

区域水资源优化调控 理论与实践

郭文献 付意成 王鸿翔 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

区域水资源优化调控 理论与实践

郭文献 付意成 王鸿翔 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

水是人类生存和经济社会发展不可缺少的自然资源。研究水资源优化调控,对于促进区域社会、经济、环境的协调发展具有重要意义。本书在阐述区域水资源优化调控理论及模型搭建基础上,分别以河北省南水北调受水区和浑太河流域为研究区域,运用构建的区域水量水质优化调控模型,开展了区域水资源水量和水质优化调控研究,给出了区域水资源优化调控方案,为研究区域水资源可持续利用提供决策依据。

本书可供从事水文水资源等相关专业的科研和管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

区域水资源优化调控理论与实践 / 郭文献, 付意成, 王鸿翔著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2015. 5
ISBN 978-7-5170-3282-3

I. ①区… II. ①郭… ②付… ③王… III. ①区域资源—水资源管理—研究 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第130284号

书 名	区域水资源优化调控理论与实践
作 者	郭文献 付意成 王鸿翔 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京中献拓方科技发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.75印张 224千字
版 次	2015年5月第1版 2015年5月第1次印刷
定 价	35.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

水是人类生存和经济社会发展不可缺少的自然资源。随着人口增长和经济社会的快速发展,对水资源的需求量越来越多。水资源短缺,已成为严重制约区域经济社会发展的重要因素。因此,开展区域水资源优化调控研究,对于促进区域社会、经济、环境的协调发展具有重要意义。

基于可持续发展的区域水资源优化调控是指在流域(区域)范围内,遵循公平、高效和可持续利用的原则,以水资源的可持续利用和经济社会可持续发展为目标,通过各种工程与非工程措施,考虑市场经济规律和资源配置准则,通过合理抑制需求、有效增加供水、积极保护生态环境等手段和措施,对多种可利用水资源在区域间和各用水部门间进行的合理调配,实现有限水资源的经济、社会和生态环境综合效益最大,以及水质和水量的统一与协调。

本书针对河北省南水北调受水区的实际情况,通过引进先进的理论方法、计算机技术,开展的多目标、多水源、多用户水资源优化调控研究,对于搞好南水北调工程运行管理,提高工程管理工作的科技含量,提升水资源的利用效率及利用效益,搞好配套工程的应用,提高供水保证率以及实现南水北调受水区水资源可持续利用,具有重要意义,并将产生十分巨大的经济效益、社会效益和环境效益。进行区域水资源水量优化调控研究,合理有效地利用有限水资源,缓解水资源供需矛盾,对于水资源短缺的河北省南水北调受水区的经济发展与环境状况改善,具有深远影响。

本书以浑太河水资源网络节点图为基础,按照水资源系统分析和水质模拟模块要求,改进基于区域水量平衡的配置模型,借助水质模拟过程对水量优化配置结果的依托性,构建起基于量质联合调控的水质模拟模型。在实现浑太河流域多水源下的用水部门间最优

水量供需平衡的同时，以水功能区水体纳污能力为污染物总量控制的约束条件，预测规划水平年污染物总量控制目标下的水功能区断面水质达标情况。

本书第1章由郭文献、付意成编写；第2章、第3章由郭文献、王鸿翔共同编写；第4章由付意成编写；第5章由郭文献、王鸿翔编写；第6章由付意成编写；第7章由郭文献、付意成编写。全书由郭文献、付意成统稿完成。

本书在编写过程中得到了众多人士的帮助和支持。感谢华北水利水电大学徐建新教授、陈南祥教授、徐晨光副教授，河北省水利科学研究院卢双宝教授级高工、中国水利水电科学研究院阮本清教授级高工、魏传江教授级高工在本书编写过程中给予的指导和帮助。本书在编写过程中参考和引用了大量国内外专家和学者的研究成果，在此向他们表示感谢！同时，中国水利水电出版社给予了大力支持，并提出了宝贵意见，在此表示感谢！

