

梯级水电站群的规划与调度

Planning and Dispatching for
Cascade Hydroreservoirs

田峰巍 解建仓 颜竹丘 著

科学技术文献出版社

序

能源是发展国民经济的原动力,是我国经济建设的战略重点之一。水力发电具有成本低、效益高、无污染、可再生等优点。从我国能源全局的长远规划考虑,优先开发水电,是解决我国能源问题的战略措施,这也可从世界各国对能源开发利用的成功经验中得到旁证。

建国以来,我国对水电能源的开发利用十分重视。应用系统工程理论研究此类问题,无疑是开发利用水能资源的有效途径。近十多年来,我国在此领域里的科研取得了可喜成就,可以说对水电站规划与调度问题的研究正趋于形成一套具有我国自己特色的理论体系。目前正不断地在理论与实际相结合的过程中进行积极而艰巨的探索,期望本书的问世,能为缩短理论与应用之间的距离起到一定的促进作用。

近几年来,水文及水资源学科相继毕业了一批博士和硕士研究生,他们对本领域理论和应用研究作出的贡献是应该肯定的。本书的两位主要作者,基本上有着相同的学习与工作经历,他们不但具有扎实的理论基础,而且具有一定的实践工作经验,这为他们以后对本学科有所贡献打下了良好的基础。本书是在他们学位论文和研究成果的基础上总结而成的,我作为他们的导师,希望他们以此作为起点,进一步努力作出更大成绩。

本书内容不仅从理论方面对梯级水电站群的规划与调度等问题进行了较为详细地分析讨论,提出了许多新观点、新方法,而且能自始至终以汉江上游梯级水电站群为实例,理论联系实际,提出了一系列新模型、新算法等,取得了若干突破性的研究成果,这是难能可贵的。其中将大系统优化理论应用于梯级水电站群的规

划与调度具有独到之处,颇多建树。尤其是将专家系统(ES)和决策支持系统(DSS)引入水电站的规划与调度之中,是作者对本学科的显著贡献。其研究成果在国内得到一些同行专家教授们的高度评价与肯定。进而从长远观点看,专家系统和决策支持系统以及两者结合的智能决策支持系统(IDSS),随着计算机在我国的迅速发展与普及应用,必将在水电能源科学领域里显示出极为重要的意义。

沈奇

1991年11月

于陕西机械学院

前 言

水电站最优规划与调度,是水电能源科学的一个重要组成部分,它不仅涉及到水资源开发利用问题,同时还与电力系统紧密相关,尤其是梯级水电站群更是如此。本书内容包括:梯级水电站群的开发规划篇共六章,前两章首先对河流梯级开发规划问题的现状进行了剖析,提出了解决此问题的新途径决策支持系统(DSS),后四章就DSS的功能、实体、结构等结合实例进行了分析研究。第二篇为径流篇共五章(第七章至第十一章),针对研究实际问题的需要,相继提出了年径流系列划分的聚类分析法,年水量的灰色模糊预报方法,径流序列随机生成,大洪水统计特征分析等,并探讨了用非平衡系统理论研究水资源系统的可行性。第三篇调度篇共七章(十二至十八章),首先分析了我国目前水库调度理论与实际应用之间的差距,提出专家系统(ES)和决策支持系统是缩短二者之间距离的有效途径之一。进而研究了梯级水电站群的常规优化调度图绘制,洪水调度,隐随机优化调度等,为专家系统研究提供了理论依据,并结合实例提出了水库调度专家系统结构特点、推理方法等。本书自成体系,着重研究了理论与实际相结合的相应问题,力求思想新颖,方法得当,渴望能为促进本学科的发展起到一定作用。

为了满足不同读者的需要,本书各章采用的数学符号相对独立,以便分章阅读。另外,各篇的实例资料分别来自规划单位和运行单位,故其中个别参数略有差异,但不影响本书的系统性,特此说明。

本书是我们学位论文及近几年科研成果基础上的总结,这些工作是在颜竹丘教授指导下完成的。其中第一篇由解建仓执笔,

第二、三篇由田峰巍执笔，田峰巍统编全稿。

本书在写作过程中，始终得到导师沈晋教授的指导与关怀，得到王文焰教授、刘思锡副教授等的鼓励和支持，并得到西北电管局钱家骧副总工程师，生产处长、高工吴光正，能源部、水利部北京勘测设计院高工杨之林，成都勘测设计院工程师周云等的帮助；此外，科学技术文献出版社的编辑同志和西安冶金建筑学院印刷厂的同志也给予了大力支持，使本书得以顺利出版，在此，一并深表谢意。借此机会，谨向对我们学业付出辛勤劳动并曾对本书内容给予热情指导的武汉水利电力学院冯尚友教授，清华大学施熙灿教授，河海大学叶秉如教授，大连理工大学陈守煜教授，西安交通大学汪应洛教授、孙启宏教授，陕西机械学院金钟元教授、万景文教授(兼)等前辈学者们表示衷心感谢。

