

专题报告

# 中国可持续发展水资源战略研究综合报告

中国工程院“21世纪中国可持续发展水资源战略研究”项目组\*

(中国工程院, 北京 100038)

**[摘要]** 我国水资源总量为  $28000 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 按 1997 年人口计算, 人均水资源量为  $2220 \text{ m}^3$ , 预测到 2030 年人口增至  $16 \times 10^8$  时, 人均水资源量将降到  $1760 \text{ m}^3$ 。按国际上一般承认的标准, 人均水资源量少于  $1700 \text{ m}^3$  为用水紧张的国家, 我国未来水资源的形势是严峻的。

50 年来, 全国用水总量从 1949 年的 1 000 多亿  $\text{m}^3$  增加到 1997 年的  $5566 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 其中农业用水占 75.3%, 工业 20.2%, 城镇生活 4.5%, 人均综合用水量从不足  $200 \text{ m}^3$  增加到  $458 \text{ m}^3$ 。当前面临的问题是, 防洪安全仍缺乏保障; 水资源的紧缺与用水的浪费并存; 水土资源过度开发造成对生态环境的破坏; 水环境恶化和水质污染迅速扩展, 已到极为严重的程度。

研究报告指出, 通过建设节水高效的现代农业, 我国可以基本立足于现有规模的耕地和灌溉用水量, 满足今后  $16 \times 10^8$  人口的农产品需要; 预测我国用水高峰将在 2030 年前后出现, 用水总量为  $(7000 \sim 8000) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 人均综合用水量为  $400 \sim 500 \text{ m}^3/\text{a}$ ; 全国实际可能利用的水资源量约为  $(8000 \sim 9500) \times 10^8 \text{ m}^3$ , 需水量已接近可能利用水量的极限; 必须严格控制人口的继续增长, 同时加强需水管理, 做到在人口达到零增长后, 需水也逐步达到零增长; 我国水资源的总体战略必须以水资源的可持续利用支持经济的可持续发展, 建议从防洪减灾、农业用水、城市和工业用水、防污减灾、生态环境建设、水资源的供需平衡、北方水资源问题及西北地区水资源问题等 8 个方面实行战略性转变; 同时必须进行水资源管理体制、水资源投资机制和水价政策的 3 项改革。

**[关键词]** 水资源; 防洪减灾; 农业用水; 城市和工业用水; 生态环境建设; 可持续发展

## 前言

水资源是基础自然资源, 是生态环境的控制性因素之一; 同时, 又是战略性经济资源, 是一个国家综合国力的有机组成部分。展望将来, 水资源正日益影响全球的环境与发展, 甚至可能导致国家间冲突。探讨 21 世纪水资源的国家战略及其相关科学问题, 是世纪之交全球共同关注和各国政府的重点议题之一。

我国人民在历史发展中, 贯穿着与频繁水旱灾害的斗争。中华人民共和国成立后, 进行了大规模的水利建设, 取得了兴利除害的重大成就, 以占全球约 6% 的可更新水资源\*\*和 9% 的耕地\*\*\*, 支持了占全球 22% 人口的温饱 and 经济发展。但是, 在水资源开发利用的进程中, 也出现了一些更为复杂的新情况和新问题。1998 年长江和嫩江的大洪水, 20 世纪 90 年代以来黄河断流和北方地区沙尘暴的日趋严重以及江河湖海的水污染, 引起全国人

**[收稿日期]** 2000-07-26

\* 本文是由中国工程院组织的“21世纪中国可持续发展水资源战略研究”咨询项目的综合报告。该项目是由钱正英和张光斗院士主持, 两院 43 位院士和近 300 位院外专家经过一年多紧张工作完成的研究成果, 2000 年 7 月 11 日向国务院和有关部门作了汇报。本项目分 7 个课题组, 提出了 9 个专题报告, 在此基础上, 经过项目综合组反复讨论和修改完成本综合报告。项目综合组成员名单附后。

\*\* 全球陆地可更新的水资源量, 根据《水利百科全书》、《国际人口行动计划》和《国际水》杂志, 分别为  $46.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 、 $41.0 \times 10^{12} \text{ m}^3$  和  $42.78 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ; 我国占全球水资源的百分比相应是 5.79%、6.61% 和 6.34%

\*\*\* 我国耕地按  $1 \times 10^8 \text{ hm}^2$  计算, 为全球耕地的 7%; 按国家土地管理局 1996 年调查数  $1.3 \times 10^8 \text{ hm}^2$  计, 为全球的 9%

民甚至世界的关注。面临 21 世纪我国发展的战略目标, 我们的水资源能否支持将来  $16 \times 10^8$  人口的食物供应? 能否支持社会经济的可持续发展? 如何解决我国的洪水、缺水和水质污染? 针对这些问题, 各界人士纷纷建言献策。

为此, 在国务院领导和有关部委的大力支持下, 中国工程院组织了涉及地理、地质、气象、水文、农业、林业、水利、土地、水土保持、生态环境、城市建设、环境工程、社会经济等有关学科的 43 位两院院士和近 300 位院外专家, 以“21 世纪中国可持续发展水资源战略研究”为总项目, 根据 2030 年前后我国人口将达到  $16 \times 10^8$  的总形势, 分设 7 个课题组, 并组成项目综合组进行研究。经过 1 年多的工作, 提出了 9 个专题报告, 在此基础上经项目综合组反复研讨和重点考察, 形成本综合报告。

## 1 我国水资源状况和面临的问题

### 1.1 水资源的自然状况

水资源的补给来源主要为大气降水, 赋存形式为地表水、地下水和土壤水, 可通过水循环逐年得到更新。

1.1.1 水资源总量和人均水资源量 根据 20 世纪 80 年代初水利部对全国水资源的评价: 我国的多年平均降水总量为  $6.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , 除通过土壤水直接利用于天然生态系统与人工生态系统外, 还可通过水循环更新的地表水和地下水的多年平均水资源总量为  $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。按 1997 年人口统计, 我国人均水资源量为  $2220 \text{ m}^3$ , 预测到 2030 年我国人口增至  $16 \times 10^8$  时, 人均水资源量将降到  $1760 \text{ m}^3$ 。按国际上一般承认的标准, 人均水资源量少于  $1700 \text{ m}^3$  为用水紧张的国家, 因此, 我国未来水资源的形势是严峻的。

1.1.2 水资源的时间分布极不均衡 除了人均水资源量紧张外, 我国水资源的时间分布很不均衡。由于季风气候影响, 各地降水主要发生在夏季。雨热同期, 是农业发展的一个有利条件, 使我国在发展灌溉农业的同时, 还有条件发展旱地农业。但由于降水季节过分集中, 大部分地区每年汛期连续 4 个月的降水量占全年的 60%~80%, 不但容易形成春旱夏涝, 而且水资源量中大约有 2/3 左右是洪水径流量, 形成江河的汛期洪水和非汛期枯水。降水量的年际剧烈变化, 更造成江河的特大洪水和严

重枯水, 甚至发生连续大水年和连续枯水年。

1.1.3 水资源的空间分布也极不均衡 我国的年降水量在东南沿海地区最高, 逐渐向西北内陆地区递减。从黑龙江省的呼玛到西藏东南部边界, 这条东北—西南走向的斜线, 大体与年均降水 400 mm 和年均最大 24 小时降水 50 mm 的暴雨等值线\* 一致, 这是东南部湿润、半湿润地区和西北部干旱、半干旱地区的分界线。东南部的湿润和半湿润地区也是暴雨洪水的多发区 (见彩插图 2)。

水资源的空间分布和我国土地资源的分布不匹配。黄河、淮河、海河三流域, 土地面积占全国的 13.4%, 耕地占 39%, 人口占 35%, GDP 占 32%, 而水资源量仅占 7.7%, 人均约  $500 \text{ m}^3$ , 耕地亩均少于  $400 \text{ m}^3$ , 是我国水资源最为紧张的地区。西北内陆河流域, 土地面积占全国的 35%, 耕地占 5.6%, 人口占 2.1%, GDP 占 1.8%, 水资源量占 4.8%。该地区虽属干旱区, 但因人口稀少, 水资源量人均约  $5200 \text{ m}^3$ , 耕地亩均约  $1600 \text{ m}^3$ ; 如果合理开发利用水土资源, 并安排相适应的经济结构和控制人口的增长, 可以支持发展的需要, 但必须十分注意保护包括天然绿洲在内的荒漠生态环境。

1.1.4 江河高泥沙含量是一个突出问题 我国西部地区是长江、黄河、珠江和众多国际河流的发源地, 地形高差大, 又有大面积的黄土高原和岩溶山地, 自然因素加上长时期人为的破坏, 使很多地区水土流失严重, 对当地的土地资源和生态环境造成严重危害, 也使许多江河挟带大量泥沙, 黄河的高含沙量更是世界之最。这些问题增加了我国江河治理的复杂性和生态环境建设的迫切性。从历史的观点看, 江河泥沙曾为我们创造了并继续发展着东部和中部总面积达  $185 \times 10^4 \text{ km}^2$  的广大冲积平原和山间盆地。这些地方地势平坦, 土壤肥沃, 成为中华民族生存和发展的重要基地, 但由于开发利用不当, 也带来一系列的水旱灾害和环境问题。

1.1.5 气候变化对我国水资源的影响 根据 1950—1997 年接近 50 年的降水 and 气温资料分析, 我国近 20 年来呈现北旱南涝的局面。80 年代华北地区持续偏旱, 京津地区、海滦河流域、山东半岛 10 年平均降水量偏少 10%~15%。进入 90 年代,

\* 按气象部门规定, 24 小时雨量超过 50 mm 称之为暴雨, 100~200 mm 为大暴雨, 超过 200 mm 为特大暴雨。

黄河中上游地区、汉江流域、淮河上游、四川盆地的8年平均降水量偏少约5%~10%，黄河花园口的天然来水量初步估计偏少约20%，海滦河和淮河的年径流量也都明显偏少。西北内陆地区，80年代降水量略有减少(2.5%)，90年代略有增加(8.9%)。由于高山地区冰川融水的多年调节作用，各河流出口口的多年平均流量基本持平。少数河流如新疆的阿克苏河等径流量略有增加，个别河流如河西走廊的石羊河径流量偏少。