本书中所涉及的研究工作得到了国家自然科学基金(51209091)和华北水利水电大学重点学科建设基金共同资助。

由于作者水平所限，本书中所列理论、方法、结构安排、文献引用等方面难免存在不合理之处，恳请各位读者对本书的不足之处给予批评指正。

作者

2015年1月

目录

前言

第1章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 国内外研究进展	3
1.2.1 水资源配置研究	3
1.2.2 水环境容量研究	7
1.2.3 水质水量联合调控研究	12
1.2.4 研究态势分析	15
1.3 主要研究内容及思路	16
1.3.1 主要研究内容	16
1.3.2 研究思路	17
第2章 区域水资源优化调控基本理论	19
2.1 区域水资源可持续发展理论	19
2.1.1 可持续发展理论的产生	19
2.1.2 水资源优化调控与可持续发展的关系	20
2.2 区域水资源可持续利用评价理论	20
2.2.1 区域水资源评价指标体系构建原则	21
2.2.2 区域水资源可持续利用评价指标体系构建	22
2.3 区域水资源优化调控基本理论	24
2.3.1 水资源优化调控基本概念	24
2.3.2 水资源优化调控基本原则	24
2.3.3 水资源优化调控研究内容	25
2.3.4 水资源优化调控特点	27
第3章 区域水资源水量优化调控模型研究	29
3.1 水资源优化调控基本条件	29
3.1.1 水平年的选定	29

3.1.2	子区划分	29
3.1.3	水源与用户构成	29
3.2	水资源优化配置模型及其求解研究	30
3.2.1	水资源优化配置模型	30
3.2.2	水资源优化配置模型求解	31
3.3	水资源优化调控模拟模型及其求解	33
3.3.1	供需模拟模型的概念	33
3.3.2	基于规则的水资源配置模拟模型	34
3.4	水资源优化调控优化模拟模型	38
第4章	区域水资源水质优化调控模型研究	40
4.1	区域污染物产生及排放过程	40
4.1.1	污染物的产生	40
4.1.2	污染物的排放与入河	40
4.2	区域水质优化调控模型构建思路	41
4.2.1	水资源网络节点图	41
4.2.2	水量均衡模块	42
4.2.3	水质控制模块	43
4.3	区域水质调控模拟模型	44
4.3.1	污染源类型	44
4.3.2	控制因子	44
4.3.3	污染物浓度控制	44
4.3.4	水质评价	48
4.3.5	总量控制	52
4.4	模型运行求解	53
4.4.1	模型输入	53
4.4.2	模型输出	54
4.4.3	模型求解	54
第5章	河北省南水北调受水区水资源水量优化调控研究	55
5.1	研究区概况	55
5.2	受水区水资源可持续利用评价	56
5.2.1	水资源可持续利用评价指标值确定	56
5.2.2	评价指标体系评价标准	56

5.2.3	评价方法的确定	57
5.2.4	评价指标权重确定	59
5.2.5	综合评价	61
5.3	受水区水资源水量优化调控研究	63
5.3.1	水资源优化调控的基本条件	63
5.3.2	受水区水资源优化调控模型	67
5.3.3	主要运行方案及计算结果	73
5.3.4	方案综合评价	76
5.3.5	推荐方案结果分析	82
5.3.6	管理对策	90
第6章	浑太河流域水资源水质优化调控研究	92
6.1	研究区域概况	92
6.1.1	地形地貌	92
6.1.2	气象水文	92
6.1.3	河流水系	94
6.1.4	水资源状况	96
6.1.5	经济社会	98
6.1.6	计算单元	99
6.1.7	水功能区划定	99
6.2	水量均衡分析	103
6.2.1	基准年均衡分析	103
6.2.2	推荐供需方案	105
6.3	现状年污染物总量核定	107
6.3.1	点源污染	108
6.3.2	非点源污染	116
6.4	参数选择	124
6.4.1	污染物特征量	124
6.4.2	河流特征量	128
6.4.3	湖库特征量	140
6.5	污染物总量控制	143
6.5.1	污染物入河量预测	143
6.5.2	污染物削减计算	145

6.5.3	污染物入河浓度自净	153
6.5.4	污染物入库浓度自净	164
6.6	问题的改进措施	165
6.6.1	排污企业布局变迁及耗水产业调整	165
6.6.2	污染物排放控制	167
6.6.3	水功能区纳污总量控制	167
第7章	结论与展望	169
7.1	结论	169
7.2	展望	170
参考文献		172

第 1 章

绪 论

1.1 研究背景及意义

水是人类生存和发展不可缺少的自然资源。随着国民经济的快速发展,人民生活水平的提高和城市化进程的加快,水的需求量越来越大,同时,对水质的要求也越来越高。水资源短缺已成为全球性的危机。同许多国家一样,中国在发展经济、保护人类生存环境的进程中也面临着日益严重的水资源短缺与水环境恶化等问题。

