

大系统多目标规划和风险决策的理论与方法

方道南

叶秉如

(江苏省投资管理公司 南京 210029) (河海大学水文水资源及环境学院 南京 210098)

摘要 针对水资源系统阐述了大系统多目标规划和风险决策两学科的研究任务和内容,两学科有很多交叉,风险决策应以多目标规划为基础;对两学科理论和方法的国内外研究现状和发展动态分别进行了回顾和综述,展望了该学科的发展趋势,认为有必要将多目标规划和风险决策结合起来作为一门新型的交叉学科来研究。

关键词 大系统;多目标规划;风险决策 水资源

大系统多目标规划和风险决策是两大前沿学科,一般的研究很少同时考虑这两方面的问题。事实上,一方面人们在作出规划之前往往要考虑多方面的因素,如国民经济发展、地区开发、环境质量和社会福利等,在这些相互竞争相互冲突的多个目标间进行规划称为多目标规划;另一方面,自然界中客观存在着大量的不确定因素,水资源系统更是这样,其中有些因素可以通过统计方法来描述其规律,而有些因素由于目前人们的认识水平所限没有弄清或者根本就无法弄清,在这样的情况下决策是有风险的,因而此时的决策就叫风险决策。

由此可知,多目标规划和风险决策有着密切联系,多目标规划的理论和方法可应用到风险决策中,风险决策则以前者为基础,两者不可分割,应同时加以研究。本文对水资源这一庞大而又十分复杂的大系统多目标规划和风险决策的理论和方法作一回顾和综述。

1 大系统多目标规划和风险决策研究内容

1.1 大系统多目标规划

大系统具有高维数、多目标、关联性、分散性,更复杂一些的有不确定性(随机性)、模糊性、发展性和主观性(有人的参与)等特点,因而在对大系统进行研究时,要想做集中计算是不可能的(或极不经济),通常按对象本身的性质,将其考虑成若干个相互耦合的子系统,然后再从全局出发进行分析设计。大系统理论和主要研究任务就是依据上述思路建模,然后对模型进行求解。因此首先要将物理对象抽象为数学模型,它包括目标函数、决策变量、约束方程的

确定和选择。例如,水资源多目标规划模型的构造一般包括以下内容:

a. 参数的选择。模型的参数就是指维数;水资源规划中的参数可以是单库的死水位、汛期防洪限制水位、正常蓄水位,也可以是梯级或跨流域库群的各死水位、库容和汛期防洪限制水位,其它参数有装机容量、费用、电能、调峰调频能力等。

b. 优化目标的选择。水资源开发目标不外乎发电、防洪、航运、灌溉、给水等,而优化目标可能有三类:第一类即物理量类目标,如电能、保证出力、货运量、灌溉面积、产品产量、工程量等,这些往往是难以公度的;第二类为经济指标类,如费用、效益和投资额等可公度类的;第三类为某些定性的品质目标或指标。优化目标函数就是上述优选目标的极大或极小的数学表达式。

c. 约束条件的确定。这与具体的工程有关。

d. 优化求解方法的选择。模型建立后,就要寻找合适的方法对其求解,从而作决策。对模型求解现在还没有一种同时适用于各种行业的普遍方法,多数研究是把注意力放在如何对已建立的高阶模型进行降价简化,并尽量求得严格解。

1.2 多目标风险决策

风险是普遍存在的,是客观实在,人们只有承认它,然后通过自身的不断努力,把风险降低到最低点。这些要反映到数学模型中就需要首先分析产生风险的原因,也就是风险成因分析或风险辨识;然后对风险进行正确度量,即选择合适的测量或度量风险的指标或方法去描述风险量的大小,这就是风险估计;最后对未来作出预测,并依据一定的标准或功

能效用作出最终决策,这就是风险决策.以上三大部分就是多目标风险决策所要研究的内容,三者是一个有机的整体.风险的辨识和估计是为了更好地决策,而决策是以前两者为依据的.

