



SHUIZIYUAN GUIHUA JUECE LILUN YU SHIJIAN

水资源规划决策 理论与实践

王海政 编著



黄河水利出版社

黄河水利委员会治黄著作出版资金资助出版图书

水资源规划决策理论与实践

王海政 编著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书针对由跨流域调水工程与供水区域各种水资源耦合构成的复杂水资源规划决策问题,着重研究了其所具有的大系统、单目标决策、多目标决策、风险决策、群决策等特点,提出了一套较为系统的水资源规划决策理论与模型,包括水资源规划单目标决策理论与模型、水资源规划多目标决策理论与模型、水资源规划多目标风险决策理论与模型、水资源规划多目标风险型群决策理论与模型等。

本书适合于从事水资源规划、管理、研究人员阅读,也可供水利水电类和经济管理类专业及相关专业本科生、研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水资源规划决策理论与实践/王海政编著.—郑州:黄河水利出版社,2010.12

ISBN 978-7-80734-967-9

I.①水… II.①王… III.①水资源管理 IV.①TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 256358 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail: hhslebs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm×1092 mm 1/16

印张:10

字数:210千字

印数:1—2 000

版次:2010年12月第1版

印次:2010年12月第1次印刷

定价:30.00元

序

水资源是事关国计民生的基础性自然资源和战略性经济资源，是生态环境的重要控制性要素，也是国家综合国力的有机组成部分，我国水资源禀赋条件并不优越，可供经济社会活动的水资源有限。我国水资源特点可概括为总量大人均小、时间分配不均、空间分配不匀。具体表现是：第一，水资源总量多，但人均占有量少。我国水资源总量约为 2.8 万亿 m^3 ，居世界前几位，但人均量只有 2 100 m^3 左右，仅为世界平均值的 1/4，人均水资源量已被列入贫水国家之一。有限的水资源要求加强节约用水。第二，河川径流年际、年内变化大。我国河川径流量年际变化大，降雨年内分配集中在汛期。在年径流量时序变化方面，北方主要河流都曾出现过连续丰水年和连续枯水年现象，这种连续丰、枯水年现象，是造成水旱灾害频繁、农业生产不稳和水资源供需矛盾尖锐的重要原因。河川径流年际、年内变化大要求建设调节水库对来水过程进行时间分配。第三，水资源地区分布与其他重要资源布局不相匹配。我国水资源地区空间分布不均匀，南多北少、东多西少且相差悬殊，水资源空间分布与人口、耕地、矿产和经济的分布不相匹配。水资源与其他重要资源空间分配不匀和人类对水资源空间需求不均衡性的客观存在往往要求采用跨流域（区际）调水进行空间配置。

进入 21 世纪，随着工业化、城镇化和农业现代化进程的深入推进，经济社会发展对水资源需求日益增长，加之全球气候变化影响，水资源已成为我国经济社会可持续发展主要制约因素。面对我国经济社会快速发展与资源环境矛盾日益突出的严峻形势，为适应新时期经济社会发展和生态环境保护对水资源可持续利用要求，需加强水资源规划，对水资源进行高效、合理配置。水资源规划是在分析研究水资源时空分布特征、流（区）域条件、国民经济与社会发展对水资源需求基础上，从人口、资源、环境与经济社会协调发展的战略高度出发，采取综合性措施，处理好经济社会发展、水资源开发利用和生态环境保护的关系，对（跨）流（区）域水资源进行统筹安排，制定最佳开发利用方案并提出相应工程与非工程措施。

水量不足、水质超标、工程调蓄能力限制等原因导致了用水目标、用水时间和用水地域的冲突，从而产生了用水竞争性，水资源规划是针对水资源短缺和用水竞争性而提出的。水资源规划的实施是由工程措施和非工程措施组成的水资源优化配置系统来实现的，水资源优化配置基本功能涵盖两个方面：在水资源需求侧，通过调整产业结构和生产力布局，建设节水型社会，以适应较为不利的水资源条件；在水资源供给侧，则是通

过协调各项竞争性用水,并利用工程措施改变水资源的天然时空分布,适应生产力布局。水资源需求侧与供给侧相辅相成,综合协调水资源需求的合理性与供水方案的经济可行性,制定高效、公平和可持续利用的水资源配置方案。水资源规划是复杂的系统工程,它涉及多种水源、多个工程、多项需求以及不同经济社会发展模式的综合性规划,直接影响到具有用水竞争性的不同地区、集团和公众的利益。正是由于用水竞争性与利益差异化的存在,人们提出了各种各样的水资源配置方案,不同方案又会产生不同的经济、环境与社会效益,这就提出了以水资源配置方案优化选择为核心内容的水资源规划决策问题。