我国是一个水资源相对贫乏的国家,水资源总量约为 2.8 万亿 m^3 ,居世界第六位,人均占有量约为 2400m^3 ,仅为世界人均占有量的 $1/4$,居世界第 109 位,现已被列为世界上 13 个严重贫水国家之一。我国北方缺水尤甚,据统计,我国北方京津冀地区水资源量人均仅为 $517\text{m}^3/\text{年}$,相当于全国的 $1/5$,全世界的 $1/21$ ^[1]。缺水已严重影响了当地工农业生产发展和人民生活水平的提高以及区域内社会、经济、环境的持续发展。我国一方面水资源短缺,另一方面又存在水资源分配不合理、利用率低及资源浪费严重等不良现象^[2-4]。有关研究表明:我国 30 个省、自治区、直辖市中,北京等 9 个行政区划的区域发展与水资源极不匹配,占全国所有行政区划的 30%,内蒙古自治区的区域发展与水资源不匹配,占全国所有行政区划的 3.33%,吉林等 5 个行政区划的区域发展与水资源基本匹配,占全国所有行政区划的 16.67%,上海等 15 个省区的区域发展与水资源匹配,占全国所有行政区划的 50%,由此可见,在我国实施水资源优化调控尤为重要,特别是在水资源短缺的华北和西北地区^[5-6]。

据测算,我国未来 30 余年供水量将增加 4000 亿~4500 亿 m^3 ,如果在水资源开发利用上没有新的突破,仅仅靠工程措施开发水资源,在管理上不能适应这种残酷现实,水资源很难满足国民经济发展的需要,水资源危机将成为所有资源问题中最为严重的问题,它将威胁中华民族的腾飞。因此,如何对水资

源进行优化调控,为区域内工业、农业发展和人民生活、环境提供水资源,使其获得最大的社会、经济与环境效益是摆在我们面前迫切需要解决的问题。汪恕诚部长在“水权和水市场”的讲话中指出,通过水资源优化调控提高水资源利用效率,实现水资源可持续利用,这是21世纪我国水利工作的首要任务^[7]。

基于可持续发展的区域水资源优化调控是指在流域或特定的区域范围内,遵循公平、高效和可持续利用的原则,以水资源的可持续利用和经济社会可持续发展为目标,通过各种工程与非工程措施,考虑市场经济规律和资源配置准则,通过合理抑制需求、有效增加供水、积极保护生态环境等手段和措施,对多种可利用水资源在区域间和各用水部门间进行的合理调配,实现有限水资源的经济、社会和生态环境综合效益最大,以及水质和水量的统一和协调。

水资源短缺和洪涝灾害要求水量在时间和空间上需合理调配,水环境污染要求水量水质间应进行协调统一。水资源优化配置研究为水量和水质在时间和空间上的合理调配和使用提供科学依据和对策、措施。因此,水资源优化调控研究在解决我国水资源短缺问题,实现水资源的可持续利用等方面均占有重要的地位,对促进经济社会的可持续发展具有重要理论和实际意义^[8-11]。本书在探讨区域水资源优化调控理论及模型构建的基础上,选取河北省南水北调工程受水区和浑太河流域为研究对象,分别从水量和水质优化调控进行了研究。

河北省南水北调受水区水资源优化调控研究对于搞好南水北调工程运行管理,提高工程管理工作的科技含量,提高水资源的利用效率及利用效益,搞好配套工程的应用,提高供水保证率以及实现南水北调受水区水资源可持续利用,具有非常重要的意义,并将产生十分巨大的经济效益、社会效益和环境效益。进行区域水资源优化调控研究,合理有效地利用水资源,缓解水资源供需矛盾,对于水资源短缺的河北省南水北调受水区的经济发展与环境提高,具有深远的意义。

