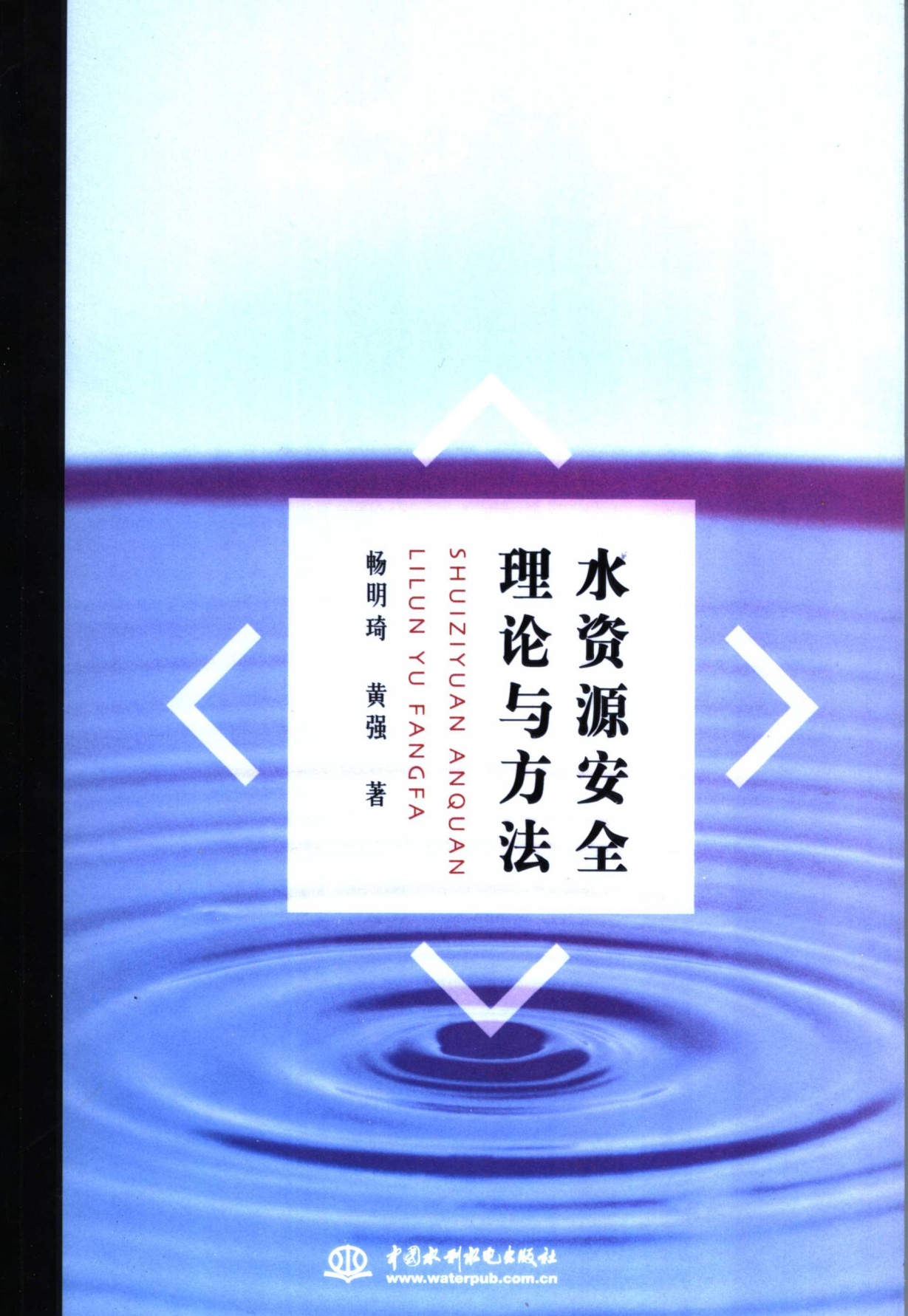




水资源安全 理论与方法

SHUIZIYUAN ANQUAN
LILUN YU FANGFA

畅明琦 黄强 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



水资源安全 理论与方法

畅明琦 黄强 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书全面系统地阐述了水资源安全理论与方法,内容包括:中国水资源安全形势、水资源安全研究动态、水资源问题安全化、水资源安全的基本理论、水资源安全的性态、水资源安全的机理、水资源安全评价、水资源安全的监测与预警、水资源安全控制、突发性的水资源安全问题与应急、水资源安全保障体系等。