水资源规划涉及大量决策问题,加之相互关联与影响,致使决策过程十分复杂,为了使决策科学化,需要在规划理论、决策方法和定量手段上有所发展。目前研究水资源规划问题的决策方法与模型可归纳为两大类:一是通过多种方法对复杂水资源系统进行简化,采用数学规划或模拟技术求解水资源配置方案;二是直接采用大系统优化方法,先构建大系统递阶结构,然后再运用多种数学规划或模拟技术相结合的方法求解水资源配置方案。考虑我国水资源地区分布与其他重要资源布局不相匹配特点,在立足于流(区)域当地水资源合理开发与优化配置的同时,一些跨流(区)域调水工程纷纷提出,以保证经济、社会、环境的协调发展。作者综合上述两种方法的思想并引入决策理论,系统地研究了含有跨流域调水工程的水资源规划决策问题,集成运用发展起来的大系统、多目标决策、风险决策、群体决策等理论,对水资源规划决策理论与方法进行了研究。

包含跨流域调水工程的水资源规划决策问题是由跨流域调水工程、区域自然与社会经济构成的复合大系统。作者深入分析了其半结构化、复杂大系统、多层次、多目标、风险、多决策者利益冲突等特点,研究设计了水资源规划决策问题的大系统结构、决策模式、模型体系,采用大系统分解协调技术,以调水量与配置效果作为关联变量,将水资源规划决策问题中耦合存在的工程措施子系统与非工程措施子系统分解为调水工程方案选择子系统、水资源规划决策子系统,并对两个相互关联的子系统建立了不同层次决策问题的决策模型。作者为丰富和发展大系统、多目标决策、风险决策、群决策的理论与方法开展了有益探讨,尤其是采取递进耦合方式开展深入研究,以推动该方面的应用与发展,并初步形成了一套水资源规划决策理论与模型,具有一定理论价值与实践意义。



2010年11月20日

前 言

水资源短缺不仅制约了经济社会的可持续发展，还造成了严重的生态环境问题，解决这些矛盾的途径有两个：一是开源节流，二是对有限的水资源进行优化配置，这两个途径相辅相成，共同促进区域的可持续发展和水资源的可持续利用，但其核心还是如何合理地调控水资源。跨流域调水工程是由工程措施与非工程措施组成的集成体系，跨流域调水量与供水区域各种水资源耦合构成的复杂水资源规划决策问题具有大系统、多目标决策（包含单目标决策属性）、风险决策、群决策等特点，作者深入系统地研究了这些特点，并初步形成一套水资源规划决策理论与模型，可应用于流域水资源决策，具有理论与实践价值。

本书采用大系统分解协调思想，以调水量与水量配置效果作为关联变量，将水资源规划决策问题中耦合存在的工程措施子系统与非工程措施子系统分解为调水工程方案选择与排序子系统、水资源规划决策子系统，并对两个子系统进行了结构分析。针对水资源规划决策是一个大系统、半结构化、多层次、多目标、风险型、多决策者的决策问题，采用从系统分析到系统综合集成的认识和解决问题的办法，对其决策模式进行了分类，并进一步建立了水资源大系统半结构化的交互式多层次、多目标风险型群决策理论与方法逻辑框架体系。对两个相互关联的子系统建立了不同层次的规划决策理论与模型：水资源规划单目标决策理论与模型，水资源规划多目标决策理论与模型，水资源规划多目标风险决策理论与模型，水资源规划多目标风险型群决策理论与模型。为了验证提出的水资源规划决策理论的合理性与模型方法的可行性，针对某大型跨流域调水工程水资源优化配置问题，研究了其方案选择与开发排序问题、水资源优化配置决策问题。

本书是作者十多年来作为主要规划与研究人员从事南水北调西线工程规划、“九五”国家重点科技攻关项目子题“水资源优化配置经济效益计算方法研究”、国家重点基础研究发展规划项目(973 项目)“黄河流域水资源演变的多维临界调控模式”、国家自然科学基金重点项目“应用技术评价理论与方法研究”等一系列国家重大生产和研究项目的系统化理论提炼与实践总结。本书适合于从事水资源规划、管理、研究人员阅读，也可供水利水电类和经济管理类专业及相关专业本科生、研究生参考。

本书得到黄河水利委员会治黄著作出版资金全额资助，黄河水利出版社为本书出版也付出了辛勤劳动，在此特表示感谢。作者感谢导师吴泽宁教授和全允桓教授一直以来的指导与关心。感谢作者所在单位领导与同事对我的一贯关心与帮助。本书在编写过程

