

TU991.64 625
D65

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

水质科学与工程理论丛书

城市与工业节约用水理论

Urban & Industry Water
Conservation Theory

董辅祥 董欣东 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市与工业节约用水理论/董辅祥、董欣东编著.
北京:中国建筑工业出版社,2000
(水质科学与工程理论丛书)
ISBN 7-112-04156-2

I. 城… II. 董… III. ①城市用水-节约用水-理论②工业用水-节约用水-理论 IV. TU991.64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 12659 号

本书是“1996~2000 年国家重点图书规划”(“1200”工程)中《水质科学与工程理论丛书》之一,是以城市与工业节约用水理论与设计为主要内容的专著,全书共 18 章。书中着重论述了我国水资源状况,城市与工业节约用水发展,用水与水污染防治要求,水再利用方式与节水考核指标,工业企业水量平衡测试与用水合理化分析,用水定额制定,城市工业用水(节水)增长预测分析、目标与进程、发展状态判别、动态变化分析和总体研究,各类工业用水节水状况、节水途径与对策,循环水与回用水水质和处理技术,城市生活用水节水途径,生产工艺节水方法,海水利用,节水器具设备,节水管理与管理信息系统,以及节水项目技术经济评价等。本书内容丰富、新颖,视野广阔,论述深入浅出,信息量大,资料翔实,是一本全面论述城市工业节水理论与技术的书籍。

本书可供从事水资源与水资源利用、城市与工业用水(节水)、给排水工程、水工业、环境工程等工作的专业技术人员、领导和管理人员使用,可用作高等学校教学参考书或选修教材,也可供各类节水培训班作提高性教材。

责任编辑:俞辉群

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

水质科学与工程理论丛书

城市与工业节约用水理论

Urban & Industry Water Conservation Theory

董辅祥 董欣东 编著

※

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市兴顺印刷厂印刷

※

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:24 1/2 字数:595 千字

2000 年 6 月第一版 2000 年 6 月第一次印刷

印数:1—2500 册 定价:55.00 元

ISBN 7-112-04156-2

TU·3275 (9635)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

随着社会经济和城市化进程的发展,面对当今和 21 世纪世界各地普遍存在并日趋严重的缺水形势,水的合理利用——节约用水(简称节水)问题,特别是城市与工业节水问题,已日益受到许多国家和各方面人士的广泛关注和重视。为了保持社会、经济的可持续发展,“以节水为本”,节约用水理所当然、首当其冲地成为解决当前和长远水资源紧缺问题的根本途径,同时也成为当今亟待开拓、研究的综合技术领域。在我国,节约用水是一项重要国策。十多年来,我国节水工作已取得长足的进展,但是由于我国经济增长迅速,而水资源并不富裕,用水效率还很低,对水的需求增长过快,因此随着节水水平不断提高,节水任务必将更趋于复杂艰巨。为了提高节水技术与管理水平,促使节水工作深入持久地发展,为了使从事水资源开发利用与管理、城市规划、城市与工业供水工作者不仅熟悉如何满足社会对水的需求,更懂得如何提高用水效率、合理利用有限的水资源并有效控制其需求增长,从理论和方法论上总结提高节约用水的实践经验是十分必要的。本书是作者在多年实践、研究和系统分析十多年来国内外节约用水经验的基础上,针对节水工作中存在的问题编著的。书中着重论述并探讨了我国城市水资源状况,我国城市节约用水的发展,节约用水的内涵与节水管理的阶段性特征,用水及水污染防治基本要求,水的再利用方式与节水考核指标,工业企业水量平衡测试与用水合理化分析,用水定额制定原理与方法,城市与工业用水(节水)状况宏观分析,我国主要工业部门用水(节水)状况、节水规划目标和对策,循环水与回用水水质与水处理技术,生产工艺节水技术,人工制冷、地下水回灌的节水作用,海水利用,节水器具与设备,水泵机组调速运行的节水作用,城市生活用水主要节水途径,城市、工业企业用水(节水)管理与水资源需求预测,节约用水管理信息系统,以及节水项目经济评价等。作者在大部分章节中均提出许多新的见解或引用了一些研究成果,其中相当一部分是作者近几年来完成的相关研究课题。

