第24卷第5期
2013年 10月

水资源与水工程学报
Journal of Water Resources & Water Engineering

Vol. 24 No. 5
Oct. ,2013

随机性存储模型在水量调度中的应用研究

韩 春[1], 王 振[1], 高祀敏[2], 王延梅[1]

(1. 山东大学 土建与水利学院, 山东 济南 250061; 2. 青岛胶州水利勘测设计院, 山东 青岛 266300)

摘 要:为了节约用水,减少费用,提高经济效益,本文以运筹学理论为基础,将连续型的随机性存储模型应用到水量调度中,对水库水量的存储进行优化,使水资源得到充分的利用。结果表明:此模型在水量调度中的应用是适合的,通过计算得到调水量 Q 值并加以限定,使水量损失的期望值最小。该研究可为水库的水量调度、生产性企业存储水量、各用水户用水分配上提供参考。

关键词:随机性存储模型; 水资源; 调度; 有效利用; 优化

中图分类号:TV697.11 **文献标识码**:A **文章编号**:1672-643X(2013)05-0128-03

Application of stochastic storage model in water dispatching

HAN Chun[1], WANG Zhen[1], GAO Simin[2], WANG Yanmei[1]

(1. *School of Civil and Hydraulic Engineering*, *Shandong University*, *Jinan* 250061, *China*;
2. *Qingdao Jiaozhou Survey and Design Institute of Water Conservancy*, *Qingdao* 266300, *China*)

Abstract: In order to save water, reduce expense and improve economic benefit, based on operations research theory, the paper applied continuous random storage model to water dispatching so as to optimize the storage of reservoir water and make full use of water. The analysis of example indicated that this model is reasonable in application of water dispatching system. The value of Q is gotten by calculating and limiting, the expectation of water loss is the minimum. The results can provide reference for the water dispatching of reservoir, the water storage of productive enterprise and the allocation of every water user.

Key words: stochastic inventory model; water resources; dispatch; effective utilization; optimization

1 存储问题的提出

人们在生产和日常生活中往往将所需物资、用品和食物等暂时地存储起来,以备使用和消费。作为一种解决供应与需求不协调的措施,这种不协调通常表现在供应量与需求量、供应时期与需求时期。人们在供应与需求这两环节之间加入储存这一环节,就起到了缓解供应与需求的不协调,以此为研究对象,利用运筹学的方法去解决最合理、最经济的储存问题[1]。

水库库存量、供应速度会影响到经济发展与社会进步,目前水库的调水[2]一般采用定期定量的供应方式。这种方式会产生这样的后果:①当供不应求的时候,会造成经济损失,影响着生态生产的正常进行。②当库存量过大时,会造成水库的管理损失,也可能因为水位的逐渐增长造成水坝坍塌,引起更大的损失。由于社会发展难免伴随着环境污染[3],环境污染会使水资源水质受到较大影响,进而造成可利用的水资源逐渐减少,节约用水、高效率用水的意识需要不断加强。

2 随机性存储模型的建立

近几年存储论模型在物流管理[4]、商品的供应中得到了广泛的应用。张道宏[5]将多周期随机性存储模型应用在库存管理上,借助动态规划理论对库存控制方法进行了研究。余庆无[6]针对企业存货管理中涉及随机性存储问题进行了研究,并且结合计算机技术模拟得到了最佳存储值。

根据对文献[7-8]的理解,建立数学模型来模拟水库水量调度。

根据用户的用水情况建立 (s,S) 型存储策略,它具有的主要特点是:① 需求为连续型随机变量,分布规律可以通过历时统计资料得出。② 供水时间是随机变量。

(s,S) 随机性模型的基本假设:① 水库的初始库存为 $I(\mathrm{m}^3)$(相当于水库的死水位),调水量为

收稿日期:2013-04-21; **修回日期**:2013-06-17
作者简介:韩 春(1987-),女,吉林长春人,硕士研究生,主要从事水资源规划等方面的研究。

$Q(\mathrm{m}^3)$,单位水价为 K(元),单位水量管理费用为 C_1(元),缺水损失为 C_2(元)(渗漏、蒸发等水量的损失),调水费用为 C_3(元),需求 r 是连续的随机变量,密度函数为 $\varphi(r)$,$\int_0^{\infty}\varphi(r)\mathrm{d}r = 1$,分布函数 $F(S) = \int_0^S \varphi(r)\mathrm{d}r,(S > 0)$,此时期水量存储达到 $S = I + Q$,那么 Q 将如何确定呢?