本书可供水文水资源、水利工程、环境科学、管理科学等专业的大学本科生、研究生、教师学习、研究,也可供广大科技工作者参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

水资源安全理论与方法/ 畅明琦, 黄强著. —北京:
中国水利水电出版社, 2006
ISBN 7-5084-4152-4

I. 水... II. ①畅... ②黄... III. 水资源管理
IV. TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 129795 号

书 名	水资源安全理论与方法
作 者	畅明琦 黄强 著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 16.5 印张 314 千字
版 次	2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	45.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源，是经济社会可持续发展和维系生态平衡、保持环境优美的重要基础。任何国家在发展过程中都要消耗大量的水资源，而且每年的消耗量随着经济的发展而不断增长。同时要求水资源系统提供越来越多的水资源和接受越来越多的废物与污染，使水资源生产力衰退甚至崩溃成为可能。据 2006 年 3 月 22 日在墨西哥城第四届世界水资源论坛上对外公布的《世界水资源开发报告》称：全球用水量在 20 世纪增加了 6 倍，增长速度是人口增速的两倍，有 11 亿人缺水，26 亿人无法保证用水卫生；淡水物种和生态系统的多样性正在迅速衰退，其退化速度大于陆地和海洋生态系统；90% 的自然灾害与水有关；到 2030 年全球工农业及城市用水供需矛盾更趋紧张，水资源安全问题日趋恶化。我国也是如此，水资源安全已成为我国经济社会发展和生态环境建设的严重制约因素。

水资源作为国家生存与发展的基本保障条件，其安全问题已成为人们关注的热点。水资源安全是国家安全的重要组成部分，是国家政治安全、经济安全、社会安全、生态安全、环境安全、粮食安全等重要的基础。国内外关于这方面的研究起步较晚，虽然取得一定的成果，但是关于水资源安全的研究还是定性研究的多，定量研究的少；相关的多，直接的少，特别是对水资源安全含义与经济属性认识很不统一，没有一个较为系统的理论与方法。基于此，本书应用现代系统理论、安全理论、弹塑性理论、预警理论、控制理论、风险理论以及自然资源学原理进行了水资源安全理论与方法的研究。

本书分十二章。第一章对中国水资源安全形势进行分析。第二章从对安全、安全问题、安全化等基本概念入手，探讨了水资源问题安全化及其本质。第三章运用自然资源学与安全原理，从哲学角度明确提出水资源安全的主体、基础及内涵。第四章系统地提出水资源安全的基本理论与研究内容。第五章运用现代系统理论进行了水资源安全的性态研究。第六章进行水资源安全的机理研究。水资源安全的机理研究国内外目前还是空白，作者从水资源安全系统“人”的核心地位与作用出发，运用弹塑性理论，创造性地提出水资源安全的

弹性和塑性概念与水资源安全的机理，在假设水资源安全系统是弹塑性问题的前提下，提出水资源安全系统的安全状态变化模式，即弹性状态、弹塑性状态、塑性极限状态，以及水资源系统完全破坏状态模式及其数学描述。第七章以生态平衡、安全力平衡、水资源安全系统运动平衡的理念，建立了水资源安全评价指标体系，并基于 Vague 集理论建立了水资源安全评价与预警模型。第八章运用预警理论，介绍了水资源安全预警的基本思想、运行机制、预警方法。第九章从控制论与大系统控制论入手，提出水资源安全控制的基本原理与水资源安全系统的协调控制。第十章从突发性这一公共安全事故的特征出发，介绍了突发性水资源安全问题与应急，并对突发性水污染的水资源安全进行了风险分析。第十一章提出了我国水资源安全的基本目标，构建了实现目标的保障体系。第十二章结合我国能源基地——山西，对水资源安全进行了评价与预警研究。将 Vague 集理论应用于水资源安全评价研究中；给出了水资源安全级别及阈值，并将安全标准划分为五级，即良好、安全、临界、不安全、危险，与此相对应警灯分别显示蓝灯、绿灯、黄灯、橙灯、红灯，对山西各地市的水资源安全状况进行了评价及预警。

本书是作者近年来研究工作的系统总结，同时参考了许多国内外文献和研究成果，在此对所涉及的专家学者表示衷心的感谢！

水资源安全研究涉及面十分宽广，是一个非常复杂的系统工程问题，所需的基础理论和专业知识是多学科交叉性的。由于作者水平有限，书中难免存在一些疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