中参考或引用了有关单位及个人成果，已尽可能在参考文献中列出，在此一并致谢，书后虽列有参考文献，挂一漏万之处恐难避免，敬希见谅。鉴于水资源规划决策理论学科体系目前仍处于不断研究和探索之中，加上编著者水平有限，本书不足之处在所难免，敬请批评指正。

王海政

2010年9月

目 录

序	王斌
前言	
第 1 章 水资源规划决策概论	(1)
1.1 跨流域调水工程水资源优化配置问题及其决策特点	(1)
1.2 水资源规划决策理论研究回顾	(6)
1.3 水资源规划决策理论提出与模型框架体系构建	(12)
第 2 章 水资源规划决策的大系统结构及其决策模式	(15)
2.1 跨流域调水工程水资源规划决策的大系统结构	(15)
2.2 水资源规划决策的调控运筹与跨流域调水时机选择	(18)
2.3 水资源规划决策的经济学三重层次多维调控准则	(20)
2.4 水资源决策单维调控手段优选	(21)
2.5 流域水资源多维调控手段的集成与组合优选	(27)
2.6 水资源规划决策的调控方案生成理论与方法	(28)
2.7 水资源规划决策模式与决策方法框架体系	(34)
2.8 流域水资源可持续利用科学对策	(37)
第 3 章 水资源规划单目标决策理论与模型	(40)
3.1 基于经济效益的调水量优化配置单目标决策模型	(40)
3.2 基于经济效益的调水工程方案选择排序单目标决策模型	(67)
第 4 章 水资源规划多目标决策理论与模型	(80)
4.1 基于满意度的调水量优化配置多目标决策模型	(80)
4.2 跨流域调水工程方案选择排序的多目标决策模型	(89)
第 5 章 水资源规划多目标风险决策理论与模型	(96)
5.1 水资源规划风险决策理论基础	(96)
5.2 基于模糊与随机的调水量优化配置多目标风险决策模型	(102)
5.3 基于模糊与随机的调水工程方案选择排序多目标风险决策模型	(113)
第 6 章 水资源规划多目标风险型群决策理论与模型	(121)

6.1	水资源规划群决策问题的提出及决策特点	(121)
6.2	基于满意度的调水量优化配置大系统多目标风险型群决策模型	(125)
6.3	基于满意度的调水工程方案选择排序大系统多目标风险型群决策模型	(128)
第 7 章	某大型跨流域调水工程调水量配置及方案选择排序研究.....	(133)
7.1	研究问题的提出	(133)
7.2	调水量优化配置及调水方案选择排序研究思路	(136)
7.3	基于大系统多目标风险型群决策模型的调水方案选择与开发次序 研究	(137)
7.4	基于大系统多目标风险型群决策模型的水资源规划决策研究	(140)
参考文献		(148)

第1章 水资源规划决策概论

1.1 跨流域调水工程水资源优化配置问题及其决策特点

1.1.1 跨流域调水工程水资源优化配置问题的提出

随着经济社会的发展、人口的增长和城市化进程的加快,人们对水资源数量和质量的需求也越来越高。然而,自然界提供的可用水资源量是有一定限度的,水资源需求与供给间的矛盾将日趋尖锐,在一些地区水资源短缺已成为制约经济社会发展的重要因素。解决这一危机的途径有两个:一是开源节流,建立节水型社会;二是对有限的水资源进行优化配置,加强水资源的统一规划与管理,使有限的水资源得到有效利用。而实施跨流域调水工程兼具有开源与优化配置两种措施。

水资源问题已成为 21 世纪人类生存与可持续发展的一个重要因素。水土资源分布不均与供需矛盾是研究和实施跨流域调水的根本原因,跨流域调水作为调节水资源时空分布不均、实现水资源合理配置的重要调控手段与措施,它是在两个或两个以上的流域系统之间通过调剂水资源余缺所进行的合理水资源开发利用。跨流域调水可促进国民经济持续、协调、稳步、快速的发展,促使自然资源的合理开发利用,促进自然生态环境的改善。因此,如何进行跨流域调水工程的决策与建设,使有限的水资源量更好地造福于人民,便成了一个十分重要的议题。

