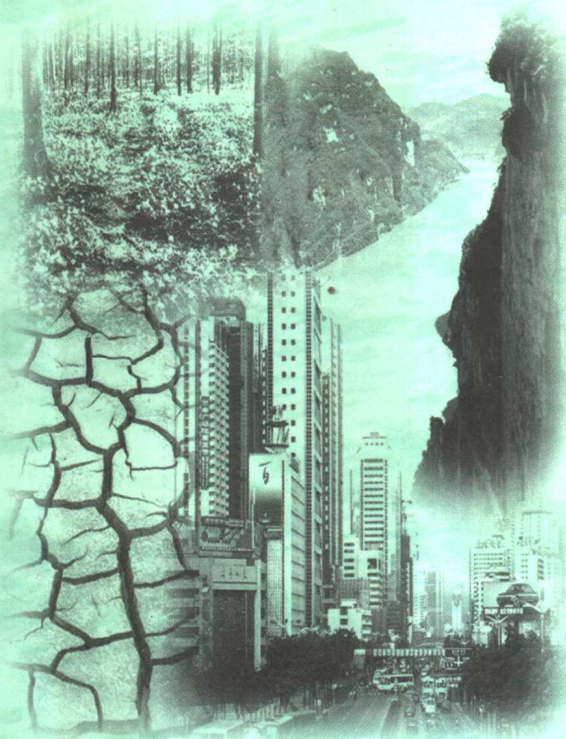


跨

KUALIUYU DIAOSHUI GONGCHENG
GUIHUA DIAODU JUECE
LILUN YU YINGYONG

流域调水工程 规划调度决策理论与应用

■ 邵东国 著
■ 武汉大学出版社



TV68

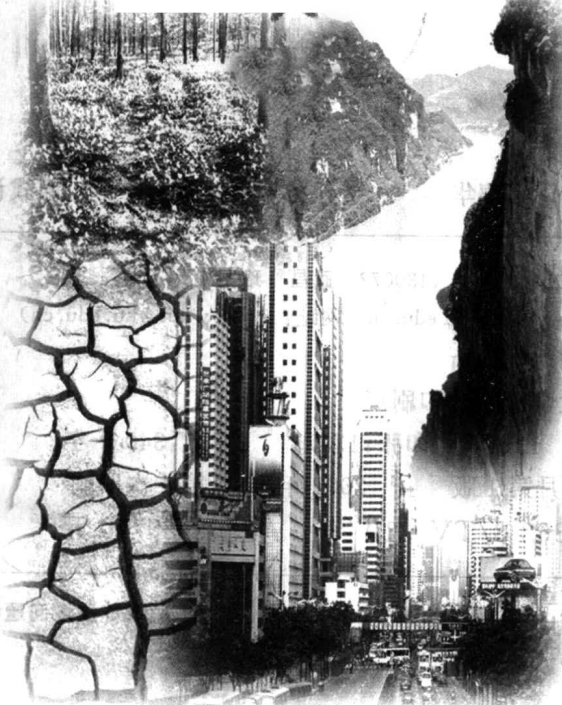
S326

跨

KUALIYU DIAOSHUI GONGCHENG
GUIHUA DIAODU JUECE
LILUN YU YINGYONG

流域调水工程 规划调度决策理论与应用

■ 邵东国 著
■ 武汉大学出版社



640825

内容提要

本书全面论述了跨流域调水工程规划调度决策理论与应用,论证了自优化模拟决策的最优性和收敛性,提出了大系统多目标多层次分解协调模型、交互式模糊多目标层次分析综合协商模型、大型渠道工程优化设计模型、跨流域调水系统来用水中长期预报模型、实时优化调度模型等,并结合南水北调东、中线调度中的重要问题进行了大量计算分析及应用研究。

本书可供从事水利工作特别是跨流域调水工程规划管理人员和水资源系统分析人员参考,也可作为水利院校本、专科生和研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

跨流域调水工程规划调度决策理论与应用/邵东国著. —武汉:武汉大学出版社,2001.10

ISBN 7-307-03362-3

I. 跨… I. 邵… III. ①跨流域引水—水利规划 ②跨流域引水—调度 N.TV68

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 75682 号

责任编辑:瞿扬清 万德华

责任校对:程小宜

版式设计:支 笛

出版:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

发行:新华书店湖北发行所

印刷:武汉理工大学出版社印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:13.75 字数:340千字

版次:2001年10月第1版 2001年10月第1次印刷

ISBN 7-307-03362-3/TV·10 定价:20.00元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

随着人口的增长和经济的发展,水资源问题已经成为影响人类 21 世纪生存与可持续发展的一个重要因素。跨流域调水作为调节区域水资源时空分布不均、实现水资源合理配置的重要手段,倍受世界各国政府的关注。我国是一个发展中国家,随着改革开放以来的经济高速发展和对水资源需求的不断增长,人多水少的矛盾日趋突出。作为解决我国北方水资源严重紧缺问题的重要举措——南水北调工程,和节水一样,正受到党和政府的高度重视。现在,水利工程、系统工程理论与决策支持系统等智能化辅助决策技术已有了很大发展,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这一类多目标高维水资源系统的规划与调度研究,则是国内外前沿课题之一。

本书是作者十余年来从事南水北调中、东线工程规划调度研究工作的基础上撰写而成的,旨在将系统工程与水利工程规划管理等科学决策理论与方法用于跨流域调水中,以便促进我国跨流域调水工程规划调度决策的科学化、民主化与现代化,提高经济、社会和环境效益,实现调水效益与调水效益的合理分配以及全国性水资源的合理配置,推动跨流域调水事业与系统工程理论应用的发展,为我国北方水资源短缺问题的解决和满足社会经济可持续发展对水资源的需求创造有利条件。