作者

2006 年 9 月于西安理工大学

目 录

前言

第一章 中国水资源安全形势	1
第一节 水资源开发利用形势	1
第二节 水资源开发利用程度	4
第三节 水资源处于衰退境地	4
第四节 水资源安全环境恶化	5
第五节 未来中国水资源安全趋势	7
第二章 水资源安全研究动态	10
第一节 国内外资源安全研究动态分析	10
第二节 国内外水资源安全研究动态分析	13
第三章 水资源问题安全化	19
第一节 安全、安全问题、安全化	19
第二节 水资源问题与水资源安全问题	21
第三节 水资源问题安全化	23
第四节 水资源问题安全化的本质	25
第四章 水资源安全的基本理论	28
第一节 资源安全的基本概念	28
第二节 水资源安全概念的评述	31
第三节 水资源安全的主体	34
第四节 水资源安全的基础	36
第五节 水资源安全的概念	38
第六节 水资源安全不是水安全	46
第五章 水资源安全的性态	51
第一节 水资源安全系统是一个开放的巨系统	51
第二节 水资源安全系统具有利己性、针对性、公共性	54
第三节 水资源安全系统具有累积效应	55

第四节	水资源安全系统具有自组织的系统	61
第五节	水资源安全系统具有突变性	64
第六章	水资源安全的机理	68
第一节	“人”对水资源安全系统的作用	68
第二节	水资源系统的弹性与塑性	70
第三节	水资源安全系统的安全性	73
第四节	水资源安全系统安全一危险性	90
第七章	水资源安全评价	95
第一节	综合评价方法概述	95
第二节	资源安全评价综述	104
第三节	水资源安全评价综述	107
第四节	水资源安全评价指标体系设计	117
第五节	水资源安全评价指标权重分析	121
第八章	水资源安全的监测与预警	131
第一节	水资源安全监测的概念与发展现状	131
第二节	水资源安全监测的内容与支撑技术	133
第三节	水资源安全预警的研究进展	136
第四节	水资源安全预警的概念与基本思想	142
第五节	水资源安全的预警机制	144
第六节	水资源安全预警的方法与警限的划分	148
第九章	水资源安全控制	152
第一节	安全控制论的发展	152
第二节	水资源安全系统控制面临的困难	156
第三节	水资源安全控制的基本原理	158
第四节	水资源安全系统的协调控制	163
第十章	突发性的水资源安全问题与应急	170
第一节	突发性水污染问题的概念	170
第二节	突发性水污染的水资源安全风险分析	172
第三节	突发性水污染事故的对策	180
第四节	突发性水污染事故的预防措施	182
第五节	突发性水污染事故的应急措施	183
第十一章	水资源安全保障体系	188
第一节	水资源安全的基本目标	188

第二节	水资源安全的法律保障	193
第三节	水资源安全的制度与管理保障	195
第四节	水资源安全的科技保障	198
第五节	水资源安全的经济保障	198
第十二章	山西能源基地水资源安全评价与预警.....	200
第一节	自然地理与社会经济概况	200
第二节	水资源基本情况	202
第三节	水资源开发利用现状分析	207
第四节	山西省水资源安全的形势	219
第五节	山西能源基地水资源安全评价	224
第六节	水资源安全评价标准的确定与预警	237
参考文献及参考资料		241

第一章 中国水资源安全形势

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源，是经济社会可持续发展和维系生态平衡、保持环境优美的重要基础。任何国家在发展过程中都要消耗大量的水资源，而且每年的消耗量随着经济的发展而不断增长。同时要求水资源系统提供越来越多的水资源和接受越来越多的废物与污染，使水资源生产力衰退甚至崩溃成为可能。据 2006 年 3 月 22 日在墨西哥城第四届世界水资源论坛上对外公布的《世界水资源开发报告》称：全球用水量在 20 世纪增加了 6 倍，增长速度是人口增速的两倍，有 11 亿人缺水，26 亿人无法保证用水卫生；淡水物种和生态系统的多样性正在迅速衰退，其退化速度大于陆地和海洋生态系统；90% 的自然灾害与水有关；到 2030 年全球工农业及城市用水供需矛盾更趋紧张，水资源安全问题日趋恶化。

