

Water Quantity Regulating and Controlling Theory
in Regional Water Resources Rational Allocation

区域水资源 合理配置中的 水量调控理论

方红远 著

黄河水利出版社



内容提要

本书主要依据我国水利可持续发展的战略新思路,在分析讨论流域或区域水文循环及水量转化过程一般规律以及社会经济用水过程特征的基础上,充分考虑人类活动对大气水、地表水、土壤水和地下水等“四水”转化关系的影响,着重研究流域或区域内“天然—人工”二维动态水量循环模式、以人工水循环为基础的社会经济用水调控、以流域水量循环为基础的生态用水调控、区域水资源承载力增强等概念及其相关的计算分析方法。

本书可供水利、农业、城建、环境等部门的规划、设计、科研、管理人员,以及大专院校有关专业的师生参考、阅读。

图书在版编目(CIP)数据

区域水资源合理配置中的水量调控理论/方红远著.
郑州:黄河水利出版社,2004.10
ISBN 7-80621-834-3

I. 区… II. 方… III. 区域—水资源—协调控制—
研究 IV. TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 098784 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:14

字数:320 千字

印数:1—1 500

版次:2004 年 10 月第 1 版

印次:2004 年 10 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-834-3/TV·370

定价:30.00 元

前言

自 20 世纪 80 年代初以来,社会经济的高速发展已使我国在水资源供需及管理问题上遭遇到了许多严重困难。目前,关于我国水资源问题的特征,总体上可以概括为时空分布差异大,水土资源分配不均,水资源总量尚可但人均、地均占有量少,国民经济需水量增长幅度大,水污染使得水资源短缺和生态环境恶化日益严重。然而,水资源开发利用中存在的问题更为严峻,主要表现在我国目前江河防洪能力低、区域水资源短缺、水体污染造成水环境恶化以及水土资源开发利用不当引起的生态环境破坏等方面。这表明我国现阶段水资源开发利用状况与达到水资源合理配置的基本要求仍有较大距离,在对水资源的有效利用和控制方面还存在着许多问题。

水资源具有资源、社会和环境的多属性特征,那么其合理配置分析过程必然涉及多方面的问题。由于理论研究和实际运用的历史并不长,以及限于认识水平,故从目前看,不论水资源合理配置的理论体系,还是其技术分析方法,均存在许多亟待研究和完善的内容。水资源合理配置是人类借助于工程和非工程措施改变水资源及其环境时空布局的过程,流域水量转化过程及其产生条件必然受到较大影响,因而流域水循环过程分析应当成为水资源合理配置研究的基础。社会经济的发展使得人类活动对流域的干扰强度越来越大,天然水循环和人工侧支水循环之间此消彼长的相互作用对流域“四水”转化关系的影响逐渐加深。人类偏重于追逐经济效益的社会发展模式造成了水资源开发利用的诸多局限性,削弱了流域水循环的健全功能,使水资源持续利用和流域可持续发展失去了客观保障条件。如何恰当地考虑高强度的人类活动对流域天然水文规律的影响,并构建流域或区域尺度的“天然—人工”二维动态水量循环模式是具有重要实际意义的。

我国现行的社会体制和社会经济发展水平决定了我国目前的水资源配置机制仍以政府宏观调控和行政管理机制为主,但随着社会的发展以及区域水资源供需矛盾的加剧,以水权为法律基础的市场配置机制,以及技术决策配置机制、用户自主协商分配机制愈加发挥积极作用。水资源既是一种稀缺的自然资源,又是一切生命生存和生态环境演化所依赖的基本要素,它对生命和非生命系统的维持作用是其他自然资源不可比拟的,国家对水资源拥有占有权的意义正在于此。这表明完全的市场机制对水资源配置是不可行的,政府宏观调控与市场分配机制有机结合将是我国未来水资源配置的主要原则。然而,毋庸置疑,这些关于水资源管理、分配的宏观策略尽管极其重要,但要在我国水资源开发利用中得到有效运用,应该客观地遵守流域水循环过程健全、水资源更新途径畅通所要求的自然法则和条件。

水资源合理配置概念的提出是我国水资源规划与管理理论和方法新发展的一个标志,它代表了我国水资源开发利用的指导思想已全面接受社会可持续发展理念。水资源合理配置研究不仅在理论分析中构成水资源承载力研究和水资源持续利用研究的先决条件和主要基础内容,而且在我国水资源综合规划实践中也已被作为重要任务之一。水资源合理配置中所强调的水资源供给与需求平衡、水环境污染与治理平衡、水投资与效益平

衡以及社会经济发展与生态环境维护平衡等关系正符合人类社会与自然协调并进的思想,是实现水资源持续利用目标的长久之路。但水资源合理配置理论与方法要形成一个理论完备、逻辑严密以及各类实用技术方法比较齐全的研究领域体系,还需要作进一步的探索和努力。

本书在对流域或区域水文循环及水量转化过程一般规律以及社会经济用水过程特征进行分析的基础上,讨论人类活动对大气水、地表水、土壤水和地下水等“四水”转化关系的影响,着重研究流域或区域内“天然—人工”二维动态水量循环模式、以人工水循环为基础的社会经济用水调控、以流域水量循环为基础的生态用水调控、区域水资源承载力增强等概念及其相关的计算分析方法。

