



Theory and Practice of
China Water Saving Society Construction

王建华
陈明
等著

中国节水型社会建设

理论技术体系及其实践应用



科学出版社



Theory and Practice of
China Water Saving Society Construction

王建华
陈明
等著

中国节水型社会建设

理论技术体系及其实践应用

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书以中国节水型社会建设十多年实践探索为支撑,深入分析了中国水资源情势和问题,构建了节水型社会建设科学基础和理论系统,对节水型社会制度与技术体系进行了深入研究,创新研发了总量控制与定额管理相结合的管理节水成套关键技术并在典型区域进行了应用,开展了国家、区域和单元载体节水型社会建设实证研究,提出节水型社会建设的区域化模式,分析了中国未来节水型社会建设发展路线,提出指导今后节水型社会建设的政策建议。

本书可供水资源、水文、环境、生态、减灾、社会学和经济学等领域从事科研、管理和教学人员阅读,也可作为相关专业研究生和大专学生的专业读物。

图书在版编目(CIP)数据

中国节水型社会建设理论技术体系及其实践应用 / 王建华等著. —北京:科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-033482-4

I. ①中… II. ①王… III. ①节约用水—研究—中国 IV. ①TU991.64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 018378 号

责任编辑:李 敏 王 倩 / 责任校对:赵桂芬
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室



科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 4 月第一次印刷 印张: 28 3/4 插页: 2

字数: 700 000

定价: 158.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

自 20 世纪后期以来，中国面临的水资源压力开始凸显并日益加大。一方面，人口增长和经济社会快速发展导致用水需求量与排污量不断增加；另一方面，气候变化和人类活动影响造成水资源条件朝着不利的方向演变，水资源已经与环境、能源一道，并列为制约中国今后一个时期可持续发展的三大主导性因素。国内外普遍关心中国的水资源如何满足庞大人口规模的食物供应需求，如何支撑经济社会的平稳较快发展，如何维系水生态与环境系统的良性健康运行，如何妥善应对气候变化的影响。为应对显式逼近的水资源危机，20 世纪末中国一些具有前瞻思维的管理者和学者战略性地提出了“建设节水型社会”，并获广泛认同，国家就此创新开展了以试点为先导的实践探索。从 2001 年的张掖节水型社会建设试点，到全国《“十二五”节水型社会建设规划》颁布实施，星星之火已呈燎原之势。

纵观中国节水型社会建设的十年实践历程，有四点鲜明且有效的做法：一是确立理念。节水型社会建设战略一经提出，就在国家层面不断被强化和固化，2000 年《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十个五年计划的建议》明确提出要“建设节水型社会”；2002 年建设节水型社会被写入新修订的《水法》中；2004 年中央人口、环境和资源座谈会上，胡锦涛总书记进一步强调“中国要积极建设节水型社会。要把节水作为一项必须长期坚持的战略方针，把节水工作贯穿于国民经济发展和群众生产生活的全过程”。2011 年发布的中央一号文件进一步明确要“加快建设节水型社会”。二是试点先行。建设节水型社会是中国经济社会发展主动适应资源环境承载力实施的用水方式变革。为积累经验探索模式，全国先后分 4 批次确立了 100 个国家级试点，各省（自治区、直辖市）又确定了 200 多个省（自治区、直辖市）级试点，南水北调东中线受水区、河西走廊、黄河上中游地区和东南沿海等诸多地区试点均以其生动的实践给出了各具特色的建设范例，引领中国节水型社会建设向纵深发展。三是整体推进。在先期试点的基础，国家和各省（自治区、直辖市）制定并实施了节水型社会建设“十一五”和“十二五”规划，国家和大多数省（自治区、直辖市）发布了节水型社会建设要点及其指导意见，建立了一系列技术标准，开展了绩

效效果评估与考核，有力地保障了节水型社会建设的有序规范实施。四是严格实施。自“十一五”起，万元工业增加值用水量和农业灌溉用水有效利用系数被列为国家经济社会发展的主要目标指标，其中万元工业增加值用水量下降值还被列为约束性指标；万元 GDP 用水量、万元工业增加值用水量也被纳入国家节能减排考核指标体系，极大地推动了节水型社会建设各项任务的落实。发展至今，全国的节水型社会建设已从星星之火发展为燎原之势，水资源利用效率和效益显著提高，用水快速增长态势明显放缓，水资源配置得到优化，社会用水文明程度广泛提升，节水型社会已成为中国两型社会建设的前沿阵地，“作用和意义绝不亚于南水北调和三峡工程”。