从全国范围看，在原评价24年系列基础上增加最近18年的资料，估计对全国水资源总量的影响不大。但北方缺水地区持续枯水年份的出现，以及黄河、淮河、海河与汉江同时遭遇枯水年份等不利因素的影响，加剧了北方水资源供需失衡的矛盾。

据国际方面的有关研究，未来50年由于人类活动产生的温室效应，全球年平均气温可能升高，但预测值相差很大。气温升高将使地表蒸发量提高，水资源量将相应减少。具体到我国的各大流域，影响程度如何，还有待探讨。

## 1.2 50年来的成就和当前面临的问题

50年来，党和政府领导广大人民进行了规模空前的水利建设，全国累计修建加固堤防 $25 \times 10^4$  km，建成大中小型水库80 000多座，初步控制了大江大河的常遇洪水\*，形成了 $5 600 \times 10^8$  m<sup>3</sup>的年供水能力，灌溉面积从 $0.16 \times 10^8$  hm<sup>2</sup>扩大到近 $0.5 \times 10^8$  hm<sup>2</sup>（包括农、林、牧），并为城市和工业的发展提供了水源。全国用水量从1949年约 $1 000 \times 10^8$  m<sup>3</sup>增加到1997年的 $5 566 \times 10^8$  m<sup>3</sup>，其中农业占75.3%，工业占20.2%，城镇生活占4.5%，人均综合用水量从不足200 m<sup>3</sup>增加到458 m<sup>3</sup>。这些巨大成就为保障我国经济迅速发展和社会长期稳定创造了条件。

但是由于种种原因，水利发展的模式基本属于粗放型。不少工程的安全标准不高，建设质量较差，配套设施不全，管理工作薄弱，用水浪费很大，水质污染严重，至今未能建立起良性运行的机制。在全国经济的高速发展中，也出现了一些新的矛盾。

**1.2.1 防洪安全仍缺乏保障** 我国江河的防洪工程系统还没有达到已经审批的规划标准。长江的荆江河段和黄河的主要堤防，在三峡和小浪底水利枢纽及相应的配套工程完成后，可以达到防御100年

一遇以上洪水的标准；淮河、海河、辽河、松花江、珠江等江河，除少数重点城市外，大部分堤防都还只能防御20年一遇左右的常遇洪水。即使上述江河的防洪能力达到规划标准，根据我国的气象水文规律，仍有发生工程所不能解决的超标准洪水的可能。而由于缺乏统一规划和管理，各地不分主次，竞相修建防洪工程和提高防洪能力，全国的堤防长度由20世纪70年代的 $11 \times 10^4$  km、80年代的 $16 \times 10^4$  km，发展到目前的 $25 \times 10^4$  km。堤线越来越长，堤防越来越高，洪水蓄泄的空间越来越小，致使许多江河在同样流量情况下，洪水水位不断抬高，造成加高加修堤防与抬高洪水水位的恶性循环。由于堤防不断加高，防汛负担和防汛风险也不断加重，万一溃堤决口，将造成更大的毁灭性灾害。

**1.2.2 水资源的紧缺与用水的浪费并存** 据分析估计，全国按目前的正常需要和不超采地下水，缺水总量约为 $(300 \sim 400) \times 10^8$  m<sup>3</sup>。在一般年份，农田受旱面积 $(0.06 \sim 0.2) \times 10^8$  hm<sup>2</sup>。从总体上说，因缺水造成的经济损失超过洪涝灾害。许多地区由于缺水，造成工农业争水、城乡争水、地区之间争水、超采地下水和挤占生态用水。

与此同时，用水效率不高和用水严重浪费的现象也普遍存在。我国的用水总量和美国相当，但GNP仅为美国的1/8。全国农业灌溉水的利用系数平均约为0.45，而先进国家为0.7甚至0.8。1997年全国工业万元产值用水量136 m<sup>3</sup>，是发达国家的5~10倍。工业用水的重复利用率据统计为30%~40%，实际可能更低，而发达国家为75%~85%。全国多数城市用水器具和自来水管网的浪费损失率估计在20%以上。

**1.2.3 水土资源过度开发造成对生态环境的破坏** 由于缺乏统筹规划，水资源和土地资源都有过度开发的现象。全国水资源的开发利用率1997年为19.9%，不算很高，但地区间很不平衡，北方的黄河、淮河、海河开发利用率都超过50%，其中海河已近90%。有些内陆河的开发利用率超过了国际公认的合理限度40%。在土地利用方面，山区毁林开荒，草原过牧滥垦，湖泊湿地被围垦，江河

\* 本报告将江河洪水分为四个等级：小于20年一遇为常遇洪水；20~50年一遇为较大洪水；50~100年一遇为大洪水；大于100年一遇为特大洪水。所谓多少年一遇，是指一定量级的洪水每年发生的概率，并不等于隔多少年再遇到一次。

行洪滩地被侵占,这些都破坏了生态环境,加重了水旱灾害。由于地下水的持续超采,使不少地区地面沉陷,海水入侵。在黄淮海流域,由于水资源的过度开发,造成海河流域的河湖干涸,黄河下游经常断流,甚至淮河中游在1999年也出现了历史上罕见的断流现象。

**1.2.4 水质污染已到极为严重的程度** 据1997年《中国水资源公报》,全国废污水的排放总量为 $584 \times 10^8$  t。在 $10 \times 10^4$  km的评价河段中,水质在Ⅳ类以上的污染河长占47%。北方辽、黄、海、淮等流域,污水与地表径流的比例高达1:14~1:6。全国湖泊约有75%以上的水域,近岸海域约有53%以上受到显著污染。根据全国118座城市浅层地下水的调查,97.5%的城市受到不同程度的污染,其中40%的城市受到重度污染。

以上可以看出,由水资源紧张、水污染严重和洪涝灾害为特征的水危机已成为我国可持续发展的重要制约因素。我国经济已发展到目前水平,必须进一步从人口、资源、环境的宏观视野,对水资源问题总结经验,调整思路,制定新的战略。

## 2 以水资源的可持续利用支持我国社会经济的可持续发展

针对面临的问题,建议我国水资源的总体战略是:以水资源的可持续利用支持我国社会经济的可持续发展。为此要从8个方面实行战略性的转变。

### 2.1 人与洪水协调共处的防洪减灾战略

在防洪减灾方面,要从无序、无节制地与洪水争地转变为有序、可持续地与洪水协调共处。为此,要从以建设防洪工程体系为主的战略,转变为在防洪工程体系的基础上,建成全面的防洪减灾工作体系,达到人与洪水协调共处。

**2.1.1 对洪水和洪灾的认识** 要认识到,江河洪水是一种自然现象,而江河洪灾则是由于人类在开发江河冲积平原的过程中,进入洪泛的高风险区而产生的问题。我国江河洪水形成的主要原因是夏季的季风暴雨和沿海的风暴潮。在气候异常年份,某些江河流域出现多次大暴雨甚至特大暴雨,形成这些江河的大洪水以至特大洪水。在历史上,我国人民为了开发江河中下游的广大冲积平原,不断修筑堤防与水争地,从而缩小了洪水宣泄和调蓄的空间,当洪水来量超过人们给予江河的蓄泄能力时,堤防溃决,形成洪灾。

**2.1.2 防洪减灾的战略转变** 通过实践,人们逐步认识到,要完全消除洪灾是不可能的。人类既要适当控制洪水,改造自然,又须主动适应洪水,协调人与洪水的关系,这样才能保证自己的继续发展。要约束人类自身的各种不顾后果、破坏生态环境和过度开发利用土地的行为,从无序、无节制地与洪水争地转变为有序、可持续地与洪水协调共处。发生大洪水时,有计划地让出一定数量的土地,为洪水提供足够的蓄泄空间,以免发生影响全局的毁灭性的灾害,并将灾后救济和重建作为防洪工作的必要组成部分。因此,要从以建设防洪工程体系为主的战略,转变到在防洪工程体系的基础上,建成全面的防洪减灾工作体系,达到人与洪水协调共处。

### 2.1.3 防洪减灾工作体系的总体目标和主要内容

我国防洪减灾工作体系的总体目标是:在江河发生常遇和较大洪水时,防洪工程设施能有效运用,国家经济活动和社会生活不受影响,保持正常运作;在江河遭遇大洪水和特大洪水时,有预定方案和切实措施,国家经济社会活动不致发生动荡,不致影响国家长远计划的完成或造成严重的环境灾难。

防洪减灾工作体系的主要内容:

(1) 根据江河的总体治理目标,建设有质量保证的防洪工程系统。各主要江河应在原有规划的基础上,结合近年来的防洪实践和国家的发展要求,进一步定出江河的总体治理目标和全面的治理规划,据此建成有质量保证的防洪工程系统。防洪工程系统的标准要经过技术经济的论证,一般应达到50年一遇以上,重要堤防100年一遇或更高。

长江的治理目标是:再遇类似1998年洪水时,确保安全并大大减轻防汛抢险负担;再遇类似1954年和1870年洪水时,在充分运用三峡等干支流水库和分蓄洪工程的条件下,保证重要堤防、沿江大城市和重点围垸的安全。为此要按统一规划,在完成三峡工程的同时,完成重要堤防和重点围垸的加固,干流河道的整治,分蓄洪区的配套工程并继续兴建金沙江的溪洛渡、嘉陵江的亭子口、澧水的皂市等干支流水库。

黄河的治理目标是:保证防御花园口安全通过100~1000年一遇的洪水;稳定现行的流路,保证黄河不改道。为此要加强水土保持,进一步减少入黄泥沙;充分发挥小浪底水库对下游的防洪减淤

作用及对其上游三门峡水库的补救作用,解决三门峡对渭河下游的不利影响;整治下游河道及河口,通过淤积抬高两岸大堤附近的地面,使黄河下游逐步成为一条相对的地下河;根据小浪底的运行情况和发展需要,逐步兴建小浪底以上的干流水库。