为了提高跨流域调水规划决策研究的有效性,使工程实现社会、经济、生态环境效益最大化,不利影响最小化的目标,需要根据跨流域调水工程的特点进行以下主要问题的决策研究,如调水量问题、环境影响问题、工程技术问题、社会经济影响等。而其中的调水量优化配置决策又是跨流域调水工程决策中带有宏观全局影响的问题,它既是环境影响、社会经济影响等决策的先决条件,也是水资源优化配置中工程措施与非工程措施的耦合体,涉及调水方案选择、排序和规模选择、供水范围与部门确定、运行调度与管理决策、社会经济影响分析等方面。因此,如何对多流域、多地区的多种水资源(如当地地表水和地下水、外调水等)进行合理调配是重大的决策问题。跨流域调水工程水资源优化配置与供水区的水资源进行联合优化配置,其实质是一个包括跨流域调水工程的水资源优化配置,因此本次研究将水量优化配置与水资源优化配置替代采用。

1.1.2 跨流域调水工程水资源优化配置问题的决策特点

1.1.2.1 跨流域调水工程水资源优化配置问题的决策三要素

任何一个决策问题都要涉及决策对象、决策环境和决策者这三个要素。从系统的观点看,跨流域调水工程水资源配置的各类决策问题均是围绕着水资源的开发、利用、保护

和管理进行的。因此,水资源系统本身是决策对象;一切水资源决策问题均是为国民经济服务的,其出发点和最终目的均是满足区域宏观经济的持续发展,而任何一种区域经济发展模式又不可能不在水的供需两方面影响水资源问题有关决策的作出。因此,与水资源决策有关的区域宏观经济系统显然是水资源决策的决策环境。决策最终是由决策者作出的,而围绕着水资源决策问题经常牵涉到上下游、左右岸、不同地区和不同部门的多个决策者,故在考虑决策者这一要素时,应把参与决策的各方面意见按某种方式加以考虑。

1. 水资源系统(决策对象)

从各类水资源存在、运动及转化的观点看,可把水资源系统进一步分为水源单元、输水单元和用水单元。水源单元包括跨流域调水工程、水库工程、地表水工程、地下水源地、各种工农业节水措施、污水处理回用工程和海水淡化等。输水单元由河流、渠道、引水调水管线等组成。用水单元由工业、农业、生活和生态环境等部分组成。显然,不同的水源工程单元与不同输水工程单元的组合,其投资和供水效率是不同的。

然而,水资源系统本身并不是孤立存在的,供水量大小、地表水、地下水、从区外调入水、向外区调出水 and 处理后回用的再生水的利用比例是受经济发展状况制约的,用于水资源的各项资金是从经济积累中得到的,因此在进行水资源决策时不能单纯地就水论水,而要充分地考虑决策外部环境的影响。

2. 宏观经济与生态环境系统(决策环境)

决策环境包括宏观经济与生态环境构成的系统,二者均对水资源需求提出了相应的要求。

宏观经济系统是指水资源决策项目区内的全部经济活动。在宏观层次上描述这些经济活动,首先要把项目区内各重点地区围绕着中心城市进一步划分为若干宏观经济子区,并将宏观经济按大的部门划分为若干门类。作为水资源决策问题的决策环境,宏观经济系统主要从两方面影响到水资源的决策。第一,宏观经济发展的不同规模与结构,会极大地影响到需水量大小;第二,宏观经济发展的不同模式会影响到资产的积累与投资的分配,这也会直接影响到水资源的开发利用程度与模式。显然,在进行水资源决策时要统一考虑决策对象与决策环境,即把水资源的优化配置与区域的经济的发展作为整体进行研究。

生态环境是指影响人类生存与发展的水资源、土地资源、生物资源以及气候资源数量与质量的总称,是关系到社会和经济持续发展的复合生态系统。生态环境问题是指人类为其自身生存和发展,在利用和改造自然的过程中,对自然环境破坏和污染所产生的危害人类生存的各种负反馈效应。生态环境保护的基本原则:坚持生态环境保护与生态环境建设并举;坚持污染防治与生态环境保护并重;坚持统筹兼顾,综合决策,合理开发;坚持“谁开发谁保护,谁破坏谁恢复,谁使用谁付费”制度。

3. 决策者

一般而言,影响决策者作出决策的因素不外乎四类,即利益、风险、偏好以及决策时的心理状态。对于水资源决策,由于决策不是临时随机作出的,因而可以不考虑决策者的心理状态。对于利益和风险因素,在绝大部分的水资源决策问题中,均可以用适当

的数学模型进行定量描述, 具有较大的客观性, 属于结构化问题。但对于水资源决策过程中涉及不同利益相关者间的关系, 或是愿意承担风险的程度问题, 很难用数学模型进行定量描述, 只能根据决策者的偏好对方案进行判断与选择, 因而属于半结构化问题。决策者的偏好是集决策者的经验、稳定的心理素质、对决策问题的认识程度和对全局把握程度的一种综合反映, 具有相当的主观性, 因而应特别予以注意。