本书自始至终均以城市与工业节水为中心,其突出特点是注重阐明有关节水的基本概念、原理和方法。这方面的内容几乎是构成贯穿于各章节的主线。例如:

第 1 章,关于水资源概念的介绍,关于我国远期的供需平衡的判断。

第 2 章,关于节约用水内涵、节水效益和节水型社会的阐述,其中涉及一些概念与方法论问题。

第 4 章,详细分析了节水考核指标的意义及其内在联系,提出了建立节水考核指标体系所存在的问题。

第 5 章,从原理到方法,对工业企业水量平衡测试与用水合理化分析作了更全面而科学的论述,其实例中的计算、评价方法颇有参考价值。

第 6 章,全面系统地介绍了用水定额制定及水平判定的原理和方法,澄清了一些错误观点和作法。

第 7 章,比较集中地介绍了与节水有关的一些宏观分析研究方法,值得借鉴和进一步探讨。

第8章,介绍了我国各主要工业部门的节水规划目标与对策,为各地、各行业节水提供了努力方向和基本评价尺度。

第9~10章,深入浅出地讨论了冷却水和回用水节水技术原理及方法,且避免了冗余介绍。其中,冷却水系统水量平衡计算原理、水质变化及水质倾向判断指标、提高水循环利用程度的途径、阻垢防腐与抑制微生物的方法、热交换器组合方式和经济分析,以及回用水水质与处理方法、安全评价和技术经济分析,都具有一定的指导意义。

第11~12章,有关逆流洗涤原理、物料换热节水方法、闭路用水系统和“闭合生产图”节水途径,以及利用大气冷源的密闭循环回灌水系统等都有相当实用价值。

第14章,概括了迄今所有节水器具与设备改革所遵循的基本途径,展示了当前节水器具与设备发展状况,在原理方法方面可望有举一反三之效。

第15~16章,分别提出了节约城市生活用水的基本思路与方向,提出了建立合理水费体制和鼓励性对策方法的节水效果,这也是节水管理中的方法论问题。

第17~18章,分别叙述了相应的方法。

此外,作为有待开拓的综合技术领域,作者根据城市与工业节约用水的特点,还就其内容体系的建立进行了探索和尝试,使本书和这一综合技术学科领域自成体系,并使节约用水的实际内容有较大的扩展和充实。

由此可见,本书是国内以节约用水理论和方法论为主的重要专著,颇具新意和特色,且寓理论与实际为一体,其体系完整,结构严谨,论述深入浅出,视野广阔,内容丰富,信息量大,资料翔实;另一方面,应该看到,关于节约用水的理论(包括方法论),特别是其中关于水的需求变化与平衡、用水(节水)评价指标体系与水平判定、发展状态判别与影响因素分析、用水(节水)动态分析以及一系列节水技术的理论与方法,还有大量问题亟待研究解决,其发展空间极大。从这个意义上讲,本书的编著还尚未实现作者的初衷,只是“抛砖引玉”。相信书中提出的众多节水问题会引起更多人的关注和思考。