其他各江河也都要制定治理目标和相应的工程建设计划。

(2) 江河的各类分蓄行洪区,是防洪减灾工作体系的必要组成部分。我国江河冲积平原的土地资源已经过度开发,根据技术和经济的可行性,现在的防洪工程只能达到一定标准(防御常遇洪水或较大洪水),必须安排各类分蓄行洪区作为辅助措施,才能达到规划的防洪标准和处理超标准的洪水。要明确认识,根据我国的实际情况,江河的各类分蓄行洪区,是防洪减灾工作体系的必要组成部分。

在大洪水或特大洪水时,要首先确保城乡广大居民的生命财产和重要工业交通的安全,为此,也须让出一部分用于农业的土地作为分蓄行洪区;应结合小城镇建设和分蓄行洪区内的安全设施建设,妥善安置这些地区的居民,保证他们的生活和生产。一般说,在确保居民生命财产的前提下,农业土地遭受10~20年一遇或更稀遇的洪水淹没损失,即相当于90%~95%或更高的防洪安全保证率,是可以承受的,并可采取社会救济和防灾保险等适当措施,予以合理补偿。

(3) 城乡建设规划要充分考虑各种可能的防洪风险。从总体上看,我国的堤防系统已经达到 $25 \times 10^4$  km的规模,不宜再增建和加高,而应在现有基础上进行加固,并充分利用各类分蓄行洪区,解决超标准的洪水。对各种可能遭受洪水淹没的地区,要加强科学指导,分别不同情况,合理安排城乡建设规划,不要无限制地侵占洪水的空间,而要主动与洪水协调共处。例如:

a. 山丘区的中小河流,山洪暴涨暴落,并挟带大量泥沙,要防止在两岸盲目开发行洪河滩,修建堤防。城镇村庄的选址,要极其慎重,不准侵占行洪河滩,并注意划分山洪及泥石流危害区,避免地质灾害。

b. 江河冲积平原上的城乡建设和工业交通设施,都要遵守防洪规划,防止盲目占用分蓄行洪区。重大建设项目,要经过防洪主管部门的认可。在城市建设中,要注意建成完善的防洪排涝体系,禁止盲目缩窄排洪排涝河道。

c. 在超标准洪水可能淹没的城镇村庄,要进行洪灾的风险分析,制定洪水可能淹没的风险图,定出保证居民生命财产安全措施的长远规划,例如建设具有抗洪能力的房屋建筑和道路桥梁等,在国家的组织和支持下,动员社会的力量,有计划地逐步完成。

d. 在沿海的经济发达地区,风暴潮的危害极大,这些地方有必要也有可能逐步建成以防御特大风暴潮为目标的沿海防护林带和高标准海堤,以求长治久安。

(4) 在全国建立防洪保险、救灾及灾后重建的机制。对各类分蓄行洪区以及其他有防洪风险的地区,可以根据具体情况,进行合理的开发利用,但必须适应防洪的风险。考虑到我国各江河都存在这种问题,应当研究在全国建立防洪保险、救灾及灾后重建的机制,给予法定的社会保障。

在过去的防洪工作中,着重建设防洪工程,而没有落实分蓄行洪区的社会保障工作,许多分蓄行洪区不能按规划运用,只能“被动蓄洪”而不能“主动蓄洪”,使江河的实际防洪标准大大降低,分蓄行洪区也受到更大的损失。长期以来,许多地方对分蓄行洪区的工作有畏难情绪。我们认为,只要真正认识分蓄行洪区是防洪工作体系的必要组成部分,就能制定出一个合理的规划和相应的运行机制,既可适当地开发利用分蓄行洪区的土地资源,又能兼顾全局和局部利益,保障各类地区都能得到合理和可持续发展。最近颁布的《蓄滞洪区运用补偿暂行办法》是一个好的开端,还需要继续进行大量的后续工作。

(5) 建立现代化的防洪减灾信息技术体系和防汛抢险专业队伍。要研究解决致洪暴雨与洪水的准确预测、预报、预警和决策支持软件,建设一支以高科技武装的防汛抢险专业队伍,提高抗洪斗争中勘测、通讯、查险、除险和抢险的水平,逐步取代现在主要依靠大量人力的防汛抢险办法。

## 2.2 以建设节水高效的现代灌溉农业和现代旱地农业为目标的农业用水战略

在农业用水方面,要从传统的粗放型灌溉农业和旱地雨养农业,转变为建设节水高效的现代灌溉农业和现代旱地农业。

研究后认为,通过建设节水高效的现代农业,我国可以基本立足于现有规模的耕地和灌溉用水量,满足今后 $16 \times 10^8$ 人口的农产品需要。

**2.2.1 所需农产品和耕地预测** 根据国家土地管理局1996年调查,我国耕地面积为 $1.3 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ,其中灌溉耕地约 $0.51 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ,占39.8%,雨养农业的旱耕地约 $0.8 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ,占60.2%。1997年粮食总产量为 $4\,942 \times 10^8 \text{ kg}$ ,人均410 kg。

农产品需求受人口数量、人口年龄结构、城市化水平、收入水平和居民消费行为等因素的影响。考虑到我国人民生活水平逐步提高,在粮食消费趋于稳定的同时,肉、蛋、奶类的消费水平将逐步增加,因此粮食的人均需求量将比现在有所提高。预测人口达到 $16 \times 10^8$ 时(2030年),人均粮食的需求量为450 kg,粮食总需求量为 $7000 \times 10^8 \text{ kg}$ 左右。根据主要农产品需求、主要农作物单产和种植业结构的预测,需保证 $2 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的播种面积,耕地面积应保持在 $(1.2 \sim 1.233) \times 10^8 \text{ hm}^2$ 。

### 2.2.2 水土资源供需平衡的几点结论

(1) 在节约、高效利用的条件下,我国的水土资源基本能保证未来 $16 \times 10^8$ 人口对食物与其他农产品的需求,但在区域间差别较大。

(2) 华北地区人口—粮食—水资源不能平衡,是严重的缺水地区,除采取高效节水、建立节水型的社会外,从长江调一部分水,对缓解农业用水紧张与整个地区缺水是必要的。

(3) 有潜力增加商品粮供应的是东北地区、长江中下游和蒙宁地区。特别是东北地区,应当加紧农业的基础建设,使之保持粮食的稳定增长,成为我国最稳定的商品粮包括饲料的供应基地。

(4) 到2030年的奋斗目标是:耕地面积稳定在 $(1.2 \sim 1.233) \times 10^8 \text{ hm}^2$ ,复种指数达到1.65,粮食播种面积单产达 $5\,250 \text{ kg/hm}^2$ ;农田灌溉面积扩大到 $0.6 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ,农业灌溉水利用系数达到0.65;在全面节水的基础上,农田灌溉需水量和农业总需水量基本维持目前用水量的水平,分别为 $4\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $4\,200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。

### 2.2.3 节水高效农业的建设途径

(1) 把提高水的利用效率作为节水高效农业的核心。节水高效农业建设要把发挥单位水量效益作为核心,使水利工程措施和农业技术措施相结合,最大限度地利用水资源,提高水利用效率,争取从现在的每立方米水的平均粮食产量1.1 kg提高到1.5~1.8 kg。

a. 要充分利用当地水资源,包括充分利用降水、回收回归水和处理利用劣质水。如充分利用降

水和土壤水,华北地区的小麦、玉米两熟的灌溉水量每公顷可节省 $750 \sim 1\,500 \text{ m}^3$ 。

b. 节水灌溉建设的重点应放在渠灌区,北方渠灌区推行井渠结合的灌溉方式。在北方的渠灌区内打井,以渠补源,以井保丰,不但可以最大限度地利用地表水和地下水,而且可以控制灌区的地下水位,防治灌区的次生盐碱化。

c. 节水灌溉技术应以改进地面灌溉为主,有条件地发展喷灌和滴灌,要改正那种以为只有喷灌、滴灌才能称为节水灌溉的误解。目前我国地面灌溉占到总灌溉面积的97%,在相当长的时间内,地面灌溉仍是我国农田灌溉的主要方式。地面灌溉提高节水技术(如平地、沟灌、间歇灌),耗能少、投入也低,农民易掌握,符合国情和民情。

d. 要十分重视农业节水技术。只有使水利工程和农业技术结合,才能更好地提高用水效率。通过节水农业措施,减少土壤蒸发量和作物蒸腾量,才是真正的节约水资源量。节水农业措施包括节水的轮作制度,节水灌溉制度与管理制,抗旱高产优质品种,耕作栽培、培肥施肥和化控技术等。河北省沧州等地通过科学的农业节水技术使小麦灌水由过去的5~7次降到2~3次,产量有增无减,这种经验在一定地区有指导意义。

(2) 实行水旱互补的方针,重视发展旱地农业。节水高效农业应包括灌溉农业与旱地农业两部分。我国在可预见的未来,灌溉面积占耕地的比重不大可能超过50%,因此,在进行节水灌溉农业的同时,还必须进行旱地农业的建设,做到水旱互补,全面发展。

旱地农业是指雨养旱作农业和集雨节灌的雨养旱作农业,它是解决我国农业水危机和增加农业产量的重要途径。发展旱地农业除采取传统的改土培肥、抗旱保墒、地膜与秸秆覆盖等常规的农业技术措施外,还要采取以下措施:

充分利用雨水集蓄节灌等现代旱地农业技术;进行以坡改梯为重点的基本农田建设,并通过各种措施,降低无效蒸发,提高土壤有机质,建设土壤水库,增加贮水;

根据不同作物的需水特征和当地水资源条件,合理调整作物布局,优化种植结构,选育高产节水优良品种;

