

用水效率驱动因子分析 及动态调控关键技术

耿雷华 卞锦宇 黄昌硕 姜蓓蕾 张林媛◎著

YONGSHUI XIAOLV QUDONG YINZI FENXI JI DONGTAI TIAOKONG GUANJIAN JISHU

中国环境出版社

本书由南京水利科学研究院出版基金资助出版

用水效率驱动因子分析及动态 调控关键技术

耿雷华 卞锦宇 黄昌硕 姜蓓蕾 张秭媛 著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

用水效率驱动因子分析及动态调控关键技术/耿雷华

著. —北京: 中国环境出版社, 2016.6

ISBN 978-7-5111-2743-3

I. ①用… II. ①耿… III. ①用水管理—研究
IV. ①TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 058635 号

出 版 人 王新程

责任编辑 周 煜

责任校对 尹 芳

封面设计 彭 杉

出版发行 中国环境出版社

(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.com.cn>

电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn

联系电话: 010-67112765 (总编室)

发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司

经 销 各地新华书店

版 次 2016 年 8 月第 1 版

印 次 2016 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787×1092 1/16

印 张 18.5

字 数 400 千字

定 价 58.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

内容简介

本书从用水效率影响机理及因素分析入手，紧扣用水效率驱动因子，围绕用水效率动态调控，解决一系列理论和实践面临的技术难题，服务于效率红线的动态管理，为实施最严格水资源管理制度提供科技支撑。本书定量分析了用水效率关键驱动因子的贡献率，建立了用水效率驱动因子诊断体系；揭示了用水效率时空变化规律，提出了基于用水效率的农业和工业用水效率区划技术和成果体系；创建了用水效率动态评估方法，构建用水效率评估与调控模型，提出了用水效率控制红线动态调控目标及提高用水效率的应对策略。

书中的用水效率分析方法、模型建立和调控策略等内容对各省（自治区、直辖市）效率红线的动态管理与考核、相关规划目标的制定和评估等具有借鉴作用。本书可供资源、经济、社会等领域的科研和教育工作者、管理者及决策者使用和参考。

序

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源,是生态环境的控制要素。随着经济社会快速发展和全球气候变化影响加剧,水资源短缺、水环境污染、水生态退化等新老问题愈加凸显,水已成为制约经济社会可持续发展的主要瓶颈。党的十八大提出大力推进生态文明建设,特别强调要节约集约利用资源,推动资源利用方式根本转变,大幅降低水的消耗,推进水循环利用,提高水资源的利用效率,对水资源的管理和高效利用提出了新的要求。

我国人多水少,水资源时空分布不均,是一个水资源短缺的国家,多年平均水资源总量 2.84 万亿 m^3 ,人均占有量 2 100 m^3 ,仅相当于世界平均值的 28%,单位耕地面积占有量仅为世界平均水平的 1/2。水资源可持续利用战略的核心是提高用水效率,用水效率的高低直接关系到经济社会的可持续发展。因此,提高用水效率成为我国目前迫切需要解决的问题。2011 年中央 1 号文件明确提出了确立包括用水效率控制红线在内的最严格水资源管理制度,坚决遏制用水浪费。随后国务院出台了《实行最严格水资源管理制度考核办法的通知》,将相关控制性指标分解到省、自治区、直辖市。

本书围绕最严格水资源管理制度,开展了基于效率红线的用水效率动态评估关键技术研究,通过辨识农业和工业用水效率变化的关键驱动因子,分析用水效率随驱动因子变化的响应关系,建立了用水效率诊断体系;运用区划划分原理与方法,建立了农业和工业用水效率评估区划指标体系,在全国农业和工业的用水效率评估区划基础上,研究用水效率评估与调控技术,构建了分区分行业动态调控评估模型;分区分行业评估了现状综合用水效率水平,分析了用