浑太河流域水质优化调控研究以浑太河水资源网络节点图为基础,按照水资源系统分析和水质模拟模型要求,改进基于区域水量平衡的配置模型,借助水质模拟过程对水量优化配置结果的依托性,构建起基于量质联控的水质模拟模型。在实现浑太河流域多水源下的用水部门间最优水量供需平衡的同时,以水功能区水体纳污能力为污染物总量控制的约束条件,预测规划水平年污染物总量控制目标下的水功能区断面水质达标情况。对浑太河流域实施基于水质模拟的污染物总量控制,利于从污染物产生机理及源头上采取针对性措施控制污染物入河量,综合考虑经济社会层面和水体自净方面,实现基于水功能区的水体纳污能力断面水质达标、以水功能区为核心的计算单元排污总量控制,利于

水量、水质联合调控。

总之,基于水量、水质联合控制的水资源优化调控是解决我国水资源短缺问题的一种有效手段,结合水资源开发利用、供需调节现状,利于为水资源规划、开发、利用、管理、节约与保护提供科学依据和模式探索;促进流域全面有效的水资源管理策略的实施,实现水资源可持续开发利用与经济社会稳定发展、生态健康和谐共处,促进严格水资源管理制度的落实。

1.2 国内外研究进展

本文在参考国内外相关研究的基础上,从水资源配置研究、水环境容量研究和基于水质模拟的水量水质联合调控 3 个方面进行综合评述。

1.2.1 水资源配置研究

1.2.1.1 国外研究

国外对水资源优化配置的研究始于 20 世纪 60 年代初期,1960 年美国科罗拉多州的几所大学对计划需水量的估算及满足未来需水量的途径进行了研讨,体现了水资源优化配置的思想。

20 世纪 70 年代以来,伴随数学规划和模拟技术的发展及其在水资源领域的应用,水资源优化配置的研究成果不断增多。Cohon 等(1974)对水资源多目标问题进行了研究。Haimes(1975)应用多层次管理技术对地表水库、地下含水层的联合调度进行了研究,使模拟模型技术向前迈进了一步。Sheer(1983)经过长时间的努力,利用优化和模拟相结合的技术在华盛顿特区建立了城市配水系统^[12-14]。美国麻省理工学院(MIT)(1979)完成的阿根廷河 Rio Colorado 流域的水资源开发规划,是最具成功和有影响的例子。其中,以模拟模型技术对流域水量的利用进行了研究,并提出了多目标规划理论、水资源规划的数学模型方法,并加以应用^[15]。Pearson 等(1982)利用多个水库的控制曲线,以产值最大为目标,输水能力和预测的需求值作为约束条件,用二次规划方法对英国 Nawwa 区域的用水量优化分配问题进行了研究。英国学者 Herbertson 等(1982)针对潮汐电站的特点,考虑多部门利益的相互矛盾,利用模拟模型对潮汐海湾的新鲜水量分配进行了模拟计算,展现了模拟技术的优越性。荷兰学者 Romijn 等(1982)考虑了水的多功能性和多种利益的关系,强调决策者和决策分析者间的合作,建立了 Gelderlandt Doenthe 的水资源量分配问题的多层次模型,体现了水资源配置问题的多目标和层次结构的特点。Yeh(1985)对系统分析方法在水库调度和管理中的研究和应用曾作了全面综述,他把系统分析在水资源领域的应用分为线性规划、动态规划、非线性规划

和模拟技术等^[16-17]。Willis (1987) 应用线性规划方法求解了 1 个地表水库与 4 个地下水含水单元构成的地表水、地下水运行管理问题, 地下水运动用基本方程的有限差分式表达, 目标为供水费用最小或当供水不足情况下缺水损失最小, 同时, 用 SUMT 法求解了 1 个水库与地下水含水层的联合管理问题。美国学者 Norman (1997) 将作物生长模型和具有二维状态变量的随机动态规划相结合, 对灌区的季节性灌溉用水量分配进行了研究^[18,19]。