在这场以用水方式转变为主题的伟大社会变革中，实践与认识总在相互交织中螺旋上升。实践方面，全国首个试点张掖市以改革和创新的精神，探索性地回答了什么是节水型社会以及如何建设节水型社会建设的基础性问题；其后的绵阳市试点在南方丰水地区节水型社会的内涵和推进途径方面进行了有益的探究；大连试点诠释了发达高效地区基于水资源整体优化配置和用水全过程管理的节水型社会建设之路。此外，南水北调东中线受水区、宁夏、河西走廊、上海、西安、张家港、泉州等地区也都以其生动的实践给出了各具特色的节水型社会建设范例。认知方面，在节水型社会建设初期，为指导实践，中国学者也在节水型社会建设理论方面进行了有益探索，如早期颇具影响的成果如水利部前部长汪恕诚的《节水型社会建设十大要点》、胡鞍钢的《中国如何建设节水型社会》，后来，一些学者还分别在节水型社会的内涵、建设内容和典型经验方面开展了研究，促进了中国节水型社会建设实践的深入开展，但植根于实践、系统完整的理论与技术成果尚未见诸发表。

中国节水型社会建设是一场以实践为先导的社会活动，如何能在实践中不断发现和创新，形成起源于实践又能指导实践的科学理论、适合于实践也能引领实践的先进技术方法、立足于实践并高于实践的普适性经验与做法，是保障节水型社会建设沿着正确轨道演进、提高节水型社会建设效率所必需的理性与现实要义。为此，节水型社会建设实践之初，国家水资源与节水行政主管部门在财政部专项“节水型社会建设”中，前瞻设立了“我国节水型社会建设理论技术与实践应用研究”这一统领性项目，以期在推进节水型社会建设过程中，以鲜活的原型实践为土壤，主动地、系统地、有针对性地开展节水型社会建设理论技术与应用模式创新，并与不同层次不同区域的节水型社会建设实践相互印证和检验，以实现在这场中国特色治水变革的深层次解析，形成具有现实意义的实践模式、技术支撑与政策建议。

基于上述目标定位,课题组全面参与了中国节水型社会建设实践的顶层设计,为国家“十一五”和“十二五”节水型社会建设规划的编制提供技术支撑,主持完成典型试点方案的编制、制度建设以及评估总结,深入典型地区参与实践并为其提供相应的科技支持。在科学研究部门、行政管理部門和生产应用部門三大主体的共同努力下,完成了这项从实践中来,再到实践中去的闭合研究并终成书稿。全书共分15章:第1章在综合审视中国水资源条件与问题及其演化的基础上,分析了中国水资源问题归因与路径选择,明晰了建设节水型社会在应对中国水资源问题中的定位,由王浩、王建华、陈明、赵勇、刘家宏编写;第2章原创性构建了由“自然-社会”二元水循环理论、分行业用水原理、个体节水行为的社会学机制、虚拟水理论共同构成的节水型社会建设科学基础,由王建华、王浩、刘家宏、肖伟华、马静、赵勇编写;第3章在节水型社会内涵解析的基础上,提出了节水型社会建设标的与路径、建设任务、建设主体和实践载体,创新形成了节水型社会建设的基本理论系统,由王建华、陈明、李海红、翟正丽编写;第4章开展了制度系统的基础研究,开展了基于社会水循环过程的节水型社会核心制度适应性分析,提出了中国节水型社会制度建设的重点,由褚俊英、陆益龙、陈明、陈康宁、李海红、齐兵强等编写;第5章在汪恕诚老部长提出的节水型社会建设C模式理论启发下,发展形成了节水型社会建设的“C-R-B”模式,由陈明、李海红、王建华、褚俊英、余弘靖编写;第6章构建了节水型社会建设技术体系框架,并以取用水量控制管理为逻辑主线,原创性地研发了水量分配、总量闭合模拟、水权转让定价和水量调度四大关键技术,为管理节水提供了有效的科技支撑,由赵勇、王建华、桑学锋、李海红、牛存稳、尹明万、秦长海等编写;第7章构建了用水定额管理基本理论与体系框架,研发了生活用水、工业用水和农业用水定额的编制技术与管理技术,由赵勇、李海红、王建华、尹向工、李克勋、唐宗、孙振、张晶晶、刘永攀、屈吉鸿编写;第8章结合国家节水型社会建设推进的现实需求,开展了中国节水型社会建设总体布局、实施重点研究,并进行了试点经验与成效总结,由陈明、王建华、李海红、颜勇、管思宏、何凡等编写;第9章以张家港市、天津市、淄博市和上海市为典型区,构建并实证了具有区域特色的节水型社会建设模式,由王建华、陈明、刘永攀、齐兵强、李海红、阮仁良、闫学军、何云雅、陈清、卫臻、邵薇薇、刘扬、胡鹏等编写;第10章介绍了节水型社会单元载体范例研究,由赵勇、李海红、司建宁、阮仁良、夏庆福等编写;第11章介绍了技术支撑下的宁夏回族自治区和天津市的节水型社会建设实践,及其所取得的实施效果的情况,由王建华、司建宁、阎学军、何云雅、桑学锋、赵勇、李海红、秦长海编