由于作者经验不足,水平有限,错误和不足之处在所难免,恳请专家和读者不吝指正。

作者

2004年8月

目 录

前言

第一章 绪 论	(1)
1 问题的提出	(1)
2 国内外水资源配置研究及实践状况	(4)
3 水资源合理配置概念	(10)
4 目前理论与方法研究中需要解决的问题	(17)
5 本书主要内容	(19)
第二章 人类活动影响下的水量二维转化模式	(21)
1 天然状态下的流域“四水”转化	(21)
2 “四水”转化模式的模型描述	(25)
3 人类活动对流域水资源形成转化的影响	(27)
4 “天然—人工”双因素驱动下的水资源二维演化模式	(40)
5 流域水资源二维演化模式的调控	(42)
6 本章主要内容	(45)
第三章 水资源合理配置分析中的实用技术	(46)
1 机遇约束模型与随机模拟技术	(46)
2 多目标水资源系统优化运行的遗传算法	(52)
3 库群系统优化调度分析中的 POA 算法	(59)
4 区域供水能力扩展分析的整数规划模型	(64)
5 隐性效用函数优化技术	(69)
6 水文预测的神经网络模型及其拟合度分析	(74)
7 水资源系统不确定性决策机会约束模型	(79)
8 本章主要内容	(84)
第四章 区域水资源合理配置分析模型	(86)
1 水资源合理配置分析与计算一般原则	(86)
2 系统网络图	(101)
3 供需分析水量平衡公式	(102)
4 供需平衡计算原则	(104)
5 基于水供需平衡分析的水资源配置分析模型	(105)
6 基于边际收益均衡的水资源配置模型概念	(111)
7 湿润地区分质水资源配置分析	(115)
8 本章主要内容	(118)
第五章 以人工水循环为基础的经济用水调控	(120)
1 国民经济用水需求的结构与总量	(120)

2 国民经济用水调控中的基础分析	(124)
3 国民经济用水调控手段	(132)
4 节水、治污、挖潜的边际成本比较	(136)
5 本章主要内容	(145)
第六章 以流域天然水循环为基础的生态用水调控	(146)
1 退化生态系统恢复概念	(147)
2 最小生态用水量	(151)
3 水资源评价中的国民经济可利用水资源量	(154)
4 流域用水的经济消耗与生态消耗	(154)
5 以流域水循环为基础的生态用水调控	(155)
6 本章主要内容	(156)
第七章 区域水资源调控与水资源承载力增强	(158)
1 区域水资源安全问题	(158)
2 水资源承载力的内涵	(164)
3 水资源承载力的计算方法与层次化衡量指标	(167)
4 区域水资源调控与水资源承载力增强	(170)
5 可持续性水资源系统管理	(175)
6 本章主要内容	(178)
第八章 实例研究	(179)
1 海南省流域水系概况	(179)
2 社会经济发展状况及其需水	(181)
3 水资源开发利用方式	(183)
4 社会经济用水调控	(184)
5 生态环境用水调控策略	(186)
6 以流域为单元的二维模式水量调控模型	(187)
7 松涛水库典型干旱年调控模拟计算结果	(201)
8 本章主要内容	(202)
第九章 结论与展望	(203)
1 结 论	(203)
2 展 望	(204)
致 谢	(206)
参考文献	(207)

第一章 绪 论

1 问题的提出

水资源具有资源的、环境的和社会的等多重属性,其使用的范围和功能十分丰富,因而人们从不同的出发点给予了水资源不同的定义。从水维持人类生命和社会经济发展的一般意义上说,我们可以把水资源理解为是能够被人类和其他生态系统直接或间接利用的、参与水分循环并不断恢复更新的且数量呈动态变化的淡水资源。但若根据不同的评价口径,对水资源就可以作出多种不同的界定。有效水资源论认为,从水资源对生态环境系统(包括天然的和人工的)的有效性来理解,与生态环境具有密切关系的水分都应该被看做水资源,即水资源应包括径流性水资源和为生态系统直接利用的有效降水量。径流性水资源一般可通过工程为人类所调控,这部分水资源的赋存形式是地表水和地下水;而降水量中的有效部分虽不一定能直接产生径流,但它对流域的水资源产出量具有影响;且对于可耕旱地,其大部分以土壤水的形式被地表植被吸收利用。仅将流域水循环中的年生成存量(即降雨径流量)评价为水资源,而不包含雨水资源的利用量,则不能反映水循环过程中的全部有效水量。在水循环实际存量(常规观测到的实际存量是生成存量减去各种消耗转化量后的余量)持续下降的情况下,对水循环通量的利用不容忽视;对天然植被利用的降水通量 P_n 和人工作物每年直接利用的降水通量 P_d ,在水资源评价中应予恰当反映。

这种观点强调降水通量 P 的有效性应体现在两个方面:一是部分水量被生态系统直接利用,二是部分水量转化为具有潜在利用价值的径流存量 W 。则此时广义水资源可定义为多年平均流域水循环有效通量 P_e ,即 $P_e = P_n + P_d + W$ 。对于其中包括的更新周期小于一年的生成存量,主要是通过工程手段进行利用;对于降水通量的有效利用,则要通过调整发展模式和进行生态建设来达到目的。这种广义水资源内涵突破了一般水资源定义中所强调的能被人类直接利用的属性特征界限;从可持续发展观点看,广义水资源概念强调了社会—经济—生态复合系统互相作用、协调发展的思想,将传统意义上不属于人类社会而实际又广泛存在和运动于人类生存环境中的水量纳入了可评价水资源范围。

根据《中华人民共和国水法》(以下简称《水法》)对水资源所作的界定以及目前国内通常所采用的水资源评价口径,有效降水量分析是不包括在水资源评价中的。因此,我们现在一般所称的水资源实际是指由大气降水补给,主要贮存于地表江河湖泊以及浅层地下含水层,在水循环过程支配下可逐年更新恢复的水体。经统计分析,我国多年平均降水量为 6.2×10^4 亿 m^3 ,折合平均降水深为 650mm,低于全球陆面平均降水深 834mm 和亚洲陆面平均降水深 740mm;降水量的 56% 为陆面蒸发和植物蒸腾所散发,只有 44% 的水量形成地表径流。相应地表水为 2.711×10^4 亿 m^3 ,约占全球的 5.8%,仅次于巴西、加拿

大、美国和印尼,位居世界第五位,但人均占有量约为世界人均的 $1/4$;耕地亩均占有水量为世界亩均的 $71\% \sim 75\%$ 。全国浅层地下水多年平均资源量为 $8\,287\text{ 亿 m}^3$,其中山丘区 $6\,762\text{ 亿 m}^3$,平原区 $1\,873\text{ 亿 m}^3$ (需扣除地下水重复计算量 348 亿 m^3)。

