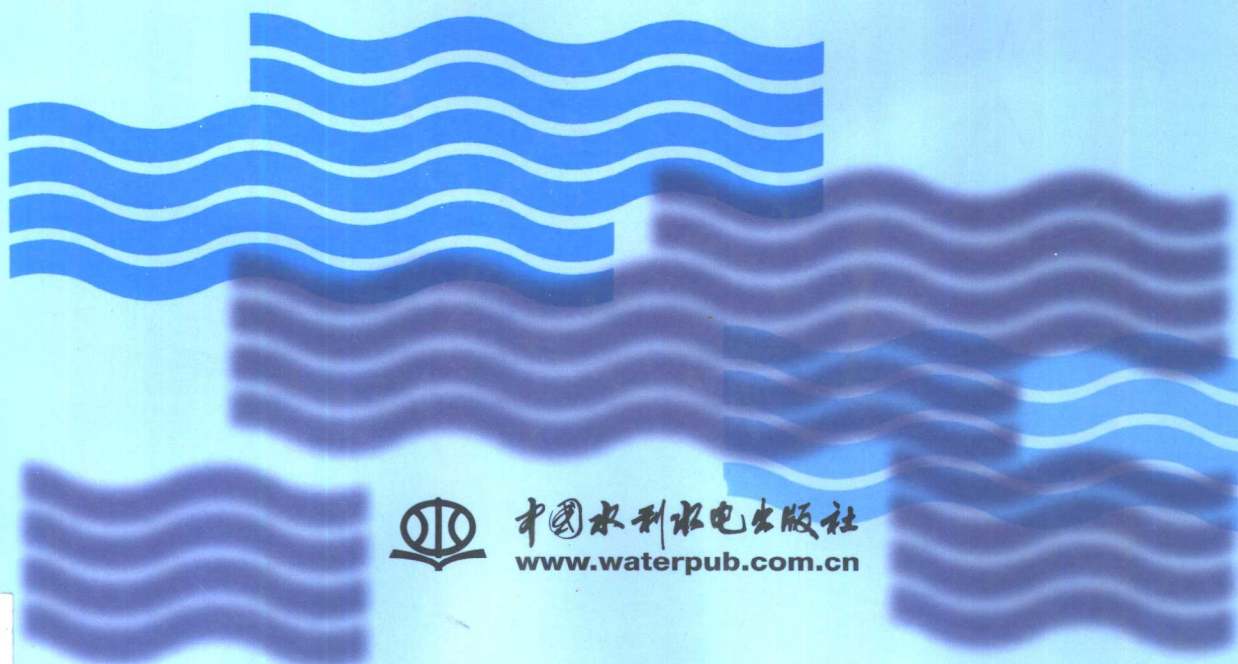




水的开发与利用

刘善建 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

水的开发与利用

刘善建 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书内容丰富,共分18章,分三部分描述水的开发与利用的情况。第一部分从理论与实践各方面列举国内外众多事例,充分论证水资源开发、利用的重要意义与深远影响。第二部分根据作者多年的调查研究与经验总结,全面系统地阐明我国水资源开发、利用的情况和特点。第三部分则针对我国水资源工作中的焦点和热点,分专题展开讨论,以期能吸引更多更好的意见,共同促进我国水资源的开发、利用在各方面的发展与提高。

本书的读者对象为:水利工作者,进行战略研究、关心中国水资源开发、利用情况的全社会各阶层人士。

图书在版编目(CIP)数据

水的开发与利用/刘善建著. —北京:中国水利水电出版社, 2000. 8

ISBN 7-5084-0410-6

I. 水… II. 刘… III. ①水利资源开发②水资源-利用 IV. TV213

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第64760号

书 名	水的开发与利用
作 者	刘善建 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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	水利电力出版社印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 23.5印张 544千字
版 次	2000年9月第一版 2000年9月北京第一次印刷
印 数	0001—3110册
定 价	56.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

序

钱 正 英

面临 21 世纪，水资源已成为全球的热门话题。在我国，水资源问题更是全社会关注的重点。我国的水资源总量虽居世界前列，但人均水资源不足世界人均的四分之一，且时空分布不均，与人口、耕地和各类资源的分布不相匹配。在未来的数十年中，我国的人口将增长到 16 亿，国民经济将继续快速发展，人民对生活质量的要求将大大提高，而我国的水资源却存在着水多（洪水）、水少（缺水）和水脏（污染）三大问题。如何合理利用和保护水资源，关系到我国经济社会的可持续发展，确实应当引起政府和人民的高度重视。《水的开发与利用》比较全面地反映了我国水资源开发利用的历程和展望，对于水利工作者和关心水利的社会各界人士，都可供参考。