水效率变化趋势,拟定了各省用水效率红线动态调控目标,并提出了基于效率红线动态管理的对策建议。书中针对“三条红线”中的效率红线,服务于效率红线的动态管理,力争解决效率红线控制管理的关键技术。本书不仅在用水效率的动态评估方法和指标体系进行了有益的理论探讨,而且相关成果可为水行政主管部门在用水效率的指标分解与评估、目标制定和调控等方面提供科学依据,为推动产业结构的优化调整,促进节水技术和产品的推广,实现水资源的高效利用和经济长期平稳发展提供有效保障。

本书具有较强的科学性、知识性和方法性,在用水效率调控研究的理论拓展、技术方法进步及实际应用等方面具有前瞻性和开拓性。本书形成的农业、工业用水效率驱动因子诊断体系、用水效率评估与调控模型等创新性成果,与国内外同类技术相比有突破和创新,成果具有良好的推广应用前景。希望本书的出版将对我国实施最严格水资源管理制度起到很好的推动作用。

是为序。



南京水利科学研究院院长、中国工程院院士

2016年6月于南京

前 言

实行最严格水资源管理制度是我国应对严峻的水资源形势,保障社会经济可持续发展的重大举措。长期以来,水资源利用方式粗放,利用效率不高,水资源供需矛盾突出成为我国制约可持续发展的主要瓶颈之一。2011年中央一号文件中明确提出了确立包括用水效率控制红线在内的最严格水资源管理制度。目前,我国已划定了“十二五”期末的用水效率红线,并进行了逐级分解,“十三五”期末全国各省(自治区、直辖市)的用水效率控制红线正在分解。但影响用水效率的因素十分复杂,用水效率红线应随着用水管理水平、科学技术进步、产业结构变革等不断调整。因此,必须实现效率红线的动态调控与管理,督促各地区不断提高水资源利用效率,实现节水减排。

本书以水利部公益性行业科研专项项目“用水效率驱动因子分析及动态调控关键技术”成果为基础,着眼于解决水资源管理中用水效率驱动因子分析及动态调控关键技术问题,服务于效率红线的动态化管理,从而实现水资源的高效利用,为经济长期平稳较快发展提供保障。本书揭示了不同区域与不同行业用水效率与关键驱动因子之间的响应关系,建立了诊断体系;分析了用水效率区域特征,运用区划划分原理与方法,形成了全国用水效率评估区划成果;在用水效率演变规律分析的基础上,进行了用水效率评估技术优选,构建了动态评估调控模型,进行了全国各分区用水效率动态综合评估,形成了用水效率驱动因子分析及动态调控关键技术,为实施最严格的水资源管理制度提供技术支撑。

本书密切联系实际,以资源科学、经济学、社会学等相关理论为指引,分析我国用水效率区域差异性、自然社会双重约束性的特征,形成用水效率基础理论成果;以自然资源、社会经济、科学技术、政策制度以及工农业行业发展

和用水相关资料数据组成的我国用水效率影响因素基本数据库为基础,采用趋势法分析了全国用水效率演变规律;以主成分分析法筛选了31个省区用水效率驱动因素,并定量计算了各驱动因素指标的贡献率;采用基于遗传算法的投影寻踪综合评价模型对我国用水效率现状进行评价分析;采用基于主导因子的聚类分析作为区划方法,完成了全国省区用水效率区划,并进行了区域特征规律分析;参照Cobb-Douglas生产函数,在对多种分析方法进行对比分析基础上,建立了全国分区分类用水效率调控模型;利用EViews软件,采用PEARSON相关系数法,预测用水效率驱动因子在未来不同情景方案下的演变趋势;运用用水效率动态评估调控模型,拟定用水效率红线动态调控目标,提出提高各区域各行业用水效率的应对策略,并以江苏省为案例进行应用。

本书除了封面署名的外,参与撰写的还有南京水利科学研究院的徐澎波高工、关铁生教高、沙海飞高工、陈晓燕教高、侯方玲硕士、童坤博士、盖永伟博士、赵志轩高工,以及江苏水资源服务中心常本春主任、扬州大学贾仁甫教授、江宁水务局李美香科长等。在研究过程中,水利部水资源司、水利部国际科技合作司、水利部规划计划司、水利部水利水电规划设计总院、江苏省水资源服务中心、扬州大学等单位及相关专家给予了大力支持。尤其是得到了郇建强、齐兵强、陈敏建、曾肇京、张德尧、任光照、刘颖秋、刘恒、王建生、汪党献、冯保清、赵竞成、王银堂、吴永祥等专家的指导和帮助;本书的出版得到了南京水利科学研究院出版基金的资助;书中借鉴和引用了国内外相关的用水效率研究成果。在此,一并表示感谢。