20 世纪中叶以来,由于世界人口激增造成的需水量大幅度增加、用水严重浪费、开发利用不当以及水环境污染等一系列问题,使得全世界淡水资源受到了越来越巨大的压力。水资源短缺以及由此而引起的人类生存环境恶化、地区间的战争、天然生态系统破坏等危机,已经引起了人类社会的普遍关注。如何合理利用有限的水资源,保护脆弱的生态环境,实现人类与自然和谐共处、社会经济可持续发展的目标,是人类社会肩负的重大历史使命。尽管国际相关组织对水资源的危机不断发出呼吁警告,并相应地采取了积极行动步骤;世界各国政府、民间机构、包括水资源研究者的各领域科学工作者以高度责任感面对水资源危机,不懈地探索着水资源危机的解决途径,但由于世界各国社会经济发展状况和历史文化背景的差异,水资源危机在世界范围内还远没有得到根本性的解决。

在我国,由于地区、部门以及个人利益的驱动,社会经济基础条件的落后以及思想观念的局限性,水资源的开发、利用、管理与保护领域还存在着许多误区;造成在一个不长的时间内,水资源短缺、生态环境恶化已成为我国社会经济发展的严重制约因素。在中国北方特别是华北京津唐地区,从 20 世纪五六十年代青山绿水、碧海蓝天良好的自然环境,到目前“有河皆干、有水皆污”的恶劣环境,也只是在短短的三四十一年间形成的。要彻底摆脱水资源短缺和水环境恶化的危机,使我国社会经济走上可持续发展道路,不仅需要转变传统观念,更需要我们对水资源开发、利用、管理与保护的科学理论和方法体系加以深入研究,并不断地将行之有效的科学理论和技术方法付诸实施行动中。

目前,我国的水资源问题的特征总体上可以概括为时空分布差异大、水土资源分配不均、水资源总量尚可但人均地均占有量少,国民经济需水量增长幅度大,水污染使得水资源短缺和生态环境恶化日益严重。如果从水资源分布特点以及开发利用过程来分析,我国水资源开发利用中存在的问题主要是江河防洪能力低、区域水资源短缺、水体污染造成水环境恶化以及水土资源开发利用不当引起的生态环境破坏等,这表明我国现阶段水资源开发利用状况仍远离水资源合理配置的基本要求,在对水资源的有效利用和控制方面存在着许多问题。具体表现在以下几个方面。

(1) 区域需水量快速增长与工程供水能力不相适应,已有的水利工程基础设施尚未形成完善的综合利用体系。

据水资源专业研究部门统计分析,我国 1993 年(水平年)在总需水 $5\,466\text{ 亿 m}^3$ 和总供水 $5\,241\text{ 亿 m}^3$ 的条件下,缺水 225 亿 m^3 ,其中北方干旱缺水的海河流域、淮河流域、黄河流域缺水量分别为 72 亿 m^3 、 50 亿 m^3 和 25 亿 m^3 。到 1997 年和 1998 年,全国总供水量分别达到 $5\,623\text{ 亿 m}^3$ 和 $5\,470\text{ 亿 m}^3$,需水量仍有一定的增长,供需平衡的缺口仍在继续加大。预计到 2010 年(水平年),在采取一定的工程措施和政策管理措施后,还存在 63 亿 m^3 的缺水量。在 20 世纪下半叶,中国的水利事业有了极大的发展,据统计,自 1949 年至 1997 年全国水利财政累计总支出 $3\,187\text{ 亿元}$,占国家财政总支出的 4% ,年均增长率为 11% 。这期间所修建的水利设施普遍提高了主要江河和一些重要地区的防洪能力,保

护耕地 5.4 亿亩^①、人口 4.3 亿人,发展有效灌溉面积 8 亿亩,增加水库库容 4 900 亿 m^3 ,在防洪、灌溉、发电、供水、航运、养殖等方面发挥了应有的综合效益。尽管半个世纪的水利建设投入巨大,且收益斐然,但由于人口增长和社会经济发展,已有的水利工程容量和标准已不能适应发展的要求。在防洪方面,一些重要江河和重点城市的防洪标准偏低,河湖、行洪蓄洪区泥沙淤积,围垦设障严重,建设骨干防洪工程经费不足,江河洪灾隐患依然存在。在供水方面,工程供水增加量已远不能满足增长的需水要求,尤其在某些严重缺水的区域,现有的水利工程基础以及近期有限的水利投资,尚不能建立有效的水量调控体系,当地水资源并未得到充分利用;同时,各类水利工程之间缺少相应的水力联系,工程容量的补偿调节作用无法实现;另外,水利工程老化失修、工程不配套现象普遍存在,加之缺乏一定规模的跨流域调水工程,使得水利工程无法构成完整的综合利用体系,区域水资源调控能力和供水保证率低下;水工程系统的防洪、发电、供水、航运、养殖、冲沙排淤、湿地保护、生态平衡、娱乐景观等综合功能也难以发挥。这也使得区域水资源合理配置失去了完善的工程基础保障。

(2)水资源开发利用缺乏全局观念,忽视水资源系统的生态经济复合系统功能,水的开发利用目标和技术手段缺乏合理性和科学性。

水资源系统是一个生态经济复合系统,因而水资源的开发利用与社会经济系统和自然生态系统的变化紧密相联。目前,我国在水资源开发、利用、管理和保护的各个环节上都存在着协调性不强、系统的整体功能难以发挥等问题,造成了水资源供需矛盾突出,生活和工业用水的增长不断挤占农业和生态用水,水资源短缺地区的地下水超采严重,水质恶化加剧造成水生态环境破坏,工程性缺水、资源性缺水和污染性缺水在某些区域并存,社会经济发展和水资源开发利用陷入恶性循环的困境。