研究以化学制剂改善作物或土壤状况,开展化学调控节水。

(3) 将节水高效农业建设列为国家重大基础建设项目。我国的水资源能否支持将来  $16 \times 10^8$  人口的发展需要, 一个重要关键是能否以现有的  $4\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$  灌溉水资源, 将粮食产量从现在的  $5\,000 \times 10^8 \text{ kg}$  提高到  $7\,000 \times 10^8 \text{ kg}$  并满足其他农作物的需水。如将现有的灌溉用水量节省 15%, 可为扩大灌溉面积和提高灌溉保证率多提供  $600 \times 10^8 \text{ m}^3$  的水量, 超过黄河的年平均径流量。为了提高灌溉水的利用率, 必须进行以节水为中心的灌区续建配套和技术改造, 从目前情况看, 每亩投入约需 300~400 元, 每节约  $1 \text{ m}^3$  水约需 2~3 元; 而新建大中型灌区的投入一般都在每亩 1 000 元以上, 大中型的新水源工程一般在  $1 \text{ m}^3$  水 5~10 元以上。因此, 建设节水高效农业是经济合理的。但长期以来, 在水利建设中重开源轻节流, 重骨干工程建设轻田间配套建设, 重工程轻管理, 灌溉节水和农田水利工程很难列为国家建设项目。而以我国的实际情况, 灌溉节水工程光靠农民投资是不行的。因此, 农业水利建设投资的主要方向应实行战略性的转移, 从以开源工程和新建灌区为主转到以建设节水高效农业为主, 国家应尽早把节水高效农业建设列为国民经济的重大基础建设项目。

### 2.3 节流优先、治污为本、多渠道开源的城市水资源可持续利用战略

在城市和工业用水方面, 要从不够重视节水、治污和不注意开发非传统水资源, 转变为节流优先、治污为本、多渠道开源的城市水资源可持续利用战略。

新中国成立 50 年来, 伴随城市化进程在不同阶段的特征, 城市水资源的开发利用由单纯开源逐步转向重视节流和治污, 先后经历了“开源为主, 提倡节水”, “开源与节流并重”和“开源、节流与治污并重”等几次战略性调整。1997 年我国城市化水平 30%, 城市人口  $3.7 \times 10^8$ 。预计 21 世纪中叶以前, 我国城市化水平将可能达到 60%, 城市人口将增加到  $9.6 \times 10^8$  左右, 水资源的供需矛盾将进一步加剧, 水质保护的难度也将进一步加大。为此, 建议进一步明确节流和治污的必要性, 以“节流优先, 治污为本, 多渠道开源”作为城市水资源可持续利用的新战略, 以促进城市水系统的良性循环。

2.3.1 节流优先 提倡“节流优先”, 这不仅是根据我国水资源紧缺情况所应采取的基本国策, 也是

为了降低供水投资, 减少污水排放, 提高资源利用效率的最合理选择, 是世界各发达国家城市工业用水的发展方向。城市工业用水的 70% 以上将转化为污水, 一些水资源丰富的国家, 近年来也大力推行节水, 主要是因为不堪承受污水处理的负担。我国工业万元产值取水量是发达国家的 5~10 倍, 城市输配水管网和用水器具的漏水损失高达 20% 以上, 公共用水浪费惊人。因此, 必须调整产业结构和工业布局, 大力开发和推广节水器具和节水的工业生产技术, 创建节水型工业和节水型城市, 力争将城市人均综合需水量控制在  $160 \text{ m}^3/\text{a}$  以内, 使我国城市总需水量在城市人口达到最大值后得到稳定。为了建立节水型的体制, 不仅需提高公众认识, 还要投入相当的资金和高新技术。根据分析, 预测 2010 年供水设施的单位投资约为  $8 \text{ 元}/\text{m}^3$ , 污水处理约为  $10 \text{ 元}/\text{m}^3$ , 而节水仅需  $3 \text{ 元}/\text{m}^3$  左右。因此, 增加节水的资金投入不但为可持续发展所必需, 而且具有明显的经济效益。

2.3.2 治污为本 强调“治污为本”是保护供水水质和改善水环境的必然要求, 也是实现城市水资源与水环境协调发展的根本出路。水资源本来是可以再生的, 但水质污染使水资源不能进入再生的良性循环。我国长期以来在增加城市供水能力的同时, 未能注意防治水污染, 至今全国城市废水处理率仅为 13.65%, 许多城市没有污水处理厂。据报告, 工业废水处理率为 87.4%, 实际情况远远低于此数, 许多处理设施没有正常运行, 甚至基本不运行, 达标排放很多流于形式。大量废水、污水的排放造成了城市水体的严重污染, 直接影响人民健康和工农业生产。经预测, 如果要在 2010 年以前基本遏制城市水污染的蔓延趋势, 保护城市供水水源, 并在 2030 年以前使水环境有明显改善, 2010 年和 2030 年城市污水的有效处理率必须达到 50% 和 80% 以上。否则, 我国的水污染不仅不能得到控制, 甚至还要继续扩展。这是一个十分严重的问题, 也是一项非常艰巨的任务, 需要加以认真解决。我们认为, 必须加大污染防治力度, 增加经费投入, 提高规划的城市污水处理率, 并采取有效措施修复已经受到污染的城市水环境。

2.3.3 多渠道开源 我国缺水城市可分为资源型、设施型和污染型三种, 缺水的原因不同, 解决缺水的途径也不相同。因此, 在加强节水治污的同时, 开发水资源也不容忽视。除了合理开发地表水和地

下水外,还应大力提倡开发利用处理后的污水以及雨水、海水和微咸水等非传统的水资源。经净化处理后的城市污水是城市的再生水资源,数量巨大,可以用作城市绿化用水、工业冷却水、环境用水、地面冲洗水和农田灌溉水等。通过工程设施收集和利用雨洪水,既可减轻雨洪灾害,又可缓解城市水资源紧缺的矛盾;沿海城市应大力利用海水作工业冷却水或生活冲厕水;华北和西北地区应重视微咸水的利用。

#### 2.4 以源头控制为主的综合防污减灾战略

在防污减灾方面,应从以末端治理为主转变为以源头控制为主的综合治理战略。

**2.4.1 水污染已成为不亚于洪灾、旱灾甚至更为严重的灾害** 我国江河、湖泊和海域普遍受到污染,至今仍在迅速扩展。水污染加剧了水资源短缺,直接威胁着饮用水的安全和人民的健康,影响到工农业生产和农作物安全,造成的经济损失约为国民生产总值的1.5%~3%。水污染已成为不亚于洪灾、旱灾甚至更为严重的灾害。与洪灾、旱灾不同的是,受污染的水通过多种方式作用于人体和环境,其影响的范围大、历时长,但其表现却相对较缓,使人失去警觉。水污染的危害,早在20世纪70年代已经显现出来,但没有引起足够的注意,采取的措施不够恰当有力,因此出现了今天的严重局面。如再不及时采取有效对策,将产生不可弥补的后果。

**2.4.2 从末端治理为主向源头控制为主的战略转移** 在我国经济的迅猛发展中,由于工业结构的不合理和粗放型的发展模式,工业废水造成的水污染占据了我国水污染负荷的50%以上,绝大多数有毒有害物质都是由工业废水的排放带入水体。目前我国排放的污水量,与美国、日本相近(美、日还进行污水处理),而经济发展水平却不能相比,可见我国为粗放型经济增长所付出的巨大环境代价。长期以来采用的以末端治理、达标排放为主的工业污染控制战略,已被国内外经验证明是耗资大、效果差、不符合可持续发展的战略。应大力推行以清洁生产为代表的污染预防战略,淘汰物耗能耗高、用水量大、技术落后的产品和工艺,在工业生产过程中提高资源利用率,削减污染排放量。清洁生产可以同时获得环境效益和经济效益,对于我国的经济发展和环境保护有重要的战略意义。

#### 2.4.3 加强点源、面源和内源污染的综合治理

除工业和城市生活排水造成的点源污染外,我国的面源污染也越来越严重。面污染源包括各种无组织、大面积排放的污染源,如含化肥、农药的农田径流,畜禽养殖业排放的废水、废物等,其严重影响已经在我国很多城市和地区显现出来。如北京近郊畜禽养殖场排放的有机污染物为全市工业和生活废水所含有机污染物总量的3倍,滇池流域的面污染源所排放的氮磷污染占据了氮磷污染总量的60%以上。因此,面源污染的控制已经到了刻不容缓的地步。面源污染的控制应与生态农业、生态农村的建设相结合,通过合理使用化肥、农药以及充分利用农村各种废弃物和畜禽养殖业的废水,将面源污染减少至最小,同时也可取得明显的经济效益。湖泊、河流、海湾的底部沉积物蓄积着多年来排入的大量污染物,称为内污染源,目前已是水体富营养化和赤潮形成的重要因素,在适当条件下,还会释放出蓄存的重金属、有毒有机化学品成为二次污染源,对生态和人体健康造成长期危害,应与点源、面源污染一并考虑,进行综合治理。

#### 2.4.4 把安全饮用水保障作为水污染防治的重点

我国很多城镇饮用水源受到污染,农村的饮用水安全更得不到保障。饮用水中有机物含量的增加构成了致癌、致畸、致突变的潜在威胁,重金属则使人迅速中毒、得病,水污染也大大增加了饮用水源中致病微生物的数量。这一切已经并正在造成人们的疾病和早亡,应该引起严重注意。水污染防治的最终目的是确保人民的身体健康,因此,应把安全饮用水的保障作为水污染防治的重点。应加强对饮用水源地的保护,特别是为城市供水的水库和湖泊,尽快恢复受污染的水质,例如北京市的官厅水库。

#### 2.5 保证生态环境用水的水资源配置战略

生态环境是关系到人类生存发展的基本自然条件。保护和改善生态环境,是保障我国社会经济可持续发展所必须坚持的基本方针。在水资源配置中,要从不重视生态环境用水,转变为在保证生态环境用水的前提下,合理规划和保障社会经济的用水。

**2.5.1 生态环境建设的内容** 我国在近50年的发展中,为了保护和改善生态环境,虽然作了很大努力,也取得了一定成绩,但由于自然环境相对脆弱、人口增长过快,加上工作中的各种问题,生态环境恶化的趋势仍未得到遏制,主要表现在:森林



覆盖率低、增长缓慢,部分地区覆盖率减少;草地生态破坏加重;水土流失仍然严重;荒漠化面积扩大。

为了遏制这种恶化的趋势,国家已将生态环境建设提到十分重要的地位。生态环境建设主要包括两类内容:一类是以封育保护和植树种草为主要手段的植被建设;另一类是以农田水利和坡沟工程为主要手段的工程建设。两者的密切结合构成生态环境的综合治理,如水土保持和荒漠化防治。

