

GUANGYI SHUIZIYUAN

GAOXIAO LIYONG LILUN YU HESUAN

广义水资源 高效利用理论与核算

裴源生 赵 勇 张金萍 秦长海 陆垂裕 著



黄河水利出版社

广义水资源高效利用 理论与核算

裴源生 赵 勇 张金萍 秦长海 陆垂裕 著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是在国家重点基础研究发展计划(973)课题和科技部西部开发重大攻关项目研究成果基础上编著而成的,提出了一套较为完整的广义水资源高效利用的理论、核算和调控体系,反映了我国水资源高效利用研究的最新成果,阐述了我国水资源高效利用现状,提出了广义水资源高效利用的理论,分析了节水与高效利用的区别,探讨了节水潜力和高效利用阈值的概念内涵;在广义水资源高效利用核算与调控科学分析的基础上,提出了广义水资源高效利用核算与调控方法,并以宁夏平原区为例进行了系统分析,进行了案例研究区广义水资源高效利用的核算和调控,提出了高效利用潜力和阈值。

本书可供从事社会经济发展规划、水文水资源、农田水利、生态环境等相关专业的科研和管理人员参考使用,也可供大专院校有关专业师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

广义水资源高效利用理论与核算/裴源生等著. —郑州:
黄河水利出版社,2008.1

ISBN 978 - 7 - 80734 - 335 - 6

I. 广… II. 裴… III. 水资源 - 资源利用 - 研究 - 中国 IV. TV213.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 008883 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail:wlp@yrcp.com

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:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:14.5

字数:340 千字

印数:1—2 000

版次:2008 年 1 月第 1 版

印次:2008 年 1 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978 - 7 - 80734 - 335 - 6

定价:38.00 元

前 言

我国水资源短缺与水资源利用效率、效益低下并存,如何科学、合理、高效地利用水资源,已经成为促进人与自然和谐相处的关键问题。大力实施节水,提高水资源利用效率和效益,实现水资源高效利用,以水资源的可持续利用促进经济社会的可持续发展成为当前水资源管理和相关研究工作的重点和难点。随着节水型社会建设的开展,我国水资源利用效率和效益有了明显提高,水资源高效利用基础理论和方法的研究与实践也取得了一定进展。但由于对水资源高效利用概念和内涵认识上的模糊性,这方面的研究成果尚不完善:缺乏系统完善的水资源高效利用理论体系;尚未形成水资源高效利用的评价体系及定量核算方法;缺乏对水资源高效利用与节水作用机制和定量关系的研究;效率和效益研究主要针对单用户、小尺度范围,在宏观层面上开展区域水资源高效利用的研究较少;缺乏包括土壤水和天然生态系统用水在内的广义水资源高效利用研究。在水资源日益紧缺的情况下,必须发展水资源利用理念,充分认识水资源高效利用的内在作用机理,遵循水资源循环转换规律,注重流域(区域)之间的水力联系,提高水资源利用效率和效益。基于此,在国家重点基础研究发展计划(973)课题和科技部西部开发重大攻关项目研究成果基础上,作者开展了广义水资源高效利用研究。

广义水资源高效利用的“广义”包含四个方面的含义:一是利用水源是广义的,不仅包括地表水资源与地下水资源,还包括降水产生的土壤水在内的广义水资源;二是利用对象是广义的,不仅包括社会经济用水,还包括天然生态用水;三是利用范围是广义的,不仅针对单个用水部门和用水单元的水资源利用,还从宏观区域整体出发,研究整个区域的水资源利用状况;四是利用评价指标是广义的,不仅评价单个用水对象的利用效率和效益,还进行区域用水效用的综合评价。

由于受到人类活动的强烈干扰,现代环境下水资源赋存与演变方式发生了剧烈变化,水资源供、用、耗、排关系日趋复杂,经济系统内部及其与区域生态系统之间的能量循环转换联系更加紧密。对水资源循环转化规律的认识是解决水问题的基础,广义水资源高效利用研究正是从自然-人工复合水循环规律的认知出发,以水资源在天然系统和人工系统中的资源消耗为根本,剖析水资源循环利用机理,从而规范人类开发利用水资源的行为和方式,实现水资源的科学调控,提高水资源利用效率,兼顾经济效益和生态效益,确保水资源合理利用,以支撑地区的经济社会发展和生态环境稳定。广义水资源高效利用研究的目的是实现对水资源在用水区域、用水户之间及其内部运移、消耗以及排泄过程的科学认识,分析水资源参与产品和生物量的循环机理,权衡水资源在不同用水区域和用水户之间的利益关系,对水资源利用效率和效益进行科学评价,提出合理可行的提高区域(流域)水资源利用效率和效益的措施方法,实现区域(流域)水资源的合理调控,发挥水资源的最大服务价值,实现有限资源效益最佳化。

概括起来,本书研究主要在以下几个方面取得了新的进展:

(1)提出了广义水资源高效利用理论体系。变换认知角度,以自然-人工复合作用下的区域水循环转化和水资源演变机理为基础,针对水资源的流动循环特性和资源消耗特征,以宏观区域系统为研究对象,系统地诠释了广义水资源高效利用机理与本质。

(2)构建了广义水资源高效利用定量核算与调控体系。基于水资源的经济、生态服务特性,建立了广义水资源高效利用核算评价指标体系,实现多重模型与计算方法的有机整合和数值模拟,实现广义水资源高效利用定量评价和调控。