写；第12章介绍了中国分区域虚拟水流通定量核算，分析了虚拟水与节水型社会建设的关系，由马静、肖伟华、王建华、翟家齐等编写；第13章介绍了区域节水型社会建设绩效评估技术，以及在典型试点地区的应用情况，由褚俊英、马静、龙爱华、王建华、肖伟华、刘永攀、齐兵强、刘永攀编写；第14章系统分析了未来一个时期中国节水型社会建设的现实需求，提出了中国节水型社会建设的发展趋向和推进建议，由王建华、陈明、颜勇、胡鹏、桑学锋、肖伟华、李海红、赵勇编写；第15章对全书理论技术研究与实践进行了总结，由王建华、鲍淑君编写。

由于节水型社会建设涉及科学和技术领域十分广阔，加之节水型社会建设实践日新月异，无论是理论建设还是实证研究都始终处于一个发展的过程，因此系统化成果固化是一个十分困难的过程，课题组花了整整十余年的时间，在研究和实践的交相演替的进程中形成了这一成果。尽管它还存在这样或者那样的不足和缺陷，但总算对中国节水型社会建设理论和实践探索有了一个较为完整的表达。在此，请允许著者表达涌动于心的三重谢意：首先，要感谢水资源行政管理者和项目组织者的睿智和宽容，在当初条件艰苦的情境下设立了这一具有全局意义的课题，并在研究过程中尽可能地提供和创造了解实践、参与实践的机会，给予课题研究诸多宽容和理解，这也成为课题组深化研究的动力源，鞭策着团队坚持走过来；其次，要感谢不同领域诸多专家学者对课题研究直接或间接的指导与帮助，可以说本书是巨人肩膀上的印迹，尽管在此难以一一列举出他们的名字，但他们的智慧却在书中许多地方熠熠生辉；最后，要感谢各地方特别是试点地区的大力支持，实践既是科学研究的创新之源，也是其服务之汇。21世纪前十年是中国节水型社会建设最具创造力和生命力的十年，研究植根于全国节水型社会建设丰富而生动的实践土壤，从中汲取营养，然后生根发芽。

十年磨一剑。如果说呈献给大家的这部拙著，对于读者了解中国节水型社会建设概貌，以及节水型社会建设理论技术创新与实践应用支撑方面有一定的价值的话，主要得益于作者参与中国节水型社会建设这场伟大的社会变革中的感悟和体会，也衷心希望能够把这种心得通过适当的途径广泛传播，得到各方面的指导并不断完善，在今后中国节水型社会建设的实践进程中发挥出更大的作用。

目 录

前言

第 1 章 综合视域下中国水资源问题及应对路径之思辨	1
1.1 中国水资源条件综合分析	1
1.2 中国水资源问题演化与归因分析	6
1.3 解决中国水资源主要矛盾的根本途径:建设节水型社会	14
第 2 章 节水型社会建设的科学基础	16
2.1 “自然-社会”二元水循环模式	16
2.2 分行业用水原理	31
2.3 个体节水行为的社会学机制	43
2.4 虚拟水理论	47
第 3 章 节水型社会建设基本理论	57
3.1 节水型社会的内涵解析	57
3.2 节水型社会建设的标的与途径	63
3.3 节水型社会系统构成与建设任务	67
3.4 节水型社会建设主体与载体	73
第 4 章 中国节水型社会制度建设研究	83
4.1 节水型社会制度建设基础	83
4.2 节水型社会制度系统演进	89
4.3 节水型社会制度总体构架设计	92
4.4 现阶段节水型社会核心制度适应性分析	95
4.5 节水型社会制度现状的总体评价	122
第 5 章 节水型社会层次化建设模式设计	124
5.1 国家模式 (C 模式)	124
5.2 区域模式 (R 模式)	127
5.3 单元 (B) 模式	140
第 6 章 用水总量控制关键技术研发	155
6.1 节水型社会建设技术支撑体系框架	155

6.2	水量分配技术	157
6.3	总量核算与控制技术	167
6.4	水权转让定价技术	186
6.5	区域水量调度技术	195
第7章	用水定额管理关键技术研发	203
7.1	用水定额管理体系	203
7.2	用水定额管理基础研究	206
7.3	生活用水定额编制	215
7.4	工业用水定额编制	224
7.5	农业用水定额编制	230
7.6	用水定额管理实施技术	237
第8章	中国节水型社会建设总体布局与实施重点研究	243
8.1	节水型社会建设工作布局与重点任务研究	243
8.2	国家级节水型社会建设试点选取研究	251
8.3	节水型社会建设试点成效与经验凝练	254
第9章	理论指导下的区域节水型社会建设实证	258
9.1	以二元水循环为架构的实证案例——张家港市	258
9.2	以四大体系建设为内容的实证案例——天津市	266
9.3	以制度系统建设为核心的实证案例——淄博市	273
9.4	以单元载体建设为基石的实证案例——上海市	276
第10章	节水型社会单元载体范例研究	285
10.1	节水型企业建设示范案例	285
10.2	节水型校区建设示范案例	288
10.3	节水型社区建设示范案例	292
10.4	节水型灌区建设示范案例	296
第11章	技术支撑下的典型区域节水型社会建设实践	308
11.1	宁夏节水型社会建设技术示范	308
11.2	天津节水型社会建设技术示范	344
第12章	中国分区域虚拟水流通定量核算	365
12.1	虚拟水及其定量计算的理论基础	365
12.2	各国虚拟水贸易及水足迹比较	366
12.3	中国区域虚拟水流量核算基本思路	369
12.4	农产品供需平衡	371
12.5	中国区域间虚拟水交换量	375