在水资源问题的决策过程中往往不止一个决策者。这些决策者又往往处在不同的决策层次上。处在同一决策层次上的各决策者之间(如各地区之间)所注意的主要是本地区受益的大小, 着眼点在经济利益上; 处在不同层次上的各决策者之间(中央与各地方之间), 下层决策者仍是注意本地区受益的大小, 而上层决策者则更注意各个待选方案与既定宏观政策之间的偏离程度。

1.1.2.2 跨流域调水工程水资源优化配置问题的决策特点

跨流域调水工程水资源优化配置决策问题作为跨流域调水工程系统、区域自然系统与社会经济系统的复合系统, 具有规模庞大、结构复杂、功能综合、目标和因素众多、不确定性、利益冲突等特点, 是一类复杂的大系统, 是本次大系统多目标风险型群决策研究的基本内容。这类系统的优化决策问题具有以下特点。

1. 结构关联的复杂大系统

跨流域调水决策问题是一个复杂的系统工程, 涉及多种水源、多个工程项目、多种用途、多种需求以及不同的社会经济发展模式的综合规划, 直接影响到不同地区, 不同部门、集团和公众的利益。跨流域调水水资源优化配置决策问题是由自然系统与社会经济系统构成的复合系统, 既包括由地表水、地下水构成的物理实体, 也包括由经济部门及其关联构成的区域经济生产系统, 还包括调水工程方案系统。

跨流域调水工程方案的选择与排序、供水区域的调水量配置、供水区的地表水与地下水联合调度运行、社会经济发展预测等问题是相互影响、相互关联的, 必须统一考虑。例如, 跨流域调水工程方案优选要与水资源配置、社会经济发展及供水区的水资源调配统筹考虑, 在调水量给定的前提下, 不同的运行方式将产生不同的社会经济效果, 而不同的社会经济效果又反过来影响调水资源的确定。

大型跨流域调水工程水资源优化配置系统结构的复杂性表现在各子系统、各变量等之间具有相互关联的复杂结构, 使系统呈现出多目标、多输入、多输出、多干扰、多参数、多变量、非线性等许多特性。但要直接同时解决这些问题是有困难的, 这样将使决策变量维数太高, 出现“维数灾”, 而且将使系统中本来就存在的不确定性问题产生更加复杂的不确定性。

2. 水资源优化配置中的多目标决策问题

在微观层次上, 对某一跨流域调水工程而言, 可以有灌溉、工业与城市供水、生态环境改善、水力发电等目标。从区域发展的宏观层次看, 跨流域调水工程的开发不单纯是为了经济发展, 而且也是为了环境改善及社会进步。特别是若要实现区域的持续发展, 在宏观层次上统一考虑水资源开发与区域经济、社会、环境协调发展之间的关系, 具有十分重要的紧迫性。

实施跨流域调水工程, 具有以下宏观社会效益: 推动国民经济持续增长, 促进

地区经济协调发展；为国民经济的快速发展提供水资源支撑；为加快城市化进程提供水资源保证等。实施跨流域调水工程，具有以下生态环境效益与作用：增加植被，改善生态环境；促进水土流失治理；增加河川径流，改善水环境；提供可靠水源，改善人民生活环境；调整水资源布局，提高区域水资源及环境承载能力等。在严重缺水地区，水资源往往是最具战略意义的资源，水资源不足的问题不仅仅破坏生产条件，使农业的可持续发展失去基础，破坏社会经济的持续协调发展，更为严重的是，直接威胁着人类生存环境。

对于水资源优化配置决策问题，目前主要在具体的工程层次上采用了多目标决策与评价技术。如何在宏观层次上定量地反映不同的配置方案对区域可持续发展的影响，特别是在决策过程中系统地生成多目标非劣意义下的备选方案并有机地融入决策者的偏好，是决策方法研究中的难点。

3. 水资源优化配置中的不确定性与风险

水资源优化配置应考虑不确定性和风险。流（区）域水资源优化配置为长期决策，由于水资源优化配置问题的复杂性，一般需要采用优化模型来统一描述水资源与经济、环境和社会发展的关系。长期发展过程中经济增长格局具有较大的不确定性，而水文气象要素又具有随机性。这些不确定性和随机性是影响优化模型的实施前提。

决策过程实质上是对决策问题的有关信息的不断加工及深化认识的动态过程。根据具体问题收集整理有关数据，形成若干推荐方案并对各方案的实施结果进行量化，最后进行方案选择。选择的方案在实施过程中若外界条件有变化，再跟踪修正，最后使之达到或接近预期的目标。