(3)实现了广义水资源高效利用模式和节水潜力的科学认知。运用广义水资源高效利用理论与核算方法,在节水与水资源高效利用内涵分析基础上,实现了广义水资源高效利用定量核算,分析了不同水资源开发利用方式下取用水节水与耗水节水之间的定量关系,明确了区域广义水资源高效利用阈值。

本书共分六章,第一章介绍了我国水资源利用现状,提出了广义水资源高效利用研究的必要性,基于对国内外水资源高效利用研究的调研分析,总结了水资源高效利用研究存在的问题;第二章诠释了广义水资源高效利用的内涵,基于广义水资源的经济、社会和自然系统服务功能,分析广义水资源高效利用本质特征,提出了广义水资源高效利用概念,论述了广义水资源利用效率与效益及其二者之间的相互关系,并对节水的双重表征特征以及传统节水与水资源高效利用之间的关系进行科学辨识;第三章主要介绍了广义水资源高效利用的基础理论,包括可持续发展理论、广义水资源合理配置理论、自然-人工复合水循环理论和多目标决策理论等;第四章建立了广义水资源高效利用核算评价指标体系和调控模型,详细介绍了广义水资源高效利用模型框架、多目标调控模型、水资源合理配置模型、水循环模型、水资源投入产出模型、生态系统服务价值计算方法等;第五章以宁夏平原区为研究案例区,基于本书提出的广义水资源高效利用理论、核算与调控模型,分析了宁夏平原区现状及未来不同用水方式情景下的广义水资源利用情况,进行了广义水资源高效利用的核算调控,确定了区域水资源高效利用阈值与节水潜力;第六章为结论,介绍了取得的理论方法和实践应用研究成果。

广义水资源高效利用仍是处于探索研究阶段,本书的研究仅是起到抛砖引玉的作用,广义水资源高效利用理论、方法与实践研究还需要不断充实完善。由于作者水平所限,书中难免存在不当之处,恳请读者批评指正。

作 者

2007年9月于北京

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 我国水资源条件与特点	(1)
第二节 我国水资源利用现状	(3)
第三节 广义水资源高效利用研究的必要性	(8)
第四节 广义水资源高效利用研究现状	(12)
第二章 广义水资源高效利用理论	(22)
第一节 广义水资源的含义	(22)
第二节 广义水资源的服务功能	(24)
第三节 广义水资源高效利用内涵	(27)
第四节 广义水资源利用效率与效益	(33)
第五节 节水的双重表征	(39)
第六节 水资源高效利用与节水的关系	(45)
第七节 节水潜力与高效利用阈值	(47)
第八节 广义水资源高效利用调控	(50)
第三章 水资源高效利用核算与调控科学基础	(56)
第一节 可持续发展理论	(56)
第二节 广义水资源合理配置	(61)
第三节 自然 - 人工复合水循环	(65)
第四节 多目标决策理论	(70)
第四章 广义水资源高效利用核算与调控方法	(75)
第一节 广义水资源高效利用核算与调控框架	(75)
第二节 广义水资源高效利用核算	(76)
第三节 WACM 模型	(83)
第四节 水资源消耗投入产出模型	(102)
第五节 生态系统服务价值计算方法	(109)
第六节 农业需水价格弹性	(110)
第七节 灌区灌溉水利用率测算	(116)
第八节 多目标调控方法	(132)
第五章 广义水资源高效利用实例研究	(138)
第一节 宁夏平原区概况	(138)
第二节 现状水资源利用效用	(148)
第三节 广义水资源高效利用定量核算	(159)

第四节	广义水资源高效利用调控	(209)
第五节	水资源高效利用潜力与阈值	(212)
第六章	结 论	(220)
参考文献		(224)

第一章 绪 论

第一节 我国水资源条件与特点

一、我国水资源状况

我国多年平均降水总量为 61 889 亿 m^3 , 平均降水深为 648 mm。我国降水时空分布十分不均, 总的降水分布状况是南方多、北方少, 山区多、平原少; 受季风气候影响, 降水年际变化大, 年际变化的地区差异也较大, 总体上表现为北方大于南方。降水量从东南向西北方向递减, 全国多年平均 400 mm 降水深等值线起自东北大兴安岭西侧, 止于中国与尼泊尔边境西端, 由东北至西南斜贯全境, 800 mm 降水深等值线位于秦岭、淮河一带。

在中国 960 万 km^2 的辽阔土地上, 河川纵横, 水网密布。据统计, 全国有流域面积大于 100 km^2 的河流 5 万多条, 其中流域面积大于 1 000 km^2 的河流有 1 500 多条, 流域面积大于 1 万 km^2 的河流有 79 条, 流域面积大于 10 万 km^2 的河流 18 条。但受气候和地形的影响, 河流分布很不均匀, 绝大部分河流分布在我国东部、南部地区, 西北部地区较少。

我国江河众多, 尽管流域面积在 100 km^2 以上的河流有 5 万多条, 1 000 km^2 以上的有 1 500 多条。但受气候和地形的影响, 河流分布很不均匀, 绝大部分河流分布在我国东部湿润、多雨的季风区, 西北内陆地区气候干燥、少雨, 河流少。我国也是一个湖泊众多的国家, 据统计, 全国共有 2 700 多个面积大于 1 km^2 的天然湖泊, 总面积约 9.1 万 km^2 。由于自然地理条件差异显著, 我国湖泊的分布也具有显著的区域地理特征。根据湖泊的特征、数量和集中程度, 大致可划分为东部平原地区湖泊、青藏高原地区湖泊、云贵高原地区湖泊、蒙新高原地区湖泊和东北地区湖泊五大类。