本书可供本专业研究生及有关技术人员参考。

由于作者水平所限，书中不妥之处难免，恳请读者批评指正。

田峰巍 解建仓

1991年10月12日

于陕西机械学院

目 录

第一篇 规 划 篇

第一章 对河流梯级开发最优规划问题的浅析·····	(2)
第一节 规划问题的性质·····	(2)
第二节 解决规划问题的现行思想方法体系·····	(4)
第三节 国内目前对问题解决的程度·····	(5)
第二章 研究最优规划问题的新途径·····	(8)
第一节 简评现存思想方法体系中存在的问题·····	(8)
第二节 新思想体系的设思·····	(11)
第三节 新的思想体系实现途径及 DSS 引入·····	(11)
第三章 河流梯级最优开发规划的决策支持系统(DSS)·····	(13)
第一节 DSS 简介·····	(13)
第二节 DSS 各单元的设计及作用·····	(15)
第三节 对不确定性因素处理的设想·····	(19)
第四节 DSS 中应有的功能·····	(21)
第四章 DSS 中的实体——多目标多模型系统·····	(24)
第一节 多目标多模型系统中数学模型的建立·····	(24)
第二节 子模型的求解及其间的递阶控制·····	(32)
第三节 多目标多模型系统的层次结构模型·····	(47)
第四节 多目标多模型系统的层次递阶控制方法·····	(52)
第五章 梯级开发顺序的决策分析·····	(59)
第一节 开发顺序决策分析的层次结构模型·····	(59)

第二节	开发顺序的各种决策分析	(62)
第三节	各种决策方法的集结	(73)
第六章	梯级水电站水库群参数的最优选择	(78)
第一节	参数选择的层次结构模型	(78)
第二节	补偿调节优化计算结果	(80)
第三节	参数优选方法及成果分析	(90)

第二篇 径流篇

第七章	年径流系列划分的聚类分析方法	(93)
第一节	问题的提出及指标选用	(93)
第二节	系统聚类分析	(95)
第三节	实例及结果分析	(98)
第八章	丰枯水年的灰色模糊预报方法	(104)
第一节	建模原理	(105)
第二节	实例计算	(107)
第九章	径流序列随机生成	(113)
第一节	数学模型	(113)
第二节	模型的参数估计	(114)
第三节	模拟序列生成	(114)
第十章	大洪水统计特征分析	(119)
第一节	汉江上游流域概况	(119)
第二节	雨洪特征分析	(119)
第十一章	用非平衡系统理论研究水资源系统的可行性探讨	(128)
第一节	水资源系统是耗散系统	(128)
第二节	分数维与水资源系统	(130)
第三节	混沌理论与水文预报	(135)

第三篇 调度篇

第十二章	我国水电站水库优化调度现状浅析·····	(143)
第一节	水库调度优化理论与应用的差距·····	(143)
第二节	解决问题的途径·····	(146)
第十三章	水电站水库优化调度的几个关键问题讨论·····	(149)
第一节	关于目标函数问题·····	(150)
第二节	关于约束条件问题·····	(152)
第十四章	梯级水电站群常规调度图的优化编制研究·····	(157)
第一节	建立模型·····	(157)
第二节	求解模型·····	(159)
第三节	绘制计算及实例·····	(164)
第十五章	梯级水库洪水调度研究·····	(167)
第一节	石泉、安康防洪任务及现状·····	(167)
第二节	联合调洪方案分析·····	(169)
第三节	数学模型建立·····	(173)
第四节	求解数学模型的策略及方法·····	(175)
第五节	程序设计·····	(178)
第十六章	水电站群优化调度中的电力电量平衡·····	(182)
第一节	概述·····	(182)
第二节	水火电站群体之间日负荷分配·····	(183)
第三节	水电站群内部各电站负荷分配·····	(191)
第四节	实例计算·····	(195)
第十七章	梯级水电站群隐随机优化调度研究·····	(197)
第一节	数学模型·····	(197)
第二节	模型的分解·····	(200)
第三节	求解步骤与计算方法·····	(202)
第四节	运行规则的回归分析·····	(206)
第五节	实例计算及成果分析·····	(211)