我国华北地区因严重超采地下水,出现了世界上面积最大的复合漏斗区,且面积仍在继续扩大。过量超采地下水使这一地区地面下沉、土地裂缝和塌陷现象严重。有关资料显示,河北八个供水区地面沉降量从 200mm 到 1 000mm 不等,总面积近 7 万 km^2 ,有的市中心地面下沉 1.6m 之多;平原地区目前已发现地面裂缝 200 余条,涉及 35 个县 65 个乡,最深可达 10m 左右。其直接危害是地下水枯竭、建筑物下沉倒塌、海水倒灌等。

目前,我国江河流域普遍遭到污染,且呈发展趋势。全国污水排放量达到 445 亿 m^3 ,其中 80% 未经处理就直接排入江河湖海。中国水资源公报统计表明,七大江河流域的水质均已遭受不同程度的污染,不能满足Ⅲ类水质标准的河段占 85% 以上;一些大淡水湖泊总磷、总氮污染面广,富营养化严重,水体功能明显减弱。全国 90% 以上的城市水环境恶化,城市周边的河流或河段已多成为排污沟渠,据 1999 年监测数据显示,在 141 个国控城市河段中,63.8% 的河段污染较重,为Ⅳ类至劣于Ⅴ类水质;城市地区的地表水和地下水水质严重恶化,尤以辽河流域、海河流域、淮河流域的城市地表水水质最差。而广大农村地区,由于乡镇企业的发展以及农业上化肥农药的大量使用和水土流失而产生的点、面源污染,使水质恶化且影响范围不断扩大。农产品受污染,人群疾病发生率增高,人民的生命健康受到极大危害。

① 1 亩 = 1/15 hm^2 ,下同。

水资源开发利用的盲目性和全局观念缺乏性,也引发了严重的生态环境问题。如海河流域的湖泊湿地面积萎缩、水土流失严重、水库河口泥沙淤积、河道干涸等,加上有限的水环境容量和不断增多的污水排放,已使该地区水生态环境步入危险境地;我国新疆地区由于水资源的严重短缺和不恰当的利用,造成了无法逆转的生态问题,沙漠化面积逐年扩大,绿洲沙化,植被群落减少,河湖日渐萎缩等。

(3)思想观念陈旧,水资源管理模式不符合形势发展要求,造成管理体制不顺,用水浪费,水资源利用效率低下,经济杠杆难以发挥调节作用。

长期以来,人们对水资源及其利用的传统观念已根深蒂固,它妨碍了社会对水资源的正确认识、节水意识的树立、水资源危机感的认同。由于历史和社会体制的原因,目前我国的水资源管理模式是多行业多部门分割管理,行业部门间缺乏协调,管理体制不顺,无法形成高效的水资源统一管理机制;水量调度运行、水资源工程管理、水工程投资政策、水价调控机制等方面措施的实践尚缺乏成熟的社会大环境;用水计量、用水方式和节水方法等方面技术落后。因而,农业灌溉制度和灌溉方式不合理、城市用水节水措施不力、工业用水跑冒滴漏屡禁不止、居民节水意识淡薄等现象长期存在;在水资源分配上,河流的上下游左右岸之间、区域内各部门之间、区域或流域之间缺乏可循的水量分配原则;在河流的污染控制和相邻区域水资源综合开发利用方面也缺乏应有的协调管理机制。

(4)缺乏健全的水资源分配科学理论体系,以及相适应的法律法规制度和社会宣传教育机制,从而不能保证水资源合理配置具有坚实的科学基础、完善的法律保障和积极的社会响应。

水资源分配科学理论体系应当是涉及自然科学、经济学、社会学、生态学及环境学等众多学科领域的,针对水资源合理配置所建立的一套完整的理论方法系统。国内外虽然在水资源研究的各个专门领域,如区域水资源规划、防洪、灌溉、供水、发电、水利工程投资、水污染防治、水利工程环境影响评价等,已经进行了深入而广泛的理论和方法研究,但尚未就水资源的合理利用和科学配置建立起一套完整的涵盖基本概念、基本原理、技术与方法的理论体系。因而,现阶段在水资源合理配置的实践中依然缺乏完善的理论依据和科学基础。

随着法律法规建设的不断完善,我国正在逐步走向法制化社会,依法办事正在逐步替代靠行政命令办事,国家和地方政府的水利法律法规不断得到充实。尽管如此,对于法制尚未完善的社会,仍然在许多方面存在着无法可依、有法不依、执法不严等弊端。同时,也造成了合理的水资源管理机制、正确的水资源发展战略在实施过程中存在着种种困难。

2 国内外水资源配置研究及实践状况

世界人口的急速增长、社会经济的不断发展以及生态环境的日益恶化已使得水资源及其开发利用问题比任何历史时期更为人类社会所关注,水资源的紧缺性及其合理配置的必要性已为越来越多的人所肯定。这一方面自然是因为水资源的资源、社会和环境等多重属性使其与人类社会经济发展的关系愈加密切,另一方面也是由于受原有社会经济发展模式主导的水资源开发利用方法与社会可持续发展模式已显得极不协调,使水资

源开发利用实践中存在着诸多误区。

水资源开发利用对社会经济发展的作用及其与生态环境保护的关系已为世界许多国家政府和水资源科学工作者清醒地认识到。水资源对人类所有活动的支撑作用以及防治水害和保护水生生物生存环境方面的需求,都清楚地表明水资源的规划、管理和开发利用与整个社会经济计划和发展紧密相连。水资源管理是多维的,它由规划、设计、建设、运行和维护等内容构成,其涉及因素包含技术能力、社会观念、经济实力、政治观点以及环境目标;要有效地管理水资源,更多地取决于我们运用法律手段的能力,而不是技术框框;我们的工程设计和建造能力要比其运行管理能力先进得多。