### 2.5.2 生态环境建设与水资源保护利用的关系

生态环境建设和水资源保护利用是一种互相依存的关系,主要表现在以下3个方面。

(1) 植被建设。植被包括森林、灌丛、草地、荒漠植被、湿地植被等各种类型,是生态环境的重要组成部分。它对水资源的有利作用表现在:可以涵养水分,调节地表径流,控制土壤侵蚀,保护水质,改善流域水环境。森林、灌丛、草地三种植被的水文功能大小取决于各种植被的具体种类、结构及生长情况。三种植被中,以山丘区森林植被的水文调节功能最大,但另一方面,森林植被蒸散需要消耗的水量也相对较大,特别在干旱地区(不包括干旱地区中的高山森林),随着森林覆盖率的增加,流域产水量的减少比较明显。因此,在植被建设中,应当根据当地天然的生态环境条件,规划乔灌木以至荒漠植被的合理布局。

(2) 水土保持。水土保持是一项综合治理性质的生态环境工程,主要是组织群众,通过综合措施,充分拦蓄和利用降水资源,控制土壤侵蚀,改善生态环境,发展农业生产。其水文功能与植被建设相同,一般更为明显。

对保持土壤的作用:在土厚易蚀的黄土高原,一般小流域经综合治理后,侵蚀模数可从 $10\ 000\sim 20\ 000\ \text{t}/\text{km}^2$ 降到 $3\ 000\sim 5\ 000\ \text{t}/\text{km}^2$ 的水平,如果治理措施得当而且治理年限足够长,把侵蚀模数降到 $1\ 000\ \text{t}/\text{km}^2$ 的安全水平是有可能的。对黄河干流,据统计分析,因水土保持而减少的人黄泥沙年均约 $3\times 10^8\ \text{t}$ 。在长江流域、中小流域的效果也很明显。对干流的效果目前不明显,还需经过长时间的试验观测。

水土保持和植被建设对河川径流都有通过拦蓄洪水从而增加枯水的作用,在中小流域,一般暴雨条件下效应明显;对大流域的大洪水和特大洪水影响不明显。

水土保持也需消耗水量,在一定程度上减少河川的总径流量,这种消耗对湿润地区的影响不大,对于旱与半干旱地区的影响较显著。由于水土保持可以比较有效地减少进入江河的泥沙,从而减少江河下游一部分输沙需水,因此其用水的效益是正面的。应当明确,水土保持的首要作用是改善当地人民的生产条件和脱贫致富,不能由于水土保持耗水而限制其发展,当然,水土保持中的植被建设也应贯彻节水原则。

(3) 荒漠化防治。按照国际上通行的概念,土地荒漠化是指干旱区、半干旱区和干旱的半湿润区的土地退化,包括风蚀荒漠化、水蚀荒漠化、冻融荒漠化及土壤盐渍化等,以风蚀荒漠化土地比重最大。我国现在所面临的荒漠化和沙尘暴问题,主要是指风蚀荒漠化。荒漠化扩大的主要原因是天然草原和荒漠植被受到破坏。需根据当地的不同条件,采取保护封育天然植被、改良和建设草场以及建设防护田林网等措施。在内陆河流域,需要控制上中游用水,留出足够的河川径流,保护和恢复下游滩地的天然植被。在风沙区的边缘,为了阻挡沙漠扩展入侵,必要时建设乔灌木结合的防沙林带。这些措施都需要耗用一部分水资源。

2.5.3 合理安排生态环境的用水 综上所述,生态环境建设对水资源保护利用起了有利的作用,同时,它也要消耗一定的水量。保障生态环境需水,有助于流域水循环的可再生性维持,是实现水资源可持续利用的重要基础。对这个问题,过去认识得不够,今后必须改正。

(1) 生态环境用水的计算范围。从广义上说,维持全球生物地理生态系统水分平衡所需用的水,包括水热平衡、水沙平衡、水盐平衡等,都是生态环境用水。我国降水资源 $6.2\times 10^{12}\ \text{m}^3$ ,其中相当部分是用于植被(包括人工植被)蒸腾,土壤水、地下水和地表水的蒸发,以及为维持水沙平衡及水盐平衡而必需的人海水量。这部分用水在水资源丰富的湿润地区并不构成问题,而在水资源紧缺的干旱、半干旱地区及季节性干旱的半湿润地区,就成了问题,在经济发展中往往城市和工业用水挤占农业用水,农业用水又挤占生态用水,导致生态环境的恶化。

如何计算生态环境用水?国内外的研究一致认为,应以生态环境现状作为评价生态用水的起点,而不是以天然生态环境为尺度进行评价。因此,狭

义的生态环境用水是指为维护生态环境不再恶化并逐渐改善所需要消耗的水资源总量。生态环境用水计算的区域应当是水资源供需矛盾突出以及生态环境相对脆弱和问题严重的干旱区、半干旱区和季节性干旱的半湿润区。

(2) 生态环境用水量的估计。根据我国当前的实际情况,为保护和改善生态环境的用水主要有4个方面:

保护和恢复内陆河流下游的天然植被及生态环境;

水土保持及水保范围之外的林草植被建设;

维持河流水沙平衡及湿地、水域等生态环境的基流;

回补黄淮海平原及其他地方的超采地下水。

估计全国生态环境用水的总量约  $(800 \sim 1000) \times 10^8 \text{ m}^3$  [包括地下水的超采量  $(50 \sim 80) \times 10^8 \text{ m}^3$ ], 主要在黄淮海流域和内陆河流域, 其中黄淮海流域约  $500 \times 10^8 \text{ m}^3$  左右, 内陆河流域  $400 \times 10^8 \text{ m}^3$  多。这部分生态环境用水中, 约  $600 \times 10^8 \text{ m}^3$  由各河流目前尚未控制利用的地表和地下水供给, 约  $200 \times 10^8 \text{ m}^3$  由工农业和生活用水的退水量供给, 尚有  $110 \times 10^8 \text{ m}^3$  的缺口, 需从区外调水补充。

## 2.6 以需水管理为基础的水资源供需平衡战略

对水资源的供需平衡, 要从过去的以需定供, 转变为在加强需水管理、提高用水效率的基础上, 保证供水。

### 2.6.1 过去对需水量的预测普遍偏高, 造成对供水规划和供水工程在不同程度上的误导

对于全国的用水需求量: 20世纪80年代初, 水利部门预测, 2000年为  $7096 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 1994年, 《中国21世纪人口、环境与发展白皮书》预测2000年为  $6000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 1997年全国实际用水量为  $5566 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 上述预测特别是80年代的预测明显偏高。

就分区而言, 可以山西省为例: “七五”期间, 当时山西省的缺水现象确实很严重, 水利部门据此多次预测, 1990年的需水量为  $(72 \sim 76) \times 10^8 \text{ m}^3$ , 2000年为  $(90 \sim 100) \times 10^8 \text{ m}^3$ , 而1990年和1994年的实际用水量分别为  $54 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $63 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。实践证明, 在缺水的情景下, 往往对缺水量的估计和预测偏高。对山西省需水量的过高预测, 曾使万家寨引黄工程的近期规模偏大。

对于城市的用水需求, 尤其是对工业用水的需

求, 以往许多预测明显偏大。如建设部门的《城市缺水问题研究》中, 以1993年为预测基准年, 预测2000年全国城市的工业需水量将达到  $406 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 年均增长率为4.9%, 而实际情况是从1993年到1997年, 我国668个城市(不包括小城镇)的用水量非但没有增长, 反而由  $291.5 \times 10^8 \text{ m}^3$  降至  $260 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。又如北京市, 曾预测1995~2000年市区工业需水量将以6%的速度递增, 而实际上从1989年至今, 北京市的工业用水量非但没有增长, 还减少了12.5%。

预测偏高的情况在国外也曾发生。美国国家水资源委员会1968年的报告中, 预测2000年、2020年全国总取水量将在1965年  $3725 \times 10^8 \text{ m}^3$  的基础上分别增长200%和407%, 达到  $11116 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $18900 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。但到1975年, 他们意识到如此高的用水量将无法实现水资源的可持续利用, 于是作出第二次评价, 综合考虑了水污染、水资源量等多种因素, 决定大力推行节水措施, 预测2000年的总取水量与1975年的实际用水量基本持平。这个预测和美国目前的实际取水量十分接近。

造成预测偏高的基本原因是, 对经济发展和用水需求的客观规律没有认识清楚, 误以为随着经济发展, 用水量也必须不断增加。实际上, 随着科技水平的提高, 经济结构的变化, 以及防治污染和水价等各种因素, 在经济发展中, 工农业的用水定额将不断降低。在一些发达国家, 他们在经济增长中, 用水量已达到零增长甚至负增长。

### 2.6.2 我国应要求在人口达到16亿后, 用水量逐渐达到零增长

本次报告预测: 我国用水的高峰将在2030年左右出现。分项预测: 农业用水总量与现在的规模相仿, 为  $4200 \times 10^8 \text{ m}^3$  左右; 工业用水总量从现在的  $1100 \times 10^8 \text{ m}^3$  增至  $2000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 城乡生活用水从现在的  $500 \times 10^8 \text{ m}^3$  增至  $1100 \times 10^8 \text{ m}^3$  左右; 考虑到未来发展前景的不确定性, 因而估计全国用水总量有可能达到  $(7000 \sim 8000) \times 10^8 \text{ m}^3$ , 较现在增加  $(1300 \sim 2300) \times 10^8 \text{ m}^3$ , 人均综合用水量为  $400 \sim 500 \text{ m}^3$ 。