2 大系统多目标规划理论与方法

2.1 多目标规划理论和方法研究现状

自运筹学在第二次世界大战中作为一种科学的军事决策方法使用以来,人们已经发展了多种数学工具,并把它们用以解决工程、商业、政策、经济以及自然科学方面的问题.这些问题的一个很大特点就是需要分配有限的资源.为了寻找可供选择的方案或解,目前已开发了一系列的系统方法和数学体系,如线性规划、库存控制、动态规划、贝叶斯分析及模拟技术等.这些方法的共同特点是仅构造单一判别准则或目标函数,使其满足给定的约束集达到最优.这固然能解决人们感兴趣的大量问题,如一些可公度问题.近 20 多年来,人们逐渐认识到在分析和解决某些问题时,尤其是研究大系统问题时,需要同时识别和考虑多个目标,也就要考虑多目标规划问题.对这类问题的研究,国内外都有较大的发展.

2.1.1 国外研究现状

国外以美国发展得最快,也最早.最初是起源于美国洛克菲勒基金会、美国陆军工程兵团和垦务局所支持的“哈佛大学水规划”的工作.Maass 等^[1]取得了多目标理论和方法上的成果,当然在此之前 1896 年 Pareto 已处理了大量不可公度的基本准则构成的单一最优化准则问题.“柏莱多最优性(Pareto-optimality)”的概念在 Koopmans 运筹学前期工作以及在 Markowitz 的有价证券投资决策过程中都有它的应用.Charnes 和 Cooper^[2]采用极受活动分析体系影响的“盘旋方法(spiral method)”,使 Koopmans 想法直接推广到管理模型和工业应用之中.1951 年 Kuhn 和 Tucker 也研究了向量函数极大化问题的一般方法.

Geoffrion^[3]在数学规划中定义了正式的有效系数,并指出必要和充分条件.在多目标的设计过程中,Marglin^[4]在把目标变换成诸如项目安排、预算约束、风险和不确定性、利率以及价格政策的设计准则方面作出了贡献.David 和 Duckstein^[5]把舒适-不舒适指数的概念应用到评价供选择的水规划问题中,Major^[6]描述了适用于水资源问题的政治决策过程.Gershon 等^[7]把多目标规划方法应用到流域规划中,并针对 4 种多目标规划方法:Electre 法、协调规划法、协同对策论及多属性效用理论等成果进行灵敏度分析,认为它们对不大的参数变化都是稳健的.1982 年 Kyostitasvainen 等阐述了多目标系统的分层

分解协调的理论和方法,适用于库群或较大系统的参数多目标优选.1985 年 Helweg 又进一步讨论了多目标 SWT 法中交换比函数和 Pareto 曲线等,并给出一个应用实例.1979 年 Goicoechea 等用概率折衷法(protrade)研究多目标规划和不确定性问题.值得一提的是美国早已把多目标分析用于项目和规划制定的过程之中,并用法律加以固定约束.联合国工业发展组织 1972 年颁布的项目评审准则也采用了多目标分析思想.

纵观国外的文献,其中 Chankong 和 Haimes^[8]编著的《多目标决策理论和方法》一书可作为多目标规划方面的较经典的著作之一.另外,如 Steuer^[9]撰写的专著大大地丰富了多目标理论.

2.1.2 国内研究现状

国内多目标规划理论和方法研究起步较晚,但成果显著.在水资源方面的应用主要是两类问题,第一类是综合利用水库及水库群参数优选问题;第二类是水资源系统开发多目标规划与管理中方案的优选问题.叶秉如^[10]曾用理论生成法生成非劣解集,然后结合理想点法求得最佳协调解,同时还应用权重法和方程组法针对三峡水库的防洪、发电、航运及上游淹没等目标进行优选死水位和防洪限制水位.此后,叶秉如^[11]又将非劣解集的理论生成方法作了进一步完善,并创造性提出了多目标最小减优率方法,这是对多目标理论和方法的发展所作的一大贡献.另外,刘建南、董增川、余里红、方道南^[12]在各自的论文中也着重研究了多目标规划问题,并有实际的应用^[12].陈珏^[13]对多目标交互式决策、多目标数学模型以及决策理论和方法作了较深入的研究.冯尚友^[14]对多目标决策理论和方法作了专门研究,较为系统地研究了多目标决策理论和方法,为该领域的发展和创新作出了重要贡献.宣家骥^[15]等也开展过这方面的研究.