前世界银行技术专家 Frederiksen 于 1996 年在分析广大发展中国家的水资源利用对策时指出,多数发展中国家在解决本国由于人口暴涨引起的水危机时,均遭遇到诸如缺乏足够时间采取行动满足即将面临的需水增长要求、缺乏广泛可行的基本需水供给保障措施、缺乏足够的实施解决方案的资金以及缺乏突然产生的干旱灾害的应急能力等方面的严重制约。尽管 20 世纪中叶以来我国的水利建设成就巨大,但社会认识的片面性和水管理体制的分散性,使上述问题在我国水资源开发利用实践中均不同程度地存在着。我国是世界发展中大国,水土资源组合极不均衡和社会经济的快速增长已使区域水资源供需矛盾异常尖锐,而水资源开发利用和水资源管理模式正受到不断深化的社会体制改革的严重挑战。目前的水资源分配体制既不能适应水资源优化配置的要求,也不能完全满足协调利益冲突的需要,水资源的分配体制迫切需要进一步改革。由此可见,浙江省金华市的东阳市和义乌市首次有偿转让水资源使用权的实践,必将对我国水资源管理体制改革、有效利用市场机制优化水资源配置以及水资源开发利用等产生深远的历史影响。

2.1 国外水资源配置研究及实践

与常受传统经济学重视的一些其他稀缺资源的分配问题相比,水资源配置问题的研究可谓是一个新兴的课题。国外在水资源分配理论研究和实践方面虽有不少实例,但多数是结合水资源系统的规划设计和运行管理,以及水资源开发利用实际事务而进行的,并未作为一个专门论题加以研究。

美国是最早将系统分析方法应用于水资源规划和管理中的国家,且他们在这领域的研究,涉猎面十分广泛。在内容上,从 20 世纪 50 年代的水库优化调度,到六七十年代的流域水资源综合规划及管理、区域水资源开发利用设计、旱涝灾害应对与防治、流域水环境管理等;在分析方法上,从简单水资源系统到复杂大规模水系统,从单目标、确定型问题到多目标、随机型和风险型问题;在技术手段上,从单纯借助于数学模型到计算机数字化管理、信息控制理论、人工智能技术与数学模型的结合运用;研究成果异常丰富。所有这些努力不仅使美国的水资源规划与管理始终处于世界先进水平,也为世界其他国家的水资源开发利用树立了典范。

最早比较系统地研究水资源分配理论与方法的专著应首推 Buras 于 1972 年发表的《水资源科学分配》,但他主要是根据 20 世纪五六十年代兴起的系统分析理论在水资源开发利用中的应用经验,重点阐述数学规划理论及其计算手段在水资源系统设计和运行调度中的应用方法、分析步骤等。80 年代初, Loucks 等在其颇具影响的专著《水资源系统规

划与分析》中也着重阐述了如何运用系统分析方法指导水资源工程规划、设计和运行管理;并认为,人类对时空分布恰当、数量质量合适的水资源需求的不断增长,已促使水资源工程师和规划者们必须运用更为复杂的水资源系统规划方法解决水资源问题。而在1985年,Yeh发表论文全面回顾了20世纪60年代以来已出现的各种水库运行及管理数学模型,分析了各类模型的特点、适用条件和尚存在的缺陷。

美国的科罗拉多(Colorado)河流域管理则是较早成功地应用立法来开发和管理水资源的实践先例。早在1922年,该流域内的7个州就签订了第一份水资源分配协议:以流域径流量控制站立佛里为界将科罗拉多河流域分为上下两个区,并以该站年径流量为基准进行水量分配。科罗拉多河开发之初就强调水资源的有效利用,随着经济社会的发展,水资源短缺日益明显,水资源的节约与保护更加受到重视,逐步形成了一整套法制制约及经济引导体系,推动和保障了水资源保护与利用的实施与发展。科罗拉多河供水区的发展与水资源的开发利用密不可分,水资源匮乏的不利环境使“以供定需”的水资源供需原则成为该地区经济社会发展的一条常识性法则,并在法律体系的保障下得以严格执行。科罗拉多河流域水资源分配与开发利用管理得以成功自然离不开美国国会和政府的支持,但坚决实施依法治水是其一个重要特征,将水资源开发利用与水权管理紧密相连,一系列国际、州际、州内乃至用户间多层次的水资源分配协议形成了一个较为完善的水资源开发和管理法制体系。

美国加利福尼亚州水工程系统调控运用分析是一个较典型的理论研究实例。加利福尼亚总河川径流量的70%来源于萨克拉门托以北地区,而80%的需水量在广大的南方地带;该州的大部分径流量产生于冬、春季节,而此时需水量却最小,且较大的年际径流量变化常导致连续枯水年的发生;水资源时空分布差异以及生态环境维护、预期的需水增长均须要有效的水资源规划和开发利用。为了解决水资源分配上的问题,对以中央峡谷工程枢纽(CVP)和州水资源工程枢纽(SWP)为中心的加利福尼亚水系统进行恰当的调控运用是十分重要的;因为这两个枢纽工程均以蓄留北部地区冬季径流以供萨克拉门托峡谷的夏季灌溉用水和输出到中部及南部区域为目标,对全州水资源的时空调配起着决定性作用。以计算机模拟为核心的CVP—SWP流域水工程系统联合运行模拟模型已成功地用于实际水资源分配和调控运行过程中。

以色列国土上的水资源分布呈南少北多状态,人均占有量仅为世界人均的1/32。该国在水资源开发利用和合理分配方面采取的措施是:通过修建南北相连的全国输水管道,解决水资源分布空间上的不平衡;设立政府专门职能部门(全国水利委员会)负责制定水利建设规划、水资源发展规划、用水计划、水污染防治等方面的政策;实行地表水、地下水联合调度运用和取水许可制度;水价由全国水利委员会统一制定,并对不同用水部门实行不同水价,超额用水收取超额费用;重视污水和海水资源化,增加可利用淡水资源。完善而合理的水资源管理制度有效地保障了该国社会经济的正常发展。