由于撰写时间仓促,我们对用水效率的认知水平有限,本书得出的部分驱动因子和调控结论难免偏颇。如有不当之处,敬请读者批评指正。

作者

2016年1月于南京

目 录

第1章 概 述	1
1.1 背景	1
1.2 国内外研究进展	2
1.3 用水效率理论框架	20
第2章 基础数据与研究方法	27
2.1 基本数据资料	27
2.2 分析方法	31
2.3 研究思路	40
第3章 用水效率驱动因子诊断	43
3.1 用水效率影响机理分析	43
3.2 用水效率影响因素	58
3.3 用水效率驱动因子诊断体系	70
第4章 用水效率指标体系研究	84
4.1 用水效率指标全集构建	84
4.2 用水效率指标体系	88
4.3 用水效率现状评价结果及分析	96
第5章 用水效率总体演变规律及区划分析	99
5.1 社会经济及用水效率总体演变规律	99
5.2 用水效率与经济社会发展水平关系	105
5.3 用水效率区划原则与思路	107
5.4 农业用水效率区划及区域规律分析	108
5.5 工业用水效率区划及区域规律分析	119

第 6 章 用水效率调控模型研究130

 6.1 模型分区130

 6.2 用水效率调控模型构建131

 6.3 农业用水效率调控模型134

 6.4 工业用水效率调控模型145

第 7 章 用水效率分区动态调控研究162

 7.1 未来社会经济发展对用水效率的影响分析162

 7.2 用水效率因子预测和未来演变趋势分析173

 7.3 用水效率动态调控目标拟定203

 7.4 用水效率动态调控案例试算217

 7.5 调控条件下规划年我国用水效率评价结果及分析221

第 8 章 用水效率调控应对策略研究224

 8.1 综合性策略研究224

 8.2 农业用水效率策略研究230

 8.3 工业用水效率策略研究235

第 9 章 结论和建议238

 9.1 主要研究结论238

 9.2 关键技术与创新点240

 9.3 进一步研究的科学问题建议242

附 录 研究方法243

主要参考文献277

第1章 概述

1.1 背景

长期以来,水资源利用方式粗放,利用效率不高,水资源供需矛盾突出成为制约我国可持续发展的主要瓶颈之一。水资源作为一种不可替代的战略性资源和生产的控制性要素,是人类社会赖以生存和经济发展所不可缺少和不可替代的宝贵资源,被人们称为“流动的黄金”,被社会称为国民经济的“命脉”。但目前我们却面临着水资源严重短缺和水体严重污染等问题。特别是近年来,随着工业化进程的加快和经济的快速发展,自然资源的不合理开发与利用的问题越来越突出,造成了环境的严重污染,破坏了自然界的生态平衡,并且已经开始给人类造成了意想不到的灾难。然而水环境污染程度的日趋加重,使本来就十分短缺的世界淡水资源更为紧张,加上水资源的不合理开发利用与用水的浪费,世界正面临着水资源的危机,并严重威胁着人类的生存与发展。因此,合理开发利用和保护水资源,节约用水,成为21世纪人类面临的重要课题之一。