本书由董辅祥、董欣东编著,李圭白、宋序彤主审。汤鸿霄指导了本书的编写。

应主编之约,尹超先、吉晓宁、李红雨、那罡、焦肆博、杨春梅、关伟、阎立华、石克满、毕征云、姜英等参加了本书的部分编写工作。

在本书编写过程中,崔玉川、袁子恭提出很多宝贵意见,并得到建设部节约用水办公室、沈阳等各地计划节约用水办公室和沈阳意高环境工程有限公司的大力支持,特此表示感谢。

杜雅文对笔者曾给予极大的关心、支持和鼓励,借此谨致以深切而永恒的谢意。

由于作者水平有限,书中如有错误与不足之处,敬请读者批评指正。

董辅祥 董欣东
1998年10月13日

第1章 水资源概况

1.1 水资源概念

人类生活及社会生产活动从来就离不开水,但是人们并不是较早地认识到水是一种资源。

地球上的水是在一定的条件下循环再生的,因此过去人们普遍以为水是“取之不尽,用之不竭”的。然而,随着社会的发展,人类社会对水的需求量越来越大,加上环境污染、生态平衡破坏,人们开始感到可用水资源的匮乏;另一方面,人们在长期的社会实践中逐渐认识到地球上水所特有的循环再生、运动变化规律,并承认水是有限的。这样,人们才逐渐地把水的问题,连同环境保护、生态平衡等问题同人类的生息与社会发展联系在一起加以考察研究,并开始将水这一生命和人类社会赖以生存的最基本要素、自然环境的重要因子当作资源看待。

严格地讲,单纯承认水是一种资源,并且把它同其他一般资源等同看待,还远远不够。至今,我们还很难把水在生态系统及社会生活中的作用讲得很清楚。关于水资源的“资源”两字权且作为含义更为深广的词去理解,如现在常说的国土资源中的资源一词,这样也许更为恰当。

什么是水资源?见于文字的有多种提法,大体上有:

1. 广义的提法,包括地球上的一切水体及水的其他存在形式,如海洋、河川、湖泊、地下水、土壤水、冰川、大气水等。

2. 狭义的提法,指陆地上可以逐年得到恢复、更新的淡水。

3. 工程上的提法,指上述可以恢复、更新的淡水中,在一定的技术经济条件下可以为人们利用的那一部分水。

此外,也有不只是从形态或水量上而是从“水能兴利”综合利用的角度,把水体能为人类社会提供的效益看作资源,如蕴藏于水体中的水力资源、水利资源、生物资源、矿物资源(盐、碱等矿物质及泥炭之类)等。

显然,上述各种提法是人们从不同角度对水资源含义的理解,因此很难予以统一、准确的定义。值得注意的是,当涉及水资源问题时,在不同的场合下水资源的含义往往不同且会转化,另外也不应忽视水资源的分布及其质的状态对其含义的影响。

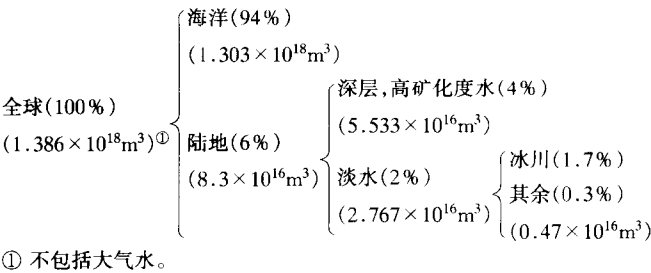
此外,随着城市化进程的发展,城市用水供需矛盾加剧,有关城市水资源问题日益突出,“城市水资源”一词越来越多地被提出或应用。由此又产生关于城市水资源的定义问题。有的文献将城市水资源定义为“一切可被城市利用的天然水资源”。这样定义,不仅水资源量很难界定、不够确切,而且对水资源范围的限定也过于局限。因为在城市可利用的水资源中还包括可被调用的外来水资源,以及海水、再生水或其他低质水,此外还应反映涉及城市水

资源供求的诸多特点。应该指出,无论城市水资源如何定义,城市水资源作为城市形成与发展的基础是客观的存在。

通常,涉及城市水资源、给水排水工程及节约用水(亦称节水)问题的水资源含义,接近于上述第3种提法,但应注意,给水排水工程及节约用水是以研究水的社会循环,即社会生产及生活中的运动变化规律为主,而且不单限于淡水资源的利用;它是以水的数量与质量的统一为特征,并且要求具有较高的可靠性;除强调技术经济条件外,更强调社会总体效益与环境效益;有较强的地域性,与城镇、工业及一系列的人为因素密切相关。因此,城市与工业在水资源利用上往往会遇到更多的问题。诸如,水资源评价开发与利用,水资源保护,水污染综合治理,水源工程技术,水资源技术经济及管理。