本书作者刘善建同志在水利界工作了半个多世纪，最近十多年来在国家计划委员会的国土局任总工程师，退休后受聘于国际工程咨询公司，参与重大水资源开发利用项目的咨询、论证、审查、评估。这些经历使他可以超脱行业界限，从更宏观的角度来分析研究有关水资源的战略问题。这对于总结过去、探索未来，都是有益的。

解决水资源问题，既需要自然科学，又需要社会科学，既需要应用科学，也需要理论科学。为了 21 世纪我国经济社会的可持续发展，应当如何制定我国水资源的战略，这是有待各方深入探讨的问题。希望《水的开发与利用》一书的出版，能有助于进一步推动这方面的工作。刘善建同志以八十多岁的高龄，总结他毕生的研究，写出这样一本书，起到这样一种作用，我想，也达到他的初衷了。特为之序。

前 言

我国是一个水资源短缺的国家，每人和单位耕地面积所占有的水资源量分别为世界平均数的 $1/4$ 和 $3/5$ 。水资源的地区分布极不均匀，与人口、耕地、资源不相匹配。农业和农村缺水，全国每年受旱面积约 2000 多万公顷；城市和工业缺水，当前全国 600 多座城市有 $1/2$ 不能保证供水。21 世纪内，我国人口有可能达到 16 亿高峰，工业要达到中等发达国家水平，水土资源的需求将进一步增加，如何解决经济发展与人口、资源、环境相适应的问题，愈来愈受到政府和公众的极大关注。

我国水资源的开发利用，长期以来主要集中在农田水利与水能、水运方面，并以灌溉为主。80 年代以后，由于经济的高速增长，水资源的利用从工农业延伸到整个国民经济部门，从供水延伸到用水，从水量延伸到水质，对水资源开发利用的广度与深度要求，愈来愈高。为适应当前形势和今后发展，笔者学习吸收了国内外研究成果，结合从基层到国家高层综合决策部门的工作经历，理论结合实际，提出本专著。

本书共分十八章，约五十万字。第一部分以水的战略意义为中心，对水与水土资源，水与生态环境和我国 21 世纪面临的人口、粮食问题，列举国内外众多事例，充分论证水的开发利用的重要意义与深远影响，以增强人们爱水、节水、治水、保水的意识。第二部分是根据多年来的调查研究与经验总结，全面系统地阐明我国水资源开发利用的情况和特点：首先从四个方面解剖其在国民经济发展中的地位与作用，其次分层次论述其在工业和农业，城市和农村，供水和用水，节水和防污等方面的具体要求与措施。第三部分针对我国水利工作中的焦点和热点，按笔者多次参与讨论咨询的意见和建议，汇集整编列为专题，作为抛砖引玉，希望能吸引更多更好的宝贵意见，共同研究，集思广益，以促进我国水资源的开发利用在各方面的发展与提高。

本书编写的指导思想：第一坚持立足当前，着眼未来，认真考虑水资源的永续利用和可持续发展；坚持立足水利建设，着眼社会经济发展，切实注意全局性问题与宏观战略意义；第二恪守过去在国家综合经济决策部门的习惯与要求，力争在论述水资源开发利用的复杂情况时，做到公平合

理，重视客观实际，摆脱学科与部门的局限性，讲究水资源开发利用的综合性能与整体效益；第三实事求是，努力争取在现有基础上有所创新，提出一些新的思路，新的观点，和分析计算中的新方法、新要求，例如，浑水的开发利用，跨流域调水的讨论，水的多功能分析，以及供需平衡的评价与建议等；第四学习前人写作经验、编辑技巧，尽量做到框架合理、结构严谨、重点突出、层次清晰、论证充分、观点明确。

本书内容比较丰富，资料相对齐全，跨部门、跨学科、综合性强，可以充实补充学校的教学内容，可以加强科研与生产的联系，可以为水利系统的规划设计单位及国家决策部门提供参考。但是，本书的编写历时较长，随着水利事业的发展，水利科技的进步和水利文献的丰富，加之笔者水平有限，各篇章之间难免重复，观点数据难免失当，尚祈读者指正。

本书在编写过程中得到黄河水利委员会、中国水利水电科学研究院水资源所、水利部规划设计院和国家计委国土研究所有关领导和专家的帮助与支持，并提出了宝贵意见，甚为感谢。

全国政协副主席、水利部老部长、中国工程院院士钱正英，是我的老领导，我作为水利部技术干部，长期受到她的熏陶与教诲，受益匪浅。这次她在百忙中，对本书的编写与出版又给予热情的鼓励与支持、亲切的关怀与指导，并代为作序，使我十分感动，特致以诚挚的敬意与衷心的感谢。