据 1986 年全国水资源评价统计, 我国地表水和地下水的量分别为 27 115 亿 m^3 和 8 288 亿 m^3 , 扣除二者间的重复量 7 279 亿 m^3 后, 则我国多年平均水资源总量 28 124 亿 m^3 。按照国际公认的标准, 人均水资源量低于 3 000 m^3 为轻度缺水; 人均水资源量低于 2 000 m^3 为中度缺水; 人均水资源量低于 1 000 m^3 为重度缺水; 人均水资源量低于 500 m^3 为极度缺水。目前, 我国有 16 个省(区、市)人均水资源量(不包括过境水)低于严重缺水线; 有 6 个省、区(宁夏、河北、山东、河南、山西、江苏)人均水资源量低于 500 m^3 。

目前, 全国的 600 多个城市中, 有 400 多个缺水, 其中 100 多个严重缺水, 而北京、天津等大城市的供水已经到了最严峻时刻。与此同时, 由于人口的增长, 到 2030 年我国人均水资源占有量将从现在的 2 200 m^3 降至 1 700 ~ 1 800 m^3 , 缺水问题将更加突出。

1986 年我国进行了第一次全国范围内的水资源评价, 采用 1956 ~ 1979 年共 24 年的水文系列资料。这次评价全国水资源总量为 28 124 亿 m^3 (其中地表水与地下水的重复量为 7 279 亿 m^3)。近年来, 我国又开展了全国水资源综合规划, 这次规划评价采用

1956~2000年45年水文系列资料。根据这次评价,全国水资源总量为28 412亿 m^3 ,其中地表水资源量为27 374亿 m^3 ,不重复的地下水资源量为1 038亿 m^3 。两次水资源评价成果比较见表1-1。

表 1-1 水资源一级区两次水资源评价成果比较 (单位:亿 m^3)

水资源一级区	第一次评价成果 (1956~1979年)			第二次评价成果 (1956~2000年)			两次评价比较(%)		
	地表水资源量	地下水资源量	水资源总量	地表水资源量	地下水资源量	水资源总量	地表水资源量	地下水资源量	水资源总量
松花江区	1 218	439	1 404	1 296	478	1 492	6.4	8.9	6.3
辽河区	435	186	525	408	203	498	-6.2	9.1	-5.1
海河区	288	265	421	216	235	370	-25.0	-11.3	-12.1
黄河区	661	405	744	594	378	707	-10.1	-6.7	-5.0
淮河区	741	393	961	677	397	916	-8.6	1.0	-4.7
长江区	9 513	2 464	9 613	9 857	2 492	9 960	3.6	1.1	3.6
东南诸河区	2 557	613	2 592	2 654	665	2 681	3.8	8.5	3.4
珠江区	4 685	1 116	4 708	4 723	1 163	4 737	0.8	4.2	0.6
西南诸河区	5 853	1 544	5 853	5 775	1 440	5 775	-1.3	-6.7	-1.3
西北诸河区	1 164	862	1 304	1 174	770	1 276	0.9	-10.7	-2.1
北方地区	4 507	2 550	5 358	4 365	2 461	5 259	-3.2	-3.5	-1.8
南方地区	22 608	5 738	22 766	23 009	5 760	23 153	1.8	0.4	1.7
全国	27 115	8 288	28 124	27 374	8 221	28 412	1.0	-0.8	1.0

注:两次评价比较含台湾省和香港及澳门特别行政区。

将两次评价结果进行比较可以看出:第二次评价水资源总量增加了1%,近20年来水资源量略有增加。在区域分布上,我国水资源比较贫乏的辽河、黄河、海河、淮河流域及西北诸河的水资源总量都呈减少趋势,分别减少了5.1%、5%、12.1%、4.7%和2.1%;水资源较充沛的松花江流域和南方大多数河流水资源量有所增加,个别流域水资源量略有减少,其中松花江流域水资源总量增加了6.3%,长江流域增加了3.6%,东南诸河增加了3.4%,珠江流域水资源总量变化不大,仅增加了0.6%,而西南诸河水资源总量则减少了1.3%。

总体上看,北方地区水资源总量减少了1.8%,而南方地区增加了1.7%,北方地区水资源总量在全国所占的比例呈下降趋势。第一次全国水资源评价中,我国北方地区水资源总量占全国水资源总量的19%,南方地区则占81%;根据第二次评价,比例有少许变化,北方地区占18.5%,而南方地区则占81.5%,我国水资源在空间分布不平衡的状况有所发展。