苏联从水资源总量上说并不缺水,但水资源的空间分布与国民经济需求也极不协调,径流量占地表淡水资源总量80%的主要河流均位于经济开发较差的北部和东部地区,而社会经济发达及适宜于人类生存的欧洲部分的南半部、高加索、中亚细亚等地区,水资源仅占淡水资源总量的20%。如何通过径流的区域再分配以发展南部的农业和畜牧业,恢

复南方各海的鱼类资源,同时也改善北部沼泽化土地,一直是苏联政府重视的大问题。因此,苏联国家科学技术委员会专门制定了解决水资源区域再分配问题的的工作内容和计划,并委托科研和设计机构以及高等院校来完成各项任务。对于跨流域或区域调水以实现水资源的时空平衡问题,苏联的科学工作者具有许多值得我们借鉴的经验。如索柯洛夫等在论述径流调配问题时指出:水资源的区域再分配就其规模、国民经济意义和对自然环境的影响来说,应列为当代最重大的科学技术问题;对自然平衡的任何干预,都应当根据对自然规律和过程的了解,并且应考虑到可能的不良后果,所以在实施径流调配之前,应先对它进行全面的科学论证,并预测它可能带来的自然环境变化;通过科学研究工作,可以选择水资源再分配的最有利的方案,确定河川径流的最大可调水量,提出旨在防止不良后果的建议。

以上事例表明,世界上社会经济发达、科学技术水平先进的国家都很强调科学开发利用和管理作为国民经济基础资源的水资源。在水资源分配上,重视政府的宏观调控和行政管理与市场机制、法律手段等相结合的有效作用。

2.2 国内水资源配置研究及实践

2.2.1 国内水资源配置研究及实践背景

作为一套相对比较独立但需亟待完善的理论与方法体系,水资源合理配置概念的提出,则是我国水资源科研工作者依据本国人口众多、人均水资源量少、社会经济发展用水供需矛盾突出以及生态环境不断恶化的基本国情,对原有的水资源规划与管理研究模式进行的一次理论与方法的创新。

我国水资源优化分配研究历史可以追溯到 20 世纪 60 年代中国水利水电科学研究院进行的发电水库的优化调度分析,以及 80 年代初南京水文水资源研究所使用系统工程理论进行的北京地区水资源开发利用分析。但此时的研究多侧重于系统分析理论的实际运用。具有目前思想内涵的水资源合理配置概念的产生则应从 1982 年即开始的国家“六五”、“七五”重点科技攻关项目《华北水资源研究》算起,该项目不仅对华北地区水资源总量及其基础数据库以及“四水”转化规律等进行了广泛研究,也对该地区水资源问题的根本解决措施进行了基础性探索。1991~1993 年,由联合国开发计划署技术援助、中国水利水电科学研究院主持研究的《华北水资源管理》项目,初步开发出了华北地区宏观经济水资源优化配置模型。该模型以水资源系统为决策对象、宏观经济系统为决策环境、国家地方和用水部门为决策者,具有综合考虑水资源系统、生态环境系统和社会经济系统相互联系、相互作用的特征。在世界银行贷款项目“黄河流域水资源经济模型研究”基础上由黄河水利委员会完成的国家“八五”攻关项目《黄河流域水资源合理分配及优化调度研究》,对黄河流域社会经济发展、水资源开发利用、干流水库的联合调度、流域水资源合理分配等问题进行了较全面的研究,为流域统一管理和水资源合理配置提供了有价值的经验。而国家“八五”重点科技攻关黄河项目《华北地区宏观经济水资源规划管理研究》专题的完成,则标志着水资源合理配置理论方法体系框架的基本形成。

从目前已形成的水资源合理配置理论体系看,其研究内容虽然有其主要针对目标,但相关的研究分析几乎涉及水资源开发利用、管理和保护的各个方面;且其科学基础也十分

广泛,涉及水文学、水资源学、水利工程学、气象学、农业工程学、物理学、化学、生态环境学、经济学、政治学、社会学、系统科学、决策论、信息管理学以及计算机科学等多种学科。由水资源合理配置的这些特征,再结合水资源本身独特的属性可以看到,水资源合理配置的有效措施应该是法律、行政、经济和技术手段的综合实施。

正因为如此,自水资源合理配置概念提出后,不仅立即得到我国政府有关决策部门的重视和社会有关阶层的关注,而且许多专业领域的科技工作者从不同侧重点对水资源配置及其相关问题进行了理论和方法上的多方面研究。如谢金荣、乔翠芳等从北方地区水资源基础评价、供需平衡分析计算角度,对包括海河、黄河、淮河以及内陆河在内的流域的水资源合理配置实用措施进行了具体分析;翁文斌、赵建世根据黄河流域水资源开发利用及水资源演化规律特征,对水资源可再生利用的合理配置模式进行了理论分析,认为该模式应主要包括可利用水资源的优化配置研究和水资源可再生途径的维护与改善研究两个方面,通过对水资源再生途径中的人类可以控制的环节进行科学有效管理,从而维护水资源再生过程的连续性并实现对该过程的优化;冯尚友在其专著中对水资源合理配置的涵义、必要性、原则和目标、配置方式等概念作了必要的论述;王先甲等对目前水资源分配中的集中分配机制和市场分配机制的各自特点进行了分析,通过对两种分配机制的数学模型解的关系推导,认为市场分配机制在分配稀缺水资源方面的作用和效率,可以保证在平衡价格体系下实现集中分配机制的最大整体效益,而且能避免集中分配机制不能向用户传递水资源稀缺信息等这样的弊端;王劲峰、刘昌明等针对跨流域调水问题,从国家决策层次上通过对区域调水的总经济效益、边际效益以及区域均衡发展等目标的把握,对区际调水量的空间分配、时间分配和部门分配及其组合模型进行了理论分析;沈佩君等针对地区性多种水资源的联合优化调度问题,根据具体地区水资源系统运行特点建立了包含分区管理调度和统一调度模型在内的大系统分析协调模型,以历史系列资料进行计算、人工系列资料作风险分析的方法,提出地区性水利建设对策;方淑秀、黄守信等以引滦入津工程为实例,采用聚集解集技术对跨流域工程中的多水库联合调度建立了统一管理和分级管理调度模型,以获得工程调度运行策略;刘国纬等以我国南水北调东线工程为例,论述了跨流域调水水资源系统管理中系统结构功能分析、来水预报、工程实时运行调度等基本原理和方法;刘健民、张世法等应用大系统递阶分析原理,针对京津唐地区水资源大系统供水规划和调度问题,建立了该地区水量优化分配的三级递阶计算模型;刘绍民运用层次分析法建立了塔里木河上中下游用水户利用水资源的综合评价模型,并根据分解协调原理建立了该地区水资源优化分配模型;朱文斌、樊国瑞同样运用大系统递阶优化理论对石家庄地区水资源开发利用与经济发展协调管理问题进行了研究分析,提出了该地区水资源开发利用与经济发展协调管理的三级递阶分析模型。