本书的出版还得到国家科学技术学术著作出版基金会的资助以及中国水利水电出版社和黄河水利出版社的大力支持，在此一并致谢。

作 者

2000年8月

目 录

序	钱正英
前言	

第一篇 综 论

第一章 水的概述	1
第一节 淡水的循环及其可利用量	1
第二节 水的开发与消费	3
第三节 人工灌溉与农业生产	5
第四节 水的多功能特性与综合利用	8
第五节 需水预测	10
第六节 供水展望	14
参考文献	17
第二章 水的功能	18
第一节 水的资源特性	18
第二节 功能主次类别与宏观效应	19
第三节 功能的水源和取用方式	21
第四节 功能的损益与展望	23
第五节 功能利用的前景与功效	25
第六节 功能的协调与综合	29
第七节 功能的规划与管理	31
第三章 水的战略意义	34
第一节 水与经济发展	34
第二节 水与人类健康	36
第三节 水与社会稳定	38
第四节 水与国家安危	40
第五节 水与世界和平	42
参考文献	45
第四章 水与环境	46
第一节 水环境	46
第二节 森林、草原	48
第三节 湖泊、湿地	49
第四节 土壤侵蚀与土地沙漠化	51
第五节 盐碱化与地下水	52

第六节 大气气候与灾害	53
第七节 生物物种与自然景观	54
第八节 小结	55
参考文献	56
第五章 人口·粮食·水	57
第一节 目前情况与问题	57
第二节 人口与粮食	59
第三节 粮食与水	61
第四节 水与人口	68
第五节 结语	71
参考文献	71

第二篇 我国水资源及其开发利用

第六章 我国水资源及其开发利用	73
第一节 我国水资源的总量及其特点	73
第二节 水资源的优势	78
第三节 水资源开发利用条件	80
第四节 水资源开发利用现状	81
第五节 农业灌溉的发展与实例	82
第六节 城市供水的发展与实例	85
第七节 水资源开发利用的主要问题	86
第八节 关于进一步开发利用水资源的几点意见	87
参考文献	89
第七章 水利区划与水资源利用	90
第一节 水利区划的性质与作用	90
第二节 水土资源现状与问题	92
第三节 总结经验教训, 处理好各种关系	95
第四节 水利区划分区	99
第五节 积极提高水利化程度	108
第八章 国土开发与水资源利用	114
第一节 国土资源与江河水系	114
第二节 历史回顾	116
第三节 现状述评	118
第四节 国土开发与水资源	120
第五节 国土整治与水环境	125
第六节 强化水利事业、创建国土新貌	127
第七节 结论与展望	128
参考文献	129

第九章 区域经济与水资源利用	130
第一节 水与区域经济	130
第二节 江河水系的开发利用条件	131
第三节 江河水系的开发利用现状	136
第四节 西部水利与经济发展	139
第五节 缩小东西部差距的设想	142
第六节 利用江河优势发展区域经济	144
参考文献	146
第十章 水利与农业	147
第一节 水利是农业的命脉	147
第二节 农灌与农业	152
第三节 21 世纪的粮食需求与水利建设	157
参考文献	162
第十一章 水利与城市	163
第一节 城市水问题	163
第二节 城市缺水	170
第三节 借鉴“东深”，搞好城市供水	173
第四节 城市供水规划的特点与要求	177
参考文献	182
第十二章 中国的用水与供水	183
第一节 供水的基本情况与特点	183
第二节 农村及农业的用水与供水	190
第三节 城市和工业的用水与供水	193
第四节 合理利用与节约用水	197
第五节 供水与用水的展望	205
参考文献	210
第十三章 城市和工业的节水与防污	211
第一节 节水防污的战略意义	211
第二节 现状与问题	212
第三节 危害突出，影响深远	215
第四节 浪费与污染的原因分析	217
第五节 节水防污的对策措施	219
第六节 提高科技含量，节水增效	222
第七节 提高污水处理技术，治污增益	224
第八节 综合规划，全面安排，提高效益	227
第九节 发展趋势与展望	229
参考文献	232