二、我国水资源特点

综合我国水资源状况分析,可知我国水资源具有如下特点。

(一) 水资源总量较丰富,人均和地均拥有量少

我国的水资源总量较丰富,多年平均年水资源总量为 2.81 万亿 m^3 ,其中河川径流量约占 94%,低于巴西、俄罗斯、加拿大、美国和印度尼西亚,约占全球径流总量的 5.8%,居世界第 6 位。平均径流深为 284 mm,为世界平均值的 90%,居世界第 7 位。可见,我国的水资源量还是比较丰富的。然而,我国人口众多,按 13 亿人口计算,平均每人每年占有的河川径流量 2 085 m^3 ,不足世界平均值的 1/4,分别是美国人均占有量的 1/6,俄罗斯的 1/8,巴西的 1/19 和加拿大的 1/58,在世界银行连续统计的 153 个国家中居第 88 位。我国平均每公顷耕地的河川径流占有量约为 2.83 万 m^3 ,为世界平均值的 80%,以占世界 7.2% 的耕地和 6% 的淡水资源养活着世界上 22% 的人口,供需矛盾十分突出。

(二) 地区分布不均与水土资源组合不相应

我国水资源南多北少,东多西少,与人口、耕地、矿产等资源分布极不匹配。南方耕地面积只占全国的 35.9%,但水资源量却占总量的 81.5%,人均水资源约为全国平均的 1.6 倍,亩^①均水量为全国平均的 2.3 倍。北方黄河、淮河、海河、辽河 4 大流域片的耕地多、人口密,淡水资源量只有全国的 19%,人均占有水量只有全国平均的 18.5% 左右,亩均水量仅为全国均值的 15%。

(三) 雨热同步,年内分布集中,年际分配不均匀

我国水资源和热量的年内变化具有同步性,雨热同期是我国水资源的突出优点。每年 3~5 月后,气温持续上升,雨季也大体上在这个时候来临,水分与热量条件的同期有利于农作物的生长。这也是我国以占世界 6.4% 的土地面积和 7.2% 的耕地养活了约占世界 1/5 的人口的一个重要因素。降水是我国河川径流的主要补给来源,平均径流深 284.8 mm,但我国降水量受海陆分布和地形等因素的影响,在地区上分布很不平衡,年降水量和径流深都由东南沿海向西北内陆递减,东南沿海径流深为 1 200 mm,而西北干旱区甚至小于 50 mm。降水量年际变化也很大,还往往出现连续丰水或枯水年的情况,大部分地区年内连续 4 个月降水量占全年的 70% 以上,相当于我国水资源中大约有 2/3 是洪水径流量。我国地表径流随时间的分布也很不均匀,径流的季节性分配具有夏季丰水、冬季枯水、春秋过渡的特点,而且年际变化北方大于南方。

第二节 我国水资源利用现状

一、我国水资源开发利用现状

随着我国水资源开发利用程度的逐渐提高,水资源的开发潜力已经越来越小,受供水量的限制,近年来我国总用水量基本维持稳定,表 1-2 是我国 2002~2004 年全国供、用水

① 1 亩 = 1/15 $\text{hm}^2 \approx 667 \text{ m}^2$ 。

量状况。

表 1-2 2002 ~ 2004 年我国供、用水量

(单位: 亿 m^3)

年份	供水量				用水量				
	地表水	地下水	其他	总供水量	农业	工业	生活	生态	总用水量
2002 年	4 404.4	1 072.4	20.5	5 497.3	3 656.7	1 142.4	618.7	79.5	5 497.3
2003 年	4 286.0	1 018.1	16.3	5 320.4	3 432.8	1 177.2	630.9	79.5	5 320.4
2004 年	4 504.2	1 026.4	17.2	5 547.8	3 585.7	1 228.9	651.2	82.0	5 547.8
平均值	4 398.2	1 039.0	18.0	5 455.2	3 558.4	1 182.8	633.6	80.3	5 455.2

注: 资料来源于《中国水资源公报》。

从供水方面看, 地表水是供水的主体, 兼有丰枯调蓄作用, 变化较大, 最大供水量约为 4 504 亿 m^3 , 最小供水量约为 4 286 亿 m^3 ; 地下水供水量相对较小, 且大致稳定, 维持在 1 000 多亿 m^3 ; 其他水源供水量较小, 只有不到 20 亿 m^3 。从用水方面看, 受供水的限制, 用水总量变化不大, 主要体现在用水结构调整上, 农业用水总体呈下降趋势, 从 2002 年的 3 656.7 亿 m^3 减少到 2004 年的 3 585.7 亿 m^3 , 2004 年农业用水量占总用水量的 64.6%; 工业和生活用水稳中有长, 工业用水 2004 年达到了 1 228.9 亿 m^3 , 占总用水量的 22.2%, 生活用水为 651.2 亿 m^3 , 占总用水量的 11.7%; 生态用水量较小, 约占总用水量的 1.5%。

根据水利部《全国大型灌区续建配套与节水改造“十一五”规划报告》相关研究成果, 2004 年全国各分区供、用水量形势如表 1-3 所示。

表 1-3 2004 年节水分区供、用水量

(单位: 亿 m^3)

节水规划分区	供水量				用水量				
	地表水	地下水	其他	总供水量	农业	工业	生活	生态	总用水量
东北区	317.7	244.3	0.4	562.4	400.1	100.4	58.1	3.8	562.4
内陆河区	508.2	83.3	1.0	592.5	527.6	20.9	21.0	23.0	592.5
黄河上中游区	197.6	95.5	1.2	294.3	235.3	33.9	23.7	1.4	294.3
黄河中下游区	67.4	86.0	0.5	153.9	104.4	25.9	22.0	1.6	153.9
海河区	69.3	216.8	2.2	288.3	195.7	45.6	44.6	2.4	288.3
淮河区	432.6	141.5	1.2	575.3	351.3	150.4	63.7	9.9	575.3
长江中下游区	1 060.7	89.3	3.8	1 153.8	693.4	318.2	131.1	11.1	1 153.8
东南沿海区	1 237.5	50.4	4.2	1 292.1	720.0	359.9	188.3	23.9	1 292.1
西南区	507.2	31.9	3.5	542.6	330.5	127.6	81.0	3.5	542.6
全国	4 398.2	1 039.0	18.0	5 455.2	3 558.3	1 182.8	633.5	80.6	5 455.2