12.6	虚拟水与节水型社会建设	382
第 13 章	区域节水型社会建设绩效评估技术研发及其应用	385
13.1	节水型社会绩效评估理论	385
13.2	节水型社会绩效评估技术	390
13.3	节水型社会绩效评估案例研究	408
第 14 章	中国节水型社会建设发展趋向与推进方式研究	421
14.1	未来一个时期节水型社会建设实践需求	421
14.2	中国节水型社会建设的发展趋向	429
14.3	中国节水型社会建设推进措施	433
第 15 章	基本结论与主要创新	441
参考文献		446

第1章 综合视域下中国水资源问题 及应对路径之思辨

研究水资源问题既是节水型社会建设的起始点，又是节水型社会建设的落脚点，因此客观评价中国水资源禀赋，科学认识面临的水资源问题，深刻揭示问题形成的主因，是节水型社会建设路径选择的基础和前提。

1.1 中国水资源条件综合分析

1.1.1 中国水资源概况

中国位于北半球亚欧大陆的东南部，东南濒临太平洋，西北深入亚洲腹地，西南与南亚次大陆接壤。地势西高东低，自西向东逐渐下降，构成三级阶梯状斜面。最高一级为青藏高原，海拔一般都在4000m以上，被称为“世界屋脊”；青藏高原以北、以东，地势显著下降，海拔为1000~2000m，有广阔的高原与巨大的盆地相间分布，为第二阶梯；大兴安岭、太行山、巫山及云贵高原东缘一线以东，直至海滨，属于第三阶梯。第三阶梯丘陵和平原交错分布，大片的低山和丘陵海拔多低于500m，仅少数山峰达2000m，平原海拔都在200m以下，自北向南有东北平原、华北平原、长江中下游平原和珠江三角洲平原，这些平原地区是中国重要工农业生产基地和经济中心。

受热带和副热带季风、中高纬西风带和特殊的三大地形条件等因子的共同作用和影响，中国降水总体趋势是从东南沿海向西北内陆递减；东南沿海和西南部分地区年降水深超过2000mm，长江流域为1000~1500mm；华北、东北为400~800mm；西北内陆地区年降水深显著减少，一般不到200mm；新疆塔里木盆地、吐鲁番盆地和青海柴达木盆地是年降水深最小的地区，一般为50mm，盆地中部不足25mm。中国季风气候特征显著，冬季风主要来自西伯利亚和蒙古高原，寒冷干燥，向南逐渐减弱，在冷空气的控制和影响之下，中国大部分地区比世界上同纬度地区冬季气温偏低5~18℃。夏季风主要来自太平洋和印度洋，温暖湿润，形成了大半个中国夏季高温多雨的特点。

中国水资源呈现出明显的南多北少、东多西少、山区多平原少的空间格局，以及雨热同期、年际和年内分布不均的时间分布特征。根据全国水资源综合规划开展的全国水资源调查评价成果，1956~2000年全国多年平均降水量为61 775亿 m^3 ，折合降水深为650mm。全国多年平均水资源总量为28 412亿 m^3 ，其中地表水资源量为27 338亿 m^3 （折合径流深为288mm），多年平均地下水资源量为8218亿 m^3 。中国水资源在时间

上的分配极不均匀,在年内分布方面,主要集中在夏季,南方地区多年平均连续最大4个月径流量占全年的50%~70%,北方地区的比例一般为60%~80%。在年际分布方面,年际水资源变化大,北方大于南方,干旱地区大于湿润地区,最大年径流量与最小年径流量的比值,南方地区一般在5倍以下,北方地区可达10倍以上。径流的年际变化,除丰枯交替外,还出现了许多连丰或连枯的情况。

1.1.2 中国水资源自然禀赋评价

客观认识和系统评价中国水资源条件是节水型社会政策制定和合理利用的基础,根据中国水资源客观状态及其开发利用条件,可以从优势和劣势两方面对中国水资源禀赋进行评价。

1. 中国水资源条件优势解析

一是水资源总量丰富。多年平均情况下,全国水资源总量约为2.8万亿 m^3 ,居世界第六位。中国陆地水域总面积约为2667万 hm^2 ,西部多条平行的青年型高大山脉,是世界现代山岳冰川最发育的地区,约有冰川4.3万条,面积为587万 hm^2 ,总储水量几乎相当于全国年径流总量。还有辽阔的热带、亚热带、温带海域约4.67亿 hm^2 ,可加以开发利用。全国水资源总量中,可控制供河道外生活、生产、生态用水的一次性最大水量为8548亿 m^3 ,2010年全国水资源开发利用约为5980亿 m^3 ,从总量上来看,中国水资源相对比较丰富。

