

水库调度决策研究综述

倪建军¹,徐立中²,李臣明²,王建颖²

(1.中国矿业大学信息与电气工程学院,江苏 徐州 221008;2.河海大学计算机及信息工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:回顾水库调度决策的研究现状,包括水库优化调度、水库决策支持系统等,认为目前有关水库调度决策的研究还不够系统,没有形成一个完整的理论体系,随着水资源利用的深入,防洪要求的提高,水库调度在向规模化、流域化方向发展,水库对调度决策的要求也越来越高。

关键词:水库;优化调度;决策支持系统

中图分类号:TV697.1 文献标识码:A 文章编号:1006-764X(2004)06-0063-04

水库调度决策是一个极其复杂的过程,其复杂性主要包括:①天然入流的随机性;②人为因素的复杂性;③决策过程的动态性;④水利工程功能的多重性;⑤调度决策的实时性;⑥数学模型、求解技术的局限性。所有这些因素使得水库调度决策问题呈现出明显的半结构化或非结构化特征。

1 水库调度决策的发展现状

水库的调度决策按水库的功能目标可分为防洪调度、兴利调度和综合利用调度;按水库的数目可分为单一水库调度和水库群联合调度;按调度周期可分为长期调度和短期调度;按水库调度方法可分为常规调度和优化调度。目前我们所研究的水库调度决策主要是针对大型水库综合利用调度,调度方式主要是采用水库群的联合优化调度。

1.1 国外水库优化调度的研究现状

水库的优化调度研究在国外已有很长的历史。1955 年,美国的 Little 提出了水电系统随机动态规划调度模型,对水库优化调度问题进行了研究,从而标志着用系统科学的方法研究水库优化调度的开始^[1]。在水库优化调度中,所采用的方法主要有动态规划法,如:Saad 等在 1988 年提出了一种水库调度的方法,在水库调度过程中,首先对系统进行主成分分析(PCA),寻求一个降维模型,然后使用随机动态规划对降维模型求解。这种方法被用在加拿大魁北克省的 LaGrande 河的一个 5 水库系统^[2];Foufoula 等在 1988 年提出了一个梯度动态规划算法(GDP),可以有效减少由于水库数目增加造成的“维数灾”^[3];

Karamouz 等在 1992 年提出了一个贝叶斯随机动态规划(BSDP)^[4];Oliveira 等在 1997 年使用遗传算法生成水库群系统的调度规则^[5],等等。此外,Slobodan Hasan 等进行了水库风险调度研究^[6],Philbrick 等进行了水库调度确定性优化的局限性研究^[7],Chandramouli 等利用动态规划和神经网络进行水库群建模研究^[8],Teegavarapu 等提出了基于模拟退火法的水库系统调度优化方法^[9],等等。

防洪调度研究,国外始于 20 世纪初,初期的防洪调度主要是半经验、半理论的方法,即通过防洪控制图来进行操作,并注意到前期水文气象因素对预留库容的影响。随着科学技术的进步,国外于 20 世纪 50 年代末,将优化理论引入到洪水调度中,到了 90 年代后期,国外开始注重于工程措施和非工程措施联合的防洪系统研究。

1.2 国内水库优化调度的研究现状

在我国,水库优化调度研究相对起步较晚,20 世纪 70 年代开始一些科研机构、大专院校、设计与运行等单位,应用随机序列理论,按动态规划原理研究水电站水库优化调度。但比较深入的研究是近 20 年才开始的。20 世纪 80 年代以来,许多单位和研究学者用不同的理论和方法对水库优化调度进行了研究,开辟了水库优化调度的新局面,无论在理论上、方法上、实践上均取得了一定的成效。如叶秉如提出了一种解一般线性规划(LP)问题的新方法——分解筛选法,它把一个 n 维的 LP 问题分解为 n 个一维的子 LP 问题,由此筛选出通过最优解角点的有效约束,并把它看作等价于一个等式约束,利用这一思

基金项目:水利部科技创新基金资助项目(SCX2001-10);水利部 948 计划资助项目(200128)
作者简介:倪建军(1978—),男,安徽黄山人,博士研究生,从事复杂系统控制与决策研究。