以上每种研究在理论分析和操作方法上虽不一定都符合完整意义上的水资源合理配置概念,但其指导思想和最终目的与水资源合理配置是一致的。这些理论研究成果和实际运用经验无疑对水资源合理配置理论的完善具有重要意义,也极大地丰富了这一专业研究领域的思想内涵。

水资源合理配置理论方法提出后,已在许多重要的水资源开发利用研究项目中进行了应用,如1994~1995年开展的国家“九五”科技攻关项目专题——新疆北部地区水资源

总体规划;1996年开始的邯郸、大连等地级行政区的水资源规划;关中平原、河西走廊、柴达木盆地进行的流域水资源开发利用分析;北京、河北、宁夏、新疆等省级行政区的水资源规划;《水中长期供求计划》的全国方案编制;国家“九五”科技攻关项目《西北地区水资源合理配置与生态环境保护研究》等。这一系列的研究和应用既使水资源合理配置技术方法的合理性及可行性不断得到验证,也使其理论进一步得到系统化、完善化,为我国水资源综合规划和未来的开发利用提供了一定的科学指导理论和技术方法。

2.2.2 国内水资源配置研究及实践的阶段特征

自有史以来,最大限度地追逐经济效益以谋求社会经济的不断发展,一直是人类社会开发利用自然资源的行动准则。新中国近半个世纪的水利事业建设和水资源开发利用实践表明,努力适应国民经济结构规模变化和发展速度,始终是我国水资源开发利用以及供水工程规划的惟一目标。从20世纪50年代初至80年代末这一阶段,我国的水资源配置明显地表现为“以需定供”的特征。片面强调水利工程建设无条件地服务于社会经济发展,不考虑国民经济发展所造成的需水不断增长规律及其控制措施,只研究供水方面的各种变化因素以及对需水的满足影响。这种受经济效益驱动的水资源开发利用模式,主要建立在水资源是“取之不尽,用之不竭”的思维观念基础上,对天然水资源的无节制的开发利用,不仅产生了社会性的水资源浪费现象,也引发了河道断流、地下水超采、土地盐碱化或荒漠化以及生态环境恶化等问题。并且,这种以牺牲资源、破坏环境为代价的社会经济发展,已使得我国区域水资源供需矛盾更加突出。

到了20世纪90年代初期,我国的社会经济有了进一步的发展,区域工业化和城镇化异常迅速;社会经济需水量的突飞猛增促使区域水资源开发利用程度不断加强,某些流域或区域的水资源开发利用程度接近甚至超过了极限开发利用率。水资源开发的基础条件以及社会经济各部门的投资竞争,使区域水资源供需矛盾异常尖锐,而由此产生的区域生态环境恶化也已明显地危及到人的生命生存。水资源短缺所造成的社会经济发展“瓶颈”效应和生态环境系统破坏后果,使人们对一直实践的“以需定供”的水资源开发利用模式提出了异议。因此,与“以需定供”机制相对的“以供定需”的水资源配置思想应运而生,它是作为“以需定供”的配置机制的矫正。“以供定需”即是以区域水资源可能的供给能力进行生产力布局和产业结构组成,强调水资源对社会经济发展的保障作用。相比之下,这种水资源配置方式较有利于水资源保护。然而,区域水资源开发利用水平与其经济发展阶段和发展模式密切相关,比如,经济的发展有利于水资源开发投资的增加和先进技术的应用推广,而这必然影响水资源开发利用水平。因此,在一定发展阶段,区域可供水资源量是随社会经济发展而变化的一个动态变量。显然,就我国的“以供定需”的水资源配置模式看,它实际上是将区域可供水量分析与社会经济发展相分离,没有考虑水资源开发与社会经济发展的相互促进和动态协调关系,确定可供水量的依据并不完备,并有可能由于不恰当地限制区域发展规模,使区域社会经济不能得到充分发展。因而这种配置理论在一定程度上也矫枉过正地形成了另一极端,并不能很好地适应区域社会经济发展的需要。

国家“八五”重点科技攻关项目《华北地区宏观经济水资源规划管理研究》专题针对“以需定供”和“以供定需”两种水资源配置方式将水资源的需求和供给分离开来考虑,忽视水资源开发利用与区域社会经济发展的动态协调关系的缺陷,提出了结合区域经济发

展水平并同时考虑供需动态平衡的基于宏观经济的水资源合理配置理论。基于宏观经济的水资源优化配置,通过投入产出分析,从区域经济结构和发展规模分析入手,将水资源优化配置纳入宏观经济系统,以实现区域经济和g水资源利用的协调发展。它特别考虑了区域宏观经济系统中各部门之间的投入产出关系、年度间的消费和积累关系和不同地区之间的经济互补(调入调出)关系等制约区域经济发展的主要影响因素。水资源系统和宏观经济系统之间具有内在的、相互依存和相互制约的关系;当区域经济发展对需水量要求增大时,必然要求供水量快速增长,这势必会增大相应的水投资而减少社会经济其他方面的投入,从而使区域经济发展速度、结构、节水水平以及污水处理回用水平等发生变化以适应其水资源开发利用方面的需求。