2011年中央一号文件中明确提出了确立包括用水效率控制红线在内的最严格水资源管理制度。2011年中央一号文件提出,到2020年,全国年用水总量力争控制在6700亿 m^3 以内,农田灌溉水有效利用系数提高到0.55以上,“十二五”期间新增农田有效灌溉面积4000万亩;确立用水效率控制红线,坚决遏制用水浪费,把节水工作贯穿于经济社会发展和群众生产生活全过程。2012年《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》明确提出了用水效率控制红线,到2030年用水效率达到或接近世界先进水平,万元工业增加值用水量(以2000年不变价计)降低到40 m^3 以下,农田灌溉水有效利用系数提高到0.6以上;为实现上述目标,到2015年,万元工业增加值用水量比2010年下降30%以上,全国农田灌溉水有效利用系数提高到0.53以上,到2020年,万元工业增加值用水量降低到65 m^3 以下,全国农田灌溉水有效利用系数提高到0.55以上。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》明确要求,确立用水效率控制红线,到2015年,万元工业增加值用水量降低30%,农田灌溉水有效利用系数提高到0.53,到2020年全国农田灌溉水有效利用系数提高到0.55以上。国家发展和改革委员会据此制定了《国家“十二五”规划〈纲要〉实施考核评价方法》,将用水总量、万元工业增加值用水量和农田灌溉水有效利用系数作为“十二五”考核评价的重要指标。2013

年国务院办公厅印发《实施最严格水资源管理制度考核办法》(国办发[2013]2号),明确提出将对各省实施最严格水资源管理制度落实情况进行考核,并将用水总量、万元工业增加值用水量、农田灌溉水有效利用系数、水功能区水质达标率作为各省控制目标进行考核。

目前,我国已划定了“十二五”期末的用水效率红线,并逐级分解,现正着手划分“十三五”期末的用水效率红线。随着我国社会经济的发展、节水型社会建设的不断推进,工业和农业用水效率也会不断提高,因此;用水效率红线应随着管理水平提高、科学技术进步、产业结构变革等不断调整,实现动态管理,从而督促各地区不断提高水资源利用效率,实现节水减排。开展基于效率红线的动态评估关键技术研究,不仅为合理评价工业和农业节水发展成效以及节水潜力的分析提供重要参考,还可以为水行政主管部门制定相关规划目标、决策和管理提供重要理论基础和科学决策依据。因此,本书从政府实际宏观管理与决策需要出发,科学地分析、评价全国及各省工业、农业用水情况,综合考虑产业结构优化调整、节水技术推广应用、管理制度和对策制定等各方面因素,实现用水科学管理和有效调控,可为我国社会经济长期平稳较快发展提供保障。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 国外研究进展

1.2.1.1 节水及用水效率调控研究

国外许多国家,不论是富水国还是贫水国,已逐渐认识到,未来要加强需水管理而不是不断地去满足需水要求,要实施全面节水,并向节水型社会、节水型经济转变,不断提高用水效率,这是解决水供需矛盾的最经济和最有利于环境的措施;同时,这也可以避免建设昂贵的供水工程和污水处理的费用,节约资金,保护环境,而且不影响经济和生活水平。

加拿大是世界上水资源最丰富的国家,人均水资源量约为我国人均的40倍。安大略省的滑铁卢市是加拿大以地下水供应的最大城市,20世纪70年代由于过度开发地下水,计划远距离引用地表水。由于造价太高,促使他们采取节水措施。经过努力,在3年内使人均用水量降低了10%。

澳大利亚政府在水资源利用和管理方面进行了积极有益的探索,实现水资源的高效利用,并取得了不少成功的案例。如澳大利亚联邦政务院的水改革方案和墨累—达令河流域水资源的调配“封顶”决策,以及对水权界定和定价、交易系数的确定和市场机制的制定等都值得我们学习和借鉴。

墨西哥城1800万居民的用水中80%依靠地下水,长期开采地下水,造成地面沉降,危及地表建筑物。1989年墨西哥政府在全国范围内制定了严格的家庭用水效率的标准,

1990年又提高了水价并加强节水宣传,提高全民节水意识,促使墨西哥市的生活用水量降低16%。

法国遵循自然流域规律,设置流域水资源管理机构模式,在各流域建立流域管理局和流域水资源管理局,统一规划和管理水资源,实现水资源的高效利用。

英国政府规定了用水单位在有效利用水资源方面的义务,并通过调整取水许可证申请费用、鼓励许可证转让、帮助提供节水技术和方案、审核供水公司发展计划等措施,促使各单位提高用水效率。环境署通过颁发“用水效率奖”,奖励在节约用水、促进水资源循环利用、增强公众对水资源问题的关注等方面有突出成就的单位和个人。