经研究分析, 扣除生态环境用水后, 全国实际可能合理利用的水资源量约为  $(8000 \sim 9500) \times 10^8 \text{ m}^3$ , 按上述估计的用水量, 已接近可合理利用水量的极限。因此, 必须严格控制人口的继续增长, 同时加强需水管理, 做到在人口达到零增长后, 需水也逐步达到零增长。

2.6.3 加强需水管理的核心是提高用水效率 正如中央多次指出,提高用水效率是一场革命。目前我国的用水效率还很低,每立方米水的产出明显低于发达国家,节水还有很大潜力。节约用水和科学用水,应成为水资源管理的首要任务。

在对农业和城市工业用水的分析中已说明,通过全面建设节水高效农业,可以大大提高农业的用水效率。通过推行工业的清洁生产,使工业用水量降低,这不仅可以节约水资源,而且可使城市废水量相应减少,大大削减污染负荷。提高用水效率,还应包括污水资源化和发展微咸水和海水的利用。

总之,提高用水效率不但是保证我国水资源可持续利用所必需,也是建设现代化工农业和城乡健康生活的重要内容。提高用水效率,是从传统工农业和城乡建设转到现代化工农业和城乡建设的一场革命。

## 2.7 解决北方水资源短缺的南水北调战略措施

对北方地区,要从以超采地下水和利用未经处理的污水来维持经济增长,转变为在大力节水治污和合理利用当地水资源的基础上,有步骤地推进南水北调,保证社会经济的可持续增长。

2.7.1 南水北调的必要性 根据对我国水资源 2030 年和 2050 年的供需平衡分析,黄淮海流域特别是黄河下游的黄淮海平原地区,是我国最缺水的地区。在过去的年代,这里的许多地方,特别是黄河以北的海河流域,通过超采地下水和利用未经处理的污水维持了经济的增长。据海河水利委员会统计,海河平原 1998 年超采地下水  $55 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 全流域废污水排放量  $63 \times 10^8 \text{ t}$ , 除排放入海  $5 \times 10^8 \text{ t}$  外,其余或被利用或蒸发渗入地下。据不完全统计,约有  $20 \times 10^8 \text{ t}$  多废污水被用于灌溉。地下水超采最严重的是沧州、衡水和津浦铁路沿线地区,该区的浅层地下水绝大部分为难以利用的咸水和微咸水,多年来超采的是很难再生的含氟的深层地下水,据 2000 年有关方面的分析,深层地下水耗竭的时间将为 10~15 年。太行山麓的京广铁路沿线,由于城市和工业大量抽取地下水,也造成浅层地下水的大面积区域性漏斗。由于水资源的过度开发和污染不加防治,许多地方有河无水,有水皆污,注淀枯竭,造成严重的环境问题。

预测到 2030 年,经充分挖潜和利用当地水资源,采用节水和污水回用等多种措施和考虑了目前引黄和引江的水量后,在地下水不再超采的情况

下,黄淮海平原地区缺水量仍将达到  $150 \times 10^8 \text{ m}^3$  (平水年) ~  $300 \times 10^8 \text{ m}^3$  (枯水年)。考虑到生态环境的用水,今后通过南水北调增补的水源应在  $300 \times 10^8 \text{ m}^3$  以上,其中增补黄河以北应在一半以上。

2.7.2 对南水北调各条线路的初步评价 对已提出的南水北调各种线路(彩插图 3),初步评价后认为:水利部提出的东、中、西三条线路,都是可以成立的,也存在一些难点和问题,需要抓紧进行工作;其他各种“大西线”方案,现在尚缺乏科学依据。现分述如下:

(1) 东线。东线工程从江苏省扬州附近的长江北岸,在原有引水量的基础上,增加年均引水约  $150 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中过黄河约  $90 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。利用和扩建京杭运河及与其平行的部分河道,送水到天津,另建分干线到胶东半岛。

东线工程除可解决江苏和山东两省的缺水外,还可解决河北省东部深层地下水超采和高氟水导致的地方病以及天津市的缺水问题。其有利条件是:直接从长江引水,水源比较丰富可靠;可利用大运河和洪泽湖、骆马湖等现成的河道和调蓄湖泊,投资较低,并可分期分段实施,比较灵活。其难点是:沿线水质污染;需要电力提水,总扬程约 65 m,经常运行费用较高。

(2) 中线。中线工程由加高后的汉江丹江口水库,多年平均的可能引水量估计约  $130 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,其中过黄河约  $(70 \sim 75) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。建设专用的输水渠道,沿京广铁路西侧,送水到北京。

中线工程除可解决河南省中东部的缺水外,还可解决河北省中部经济最发达地区和北京市的缺水。其有利条件是:目前水质较好;绝大部分自流引水,如不计建设成本和丹江口发电损失,运行费用较低。其难点是:从汉江的丹江口水库引水,水源相对有限,如遇连续枯水年难以满足要求;现在规划的线路缺少调蓄湖库,运行困难;黄河以北的线路经过太行山麓的特大暴雨区和地震高发区,安全风险很大;丹江口水库大坝加高需移民  $25 \times 10^4$  人,总干渠基建投资也较高,需要一次建成才能发挥效益,考虑到配套建设的种种问题,总干渠达到设计效益需要相当时间,加上来水和需水匹配的不稳定性,如以贷款建设,将发生运营困难。

(3) 西线。西线工程从长江干流通天河及支流雅砻江、大渡河调水进入黄河上游,补充黄河水

源, 估计可能的调水量为  $(100 \sim 150) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

由于前期工作还没有达到应有的深度, 尚难作出全面评价, 但一般估计, 实施难度将大于中线和东线。

(4) “大西线”。“大西线”工程有各种方案, 都是由雅鲁藏布江、澜沧江、怒江、金沙江、雅砻江、大渡河等调水进入黄河上游。

经研究后认为, 在可以预见的将来, “大西线”设想的一些工程没有现实的技术可行性。就我国未来  $16 \times 10^8$  人口的发展形势看, 也没有大开荒、大移民以致兴建“大西线”的现实必要性。

### 2.7.3 对实施步骤的建议

(1) 南水北调的实施步骤。根据对黄淮海地区水资源供需的分析和南水北调各条线路的初步评价, 建议南水北调的实施分为两大步:

第一步, 2020年前后, 完成南水北调的东线和中线, 并适当调增黄河上、中游省区的分水指标。

第二步, 2020~2050年, 逐步实施南水北调的西线工程。

(2) 东线和中线的先后问题。研究后认为, 东线和中线都是解决黄淮海平原缺水所必需, 而且各有其主要供水范围, 毋须比选谁先谁后, 也不是必须在一条工程完成后才能进行第二条。在北方水资源合理配置的总体规划下, 可以分别作为独立的项目, 按照国家的基本建设程序, 进行前期工作并确定各自的实施步骤。只要前期工作可靠, 开工条件成熟, 都应尽快地逐步实施。

(3) 东线和中线开工前必须完成的先行工作。东线和中线在开工前, 都需要完成一些先行工作, 保证工程建成后能及时发挥效益。在东线, 应首先进行沿线城乡的水污染防治工作, 保证引用水质符合国家规定的标准。在中线的黄河以北, 应及早在沿线城市建设从已建水库引水的自来水厂和管网以及相应的污水资源化工程, 一方面迅速制止当前地下水的超采和水质污染, 同时也为将来中线工程尽快发挥效益创造条件。

对东线和中线工程的原规划, 都应研究进一步优化, 并核实原来估算的工程量和投资。现在看来, 原来的估算都程度不同地偏低。

(4) 中线工程的线路优化研究。研究分析后认为, 中线工程的主要难点是将来建成后运营困难, 这种困难原由有3个因素:

首先是两种用水户的不同要求。一种用水户是城市和工业, 它们实际需要的供水量并不很大, 但要求很高的供水保证率, 其供水工程属于非公益性; 另一种用水户是农业, 还应加上原规划没有考虑的生态环境用水, 它们需要的供水量较大, 但对供水保证率的要求不严格, 其供水工程应为半公益性(农业)和公益性(生态环境)。

第二个因素是来水和需水的匹配不够稳定。水源区汉江的水量有限, 年际水量差别很大, 丹江口水库即使加高大坝也不能做到多年调节; 而受水区海河平原属于干旱的半湿润区, 年际降水的差别很大。两区的水文资料表明, 大约一半年份需水和供水很匹配或比较匹配; 其他年份有时来水多而需求少, 有时需求大而来水不足。

第三个因素是原规划黄河以北的高线工程不够灵活, 工程投资大, 并缺少必要的调蓄工程, 因此将造成运营的困难。

为此, 建议研究比较另一种方案, 即中线在过黄河后, 分设高、低两条输水渠。高线按原规划线路, 沿京广铁路西侧, 全线衬砌, 尽量减少渗漏, 输送保证率高的少部分水量, 专供沿线城市和工业用水; 低线走海河平原的低洼地带, 连接现有的主要洼淀, 基本不加衬砌, 作为一条生态河, 也可称为新海河, 补充海河平原的地下水 and 恢复部分已干涸的河湖水系, 其输水量可随丹江口水库的来水量, 在一定幅度内随机变化。可通过取水许可证, 适当供应农业用水, 利用井渠结合的方式, 以井保丰, 以渠补源。考虑到低线的主要作用是改善生态和支援农业, 宜由国家投资。

(5) 东线、中线和西线工程的互补。考虑到目前分给黄河上游的用水指标偏低, 在东线和中线起作用后和西线工程完成前, 作为过渡性措施, 可以利用东线和中线的增补水量, 适当取代黄河下游灌区的部分用水, 以增加黄河上游的分水指标。

(6) 西线要抓紧前期工作。对西线方案, 应抓紧进行扎实的前期工作, 按照基本建设程序, 制定逐步实施的方案。

(7) 要认真审核长江流域调水后的生态环境影响。长江流域虽然水量相对丰富, 但各支流的情况很不平衡, 预测到2030年以后, 长江流域内的径流量利用率也将超过25%。因此, 对东、中、西各线, 不但要进一步审核对各调水区的生态环境影响, 而且要综合东、中、西三线, 审核对长江全流