第三篇 专 题

第十四章 跨流域调水的若干问题	233
第一节 战略地位与战略要求	234
第二节 目的任务与合理性分析	236
第三节 可调水量与水源工程	237
第四节 调入区的用水	240
第五节 输水线路与其技经要求	241
第六节 经济效益	243
第七节 社会影响	245
第八节 环境评价	247
第九节 经济财务分析与成本测算	248
第十节 组织管理与协调	251
第十一节 南水北调工程东、中线方案的评述	252
第十二节 西部调水的战略意义	258
第十三节 “三河三线”要统一规划	262
第十四节 北水南调与东北水利	265
参考文献	268
第十五章 浑水特性及其开发利用	269
第一节 浑水概述	269
第二节 浑水浓度与流域概貌	270
第三节 浑水浓度与河道形态	274
第四节 浑水河流的输沙特性	276
第五节 浑水河流的防洪特点	278
第六节 浑水河流的工农业用水	281
第七节 浑水河流的水库调蓄	283
第八节 浑水河流的水域与水量利用	285
第九节 浑水河流的前景	287
第十节 黄河中游的浑水利用	291
参考文献	299
第十六章 黄淮海地区的水资源开发利用	300
第一节 基本情况及特点	300
第二节 水资源的现状与评价	301
第三节 水资源开发利用布局	304
第四节 水资源开发利用战略	305
第五节 黄河长江联合供水的线路方案	307
第六节 华北水资源利用的近期重点	309
第七节 海河水资源利用的政策与展望	314

参考文献	319
第十七章 山西能源基地水资源问题	320
第一节 自然地理和社会经济	320
第二节 水资源及其开发利用	323
第三节 宏观调控与科学管理	326
第四节 保护和改善生态环境	330
第五节 关于业务工作的几点建议	332
第六节 黄河东岸的开发与整治特点——要建立节水型社会	333
第七节 黄河西岸开发与整治特点——要建立良好的生态系统	336
编后记	339
第十八章 供水效益与供水计划的分析与建议	340
第一节 工农业供水的效益简析	340
第二节 历次供需分析的反思与评述	348
第三节 关于中长期供水计划的建议	352
编后说明	362
参考文献	362
后记	364

第一篇 综 论

第一章 水的概述*

第一节 淡水的循环及其可利用量

一、全球淡水

全世界淡水储蓄量合计超过 3700 万 km^3 ，足以填满十个地中海。可是这些水有 3/4 (约 2900 万 km^3) 储藏在冰川和南北两极的冰层里，现有的技术水平尚难以利用，剩下的几乎都在地下含水层里 (约 840 万 km^3)，现在也没有大量开发。目前主要的供水来源，包括湖泊河流 (20 万 km^3) 和大气层的水蒸气 (1.3 万 km^3)，还不到全部储蓄量的 1%。

淡水的来源，主要靠海洋及陆地阳光照射下不断的蒸发。每年蒸发的水份 (包括植物蒸腾) 大约有 50 万 km^3 ，其中 43 万 km^3 来自海洋，7 万 km^3 来自大陆。由于大气层的水气含量基本上是固定的，所以这些水份必然变成雨雪回到地面。陆地降水量与蒸发量的不平衡，对陆地生物的生存有着极大的意义。陆地的蒸发量是 7 万 km^3 ，降水量是 11 万 km^3 ，水份循环的结果是每年把约计 4 万 km^3 的淡水由海洋送到大陆。世界五大洲淡水循环及蒸发量的比值如表 1-1 (表中数字一般取三位有效数，文中数字更概括一些，两者是一致的)。由表 1-1 可见：非洲陆地条件太差，蒸发系数达 80%，因而可资利用的河川径流模数只有 13.6 万 m^3/km^2 ，南美洲雨水充沛，可资利用的径流模数为非洲的四倍有余。而欧、亚、北美三大洲无论是蒸发系数或者是

表 1-1 全球淡水循环简明表

洲 名	亚 洲	非 洲	南美洲	北美洲	欧 洲	全 球 (含大洋洲)
面积 (万 km^2)	4500	3030	1780	2070	980	13230
降雨 (万 km^3)	3.27	2.08	2.94	1.39	0.72	11.0
径流 (万 km^3)	1.32	0.42	1.04	0.60	0.31	3.88
地下水 (万 km^3)	0.34	0.14	0.37	0.18	0.11	1.19
地表水 (万 km^3)	0.98	0.28	0.67	0.42	0.20	2.69
蒸发 (万 km^3)	1.95	1.66	1.90	0.79	0.41	7.15
蒸发/降雨 (%)	0.60	0.80	0.65	0.57	0.57	0.65
径流/面积 (万 m^3/km^2)	29.3	13.9	58.4	29.0	31.6	29.3

注 资料摘自 D. stephenson: "Water resource deveiopmet in developing countries" 1992。总计包括澳洲，本文稍加简化，未列澳洲，并删去原表中的土壤水 (全球共计 8.34 万 km^3)，该水基本不参与循环。