天然来水随机性造成的风险使得有必要在决策过程中进行水的供需模拟，以对供水风险有一个基本的估计。

需水预测的基础是区域经济的长期发展态势，在经济的长期发展过程中，技术进步、经济结构、城市化进程、农村乡镇企业发展状况、城市第三产业增长态势以及水价对需求的抑制作用等均会对未来需水量的上下波动造成很大影响。一般地说，上述各类影响因素的组合状况难以预料，但某个确定组合条件下将导致的经济后果是可以推断的，因而需水预测中的不确定性使得水资源优化配置成为一个具有不确定性的多目标决策问题。

与其他水资源系统一样，跨流域调水系统的不确定性主要集中在降水、来水、用水、地区经济社会发展速度与水平、地质等自然环境条件、决策思维和决策方式等方面，相对比较而言，其涉及两个以上的流（区）域，其不确定性程度更大、范围更广、影响更深，因而无法避免由于不确定性带来的风险。

4. 水资源优化配置中的利益冲突

在区域水资源的规划与管理决策中一般涉及各地区与各部门间的利益冲突。以往的水资源决策多是从单一决策者模式出发考虑问题的。尽管在决策过程中各地区与各部门的“小团体”利益都会得到不同程度的反映，但由于决策模式本身的缺陷，不能充分地揭示出“小团体”利益间冲突，往往留有“后遗症”。因此，在水资源决策中有必要研究群决策的决策模式。

5. 决策中的半结构化问题

结构化程度是指对某一决策问题的决策过程、决策环境和决策规律,能否用明确的语言(数学的或逻辑的、形式的或非形式的、定量的或定性的)给予说明或描述清晰程度或准确程度。按照结构化程度可将决策问题分成结构化问题、非结构化问题和半结构化问题三种类型:第一类为结构化决策问题,该类问题相对比较简单,其决策过程和决策方法有固定的规律可以遵循,能用明确的语言和通用模型加以描述,并可依据一定的决策规则实现决策,比如用数学规划求解优化问题;第二类为非结构化决策问题,该类问题决策过程复杂,其决策方法没有固定的规律可以遵循,没有固定的决策规则和通用模型可依,决策者主观行为(经验、个人偏好和决策风格等)对各阶段的决策效果有相当大的影响,往往是决策者根据掌握的情况和数据作出决定;第三类为半结构化决策问题,该类问题介于上述两者之间,其决策过程和决策方法有一定的规律可以遵循但又不能完全确定,即有所了解但不全面,有所分析但不确切,有所估计但不确定,这样的决策问题一般可适当建立模型,但无法确定最优方案,比如多目标决策问题。

在跨流域调水工程水资源优化配置的决策过程中有大量的半结构化问题,单纯用数学模型是不能描述的。如地区经济、环境与社会的理想发展模式,决策者的偏好结构,大量的在模型中不能全部反映出来的影响决策的因素,某些管理体制和改革法规对决策的影响等。一方面,这些半结构化问题在计算机系统中难以描述;另一方面,决策者在多年工作实践中已积累了大量的、行之有效的处理这一类半结构化问题的决策经验。通过人机交互,实现专家经验与模型计算相结合、定性判断与定量计算相结合。

1.1.3 研究目的和意义

跨流域调水工程水资源优化配置决策,需要将大系统理论、多目标决策技术、风险决策技术、群决策技术等理论、方法进行耦合交叉研究,以更好地反映跨流域调水工程水资源优化配置决策问题的特点。目前,水利工程、系统工程、多目标决策等科学技术已有了很大发展,但如何运用现代水利规划、决策理论与方法,进行跨流域调水工程水资源优化配置决策研究是国内外值得研究的前沿课题。

考虑大系统多目标风险型群决策理论和方法研究的重要性,在广泛阅读有关研究成果和综合分析论证的基础上,以水资源可持续利用的一种开源调控方式——大型跨流域调水工程为问题背景,研究调水量优化配置和跨流域调水工程方案优选,提出了理论、方法与思路,并为发展和丰富大系统、多目标决策、风险决策、群决策的理论与方法进行了有益的探讨,尤其是将四者综合集成采取交叉耦合途径进行深入研究,以推动该方面的应用与发展。

进行该项研究的意义主要表现在以下几个方面:

(1)在可持续发展理论指导下,以跨流域调水工程水资源优化配置决策的实际问题为导向,结合大系统结构所具有的多目标决策、风险决策、群决策特点,探讨一种考虑工程措施与非工程措施进行联合优化的水量配置决策、调水工程方案选择排序研究,丰富与发展水资源优化配置的理论与方法。