解决方法:初始库存 $I(\mathrm{m}^3)$ 为已知量,调水量为 $Q(\mathrm{m}^3)$,则期初存储达到 $S = I + Q$。本阶段需要调水费用为 $C_3 + KQ$,本阶段需付存储费用的期望值为 $\int_0^{I+Q=S} C_1(S-r)\phi(r)\mathrm{d}r$,需付缺货费用的期望值为 $\int_{S=I+Q}^{0} C_2(r-S)\phi(r)\mathrm{d}r$,本阶段所需所有费用期望值之和:

$$
\begin{aligned}
C(I+Q) &= C(S) \\
&= C_3 + KQ + \int_0^S C_1(S-r)\phi(r)\mathrm{d}r + \\
&\quad \int_S^{\infty} C_2(r-S)\phi(r)\mathrm{d}r \\
&= C_3 + K(S-I) + \int_0^S C_1(S-r)\phi(r)\mathrm{d}r + \\
&\quad \int_S^{\infty} C_2(r-S)\phi(r)\mathrm{d}r
\end{aligned}
\tag{1}
$$

Q 可以是连续值,$C(S)$ 是 S 的连续函数。

$$\frac{\mathrm{d}C(S)}{\mathrm{d}S} = K + C_1\int_0^S \phi(r)\mathrm{d}r - C_2\int_S^{\infty} C_2\phi(r)\mathrm{d}r \tag{2}$$

令 $\frac{\mathrm{d}C(S)}{\mathrm{d}S} = 0$,有 $F(S) = \int_0^S \phi(r)\mathrm{d}r = \frac{C_2 - K}{C_1 + C_2}$,$\frac{C_2 - K}{C_1 + C_2}$ 严格小于 1,称为临界值,以 N 表示:$\frac{C_2 - K}{C_1 + C_2} = N$。为得出本阶段的存储策略:由 $\int_0^S \phi(r)\mathrm{d}r = N$,确定 S 的值。调水量 $Q = S - I$。本模型中有调水费用 C_3(元),如果本阶段不调水可以节省费用 C_3(元),因此设想存在一个数值 $s(s < S)$ 使下面不等式成立:

$$
\begin{aligned}
& Ks + C_1\int_0^s (s-r)\phi(r)\mathrm{d}r + C_2\int_s^{\infty}(r-s)\phi(r)\mathrm{d}r \\
& \leqslant C_3 + KS + C_1\int_0^S (S-r)\phi(r)\mathrm{d}r + \\
& C_2\int_0^{\infty}(r-S)\phi(r)\mathrm{d}r
\end{aligned}
\tag{3}
$$

当 $s = S$ 时,不等式显然成立。当 $s < S$ 时,不等式右端存储费用期望值大于左端存储费用值,右端缺水损失费用期望值小于左端缺水损失费用值;一增一减后仍然使等式成立的可能性是存在的。若使下列不等式成立的 s 值不只一个,则选择其中最小者作为本模型 (s,S) 存储策略的 s。

$$
\begin{aligned}
& C_3 + K(S-s) + C_1\left[\int_0^S (S-r)\phi(r)\mathrm{d}r - \right. \\
& \left.\int_0^s (s-r)\phi(r)\mathrm{d}r\right] + C_2\left[\int_S^{\infty}(r-S)\phi(r)\mathrm{d}r - \right. \\
& \left.\int_S^{\infty}(r-s)\phi(r)\mathrm{d}r\right] \geqslant 0
\end{aligned}
\tag{4}
$$