路和特性,可大大简化整个求解步骤^[10]。谢新民等利用大系统和模糊数学规划理论与方法,分析和探讨了水电站水库群模糊优化调度问题,建立了水电站水库群模糊优化调度模型^[11]。韦柳涛、胡铁松等提出了基于人工智能的水库调度决策模型等^[12,13]。

随着研究的深入,研究的目标逐渐从单目标扩展到了多目标,研究对象从单一水库扩展到了多水库乃至整个流域或系统库群,其模型也由单一模型发展到了组合模型。如陈守煜等提出了模糊切比雪夫多目标群决策方法,用于生成和选择水资源供需调控策略^[14]。曹永强等针对水库供水调度系统存在的随机性和不确定性及其特点,从单目标和多目标两方面重点对供水调度系统进行模糊随机可靠性分析,在此基础上提出了基于模糊随机可靠性的水库供水调度系统管理决策方法^[15]。邹进等针对定性多目标决策问题,提出了一种利用模糊集理论来求解的方法用于水库实际洪水调度方案的多目标决策等^[16]。我国水库优化调度风险决策研究也取得了较大的进展。如田峰巍、黄强等提出的水库实施调度及风险决策方法,对解决水库实施调度、尤其是多库或一条河流的水库联合实施调度具有重要的参考价值^[17]。王建群针对传统贝叶斯方法的局限性,提出了基于有限状态空间不精确概率分布的风险型决策方法^[18]。

在防洪调度方面,由于我国江河湖泊众多,洪涝灾害频繁,1949年以后,我国兴建了大量的防洪工程,在消化吸收国外先进技术的同时,防洪调度理论方法的研究工作也得到了长足的发展,特别是20世纪80年代优化调度理论的应用。如:1995年黄志中、周之豪等利用大系统分解-协调理论进行了水库实时防洪调度研究^[19]。1997年,杨侃等以网络理论为基础,研究了长江防洪系统的实时调度,建立了长江防洪系统的时空网络模型^[20]。1997年,马寅午等采用防洪系统洪水分类预测优化调度方法建立了洪水优化调度总体控制模型^[21]。在洪水风险调度方面展开研究的有傅湘^[22]、李万绪^[23]等人。

1.3 水库调度决策支持系统的研究进展

水库调度决策是一项复杂的系统工程,涉及自然、经济、社会、环境等方面的因素,十分复杂,需要对大量资料进行统计分析。同时,水库调度决策中存在大量半结构、非结构化问题,难以用数学模型来描述,必须结合实践经验和专家的知识,对各种调度方案进行不断的修正。另外,实施调度决策要求很高的时效性,调度系统不仅能为决策者提供信息支持,而且要求迅速、及时,人机交互性好。由于决策支持系统具有上述功能,所以从它诞生起,就受到水利调度

专家和学者的重视。

自从20世纪70年代DSS产生以来,国内外先后开发了许多用于水情数据处理与洪水预报、水资源规划和管理、水环境管理和控制、防洪调度、水电站水库运行调度以及水利工程管理等方面的决策支持系统。如Ahmad设计的洪水管理智能决策支持系统,在该系统中,他采用了一种称为空间系统动力学的方法,利用该方法在同一个模型环境中集成各种不同的模型。该决策支持系统采用神经网络进行洪水预测,利用专家系统选择最佳洪水减灾方案,还可以建立洪水控制模型并进行经济评价^[24]。其他的决策支持系统还有加拿大Manitoba大学土木系开发的IDSSREZES,以及后来的水库管理评价DSS系统HERMES,等等。我国自20世纪80年代以来,首先在水库优化调度领域进行研究,其后在梯级水电站开发规划、水库水电站参数优选、区域水资源规划管理等方面也取得了不少进步,开发研制了许多与水资源管理有关的决策支持系统(WRMDSS)。如1990年翁文斌等建成的京津唐水资源规划DSS,对该水库的数十个供水规划方案作多目标分析并给出了优劣顺序。1990~1993年,黄河水利委员会研制了黄河流域的水资源经济模型,以解决黄河的水资源利用规划及用水分配方面的问题。西安理工大学解建仓等开发研制了汉江上游梯级规划和调度DSS;天津大学李惕先等建立了水库调度长期和短期DSS;国家防汛抗旱总指挥部办公室信息中心及众多高校及研究院联合开发的全国防洪调度指挥系统等^[25]。近几年,DSS与地理信息系统(GIS)以及专家系统(ES)等人工智能技术的结合成为研究的热点^[26~28]。