我国也是如此，水资源的问题已成为我国经济社会发展和生态环境建设的严重制约因素。因此，作为国家生存与发展的基本保障条件，水资源安全的问题成为人们关注的核心。

第一节 水资源开发利用形势

一、供用水量的变化

新中国成立初期，我国水资源开发利用基础设施十分薄弱，供水设施基本以小型分散为主，全国仅有大中型水库 20 多座，1949 年总供水量仅 1030 亿 m^3 。新中国成立后，党和国家对水利事业高度重视，兴建了大量的水资源利用工程，对防御洪涝灾害、保证农业持续稳定增产，为工业及城镇生活供水、解决边远山区和牧区的居民和牲畜饮水困难，以及保护生态环境等方面做出了重要贡献。截至 2000 年，全国已建成大中小型水库 8 万座，塘坝等蓄水工程 585 万座，蓄水工程总库容达 5754 亿 m^3 ，兴利库容 3121 亿 m^3 ；建成引水工程近 84 万处，总引水规模达 9.87 万 m^3/s ；提水工程 30 多万处，提水规模 3.64 万 m^3/s ；此外，全国有地下水生产井 495 多万眼，供水规模是 1949 年的 20 倍左右。

全国现状供水设施年供水能力 6459 亿 m^3 ，是 1949 年的 5 倍，其中地表水供水设施年供水能力 5331 亿 m^3 ，占总供水能力的 83%，地下水供水设施

年供水能力 1128 亿 m^3 ，占 17%。北方地区地表水供水能力约占其总供水能力的 66%，地下水供水能力约占 34%；南方地区以地表水供水为主，占其总供水能力的 95%，地下水供水能力不足其总供水能力的 5%。

1949~1980 年，全国供水量从 1031 亿 m^3 增加到 4408 亿 m^3 ，增加 3377 亿 m^3 。供水量年均增长率 20 世纪 50 年代为 7.1%，60~70 年代为 3%~5%。1980~2000 年，全国供水量从 4408 亿 m^3 增加到 5633 亿 m^3 ，增加 1225 亿 m^3 ，年均增加 61 亿 m^3 ，供水量年均增长率 1.23%，与同期人口增长率基本持平，与同期 GDP 增长相比，供水弹性系数为 0.114。供水量变化趋势是：南方地区供水量增长速度明显快于北方地区，供水量增长以地表水为主，其增长量占总增长量的 91%。北方地区地表水供水量略有减少，地下水供水量则显著增加，其年均增长率为 2.8%，尤以东中部地区增长最为显著。

从用水情况的变化看，1949 年全国总用水量仅 1031 亿 m^3 ，人均用水量 187 m^3 ；1980 年为 4408 亿 m^3 ，人均用水量 448 m^3 ；2000 年为 5633 亿 m^3 ，人均用水量 446 m^3 。1949~1959 年全国用水增长率为 7.1%；1959~1965 年为 4.3%；1965~1980 年为 3.2%；1980~1993 年为 1.3%；1993~2000 年为 1.1%，1980~2000 年全国总用水量仍处于增长态势，2000 年用水量比 1980 年用水量增加 1225 亿 m^3 ，人均用水量基本维持在 450 m^3 左右。但从 1949~2000 年全国总用水量变化趋势来看，年均增长率趋势减缓。在用水量增长中，工业和生活用水量增长迅速，占总用水增长量的 88%，呈显著的增长态势，工业和生活用水量的比重不断加大，由 1980 年的 15% 提高到 2000 年的 32%；农业用水量则处于缓慢增长态势，而用水量比重不断下降，由 1980 年的 85% 下降到 2000 年的 68%。1980~2000 年，我国居民生活水平大幅提高，城镇化进程加快，居住环境不断改善，生活用水增长迅速，年均增长率为 4.0%，其中城镇生活用水量年均增长率为 7.2%。东部地区南方省区由于经济发展快、城镇人口增长迅速，生活用水增长最快；西北地区由于经济发展相对较慢，生活用水增长较慢。工业用水增长迅速，全国年均增长率为 5.3%。西南地区由于工业基础较差，用水基数小，工业用水增长速度最高，年均增长率 6.8%；东部地区南方省区由于工业发展迅速，工业用水年均增长率达 5.8%，而东部地区北方省区尽管工业发展也较快，但因水资源短缺，工业用水年均增长率仅 1.9%。全国农田灌溉面积不断扩大，同时农业节水措施得到有效落实，使得农业用水量缓慢增长。东部地区北方省区由于水资源短缺、南方省区由于农田灌溉面积减少，因此东部地区农业用水量明显减少。中部地区和西部地区由于农田灌溉面积增加较多，农业用水量缓慢增长。从 1980~2000 年各流域区用水量变化情况看，长江区用水量增加最多，增加了 504 亿 m^3 ，占全国增量的 41%；松花江、珠江和东南诸河区用水量分别增加了 190 亿 m^3 ，164 亿 m^3 和

