', PUT s.l, PUT OBJECTIVE ', PUT obj.l / 输出
PUT 'i x(i) ' PUT / 输出 i x(i) 万 m³并换行
loop( (i), PUT i.TL, PUT x.l(i), PUT /) 换行输出循环变量 i 所对应的 x(i) 的值
PUT /, 'd(obj)/dr( = ', PUT cap.m, 边际效益(万元/万 m³)
-----
-----
模型以文本文件的格式输出:
release 10.00 down stream flow 2.00 Objective 54.37
i      x(i)
1      0.99
2      0.99
3      1.74
4      1.25
5      1.20
6      1.83
d(obj)/dr = 4.02
    
```

当用水用户较多时,计算水资源的最佳分配量用手工计

算很难,必用计算机进行计算,这样不但提高计算速度,而且还可提高计算精度。从以上计算中可知,当水库下泄流量为 10万 m^3 时,可得到54.37万元净效益,此时边际价值为4.02万元/ 万 m^3 ,也就是说当加大水库泄水量时,灌区效益随着增加。不改变其他语句,只改变计算程序第2行水库下泄流

量值,很容易得到不同水库泄水流量所对应的灌区净效益(表1)。表1表明,灌区用水量从 10万 m^3 增加到 14万 m^3 时,单位用水量所产生的灌区净效益急剧增加;当引水量为 14万 m^3 以上,灌区净效益仍然增加,但不明显;当引水量增加到 18万 m^3 时,净效益最大。

表1 水库不同泄水条件下各用户的用水情况、净效益、边际效益

水库泄水量 R 万 m^3	分配水量//万 m^3						河道下泄水量 万 m^3	最大效益 万元	边际效益 万元/万 m^3
	用户 1	用户 2	用户 3	用户 4	用户 5	用户 6			
10	0.99	0.99	1.74	1.25	1.20	1.83	2.00	54.37	4.02
12	1.50	1.34	2.25	1.50	1.40	2.00	2.00	61.38	2.99
14	2.02	1.68	2.77	1.76	1.61	2.17	2.00	66.34	1.97
16	2.53	2.02	3.28	2.01	1.81	2.34	2.00	69.24	0.94
18	3.00	2.33	3.75	2.25	2.00	2.50	2.17	70.10	0
20	3.00	2.33	3.75	2.25	2.00	2.50	4.17	70.10	0

3 结语

该模型是简单的灌区水资源优化分配模型,是枯水期将有限的灌溉水量科学、合理地分配给每个用户,以获得更大的经济效益。因为用水量和灌区作物净效益不是简单的线性关系,因此用传统的手工计算已不能满足需要,必须掌握高级编程语言来求解资源的最佳分配方式。GAMS 是在国外应用较广,可操作性强,输入格式很方便的计算软件,因此研究者不用把全精力放在编程上。GAMS 除能求解水资源的最佳分配量外,还可将它运用到灌区作物结构优化、拟定最佳灌溉方式、多目标水库优化调度、水质管理等方面。该研究合理利用有效水资源,将有限的水量在用户间进行优化配置,以获取更大的效益,对指导农业生产,实现流域农业可持续发展及早区水资源的可持续利用具有重要的科学意义。

参考文献

- [1] 陈传友,王春元. 水资源与可持续发展[M]. 北京:中国科学技术出版社,1999.
- [2] BAN X X, WANG J H, HU W, et al. Analysis on the contribution of artificial precipitation enhancement amount to annual water resources in Liaoning[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(10): 69-70, 100.
- [3] WANG H, BAN X X, ZHANG Y S, et al. Ecological significance of developing cloud water resource in Liaoning Province[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(8): 80-83.
- [4] 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[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2005, 33(12): 148-152.
- [5] 张啸尘,饶碧玉,熊耀湘. 灌区优化配水研究进展[J]. 水利科技与经济, 2005, 11(7): 415-417.
- [6] BROOKE A, KENDRICK D, MEERAUS A, et al. GAMS A Users Guide[M]. Washington DC: GAMS Development Corporation, 1998.
- [7] 鲍卫锋,黄介生,杨芳,等. 基于多目标动态规划模型的水库优化调度研究[J]. 西安理工大学学报, 2005, 21(4): 421-424.
- [8] MCKINNEY D C, SAVITSKY A G. Basic optimization models for water and energy management[R]. 1999.
- [9] NORGAARD R B. Ecosystem services: From eye-opening metaphor to complexity blinder[J]. Ecological Economics, 2010, 69: 1219-1227.
- [10] KOSOY N, CORBERA E. Payments for ecosystem services as commodity fetishism[J]. Ecological Economics, 2010, 69: 1228-1236.
- [11] FISHER B, KULINDWA K, MWANYOKA I, et al. Common pool resource management and PES: Lessons and constraints for water PES in Tanzania[J]. Ecological Economics, 2010, 69: 1253-1261.
- [12] COASE R H. Problem of Social Cost[J]. The Journal of Law & Economics, 1960, 3: 1.
- [13] GUSTAVSSON L, KARJALAINEN T, MARLAND G, et al. Project-based greenhouse-gas accounting: Guiding principles with a focus on baselines and additionality[J]. Energy Policy, 2000, 28: 935-946.
- [14] SOMMERVILLE M M, JONES J P G, MILNER-GULLAND E J. A revised conceptual framework for payments for environmental services[J]. Ecology and Society, 2009, 14(2): 34.
- [15] PATTANAYAK S K, WUNDER S, FERRARO P J. Show me the money: Do payments supply environmental services in developing countries? [J]. Review of Environmental Economics and Policy, 2010, 4: 254-274.
- [16] PAGIOLA S, ARCENAS A, PLATAIS G. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America[J]. World Development, 2005, 33: 237-253.
- [17] PASCUAL U, MURADIAN R, RODRIGUEZ L C, et al. Exploring the links between equity and efficiency in payments for environmental services: A conceptual approach[J]. Ecological Economics, 2010, 69: 1237-1244.

(上接第4555页)

源使用的公平分配。因此,市场的运作应该通过有效的措施来保证资源的公平性和服务的持续性。

参考文献

- [1] USAID E S. Sourcebook: Lessons and best practices for pro-poor payment for ecosystem services[R]. 2007.
- [2] ENGEL S, PAGIOLA S, WUNDER S. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues[J]. Ecological Economics, 2008, 65: 663-674.
- [3] FARLEY J, COSTANZA R. Payments for ecosystem services: From local to global[J]. Ecological Economics, 2010, 69: 2060-2068.
- [4] MURADIAN R, CORBERA E, PASCUAL U, et al. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services[J]. Ecological Economics, 2010, 69: 1202-1208.
- [5] BULTE E H, LIPPER L, STRINGER R, et al. Payments for ecosystem services and poverty reduction: Concepts, issues, and empirical perspectives[J]. Environment and Development Economics, 2008, 13: 245.
- [6] MCCAULEY D J. Selling out on nature[J]. Nature, 2006, 443: 27.
- [7] WUNDER S. Payments for environmental services: Some nuts and bolts[M]. CIFOR Bogor, 2005.
- [8] VATN A. An institutional analysis of payments for environmental services[J]. Ecological Economics, 2010, 69: 1245-1252.