(1) 在农业用水效率调控方面,发达国家有很多值得借鉴的经验

Rosegrant等研究了流域灌溉水效率与水价之间的关系,强调利用水价等经济手段来建立节水的动力机制。农民对提高灌溉水价的短期直接反应是减少灌溉用水的总量。而长期来看,提高水价,农民会更加注重采用节水技术,从而有助于流域灌溉水效率的提高。他们利用IMPACT.WATER模型假设检验了灌溉水价的流域灌溉水利用效率弹性。以国际水资源管理研究所(IWMI)、世界银行为代表的一些国际机构更强调以流域为单元对水资源进行统一管理,对一项节水措施节水效果的评价要充分考虑灌溉水是否可回收的问题,节水措施要以减少无效蒸发为主。

农业节水因国家的经济发展水平和缺水程度的不同,存在不同的发展模式。以埃及、印度等为代表的经济欠发达国家,受其经济条件和技术水平的限制,农业节水主要采用以渠道防渗技术和地面灌水技术为主,配合相应的农业措施及天然降水资源利用技术的模式;而以美国、以色列等为代表的经济发达国家,农业节水主要采用以高标准的固化渠道和管道输水技术、现代喷、微灌技术与改进后的地面灌水技术为主,并与天然降水资源利用技术、生物节水技术、农业节水技术与用水系统的现代化管理技术相结合的模式。

1) 以色列的喷灌、滴灌模式

以色列土地资源贫瘠为世界之最、水资源短缺也名列榜首,山丘和沙漠占全国土地面积的90%,年平均降水量300mm,差不多有一半地区在150mm以下。人均每年可用水量资源 300 m^3 ,低于世界平均水平的 $1/30$,约为中国平均水平的 $1/8$ 。以色列政府将喷灌和滴灌作为推广模式。实行科学灌溉,严格节约用水。喷灌和滴灌系统都装有电子传感器和测定水、肥需求的计算机,用水、用肥实行精确的自动化管理。一方面不断加大使用循环水力度,另一方面增建集水设施,尽可能收集雨水用于农业灌溉。从1952年起,用11年时间建成了145km长的“北水南调”输水主管道,虽耗资1.5亿美元,从而使得全国一半以上的耕地得到灌溉。以色列因地制宜,科学规划,粮食作物对水土资源要求较高,就一再减少种植面积,经济作物对水土资源要求低、技术含量较高、经济效益较高,就加大种植面积。以色列的棉花、番茄、柑橘、花卉等种植面积大,其原因就在于此。

2) 美国加大政府投入扶持模式

美国幅员广阔,也是投入雄厚科技力量的世界农业强国。美国的特点是人少地多、资

源环境压力小,经济实力强且科技水平高,在旱作农业区美国成功地推广了保护性节水耕作技术。这一技术的核心是土壤和水的管理,以机械化、信息化作为两翼,走出一条科技助力、节水灌溉的道路。财力强,肯扶持,使美国建立了完备的农业节水灌溉设施。仅加利福尼亚州政府,每年对节水技术推广补贴就高达3 000万美元。美国的用水调度按不同自然灌区进行。不是人为调节,而是依靠高科技进行自动化管理,自动监测点布满每个河流、渠道,在灌区管理机构设有灌溉总控制室,随时测定随时调整各区域供水量。总控制室与卫星联网,进行自动化管理,形成完整的全国水资源调度调控系统。美国还是世界上最早实施精准农业灌溉的国家,具有定型的设备和成熟的技术。农业技术人员在各个农场服务,他们是农场主聘请来的,每天都要对不同土层的土壤水分进行定点定时测定和记录,保证作物生长符合科学规律,根据气象资料和土壤资料对补给量进行计算,真正做到了按需灌溉、精量灌溉。