全书从定性分析与定量计算两方面,对跨流域调水工程规划调度决策理论与应用问题进行较全面系统的论述。它包括十章。第一章从决策问题基本概念出发,论述了跨流域调水的特征、决策属性及其规划调度的研究动态与内容。第二章从战略决策理论高度,阐述了跨流域调水工程建设的必要性和国内外研究建设现状,探讨了我国南水北调工程战略决策问题。第三章研究了自优化模拟决策技术的最优性和收敛性等理论问题,并对南水北调东线工程调度问题进行了应用研究。第四章建立了大系统多目标多层次分解协调模型与方法,讨论了水库调度图优化与大系统稳定性等问题,研究了南水北调中线工程优化调度问题。第五章提出了交互式多目标模糊层次分析综合协商决策模型与方法,并对南水北调中线工程引汉水量在多地区间的协商分配问题进行了计算分析。第六章给出了大型渠道工程规模优选及其与纵横断面设计相结合的整体优化方法,研究了南水北调中线工程输水总干渠规模的优选定值与优化设计问题。第七章对跨流域调水系统内除输水渠道以外的其它工程规划问题,如:提水泵站设计流量级配、蓄水设施规模及工农业用水规模等,建立了多种混合优化规划模型,研究了南水北调东线工程梯级泵站群设计流量最优级配、黄河以北蓄水洼淀优化规划及黄河以北工农业用水规模优选问题。第八章结合南水北调中线研究了跨流域调水系统来用水中长期预报模型与方法。第九章探讨了跨流域调水系统实时优化调度的基本理论与方法,提出了基于自优化模拟技术的实时优化调度模型与水库余留库容模糊决策模型,研究了南水北调中线实时优化调度问题。第十章论述了跨流域调水工程规划调度决策支持系统设计与开发问题。

本书在理论上论证了自优化模拟决策技术的最优性和收敛性,建立了自优化模拟决策技术理论方法体系;提出了大系统多目标多层次分解协调模型、交互式多目标模糊层次分

析综合协商模型、大型渠道工程规模优选模型及其整体优化设计模型、基于灰色理论与时间序列分析相结合的来用水中长期预报模型、自优化模拟实时调度模型、水库余留库容模糊决策模型等。在应用上对南水北调东、中线规划调度中的一些重要问题,进行了大量计算分析研究,为南水北调东、中线有关问题的决策提供了重要依据。此外,还对跨流域调水和南水北调东、中线工程的战略决策及其规划调度决策支持系统进行了阐述。

全书重视理论联系实际,讲究实用,既可供从事水利工作特别是从事南水北调等跨流域调水工程规划管理人员和水资源系统分析人员参考,又可作为水利院校本、专科生和研究生的教学参考书。

最后,作者衷心感谢原武汉水利电力大学郭元裕教授和沈佩君教授多年的精心指导与帮助,书中内容也凝聚着两位导师的心血。感谢水利部南水北调规划办公室和长江水利委员会等单位领导和工程技术人员多年来对作者研究工作的指导和支持,感谢原武汉水利电力大学雷声隆教授给予的指导和鼓励,以及科研组中覃强荣、刘光耀、卢华友等同志的协作,感谢我的妻子周晓霞女士的关心与支持。本书的出版得到了原武汉水利电力大学“211工程”专项经费的资助,在此表示诚挚的谢意。

跨流域调水工程是一项规模宏大、涉及面广、影响因素众多的复杂系统,其规划调度决策中存在多种不确定因素和大量冲突与矛盾。本书虽然作了一些研究工作,但由于水平有限,书中错误或欠妥之处,恳请读者批评指正。

本书谨献给我尊敬的导师郭元裕教授和沈佩君教授以及那些长期为解决中国水资源问题呕心沥血、奋斗不止的人们!

邵东国

2000年10月于武昌珞珈山

目 录

前 言	1
第一章 概 论	1
§1.1 决策问题基本概念	1
§1.2 跨流域调水的基本特征	2
§1.3 跨流域调水工程规划管理决策研究内容	5
§1.4 国内外跨流域调水工程规划调度决策研究动态	8
第二章 跨流域调水战略决策理论与应用	14
§2.1 跨流域调水的战略决策过程	14
§2.2 跨流域调水的战略地位与作用	16
§2.3 国内外跨流域调水工程建设的现状与前景	21
§2.4 中国南水北调工程战略决策研究	29
第三章 自优化模拟调度决策理论与方法	45
§3.1 引 言	45
§3.2 自优化模拟调度决策的基本数学模型	45
§3.3 自优化模拟决策的基本原理	48
§3.4 自优化模拟调度决策的基本方法与步骤	49
§3.5 自优化模拟调度决策的最优性和收敛性	53
§3.6 南水北调东线一期工程优化调度研究	59
§3.7 结 束 语	71
第四章 大系统多目标多层次分解协调模型与方法	72
§4.1 引 言	72
§4.2 大系统多层次分解协调模型	72
§4.3 多层次分解协调方法与步骤	76
§4.4 水库调度图的优化方法与步骤	78
§4.5 关于大系统稳定性的讨论	80
§4.6 南水北调中线工程优化调度研究	82
§4.7 结 束 语	88
第五章 交互式多目标模糊层次分析冲突协商决策模型与方法	90
§5.1 引 言	90
§5.2 基本建模思路	91