从表 1-3 的结果来看, 各分区中地表水占总供水量的比例分别为: 东北区 56.5%, 内

陆河区 85.8%, 黄河上中游区 67.1%, 黄河中下游区 43.8%, 海河区 24.0%, 淮河区 75.2%, 长江中下游区 91.9%, 东南沿海区 95.8%, 西南区 93.5%。海河区和黄河中下游区的地下水供水量大于地表水供水量, 分别占区域总供水量的 75.2% 和 55.9%。长江中下游区和东南沿海区是全国人口密度相对较大、工农业相对发达的地区, 两个分区总供水量之和为 2 445.9 亿 m^3 , 约为全国总供水量的 44.8%。西南区虽然水资源总量在 9 个分区中位于首位, 然而限于人口、经济和地理因素, 水资源开发利用程度不高, 总供水量为 542.6 亿 m^3 , 仅为全国的 10%。在各规划分区中, 内陆河区以及黄河上中游区用水量主要以农业为主, 分别约为总供水量 90% 和 80%, 是各分区中相对比例最大的区域, 同时由于这两个区域人口密度较小, 生活用水量占总供水量的 4% 和 8%, 是各规划分区中比例最小的两个分区, 其他各区均在 10% 以上。内陆河区的生态用水量约为总用水量的 4%, 是规划分区中比例最高的地区。淮河区、长江中下游区以及东南沿海区工业相对发达, 工业用水量分别占各自总用水量的 26.2%、27.6% 和 27.9%, 是 9 个分区中工业用水量比例较高的 3 个区域。总体来说, 在供水方面, 由于北方地区水资源量不足, 地表水资源量无法保障正常用水, 于是大量开采地下水, 地下水开发利用程度较高; 在用水方面, 由于北方地区工业化进展普遍处于初级阶段, 农业占有较大比重, 同时农业主要依靠灌溉来维持, 农业用水所占比重较高。

在各分区总的水资源开发利用中, 东北区水资源开发利用程度为 26.4%, 是北方分区中开发利用最低的分区。其中, 松花江、黑龙江等水系由于缺少具有较大调蓄作用的水库, 地表水资源开发利用程度较低; 辽河水系属于人均占有水资源较少的地区, 水资源开发利用程度相对较高, 部分地区用水浪费和水质污染加剧了水资源的供需矛盾。内陆河区水资源开发利用程度较高, 开发利用程度已经达到了 60.8%; 黄河上中游区水资源开发利用程度不高, 开发利用率为 40.1%, 在北方分区中仅高于东北区; 黄河中下游区水资源短缺严重, 水资源开发利用率已达到 87.2%, 仅次于海河区, 由于地表水资源有限, 大量开采地下水, 地下水供水量占总供水量的 55.9%, 是地下水供水量超过地表水供水量的两个分区之一, 由于该区人口密度较大, 更造成了人均水资源量短缺的问题, 人均水资源占有量仅为 262.6 m^3 , 是所有分区中最少的。海河区属于我国经济相对发达的地区, 水资源紧缺, 水资源开发利用程度较高, 地下水超采严重, 目前该区水资源开发利用率达到了 90%, 年内水资源几乎消耗殆尽。淮河区水资源开发利用程度也较高, 达到了 67.7%。长江中下游区由于地区资源及气候状况良好, 当地水资源开发利用程度不高, 水资源开发利用率为 21.8%。东南沿海区河流较多, 水资源丰沛, 但有相当部分河流坡陡、流短, 直接入海, 水资源难以利用, 因此水资源开发利用程度不高, 为 21.3%。西南区是我国水资源量最丰富的地区。区域降雨量较大, 水资源相对丰沛, 但时空分布不均匀, 区内山川较多, 水资源开发利用难度较大, 现有用水量仅为 542.6 亿 m^3 , 占该区水资源总量的 4.9%。整体上看, 我国北方地区, 尤其是水资源短缺地区, 水资源开发利用程度较高, 部分地区开发利用程度已远远超过国际上认定的水资源科学开发比率。而在我国南方地区, 由于水资源充沛, 且受地理技术条件限制, 水资源开发利用程度较低, 有着较大的开发利用潜力。因此, 必须科学认清目前我国的水资源开发利用情势, 科学开发、合理利用, 制定合理的分区发展策略, 保证经济社会的健康稳定发展。

二、我国水资源利用效率

目前,我国水资源利用方式粗放,用水效率低,用水浪费现象十分突出。

我国是一个灌溉农业大国,农业用水的 90% 以上用于灌溉,自新中国成立以来,全国用水量随着灌溉面积的增加而增长迅速,用水总量从 1949 年的 1 031 亿 m^3 增加到 2004 年的 5 548 亿 m^3 。全国 2/3 的灌溉面积上的灌水方式较为粗放,由于灌溉技术落后,导致灌溉水的利用系数比较低,我国地表水灌区每公顷次灌水量 1 200 ~ 1 500 m^3 ,最高达 2 258 m^3 ,地下水灌区达 900 ~ 1 050 m^3 ,高出适宜水量 1 ~ 2 倍,西北地区每年灌水定额可达 16 537 m^3/hm^2 ,是全国的 1.4 倍。