多目标规划理论和方法除上述传统理论和方法为主流外,现今还发展了一些多目标问题所特有的内容.如利用效用理论和概念进行主观决策研究;引入模糊集理论对方案决策进行评价;利用专家咨询求协调解;对话方式引入求解过程,而且此对话规划已发展为群决策方法.

2.2 大系统优化理论综述

大系统优化理论是 60 年代发展起来的,70 年代才受到注意和重视的一门学科,它继承和发展了自动控制论、控制论和运筹学学科,有人认为大系统理论是第三代控制理论.处理大系统问题的最初尝试是由 Dantzig 等研究具有特殊结构的大型线性问题开始的,并从理论上研究了“分解”的概念,其后,

1963年又提出了著名的分解原理.1962年 Benders 的分解算法又提供了一种利用问题结构特殊性求解大型混合整数规划问题的方法.Lasdon 等对大型非线性规划问题的解法也很有成就.国内叶秉如^[16]根据最小减优率法的基本思路和多目标规划问题的一般结构,提出求解大型多目标规划问题的解法.另外也有利用大规模互联系统的特性对非线性规划进行分解与协调计算.在这方面 Measarovic 等^[17]曾作过研究,并把这种方法命名为“多级”或“递阶”方法.首先将该方法应用到水资源系统的是 Haimes^[18],他的专著《水资源系统递阶分析》对大系统理论在水资源系统中的应用和发展起着重要作用.继后 Hasson^[19]等都对大系统优化理论作出了贡献.国内郭元裕、董子敬、邴凤山等对大系统优化理论和方法的实际应用开展了不少有益的工作.胡振鹏^[20]提出了一种“分解-聚合”的方法,此方法较吸引人.张玉新、田峰巍、李寿声、董增川^[21]等都曾把大系统优化理论应用到水电资源合理调度和分配的过程中.

3 风险决策研究综述

由上述可知,决策是有风险的.同样在水资源系统的设计与运行管理中都要承担一定的风险.又由于水资源系统本身的复杂性及众多不确定性因素的存在,使得该系统的风险问题显得非常复杂.一般认为水资源系统不确定性的主要因素有如下几种:①有关随机过程本身的不确定性,如来水过程的不确定性;②模型化的不确定性;③模型参数估计不准确引起的不确定性;④需要、效益和费用不确切预知及运行后参数的变化引起的不确定性.这些不确定性因素无疑给水资源的规划和管理带来不少困难.近年来人们在水资源系统的风险研究方面已取得了一些成果.所采取的大多是单目标处理方法,多目标处理较少,作为借鉴,本文综述时仍包含单目标风险研究的内容.

3.1 国内研究现状

在水资源风险问题研究方面已取得初步成果的国内著名专家有叶秉如、朱元牲、冯尚友等^[14],他们都有论文及专著发表或出版.叶秉如对机遇约束法的原理及其求解方法进行了具体的研究和应用.朱元牲^[22]在研究洪水风险的基础上,提出洪泛区洪水风险分析和管理风险综合分析方法,并对长江南京段进行了防洪效益计算,其中曾综合考虑过安全水位和演算误差两种因子带来的风险估计问题.胡振鹏、冯尚友^[20]对水库防洪、发电和灌溉三目标问题采用分解聚合方法建立了多目标风险分析模型系统,其中洪灾风险分析是与防洪标准联系起来考虑

的,而其它目标则引用保证率的概念加以考虑,具体处理多目标问题时是将向量优化问题转化为多维状态单目标规划问题.徐宗学^[23]曾以随机点过程理论为依据导出具有成丛特征的洪水风险率计算的两种模型,即 GPP 模型和 GPB 模型.国内还有郭仲伟^[24]和言茂松^[25]对风险决策原理作过较详细的阐述.