§5.3	层次分析方法与步骤	92
§5.4	多级模糊综合评判决策的方法与步骤	94
§5.5	跨流域调水系统冲突决策模型与方法	96
§5.6	南水北调中线工程分水决策研究	99
§5.7	结 束 语	102
第六章	大型渠道工程优化设计模型与方法	104
§6.1	引 言	104
§6.2	大型渠道工程规模优选方法及应用	105
§6.3	大型渠道工程整体优化设计方法	111
第七章	调水系统提、蓄水设施与用水规模优化规划方法及应用	118
§7.1	梯级泵站群设计流量级配最优规划方法及应用	118
§7.2	蓄水设施规模的最优规划方法及应用	124
§7.3	工农业用水规模的优化规划方法及应用	130
第八章	跨流域调水系统来用水中长期预报模型与应用	135
§8.1	引 言	135
§8.2	丹江口水库来水中长期预报时间序列分解模型	136
§8.3	南水北调中线供水区来水预报研究	153
§8.4	汉江中下游和中线供水区用水量的中长期预报研究	157
§8.5	来、用水预报的中期修正模型与方法	158
第九章	跨流域调水系统实时优化调度模型与应用	165
§9.1	引 言	165
§9.2	实时优化调度特点及其建模求解思路	166
§9.3	自优化模拟实时优化调度模型	172
§9.4	水库预报期余留库容模糊决策模型	178
§9.5	实时优化调度模型求解方法与步骤	182
§9.6	实时优化调度成果与灵敏度分析	187
第十章	跨流域调水工程规划调度决策支持系统	200
§10.1	决策支持系统概论	200
§10.2	跨流域调水工程规划调度DSS设计原则	202
§10.3	IWTPRDSS 总体设计	204
§10.4	IWTPRDSS 功能及应用范围	209
参 考 文 献		212

第一章 概 论

§1.1 决策问题基本概念

一、决策的定义

决策，作为广泛存在于人类各种社会实践活动中的一种智能，并非一个新问题。随着社会的发展、科技的进步和生产规模的不断扩大，决策问题愈加复杂多变。但多年来，决策尚无统一的定义，如：Simon 认为决策贯穿于管理的全过程，“管理就是决策”；于光远则认为“决定就是决策”。不管决策如何定义，它都包括下述步骤的动态反馈过程：

- (1) 探索环境，诊断问题或机会所在，确定决策目标；
- (2) 探索和拟定各种可能的备选方案；
- (3) 从各种备选方案中选出最合适的方案；
- (4) 实施所选的决策方案，在实施中对原决策作出评价。

二、决策问题的分类

在实际工程的规划、设计、施工和组织管理过程中，每一步都要针对不同的问题制订相应的决策。但归纳起来，主要有以下几种决策类型：

(1) 根据决策组织的层次（如高层、中层和低层）不同，可将相应的决策分为战略决策、战术决策和常规决策。

战略实质上是贯穿于一个系统在一定历史时期内所有决策中的指导思想及其指导下关系到全局发展的重大谋划，它具有全局性（即强调整体发展而非局部发展）、长期性（即立足当前、着眼未来而非着眼于当前）、层次性（如有全国性战略、地区性战略等）和相对稳定性（即能适应社会经济活动的动态多变性）等特征。战略研究的目的，是要从全局性、根本性和长远性的观点出发，研究系统内部结构和运动规律以及系统与子系统、子系统与子系统、系统与环境之间的相互关系与交叉效应，探讨各子系统之间相互结合的内在依据及其相互促进的动力与条件，并根据客观形势的发展变化，不断提出新的观念、新的战略思想以及新的政策与对策。Simon 认为：战略决策是通过对决策系统的内在因素和外部环境所拥有全部信息进行系统分析研究后，从中抉择系统运动、变化发展目标和方向的循序渐进的认识过程，强调决策人的主观判断和思维能力在战略决策过程中的重要作用，即决策过程中的有限理性（所谓理性是指一种既适合实现指定目标又在给定条件和约束的限度之内的行为方式），因此，它属于非程序化（即非结构化）决策。

由常规决策过渡到战略决策在很大程度上伴随着问题复杂程度的增加、影响范围的拓

宽和时间历程的延长等。系统分析人员的作用就是在复杂多变的决策问题和环境中,帮助管理人员找出子系统之间的关系,从而有效地构成大系统模型;通过制定许多可供选择的规划管理方案,并对每个方案可能产生的经济、环境、政治和社会等方面的影响作出评价(即提供各方案的可行性研究报告),提供给高层次(即可使工程决策级别达到必要权威水平的领导层)决策人(或群体);通过高层次决策者综合考虑未来社会经济发展需要和决策的内、外部环境等因素后,作出相应的战略决策。因此,系统分析者为了成功地辅助决策者从事战略决策问题研究,就不但要掌握必要的专业知识和系统方法的技能,而且还必须对环境工程、社会经济、政治文化等方面有所了解,并与决策者之间保持经常的联系和对话。

(2) 根据决策问题的结构优良程度的不同,可将决策问题分为结构化决策(或程序化决策)、半结构化决策和非结构化决策(或非程序化决策)。

所谓决策中的优良结构问题是指那些既能明确定量表述又有现成可行求解技术的一类问题。结构化决策本身处理的就是一种优良结构的决策问题,它要求决策者必须按此去做,才能获得最佳效果。显然,这是与大多数实际决策过程不相适应的。从解决问题的角度而言,决策过程中要处理的绝大多数问题都是非结构化决策和半结构化决策问题,其中,非结构化决策是指那些新颖、复杂而完全没有现成规范可循的一些决策问题,这类问题的求解完全不能用常规决策的方法进行处理,通常只能依靠决策者凭个人的经验、价值观、信念和判断能力等素质,审时度势,灵活对付。因此,非结构化问题是一类典型的战略决策问题。半结构化决策则是介于结构化决策与非结构化决策之间的一类复杂决策问题。决策支持系统是处理这类决策问题的主要技术手段,也是当前决策研究最活跃的领域之一。

(3) 根据决策人的多少,可将决策问题分为单人决策和多人决策。

多人决策又称为群决策,是指有两个以上决策人参与研究的一类决策问题。通常,多人决策根据决策人之间的相互关系又分为两大类:一类是各决策人目标一致但各自的信息结构、知识结构和偏好结构都不完全相同的所谓“委员会决策”;另一类则是各决策人的决策目标不一致,决策人之间存在目标或利益上的分歧和冲突,冲突各方存在利益竞争关系的“冲突性多人决策”。