渠道渗漏较为严重是我国农业水资源利用效率不高的主要原因。据国际灌溉排水委员会的统计,世界平均灌溉水渗漏损失量一般为 15% ~ 30%,高的甚至达到 50% ~ 60%。我国渗漏损失一般为 40% ~ 50%,高的甚至达到 70% ~ 80%。由于大部分灌区的渠道没有防渗措施,我国南方长江、珠江、东南沿海等地渠系灌溉水利用系数平均为 0.6,其他各片为 0.5。截至 2005 年,我国的灌溉水利用系数平均为 0.45,远低于以色列、法国等先进国家 0.70 以上的水平。

近年来,我国工业用水量受国民经济产业结构优化的积极影响,呈现出下降的趋势。工业用水量增长很少,甚至零增长,这主要是由于新兴产业迅速发展,高耗水传统工业设备改造初步取得成效。然而,我们仍然承受着巨大的压力,用水工艺仍比较落后,工业水重复利用和再生利用程度较低,工业用水效率偏低。2005 年,我国万元工业增加值用水量为 169 m^3 ,工业用水重复利用率约为 60%。而发达国家万元工业增加值用水量一般在 50 m^3 以下,工业用水重复利用率一般在 80% 以上。2000 年,美国万元工业增加值用水量不到 15 m^3 ,工业用水重复利用率约为 94.5%;日本万元工业增加值用水量也仅为 18 m^3 ,工业用水重复利用率达到 80% 以上。总体来看,我国现状工业用水重复利用率仅相当于先进国家 20 世纪 80 年代初的水平。

城市供水损失率是反映城市供水企业管理水平的重要标志之一,也是节水型城市考核的重要指标,确定合理的城市供水损失率,对于促进企业加快技术改造,提高管理水平有着积极的作用。城市供水损失率是城市供水总量与有效供水量之差与供水总量之比。我国近些年来城市供水损失率有增加的趋势。表 1-4 列出了我国城市市政公共供水企业供水损失率近年来的变化统计数字。全国城市供水平均损失率由 1996 年的 11.3% 上升到 2003 年的 13.9%,2005 年我国的城市供水管网漏损率达 20% 左右,部分城市甚至超过 30%,我国供水损失率是欧洲发达国家的 4 倍左右。

表 1-4 城市供水损失率统计表

年份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
供水损失率(%)	11.3	13.9	12.9	14.1	12.1	15.7	15.2	13.9

注:表中数据是根据 1996 ~ 2003 年《城市建设统计年报》相关统计数字计算。2000 年以前的供水损失率计算方法为:供水损失率 = [供水总量 - 生产用水量 - 生活用水量(包括居民家庭用水和公共服务用水)] / 供水总量。由于《城市建设统计年报》自 2001 年增加了售水量和免费供水量统计指标,统计口径作了调整,因此 2001 年以后计算方法为:供水损失率 = (供水总量 - 售水量 - 免费供水量) / 供水总量。

国际上常用每小时单位管长供水损失率($\text{m}^3/(\text{km} \cdot \text{h})$)来衡量比较管网漏耗等情况。原国际供水协会曾对世界各国 25 个城市的供水损失率进行了统计(详见表 1-5)。数字表明,我国供水损失率为欧洲发达国家的 3 倍多,比各国平均值还高 42%,进一步降低我国城市供水损失率还需做很大努力。

表 1-5 世界主要国家城市供水漏损情况

地区	北欧	西欧	东欧	远东	南非/新西兰	各国平均	中国
供水损失率 ($\text{m}^3/(\text{km} \cdot \text{h})$)	0.5	0.5	1.96	3.75	0.67	1.3	1.85

注: 资料来源于① F. Geering and etc., Planning and design for continuity and reliability in distribution Systems, International Report, Proceedings of 20th International water Supply Congress, IWSA, 1995, P. IR2-1 ~ 2-8; ② 中国的数字根据 2003 年《城市建设统计年报》计算。

三、我国水资源利用效益

用水效益是水资源高效利用的核心要素之一,是一个国家或地区的生产力、经济结构和节水水平的综合反映。长期以来,我国水资源浪费严重,农业用水比例过大,使得我国水资源利用效益处于相对较低水平,按照《2000/2001 年世界发展报告》提供的数据计算,从 GDP 用水效益上来看,1999 年我国单方水产出的 GDP 为 1.9 美元,仅为当年美国 GDP 用水效益的 10%、日本的 4.2%、德国的 4.1%;按购买力计算,我国单方水产出 GDP 为美国的 41.7%、日本的 23.4% 和德国的 20%。随着我国经济结构,尤其是产业结构的调整和产业的升级提速,城乡节水力度加大,全国水资源利用效益有了显著提高,一些城市的用水效益已经达到甚至超过了国际水平,但我国整体的水资源利用效益仍远远落后于国际先进水平。总体上看,我国现状水资源利用效益主要体现为以下两大特点。