1.2 水资源分布

一、全球水资源分布



上述其余的 $0.47 \times 10^{16} \text{m}^3$ 淡水,开发条件较好,其中逐年更新的淡水仅占总剩余量的1%,即占全球水资源总量的0.03‰。其绝对量约为 $4.7 \times 10^{13} \text{m}^3$,这 $4.7 \times 10^{13} \text{m}^3$ 水资源中,在一定技术经济条件下能为人们利用的水量又极为有限。

二、我国水资源量

据水利电力部水利水电规划设计院将全国水资源利用分为9个一级区(流域或片)、82个二级区、302个三级区及2000多个计算单元,并逐级进行水资源综合利用与供需平衡分析研究[2],我国一级区1956~1979年平均年降水量、年径流量,一级区多年平均年地下水资源量(矿化度小于2g/L)以及多年平均年水资源总量,分别如表1.2-1、1.2-2、1.2-3、1.2-4所示。

全国一级区 1956~1979 年平均年降水量

表 1.2-1

分 区 名 称	计 算 面 积 (km^2)	年 降 水 深 (mm)	年 降 水 量 (10^8m^3)	占 全 国 百 分 比 (%)
东北诸河	1248445	510.8	6377	10.3
海 河	318161	559.8	1781	2.9
淮河和山东半岛诸河	329211	859.6	2830	4.6
黄 河	794712	464.4	3691	6.0
长 江	1808500	1070.5	19360	31.3

续表

分 区 名 称	计 算 面 积 (km ²)	年 降 水 深 (mm)	年 降 水 量 (10 ⁸ m ³)	占全国百分比 (%)
华南诸河	580641	1544.3	8967	14.5
东南诸河	239803	1758.1	4216	6.8
西南诸河	851406	1097.7	9346	15.1
内陆诸河	3374443	157.7	5321	8.6
全 国	9545322	648.4	61889	100

资料来源:文献[2]。

全国一级区 1956~1979 年年径流量

表 1.2-2

分 区 名 称	平均年径 流 深 (mm)	平均年径 流 量 (10 ⁸ m ³)	占全国 百分比 (%)	不同频率年径流量(10 ⁸ m ³)			
				20%	50%	75%	95%
东北诸河	132.4	1653	6.1	2056	1617	1303	906
海 河	90.5	288	1.1	380	268	199	130
淮河和山东半岛诸河	225.1	741	2.7	1000	689	496	296
黄 河	83.2	661	2.4	768	649	569	470
长 江	526.0	9513	35.1	10559	9417	8656	7610
华南诸河	806.9	4685	17.3	5390	4640	4130	3380
东南诸河	1066.3	2557	9.4	3069	2507	2097	1611
西南诸河	687.5	5853	21.6	6439	5853	5380	4741
内陆诸河	34.5	1164	4.3	1250	1159	1091	1000
全 国	284.1	27115	100	29010	27110	25490	23590

资料来源:文献[2]。

全国一级区多年平均年地下水资源量(矿化度小于 2g/L)

表 1.2-3

分 区 名 称	山 丘		平 原		山丘与平原 重复计算量	全 区	
	计算面积 (km ²)	资源量 (10 ⁸ m ³)	计算面积 (km ²)	资源量 (10 ⁸ m ³)		计算面积 (km ²)	资源量 (10 ⁸ m ³)
东北诸河	823577	319.3	407881	330.1	24.5	1231458	624.9
海 河	171372	124.6	106424	178.2	37.6	277796	265.2
淮河和山东半岛诸河	127923	107.2	169938	296.7	10.9	297861	393.0
黄 河	608357	292.1	167007	157.2	43.5	775364	405.8
长 江	1625293	2218.0	132876	260.6	14.4	1758169	2464.2
华南诸河	550113	1027.8	30468	92.7	5.0	580581	1115.5
东南诸河	218639	561.8	20560	51.9	0.6	239199	613.1
西南诸河	851406	1543.8				851406	1543.8
内陆诸河	1814226	567.4	948648	506.0	211.2	2762874	862.2
全 国	6790906	6762.0	1983802	1873.4	347.7	8774708	8287.7