3) 印度蓄积雨水用于灌溉的模式

印度一年中有一半时间气温在 30°C 以上,是一个十分典型的高温缺水国家。印度人口基数大,人均水资源显得更加稀少。好在印度多山多雨,雨水蓄积为印度增加了宝贵资源。印度收集雨水的装置和输水系统发明早、数量多、应用广。印度的节水文化别具特色,不同的地区有不同的内涵。印度在缓坡地应用生物篱技术,前置条件是坡度较小、土壤层较厚的缓坡地,具体做法是每隔一定的间距沿等高线种植,用生物篱拦截泥沙,减缓水土流失,实行保墒蓄水。在坡度较缓的农田经常采用田间微工程集水技术:其一是把耕地分为种植作物带和不种植带,不种植带为集水区,向种植区倾斜,通过收集周围平地或集水区的水分来稳定作物产量。其二是沟垄种植,种植区为沟,集水区为垄,这和中国的种植方法正好相反。在坡度较陡,大雨、暴雨多的地区使用蓄水池收集降雨技术,雨水济旱,错时供应,调剂余缺,在降水好的年份可以把占总降水量 $16\%\sim 26\%$ 的径流收集起来,天旱时灌溉,促进农业丰产、丰收。

农业用水浪费主要发生在渠系输水、田间灌水、土壤储水保水和作物用水等环节,这就决定了农业节水环节,这节水的4个环节构成了发达国家不同发展时期的节水重点。渠系输水、田间灌水环节节水是发达国家前期节水重点,发达国家主要重视固化渠系及田间配水设施,或者加大微喷灌的投资规模及力度。随着水环境概念的强化及真实节水概念的提出,高新技术在农业方面的应用,“3S”技术——遥感技术、地理信息系统、全球定位系统的应用,精确灌溉概念的提出已使生物节水、管理节水及加大土壤储水保水,提高天然降水资源的利用效率成为当今农业节水的重点。

随着节水型农业概念的强化,以及节水并不是简单的建设节水灌溉工程、安装滴灌、微灌设施的观念形成,农艺节水、生物节水、管理节水作用强化。国外发达国家的农业节水发展趋势主要表现在以下几个方面。

1) 以作物生理特性改进水利用效率为研究热点。通过水分缺少对作物的后效性影响,提高水分生产效率的机理,加强作物高效用水生理调控与非充分灌溉理论的不断深入研究,

利用作物生理特性改进水分利用效率 (Water Utilize Efficiency) 的研究将会成为农业节水方面研究的热点。

2) 基因改良, 抗旱节水型作物新品种的培育为农业节水的创新点。在种植业领域, 通过基因的转移和重组, 培育出抗旱的或能适宜咸水灌溉的农作物品种可节约淡水资源。在以色列通过作物遗传育种, 专门培育出适宜咸水灌溉的小麦、番茄、棉花等作物新品种, 可以利用浓度高达 0.45% 的咸水灌溉。利用咸水灌溉的西红柿不仅甜度高, 而且储存期长, 可储存 15 天。利用咸水灌溉作物品种的培育可大大缓解淡水资源的紧缺性。

3) 高效环保型低成本节水材料与制剂是未来节水农业研发的热点。现有节水材料、制剂成本高, 且节水设备产品没有系列化、标准化, 对节水灌溉规模的扩大有一定的局限性。为普及节水灌溉, 防止灌溉水引发的污染, 保全现有的可利用水资源, 利用纳米等新技术研制低成本、高效环保型标准化、系列化的节水材料及制剂是未来节水农业研发的一个热点。

4) 可持续发展水管理是管理节水的归宿。水资源是一切生物生命之源, 是整个地球生命的保障, 为缓解水资源短缺的局势, 需通过运用高新技术提高水资源使用管理现代化水平, 提高水资源利用效率, 加大节水力度, 但是, 管理节水应以可持续发展水管理为目标, 不仅强调水的消费价值, 也强调水的非消费价值, 着眼于构筑支撑社会可持续发展的水系统, 保障现代和后人的平等用水权。