域直到入海口的生态环境影响。

## 2.8 与生态环境建设相协调的西部地区水资源开发利用战略

西部地区是我国长江、黄河、珠江等主要江河的发源地,是全国生态环境保护和建设的重点。西北地区水少地多,西南地区水多地少,自然条件有很大不同,但生态环境都很脆弱,水资源的开发利用都属于全国的后进地区,据统计,西部地区50年来的水利投资仅占全国的15%。

在西部地区大开发中,要从缺乏生态环境意识的低水平开发利用水资源,转变为在保护和改善生态环境的前提下,全面合理地开发利用当地水资源,为经济发展创造条件。现就西北和西南两个地区分述如下:

2.8.1 西北地区 西北地区又可分为内陆河流域和黄河流域两个不同类型,需要分别加以分析。

(1) 内陆河流域。西北内陆河流域是我国的干旱地区,土地资源丰富,但年均降水量和单位面积产生的年均径流量在全国都是最少。由于人口稀少,人均水资源量并不少,1993年约为 $5\,200\text{ m}^3$ ,预计到2050年为 $3\,850\text{ m}^3$ ,都高于国际公认的人均 $1\,700\text{ m}^3$ 的水资源紧张的警戒线(世界上同类地区:埃及为 $923\text{ m}^3/\text{人}$ ,以色列为 $380\text{ m}^3/\text{人}$ ,均包括境外流入的水源)。造成本区生态环境恶化的主要原因是:

灌溉农业还停留在传统的粗放型阶段,农业增产主要依靠扩大耕地面积而不是提高农业用水效率,以致农业用水量过大,产量不高,农田盐碱化,而且挤占了下游生态环境的用水,造成塔里木河和黑河等流域下游荒漠植被的衰亡和沙漠化的发展。

在农、林、牧业的产业配置上重视农业发展,对林牧业注意不够,造成山区的林木过伐,草原牧区的过牧和滥垦。

对水资源的开发利用也停留在粗放型阶段,主要表现在:灌区的配套建设落后;山区的控制性水库不足,平原水库过多,水源大量蒸发渗漏;上下游的统一规划和管理都很不够;这些都造成水资源的严重浪费和配置不当。

针对以上问题,在今后的发展中应:

充分注意保护森林、草原和荒漠植被;

合理调整农、林、牧业的配置,发挥本地区发展牧业的相对优势;

着重建设现代化的节水高效的灌溉农业和高效牧业,主要通过改造中低产田来提高农业的产出,严格控制耕地面积的继续扩大,西部地区大开发决不能理解为西北地区大开荒和大移民,在一些下游生态环境已受影响的河流如塔里木河及黑河,要坚决减少农业用水,恢复应有的生态环境;

在统一规划下,进一步合理开发利用水资源,包括兴建山区水库以取代平原水库,以及在本区范围内的跨流域调水;

在城市和工业建设中贯彻节水优先、治污为本、多渠道开源的战略,要充分考虑干旱区的特点,合理安排经济结构和发展规划,不应兴建耗水量大的项目;

控制人口的增长。

只要做到这些,在可以预见的未来,本区的水资源可以支持经济发展的需要。

(2) 黄河流域。绝大部分属于土壤易受侵蚀的黄土高原,处在我国从半湿润区、半干旱区向干旱区的过渡带,也是农牧交错区。黄河流域年均径流量 $580\times 10^8\text{ m}^3$ ,其中青海、甘肃、宁夏、陕西产流约 $350\times 10^8\text{ m}^3$ 。但由于本地区山高水深、地形复杂,除一部分河谷台地和较平坦的高原外,其他大部分地区都难以引黄灌溉。有些已建的大型灌溉工程,如引大济秦、盐环定扬黄工程等,因配套工程量巨大,至今没有充分发挥效益,甚至基本没有发挥效益。一些历史悠久的老灌区,如宁蒙的河套灌区和陕西的关中灌区等,也因长期投入不足,灌溉效率很低。大量的丘陵沟壑区依靠陡坡开荒,广种薄收,水土流失严重,生产条件极差,人民生活极为贫困,形成“越穷越垦、越垦越穷”的恶性循环。建议:

a. 因地因水制宜,大力调整农、林、牧业的生产结构,注意发挥本区发展牧业的优势,着重发展舍饲畜牧业及相应的畜牧产业。

b. 进行水土保持的综合治理,在陡坡退耕还林还草的同时,仍要继续加强沟壑治理和基本农田建设等工程措施,并发展蓄集雨水的抗旱补灌,解决人畜饮水困难。

c. 在国家支持下,对已建灌区进行以节水高效为中心的续建、配套和技术改造工程。

d. 在有条件的地方,引用黄河干流和大通河、湟水河、洮河、泾河、渭河、洛河等支流的水源,建设节水高效的新灌区;目前分配给本地区的黄河

用水指标为  $122 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 近年来实际用水约  $108 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 在今后发展中, 可随着南水北调东线和中线的发挥作用和本区用水的需要, 首先从下游的分水指标中, 调剂一部分给上中游, 然后开展西线南水北调, 进一步增加黄河的水量。

e. 对一些缺乏发展条件, 生态环境十分严峻的特殊贫困地区, 应下决心成建制地迁移人口到新建灌区, 摆脱扶贫—脱贫—返贫的怪圈。

f. 严格保护黄河干流和支流的水质, 防治污染。

2.8.2 西南地区 主要包括长江、珠江和澜沧江、怒江、元江、雅鲁藏布江等国际河流。本地区的水资源总量达  $1.01 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , 人均水资源量  $5132 \text{ m}^3$ , 均居全国前列。可开发水能蕴藏量(不含西藏)为  $2.12 \times 10^8 \text{ kW}$ , 居全国首位。但由于山高水深, 地形复杂, 还有大片岩溶山区, 水资源的开发成本较高, 至今开发程度很低。云、贵、川、渝和西藏的人均灌溉面积\* 分别为 0.43、0.20、0.36、0.24 和 0.84 亩, 除西藏外, 都低于全国平均数 0.57 亩, 贵州居于全国末位。目前仍有  $1600 \times 10^8$  山区人口饮水极度困难。许多地方陡坡开荒, 靠天吃饭, 与西北的山丘区一样, 也形成“越穷越垦、越垦越穷”的恶性循环。比西北山丘区更为严重的是, 由于暴雨的强度和频率更大, 山区的表土层很薄, 有的山坡表土冲刷殆尽, 形成触目惊心的“石漠化”。有些经济比较发达的地区如滇中高原、川中和川东丘陵地区, 则因地势较高, 缺少水利骨干工程, 仍形成局部缺水。由于水能资源远离电力负荷集中的东部地区, 水电的开发程度只有 10.5% (不包括西藏)。因此, 发展水利和水电, 是支持本区的大开发的重要基础条件。建议:

a. 调整农业生产结构, 退耕还林还草, 发展多种经营的大农业。

b. 在退耕还林还草的同时, 要大力支持以中、小、微工程为主的“水利扶贫工程”, 建设包括集雨窖灌等多种形式的有一定灌溉保证的基本农田, 为广大农民恢复保护生态环境和脱贫致富创造条件。考虑到西南地区山高坡陡的特殊地形条件, 建议对本地区的一些中型水库, 按大型水库给予扶持。

c. 对一些生态环境严重恶化、解决饮水非常困难、交通极为闭塞的山区, 要下决心迁移人口, 合理调整人口布局。

d. 在局部缺水地区, 建设适当的大型水利骨干工程, 如滇中高原的补水工程、嘉陵江亭子口水库灌区工程、涪江的武都引水工程以及金沙江的向家坝引水灌溉工程等。

e. 发挥水能资源的优势, 以“开发水电、西电东送”为大开发的重要项目, 加快本区的总体经济发展。为此需要国家对全国电力布局进行宏观调控, 关闭一部分污染严重、效率低下的火电站, 并实行厂网分开的电力体制改革, 为西电东送开拓市场。同时, 对水电的税率和贷款实行国际通行的优惠政策。

f. 严格保护三峡和其他水库及高原湖泊的水质, 对已经污染的滇池等水源, 要抓紧治理。

g. 西藏地区近期重点开发“一江两河”(雅鲁藏布江、拉萨河、年楚河)的水资源, 发展灌溉和水电, 同时加强生态环境的保护, 为长远发展奠定基础。

### 3 为实现战略建议所必需的改革措施

我国水资源的许多问题, 所以长期未得解决, 除了认识问题外, 很重要的原因是水资源的管理体制、水资源的投资机制和水价政策中存在问题。因此, 实现上述战略建议的关键, 是进行以下3方面的改革。从某种意义上说, 改革才是解决我国水资源问题的根本出路。

#### 3.1 改革水资源的管理体制

多年以来, 部门分割、地区分割的水资源管理体制, 使防洪减灾、城乡用水、防治污染、保护生态环境等工作都存在许多矛盾, 造成许多不应有的浪费和损失。为此, 建议在国务院建立以副总理为首、吸收有关部委负责人参加的水资源管理委员会, 水利部作为委员会的办公室, 负责具体的组织协调工作。各省、市、自治区及水利部下属的各江河的水利委员会, 也按此原则进行改组, 成立统一管理水资源的委员会。全国按流域管理与区域管理相结合的原则, 以“一龙管水, 多龙治水”的模式, 对江河上中下游、城市与乡村、水量与水质、地表水与地下水、供水与需水、用水与防治污染, 实行统一规划和统一管理, 并相应地加强水资源的立法和执法, 修订原有的水资源规划。

\* 为方便读者阅读、记忆, 此处仍保留废弃的计量单位“亩”,  $1 \text{ 亩} = 1/15 \text{ hm}^2$ 。

### 3.2 改革水资源的投资机制

多年以来,水资源的投资机制存在以下问题。

**3.2.1 水资源建设的投入不足而且极不稳定** 从 20 世纪 70 年代后期以来,对水资源建设的投入缺口很大而且极不稳定。“文革”结束以后,由于对水利的作用发生认识上的分歧,水利建设的投资被大幅度削减,以后虽逐渐增加,但很不稳定。有的地方,大灾以后大干,小灾以后小干,风调雨顺不干。有的地方,水灾以后抓防洪,旱灾以后抓灌溉,重点不断变换。因此,一些已定的规划长期未能完成,如:治淮已经 50 年,中间又经过几次大洪水,曾经再次强调治淮,但几起几落,至今治淮规划中的重要骨干工程如淮河入海水道,还刚开始第一期工程。