20 世纪 90 年代以来, 由于水污染和水危机的加剧, 传统的以供水量和经济效益最大为水资源优化配置目标的模式已不能满足需要, 国外开始在水资源优化配置中注重水质约束、水资源环境效益以及水资源可持续利用研究。进入 20 世纪 80 年代后期, 随着水资源研究中新技术的不断出现和水资源量与质统一管理理论研究的不断深入, 水资源量与质统一管理方法的研究也有了较大发展。尤其是决策支持技术、模拟优化的模型技术和资源价值的定量方法等的应用使得水资源量与质管理方法的研究产生了更大的活力^[20,21]。Afzal 等 (1992) 针对 Pakistan 的某个地区的灌溉系统建立了线性规划模型, 对不同水质的水量使用问题进行优化。在劣质地下水和有限运河水可供使用的条件下, 模型能得到一定时期内最优的作物耕种面积和地下水开采量等成果, 在一定程度上体现了水质水量联合优化配置的思想^[22]。Watkins (1995) 介绍了一种伴随风险和不确定性的可持续水资源规划模型框架, 建立了有代表性的水资源联合调度模型^[23]。此模型是一个二阶段扩展模型, 第一阶段可得到投资决策变量, 第二阶段可得到运行决策变量, 运用大系统的分解聚合算法求解最终的非线性混合整数规划模型。Fleming 和 Adams (1995) 建立的地下水水质水量管理模型, 该模型以经济效益最大为目标, 考虑了水质运移的滞后作用, 并采用水力梯度作为约束来控制污染扩散。UPmanuLall 等 (1995) 建立的地表水地下水联合运用系统的多目标管理模型, 模型中将地表水地下水的处理费用纳入管理目标。Wong 等 (1997) 提出支持地表水、地下水联合运用的多目标多阶段优化管理的原理和方法, 在需水预测中考虑了当地地表水、地下水、外调水等多种水源的联合运用, 并考虑了地下水恶化的防治措施, 体现了水资源利用和水资源保护之间的关系^[24]。Carlos 等 (1997) 以经济效益最大为目标, 建立了以色列南部 Eilat 地区的污水、地表水、地下水等多种水源的管理模型, 模型中考虑了不同用水部门对水质的不同要求。

1.2.1.2 国内研究

20 世纪 50 年代以来, 随着系统分析理论和优化技术的引入以及 60 年代计算机技术的发展, 国内水资源系统模拟模型技术得以迅速研究和应用。80

年代以来,我国开展了水资源科学分配方面的研究和应用工作。特别是在水资源优化配置的基本概念、优化目标、基本平衡关系、需求管理、供水管理、水质管理、经济机制、决策机制及各主要模型的数学描述等方面,均有新的研究成果,经广泛应用取得了较大的经济和社会效益。根据水资源优化配置问题的特点。

(1) 水利工程控制单元的水资源优化配置。

水利工程是水资源配置的基本单元,由于其结构相对简单,影响和制约因素相对较少,如何实现水利工程控制的有限水资源量的最大效益,成为广大学者较早涉足的研究领域。曾赛星等(1986)在对内蒙古河套灌区地表水地下水联合优化调度中,采用动态规划方法确定各种作物的灌水定额及灌水次数;1989年针对江苏徐州地区欢口灌区的实际情况,建立了一个既考虑灌溉排水、降低地下水位的要求,又考虑多种水资源联合调度、联合管理的非线性规划模型,以确定农作物最优种植模式及各种水源的供水量比例。唐德善(1992)以黄河中游某灌区为例,运用递阶动态规划法,确定水资源量在工业和农业之间的分配比例。此外,贺北方等(1995)、黄振平等(1995)、向丽等(1999)和马斌等(2001)对多库多目标最优控制运用的模型与方法、灌区渠系优化配水、大型灌区水资源优化分配模型、多水源引水灌区水资源调配模型及应用进行了研究^[25-27]。这些成果使水利工程单元的水量优化配置模型和方法不断丰富和完善,促进了以有限水资源量实现最大效益的思想在水利工程管理中的应用。

(2) 区域水资源优化配置。

区域是社会经济活动中相对独立的基本管理单位,其经济社会发展具有明显的区域特征。随着经济社会的快速发展,以及多目标和大系统优化理论的日渐成熟,自80年代中期以来,区域水资源优化配置研究成为水资源学科研究的热点之一。由于区域水资源系统结构复杂,影响因素众多,各部门的用水矛盾突出,研究成果多以多目标和大系统优化技术为主要研究手段,在可供水量和需水量确定的条件下,建立区域有限的水资源量在各分区和用水部门间的优化配置模型,求解模型得到水量优化配置方案。贺北方(1988、1989)提出区域水资源优化分配问题,建立了大系统序列优化模型,采用大系统分解协调技术求解。在河南豫西地区建立了区域可供水资源年优化分配的大系统逐级优化模型。该成果的特点是考虑了产业结构调整对水资源量配置的影响。吴泽宁等(1989)以经济区社会效益最大为目标,建立了经济区水资源优化分配的大系统多目标模型及其二阶分解协调模型,并用层次分析法间接考虑水资源配