资料来源:文献[2]。

全国一级区多年平均年水资源总量

表 1.2-4

分 区 名 称	地表水资源量 (10^8m^3)	地下水资源量 (10^8m^3)	重复计算量 (10^8m^3)	水资源总量 (10^8m^3)	产水模数 ($10^4\text{m}^3/\text{km}^2$)
东北诸河	1652.9	624.9	349.3	1928.5	15.45
海 河	287.8	265.2	131.8	421.2	13.24
淮河和山东半岛诸河	741.3	393.0	173.4	960.9	29.19
黄 河	661.5	405.8	323.6	743.7	9.36
长 江	9513.0	2464.2	2363.9	9613.3	53.16
华南诸河	4685.0	1115.5	1092.4	4708.1	81.08
东南诸河	2557.0	613.1	578.4	2591.7	108.08
西南诸河	5853.1	1543.8	1543.8	5853.1	68.75
内陆诸河	1163.7	862.2	722.0	1303.9	3.86
北方五区	4507.2	2551.1	1700.1	5358.2	8.83
南方四区	22608.1	5736.6	5578.5	22766.2	65.41
全 国	27115.3	8287.7	7278.6	28124.4	29.46

资料来源:文献[2]。

由表 1.2-4 可见,全国多年平均地表水径流量为 $27115 \times 10^8\text{m}^3$, 多年平均年地下水资源量为 $8288 \times 10^8\text{m}^3$, 扣除两者之间互相补给的重复计算水量 $7279 \times 10^8\text{m}^3$, 全国多年平均年水资源总量为 $28124 \times 10^8\text{m}^3$ 。这是迄今关于我国水资源量最系统、全面、完整的统计。

表 1.2-5 为我国年径流量,人均、亩均水量与一些国家对比的情况。

中国年径流量,人均、亩均水量与外国对比

表 1.2-5

国 家	年径流量 (10^8m^3)	年径流深 (mm)	人 口 (亿人)	人均水量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	耕 地 (亿亩)	亩均水量 ($\text{m}^3/\text{亩}$)
巴 西	51912	609	1.23	42205	4.85	10704
前苏联	47140	211	2.64	17856	34.00	1386
加拿大	31220	313	0.24	130083	6.54	4774
美 国	29702	317	2.20	13501	28.40	1046
印 尼	28113	1476	1.48	18995	2.13	13199
中 国	27115	284	9.99	2714	15.33	1769
印 度	17800	514	6.78	2625	24.70	721
日 本	5470	1470	1.16	4716	0.65	8415
全世界	468000	314	43.35	10796	198.90	2353

注: 1. 1 亩 = 667m^2 。

2. 外国人口是联合国 1979 年统计数,中国人口是 1980 年统计数。

3. 中国耕地面积统计偏小,人口、耕地、水量均包括台湾省在内。

我国人均水资源量按 1980 年人口统计数计算为 2714m^3 , 如果按 1993 年人口统计数及 1995 年人口抽样调查数计算分别为 2418m^3 及 2328m^3 , 不及世界人均水资源量的 $1/4$, 远低于加拿大、巴西、印尼、前苏联和美国; 亩均水量为 1769m^3 , 约为世界亩均水量的 $3/4$, 低于

印尼、巴西、日本和加拿大;由此可见,我国的水资源并不富裕。值得注意的是,在我国年水资源总量中有条件利用的最大年水资源量约为 $12000 \times 10^8 \text{m}^3$,据分析,因受技术经济条件的限制,即使采取相当工程措施至 2000 年对应于 75 % 保证率的可供水量仅及 $6678 \times 10^8 \text{m}^3$ 左右。

1.3 我国水资源的特点

我国的水资源除水资源总量有限,且人均、亩均水量偏低外,由于我国幅员广大,地处亚欧大陆东侧,跨高、中、低 3 个纬度区,受季风与自然地理特征的影响,南北气候差异很大,致使我国水资源的时空分布都极不均衡。