二是雨热同期,有利于农业生产。如果大部分降水发生在夏季气温高、作物生长的时期,而很少发生在冬季有霜期、作物不生长的时期,则水资源年内分布就是有利的。中国夏季高温多雨,降水量最多的时候也是气温最高的时候,这时正是农作物生长时期,能够将降水转变成可以利用的有效水量,为农作物生长提供了有利条件。由于雨热同期的特点,中国大部分地区才可以实现农作物一年两茬,甚至三茬,也才能支撑十几亿人口的粮食需求。例如,长江中下游地区气候温暖湿润,物产富饶,是亚热带季风气候,而与之同纬度的非洲北部、阿拉伯半岛等地却多呈干旱、半干旱的荒漠景观。

以北京地区为例,其多年平均降水量为580mm,巴黎(566mm)、柏林(587mm)、伦敦(582mm)和马德里(419mm)相差不多(图1-1-1)。这些欧洲地区降水分布均匀,没有明显的旱季,带来的好处是农田灌溉用水不多,大气降水能满足农作物生长对大部分水的需要,许多地方甚至完全不需要灌溉。北京地区6月、7月、8月三个月的降水量占年降水量的3/4以上,而从11月到次年4月的降水量不到全年降水量的1/10。但恰恰是这种降水时间分布格局,保证了作物生长期的降水需求,非作物生长期无效或低效的降水量很少,才有一年二收的降水条件。而上述欧洲地区则无法实现一年二收,主要原因在于从11月到次年4月占总降水50%时间分布在非作物生长期,只能耕种一季作物。

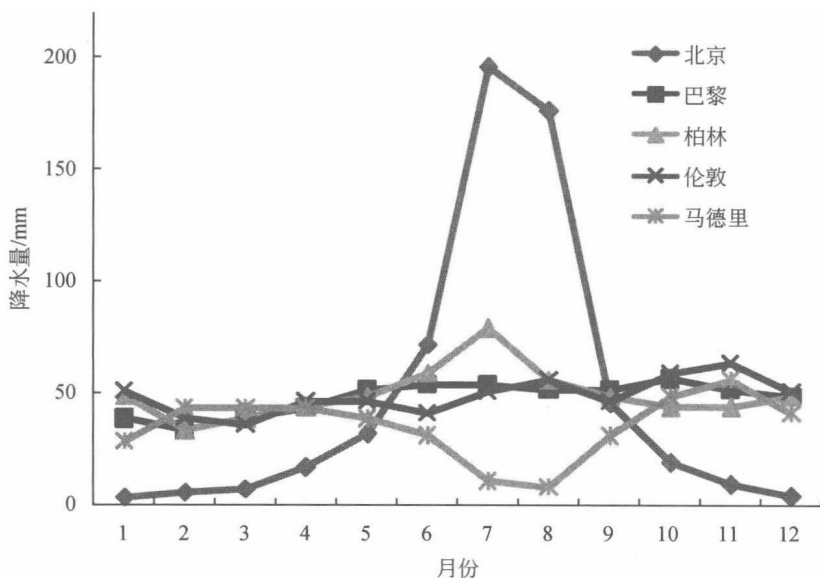


图 1-1-1 世界若干大城市月降水量年内变化过程

三是山区产水量大，有利于水资源调蓄。中国山区多、平原少，山区人口稀少，水资源量丰富，有利于兴建调蓄工程，是主要的调蓄供给区；平原区人口稠密，城市集中，灌区密布，是主要的用水区。全国山丘区多年平均年降水深 769mm，降水量占全国的 85%；平原区多年平均年降水深 343mm，降水量占全国的 15%。在全国水资源总量中，山丘区水资源总量约占 90%，平原区约占 10%。以海河流域为例，截至 2000 年年底，海河流域已建大型水库 34 座，其中山区 31 座，平原水库仅 3 座，总库容 265.5 亿 m^3 。流域内山区大型水库控制流域面积已达 15.8 万 km^2 ，占流域山区总面积的 83.7%，用于调蓄地表径流的兴利库容为 122.0 亿 m^3 ，占山区多年平均径流量的 59.5%。山区调蓄工程的存在支撑了经济社会的发展，密云、官厅水库是首都北京的两大水源地，潘家口、大黑汀水库承担着天津市、唐山市的供水任务，岗南、黄壁庄、岳城、朱庄、西大洋、桃林口水库分别向石家庄、邯郸、邢台、保定、秦皇岛等城市供水。

四是大江大河多，有利于整体调配。中国地形呈三大阶梯状分布，西高东低、面向大洋逐级下降的地形特点，不仅有利于来自东南方向的暖湿海洋气流深入内地，同时也形成了横贯东西的众多大江大河，这些大江大河的分布状态为实现河湖连通提供了有利条件，目前中国已建设或规划建设的连通工程有：南水北调工程、引滦入津工程、引黄济青工程、引江济太、引黄济津济淀、甘肃引洮、引汉济渭、安徽引江入巢济淮、云南滇中引水等，已形成流域和区域水源可靠、河库联调、丰枯相济的水资源配置格局，全面提升水资源调控能力。