(2) 在工业用水效率调控方面, 国外发达国家城市工业节水主要是运用循环水和冷却水, 不断提高水的重复利用率

循环用水在美国工业中得到了广泛应用。据报道, 加利福尼亚的 San Jose 在 1988 年和 1989 年在 15 个工业行业采用循环用水, 包括食品工业、金属精加工、纸张再处理、电子工业等, 总节水量达 $56 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 总经济效益为 200 万美元。在这些循环用水工艺中, 有些将工艺过程中的用水回收循环利用, 有些则在排放下水道前经预处理后回收利用。事实证明, 一个工厂之内的循环用水, 允许有较大的水质波动范围 (回用于不同的生产工序), 因此, 这是首先考虑的节水措施。

日本工业用水重复利用率从 1970 年的 52% 提高到 1990 年的 76%。在此期间, 工业用水量增加 1.69 倍, 而工业产值增长 2.63 倍; 德国现在的工业用水总量与 1975 年相同, 而工业产值提高了 44%; 瑞典的造纸业从 60 年代早期到 70 年代后期, 造纸的用水量减少了一半, 而产量增加了一倍, 即用水效率提高了 4 倍。国外一些研究人员认为, 只要有适当的政策, 许多类型的工业可以将需水量减少 40%~90%, 同时还可以防止水污染。

国外很多公司通过改进冷却塔给水系统来节约用水, 也有一些大公司采用臭氧对空调用水或其他轻度污染水进行处理, 明显减少了废水排放量。

通过改进生产工艺和设备达到减少用水量, 也是很多工厂采用的手段。许多公司采用反渗透生产去离子水时, 通过采用新材料和改变运行参数大大减少了反渗透工艺中的流量。Dyna-Craft 公司在电镀部分安装空气刀, 将电镀的废酸洗液吹回到工艺池中, 从而减

少了清洗水。

除此之外,国外还十分重视用水监测,大部分工业监测设备较为完善,确保了节水措施发挥作用,同时促进降低漏损和杜绝其他用水浪费。与此同时,国外对雇员的节水教育也极为重视,因为雇员是节水运动的主体。

(3)在生活用水效率调控方面,发达国家大多通过提高水价、实施城市生活用水监测和用水计量来实现

国外有许多研究关注如何通过价格机制来提高用水效率及水价政策对水资源及社会经济的影响。这些研究充分认识到水价在水资源配置中的基础性作用,水价机制对水资源的开发、利用和保护的重要意义,水资源的公平配置等问题。例如,Narayanan 等指出,实施季节水价有利于合理分配水资源。Moncur 等提出,当水价有足够的弹性时,通过征收干旱附加税有利于节水。Rogers 等认为水是一种经济物品,水价政策的成功有赖于其他方面的配合,合适的水价能够最终有利于水资源的持续利用。此外,美国的研究结果表明,合理提高水价是调节水资源供需平衡的经济杠杆,也是减少水资源浪费的重要手段。新加坡注重利用价格手段来促进节约用水,保护水资源和水环境。在水价结构方面,国际发展趋势更加强调水价结构的设计,通过需求管理鼓励水的高效利用和节水。

实行用水监测,是为了了解实际的用水量 and 用水方式,监测获取供水系统运行状况,为合理、公正地确定水价提供依据。用水量估计主要是通过调查和评估用水现状,按照节水原则合理估计将来的生活用水量。

日本是一个水资源相当丰富的岛国。尽管如此,日本人仍然居安思危,千方百计地节约用水,开展了“以构筑可持续发展的用水社会”活动。日本的生活用水包括家庭和城市活动用水,如饮用、烹饪、洗刷、洗浴、清洁和厕所用水等。日本最重要的节水技术就是建立“中水道”系统,即城市废水的处理和再利用系统。这种系统可把各种生活废水集中起来,加以净化处理,用做冲洗厕所等用水。日本废水净化处理技术一般采用生物处理法。其中最简便的方法是把使用过的乳酸饮料瓶作为曝气池的填充材料,采用中心导流曝气方式,构成生活用水净化系统,无须任何药物,30 个小时后,微生物就能把污水变成清水。