第十八章	水库调度专家系统.....	(222)
第一节	何谓专家系统.....	(222)
第二节	专家系统的发展简史.....	(224)
第三节	研制水库调度专家系统的意义.....	(228)
第四节	水库调度专家系统的构造原则.....	(229)
第五节	水库调度专家系统的组成部分.....	(230)
第六节	不精确推理方法.....	(232)
第七节	水库调度专家系统研制.....	(237)
第八节	水库调度的智能决策支持系统浅说.....	(244)

第一篇 规划篇

提 要

本篇首先对目前水电站规划问题研究的现状进行了剖析,提出了研究此问题的新途径——河流开发规划的决策支持系统(DSS);进而阐述了DSS中各单元的设计模式和总体结构;对开发顺序的决策,先从结构演化,因素分析,再到多种决策方法的应用,均考虑了与决策者的交互,并能将定性与定量分析有机结合;对库群参数的优选,先得到模型结构,然后进行优化计算得出结果。

第一章 对河流梯级开发最优规划问题的浅析

第一节 规划问题的性质

一、内容结构的复杂性

河流的开发规划首先是要在纵横交叉的环境中提出问题,抽象化各问题的特点,然后应用多种方法来解决问题。其中问题的定义和描述直接影响着河流水资源的合理开发和开发规划的方针政策。从系统范围考虑,各问题都涉及到矛盾间的协调。如从大范围考虑有:如何使水资源充分利用,如何从综合利用中使国家收入最大,地区收入最大,如何使环境、生态得以改善等,从小范围考虑有:选择最佳的开发方式,最佳的开发规模,最优的开发顺序等。当问题得以定义和描述,就应当考虑其涉及的环境,这一复杂的环境同时也给问题增添了复杂程度。

二、系统结构的层次性

河流开发环境系统具有层次性,所涉及的系统、子系统、目标准则及各因素构成了图 1-1 的层次结构,此结构可以按决策者的要求进行演化,这为问题的分析和解决带来了方便。

三、影响因素的不确定性

影响系统分析和决策分析的众多因素又受各自的环境影响,绝对地说它们都是不确定的,确定性只是相对而言,相对不同地点、不同阶段及不同因素而言。因素的确定性处理可使问题大大简化,但却有范围和条件的限制,否则会使问题的解决脱离实际,求得形式上最优的解。