五是北方平原地区地下水赋存条件较好。中国平原区多年平均地下水资源为 1765 亿 m^3 ，形成巨大的天然水库，易于开发利用。华北平原是中国乃至世界沉积盆地地下水系统的典型代表，地质条件复杂、人类活动强度、地下水变化和地质环境变异的剧烈程度堪称“世界之最”。由于地表水资源比较匮乏，华北平原地下水是这一地区的主要供水水源，75% 以上的用水需求靠地下水支撑，地下水资源在华北平原可持续发展

中起着重要的支撑作用。虽然地下水超采导致了一系列环境地质问题，如地面沉降、地面塌陷、咸水及海水侵入淡水含水层，以及地下水水质恶化等，但华北平原面积广阔，地下水补给条件优越，是区域水资源重要供给来源，也是有效调蓄降水和应对突发或持续干旱的最可靠水源。

2. 中国水资源条件劣势解析

一是单位陆地国土面积、人均、亩均水资源量少。中国水资源总量是可观的，全球可再生淡水资源每年为 42.7 万亿 m^3 ，陆地面积为 1.34 亿 km^2 ，单位面积淡水资源为 319 mm/a 。中国可再生淡水资源每年为 2.8 万亿 m^3 ，陆地国土面积为 960 万 km^2 ，单位面积淡水资源为 292 mm/a ，相当于全球平均值的 91.5%。由于中国人口众多，单位面积人口密度是全球平均值的 3 倍。因此，人均淡水资源不足全世界的 1/3，仅 2200 m^3 ，居世界第 110 位，而北方地区人均水资源量更少。而陆地国土面积和中国差不多的美国，单位面积淡水资源为 317 mm/a ，美国则由于人口密度仅为中国的近 1/5，因此人均淡水资源约相当于中国的 5 倍。

二是年内年际分布很不均匀。中国是世界上中低纬度降水和河川径流年内集中程度高，年际年内变化大的国家之一。降水量和河川径流量的 60% ~ 80% 集中在汛期，特别是北方地区集中程度更高，天然来水过程与需水过程要求很不协调，绝大多数地区需要通过工程调蓄来满足。水资源的年际变化很大，南方地区最大和最小年降水量一般相差 2 ~ 3 倍，北方地区一般相差 3 ~ 6 倍，河川径流量最大和最小年份可相差 10 倍以上，且往往出现连续丰水年或连续枯水年的情况，水资源开发利用难度大，供需矛盾突出。

三是地区分布不均匀。中国地表水资源量的地区分布趋势表现为南方多、北方少，北方地区面积占全国的 64%，地表水资源量为 4365 亿 m^3 ，占全国的 16%；南方地区面积占全国的 36%，地表水资源量为 22 963 亿 m^3 ，占全国的 84%。中国东西部水资源分布也极不均匀，年径流深的分布由东南的 2000 mm 向西北递减至 5 mm ，其地区分布不均匀性和因地形造成的垂直变化十分显著。十分湿润区面积不到全国的 6%，而其多年平均径流量占全国的 27%；干旱区面积约占全国的 25%，但其多年平均径流量仅占全国的 0.8%。

四是与耕地、矿藏等经济要素分布不匹配。由于中国国土辽阔，各地区之间自然条件存在很大差异，导致水资源与人口、耕地、矿藏等经济要素分布的不协调。长江流域及其以南的珠江流域、浙闽台诸河、西南诸河等流域，耕地和人口分别占全国的 36% 和 54.4%，但水资源总量却占全国的 81%，人均水量为全国平均水平的 1.6 倍，亩均占有量是全国平均值的 2.3 倍；辽河、海滦河、黄河、淮河流域，面积为全国的 18.7%（相当于南方的一半），水资源总量却只为南方 4 片的 10%；特别是海滦河流域尤为明显，人均占有水量为全国平均水平的 16%，亩均为全国平均水平的 14%。中国水资源与矿藏资源也不匹配，规划的神东、晋北、晋东、蒙东（东北）、云贵、河南、鲁西、晋中、两淮、黄陇、冀中、宁东和陕北 13 个大型煤炭基地，除云贵基地和蒙东基地人均水资源量高于全国平均水平外，海河区、黄河区和淮河区的煤炭基地的人均

水资源量都远低于全国平均水平。

五是西南、黄河等地区水资源开发难度大。中国西南地区跨青藏高原、云贵高原、四川盆地，地形变化复杂，高原、山原、高山、低谷、盆地相互交错分布，形成了多层次和垂直性十分明显的复杂地貌形态，很多地区自然条件恶劣，地区内城市之间距离长，基础设施、经济条件和社会人文条件薄弱，造成水资源开发利用困难。