一、水资源的地区分布极不均衡

如果径流以年径流深表示,则其特点大体上可由年降水深分布情况所决定,即东南多、西北少,由东南沿海向西北内陆递减,极不均匀。表 1.3-1 表示我国径流地带区划(示意)及降水、径流分区情况[3]。

径流地带区划及降水、径流分区 表 1.3-1

降水分区	年降水深 (mm)	年径流深 (mm)	径流分区	大致范围
多雨	>1600	>900	丰水	广东、福建、浙江、台湾大部,湖南山地,广西南部,云南西南部,西藏东南部
湿润	800~1600	200~900	多水	广西、云南、贵州、四川、长江中下游地区
半湿润	400~800	50~200	过渡	黄、淮、海大平原,山西、陕西、东北大部,四川西北部、西藏东部
半干旱	200~400	10~50	少水	东北西部、内蒙古、甘肃、宁夏、新疆西部和北部、西藏南部
干旱	<200	<10	缺水(干涸)	内蒙古、宁夏、甘肃的沙漠,柴达木盆地,塔里木和准噶尔盆地

资料来源:文献[3]。

如以年降水深 400mm 划界,全国约有 45 % 的国土处在降水深少于 400mm 的干旱少水地区。

表 1.3-2、1.3-3 分别为水资源、人口、耕地的地区分布对比情况及按主要河流划分的水资源分布情况[1]。从中不仅可看出我国水资源在地区分布上的极不均匀性,还可看出水资源同人口、耕地的分布也不相适应。南方 4 片,水资源量占全国的 81 %,人口占全国的 54.7 %,耕地只占全国的 35.9 %;而北方 4 片(不包括内陆河区),水资源量只占全国的 14.4 %,耕地却占全国的 58.3 %,人口占全国的 43.2 %。如以单位水量相比,南方的人均水量为北方的 4.4 倍,南方的亩(1 亩 = 667m^2)均水量为北方的 9.1 倍。以西南诸河与海滦河的情况相比,前者人均水量为后者的 89 倍,亩均水量为 87 倍,相差悬殊。内陆河区的水资源量,亦嫌不足。此外,各河流径流量相差悬殊。这些情况表明,在相当长的时期内,我国北方在开源节流、合理开发利用水资源,以及协调城市(工业)与农业用水方面,面临着更大的

压力。由长远看,为从根本改变我国北方水资源的紧缺状况提出了跨流域调水并实现水资源在地区上再分配的艰巨任务。

水资源、人口、耕地的地区分布对比 表 1.3-2

分 区 名 称			土地面积	水资源总量	人 口	耕地面积	人均水量	亩均水量
			占全国的百分数(%)				(m ³ /人)	(m ³ /亩)
内陆河(含额尔齐斯河)			35.4	4.6	2.1	5.8	6287	1467
外 流 河	北 方	东北诸河	13.1	6.9	9.8	19.8	1960	637
		海 河	3.3	1.5	9.8	10.9	430	251
		淮河和山东半岛诸河	3.5	3.4	15.4	14.9	623	421
		黄 河	8.3	2.6	8.2	12.7	874	382
		北方四片	28.2	14.4	43.2	58.3	938	454
	南 方	长 江	18.9	34.2	34.8	24.0	2763	2617
		华南诸河	6.1	16.8	11.0	6.8	4307	4530
		东南诸河	2.5	9.2	7.4	3.4	3528	4923
		西南诸河	8.9	20.8	1.5	1.7	38431	21783
		南方四片	36.4	81.0	54.7	35.9	4170	4134
	外流河八片		64.6	95.4	97.9	94.2	2742	1857
	全 国		100	100	100	100	2816	1835