* 本章内容曾载于《水问题论坛》1995 年第 2 期。

表 1-2 全球稳定水量及可利用量表

单位: 万 km³

年 份	1800	1850	1900	1950	2000
稳定基流 (包括无人区)	1.200	1.210	1.230	1.280	1.400
可利用量	0.07	0.71	0.73	0.78	0.90
总需求量 (总消费量)	0.07	0.08	0.14	0.26	0.65
净水消费量	0.05	0.07	0.10	0.18	0.35

注 资料摘自 R. P. Ambroggi "Water" Scientific American 1982 (参考资料 2)。净水消费量即人们常用的实际消费量。由于污染不能用的水估计还有 0.3 万 km³, 虽然没有消费但必须拥有这部分水, 加在一起总消费量为 0.65 万 km³, 考虑某些不均匀性约 0.7 万 km³。

地均河川径流量都相当于全球平均值, 分别为 0.60m³/km³ 和 30m³/km³ 左右。

虽然大陆上每年收入是 4 万 km³ 水, 但并非所有这些都能为人类利用, 有的变成洪水流掉, 有的被土壤沼泽吸收, 能够为人类利用的仅是全球的河川基流, 其经湖泊、水库调蓄, 到本世纪末每年稳定基流只有 1.4 万 km³。而其中 0.5 万 km³ 流经气候条件不好, 今后仍不会有人居住的无人区, 而白白流失。因此, 世界上水的有效资源大约是每年 0.9 万 km³, 这是未来若干年内每年

能够供给人类的全部水资源量。稳定基流与可利用量的时空变化, 根据有关资料整理简化后, 列如表 1-2、表 1-3。由表可见, 稳定基流和可利用的水量能够通过人类的工程措施, 适当提高的, 仅为原有河道基流的 1/6, 极为有限。

表 1-3

全球稳定基流统计表

单位: 万 km³

洲 名		亚 洲	非 洲	南美洲	北美洲	欧 洲	全 球 (含大洋洲)
稳定基流	地下水	0.341	0.147	0.374	0.174	0.107	1.190
	河湖调蓄	0.004	0.004	—	0.015	0.006	0.030
	水库调蓄	0.056	0.040	0.016	0.049	0.020	0.180
	总 计	0.401	0.191	0.390	0.238	0.133	1.40
河流总径流量		1.320	0.423	1.038	0.596	0.311	3.88
稳定基流/河流总径流量		0.30	0.45	0.38	0.40	0.43	0.36

注 资料来源同表 1-1。河流总径流量包括洪水, 洪水中一部分现在已被库坝拦截, 其值约为 0.200 万 km³, 占洪水总量的 14 分之一, 转化为稳定基流。

二、我国淡水

我国面积 960 万 km², 多年平均降水量 0.619 万 km³, 河川径流量 0.280 万 km³, 单位面积径流模数 29 万 m³/km², 相当于世界平均情况。在 0.280 万 km³ 的水量中, 不能利用的洪水和无人区的水量, 根据我国具体情况。粗略匡算, 长江以南汛期水量一般占全年的 50%~60%, 长江以北这一比例一般高达 70%~80%。我国自然条件具有水热同期的特点, 不少农作物的生长期多在多雨季节, 部分灌溉水量的引用是在汛期。不能利用的洪水以上列汛期水量的低限量估计, 用 50% 乘长江流域和东南、华南、西南四片的总水量得南方不能利用的汛期水量 1135 万 km³; 用 70% 乘黄、淮、海和东北、西北两片得北方不能利用的汛期水量 315km³。两者相加为 1450km³, 相当于全年总水量的 52% (世界平均为 65%)。我国人口稀少和近期不可能大量开发的西南各流域片的水量为 580km³, 扣除汛期水量已在上列统一减去外, 尚余 293km³, 也可作为不能利用的水量。仿照全球的测算模式, 则可利用的水量应为 1057km³。在我国汛期水量有不少还是可以利用的, 真正不能利用的洪水, 比世

界平均数少，是符合实际情况的。我们在研究黄河水量分配时，多方面一再估算，其值约为 $15\sim 20\text{km}^3$ ，只占全年水量的 $25\%\sim 35\%$ 。