102 亿 m^3 ；海河和西北诸河区仅分别增加 6 亿 m^3 和 16 亿 m^3 。从增长率看，松花江和西南诸河区最快，年均增长率在 3.0% 以上；东南诸河、辽河、长江区增长速度也较快，年均增长率在 1.5%~2.0%；海河和西北诸河区增长速度最慢，年均增长率在 0.1% 左右。

与同期比较先进的工业化国家相比较，我国供用水的增长速度是其同期的 3.3~1.9 倍，1980~2000 年我国的用水量猛增 27.8%，而同期工业化国家和地区用水量平均增长仅为 13% 左右。也就是说 20 世纪 80 年代以来，我国的经济快速增长是以自然资源的快速消耗为代价的。

二、用水水平变化

自 20 世纪 80 年代至今，我国人均用水量基本维持在 450 m^3 左右的水平，2000 年全国人均用水量 446 m^3 ，以农业为主导产业的西北诸河区人均用水量最大，达 2093 m^3 ；经济发达的太湖流域和农业比重较大的松花江区次之，分别为 813 m^3 和 619 m^3 ；淮河区和海河区最小，分别为 293 m^3 和 318 m^3 。全国万元 GDP 用水量从 1980 年的 3501 m^3 下降至 2000 年的 579 m^3 ，下降了 83.3%；东部经济发达地区万元 GDP 用水量一般较小，天津、北京、上海、山东、辽宁等地一般在 300 m^3 以下，而西部地区的新疆、宁夏、西藏、广西、内蒙古、青海、甘肃等远高于全国平均值，在 1200~3500 m^3 范围内，其中新疆、宁夏分别为 3434 m^3 、3266 m^3 。全国城镇生活用水指标从 1980 年的 123L/(人·日) 增加到 2000 年的 212L/(人·日)，提高了近一倍，南方地区普遍高于北方地区，其中上海、广东和海南高于 300L/(人·日)，山东、山西、内蒙古、河南和西藏低于 150L/(人·日)。农村居民生活用水指标由 51L/(人·日) 增加到 66L/(人·日)，其中上海、浙江、广东、广西和海南高于 100L/(人·日)，华北和西北省区大多低于 50L/(人·日)。一般工业万元产值用水量因工业结构的不断调整以及节水水平和用水管理水平的不断提高，由 271 m^3 降至 58 m^3 ，减少了近 80%，其中天津、上海和北京低于 30 m^3 ，西藏、江西、广西和青海大于 150 m^3 。农田灌溉亩均综合用水量由 588 m^3 降低到 476 m^3 ，减小了近 20%，其中河南、天津、河北、山东、山西、重庆低于 300 m^3 ，宁夏、海南、广西、福建和广东高于 800 m^3 。单方水 GDP 产出由 2.9 元增加至 17 元，提高近 5 倍，其中天津、北京、上海、山东、辽宁和浙江超过 30 元，新疆、宁夏、西藏、广西、内蒙古、青海、甘肃和江西少于 10 元。

虽然近 20 年来我国水资源利用水平和效率有所提高，但总体来看，全国平均单方水 GDP 产出仅为世界平均水平的 20%；单方水粮食增产量不足 1kg，而世界先进水平已在 2.6kg 以上；工业万元产值用水量为发达国家的 5~10 倍；一般工业用水复用率为 60%~65%，而先进国家已达 75%~85%；全国

有 84% 的城市其供水管网的漏失率在 10%~30% 之间, 约有 7% 的城市供水管网的漏失率超过了 30%。用水的浪费更加剧了水资源的短缺, 威胁着水资源的安全。

第二节 水资源开发利用程度

全国水资源现状开发利用率为 18%, 北方地区平均为 45%, 南方地区平均为 12%。海河、黄河和淮河区当地水资源开发利用率均超过 50%, 其中海河区为 101%, 海河南系和北系分别达 123% 和 102%; 黄河和淮河区分别为 76% 和 53%; 辽河和西北诸河区水资源开发利用率分别为 40% 和 41%, 其中辽河流域为 66%; 松花江、长江、珠江和东南诸河区水资源开发利用率为 13%~22%。全国地表水资源开发利用率为 15%, 北方地区为 36%, 其中黄河、海河、淮河和西北诸河区当地地表水资源开发利用率达到 67%、57%、47% 和 40%。南方地区为 12%, 而太湖流域高达 83%。北方平原地区浅层地下水开采率为 43%, 开发利用程度较高, 其中, 海河平原区浅层地下水开采率达 113%, 海河南系达 134%, 海河北系为 104%; 辽河和黄河平原区浅层地下水开采率分别为 74% 和 49%; 松花江、淮河和西北诸河区分别为 36%、33% 和 16%, 其中淮河区山东半岛达 83%。