此外,还有单目标决策和多目标决策问题,确定性决策、随机性决策和不确定性决策问题,模糊决策与灰色决策等。由于客观现实生活中的许多重大决策问题,常常是一类具有多种不确定性、冲突性和多目标特性的非结构化群决策问题,因此,如何从战略与战术相结合的途径对这类问题进行科学合理的决策研究,则是现代决策理论和方法面临的一个挑战性问题。

§1.2 跨流域调水的基本特征

一、跨流域调水的定义与分类

跨流域调水是在两个或两个以上的流域系统之间通过调剂水量余缺所进行的合理水资源开发利用。根据兴利调水的主要目标,可将跨流域调水工程分为五类(见图1-1所示):

一类是以航运为主体的跨流域通水工程,如我国古代京杭大运河(公元前 486 年~公元 1293 年间兴建)等;第二类是以灌溉为主的跨流域灌溉工程,如我国甘肃省引大入秦工程(1991 年动工兴建,目前正在建设中)等;第三类是以供水为主的跨流域供水工程,如我国河北省的引滦济津工程、山东省引黄济青工程和广东省的东深供水工程等;第四类是以水电开发为主的跨流域水电开发工程,如澳大利亚的雪山工程、我国云南省的以礼河梯级水电站开发工程等;第五类是跨流域综合开发利用工程,如美国中央河谷工程和加州水利工程等。此外,还有一类以除害为主的(如防洪)跨流域分洪工程(如我国江苏、山东两省的沂沭泗水系洪水东调南下工程),虽然也涉及到两个以上流域的水量转移,但考虑到这类工程的经济效益是通过减少灾害损失计算的,而不产生直接经济效益,故不称为跨流域调水工程。

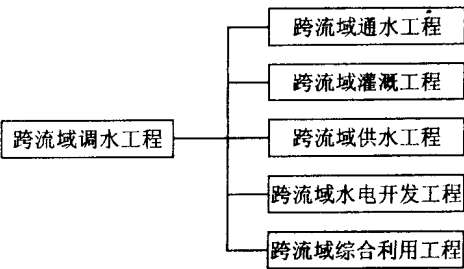


图1-1 跨流域调水工程的分类示意图

此外,跨流域调水还可根据工程规模大小分为近距离、小规模跨流域调水工程和远距离(如输水线路超过几百公里)、大规模(如年调水量超过 $100 \times 10^6 \text{m}^3$)跨流域调水工程;根据调水时耗能与否,可将跨流域调水工程分为自流型、提水型和自流与提水相结合的混合型三类;根据工程的输水设施,可将跨流域调水工程分为渠道输水、管道输水、隧洞输水、河道输水及上述多种形式相互结合的混合输水方式等类型;根据调水的服务对象,将跨流域调水分为直接服务型 and 间接服务型两种,所谓直接服务型是指跨流域调水直接供给各缺水地区用以满足工农业等方面的用水需求,而间接服务型则是指跨流域调水不直接供给各缺水地区满足当地工农业等方面的用水需求,而是调水至缺水流域,通过对缺水流域水量的补充,实现工程的调水效益(如我国南水北调西线工程)等。

此外,跨流域调水还可根据工程规模大小分为近距离、小规模跨流域调水工程和远距离(如输水线路超过几百公里)、大规模(如年调水量超过 $100 \times 10^6 \text{m}^3$)跨流域调水工程;根据调水时耗能与否,可将跨流域调水工程分为自流型、提水型和自流与提水相结合的混合型三类;根据工程的输水设施,可将跨流域调水工程分为渠道输水、管道输水、隧洞输水、河道输水及上述多种形式相互结合的混合输水方式等类型;根据调水的服务对象,将跨流域调水分为直接服务型 and 间接服务型两种,所谓直接服务型是指跨流域调水直接供给各缺水地区用以满足工农业等方面的用水需求,而间接服务型则是指跨流域调水不直接供给各缺水地区满足当地工农业等方面的用水需求,而是调水至缺水流域,通过对缺水流域水量的补充,实现工程的调水效益(如我国南水北调西线工程)等。

二、跨流域调水系统的组成

跨流域调水系统一般包括水量调出区、水量调入区和水量通过区三部分。水量调出区是指那些水量丰富、可供外部其它流域调用的富水流域和地区;而水量调入区则是那些水量严重短缺、急需从外部其它流域调水补给的干旱流域和地区;沟通上述两者之间的地区范围即为水量通过区。水量通过区依不同调水系统,常常又是水量调入区或是水量调出区,它与水量调入区和水量调出区间的相互关系如图 1-2 所示。所以,人们有时把跨流域调水系统直接分为工程水源区和供水区两部分。所谓水源区系指水量调出区域,它既可能只包括水量调出区,也可能含有水量调出区和水量通过区中的某些富水地区;而供水区则是所有需调水补给的地区,它可能只包括水量调入区,也可能包括水量调入区和需要补充供水的水量通过区。



图1-2 水量通过区与水量调入区和水量调出区的关系示意图

从工程设施角度,跨流域调水系统一般包括水源工程(如蓄水、引水、提水等工程),输配水设施(渠道或管道、隧洞和河道等),渠系建筑物(如交叉、节制和分水等建筑物),供水区内的蓄水、引水、提水等设施。如何确定这些工程的布局、规模、结构形式以及管理运行方法,都是非常复杂的决策问题。

三、跨流域调水系统的特点

(1) 跨流域调水系统具有多流域和多地区性

跨流域调水系统涉及到两个或两个以上流域和地区的水资源科学再分配。如何正确评估各流域、各地区的水资源供需状况及其社会经济的发展趋势,如何正确处理流域之间、地区之间水权转移和调水利益上的冲突与矛盾,对工程所涉及到的各个流域和地区实行有效的科学规划与管理,则是跨流域调水系统规划管理决策研究中所面临的一个重要问题。

