

基于多模糊参量的水量最优调度决策模型研究

李鹏程, 韩 春, 王月敏, 王甲荣

(山东大学 土建与水利学院, 山东 济南 250061)

摘 要: 为使水资源得到合理利用,减少不必要的经济损失,本文以模糊理论及运筹学理论为基础,并利用梯形模糊理论重心法对模糊参量进行去模糊化,构建了基于多模糊参量的水量最优调度决策模型。研究表明:该模型对济南市分水岭水厂水量调度进行应用是可行的。通过对调水订购费 W 及需水量 M 的去模糊化,使调水总费用期望值最小,得到了更加合理的调水周期及调水量。该成果可为水库调水、生产性企业用水、自来水厂供水、油库存贮等提供参考与借鉴。

关键词: 水量最优调度决策模型; 梯形模糊理论; 水资源调度

中图分类号:TV697.11

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2015)05-0100-04

Research on optimal scheduling decision model of water based on fuzzy multi-parameters

LI Pengcheng, HAN Chun, WANG Yuemin, WANG Jiarong

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: In order to reasonably use water resources and reduce unnecessary economic loss, this paper based on fuzzy theory and operational research theory, and established an optimal scheduling decision model based on fuzzy multi-parameters. The result shows that the decision model is feasible for water dispatch in the Fenshuiling waterworks of Jinan City. Through defuzzifying subscription fees W of water diversion and water requirement M it obtains minimum expected total cost and more reasonable cycle and volume of water diversion. The model can provide a reference for reservoir diversion, water use of productive enterprises, the water supply of waterworks and storage of oil depot etc.

Key words: water optimal scheduling decision model; trapezoidal fuzzy theory; water resources dispatch

水库的水量调度问题直接关系到国民的经济财产安全和社会的稳定与发展,而目前水库水量调度经常出现供过于求,或是供不应求的现象,这样容易出现的后果是:当水量供过于求时,会增加水库的管理成本,同时增加水库的渗漏损失;当水量供不应求时,会引起灌溉用水短缺、农业减产以及城市供水不足。因此需要对水库的水量调度周期及调水量构建更加科学合理的计算模型和计算方法,节约用水,减少社会财产损失^[1]。存储论也称库存论,是研究物资最优存储策略及存储控制的理论,随着生产的发展、企业库存物资的增加以及库存范围的扩大,人们越来越认识到存储问题的重要性。存储论的应用已经推广到除存储、采购和订货等较典型的存储问题以外的更加广泛的领域^[2]。一个好的存贮策略,既

可以使总费用小,又可以避免因缺货影响生产^[3]。

近年来存储模型在商品供给以及物流等诸多领域得到了广泛应用。韩春等^[4]结合随机存储模型对水库的调度进行了初步探讨,代颖等^[5]对连续盘点(Q, r)库存模型在库存管理上,结合模糊数学理论进行了研究,沈维蕾等^[6]针对企业存货管理中涉及连续性盘点库存问题进行了研究,并且结合计算机技术模拟得到了最佳存储值。通过对文献[1, 5-7]的理解,构建数学模型对水库水量调度进行模拟。

1 数学模型的建立

1.1 调水问题费用的特殊性

水库存储模型涉及的费用主要包括调水费、存

储管理费和缺水损失费等。在水库的调水、存储及管理的过程中主要考虑以下两方面因素:由于季节及阶段平均降雨强度的变化、引调水的来源、自然和人等为因素都可能会对水库的调水费用产生直接影响;用户用水的需求量、自然或社会因素引起的突发状况、水库缺水(渗漏、蒸发等水量的损失)也可能导致水库的调水量和管理、存储费用的不同。

本文针对不确定的模糊环境下,不仅调水订购费是模糊的,需求量、存储费等因素也是模糊的,考虑调水、存储综合成本及多种模糊条件下水库的调水量和调水周期的确定。

1.2 最优调水模型的建立与求解

根据水量的需求具有模糊和随机的特性,以及定期调水的需求,采用基于三角形模糊数的水量最优调度决策模型。模型的基本假设如下:各变量可以用模糊数(由历史数据,实时数据科学计算求得)表示;采用 T-循环策略调水。

1.2.1 调水费的模糊值 定义变量 W 为周期 T 时段内调水的订购费(差旅、手续等杂费),其中 $W = (W_1, W_2, W_3, W_4)$: W_1 为最小订购费, W_2, W_3 为接近于正常的订购费, W_4 为最大订购费。若调水的订购费可用梯形模糊数 $W = (W_1, W_2, W_3, W_4)$ 表示,则其隶属函数表示为:

$$\mu_w(x) = \begin{cases} 0, & x \in [0, W_1] \cup [W_4, +\infty] \\ \frac{x - W_1}{W_2 - W_1}, & x \in (W_1, W_2) \\ 1, & x \in [W_2, W_3] \\ \frac{W_4 - x}{W_4 - W_3}, & x \in [W_3, W_4] \end{cases}$$