2 水库调度决策研究的前沿课题

2.1 水库调度决策中的不确定性问题研究

水库调度决策中伴随着大量的不确定性因素,包括研究对象发生与否的不确定性(随机性,这里是指天然径流过程的不确定性)、研究对象概念的不确定性(模糊性)、研究对象信息量不充分而出现的的不确定性(灰色性),等等。近年来,人们对水利调度决策不确定性问题的研究主要集中在对径流随机性的处理和对不确定决策的研究方面。

对径流随机性的处理主要有以下几种方法:
①将径流过程描述为某种类型的随机过程,然后建立优化调度的随机模型,即显随机优化。其优点是可直接给出水库调度的运行策略,但对多库系统存在“维数灾”。
②利用实测或生成的长径流序列,用确定性模型求决策过程最优解,通过回归径流序列、决策序列和状态序列,寻找水库调度函数,即隐随机优

化.③将径流描述成马氏过程,目前主要将其描述成不连续的简单马氏过程,这对于短期效应可以反映,而长期效应则难以考虑.另外还有模拟的方法、神经网络的方法、混沌预测的方法等.

关于不确定决策的研究,主要包括风险型决策、可靠性规划等.由于客观世界的复杂性及人类认识客观世界的局限性,水库决策总是伴随着各种不确定性因素的困扰,因此系统的决策都要冒一定的风险.所谓的风险型决策,是指未来状态发生的概率分布是可以依据经验和历史资料合理估计出来的,水库调度决策即属于这种类型.另外,模糊集理论也是研究水库调度管理不确定性决策的一个有效工具.针对水库调度中由于设计参数、约束条件、决策要求等具有的模糊性,可以用模糊数学来研究水库调度管理问题,建立模糊优化调度模型.

2.2 水库调度决策中的多目标问题研究

多目标问题是现代决策科学的一个核心内容,随着水库的规模化和流域化,以及水库功能的综合化,水库调度决策中的多目标决策问题引起了专家、学者的重视.在现代水库调度决策过程中,必须综合考虑发电、航运、生态以及环境等多方面的因素,既要考虑经济效益又要兼顾社会和环境效益,因此传统的单目标优化与决策的方法已经不能适应新时期水库调度的要求.

目前有关水库调度决策中的多目标研究成果较多.如李会安等利用模糊优化理论进行水电系统的多目标优化问题研究^[29];梁业国等采用多目标模糊决策方法,针对洪水调度品质特殊性,进行洪水调度决策研究^[30];方远红等利用遗传算法解决多目标水资源系统优化运行问题^[31];王兴菊等提出了一种基于马尔可夫单链弹性相关理论的水库多目标优化调度理论,并进行了应用研究^[32],等等.

2.3 高新技术应用研究

水利学科是一门传统学科,技术手段相对落后,用高新技术改造水利行业势在必行.首先是信息技术的应用.近几年,全国和地方的防汛抗旱指挥系统、水资源实时监控系统、水利政务管理系统的建设有了重大进展.防汛抗旱指挥系统极大地提高了防洪调度的应变能力,水资源实时监控系统使得水资源实时配置更为科学化.此外,全球定位系统、地理信息系统、遥感技术、计算机决策支持系统以及分布式人工智能技术、虚拟现实技术等高新技术,在水利行业也具有广阔的应用前景.在水库调度决策方面,大规模、高强度地应用高新技术,可以更好地实现调度决策的科学化、智能化、敏捷化,进一步提升调度决策的技术水平.

3 水库调度决策存在的主要问题及发展趋势

水库优化调度,特别是综合利用水库群的优化调度问题,虽然在国外已有30多年的研究历史,在国内也有20多年的研究历史,取得了不少研究成果,但在实际应用中还存在很多问题.直到目前,还没有一个很成熟的优化调度方法,其主要原因有:①一些研究侧重理论探讨,片面追求算法的完美,使得使用者难以理解;②一些模型要么庞大复杂,操作起来不方便,要么过于简化,和实际有很大出入;③对于水库多目标决策问题,一些方法片面追求最优解,而忽视了水库的复杂性,结果无法使决策者满意.