置的生态环境效果。翁文斌等(1995)将宏观经济、系统方法与区域水资源规划实践相结合,形成了基于宏观经济的水资源优化配置理论,并在这一理论指导下提出了多层次、多目标、群决策的方法,实现了水资源配置与区域经济系统的有机结合,也是水资源优化配置研究思路上的一个突破^[28]。卢华友等(1997)以义乌市水资源系统为对象,建立大系统分解协调模型,提出了递阶模拟择优的方法。1999年聂相田等建立了宁陵县三层递阶大系统优化配水模型,将该县水资源量在各子区、各作物间进行最优分配。吴险峰等(1997)探讨了北方缺水城市枣庄——在水库、地下水、回用水、外调水等复杂水源下的优化供水模型,从社会、经济、生态综合效益考虑,建立了水资源量优化配置模型^[29]。2002年中国水利水电科学研究院等单位联合完成的“九五”国家重点科技攻关项目“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”,建立了干旱区生态环境需水量计算方法,提出了与区域发展模式及生态环境保护准则相适用的生态环境需水量,在此基础上,提出了针对西北生态脆弱地区的水资源配置方案^[30]。采用了在水资源配置方案设置的基础上,生成水资源配置结果的研究思路,使水资源配置结果更符合区域的实际。

(3) 流域水资源优化配置。

流域是具有层次结构和整体功能的复合系统,由社会经济系统、生态环境系统、水资源系统构成,流域系统是最能体现水资源综合特性和功能的独立单元。国内在流域水资源优化配置方面也取得了可喜的成果,成果与区域水资源优化配置研究具有近似的特征。唐德善(1994)应用多目标规划的思想,建立了黄河流域水资源多目标分析模型,提出了大系统多目标规划的求解方法。1996年由黄委会勘测规划设计研究院主持的“黄河流域水资源合理分配和优化调度研究”成果中,开发了由数据库、模拟模型、优化模型等组成的决策支持系统,并初步研究了黄河干流多库水量联合调度模型。王成丽等(1997)针对近年来黄河下游连年缺水、断流等现象,研究了黄河下游水资源量的优化配置问题。陈晓宏等(2002)以大系统分解协调理论作为技术支持,运用逐步宽容约束法及递阶分析法,建立东江流域水资源优化调配的实用模型和方法,并对该流域特枯年水资源量进行优化配置和供需平衡分析^[30-33]。

(4) 跨流域水资源优化配置。

跨流域水资源优化配置是以两个以上的流域为研究对象,其系统结构和影响因素间的相互制约关系较区域和流域更为复杂,仅用数学规划技术难以描述系统的特征,因此,仿真性能强的模拟技术和多种技术结合成为跨流域水资源

量优化配置研究的主要技术手段。邵东国（1994）针对南水北调东线这一多目标、多用途、多用户、多供水优先次序、串并混联的大型跨流域调水工程的水量优化调配，以系统弃水量最小为目标，建立了自优化模拟决策模型，采用动态规划法进行求解。吴泽宁等（1997）以跨流域水资源系统的供水量最大为目标，将模拟技术和数学规划方法相结合，建立了具有自优化功能的流域水资源系统模拟规划模型，并以大通河和湟水流域为例对模型进行验证，提出了跨流域调水工程的规模^[34]。卢华友等（1997）以跨流域水资源系统中各子系统的供水量和蓄水量最大、污水量和弃水量最小为目标，建立了基于多维动态规划和模拟技术相结合的大系统分解协调实时调度模型，采用动态规划法进行求解，并以南水北调中线工程为背景进行了实例验算。解建仓等（1998）针对跨流域水库群补偿调节问题，建立了多目标模型，并分析了求解方法和实用上的简化，通过大系统递阶协调方法和决策者交互方式的补充，来实现综合的决策支持（DSS）算法。

1.2.2 水环境容量研究

1.2.2.1 国外研究进展

水环境容量指在水体使用功能不受破坏条件下，水体接纳污染物的最大数量。通常指在水资源利用区域内，按给定的水质目标 and 设计水量、水文条件，水体所能容纳污染物的最大量^[35]。水环境容量作为水体污染物排放的临界控制条件，是实现水质达标的基础。水体纳污能力特征指水体在设计水文、规定环境保护目标和排污口位置条件下，所能容纳的最大污染量。水体纳污能力是排污总量控制的基础，其定量评价对于有效的保护水资源具有重要的现实意义。