相应的存储策略是:每阶段初期检查存储,当 $I < s$ 时,需要调水,调水水量为 Q,$Q = S - I$。当库存 $I \geqslant s$ 时,本阶段不调水。这种存储策略是:定期的调水但是调水水量不确定。调水水量的多少视期末库存 I 来决定调水水量 $Q(\mathrm{m}^3)$,$Q = S - I$。为了明细水量的多少,可以分两部分蓄存,分隔开来,一部分为 s,其余的为另一部分。平时用另一部分水,当动用了 s 时,期末需要调水。如果未动用 s 时,末期不需要调水,俗称两堆法。其中 s 这部分水是流动的、有更新的。

3　算例分析

某水库在某季度的初始库存 $I = 500\ \mathrm{m}^3$,调水费用 $C_3 = 500$ 元,缺水损失费用 $C_2 = 100$ 元,管理费用 $C_1 = 50$ 元,单位水价 $K = 5$ 元,为了节约费用,有效利用资源,从历史记录分析需求量服从均匀分布[9]。

$$f(r) = \begin{cases} \frac{1}{100} & 800 \leqslant r \leqslant 900 \\ 0 & \text{其他 } r \end{cases} \tag{5}$$

(1) 计算 S 值。

$$\frac{C_2 - K}{C_2 + C_1} = \frac{100 - 5}{100 + 50} = 0.63 \tag{6}$$

$$F(S) = \int_{800}^S \phi(r)\mathrm{d}r + \int_{800}^S \frac{1}{100}\mathrm{d}r = \frac{S}{100} - 8 \tag{7}$$

根据模型 (s,S),S 应该满足等式 $F(S) = \frac{C_2 - K}{C_2 + C_1}$,所以 $\frac{S}{100} - 8 = 0.63$,$S = 863$。

(2) 计算 s 值。

$$
\begin{aligned}
C(s) &= \int_S^{900} C_2(r-s)\phi(r)\mathrm{d}r + \\
&\quad \int_{800}^S C_1(s-r)\phi(r)\mathrm{d}r \\
&= \int_S^{900} 100(r-s)\frac{1}{100}\mathrm{d}r + \int_{800}^S 50(s-r)\frac{1}{100}\mathrm{d}r \\
&= 0.75s^2 - 1300s + 565000
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
C(863) &= \int_{863}^{900} 100(r-S)\frac{1}{100}\mathrm{d}r + \\
&\quad \int_{800}^{863} 50(S-r)\frac{1}{100}\mathrm{d}r = 1676.75
\end{aligned}
\tag{8}
$$

$$C_3 + C(s) = 500 + 1676.75 = 2176.75 \tag{9}$$

根据公式:$C(s) = C(S) + C_3$有:

$$0.75s^2 - 1300s + 565\,000 = 2176.75 \quad (10)$$

解方程得:$s_1 = 840.5877\ m^3$, $s_2 = 892.7456\ m^3$。

该水库的最佳存储决策是:① 根据模型中的约束条件 $s < S$,有 $s_2 < S$,故 s_2 舍去。② 当初始库存 $I < 840.5877$ 时,则需要调水,调水量为 $Q = 863 - I$;③ 当初始库存 $I \geq 840.5877$ 时,则不需要调水。

4 结 语

本文利用(s,S)随机性存储模型在水量分配中的应用进行了讨论,根据此算例知:

(1)(s,S)型存储模型是通过建立存储策略期望费用方程,求解期望费用的极小值,来确定最佳调水量 Q 和存储策略 s。当库存量高于策略 s 值时,就无需对水库蓄水;当库存量低于 s 值时,则需要蓄水且蓄水量为 Q;以此策略可方便、节约地进行调水,减少不必要的水量损失,可以较好的安排调水时间和调水量决策,进而减少经济损失。