目前,虽然DSS已引入到水资源管理的各个方面,但大多数还处于理论研究阶段,在实际应用中还存在很多问题.决策者对DSS的适用性和可靠性仍持怀疑态度,其主要原因有:①支持系统的模型不能适应水资源管理的特点;②由于开发人员水平和现有技术条件的限制,DSS系统本身存在缺陷,如人机界面不友好,系统智能化水平低,运行效率不高等问题.

水库调度决策问题由于涉及相关部门、地区多个决策主体,属于群决策问题,涉及近期和远期多个决策时段,是多时段决策,具有社会经济和生态环境方面的多个决策目标,是典型的多目标决策问题.此外,还涉及水资源自然、社会、经济、生态等内在属性,以及水文、工程、水量、水质、投资等多类约束条件,是一个高度复杂的多阶段、多层次、多目标、多决策主体的风险决策问题.加上很多问题具有半结构化、非结构化的性质,所以调度决策必须充分利用实践经验和专家知识,使得调度决策更加科学化、民主化.因此,应采用系统的理论,从全局出发,在不断完善调度理论的同时,注重理论与生产实际相结合,注重研究成果向生产的转化,以缩短理论研究与实际应用的差距,必须结合生产需要和具体问题,研究探讨适合某一具体河流或区域、简便实用并为生产管理者所接受的水库调度模型及应用方法.随着计算机及人工智能技术的发展,与计算机及人工智能技术相结合,并引入新的理论,成为水库优化调度研究的一个热点和发展趋势:一方面,依靠计算机的快速运算及大容量存储能力,研究快速、准确求解水库优化调度模型的方法及算法,以提高模型效率;另一方面,利用计算机技术,结合人工智能开发出人机界面友好的具有智能化、敏捷化的群决策支持系统是水库调度决策技术今后的发展趋势.

致谢 本文得到河海大学芮孝芳教授的指导和帮助,在此表示感谢!

参考文献：

[1] Little J D C. The use of storage water in a hydroelectric system [J]. Operations Research ,1955 3 :187 ~ 197.

[2] Ahmed I. On the determination of multi-reservoir operation policy under uncertainty[D]. Tucson ,Arizona :The university of Arizona 2001.

[3] Foufoula E ,Kitanidis P K. Gradient dynamic programming for stochastic optimal control of multi-dimensional water resources system[J]. Water Resources Research ,1988 ,24(8) :1345 ~ 1359.

[4] Karamouz M ,Vasiliadis H V. Bayesian stochastic optimization of reservoir operation using uncertain forecas[J]. Water Resources Research ,1992 28(5) :1221 ~ 1232.

[5] Oliveira R ,Loucks D P. Operating rules for multireservoir systems[J]. Water Resources Research ,1997 33(4) :839 ~ 852.

[6] 李会安. 黄河干流水电站水库群水量实施调度及风险研究[D]. 西安 :西安理工大学 2000.

[7] Philbrick C R ,Kitanidis P K. Limitations of deterministic optimization applied to reservoir operations[J]. Journal of Water Resources Planning and Management ,1999 ,125(3) :135 ~ 142.

[8] Chandramouli V ,Raman H. Multireservoir modeling with dynamic programming and neural networks[J]. Journal of Water Resources Planning and Management 2001 ,127(2) :89 ~ 98.

[9] Teegavarapu R S V ,Simonovic S P. Optimal operation of reservoir systems using simulated annealing[J]. Water Resources Management ,2002 ,16(5) :401 ~ 428.

[10] 叶秉如 陈乐湘. 线性规划分解筛选法的理论基础和要点[J]. 河海大学学报 ,1997 25(1) :87 ~ 91.

[11] 谢新民 陈守煜 王本德 ,等. 水电站水库群模糊优化调度模型与目标协调——模糊规划法[J]. 水科学进展 ,1995 1(3) :189 ~ 197.

[12] 韦柳涛 梁年生 ,虞锦江. 人工智能在水库控制中的应用[J]. 华中理工大学学报 ,1994 22(4) :25 ~ 29.

[13] 胡铁松 袁鹏 丁晶. 人工神经网络在水文水资源中的应用[J]. 水科学进展 ,1995 1(1) :76 ~ 82.

[14] 陈守煜 黄宪成 李登峰. 大连市水资源利用与宏观经济协调发展规划多目标群决策模型与方法[J]. 水利学报 ,2003(3) :42 ~ 48.