根据 2000 年的实际供用水量 and 第二次全国水资源评价的可利用量, 折算成相应的供水口径, 我国 2000 年的一次性供水量相当于水资源可利用总量的 46%。北方松花江、辽河、海河、黄河和淮河一次性供水量合计相当于其水资源可利用总量的 70%, 西北诸河区达 90%, 大部分地区已接近、部分地区已超过其合理开发的极限。海河区 2000 年一次性供水量相当于其水资源可利用总量的 133%, 淮河、黄河和辽河区分别为 95%、86% 和 57%, 西北诸河区内陆河流域、沂沭泗、山东半岛和辽河流域分别达 113%、105%、93% 和 88%。

由此看出, 全国大部分地区水资源开发利用程度达到与超过国际水资源开发利用的警戒线, 特别是北方地区, 其水资源开发利用甚至是掠夺性的, 水资源安全面临着极其严重的考验。

第三节 水资源处于衰退境地

一、水资源量的衰退

社会经济的发展, 人类活动的加剧, 使得我国各地气候和下垫面状况较以

往均有显著的不同,因而水资源数量也发生了一定的变化。对比全国第二次与第一次水资源评价结果,全国水资源总量变化不大,北方地区水资源量减少明显,以黄河、淮河、海河和辽河区最为显著,降水量减少6%,河川径流量减少17%,水资源总量减少12%,其中海河区降水量减少10%、河川径流量减少41%、水资源总量减少25%;淮河区山东半岛降水量减少16%、河川径流量减少53%、水资源总量减少34%,使水资源安全问题更趋于紧张。

二、水资源质的衰退

全国工业和城镇废污水排放量从1949年20多亿t增加到1980年的239t,年增长率为8.6%,2000年全国工业与城镇生活废污水量增加到747亿t。1980~2000年,全国城镇生活污水排放量由58亿m³增加到232亿m³,年均增长率达7.1%;工业废水由181亿m³增加到515亿m³,年均增长率达5.4%。1980~1990年,全国废污水排放量年均增长率约为5.9%,废污水排放量年均增长约19亿m³;1990~2000年,全国废污水排放量年均增长率约为5.8%,废污水排放量年均增长约32亿m³。污废水排放增长率是同期工业化国家的四倍左右,虽然同期我国废污水处理量也有较大程度的增长,但远未满足处理废污水排放量的要求。我国废污水排放量的快速增长以及较低的处理率和处理程度对水资源质量造成了严重的污染,水资源质量严重衰退,可利用量减少,对水资源安全构成了严重的威胁。

第四节 水资源安全环境恶化

一、水体功能退化或丧失

由于废污水的大量排放,使得地表和地下水体污染十分严重。在全国第二次水资源评价的约29万km河长中,有34%的河长河流水质劣于Ⅲ类,其中太湖流域和淮河、海河区接近一半的评价河长水质劣于Ⅴ类,水污染十分严重。在84个进行富营养评价的湖泊中,39个湖泊为中营养状态,45个湖泊为富营养状态。评价的636座水库以中富营养状态为主。在199万km²的平原区中,浅层地下水水质为Ⅳ、Ⅴ类的面积占60%,其中,由于人为污染造成地下水水质变差的约占55%。由于水资源总体质量的不断下降,部分水体的使用功能部分或全部丧失,仅点源引起就有33%的水功能区污染物入河量超过其纳污能力。全国水功能区达标比例仅为56%,其中,海河、淮河、松花江和辽河区水功能区水质现状与目标要求存在较大差距,水功能区达标比例均在40%以下。在全国第二次水资源评价的1073个地表水和115个地下水集中饮

用水水源地中, 不合格比例分别为 25% 和 35%, 其中全国 621 个地表水和 91 个地下水重点水源地中, 毒性物质超标的比例分别为 38% 和 20%。