根据梯级平均综合表示法解调水量用模糊值 W 的期望值:

$$\begin{aligned} \widetilde{W} &= P(W) \\ &= \int_0^1 x \left[\frac{W_1 + W_4 + (W_2 - W_1 - W_4 + W_3)h}{2} \right] dx / \int_0^1 x dx \\ &= \frac{W_1 + 2W_2 + 2W_3 + W_4}{6} \end{aligned} \tag{1}$$

1.2.2 需水量的模糊值 设 W 为 t 时刻的需水量, M_2, M_3 为不受客观因素的影响下,根实际需水量最大概率分布的正常需求值且 $\widetilde{M} = \frac{M_2 + M_3}{2}$, M_1 为受客观因素影响下最小需水量, M_4 为最大需水量。受需水量变化的影响,调水费及存储费用都会发生相应的变化,下面根据具体情况进行购水成本的分析。

(1) 需水量 M 减小时增加的调水成本。当实际

需水量 $M < \overline{M}$ 时,调水周期 T 内就会影响水库的存储费用。多余的水量可以存贮作为下一周期用水,但会增加缺水损失成本。设单位水量的存储费用为 k_2 , 单位水量的采购成本为 k_1 周期 T 内蒸发渗漏损失率为 m , 则:

由调水周期 T 内增加的储水平均量 $Q_1(T) = \frac{1}{T} \int_0^T (\overline{M}T - MT) dt$, 得: 周期 T 内所增加的平均管理成本 $f_0(M) = k_2 Q_1(T) = \frac{k_2}{T} \int_0^T (\overline{M}T - MT) dt = \frac{k_2 T}{2} (\overline{M} - M)$, 随着需水量递减, 存储成本增加, 当 $M = \overline{M}$ 时, $f_0(M) = 0$ 。

周期 T 内多余的调水量蒸发、渗漏增加的平均缺水损失成本

$$\begin{aligned} f_1(M) &= mf_1 Q_1(T) \\ &= \frac{mk_1}{T} \int_0^T (\overline{M}T - MT) dt \\ &= \frac{mk_1 T}{2} (M_2 - M) \end{aligned} \tag{2}$$

综上所述可得周期 T 内增加的平均采购成本

$$f_m = f_0(M) + f_1(M) = \frac{(mk_1 + k_2) T}{2} (\overline{M} - M) \tag{3}$$

(2) 需水量 M 增大时增加的调水成本。当实际需水量 $M > \overline{M}$ 时, 存在需水量的增大可以降低水库的存储成本; 由于调水周期内需水量过大, 将会产生由于水量的缺失造成的经济、社会财产损失。在调水周期 T 内所增加的调水成本 = 缺水损失费 - 可节省的存储成本。

调水周期 T 内的平均缺水费用 =

$$\frac{1}{T} \int_Z^T M(T - Z) dt = \frac{1}{2T} (T - Z)^2 M$$

式中: 时刻 Z 为水库缺水时刻点, 则由 $Z = \frac{Q}{M}$, 单位水量的缺失费用为 p , 得, 调水周期 T 内的平均缺水费

$$\begin{aligned} f_2(M) &= \frac{p}{2T} (T - \frac{Q}{M})^2 M \\ &= \frac{pMT}{2} + \frac{pQ^2}{2TM} pQ \end{aligned} \tag{4}$$

$f_2(M)$ 为 M 的单调增函数, 且当 $M = M_1$ 时, $f_2(M) = 0$ 。

同理调水周期 T 内降低的平均水库管理成本

$$f_3(M) = \frac{k_2}{T} \int_Z^T MT dt$$

$$= \frac{k_2 MT}{2} - \frac{k_2 Q^2}{2MT} \quad (5)$$

$f_3(M)$ 为 M 的单调增函数, 且当 $M = M_3$ 时, $f_2(M) = 0$ 。

综上可知调水周期 T 内增加的购水成本

$$f_4(M) = f_2(M) - f_3(M) \\ = \frac{pMT}{2} + \frac{pQ^2}{2MT} - pQ - \frac{k_2 MT}{2} + \frac{k_2 Q^2}{2MT} \quad (6)$$