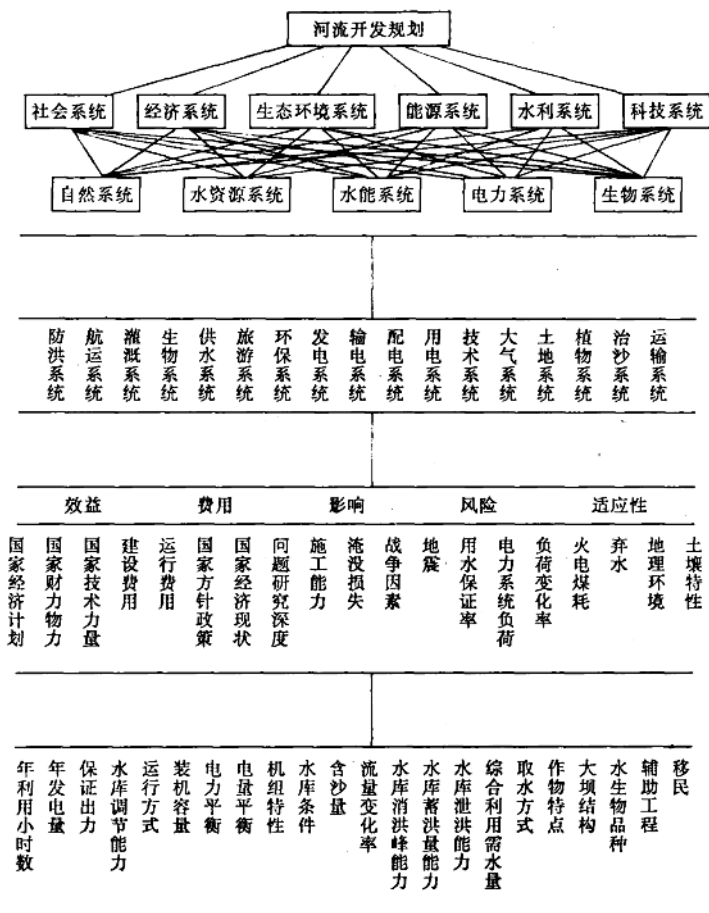


图 1-1 河流开发规划的系统总体、层次结构

不确定性可以部分定量描述和定性描述,部分定量描述是指由概率统计和模糊集来对其随机性和模糊性的描述,定性描述是指决策者根据环境条件能够给出的程度区别。

河流开发规划中的诸因素,在一定条件下,有确定的也有不确定的,其描述上各种形式可能共存,这就给问题的解决带来了困难,必须认真对待。

四、分析方法的多样性

由于因素众多,问题复杂,则解决和分析的方法必须相应多样。把问题模型化(这里当然不只是指数学模型),就是一多层次的、大规模的数学分析模型和结构分析模型的系统体系,其中有多目标、多属性、多准则,有诸动态变量,非线性关系等。这些从描述到分析再到求解都要应用到众多的具体方法,并且还要进行有效、可靠、方便的方法的有机组合。

第二节 解决规划问题的现行思想方法体系

国内对河流开发规划的优化研究起步较晚,其重要性也是慢慢得到认识的。由于受多种因素的限制,从一开始就以所研究问题中的各子问题具有相对独立性为前提,采用了整体系统割裂分别考虑的思想体系,这样的处理方式可以使问题在一定程度上,一定范围内和一定的要求下得以解决。当随着对系统整体性的认识,影响因素考虑的越来越多,按本思想方法体系,就可对问题的研究不断扩大和深化,向着接近实际迈进。

运用系统割裂的思想方法,研究相对较多的是基本参数的选择和开发顺序的论证,其他方面仅作了一定的论述和讨论。对参数的优选大体经历了:单库单参数的优选→多库单参数的优选→多库多参数的优选→参数的逐步优选→参数的同时优选→更大系统内的参数优选。在开发顺序方面的研究大体经历了:梯级纯费用考虑排序→按梯级的补偿作用和经济性排序→纯水能系统的梯级排

序→纯水能系统的跨流域排序→考虑火电系统的排序→水火电混合系统的容量规划→高层次的电力系统容量规划。

上述两个方面的不同阶段,当考虑了不同条件曾运用了线性规划、动态规划、整数规划、网络规划→混合整数规划,模拟与优化结合法,多目标分析法→大系统递阶多目标分析,层次分析,模糊及灰色控制等。在考虑问题的前提没有重大改变的情况下,从计算精度上,计算时间上和计算的可行性上下大功夫力图运用运筹学和系统工程的新理论、新方法已取得了可喜的进步。

相对于上述思想方法体系较为先进的另一种思想方法体系是整体逐步详细化。本体系在研究问题的不同阶段,对系统复杂程度的考虑不断深入:先筛选,再模拟,然后排序。在解决问题的过程中,可使问题简化,有一定的实用价值。自从本思想方法体系引入国内以来,整体发展较为缓慢,仅在局部阶段上有了较大改变。

目前已有了整体考虑和处理问题的大体设想,但其具体化形式还在研究中。如果能从接近实际系统出发,充分考虑决策者的作用和需要,就能使我们的探索有方向。

第三节 国内目前对问题解决的程度

运用前述思想方法,国内各大院校,科研设计单位做了不少工作,出了不少成果,取得了不少经验。在研究的过程中,对一些具体的问题和概念作了进一步澄清,对因素间的相互影响、环境影响、风险影响有了明确认识,这些为以后的工作奠定了基础。

对一定的研究规模,清华大学曾用了多模型的循环求解⁽⁵⁾,武汉水利电力学院曾用了动态规划进行循环求解⁽⁶⁾、大连理工大学对水火电力系统运用了非线性整数规划,天津大学对综合利用情况进行了较多处理,清华大学和武汉水利电力学院也进行了电力系统的容量规划,陕西机械学院运用大系统理论在此方面也较为成功。下面就较有特色的几个方面分别给予说明。

华中理工大学按图 1-2 进行参数的同时优选这样的模型框图^[3]结构较为合理,思想较为新颖,有接近实际的一面,但也有脱离实际的一面,因回归出多目标函数关系式有可能偏离实际。对于单库的多目标参数同时优选这是一个开端,虽然进一步研究还存在着问题,但还是值得去探讨。