(一) 各省、市、区间用水效益差异非常大

2000 年我国用水效益为 $16.4 \text{ 元}/\text{m}^3$,年平均增长率为 8%,已接近全国 GDP 的增长率。全国有 16 个省(自治区、直辖市)的用水效益增长率高于全国的平均水平,其中有 9 个位于东部地区。用水效益最高的是天津市,用水效益约合 $71.4 \text{ 元}/\text{m}^3$,天津市所处的海河流域由于水资源紧缺,流域经济发达,流域内用水效益也长期处于全国领先地位;处于第二位的是北京市,如表 1-6 所示,可以看出,2000 年北京各行业的单方用水经济效益中,第三产业用水效益最高,单方水经济效益为 54.61 元,农业用水效益很低,仅为 1.22 元;排名第三的是上海市,上海市及其所处的太湖流域单方水 GDP 产出分别为 46.5 元和 36.5 元,如表 1-7 所示。尽管太湖流域和上海市的用水指标在全国各省市中是比较先进的,但与日本、德国等先进国家比较,仍有相当大的差距。

与东部较高的用水效益形成鲜明对比的是中西部地区的用水效益相对较低,有些城市用水效益还不足国际水平的 1%。例如,2000 年新疆维吾尔自治区的用水效益仅为 $2.7 \text{ 元}/\text{m}^3$,2003 年甘肃省民勤县单方水 GDP 产出仅为 1.64 元,约为全国平均水平的 1/10。

表 1-6 2000 年北京各用水户单方水经济效益及环境效益 (单位:元/m³)

用水户	经济效益	环境效益	总效益
农业	1.22	20.8	22.02
生活	9.03	-2.78	6.25
工业	13.24	-2.78	10.46
第三产业	54.61	-2.78	51.83
生态环境	31.48	16.51	47.99

表 1-7 2000 年上海市用水效益分析

项目	人均 GDP(万元)	人均用水量(m ³)	单方水产出 GDP(元)
长江流域	0.80	405	19.7
太湖流域	2.70	742	36.5
上海市	3.07	658	46.5
日本			446.4
德国			390.6
高收入国家平均			221.8

(二) 产业间用水效益差异明显,局部地区呈现农业用水“一头沉”现象

从各产业水资源利用效益结果来看,非农产业的用水效益远高于农业,低耗水产业的用水效益高于高耗水产业,经济作物的用水效益高于种植业。以吉林省为例,1997 年吉林省一、二、三产业的 GDP 比例为 8:29:63,第一产业的用水效益很低,仅为 7.77 元/m³;第二产业的用水效益为 61.30 元/m³;第三产业的用水效益最高,为 199.64 元/m³,是第一产业的 25.7 倍,产业间用水效益差异明显。2000 年北京市第三产业用水经济效益是农业用水经济效益的 45 倍,是工业用水经济效益的 4 倍。而在西北地区还呈现农业用水“一头沉”现象,如甘肃省民勤县,2003 年种植业用水占到了国民经济总用水量的 87% 以上,但种植业单方水 GDP 产出为 0.74 元,约为全国平均水平的 1/6,分别是当地畜牧业、第二产业、第三产业单方水 GDP 产出的 1/56、1/48 和 1/65。

总体而言,我国的水资源利用结构在不断趋于合理,用水量进一步从低效部门向高效部门转移,2003~2005 年,全国平均单位用水 GDP 产出几乎呈直线上升,尤其是内地经济发达的大城市和港、澳、台地区用水效益增幅最大,标志着我国的水资源利用正朝着高效、可持续发展的方向运行。

第三节 广义水资源高效利用研究的必要性

一、是缓解严峻的水资源形势的迫切要求

目前,我国水资源短缺形势严峻,与水资源短缺的现实相对比,我国水资源利用方式

粗放,在生产和生活领域存在严重的结构型、生产型和消费型浪费,用水效率不高,节水潜力巨大。2004 年我国万元 GDP 用水量为 406 m^3 ,是世界平均水平的 4 倍;我国农业灌溉用水有效利用系数为 $0.4 \sim 0.5$,发达国家为 $0.7 \sim 0.8$;全国工业万元增加值用水量是发达国家的 $5 \sim 10$ 倍;我国水的重复利用率为 50% ,发达国家已达 85% ;全国城市供水管网漏损率达 20% 左右,仅城市便器水箱漏水一项每年就损失上亿立方米;我国在污水处理回用,海水、雨水利用等方面也处于较低的水平。

随着经济社会的不断发展,我国各方面对水资源的需求量迅速增加,而我国水资源总量却不会有大幅度增长。水利部副部长胡四一在中国水利学会 2006 年学术年会上强调,根据现有数据预测,到 2030 年,我国总用水量为 $7\,000 \text{ 亿} \sim 8\,000 \text{ 亿 m}^3$,而届时全国实际可利用水资源量仅为 $8\,000 \text{ 亿} \sim 9\,000 \text{ 亿 m}^3$,水资源开发利用接近极限,目前在正常需要和不超采地下水的情况下,正常年份全国缺水将接近 400 亿 m^3 。“十五”期间,在农村,平均每年因旱减产粮食 350 亿 kg , 3.2 亿 农村人口饮水不安全;在城市, 400 多个城市供水不足, 110 个城市严重缺水。水资源基础条件差,加上水资源利用方式粗放、用水效率不高、用水浪费严重造成了我国日趋严重的水危机,致使水资源供需矛盾加剧,产生了诸多水生态恶化和水事纠纷等问题。如我国黑河流域由于用水竞争激烈,尤其是 20 世纪 90 年代,中游用水急剧增加,正义峡断面下泄水量持续减少,黑河下游生态不断恶化、退化,甚至威胁到航天城用水安全;20 世纪 70 年代的塔里木河下游断流也是由于流域用水缺乏协调管理,流域内部用水不均造成的。