所以当需水量 M 发生变化时, 增加的的购水成本表示如下:

$$f(M) = \begin{cases} a - bM & m \in (0, \bar{M}] \\ cM + \frac{d}{M} - e, & M \in [\bar{M}, +\infty) \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{式中: } a = \frac{(mk_1 + k_2)T\bar{M}}{2}, b = \frac{(mk_1 + k_2)T}{2}$$

$$\tilde{M} = \frac{\int_{M_1}^{M_4} M\mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM}{\int_{M_1}^{M_4} \mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM} = \frac{V}{S} \quad (8)$$

$$V = \int_{M_1}^{M_2} M\mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM = \int_{M_1}^{M_2} M\mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM + \int_{M_2}^{\bar{M}} M\mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM + \int_{\bar{M}}^{M_3} M\mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM + \\ \int_{M_3}^{M_4} M\mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM = \frac{(a + bM_1)(M_2^2 + M_1M_2 + M_1^2)}{3} + M_2d + \frac{2aM_1(M_1 + M_2) + b(M_1^2 + M_2^2)(M_1 + M_2)}{4} + \\ \frac{(M_2 + M_3)[(3e + 3a)(M_2 + M_3) - b(M_2 + m_3)^2 - 12d] - M_2^2(12a - 8bM_2) + M_3(8cM_3^2 + 24d - 12eM_3)}{24} \\ + \frac{(cM_4 + e)(M_3^2 + M_3M_4 + M_4^2)}{3} - \frac{(M_3 + M_4)[c(M_3^2 + M_4^2)(M_3 + M_4) + 2eM_4 + 2d]}{4} \quad (9)$$

$$S = \int_{M_1}^{M_4} \mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM = \int_{M_1}^{M_2} \mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM + \int_{M_2}^{\bar{M}} \mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM + \int_{\bar{M}}^{M_3} \mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM + \\ \int_{M_3}^{M_4} \mu_{\bar{M}}(M)f(M) dM = \frac{(a + bM_1)(M_1 + M_2)}{2} - \frac{b(M_1^2 + M_1M_2 + M_2^2)}{3} - \\ bM + d \ln \frac{2}{M_2} + \frac{4(a - e)(M_2 + M_3) - (c + d)(M_2 + M_3)^2 - 8aM_2 + 4bM_2^2 + 4cM_3^2 - 8eM_3}{8} + \\ \frac{(e + cM_4)(M_3 + M_4)}{2} + \frac{c(M_3^2 + M_3M_4 + M_4^2)}{3} - (d + eM_4) + \frac{dM_4(\ln M_4 - \ln M_3)}{M_4 - M_3} \quad (10)$$

1.2.4 水量最优调度决策模型的建立 当调水费为正常值 $\bar{W}$, 需水量为正常值 $\bar{M}$ 时, 正常调水周期 T 和调水量 Q 的确定过程如下:

$$\text{周期 } T \text{ 内的平均购水费用} = \frac{k_1 \bar{M}T + \bar{W}}{T}, \text{周期内}$$

$$\text{的平均存储费用} = \frac{k_2}{T} \int_0^T \bar{M}T dt = \frac{k_2 \bar{M}}{2}, \text{则周期 } T \text{ 内}$$

$$c = \frac{(p - k_2)T}{2}, d = \frac{(p + k_2)Q^2}{2T}, e = pQ。$$

1.2.3 根据重心法去模糊化 $f(M)$ 表示受客观因素的影响, 由于需水量的变化增加的购水成本, 则需水量 M 及采购成本 $f(M)$ 的模糊值隶属函数的对应关系如图 1 所示。

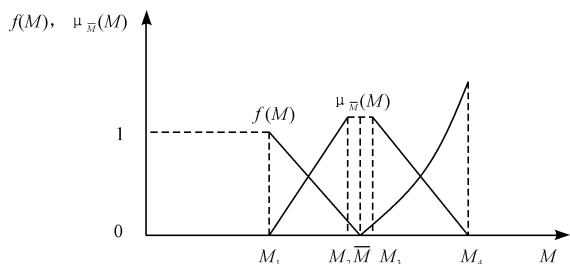


图 1 需水量 M 及采购成本 $f(M)$ 的模糊值的图形表示

则根据梯形模糊重心法进行去模糊化可得

当由于客观因素的影响,需水量及调水费均为模糊参量时,修正后可得:调水周期 $T = \sqrt{\frac{2\tilde{W}}{k_2\tilde{M}}}$, 调水量 $Q = \sqrt{\frac{2\tilde{M}\tilde{W}}{k_2}}$ 。