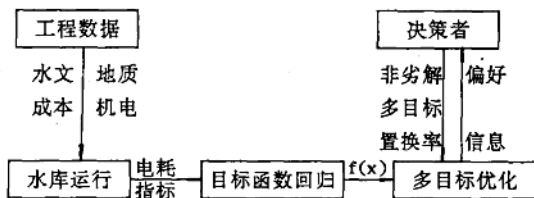


图 1-2 参数优选的模型框图结构

随着问题研究的不断深入,规划阶段对运行阶段的考虑也越来越重视了。河海大学、陕西机械学院、北京水利电力经济管理学院的大量工作颇具特色,认为规划阶段的补偿调节是相当重要的,是运行调度的一个方面。河海大学的邱锡成等人在红水河的开发规划研究^[7]中,用了长水文系列,逐时段计算,使破坏出力月份总数等于允许破坏出力月份数,避免了寻找枯水段的矛盾。对于方案组合的任意性,程序中采用了堆栈和排队技术,这虽然可减少工作量,但还有待整体上的完善。

对不确定性因素的处理,大家都重视起来,特别是随机性都曾进行了研究,面对模糊性的处理,大连理工大学在此方面逐步得到深入,但仍有不令人信服之处^[8]。

陕西机械学院、北京水利电力经济管理学院在大系统递阶多目标优化方法应用方面做了不少探讨,证实了此法的可行性,但其收敛性问题和进一步的突破还有待深入。

对多属性、多准则的决策分析,涉及定性描述问题。针对三峡

工程的评价,此方面的工作才有了较大重视。西安交通大学席西民的硕士论文和武汉水利电力学院饶正富的博士论文能代表此方面的进展动态。

经过近年来的研究,应当有所总结,探讨存在的问题和进一步发展的方向。胡振鹏和饶正富在他们的博士论文^[2]中,冯尚友教授在“系统分析应用的动态与趋势”文中^[1],对目前国内外动态进行了分析总结,提出了某些问题,展示了今后工作的方向,很有参考意义,从中可得到较大启发。

参 考 文 献

- (1)冯尚友,水资源系统分析应用的目前动态与发展趋势,水能技术经济, No. 3, 1988.
- (2)胡振鹏,大系统多目标决策分析的分解——聚合方法——原理及应用,武汉水利电力学院博士学位论文, 1987.
- (3)陈珏等,红水河大藤峡水电站的多目标数学模型及参数优选方法,华中工学院(油印), 1987.
- (4)饶正富,冯尚友,现行水电能源系统最优规划的主要理论与方法,水利电力科技, No. 2, 1987.
- (5)施熙灿,徐青,水电站群参数优选规划模型及其应用,水利学报, No. 1, 1988.
- (6)万永华,梯级水电站设计参数选择的数学模型,武汉水利电力学院学报, No. 2, 1986.
- (7)邱锡成等,红水河梯级开发顺序组合的补偿调节和优化调节数学模型研究,柯海大学(油印), 1987.
- (8)陈守煜,系统与模糊分析求解水电站最优排序,大连工学院论文, 1988.

第二章 研究最优规划问题的新途径

第一节 简评现存思想方法体系中存在的问题

从大量的文献及系统工程在生产实际中的应用看,目前国内可能在下述诸方面存在问题:

一、思想方法的更新问题

受传统思想方法的约束,仅要在方法上、模型上靠较小的改变和发展来使问题的研究逐步向前迈进,步子太小,也不可能很大。在不断接近实际的过程中,越向前就越觉得困难重重,越觉得问题棘手。只有在前提上有所突破,才有可能在整体上有所突破,这就亟待思想体系的更新。

二、研究成果的实用性较差问题

此问题已引起了国内外有关学科的重视,是一普遍问题。目前大量工作中的成果对决策者的决策影响不大,其原因就是理论和实际的结合问题,强调这两者的结合,主要在于实际的可用性,而不在于曾用了实际资料。具体问题的考虑不周,因素的处理欠当,对下面提出问题重视不够等等都是导致此问题的根源。

三、数学模型的功能和作用的局限性问题

数学模型是客观实际的抽象,对实际的描述不可能完善,其受着众多不确定性因素的环境影响,其中输入的资料,实测数据都有一定误差。当给决策者、专家展示了数学模型和结果时,他们总能对模型中的目标和约束提出需改进的地方,对某些结果的不满意处,何况对多决策者情况。这样的改变和要求,对他们来说较为容易,但对分析者却要经浪费大量的人力物力后,又要进行长时间的计算。