关于最大可能利用量，我们的想法是：第一，从生态观点，最低限度地维持水生动植物的生存繁衍条件，保护河道水质和河床稳定；第二，从水域利用的观点，统筹兼顾河道内外用水，保持航运条件和冲淤冲污水流；第三，从水的有效利用出发，结合社会经济情况和开发利用的需求。在这一原则下，北方黄淮海和东北西北五片最大利用率控制 70% ，利用量约为 310km^3 。南方利用率，长江 50% （包括向外流域调水），珠江 40% ，东南诸河 20% ，西南诸河 5% 。这样，长江利用量可达 480km^3 ，因此，在今后可以预见的时段内，我国可以利用的水资源量为 $1000\sim 1100\text{km}^3$ （即 1.0 万亿 ~ 1.1 万亿 m^3 ）。我国在全国水利区域和全国国土规划中都曾采用这一数字，并得到多数业务部门与专家们的共识。

再从稳定基流看，我国各大河流比较稳定的地下水补给量 830km^3 。我国湖泊总面积 7.18 万 km^2 ，储水总量 710 万 km^3 ，其中淡水 226km^3 ，但近期可利用的部分只有 46km^3 。我国水库总库容，截至 1995 年约 470km^3 ，以防洪为主的水库，其防洪库容一般可占总库容的 $50\%\sim 60\%$ ，最高可达 $70\%\sim 80\%$ ，这部分库容经常是备而不用。大部分综合利用水库的兴利调节库容一般约占总库容的 $1/3$ 左右，以此估计我国水库对于增加稳定基流的调蓄作用可以假定为 160km^3 。因此，河边基流、河湖调蓄、水库调蓄三项相加为 1040km^3 与上列可利用量的测算也基本一致。

这样，我国可利用的水量约占全部水资源总量的 37.1% ，略高于世界平均可利用量的 35% 。同时，一方面今后西南诸河随着地区开发，工农业的发展和大规模的跨流域调水，水的利用率还会提高；另一方面随着今后水利建设的进一步开展和大量水库的兴建，对河川径流的调蓄能力也会增加。总之，现在预计的可利用量尚有一定余地。

第二节 水的开发与消费

一、水的开发

世界上河流的开发利用还处于不同阶段。水量巨大的亚马孙河（水量 5600km^3 ）和刚果河（水量 1200km^3 ），由于流经杳无人烟的热带雨林，几乎完全没有开发。流入北冰洋的大河，如加拿大的麦肯齐河、俄罗斯的鄂毕河和叶尼塞河实际上也没有利用。另外一个极端，尼罗河虽然每年只有 90km^3 的水量，但从 70 年代中期阿斯旺高坝建成蓄水后，尼罗河水已完全停止入海，该工程灌溉了 500 万 hm^2 的土地。

亚洲兴建的库坝所控制的水量在世界各大洲中是最大的，年均 560km^3 ，大部分用于灌溉。南亚和东亚地区的长江、湄公河、依拉瓦底江、布拉马普特拉河、恒河和印度河也已开发到了一定程度，但没有利用的容量仍然很大。

在欧洲和美国有些河流开发程度是比较高的，例如科罗拉多和多瑙河。多瑙河的支流蒂萨河从 19 世纪中叶就开始开发，预计到 2050 年就可以全部控制起来。哥伦比亚河和田纳西河兴建大量坝库进行以水力发电为主的综合利用，在世界范围内也是卓有成效的范例。同时以航运为主的开发方式也很流行，例如莱茵河、鲁尔河和密西西比河都成了商业通道。

世界上坝库建设最多的国家是中国和美国，包括大中小型在内，分别为 83400 座和

56400 座。总库容最大的国家是原苏联和美国，分别是 1100km^3 和 900km^3 ；有效库容占总库容的比例，原苏联、美国、印度分别为 45%、65% 和 75%。坝库中拥有最大总库容的，首先是非洲的阿斯旺和卡里巴，北美的马尼克 5 级，南美的古里其总库容也都在 150km^3 左右。世界各大洲现有库坝库容及其在稳定基流中的作用见表 1-4。在亚洲中国、印度和土耳其三国占全洲的 70% 以上；在非洲阿斯旺和卡里巴两库占全洲的 75%；在欧洲原苏联一国即占全洲的 90%；在北美美国和加拿大两国占全洲的 95%；在南美委内瑞拉、巴西和阿根廷三国占全洲的 95%。总的讲，库坝建设还是集中在几个大国。80 年代统计全球库坝总库容 5000km^3 左右，有效库容 3000km^3 左右，占全部径流量的 8%，水库调蓄后稳定基流的增加量为 1800km^3 ，占全部水资源开发利用量的 1/3 左右。