2 算例分析

济南市分水岭水厂主要为经十路以南区域供水,担负着南部 20 万居民的饮用水任务,水源主要来自锦绣川水库和卧虎山水库,而以上水库主要由南水北调的长江水以及黄河水、当地地表水组成。南水北调东线一期工程济南市续建配套工程将于 2015 年底完工,五库连通工程将形成现代水网体系,实现地表水、地下水、长江水、黄河水的互联互通和多水源联合调度,因此可以保证下游分水岭水厂的水源充足。

据初步统计 2014 年冬季分水岭水厂具有一定储存量,其储存费用为 0.2 元/ m^3 ,缺水损失费用约 1.5 元/ m^3 ,多余的调水量平均缺水损失成本为 0.5 元/ m^3 ,蒸发渗漏率为 6.2%,正常调水订购费用为 30 000 元[最大概率分布为(28 000 元,32 000 元)],最小调水订购费用为 25 000 元,最大调水订购费用为 35 000 元,正常的需水量为 100 000 [最大概率分布为(97 500 m^3 /周,115 000 m^3 /周)],最小需水量为 82 000 m^3 /周,最大需水量为 122 000 m^3 /周。

(1)仅考虑正常需水量及正常调水订购费用情况下,可以计算得调水周期 $T = \sqrt{\frac{2\bar{W}}{k_2\bar{M}}}$, 调水量 $Q = \sqrt{\frac{2\bar{M}\bar{W}}{k_2}}$,代入数据得 $T = 1.732$ 周, $Q = 173\,205\,\text{m}^3$ 。

(2)当由于客观因素的影响,需水量及调水费均为模糊参量时,调水订购费及需水量的梯形分布函数为 $\bar{W} = (25000, 28000, 32000, 35000)$, $\bar{M} = (82000, 97500, 115000, 122000)$,则根据水量最优调度决策模型对 $\tilde{W}, \tilde{M}$ 进行修正:

已知 $T = \sqrt{\frac{2\tilde{W}}{k_2\tilde{M}}}$, $Q = \sqrt{\frac{2\tilde{M}\tilde{W}}{k_2}}$,由式(1)、(8)、(9)、(10)代入可得:

$$T = \sqrt{\frac{(W_1 + 2W_2 + 2W_3 + W_4)S}{3k_2V}} \tag{11}$$

$$Q = \sqrt{\frac{(W_1 + 2W_2 + 2W_3 + W_4)V}{3k_2S}} \tag{12}$$

代入数据得 $T = 1.876$ 周, $Q = 182083\,\text{m}^3$ 。

3 结 语

针对水库调度中多模糊参量的问题,文中水量最优调度决策模型在算例中进行了研究讨论,取得以下主要结论:

(1)水量最优调度决策模型首先通过建立存储策略综合费用的方程,利用已知函数关系根据调水模型期望值最小的原则求解最优调水周期及调水量。应用过程中应统计每个阶段的基本数据统计,为下一阶段存储模型提供数据支持,同时对模糊参量分布区间进行及时更新,计算所得调水周期及调水量将更加精确。模型对济南市分水岭水厂冬季阶段水量调度进行了初步应用,对模糊参量进行修正,计算得到该阶段调水方案,验证了此模型的实用性及合理性。

(2)本模型为济南市分水岭水厂提供了科学的调水决策方案,对于更加繁琐复杂的工程此模型的适用性还需要进行验证。此算例中对于济南市分水岭水厂的梯形模糊理论中参量的分布如何利用更加科学合理的方法进行确定,缩小这些数据与实际值之间的偏差,需要进行更加深入的探讨。

(3)水量最优调度决策模型可以针对性地解决现实中的问题,由多模糊参量理论可知,相关问题在油库存储领域、企业工业用水以及村镇中小型农业灌溉水库等都会出现,可以通过此模型的计算与研究,有计划的,更加合理、正常、有序地进行调水,因此此模型在诸多领域具有一定的参考价值及推广前景。

参考文献:

[1] Hsieh C H. Optimization of fuzzy production inventory models [J]. Information Science, 2002, 146(1): 29-40.
[2] 常大勇. 运筹学[M]. 北京:中国物资出版社, 2010.
[3] 《运筹学》教材编写组. 运筹学[M]: 北京:清华大学出版社, 2009: 345-372.
[4] 韩春,王振,高祀敏,等. 随机性存储模型在水量调度中的应用研究[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(5): 128-130.
[5] 代颖,马祖军,武振业. 模糊需求环境下的连续盘点(Q, r)库存模型[J]. 预测, 2005, 24(6): 71-73.
[6] 刘军,王旭明,刘宁,等. 模糊需求下建筑材料最优采购决策模型研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2013, 15(1): 52-56.
[7] 沈维蕾,权魁,龚任波. 基于多模糊参量的连续盘点库存模型研究[J]. 机械工程师, 2011(7): 27-29.