(2) 跨流域调水系统具有多用途和多目标特性

大型跨流域调水系统往往是一项发电、供水、航运、灌溉、防洪、旅游、养殖以及改善生态环境等目标和用途的集合体。如何处理各个目标之间的水量分配冲突与矛盾,使工程具有最大的社会效益和最小的生态环境负效益,则是跨流域调水系统决策中的又一重要课题。

(3) 跨流域调水系统具有水资源时空分布上的不均匀性

水资源量在时间和空间分布上的差异,是导致水资源供需矛盾的一个重要因素,也是在地区之间实行跨流域调水的一个重要前提条件。如何把握水资源时空分布上的这种特性,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,则是提高跨流域调水系统内水资源利用率的重要途径之一。

(4) 跨流域调水系统中某些流域和地区具有严重缺水性

在跨流域调水系统内,必须存在某些流域和地区在实施当地水资源尽量挖潜与节约用水的基础上水资源量仍十分短缺,难以满足这些地区社会经济发展与日益增长的用水需求,由此表现出严重缺水性。如何对缺水流域和地区进行科学合理的节水与水资源供需预测,正确评价其缺水程度,则是减少工程规模、提高工程效益、促进节水与水资源合理配置和整个国民经济发展的途径之一。

(5) 跨流域调水系统具有工程结构的复杂多样性

跨流域调水系统中工程结构的复杂多样性主要表现在以下方面:①蓄水水库或湖泊之间存在多种串联、并联以及串、并混联的复杂关系,与一般水库系统相比,不仅要考虑各水库的水量调节和上、下游水库之间的水量补偿作用,还要考虑调水量在各水库之间(不只局限于上、下游水库之间)的相互调节与转移,因而,跨流域调水系统内水库间的水量补偿调节与反调节作用更加复杂多变。②系统的骨干输配水设施(如渠道、管道、隧洞等)一般规模较大,输水距离较长,常遇到高填深挖、长隧洞与大渡槽、坚硬岩石和不良土质(如膨胀土、流沙等)地带等,所有这些都给规划设计和施工管理增添较大的难度。③系统内往往会涉及到众多较大规模的河道、公路、铁路等交叉建筑物,这不仅增加了规划设计和施工管理的难度,还会给防洪、交通运输等带来影响,需进行合理布局和统筹安排,使其影响程度降到最低点。④有些采用提水方式进行的调水工程,常会面临高难度的高扬程、大流量等提水泵站规划设计与运行管理问题,如何对这些提水泵站(群)规模与布局进行合理优化规划,则是待研究的另一重要问题。

(6) 跨流域调水工程的投资和运行费用大

因跨流域调水工程结构复杂多变,且涉及范围大,影响因素多,工程规模相对较大;随着工程规模的增大,投资相对就会大幅度增长。远距离调水管理难度大,运行费用会相对较高。如何确定满足社会经济发展要求的合理工程供水范围与调水规模,则是减少工程投资和运行管理费用的重要举措之一。

(7) 跨流域调水系统具有更广泛的不确定性

跨流域调水系统的不确定性,和其它一般水资源系统一样,主要集中在降水、来水、用水、地区社会经济发展速度与水平、地质等自然环境条件、决策思维和决策方式等方面,而且比较而言其不确定性程度更大,范围更广,影响更深,结果是跨流域调水系统比一般水资源系统具有更大的风险性。

(8) 跨流域调水系统具有生态环境的后效性

任何人工干涉自然生态环境的行为(如各种水利工程等),都将导致自然生态环境的改变。跨流域调水系统由于涉及范围较一般水利工程大得多,势必导致更多因素的自然生态环境变化,有些生态环境的变化甚至是不可逆转的,这就表现出生态环境后效性。如何预见和防治生态环境方面的后效性,则是需要研究的又一重要问题。因此,有必要始终坚持“先治污、后调水”和调水有利于保护、改善生态环境的原则,进行跨流域调水规划和管理。

总之,跨流域调水系统是一项涉及面广、影响因素多、工程结构复杂、规模庞大的复杂系统工程,跨流域调水工程的决策本质上是一类不完全信息下的非结构化冲突性大系统多目标群决策问题,需要从战略高度上,对工程的社会、经济、工程技术和生态环境等方面进行统一规划、综合评价和科学管理,才能取得工程本身所持有的巨大经济、社会和生态环境效益,促进水利文化的进步。

§1.3 跨流域调水工程规划管理决策研究内容

为了提高跨流域调水规划管理决策研究的有效性,使工程实现社会、经济、生态环境效益最大、不利影响最小的目标,需要根据跨流域调水对工程水量调出区、调入区和通过区可能存在的不同影响,进行以下一些主要问题的决策研究。

一、可调水量问题

兴建跨流域调水工程的先决条件,是水量调入区对水有紧迫需求,而水量调出区在满足自身当前和未来社会经济可能发展水平的用水需求条件下有多余水可供外调,水量通过区可以解决输水和蓄水问题。但现在的问题是,调入区往往过份强调供水补给而忽视了对用水实际需求的研究,调出区则容易过多地强调本地区社会经济发展的相对重要性而增大本地区未来的用水需要量。如何正确评估水量调入区的用水需求和水量调出区未来社会经济发展水平,则是研究确定跨流域调水工程可调水量大小的重要依据,需要进行以下方面研究:

(1) 研究有关可能实行跨流域调水工程建设地区的资源(包括土地、人口和矿产等资源)分布情况、社会经济发展潜力以及水资源供需状况和水资源开发利用与节水潜力等,根据技术上可行、经济上合理、地区间矛盾较易解决、环境和社会影响较少的原则,确定调水规模及其相应的供水范围。

(2) 针对跨流域调水工程的供水范围, 根据国家和地区的发展计划, 综合研究调入区的用水需求量和节水潜力、调出区的社会经济发展水平与可调水量承载力、水量通过区的调蓄能力与需补水量。