表 1-4 全球库坝库容及其调蓄量统计表

洲 名	亚 洲	非 洲	南美洲	北美洲	欧 洲	全 球
库容 (万 km^3)	0.110	0.048	0.065	0.180	0.120	0.550
库容/河川径流 (%)	8.4	11.0	6.2	30.0	40.0	14.0
水库调蓄/稳定基流 (%)	13.4	21.0	4.0	21.0	15.0	13.0
水库调蓄/库容 (%)	50.0	85.0	24.0	23.0	16.6	34.0
库容/稳定流量 (%)	26.0	25.0	17.0	75.0	90.0	38.0
水库调蓄/河川径流 (%)	4.2	9.5	1.6	8.4	6.4	4.6

- 注 1. 资料来源：“世界水概况”，水利部科教司，1990。
 2. 原苏联库容 0.110万 km^3 都计入欧洲（按现有水电开发，欧亚比为 1:1.5，按河川径流欧亚比为 1:4.5），显然欧洲偏大，亚洲偏小，数字有歪曲。
 3. 非洲库容与水库调蓄量可能不是一个口径，资料来自两份资料文献，实际情况待查。

二、水的消费

水的消费与利用形式通常分为三类：第一类就地利用，主要是维持土壤湿度，发展雨浇农业；第二类在流动中利用，即河道内用水，主要是航运，渔业和水力发电，这种形式是消费而不是消耗，但须计入总需求量；第三类引出水体以外利用，这种河道外用水主要是为了人类活动的直接和间接需求，包括农业、工业和生活用水，其中大部分通过蒸发和植物蒸腾而消失，其余排入河湖。排出的水经常带有一定量的污秽甚至有毒物质，需要用自然水来稀释。稀释用水一般也要计入需求量。

表 1-5 用水结构的举例统计 单位：%

国家	印度	墨西哥	日本	原苏联	美国	波兰	原西德	英国
农业	90	90	68	50	44	16	10	4
工业	5	8	20	40	47	68	66	54
生活	5	2	12	10	9	16	24	42

注 资料来源同表 1-2。

用水在农业、工业和生活之间的分配，决定于灌溉农业在国民经济中所处的地位，全世界灌溉用水占全部用水量的 2/3 以上，而在印度、墨西哥等国比例还要大些。日本农业在国民经济中所占的地位要小得多，但农业用水仍然占极大比重，因为几乎所有作物都靠灌溉。原西德、波兰和英国所代表的是

完全另外一种分配情况，不但反映工业用水需求量大，而雨浇耕地面积也比较大。主要国家用水组成见表 1-5。

人均生活用水量与一个国家经济发展与生活水平有关，国与国，地区与地区之间差别

很大。但就当前世界的平均情况看,要维持过得去的生活水平,社会每年必须提供每人 30m^3 的家庭直接消费用水,其中饮食用水虽然不足 1m^3 ,但是不但要高纯度的清洁水,而且还是不可延缓的绝对需要。

工业用水,除了高度工业化的国家以外,平均到每人每年的需水量约 20m^3 。当前大部分的水还是用在农业方面。要维持每人每天 10467J 热量的食物,每年约需 300m^3 水;在较富裕的国家,需要的食物发热量每天在 12560J 以上,每年的农业用水就要 400m^3 。实际上农业所需的水很多是直接由雨水供应的,与可用水量的分配无关。即使所有农耕地都要灌溉,每人每年对水的全部需求量,不包括污水稀释,不过 $350\sim 450\text{m}^3$ 。从总体上讲,水是不够用的。

但是世界上水的分布与人口的分布很不平衡。马耳加什共和国西南部的农村居民每年每人依靠不足 2m^3 的水活着,可以说是人类生理上低得不能再低的需要量。为了这点质量很差的水,他们每立方米水要花 20 美元的代价。在美国和其他发达国家,城市居民每人每年要消耗 180m^3 水,每立方米水只花 $0.10\sim 0.25$ 美元。

三、我国水的开发与消费

我国地域辽阔,无论是自然条件或者是国民经济与社会发展情况,区域性差异很大,水的开发利用程度很不平衡,西南国际河流水量占全国 20% 左右,经济发展缓慢,人口稀少,几乎没有开发;而北方的海滦河和辽河流域,水量不足全国的 2%,当前水的开发利用已达到 60%~70%,甚至更高,一般年份已很少径流入海。

我国 1995 年水库总库容约 470km^3 ,其中可给工农业用水利用的库容占全国河川径流量的 10%~15%,年均总供水量 160km^3 。当前我国总用水量约 500km^3 ,除水库调蓄供水外,地下水占 12% 左右,河川径流天然湖泊供水占 55%~60%。