但基于宏观经济的水资源优化配置理论中的重要分析手段——用于宏观经济核算的投入产出表只能反映传统经济运行和均衡规律,因为表中所选择的各种变量均须经过市场而最终达到一种平衡,这种平衡只是传统经济学范畴的市场交易平衡,忽视了资源自身价值和生态环境的保护。因此,传统的基于宏观经济的水资源优化配置与环境保护内涵及可持续发展观念并不相符,环境保护事业并未作为一种产业被考虑到投入产出的流通平衡中,水环境改善和治理投资也未纳入投入产出表中进行分析,这必然会导致环境污染或生态系统平衡遭到破坏。

随着可持续发展理念的提出,以水资源可持续利用来支撑人类社会可持续发展的思想愈来愈受到重视,实现水资源可持续利用已成为我国水利事业发展的战略目标。因而在20世纪90年代中后期,被赋予公平性、有效性及可持续利用性等目标内涵的水资源合理配置理论在国内得到了发展。总结我国过去水利事业发展历史以及水资源开发利用实践经验,人们认识到,水资源配置应遵循人口、资源、环境和经济协调发展的战略原则,在促进经济增长和社会繁荣的同时,也要维护生态环境系统的良性发展。从目前已形成的基于可持续发展思想的水资源合理配置的主要内容看,合理配置的评判准则——公平性、有效性及可持续利用性等有着丰富而深刻的内涵;它既强调水资源的代内公平使用,也强调代际间的公平利用;既重视水资源开发利用的效率,也重视水资源开发利用的效益;既追求发挥水资源支撑社会经济发展的最佳功能,也着力满足生态环境系统对水资源的需求,维持流域或区域水循环过程健全性以及天然水资源的更新再生途径。

3 水资源合理配置概念

3.1 水资源合理配置内涵

3.1.1 资源配置的一般涵义

一般来说,一种资源的配置应该是指关于该资源在什么时期、什么地区、何种用途和多少数量方面的安排。由此可见,时间、地点、用途和数量构成了资源配置的四种基本要素。资源配置从一开始就被赋予了经济学的内涵,如经济学理论中有这样的解释:经济学是研究人类如何对稀缺资源进行分配以生产各种商品,这些商品又如何在社会不同人群中消费。人类社会中存在各种经济制度,但其共同的根本目的都是希望通过一定的资源

配置方式使有限资源产生最大效益。现代西方经济学认为,在市场经济中通过市场价格机制实现资源分配是一种有效的资源配置方式。因为,在宏观方面,针对社会生产和社会需求的不断变化,通过市场配置资源,可以使社会减少和避免资源浪费以达到合理、高效地利用各种资源;在微观方面,市场经济机制迫使所有参与市场竞争的生产者都要用最小的资源和劳动消耗获取最大的利润,以增强自身竞争力,这样必然促使生产者必须充分利用资源。

所以,现代经济制度对于资源如何在社会中合理配置问题,都强调使用市场和价格机制手段,水资源自然也包括在其中。但是,水资源所具有的资源环境、社会属性又使得它与一般资源有所区别,因而对于水资源的配置并不能直接简单地利用市场机制。

3.1.2 水资源配置的特征

水资源既是国民经济发展不可替代的必备资源,又是人类和生态环境系统赖以生存的基础物质条件,它具有资源的、社会的和环境的多属性特征。全球淡水资源的稳定性,以及在一定的区域范围内水资源总量基本上是定数,这些均体现了水资源的有限性。随着社会经济的发展,水资源用途和用量的扩大,供需矛盾逐渐突出,水资源的稀缺性也愈来愈明显。水资源的配置除了具有一般资源配置的特征以外,还具有其本身的一些特点:①资源配置的社会公平性原则,在这里不仅要强调社会各经济部门和社会各阶层的需要,更要强调水作为人类生命的基本保障而要求的每个个体生命对水的获取权利;因此,可以认为,水资源配置的有效性原则必须在此公平性原则的基础上或以外达到。②水资源的环境属性要求作为环境资源重要组成部分的水资源,在配置的公平性原则上,还要考虑生态环境系统对水的需求权利;环境资源对自然生态系统的平衡和演化以及人类社会发展的影响及支撑作用,以及水资源对维持流域健全的水循环系统的作用是不言而喻的,但这些影响和支撑作用尚难以量化,这也表示着生态环境的需水要求不能通过市场机制的调控来满足。③水资源的多属性特征和水资源系统的复合生态经济系统特征都寓示着,水资源配置的原则和方法不能等同某些一般自然资源的配置,它必须考虑人类社会、自然生态系统和水资源技术系统之间的关系协调,谋求水资源复合生态经济系统的最佳综合功能。

3.1.3 水资源合理配置涵义

水资源合理配置不仅涉及水资源及水资源系统概念的界定,而且与社会经济系统运行、生态环境系统变化以及社会可持续发展思想、科学技术水平等诸多因素有关,思考问题的出发点不同,对水资源合理配置涵义的理解有所不同。以下是目前国内对水资源合理配置涵义有代表性的几种解释。

(1)依据可持续发展的需要,通过工程与非工程措施,调节水资源的天然时空分布;开源与节流并重,开发利用与保护治理并重,兼顾当前利益与长远利益,处理好经济发展、生态保护、环境治理和资源开发的相互关系;利用系统方法、决策理论和计算机技术,统一地调配地表水、地下水、处理后可回用的污水(回用水)、从区域外调入的水(外调水)及微咸水;注重兴利与除弊的结合,协调好各地区及各用水部门间的利益矛盾,尽可能地提高区域整体的用水效率,促进水资源的可持续利用和区域的可持续发展。

(2)水资源合理配置是指在流域或特定的区域范围内,通过工程与非工程措施,对多