(3) 研究跨流域调水系统的来、用水预报预测方法及其水情监测体系。

(4) 研究工程管理调度运行方案常规调度、优化调度和实时调度的方法, 研究通信、监控自动化及供电系统, 提出可操作的实时调度原则和方法, 确定通信、监控总体方案和主要设备等。

(5) 研究跨流域调水工程运行管理的可靠性和风险性。它包括研究水源区与供水区的降水规律及水文特性, 研究确定调水工程的供水可靠度等, 以便弄清调水工程运行过程中可能出现的风险及其影响程度, 提出提高供水可靠度的对策方案。

(6) 研究洪水遭遇下的防洪措施、冰期输水方式、冰期预报以及冰坝、冰塞危害的防治措施等。

二、环境问题

跨流域调水涉及到某些流域和地区的水量减少, 另一些流域和地区的水量增多, 这种人工干预的水资源量时空变化, 势必会对工程全线的水质与生态环境等产生影响。

1. 水量调出区的环境问题

通常, 跨流域调水要求水量调出区的水质优良。如水源区已受污染, 则宜先治污后调水, 并采用适当的水源保护措施, 防治水源污染。即便如此, 水量调出区也会因水量调出而产生以下环境问题:

(1) 调水将不同程度地影响水源局部地区的气候升高、水温升高、水质恶化、泥沙淤积、诱发水库地震、水生生物发生变迁、淹没文物古迹、破坏自然景观。

(2) 调水有利于减轻水源下游地区的洪涝灾害, 但也会因下游水量的减少而导致下游河道的航深降低、河道冲淤规律变化、生物多样性的消失、已有水利设施功能降低甚至失效、农业灌溉面积减少。

(3) 若引水口距河流入海口较近, 还会改变河口水位, 导致河口泥沙淤积, 增加海水(盐水)入侵, 引起河口与近海的生态系统变化; 若在某流域的支流引水, 则可能会因该支流汇入干流的水量减少, 导致支流受干流河水顶托而排污能力下降, 在支流出口处产生水质恶化等。

2. 水量通过区的环境问题

(1) 利用天然河道输水和湖泊调蓄, 将改变原河流和湖泊的水文、水力特征。

(2) 大型渠道输水有利于发展航运, 改善自然景观。

(3) 由于输水沿线水量的增多, 可能使水生物和鱼类的数量、种类增多。

(4) 由于输水沿线水量的增加, 一方面有利于改善沿线的水质环境, 另一方面, 如果输水沿线存在水污染源且向输水渠道或河道排放, 则将会导致调水量受到污染。

(5) 输水沿线若存在膨胀土、滑坡、断层、地震多发区等不良地质条件时, 则容易导致渗漏和崩塌甚至诱发局部地震, 给沿线的生态环境造成较大破坏。

(6) 当输水线路经过较强暴雨区时, 可能产生水源区与通过区或供水区之间的洪水遭遇, 形成更大的洪涝灾害; 当输水线路与地表水流向或地下水流向正交时, 则可能因阻止了地表水或地下水的出路而导致洪涝碱灾害。

(7) 输水沿线的输水渗漏,一方面有利于抬高地下水位、缓解输水沿线的供水紧张状况,另一方面也可能导致土壤次生盐碱化。

(8) 当输水线路经过人口稠密地区时,一方面可为居民增加新水源和风景区,另一方面也会导致大量移民和工矿企业及城镇的搬迁。

(9) 输水工程施工时,会引起输水沿线的地貌与生态景观改变和环境污染等。

3. 水量调入区的环境问题

通常,规划管理合理的调水工程,常常会给水量调入区带来明显的环境效益。如:可为调入区的工业、生活用水提供新的水源,增加灌溉面积和灌溉水量,可使生态环境系统得到改善,防止地下水过量开采,促进工业和城市的发展等。向严重干旱或沙漠地区调水的环境效益将更为显著。但如果规划管理不合理,也可能会因水量的增多而导致一些不良影响。如:

(1) 地下水位过度升高,使一些土壤含盐地区引起土壤次生盐碱化。

(2) 使低洼地区引起土壤潜育化和沼泽化。

(3) 引起细菌、病毒通过水媒介蔓延,如水域扩大有利于蚊虫孳生,引起疾病流行;在钉螺孳生地区,钉螺随水迁移可能导致血吸虫病扩散等。

三、工程技术问题

(1) 研究经济合理的大型输水渠道工程规模(如各渠段的设计流量、加大流量以及纵横断面等),减少工程投资。

(2) 研究工程范围内调蓄设施的工程布局及其相应的蓄水容积大小,以调节来用水时空分布的矛盾、减少输水和提水工程的规模,达到节省投资费用、减少供水风险的目的。

(3) 输水沿线涉及大量的渠系建筑物和交叉建筑物,因此,需要对这些渠系建筑物和交叉建筑物的形式、结构、规模大小等进行合理的规划设计研究,特别是要对那些穿过大型河流或流域分水岭的特大型过水建筑物(如南水北调工程的穿黄隧洞或渡槽)的结构型式、各种力学问题、抗震问题、构造技术等方面,进行勘测、实验和计算分析等方面的科学研究,并使之达到结构最优、运行可靠、施工难度较小的目的。

(4) 研究确定提水泵站的合理规模和级配,以便减少工程投资、并为高效节能泵站的机组选型提供科学依据。研究提水泵站群联合运行的优化调度和实时调度的方法及规则,以便提高泵站的运行效益,节省能源和运行费用。

(5) 研究水质环境的监控、测试、防治技术和设施,建立有效的水质环境监测和管理系统。

(6) 研究各种土质条件下输配水工程的合理结构型式及其防渗技术。

(7) 研制开发工程建设和运行管理的管理信息系统及其决策支持系统等。

四、社会经济等其它问题

(1) 研究社会主义市场经济体制下跨流域调水的有偿供水原则和价格管理体系;