(2)此策略可以很好地解决以下问题,根据随机理论知:河道断流、土地荒漠化等情况都可能会出现,通过随机性存储模型计算,部分水库或者生产性企业可以有计划地调水,以备使用,使生活生产正常有序的进行。该研究方法可以实现生产性企业、小型水库的库存优化与成本节约,具有一定的应用价值。

(3)(s,S)存储模型的核心是每个阶段初进行检查存储,根据条件限制判断此阶段是否进行存储。因为水与其他物质不同,每个阶段都要使用一定量的水,需要及时进行补充,根据算例验证此模型在水量调度中是适用的。

(4)本文算例较为简单,考虑因素还不够全面。文中只对模型进行了初步应用,能否用于更为复杂的工程实例还需要进一步进行验证。理想值与实际值会有一定的偏差,如何使偏差最小,对水量的需求分布测定也需要一定的方法,需要进一步探讨。

参考文献:

[1] 运筹学教材编写组. 运筹学[M]. 北京:清华大学出版社,2009:345 - 372.

[2] 付春兰,李庆银,王庆斌,等. 小浪底水库调水调沙对黄河下游河道冲淤的影响分析[J]. 水资源与水工程学报,2012, 23(5):173 - 175.

[3] 冯思静,王道涵,王延松. 水环境污染控制经济学方法研究进展[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(1):19 - 25.

[4] 陶 宇. 中小企业物流管理的现状及思考[J]. 企业经济,2011(1):58 - 60.

[5] 张道宏. 多周期随机性库存控制模型与方法[J]. 西安理工大学学报,1994,10(2):134 - 139.

[6] 余兴无. 随机性存储模型与计算机模拟[J]. 安庆师范学院学报(自然科学版),2002,8(1):13 - 15.

[7] 汪 涛,朱 红,李传昭,等. 存储模型在军用油料储备中的应用[J]. 工业工程与管理,2004,9(5):119 - 122.

[8] 张维全,张 莉. 最优控制理论在企业生产库存管理系统中的应用[J]. 工业技术经济,1999,18(3):41 - 47.

[9] 张宝生. 运筹学——经营管理决策数量方法[M]. 第二版. 北京:石油工业出版社,2010:188 - 203.

(上接第 127 页)

(5)依据 M - K 突变检验法对降水量进行突变分析,对于全年的降水量,在 1964 和 2005 年共发生两次突变;而春季降水量在 1992 年发生突变,夏季降水量在 1967 和 2004 年发生突变,秋季降水量在 1965 年发生突变,冬季降水在 1970 年发生突变。

参考文献:

[1] 苏布达,姜 彤,施雅风,等. 1990s 长江流域降水趋势分析[J]. 湖泊科学,2003,15(Z1):38 - 48.

[2] 王群英,龚道益. 华北降水资源的变化及其与厄尔尼诺的关系[J]. 自然资源学报,1999,14 (2):103 — 108.

[3] 周维博,李云排,舒媛媛,等,等. 延安市水中长期供求规划[R]. 西安:长安大学,2013 - 04.

[4]朱业玉,顾力龙,工记芳,等. 河南省汛期极端降水事件分析[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(5):495 - 499.

[5] 汤奇成,程天义,李秀云. 中国河川月径流的集中度和集中期的初步研究[J]. 地理学报,1982,37(4):383 - 393.

[6] 杨远东. 河川径流年内分配的计算方法[J]. 地理学报,1984,39(2):218 — 227.

[7]冯国章,李 瑛,李佩成. 河川径流年内分配不均匀性的量化研究[J]. 西北农业大学学报,2000,28(2):50 - 53.

[8] 张录军,钱永甫. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究[J]. 地球物理学报,2004,47(4):622 - 630.

[9] 王文圣,丁 晶,金菊良. 随机水文学[M]. 第二版. 北京:中国水利水电出版社,2008:34 - 35.

[10] Kendall M G, Rank Correlation Methods[M]. London, Griffin,1975.

[11] 刘叶玲,翟晓丽,郑爱勤. 关中盆地降水量变化趋势的 Mann - Kendall 分析[J]. 人民黄河,2012,34(2):28 - 30 + 33.