总量控制是污染物排放总量控制的简称，指在污染严重、污染源集中的区域或重点保护的区域范围内，通过有效的措施，把排入这一区域的污染物总量控制在一定的数量内，使其达到预定规划阈值的一种手段。水污染物总量控制主要从定量的角度，把水域看作一个整体，根据水体的功能要求和污染源的排放状况，预先推算出达到该环境目标所允许的污染物最大排放量，然后通过优化计算，确定分配到各污染源的排放量及其削减量，并由此裁定治理措施，以达到改善水质、满足水环境质量标准的目的。国际上对污染物排放总量控制一般借助水环境容量的实施过程，结合控制结果提出针对性的改进策略。

国际上主要对水环境容量及相关控制过程进行研究与探讨，鲜少涉及水体纳污能力的相关细节。因此，国外结合对不同水域的水环境容量研究，采

用针对性的水质模型对污染物排放量进行控制，制定相应的法规政策保障基于水环境容量的水体污染物总量控制工作的顺利开展，具有实施过程计划性强，阶段控制目标明确、前瞻性好、利于水质保护及水污染治理工作的开展等特点。

(1) 美国。

美国水环境容量研究起步较早。1972 年，美国环保局（EPA）提出 TMDL（最大日负荷总量，Total Maximum Daily Loads）的概念，包括污染点源负荷 WLA 和非点源负荷 LA（含背景负荷 BL 及支流负荷），同时考虑不确定因素的安全余量 MOS 以及季节性变化影响。美国水环境容量的研究及实施以 TMDL 为核心展开。

TMDL 并不是针对所有类型的污染物，一种污染物对应一个 TMDL。研究过程中水质或功能受损水体，至少做一个 TMDL，一般针对导致水体受损的一种或数种污染物制定实施 TMDL。TMDL 制定包括污染负荷、安全余量、排放分配等 3 个要素。美国 TMDL 计划的实施过程如图 1.1 所示。

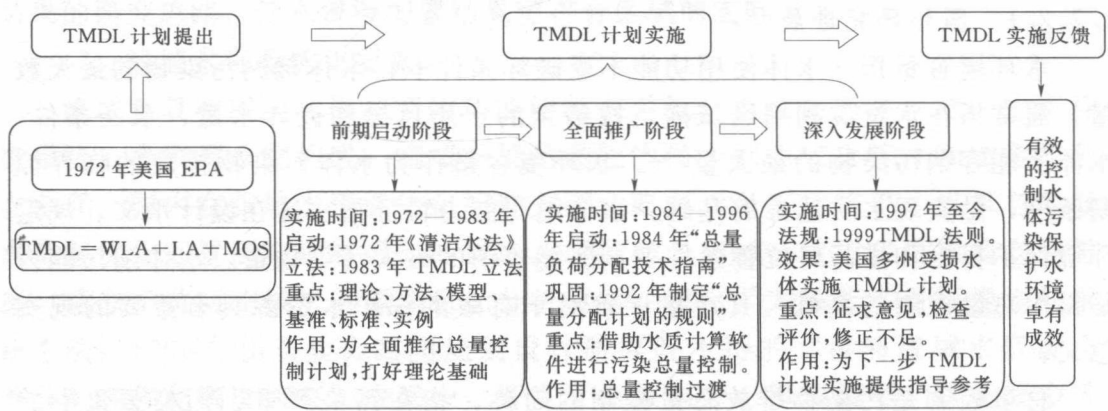


图 1.1 美国 TMDL 计划实施过程

为进一步巩固以水环境容量为基础的 TMDL 计划实施成果，美国在推广 TMDL 计划的过程中也同时对污染物排放进行总量控制。美国 TMDL 计划执行过程中就包含对污染物总量的控制因素（图 1.2）：首先要求污染源达标排放，判断水质是否达标，在此基础上再对未达标区域实行排放总量控制，有效降低污染控制的费用。2003 年 EPA 评价水域中 40% 的水体不符合水质标准，但从单纯采取基于技术的排放总量控制角度考虑，TMDL 计划的实施在控制水环境污染方面显示出卓越功效^[36-38]。

(2) 日本。