3.2 国外研究现状

国外对风险问题的研究具有一定的深度和广度.1983年 Molostvov^[26]讨论了不确定性下的多判据优化概念和充分条件,其中多值向量函数的极值点、鞍点和均衡点及其充分条件的理论研究成果是相当重要的.Simonovic 等^[27]研究了多用途水库管理问题的可靠度规划问题.Colomi 等^[28]对洪水和干旱两个可靠度约束的单目标优化问题作过讨论.Goicoechea 等^[29]研究了不确定性下的多个目标情形,并把折衷法应用到 5 个目标函数和 5 组决策变量问题之中.Haimes^[30]曾研究过将风险和不确定性集结考虑的多目标规划方法;并提出过分段多目标风险分析方法和多目标多阶段影响分析法,该方法适用于多阶段和多个目标不可公度的问题;还有他在对风险效益进行分析时提出了代用风险函数的概念.这些都对多目标风险决策学科的发展起到了一定的积极作用.另外,也有人试图利用社会科学原理去认识和处理极值事件,以达到减灾增效的目的.

4 结 语

综上所述,尽管大系统多目标规划的出现时间不长,但其发展的速度是惊人的,有理论和方法的研究,也有实际工程的应用.有人曾就水资源系统分析今后发展趋势,认为:模型的目标向多目标发展;模型功能将向多功能发展;模型的结构由整体模型向模型系统过渡;系统分析内容将考虑不确定因素的方案选择;大系统多目标分析技术势必迅速发展.

风险决策方面的研究还很不够,目前对单目标问题有所探讨,而对多目标的风险问题的研究则较少,有待进一步探讨.

本文认为大系统多目标规划和风险决策两个学科应该结合起来作为一门新型的交叉学科,即大系统多目标风险决策学来研究.目前大系统多目标规划领域取得了一些成果,如能把这些成果应用到风险决策这一领域,那无疑是有意义的.

参考文献

- 1 Maass A, et al. Design of water-resource systems. Mass: Harvard Univ Press, 1962
- 2 Charnes A, Cooper W W. Management models and industrial ap-