二、河道断流

我国部分河流受人类活动影响强烈, 其河流实际流量明显减少甚至断流, 影响或破坏了河道内的生态环境, 同时造成河道萎缩。据对全国主要江河近 600 个代表性河流控制水文站资料分析, 有 76% 测站的径流过程不同程度地受到人类取用水等活动的影响, 其实测径流量与天然径流量相比明显减小, 河流水文情势变化显著, 北方地区最为突出。北方大部分水文测站 20 世纪 80 年代以后的实测径流量与天然径流量比例明显低于 80 年代以前的比例, 且来水越枯, 比值越小, 供用水矛盾十分尖锐。黄河、淮河、海河和辽河区 1980~2000 年系列多年平均实测径流量占天然径流量的比例一般为 50%~80%, 部分河流(段)为 20%~60%, 个别河流(段)仅 10%, 有的河段甚至常年干涸。据对黄河、淮河和海河区的主要河流历年实测月径流量资料的分析, 各年河流“干化”月数总体呈明显增加趋势, 黄河利津站从 60 年代的 4 个月增加到 90 年代的 56 个月。北方地区调查的 514 条主要河流中, 2000 年有 60 条河流发生断流, 断流河流的总长度 2.24 万 km, 占调查河流的 17%, 断流河段总长度 7996km, 占断流河流总长度的 36%。由于断流, 导致河流功能衰减或基本丧失, 河流生态系统、河口生态系统、内陆河末端尾闾湖等水生生态系统的恶化和破坏。

三、湖泊萎缩

20 世纪 50 年代以来, 我国湖泊萎缩趋势比较明显。现有湖泊面积与 50 年代的 105479km² 相比, 减少了 14767km², 约占 50 年代湖泊面积的 14%。在发生萎缩的湖泊中, 干涸湖泊 417 个, 干涸面积 5280km², 占湖泊减少总面积的 36%。全国面积大于 10km² 的湖泊中有 229 个湖泊发生萎缩, 面积减少 13776km², 其中干涸湖泊 89 个, 干涸面积 4289km², 其干涸面积分别占总湖泊干涸面积的 59% 和 34%, 发生萎缩但未干涸的湖泊有 140 个, 面积总计减少 9487km², 萎缩了 24%, 储水量减少约 517 亿 m³, 占 50 年代这些湖泊储水量的 21%; 其中淡水湖泊萎缩面积占萎缩总面积的 82%, 咸水湖和盐湖萎缩面积分别占 12% 和 6%。

四、湿地退化

20 世纪 50 年代以来, 全国湿地面积共减少了 1350hm², 减少了 26%。围垦等不合理的水土资源开发是湿地面积萎缩的主要原因。50 年代以来, 全国

共围垦开发各类天然湿地的面积近 1100 万 hm^2 ，占湿地面积减少的 81%。其中三江平原、新疆内陆河区、长江中下游地区开发利用的沼泽湿地分别约为 337 万 hm^2 、200 万 hm^2 和 130 万 hm^2 ；沿海地区围垦各类湿地达 119 万 hm^2 ，其中 81% 的湿地改造成农田，19% 用于盐业生产；另有城乡工矿用地 200 多万 hm^2 。华北、西北和东北部分地区除围垦开发导致湿地减少外，随着生活和生产用水大幅度增加，水资源的过度开发挤占了生态用水，使得流入湿地的水量减少或引起地下水位下降，导致部分湿地萎缩，如新疆博斯腾湖的沼泽湿地芦苇面积由 20 世纪 60 年代中期的 400 km^2 减少到目前 200 km^2 ，减少了 50%。

五、地下水超采致使地陷地裂

我国地下水开发利用程度普遍较高，特别是北方地区，在总供水量中占相当大的比例。由于许多地区的开采量超过了地下水可开采量，导致地下水水位持续下降，形成区域性的地下水超采区。2000 年全国地下水超采区总面积近 19 万 km^2 ，累计超采量已达 1531 亿 m^3 ，2000 年超采量约为 100 亿 m^3 。由于地下水超采造成：①地下水水位持续下降并形成区域降落漏斗，华北平原约 7 万 km^2 的面积地下水位低于海平面，华北、东北和西北部分区域地下水位下降，使得平原或盆地湿地萎缩或消失，地表植被遭到破坏，局部地区荒漠化加剧，生态环境退化。②地面沉降，截至 2000 年，全国地面沉降总面积超过 6 万 km^2 。天津市地区沉降面积约 8000 km^2 ，最大累积沉降量达 3140mm；江苏省苏锡常地区沉降量大于 600mm 的面积达 1350 km^2 。地面沉降中心累积沉降量超过 2000mm 的城市主要是天津、上海、沧州、西安、太原等城市。③地面塌陷。据调查由于地下水超采造成全国共发生地面塌陷已超过 2500 多处，总面积超过 2300 km^2 ，最大塌陷深度超过 30m，其中由于地下水过量开采导致的地面塌陷估计约占总塌陷面积的 30%。④地裂。据统计，由于地下水超采造成全国有地裂缝近 6000 条，分布面积超过 1100 km^2 。⑤海水咸水入侵。由于地下水超采引起的海水入侵总面积超过 1500 km^2 ，咸水入侵面积约 1163 km^2 。