澳大利亚气候干燥,部分区域水资源极度缺乏。为了节水,澳大利亚首都堪培拉实施了强制性限水条例,使居民生活用水量节约了 40%~60%。

(4)节水理念是节水最主要的动力和手段,国外在节水理念的宣传上有许多的做法

1) 制定相关法律,以法治水,重视节水宣传,增强节水意识

英国在 1944 年就颁布了《水资源保护法》,成立了国家水资源委员会。美国在 1948 年颁布了《水污染控制法》,1972 年颁布的《防止水污染法》,要求全美国企业到 1985 年达到“污水零排放”。日本、法国、以色列等许多国家,都颁布了各种水资源保护法、水污染控制法,并成立了相应的水资源管理机构。

建立水权及交易制度,是许多国家开展节水的一条可贵经验。水资源所有权属于国家,但各种社会实体或个人可获得使用权。美国、日本的“占用优先原则”,英国的“河岸所

有权制度”，智利等国家的“平等用水原则”等较为成熟的水权制度很大程度地遏制了水资源利用的快速增长。美国、日本、澳大利亚等国都早已开展了水权交易，实施水务市场化，引入竞争机制，大大提高水的生产效率和利用率。

面对水资源及其生态环境问题，世界各国普遍开展水资源教育和环境保护教育。采用各种方式宣传节约用水的重要性、迫切性，以提高市民自觉节水意识，培育新的节水理念。日本、美国等国家建立了一整套宣传体系，开展节水报告和节水展览，并将节约用水内容编入教材，从小对国民进行节水教育。

2) 转变水资源管理观念，开展宏观管理节水

基于可持续发展的战略需要，很多国家都在转变水资源管理观念，过去供水部门主要关注水资源的开发，现在则关注水资源的分配；过去把供水当做公共物品和福利活动，现在把供水当做经济物品和经济活动。人们越来越关注水管理的有效性、公平性、经济性。

水资源宏观管理，一是建立统一的流域管理机构，通过流域立法，实现流域水资源的优化配置和统一调度管理；二是对水资源进行需求管理，如更新用水设施，修改设备标准，准确度量用水量，向用水户传递节水信息，让他们及时了解自身的用水状况。美国政府对不同规模的公共供水系统提出了不同的最低限度节水措施和规划，并对供水企业制定了一系列节水措施要求，协助用水大户分析用水的合理性和有效性，通过用水户的参与来增强节水、实现自主管理维护、完善投入机制，提高用水效率，降低开发成本。

3) 农业节水新型理念

世界银行倡导和推行“真实节水”，核心是降低蒸腾蒸发(ET)和水分消耗量，耗水量的减少量才是实际的节水量，而不是取水量的减少量；提高单方耗水量的作物产量和产值，而不是仅仅提高灌溉效率；实际的节水量应首先用于满足最低生态需水量之后，才能供给新增的用水户（例如向新增工业和农业供水）；节水必须保证农民增收，成立农民用水协会实行耗水管理，促进种植结构调整。

而降低蒸腾蒸发(ET)和水分消耗量必须采取三项节水综合措施。即：工程节水措施、农业节水措施和管理节水措施。三项综合节水措施中，工程节水措施是基础，其主要作用是提高水资源的利用率和用水保证率；农业节水措施的主要作用是提高农作物的产量和品质，降低水分蒸发消耗；管理节水措施的主要作用是为实施各种节水措施提供组织和制度上的保障。

这种农业节水新型理念具有思想创新：①项目建设以减少农田水分蒸发蒸腾消耗(ET)、提高农作物的水分生产率（提高单位蒸发蒸腾消耗量的农作物产量或产值）为目标，而不是单纯以工程措施提高灌溉水利用率为目标；②在改善灌溉排水设施的基础上，加强农业和管理综合节水措施，使土壤墒情适合农作物生长发育，从而获得高产；③项目区执行地下水管理计划，实现地下水资源可持续利用；④组建供水管理组织和农民用水协会，使农民参与项目建设，并承担部分灌溉工程管理养护职责和建设维修费用，形成完整的农民用水协会参与灌溉管理的灌排区管理体制。