- lications of linear programming. New York: Wiley, 1961
- 3 Geoffrion A M. Proper efficiency and the theory of vector maximization. *J Mathematical Analysis and Application*, 1968, 22(3): 618 ~ 630
 - 4 Marglin S A. Public investment criteria. Mass: MIT Press, 1967
 - 5 David L, Duckstein L. Multi-criterion ranking of alternative long-range water resources systems. *Water Resources Bulletin*, 1976, 12(4): 731 ~ 754
 - 6 Major D C. Benefit-cost ratios for projects in multiple objective investment programs. *Water Resources Research*, 1969, 5(6): 1174 ~ 1178
 - 7 Gershon M, et al. Multiobjective approach to river basin planning. *J Water Resources Planning Management Division*, 1983, 109(1): 13 ~ 28
 - 8 Chankong V, Haimes Y Y. Multiobjective decision making theory and methodology. New York: North-Holland, 1983
 - 9 Steuer R E. Multiple criteria optimization: theory computation and applications. New York: John Wiley & Sons, 1986
 - 10 叶秉如. 大型二次规划的一种算法. *河海大学学报*, 1988, 16(3): 21 ~ 32
 - 11 叶秉如, 余里红. 非劣解集理论生成及应用. *河海大学学报*, 1990, 18(6): 55 ~ 62
 - 12 Fang Daonan. Optimal dispatching of South-to-North Water Transfer System. In: *Proceedings of the Third Chinese-German Symposium on Hydrology and Coastal Engineering*, 1991, Nanjing: Hohai University Press, 1991. 262 ~ 271
 - 13 陈珏. 决策分析. 北京: 科学出版社, 1987
 - 14 冯尚友. 多目标决策理论方法与应用. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990
 - 15 宣家骥. 多目标决策. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1989
 - 16 叶秉如, 方道南. 大型多目标线性规划解法研究. *水科学进展*, 1995, 6(4): 270 ~ 277
 - 17 Measarovic M D, et al. Theory of hierarchical multilevel systems. New York: Academic Press, 1970
 - 18 Haimes Y Y. Hierarchical analysis of water resources systems. New York: McGraw-Hill, 1977
 - 19 Hasson M F. A development of a decomposed estimation algorithm for large scale system. *International Journal of Systems Science*, 1983, 14(3): 269 ~ 279
 - 20 胡振鹏, 冯尚友. 综合利用水库防洪与兴利矛盾的多目标风险分析. *武汉水利电力学院学报*, 1989, 22(1): 71 ~ 79
 - 21 董增川, 叶秉如. 水电站库群优化调度的分解方法. *河海大学学报*, 1990, 18(6): 70 ~ 77
 - 22 朱元生. 洪泛区洪灾风险的分析和评价. *水利经济*, 1990, 8(2): 55 ~ 62
 - 23 徐宗学, 叶守泽. 洪水风险率 CSPPC 模型及其应用. *水利学报*, 1988(9): 1 ~ 8
 - 24 郭仲伟. 风险分析与决策. 北京: 机械工业出版社, 1986
 - 25 育茂松. 贝叶斯风险决策工程. 北京: 清华大学出版社, 1989
 - 26 Molostvov V S. Multiple-criteria optimization under uncertainty: concept of optimality and sufficient conditions. In: *Theory and Practice of Multiple Criteria Decision Making*. New York: North-Holland, 1983. 91 ~ 105
 - 27 Simonovic S P, Marino M A. Reliability programming in reservoir management. *Water Resources Research*, 1982, 18(4): 735 ~ 743
 - 28 Colonna A, Fronza G. Reservoir management via reliability programming. *Water Resources Research*, 1976, 12(1): 85 ~ 88
 - 29 Goicoechea A, Duckstein L. Multiple objective under uncertainty: an illustrative application of protrade. *Water Resources Research*, 1979, 15(2): 203 ~ 210
 - 30 Haimes Y Y. Risk-benefit analysis in a multiobjective Framework. New York: McGraw-Hill, 1985

(收稿日期: 1998-10-20 编辑: 张志琴)

(上接第 12 页)这样做可以把本行有经验的专家学者的意见和当地曾经有过的经验教训统统继承下来组成专家系统,并输入电脑,以减少以至杜绝过去少部分人临时匆忙决策所带来的失误和浪费,从而达到从容不迫,减少忙乱差错.笔者粗略估算,对于像洞庭湖区一个县(约 3 万 hm^2 耕地,由 10 个左右大小不等的圩垸组成)的防洪问题,可用 1 年左右时间,组织一班人,在非汛期事先精心设计优选储存一定数量(1000 个左右)常见的抢险方案,就可应付绝大多数(90% 以上)的险情抢险需要,如能设计优选更多抢险方案则可应付更多的险情抢险需要.加上在硬件上(如备料、备资、备人)按照精心优化设计方案所作的相应储备和安排,同时加强对防汛抢险队伍的技术培训.据此运作,将会大大减少临阵忙乱和被动,从而完全有可能把效果和可靠性提高一个档次.

5 结 语

江河湖泊发生洪水是一种自然现象,杜绝洪水发生是不可能的.几十万公里的防洪大堤在高洪水位下不出险也是难以办到的.但是防御洪水的技术是可以不断提高的,进一步减少堤防出险数量,出了险,尽量少成灾是完全有可能的.基于这一基本认识,我们应当对提高防汛抢险技术水平充满信心,不能被千头万绪、复杂多变的防汛抢险状况和困难阻塞我们的思路.应当说,改进传统防汛抢险技术方法措施大有文章可作,虽然防汛抢险不存在“航天”、“克隆”这些领域的神秘和尖端,但是如何从技术、经济两个方面综合协调平衡,也需要很高的技艺,存在很大的难度.广大科技人员投身到防汛抢险这一领域中来是会大有作为的.

(收稿日期: 1998-11-19 编辑: 马敏峰)