我国用水结构中的农业占 85% 以上,工业占 10%,生活及其他用水占 2%~5%。以人均综合用水量统计,每人每年 440m^3 。其中农业 385m^3 ,工业 44m^3 ,生活用水 8.8m^3 。由于近年来工业化速度的加快,人均工业用水高于世界平均水平,生活用水远低于世界平均水平,特别是社会经济仍然处于相当落后的广大农村,人民生活水平很低,有些贫困地区仅靠容量有限的窖水维持生活,或者必须肩挑人背从数公里甚至数十公里以外去运水,年用水量不足 $2\sim 3\text{m}^3$ 。我国 20 世纪 90 年代有 8000 万人民缺少饮用水。马耳加什共和国西南部农村居民的缺水情况,在我国同样存在。解决缺水地区的人畜用水和配合工农业发展的用水需求是我国当前迫不亟待的重要任务。

第三节 人工灌溉与农业生产

全世界可耕地面积有 34 亿 hm^2 ,到 20 世纪 80 年代已耕面积约占 60%,人工灌溉面积只有 6%~7%。农业用水通常是土地生产率的决定性因素。耕地面积的 85% 以上全靠雨水来供给农作物的需水,年均消耗 1.1 万 km^3 降雨量;同期 0.26 万 km^3 的地面水用来灌溉占全世界耕地面积 12% 的水浇地。在总播种面积中,水浇地所占比例大于它在耕地中的比重。到 20 世纪末水浇地达到全世界播种面积的 1/5 以上。很多水浇地将会在最缺粮的发展中国家出现。具体情况详见表 1-6。

表 1-6

用地结构统计表

面积: 100 万 hm^2 , 用水量: km^3

年份	类 别	未耕种土地		水 浇 地		雨 浇 地	
		总面积	A : B	总面积	A : B	总面积	A : B
1970	土地面积	1835	39 : 61	187	46 : 54	1350	43 : 57
	使用水量			2600		11500	
	播种面积			215		920	
年份	类 别	未耕种土地		水 浇 地		雨 浇 地	
		总面积	A : B	总面积	A : B	总面积	A : B
2000	土地面积	1090	46 : 54	302	51 : 49	2000	39 : 61
	使用水量			4800		17000	
	收获面积			423		1520	

注 1. 资料来源同表 1-2。

2. A : B 表示在总面积中发展中国家与发达国家所占面积的比例关系。

一、农业灌溉的作用

人工灌溉（即水浇地）的优势在于：第一改变农业生态条件，增加耕地的面积，特别是那些除了灌溉就根本不能种植的干旱土地。第二增加作物产量，人工灌溉和其他提高农产效率的措施相结合，改良品种，合理利用化肥农药，其产量可以提高到原来的 3~4 倍。第三灌溉能提高复种指数，对农业总产量讲，其效果和增加耕地面积是一样的。90 年代全世界的雨浇地平均复种指数为 0.71~0.76；而水浇地的复种指数是 1.11~1.29。在埃及和中国，人均耕地较少，有精耕细作的传统，不少地方复种指数已经超过 1.5。估计今后由于复种指数的增加，农业产量的增加大于耕地面积的增加。

人工灌溉的第四个优势可以提高农民的安全心态，产量得到保障。季节性降雨量的预测是靠不住的，靠天吃饭的农业是要冒一定的风险，产量没有保证。农业欠收不但引起人们饥荒，也影响社会稳定。一个具有丰富水源的灌溉系统能够消除大部分风险，即使干旱年份，也能获得较好的收成。水量的保证诱发农民愿意种植抗旱能力低的高产作物，并投资于肥料、农药和农业机械，人工灌溉的意义是深远的。

二、农业灌溉的成就

卓有成效的人工灌溉主要集中在亚洲，南亚和东亚地区，其所占水浇地占全世界的 65%，这个地区的大多数地方，稻谷和小麦的产量翻了一番，复种指数增加 1 倍，平均达到 1.3。总产量几乎相当原来的 4 倍。日本的水稻耕作制度是世界上效率最高的，0.045 hm^2 的土地就足以提供每人每天 10467J 热量的食物，在美国需要 2 倍这样的土地才能提供同样的食物；而在印度的耕作制度下，几乎需要 7 倍这样多的土地。

在非洲、拉丁美洲和近东水浇地的复种指数一般在 0.77~1.07 之间，在产量上与雨浇地相比收益不大。非洲的教训尤其值得注意，除了尼罗河流域外，水浇地对农业的作用迄今为止是令人失望的。

南亚的大部分地区，人口稠密，耕地稀贵，要提高产量不能依靠更多的土地，因而只有力争提高单产与复种指数。非洲和拉丁美洲农业用地比较宽松，一般情况下政府和农民总觉得扩大耕地比改造耕地省力省钱，而且潜力可靠。不同的社会经济条件引出两种截然