(2)采取耦合途径,将大系统、多目标、风险决策、群决策进行交叉研究,提出一套

大系统多目标风险型群决策理论与方法,具有一定的理论意义。

(3)在水资源优化配置决策模式上,避免目前采用的单一决策者模式,提出多层次的群决策模式,这种决策模式适用于水资源等公共资源的中央及地方两个层次的决策者进行协调,提供了科学的定量手段。

(4)探讨一套适用的定量决策方法,突破常规的经验及半经验的分析方法,能够处理大系统中不同决策层次上的多决策者参与的、适应不确定性与风险的多目标决策方法,可有效提高水资源优化配置、规划与管理决策的质量。

1.2 水资源规划决策理论研究回顾

跨流域调水工程水量优化配置决策涉及大系统、多目标决策、风险决策、群决策等学科方面,这就要求采用耦合途径借助这些理论与决策技术进行交叉研究。首先,介绍大系统理论、多目标决策、风险决策、群决策研究现状,然后,就这四个方面交叉耦合研究现状进行分析说明。

1.2.1 水资源规划大系统研究回顾

从大量研究成果的分析与调查来看,目前对大系统的研究有如下特点:

(1)将大系统分解成相对独立的若干子系统,应用现有的优化方法实现各子系统的局部最优,然后根据大系统的总目标,协调子系统,以获得大系统的全部最优。在拉格朗日函数鞍点条件不成立时,在协调迭代过程中不一定收敛到最优解。

(2)多重建模与分解技术。通过系统结构分析,对大系统进行层次分解和子系统分解,将大系统的多目标性分散并建立相应模型,以反映该层次和子系统的特性;再建立各层次间与系统总体目标的关联模型,以反映系统的总体功能。

(3)采用模型简化办法,直接将问题变换成近似等价的规模较小的问题,然后用传统的方法去求解,往往造成结果失真。

(4)大系统具有的多层递阶性和非单一的多目标性,大系统递阶分析与多目标决策方法,分别研究了这两个侧面,但对二者方法融为一体研究不够。

(5)对大系统确定型问题研究的相对较为成熟,但是对随机型、风险型、不确定型、可靠型等问题研究的不够系统和深入。

(6)对于多个决策中心的大系统问题,即群决策、单决策及其二者的结合涉及的对策问题等研究不够深入。

(7)对大系统优化方法本身研究的相对较多,但是在决策分析过程中,分析者与决策者之间交流或对话在最终决策中的作用研究不够深入。

(8)对大系统多目标决策研究的较少,对涉及的风险决策研究的更少。

1.2.2 水资源规划多目标决策研究回顾

多目标决策问题发展时间较长,但是目前的研究主要是关于求解技术与综合评价问题,研究现状分析主要从求解技术、决策者所给定信息两个方面描述。

1.2.2.1 按求解技术的分类

按照有关学者研究的分类,多目标问题求解技术大致分为三大类:第一类是非劣解的生成技术,第二类是结合偏好的决策技术,第三类是结合偏好的交互式决策技术。

第一类非劣解的生成技术是解决多目标优化问题的基本方法,是第二类、第三类决策技术中许多方法的基础,它为决策者确定偏好和作出决策提供有力信息和依据。非劣解生成技术最常用的方法有权重法、约束法、拉格朗日乘子法、固定等式约束法、权重范数和权重与约束混合法等。此外,结合数学规划,还有线性多目标规划和多目标动态规划法等。

第二类结合偏好的决策技术是在决策者偏好已知条件下,按一定决策规则进行多目标非劣解集的决策,选择最佳均衡解。这类方法按决策者的偏好结构差异可分为:以全局偏好已知为基础的方法,如多属性价值或效用函数法、杰费龙的双准则法等;以权重优先权、目的和理论为基础的方法,如权重法、目的规划法、理想点法等;以目标之间权衡关系为基础的方法,如权衡概率偏好法、替代价值权衡法等。这种分法是在方案无限、方案集未知、决策变量是连续的条件作出的。但是,个别方法也有例外,如目的规划法和效用函数法变量可以是离散的。另一种是按方案有限、方案集已知和决策变量离散划分,这种分法有:基于序数价值函数的方法,如淘汰筛选法、契合排列法等;加权平均法、字典序法、ELECTRE I 和 ELECTRE II 法、广义理想点法等。

第三类是结合偏好的交互式决策技术。这类方法的特点是决策者的偏好只是部分已知,在决策过程中需要与决策者始终通过对话交流信息,故称为交互式技术。这类决策技术的方法有:步骤法(STEP)、杰费龙(Geoffrion)法、泽尼特斯-沃勒纽斯(Zionts-Wallenius)法、均衡规划法、赛蒙皮斯(SEMOPS)法等,这些方法均有各自的特点及适用范围。