(2) 研究建立与社会主义市场经济体制相适应的跨流域调水工程运行管理机制;

(3) 研究工程运行管理过程中出现争水矛盾与利益冲突问题的处理方法;

(4) 研究水质保护的政策、法规及监督机制;

(5) 研究水权转移的法制法规建设和对水量调出区的经济补偿政策;

- (6) 研究兴建跨流域调水工程的集资政策与投资分摊政策等。
- (7) 研究工程建设的管理模式, 包括明确建设管理的层次结构及其相应的职能, 拟定分期建设计划等。
- (8) 研究跨流域调水与节水、节能、能源开发、水资源保护和管理等方面的战略关系等。
- (9) 研究决策者的权力结构及其偏好习惯的变化动态;
- (10) 研究工程决策的时机问题, 包括研究工程迫切需要建设的程度, 国家社会经济的发展形势, 各方面(如中央、地方和个人)的经济承受能力, 有关流域和地区认识上的一致性程度, 工程本身研究深度和广度是否符合建设发展的要求, 施工和管理等方面的技术条件是否可行等等。

显然, 上述内容还没有包括所有方面。只有通过对跨流域调水工程规划管理过程中的上述四大方面问题进行广泛而深入的研究后, 可以确定某项跨流域调水工程不仅在可调水量上能够满足国民经济发展的紧迫要求, 而且是工程技术可行、经济合理、生态环境不利影响可以防治, 那么, 就应该加快进行该项跨流域调水工程的建设, 以促进国民经济的持续增长。

§1.4 国内外跨流域调水工程规划调度决策研究动态

跨流域调水 (Interbasin Water Transfers 以下简称 IWT) 工程是一项结构复杂、形式多样的多水源、多地区、多目标、多用途的高维复杂系统。如何利用现代决策理论的最新成果, 结合该类工程规划管理决策研究中的实际情况, 提出先进、实用的规划调度理论与方法, 则是提高复杂环境下工程规划管理决策成果质量 (所谓决策成果的质量, 包含决策成果的精度和有效性; 强调决策成果的实用性即决策方法的可操作性和决策结果的可接受性) 的客观要求。为此, 半个多世纪来, 国内外专家学者提出了许多跨流域调水工程规划调度决策模型与方法, 归纳起来大致分为两大类: 一是通过各种方法对复杂跨流域调水系统进行简化后, 采用单一的数学规划模型或模拟模型进行跨流域调水工程的规划调度决策研究。如: Weiner & Arie Ben-Zvi (1982) 应用随机 DP 模型与方法, 研究了 Mediterranean-Dead Sea Project 跨流域调水系统的优化运行问题; Marino & Loaiciga (1985) 采用改进 POA 法对美国中央河谷工程的 9 库优化运行问题进行了研究等。二是直接采用大系统优化决策模型和方法, 通过先建立各种类型的大系统递阶结构模型, 然后再运用多种数学规划或模拟技术 (含自优化模拟技术) 相结合的求解方法, 进行该类工程的规划管理决策研究, 如: Arunkumar & Yeh (1973) 运用随机 DP 和类似于逐次逼近的搜索式 (heuristic) 分解法相结合, 对美国加利福尼亚中央河谷工程 (Central Valley Project 简称 CVP) 中的两个并联水库 (Shasta 和 Folsom) 进行了最优泄水规则研究; 其后, Becker & Yeh (1974) 又针对 CVP 中单一水库的实时运行问题, 提出了如图 1-3 所示的 LP-DP 组合算法; Takeuchi & Moreau (1974) 进一步采用 LP 与随机 DP 相结合的方法, 研究了 IWT 优化控制过程中水库最终蓄水状态对未来损失期望值的影响问题等。近些年来, 随着模糊 (Fuzzy) 数学、决策支持系统 (DSS) 与专家系统 (ES)、神经网络 (ANN) 等新型理论、方法的不断发展和完善, 人们开始探索这些新的理论、方法在跨流域调水工程规划管理决策研究中应用的可能性。如: 胡斌武 (1991) 针对引黄入淀工程环境影响评价问题, 从自然环境、社会环境和综合利用效益三大方面出发, 提出了多级模糊综合评判决策模型与方法; Stansbury, Woldt & Bogardi

(1991) 为分析调水工程的经济、社会、生态等方面的影响,建立了调水工程评估决策支持系统;而南京水文水资源所则针对南水北调东线工程建立了实时调度决策支持系统,并提出了基于神经网络的实时预报模型等。毫无疑问,以上理论和方法在跨流域调水工程规划管理决策中的应用,在很大程度上丰富和发展了该类工程规划管理决策的理论与方法,提高了工程规划管理决策成果的质量。

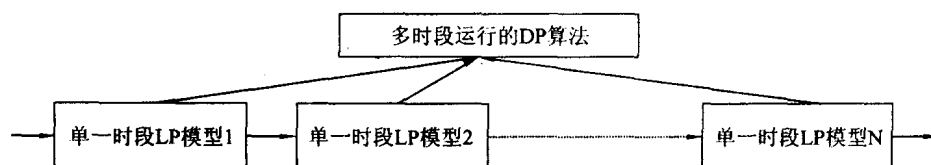


图1-3 Becker & Yeh的LP-DP 组合模型结构示意图

考虑到跨流域调水工程规划调度决策研究的实质是一类复杂的大系统多目标群决策问题,以往那些先通过对实际决策问题进行大量简化、再采用单一决策方法进行问题求解的优化方法,虽对今后这类问题研究仍会有一些的辅助作用,但也会因缺乏对决策环境的适应能力而失去其生命力。本节重点介绍近些年来跨流域调水规划调度中常用的一些大系统优化决策模型与方法。