另外，由于人类活动的加剧，造成水资源安全系统水土流失、土壤盐渍化、林草地退化、土地沙化等，使水资源安全的良性循环系统以及健康的自组织系统遭受严重的破坏，水资源安全系统面临崩溃。

第五节 未来中国水资源安全趋势

一、人均水资源的空间越来越小

据全国第二次水资源评价，我国水资源总量为 28405 亿 m^3 ，列世界第 6

位,但单位国土面积水资源量仅为世界平均的 83%。由于人口众多、土地广阔,人均、亩均水资源占有量均很低,全国平均人均占有水资源量 2210m^3 ,仅为世界人均占有量的 $1/3$,在世界银行连续统计的 153 个国家中居第 88 位;耕地亩均占有水资源量 1440m^3 ,约为世界平均水平的一半。同时我国水资源地区分布不均,水资源分布与土地资源和生产布局不匹配。总体上是南方多、北方少,东部多、西部少,山区多、平原少。南方地区面积占全国的 36%,人口占 54%,耕地占 40%,GDP 占 56%,水资源量占全国的 81%;北方地区面积占全国的 64%,人口占 46%,耕地占 60%,GDP 占 44%,水资源量仅占全国的 19%。其中,黄河、淮河、海河 3 个水资源区面积占全国的 15%,耕地占 35%,人口占 35%,GDP 占 32%,水资源量仅占全国的 7%,水资源人均占有量仅为 457m^3 ,是我国水资源安全问题最为突出的地区。预计到 2030 年人口达到高峰时,我国人均水资源量仅有 1760m^3 ,按国际上一般承认的标准,人均水资源量少于 1700m^3 的为用水紧张的国家,因此,未来我国水资源紧缺的安全形势将更为严峻。

二、未来水资源的短缺加剧

随着社会经济的不断发展,以及工业化城市化的加快,未来将消耗更多的水资源。据预测 2030 年我国人口达到高峰,接近 16 亿,城市化水平达到 40%,生活用水比例将进一步提高,预测届时城乡生活用水量约 1000 亿 m^3 左右;产业结构调整,工业用水将适度增长,预计 2030 年,三种产业的结构调整为 7.9 : 48.5 : 43.6,21 世纪上半叶,我国工业化进程明显,2030 年前后第二产业占 GDP 的比重将达到最高值,逐步成为工业化国家。工业重心逐渐由南向北,由东向中西部转移,加重本已十分紧张的北方水资源形势,考虑产业结构的调整和节水因素,届时工业需水量达到 2000 亿 m^3 左右;在粮食立足自给的基本国策下,按人均占有粮食 450kg 计算,人口高峰时的粮食产量要达到 7 亿 t,通过节水措施提高农业水有效利用率,力争农业灌溉用水维持在现状水平,每年需水 4000 亿 m^3 左右;随着社会的进步和人民生活水平的不断提高,迫切需要改善和恢复生态环境,估计全国生态环境用水量约 800 亿~1000 亿 m^3 。综上所述,预计我国将在 2030 年左右出现用水高峰,在充分考虑节水的情况下,估计用水总量为 7000 亿~8000 亿 m^3 ,从实际情况看,我国北方,包括华北、西北和东北,除了黑龙江(松花江)流域还有增加供水的潜力之外,水资源已经开发过度,没有增加供水的余地。在水资源丰富的南方,因为地形的限制,发展灌溉的潜力有限,而只有城市用水会增加。需要新增的供水能力,将主要通过引水、提水的方式来满足,这种方式耗资巨大,从而使增加供水的难度加大。未来全国缺水量为 200 亿~1200 亿 m^3 ,扣除必须

的生态环境需水后，必将加大水资源开采力度，预计的用水量已经接近可利用水量的上限，水资源进一步开发的难度极大，同时水资源过度开发，无疑会导致生态环境的进一步恶化，如果不采取有力措施，我国有可能在未来出现严重的水资源安全问题。

总之，不论现在还是将来，我国的水资源安全形势不容乐观。面对 21 世纪我国经济社会发展的策略方向，水资源安全问题已成为我国实施可持续发展战略过程中必须认真解决的重大问题，我们必须以不出现重大的水资源危机作为中国水资源安全的目标，加强对水资源安全的研究，以保障水资源安全，实现水资源可持续利用与经济社会的可持续发展。