1.1.3 水资源条件的国际对比分析

将中国水资源情况与俄罗斯、加拿大、美国、巴西和澳大利亚进行比较（表 1-1-1）。在水资源自然禀赋方面，中国的降水量和水资源总量居 6 个国家中的第四位；但是，人均水资源占有量大大低于世界平均水平。

表 1-1-1 世界各主要国家水资源情况对比

项目	中国	俄罗斯	加拿大	美国	巴西	澳大利亚
降水量/mm	648	575	680	760	1000	470
水资源总量/亿 m ³	28 412	44 886	29 009	29 702	69 744	4 920
人均水资源/(m ³ /人)	2 350	31 410	103 607	9 912	46 808	18 743
年水资源开发利用量/km ³	596	117	45	560	36	15
水资源开发利用率/%	21	3	2	23	1	4
灌溉面积比例/%	52.0	4.0	2.0	11.0	6.0	4.0
生活、工业、农业用水比	8 : 20 : 72	17 : 60 : 23	18 : 70 : 12	13 : 45 : 42	22 : 19 : 59	65 : 2 : 33

资料来源：中国可持续发展总论，2007 年

在水资源的用途方面，中国灌溉面积在大国中的比例最高，是其中最小者加拿大的 26 倍；生活用水、工业用水、农业用水之比表明中国在大国中农业用水比例最大，是其中最小者加拿大的 6.0 倍。由于人口众多、灌溉面积比例大，中国水资源开发利用率与美国相当，而远远高于其他大国。由此可见，中国水资源在与同类型大国对比中呈现出水资源总量相对丰沛，但人均水资源量过低、单位陆地国土面积上水资源量有限，水资源开发利用强度大，农业灌溉用水需求高等显著特点。

在众多国家中，美国与中国在水资源条件方面有很多相似之处：一是水资源总量相近，美国多年平均水资源量为 29 702 亿 m³，中国是 28 412 亿 m³；二是陆地国土面积相近，美国陆地国土面积约为 963 万 km²，中国陆地国土面积约 960 万 km²；三是由于纬度接近，降水都有时空分布不均衡的特点。

就用水来看，1950 ~ 1980 年美国用水总量快速增长，从 2527 亿 m³ 迅速增长到 6143 亿 m³，1980 年是美国用水最高峰，从 1980 年开始美国总用水量进入稳定阶段，用水结构也进入相对稳定阶段。随着美国水资源开发利用工程建设任务的基本完成，以及人民生活水平的进一步提高和生态环境保护意识的增强，美国各级政府对水资源保护工作十分重视，开始把水资源保护与节约用水作为各级水资源管理机构的重要任务。

中国用水总量整体上经历了一个快速增长的过程，1949 ~ 2010 年用水总量从 1030

亿 m^3 增长到 6022 亿 m^3 。由于人口众多, 虽然受到资源胁迫, 但是为了保障社会经济的平稳发展, 用水总量还将持续上升。据相关预测, 中国在 2040 年左右达到用水高峰 7150 亿 m^3 , 随后中国进入后工业化阶段, 产业结构趋向合理化, 总用水量才能出现趋于平稳甚至出现逐渐减少的趋势。

1.2 中国水资源问题演化与归因分析

水资源问题存在形式是多种多样和错综复杂的, 关系到人类经济社会的存在、发展和演变。就中国而言, 主要存在水资源短缺、水环境恶化、水土流失严重等问题。结合中国水资源问题产生的新情况, 对传统水资源条件认识进行修正, 并非要否认中国水资源禀赋所存在的缺陷和问题, 而是想通过对水资源基础条件认识的科学引导, 促进对中国水资源问题有一个客观的判断, 在治理方向上明确加强人的自我约束和自我管控是解决中国水资源问题的关键。而中国传统的治水模式过于强调对于“先天不足”条件的弥补, 从而使“后天失调”的问题越来越严重。

1.2.1 中国传统水资源问题

“水多、水少、水脏、水浑”是中国传统四大水问题的集中表述, 其中“水多”是洪水的问题, 其余三方面均属于水资源领域的问题; 水少的问题不仅表现在经济社会供水不足方面, 同时也表现为竞争条件下的生态缺水问题, 因此中国传统的水资源问题主要包括以下四个方面。

(1) 水资源短缺。中国水资源短缺主要表现在两个方面: 一是河道外经济社会供水不足造成的缺水, 直接影响居民生活质量和正常经济社会活动的合理用水需要; 二是为了弥补供水不足和保障发展, 许多地区以牺牲生态环境为代价, 过度开发水资源, 通过超采地下水和挤占河道内生态环境用水而形成的不合理供水量。根据《全国水资源综合规划 (2010 年)》成果, 多年平均因供水不足而不能满足的河道外合理用水需求为 189 亿 m^3 , 超采地下水和挤占河道内生态环境用水形成不合理的供水为 347 亿 m^3 , 全国总缺水量为 536 亿 m^3 。因为干旱和缺水, 中国工业生产、农业生产和城乡人民生活等每年都要遭受巨大损失和严重影响。近 10 多年来, 全国每年受旱面积都在 0.2 亿 ~ 0.27 亿 hm^2 , 每年由于缺水而少生产粮食 600 亿 ~ 700 亿 kg ; 在全国 640 个城市中, 缺水城市达 300 多个, 其中严重缺水城市 114 个, 日缺水量达 1600 万 m^3 ; 全国每年因缺水造成的直接经济损失达 2800 亿元。