1.2.2.2 按照决策者所给定信息的不同类型分类

据有关研究,按照决策者所给定信息的不同类型将多目标决策求解方法分为三大类:①不知任何偏好(即对方案或指标的偏好)信息的方法,包括优势法、最大最小法、最大最大法等。②已知指标偏好信息的方法。所包括的方法又按照已知指标的标准水平、序数偏好、基数偏好和边际替代率分为四小类,相应的方法分别包括:连接法和分离法;字典序法、EBA法和全排列法;线形分配法、简单加权法、层次加权法、ELECTRE法和TOPSIS法;层次权衡法。③已知方案偏好的方法,包括LINMAP法、交互简单加权法、带理想点的多维尺度法。

1.2.2.3 多目标决策研究发展趋势

大系统多目标决策分析的一些概念、理论和方法都是针对确定性大系统优化问题的,也是最基本的。目前的多目标决策分析技术的研究主要是针对目标函数、约束集等系数是确定的情况,但在实际的多目标问题中,涉及的一些系数和参数多是随机变量,并不是固定不变的,这就不能不引起人们对随机性大系统多目标风险分析、多目标随机方法(风险决策)、大系统协调中的关联变量的敏感性分析等的追求和探讨。因此,实际应用和多目标问题本身的特点决定,目前多目标决策问题的研究还没有形成一套系统、全面的理论体系和方法体系,尤其是针对多目标不确定性决策和多目标风险型决策。

大系统中存在的多目标的不可公度性和目标之间的矛盾冲突性,决定了对大系统多目标决策中存在着个体决策面临的局限性,这同时也表明大系统多目标问题中引入群决策理论与技术的必然。

1.2.3 水资源规划风险决策研究回顾

大型跨流域调水工程水量配置中涉及的不确定性和风险性因素,主要是由水资源系统与社会经济系统产生的。

1.2.3.1 工程经济评价的不确定性及其研究现状

Haimes.Y.Y 等对水资源工程规划与管理中的风险/效益分析进行讨论,标志着水资源工程经济风险分析研究的开创。我国现行的水利水电建设项目经济评价规范对此虽有所提及,但仍只限于盈亏平衡分析和敏感性分析。

(1)投资(费用)风险分析。目前的研究方法主要有两个方面:随机分析方法与模糊、灰色分析方法。

(2)效益风险分析。水利工程的效益有其不同于其他工程的特点,即天然来水的不确定性,运行管理的不确定性,产出价格的特殊性,而且还有许多效益很难量化,因此其效益风险分析的复杂性也不亚于其投资的风险分析。目前研究不多,且思路基本与投资风险的随机分析方法一样。

(3)经济效果风险分析。主要研究成果包括,考虑随机变量间相关性对经济评价风险分析的影响,计算评价指标的风险率;用蒙特卡罗模拟法求解经济评价指标的概率分布;引入结构可靠性理论和系统可靠性理论,研究了多重标准时求解水电工程经济评价风险率的方法;引入最大熵法求解经济评价指标的概率分布。

(4)水利水电工程经济评价多目标风险型决策分析。目前关于水利水电工程经济评价风险分析的研究还停留在量化经济评价的不确定特征上,实际上用风险分析的成果进行决策和管理是根本。在单一经济评价指标下的风险型决策方法主要有数学期望和期望一方差法等。这些方法存在一些不足, Yeoukounng Tung 等在分析了上述方法的局限性后,提出了单一经济评价指标风险决策的随机优势法。应该看到,目前对不确定型决策的研究成果是相当丰富的,但还没有充分应用于经济评价的多目标风险决策。

1.2.3.2 水资源系统风险分析发展历史及现状

根据有关分析与归纳,水资源系统风险分析的发展过程大致可分为三个阶段:

第一阶段:20世纪50年代末期至70年代初期,研究的主要对象为水文风险,重点放在分析洪水估计中的风险与不确定性(包括风险率的推求及相应的水工建筑物安全标准)等问题上,内容大多以水文模型选择及参数确定方面的不确定性为主,该阶段研究重点集中在风险与不确定性的估计(如风险率推求)等问题上。

第二阶段:20世纪70年代至80年代初期,这一阶段侧重于一些基本问题的研究,如风险内涵、衡量系统风险的性能指标、产生风险与不确定的来源等,并开始将风险分析与水资源工程规划、设计、管理以及工程评价相结合,探索风险费用、风险效益之间的相互关系和工程评价的准则,其重点是单目标经济风险问题。

第三阶段:20世纪80年代以后,水资源系统风险研究进入到一个较高层次,并具