[15] 曹永强 王本德. 模糊随机可靠性理论及其在供水调度中的应用[J]. 辽宁工程技术大学学报 ,2003 22(1) :119 ~ 121.

[16] 邹进 张勇传. 一种多目标决策问题的模糊解法及在洪水调度中的应用[J]. 水利学报 ,2003(1) :119 ~ 122.

[17] 田峰巍 黄强 解建仓. 水库实施调度及风险决策[J]. 水利学报 ,1998(3) :57 ~ 62.

[18] 王建群. 一种新的水库风险型决策方法[J]. 河海大学学报 ,1997 25(2) :65 ~ 70.

[19] 黄志中 周之豪. 大系统分解——协调理论在库群实时防洪调度中的应用[J]. 系统工程理论方法应用 ,1995 14(3) :53 ~ 59.

[20] 杨侃 谭培伦. 三峡为中心的长江防洪系统优化调度网

络分析法[J]. 水利学报 ,1997(7) :78 ~ 83.

[21] 马寅午 周晓阳. 防洪系统洪水分类预测优化调度方法[J]. 水利学报 ,1997(4) :1 ~ 8.

[22] 傅湘 陶涛 王丽萍 ,等. 防洪风险决策模型的应用研究[J]. 水电能源科学 ,2001 ,19(2) :15 ~ 18.

[23] 李万绪. 水库洪水期风险调度方法[J]. 大坝与安全 ,2003(1) :18 ~ 21.

[24] Ahmad S. An intelligent decision support system for flood management :A spatial system dynamics approach[D]. London ,Canada :The University of Western Ontario 2002.

[25] 李郁侠 张江滨 汪妮. 决策支持系统在水资源领域中的应用[J]. 西北水电 ,2003(1) :9 ~ 11.

[26] 汪志农 吕宏兴 王密侠 ,等. 节水灌溉管理智能决策支持系统研究[J]. 中国工程科学 ,2001 3(7) :48 ~ 58.

[27] 王煜 王道席 王军良 ,等. GIS 在水量调度决策支持系统中的应用[J]. 水科学进展 ,2003 ,14(1) :114 ~ 117.

[28] Devantier B ,Feldman A. Review of GIS application in hydrologic modeling[J]. Journal of Water Resources Planning and Management ,1993 ,119(2) :246 ~ 261.

[29] 李会安 尚彩霞 黄强. 多目标模糊优化理论及其在水电系统中的应用[J]. 系统工程 ,2000 ,18(1) :60 ~ 63.

[30] 梁业国 魏莉. 水电站水库洪水调度的多目标模糊决策[J]. 三峡大学学报(自然科学版) ,2001 ,23(6) :556 ~ 559.

[31] 方红远 邓玉梅 董增川. 多目标水资源系统运行决策优化的遗传算法[J]. 水利学报 ,2001(9) :22 ~ 27.

[32] 王兴菊 赵然杭. 水库多目标优化调度理论及其应用研究[J]. 水利学报 ,2003(3) :104 ~ 109.

(收稿日期 2004-03-31 编辑 骆超)

· 简讯 ·

我国东方电机公司将独立制造
300 MW 抽水蓄能机组

河南宝泉、广东惠州、湖北白莲河电站抽水蓄能机组的招标工作已经结束 ,Alstom 公司获得了 3 个电站全部 16 台 300 MW 抽水蓄能机组的供货合同。我国东方电机股份有限公司将在分包的基础上 ,独立制造 1 台机组。Alstom 公司将向东方电机股份有限公司进行技术转让。抽水蓄能机组在我国有着广阔的应用前景 ,今后几十年在我国电力发展规划中将占重要地位。加速抽水蓄能机组的国产化及产业化 ,满足工程建设需要 ,并为新世纪我国电力工业的进一步发展提供技术储备 ,已成为重大技术装备制造企业的历史使命。东方电机股份有限公司作为我国重大技术装备制造的重要企业 ,将结合 300 MW 抽水蓄能机组的独立制造 ,在现有技术基础上 ,引进部分抽水蓄能机组关键技术 ,加紧消化吸收和创新 ,尽快形成大中型抽水蓄能机组自主设计和制造能力。

(余小波供稿)