(2) 水环境恶化。根据《2009 年全国水资源公报》数据信息, 在评价的全国 16.1 万 km 的河流水质中, I 类水河长占 4.6%, II 类水河长占 31.1%, III 类水河长占 23.2%, IV 类水河长占 14.4%, V 类水河长占 19.3%。主要污染项目是高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、五日生化需氧量。在对全国有水质监测的 71 个湖泊的 2.7 万 km^2 水面评价中, 全国水质为 I 类的水面占评价水面面积的 0.8%, II 类占 38.0%, III 类占 19.6%, IV 类占 14.8%, V 类占 12.8%, 劣 V 类占 14.0%。在上述湖泊营养化评价中, 贫营养化湖泊有 1 个, 中营养化湖泊有 24 个, 轻度富营养化湖泊有 27 个, 中度富

营养化湖泊 19 个。在全国监测评价的 3411 个水功能区中, 全国水功能区达标率为 47.4%, 其中一级水功能区 1171 个, 达标率为 56.3%, 二级水功能区 2240 个, 达标率为 42.8%。

(3) 水土流失问题。中国是世界水土流失最严重的国家之一, 其范围遍及全国各地。水土流失的成因复杂, 危害严重。根据全国水土流失遥感普查数据 (2000 ~ 2001 年), 中国水土流失总面积为 356.9 万 km^2 , 占国土总面积的 37.2%。其中, 水蚀面积 161.2 万 km^2 , 风蚀面积 195.7 万 km^2 ; 按侵蚀强度分, 轻度、中度、强度、极强度和剧烈侵蚀的面积分别为 163.8 万 km^2 、80.9 万 km^2 、42.2 万 km^2 、32.4 万 km^2 和 37.6 万 km^2 。随着中国综合国力的提升, 国家制定了《全国生态环境建设规划》和《全国水土保持生态环境建设规划》, 全面加大了生态治理与保护投入, 启动实施了退耕还林、退牧还草、能源替代、生态移民等一大批有利于生态改善的工程, 并逐步增加了防治水土流失方面的直接投入, 在长江、黄河上中游、东北黑土区、珠江上游等水土流失严重地区开展了重点治理。据 2003 年中国水土保持公告, 截至 2003 年年底中国东部地区共完成土壤侵蚀治理面积 9.7 万 km^2 , 重点小流域累计治理面积达 3.9 万 km^2 , 中部地区共完成土壤侵蚀治理面积 38.9 万 km^2 , 重点小流域累计治理面积达 13.8 万 km^2 , 西部地区共完成土壤侵蚀治理面积 41.1 万 km^2 , 重点小流域累计治理面积达 17.9 万 km^2 。

(4) 水生态系统退化。受经济社会用水快速增长和土地开发利用等因素的影响, 中国水生态系统退化严重, 江河断流、湖泊萎缩、湿地减少、水生物种减少和生境退化等问题突出, 淡水生态系统功能整体呈现“局部改善、整体退化”的态势。调查评价全国面积大于 10 km^2 湖泊中, 142 个萎缩, 面积减少 9574 km^2 , 蓄水量减少 516 亿 m^3 ; 94 个干涸, 面积减少 4327 km^2 ; 萎缩和干涸面积合计减少约 15%; 主要发生在长江、西北和海河流域。北方地区地下水普遍严重超采, 全国年均超采 200 多亿 m^3 , 现已形成 160 多个地下水超采区, 超采区面积达 19 万 km^2 , 引发了地面沉降和海水入侵等环境地质问题。

1.2.2 中国水资源问题新变化

随着经济社会发展和环境演变, 水资源条件和驱动与压力因子也随之变化, 新时期中国水资源问题出现了一些新的发展趋势, 突出表现在以下四个方面。

1. 人类活动影响加剧, 水资源系统脆弱性和不确定性增强

人类活动和气候变化显著改变了水资源形式。高强度人类活动显著改变水资源开发与利用状态, 一是人工取用水形成新的水循环路径; 二是介质类要素改变影响水循环过程, 打破了原有天然水循环系统的运动规律和平衡。社会取、耗、排水循环通量不断增加, 甚至会破坏自然主循环的基本生态和环境服务功能, 如在海河流域, 现状水资源开发利用已超过 100%, 即侧支水循环通量已超过了自然主循环的一次性径流通量, 致使流域内呈现出有河皆干、有水皆污、地下水超采漏斗遍布的严峻态势。气候变化影响了水资源数量与时空分布格局。许多观测资料表明, 地球气候正经历一次