一、大系统多目标递阶结构模型与方法

1. 大系统分解协调模型与方法

大系统分解协调模型是目前较常用的一类大系统优化决策模型,其基本思想是先将复杂大系统依时间、空间或目标、用途等关系分解成相互独立的若干规模较小、结构相对简单的子系统,形成递阶层次结构模型;然后,采用现有的一般优化决策方法,对各子系统分别择优,实现各子系统的局部最优化;最后,根据系统总目标,修改和调整各子系统的输入和决策,使各子系统相互协调配合,实现整个大系统的全局最优。

因此,大系统分解协调模型是一种通过将大系统分解成若干相互独立子系统以达到降维目的的复杂问题分析方法,其中,分解和协调是大系统寻优的重要手段,换句话说,对大系统进行何种形式的分解,又采用什么方法进行大系统协调,则是关系到能否实现大系统全局最优化的重要保证。多年来,人们提出了许多大系统分解和协调方法,其中,较常见的大系统分解方法有:(1)依空间分解法;(2)依时间分解法;(3)依用户分解法等。无论用哪种方法分解,都必须从优化决策问题的任务与要求出发,根据大系统的组成、特点等,选择其中一种或多种方法分解,以形成适当的大系统递阶结构形式。如邵东国、沈佩君等人(1992)针对南水北调东线一期工程调水过黄河方案建立的以自优化模拟技术为主体的混合模拟决策模型,实质上是一个依空间、时间和用水户分解的大系统多层分解协调模型(如图1-4)。

在大系统协调理论中,一要明确协调原理,即根据什么原则进行协调,选取什么协调变量对各子系统进行协调控制;二要选择合适的协调方法,以保证协调控制的实现和协调过程的收敛性、减少计算工作量。目前常见的大系统协调方法主要有:

(1) 目标协调法(又称关联平衡法)。其特点是在进行下一层各子系统的优化决策时,不考虑关联约束,而把关联变量作为独立寻优变量来处理。通过选取适当的协调变量和协调变量的多次修正,逐步引导各子系统优化目标下的关联变量满足关联约束,从而实现大

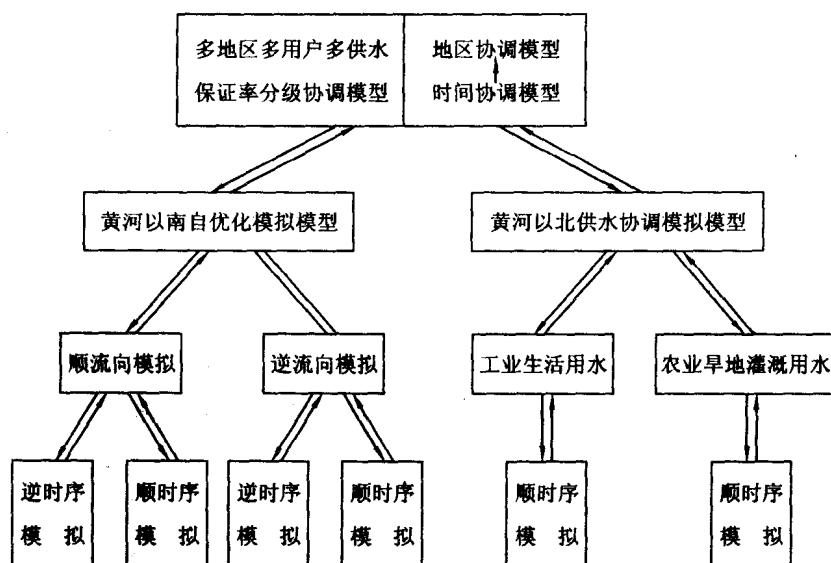


图1-4 南水北调东线一期工程调水过黄河方案混合模拟模型递阶结构图

系统目标的最优化。而且，它必须保证拉格朗日函数存在鞍点，如果此条件不能满足，在协调迭代过程中就不一定收敛到最优解，甚至完全不能收敛。因此，关联平衡法存在它的局限性。

(2) 模型协调法。它是先通过采用取关联变量作为协调变量，并指定或预估系统模型关联变量值的方法，将各子系统形成独立的系统，进行各自的最优化决策，确定各子系统相应于给定关联变量值下的优化目标值；将各子系统的优化目标值返回至协调层，进行整体协调计算。经过多次改变关联变量的预估值，反复求解计算后，则可获得整个系统的目标最优解。无疑，这种协调方法在决策过程中的每一步都是满足关联约束条件的，因此，决策的中间结果虽不一定是最优解，但一定是可行解，可对实际系统产生控制作用；且只要能使协调变量预估值迭代收敛，预估误差达到最小，则可获得全局最优解。

(3) 混合协调法。这是一种目标协调和模型协调相结合的综合协调方法。通常，它以子系统的一个拉氏乘子和某一关联变量为协调变量，而以另一拉氏乘子和决策变量为反馈变量，通过关联变量对各子系统优化决策模型中关联约束的不断干预和拉氏乘子对各子系统优化决策目标函数的不断修正，逐步引导整个大系统逼近最优解。这一协调方法的适用条件是任一子系统所含变量个数不小于约束条件的数目。

总之，随着系统规模的增大、结构复杂化程度的提高、影响因素的增多，不仅难以满足鞍点条件（有时甚至检验这个条件是否满足也是相当困难的），而且，在分解协调过程中难以考虑随机不确定因素，甚至想直接引入决策者的经验、意图和价值判断等方面也存在一定难度。因此，既有必要进一步研究复杂大系统的协调方法及其稳定性与收敛性等问题，也需探讨复杂大系统新的递阶分析模型与方法。

2. 大系统分解聚合模型与方法

大系统分解聚合模型是求解大系统多目标决策问题的另一种递阶分析方法，其实质是将大系统多目标递阶分析问题分解成若干相互独立的子系统，以耦合关联变量（目标关联或约束关联）为参数，分别求解各子系统的目标值，找出各子系统目标函数与关联变量之间的函