**3.2.2 中央与地方投资的分工不够合理** 中央与地方对水利投资分工范围的设定,对许多地方产生误导。为了争取中央投资,许多地方本来应当着重进行中小工程、续建配套工程和节水工程,却脱离实际地追求新建大型甚至特大型的开源工程。不少中央举办的大型灌区,如安徽的淠史杭、宁夏的青铜峡、内蒙的河套等灌区,骨干工程已建成几十年,但因配套投资不足,至今没有完成全部工程,因而长期不能达到设计效益,造成很大的浪费和损失。

**3.2.3 城市供水和污水处理的资金缺口很大** 缺水城市中,绝大多数属于设施型缺水和污染型缺水。北方不少城市,所以大量超采地下水,很重要的原因是缺少资金修建引用地表水的自来水厂和相应管网。南方不少城市,则因地表水污染而大量超采地下水。全国普遍地在建设供水设施的同时,缺少资金修建相应的污水处理设施。许多地方在严重缺水的同时,大量污水不能利用;有的地方,引用未经处理的污水,造成严重后果。

**3.2.4 水土保持和林草植被建设的资金缺乏统一管理** 近年来,中央对水土保持和植被建设给予高度重视和很大支持,得到全国人民的拥护。但是由于条块分割的投资机制,各项措施不能形成合力,综合治理效益难以充分发挥。例如,按 1999 年制定的《国家生态环境建设项目管理办法》,把一个完整的小流域综合治理的措施体系,分割开来,由不同的职能部门按措施分别立项,造成一个区域或流域的治理重复投资、治理面积重复计算。一些地方反映:“综合治理,综而不合;重点投资,层层

截留。”资金投入的另一个问题是,许多地方重治理、轻保护,边治理、边破坏,治理跟不上破坏的现象长期得不到解决。

针对上述问题,应当研究设立长期稳定、有正确导向、全面系统的水资源综合治理投入机制,在水资源的投资机制中应充分考虑污水处理的需要。

### 3.3 改革水价政策

长期以来,我国的水价政策极不合理,几乎与我们所不断提倡的节水、治污和统一调配水资源的战略反向而行。例如:

黄河已达到年年断流的缺水程度,但至今引黄的水价每吨只收几分甚至仅几厘钱,远远低于其他水源的价格,使水资源的合理配置难以实现;

一些城市的超采地下水已经十分严重,但至今这些城市的企业和单位仍可无偿开采地下水,导致引用地表水的自来水厂难以运营;

虽然不断提倡节水,但至今工业和城市生活的水价不但不能调动有关方面进行节水改造的积极性,甚至不能按市场经济的要求,维持良性运行;

污染已到十分严重的程度,但至今许多地方污水处理厂的运行费用没有着落,许多已建的污水处理厂不按设计运行甚至根本不运行;

对于处理后的污水回用,至今没有合理的定价,难以推行污水的再生利用;

许多地方由于农民的负担能力有限,政府没有明确的补贴办法,灌溉水价不能反映实际的运行成本,致使许多灌区不但不能按期更新改造,而且不能维持简单再生产。

种种情况说明,水价是水资源管理中的主要经济杠杆,对水资源的配置和管理起重要的导向作用。必须在国家水资源管理机构的统一领导下,根据国家确定的水资源战略,明确制定我国现阶段的相应水价政策和水价系统。北京市最近出台的水价改革办法是一个有益的尝试,值得研究推广。

## 4 结 论

当我国人口增至  $16 \times 10^8$  时,我国的人均水资源量将降到  $1760 \text{ m}^3$ ,已接近国际公认的水资源紧张的标准,水资源的形势十分严峻。同时,防洪减灾的任务也十分繁重。经过对防洪、农业、工业、城乡生活、生态环境等各方面情况的分析,本报告认为,在加强管理、加大投入、合理配置、高效利用和注重保护的前提下,我国有条件在人与环境协

调共处的基础上, 实现第三步战略目标和社会经济的可持续发展。为此, 提出水资源可持续利用的总体战略和相应 8 个方面战略性转变的要求, 其核心是提高用水效率, 建成节水防污型的社会。这个问题在我国虽已提出多年, 但至今未能全面贯彻, 其根本原因是: 提高用水效率不单纯是水资源本身的问题, 而是一场涉及生产力和生产关系的革命。21 世纪即将到来, 如果我们再不抓紧时机, 将造成不

可挽回的损失。必须从现在起进一步明确方向, 下定决心, 进行扎扎实实的工作, 结合工农业和城乡建设的现代化, 提高我国的用水效率。本报告力求全面系统地分析战略性转变的必要性和主要内容, 并进一步提出为实施战略转变所必须进行的改革。我们希望, 这个报告能进一步引起各方面的注意并形成共识, 在党中央和国务院的领导下, 在中国大地上真正展开一场提高用水效率的革命。

## Strategic Research on Sustainable Development of Water Resource in China

Project Group of "Strategic Research on Sustainable Development of Water Resource in China in 21st Century", Chinese Academy of Engineering  
(*Chinese Academy of Engineering, Beijing 100038, China*)

[**Abstract**] The total water resource volume in China is  $28\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ . According to the demographic statistics in 1997, the average water resource per person is  $2\,220 \text{ m}^3$  and will be, by estimation, decreased to  $1\,760 \text{ m}^3$  in the year of 2030 with the population growing to  $16 \times 10^8$ . According to the commonly accepted standard, a nation which has a water resource volume per person below  $1\,700 \text{ m}^3$  will be considered to be short of water resource. The water resource in future is seriously sufficient.

During the past 50 years, the national water consumption has been lifted from above  $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$  in 1949 to  $5\,566 \times 10^8 \text{ m}^3$  in 1997, among which agricultural water consumption was 75.3%, industrial water consumption 20.2%, and the water consumption in cities 4.5%. The average comprehensive water consumption per person rose from below  $200 \text{ m}^3$  to  $458 \text{ m}^3$ . The problems confronted at present are: lack of flood prevention safety; coexistence of water resource shortage and the extravagance of water resource; the damage to ecological environment resulted from over-exploitation of water and land resource; the deterioration of water environment and the rapid worsening of water pollution. These problems are very grave now.

This report points out that establishing modern agriculture which can efficiently save water can enable the present cultivated area and the irrigation water amount to produce sufficient products meeting the needs of population of  $16 \times 10^8$ . The water consumption peak in our country will appear around 2030, with the water consumption amounting  $(7\,000 \sim 8\,000) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$  and the average water consumption per person  $400 \sim 500 \text{ m}^3$ . By that time, the actual utilizable water volume throughout the whole country will be  $(8\,000 \sim 9\,500) \times 10^8 \text{ m}^3$ , and that is to say the needed water amount will be approaching the utilizable water volume limit. Consequently, population should be strictly controlled from further growing and water management to reinforced for the purpose of zero increase of needed water volume when population reaches zero-growth. The general strategy of water resource in China must be the sustainable utilization of water resource supporting the sustainable development of economy.

It is also proposed in this report that strategic shifting be implemented on aspects of flood and disaster prevention; agricultural water consumption; water consumption in cities and industry; pollution and disaster prevention; ecological environment construction; equilibrium between water supplying and needing; solutions to the water resource problem in northern and western China.

[**Key words**] water resource; flood and disaster prevention; agricultural water consumption; water consumption in cities and industry; ecological environment construction; sustainable development



## 项目综合组成员名单

- 组长:** 钱正英 中国工程院院士, 总项目组长兼防洪减灾课题组长
- 副组长:** 张光斗 两院资深院士, 清华大学教授, 总项目副组长
- 成员:** 王淀佐 两院院士, 中国工程院咨询委员会主任
- 师昌绪 两院院士, 中国科学院咨询委员会主任
- 徐乾清 中国工程院院士, 原水利部副总工程师, 防洪减灾课题副组长
- 刘昌明 中国科学院院士、中科院地理科学与资源所研究员, 水资源评价和供需发展趋势分析课题组长、兼城市水资源课题副组长
- 陈志恺 原中国水利水电科学院水资源所所长、研究员, 水资源评价和供需发展趋势分析课题副组长
- 石玉林 中国工程院院士、中科院地理科学与资源所研究员, 农业需水分析与节水高效农业建设课题组长
- 卢良恕 中国工程院院士, 原中国工程院副院长、农业需水分析与节水高效农业建设课题副组长
- 钱 易 中国工程院院士、清华大学教授, 城市水资源与防污减灾课题组长
- 潘家铮 两院院士, 中国工程院副院长、北方地区水资源的合理配置和南水北调课题组长
- 张泽祯 原中国水利水电科学研究院院长, 研究员, 北方地区水资源的合理配置和南水北调课题副组长
- 张宗祜 两院院士、中国地质科学研究院研究员, 西部地区水资源开发利用(西北)课题组长
- 卢耀如 中国工程院院士、中国地质科学研究院研究员, 西部地区水资源开发利用(西南)课题组长
- 沈国舫 中国工程院院士, 中国工程院副院长、生态环境建设与水资源保护利用课题组长
- 王礼先 原北京林业大学水土保持学院院长, 教授, 生态环境建设与水资源保护利用课题副组长
- 汤鸿霄 中国工程院院士、中科院生态环境研究中心研究员, 城市节水专题组长
- 邵益生 建设部城市水资源中心主任、研究员, 城市水资源专题组长
- 贾大林 中国农业科学院研究员, 节水高效农业建设专题组长
- 常 平 中国工程院秘书长, 副编审

### 项目秘书:

- 谢冰玉 中国工程院土木、水利与建筑工程学部办公室主任, 高级工程师
- 王振海 中国工程院土木、水利与建筑工程学部办公室高级工程师
- 孙雪涛 全国政协秘书、高级工程师