可见,严峻的水资源短缺形势已在强烈呼吁人类社会应加强实施对水资源的高效利用,切实提高用水效率和效益,减少资源浪费,合理调配水资源,缩减水资源供需缺口,保证经济与生态正常用水需求,以维持地区经济社会的长远发展大局。

二、是节水型社会建设顺利开展的必要条件

由于水资源极度短缺,我国政府高度重视水问题,将水资源列为经济社会发展的战略资源,提出了“发展节水型工业、农业和服务业,建设节水型社会”的战略目标,在中央治水方针的指导下,水利部提出了从传统水利向现代水利、可持续水利发展,以水资源可持续利用支撑和保障经济社会可持续发展的新时期治水思路。

1998 年以来,水利部确立了甘肃省张掖市、四川省绵阳市、辽宁省大连市等城市为全国节水型社会建设试点。目前,试点工作已初见成效。张掖市形成了“总量控制、定额管理、以水定地(产)、配水到户、公众参与、水量交易、水票流转、城乡一体”的运行机制,通过调整经济结构,提高了水资源利用效益,通过推广各种节水技术,提高了水资源使用效率。张掖市节水型社会的建设,保障了黑河流域近期治理规划的顺利实施,实现了下游生态修复与张掖经济社会发展的双赢。宁夏回族自治区和内蒙古自治区也在建设节水型社会、实现用水高效方面进行了有益的探索。通过水权转让,调整用水结构,以节水促进城乡之间、行业之间的水资源优化配置,从宏观上提高水资源的配置效率,从微观上提高水资源的利用效率,保证了区域用水高效,实现了经济社会的健康发展。目前,全国开展节水型社会建设的市、县已达 105 个,通过在全国范围内提高用水效率和效益,可促进节水型社会建设顺利开展。

建设节水型社会是基于我国国情和水情的战略举措。新时期,水利部提出节水型社会的本质特征是“建立以水权、水市场理论为基础的水资源管理体制,形成以经济手段为主的节水机制,建立起自律式发展的节水模式,不断提高水资源的利用效率和效益,促进经济、资源、环境协调发展”,节水型社会中水资源的高效利用是针对经济和生态两大系统中的所有用水过程,降低其低效或无效耗水,提高高效和有效水循环通量在整个水循环通量中的比例,并积极采取有效措施,提高单方水的效益产出。可见,用水高效不仅是节水型社会的本质特征,更是节水型社会实现的必要条件。

三、是对节水效应正确认识的科学基础

随着节水型社会建设在全国范围内轰轰烈烈的开展,水危机的意识逐渐深入人心,人们开始自发实施节水,在全社会逐渐形成了一种人人节水、处处节水的良好氛围,水资源得到有效保护和节约,并在一定程度上缓解了某一时期、某一部门用水的紧张局面,用水效益得到提高。

但是,随着大面积、高强度各类节水措施和节水技术的应用,人们又开始意识到,节水程度并非越高越好,还应兼顾生态与环境用水需求,以及区域内部门之间的水力联系。如实施大范围渠道衬砌,则灌溉引水减少,入渗补给地下水量减少,地下水位下降,地下水埋深加大,对当地生态系统产生负面影响。尤其是在我国北方干旱缺水地区,水与生态的作用机制十分敏感,地区生态主要依靠地下水维持生存,地下水位下降,植被根系吸收水量不足,植被萎缩、退化。另一方面,地下水位的下降改变了地下水和当地湖泊、湿地的补给关系,湖泊、湿地水量反补地下水位,水面面积减少,生物多样性减少,生态景观破碎程度加剧;地下水位的下降还会导致地下水与地区河流补给关系的变化,产生河道断流、干涸等生态恶化现象。工业用水重复利用率的提高也是主要的节水方式之一。在同样的取水量情况下,用水重复利用率的提高使有效水循环通量所占比例增大,水资源消耗量增加,相应的排水减少,入河水量减少,在影响河道内生态用水安全的同时,对下游地区生产发展用水产生威胁。

综上所述,为避免产生生态恶化、流域用水不均,在实施节水措施时,不能只注重提高局部用水效率和效益,以致割裂了地区和流域间的用水联系,“一叶障目,不见泰山”,须从区域全局角度出发研究水资源的高效利用,规范节水强度,正确认识节水后效性反应。

四、是科学评价管理措施和工程措施效用的主要依据

工程措施和管理措施是促进水资源高效利用的重要手段。长期以来,“重工程、轻管理”的思想一直在人们的脑海中居于主导地位,近年来,随着对水资源问题研究的不断深入,水资源领域的不断扩大,人们逐渐改变了这种观念,开始关注管理措施在促进节水增效方面所起的重要作用。

工程节水措施应用历史悠久,有着较为完善的制定和评价体系,项目建设的规模、范围和对节水的效用评价等都比较具体。工程措施属于节水硬措施,运用工程措施实施节水虽可取得明显的节水收益,但节水工程建设往往投资大、耗时长、效益增收缓慢。与工程措施形成对比,管理措施不需要太多的投资,且具有省时省力、见效快的特点。通过加