资料来源:文献[1]、[2]。

按主要河流划分的径流分布情况 表 1.3-3

河 名	注入的湖或海	流域面积 (km ²)	长 度 (km)	平均流量 (m ³ /s)	径流总量 (1×10 ⁸ m ³)	径流深度 (mm)
长 江	东 海	1887199	6380	31060	9793.53	542
珠 江	南 海	452616	2197	11070	3492.00	772
黑 龙 江	鄂霍茨克海	1620170	3420	8600	2709.00	167
雅鲁藏布江	孟 加 拉 湾	246000	1940	3700	1167.00	474
澜 沧 江	南 海	164799	1612	2350	742.50	412
怒 江	孟 加 拉 湾	142681	1540	2220	700.90	469
闽 江	台 湾 海 峡	60992	577	1980	623.70	1023
黄 河	渤 海	752443	5464	1820	574.50	76
钱 塘 江	东 海	54349	494	1480	468.00	861
淮 河	黄 海	185700	1000	1110	351.00	189
鸭 绿 江	黄 海	62630	773	1040	327.60	541
韩 江	南 海	34314	325	941	297.10	866
海 河	渤 海	264617	1090	717	226.00	85

续表

河 名	注入的湖或海	流域面积 (km ²)	长 度 (km)	平均流量 (m ³ /s)	径流总量 (1×10 ⁸ m ³)	径流深度 (mm)
甌 江	东 海	17543	338	615	194.00	1106
李 仙 江	北 部 湾	19873	395	541	170.70	859
九 龙 江	台 湾 海 峡	14741	258	446	140.60	954
元 江	北 部 湾	34917	772	410	129.20	370
伊 犁 河	巴尔喀什湖	56700	375	374	117.90	208
额尔齐斯河	喀 拉 海	50860	442	342	107.90	212
龙 川 江	孟 加 拉 湾	11962	303	314	98.90	827
辽 河	渤 海	164104	1430	302	95.27	58
鉴 江	南 海	9433	211	272	85.84	910
漠 阳 江	南 海	6174	108	267	84.30	1365
南 流 江	北 部 湾	9392	198	246	77.64	822
飞 云 江	东 海	6153		232	73.20	
下淡水溪	台 湾 海 峡	3257	159	228	71.79	2204

注：1. 黄河、海河水量为天然径流量。

2. 辽河包括浑河、太子河。

3. 资料来源：文献[1]、[2]。

表 1.3-4、1.3-5 分别为我国各省、市、自治区年水资源量和人均年水资源量排序情况。可见，在 31 个省、市和自治区中约有一半以上人均年水资源量低于平均水平，有的甚至低于 1000m³。而人均年水资源量低于 1000m³，在国际上即被认为是水资源紧缺限度。

我国各省、市、自治区年水资源量

表 1.3-4

省、市、自治区	年水资源量(10 ⁸ m ³)	省、市、自治区	年水资源量(10 ⁸ m ³)
西 藏	4482	浙 江	897
四 川	3134	新 疆	883
云 南	2221	黑 龙 江	776
广 西	1880	安 徽	677
广 东	1818	台 湾	664
湖 南	1627	青 海	626
江 西	1422	内 蒙	507
福 建	1169	陕 西	442
贵 州	1035	河 南	408
湖 北	981	吉 林	390

续表

省、市、自治区	年水资源量(10^8m^3)	省、市、自治区	年水资源量(10^8m^3)
辽 宁	363	北 京	44
山 东	335	上 海	27
江 苏	325	天 津	15
海 南	316	宁 夏	10
甘 肃	274		
河 北	237		
山 西	144	全 国	28124

资料来源:文献[6]。

我国各省、市、自治区人均年水资源量

表 1.3-5

省、市、自治区	人均水资源量(m^3)	省、市、自治区	人均水资源量(m^3)
西 藏	196580	吉 林	1540
青 海	13580	陕 西	1300
云 南	5800	甘 肃	1180
新 疆	5600	安 徽	1160
海 南	4610	辽 宁	900
广 西	4290	山 西	480
福 建	3750	江 苏	470
江 西	3630	河 南	460
台 湾	3200	山 东	390
贵 州	3080	河 北	380
四 川	2850	北 京	370
广 东	2790	上 海	200
湖 南	2600	宁 夏	200
内 蒙	2300	天 津	160
浙 江	2150		
黑龙江	2120		
湖 北	1760	全 国	2328(1995 年)

资料来源:文献[6]。

二、水资源的时程分布极不均衡

水资源的时程分布须从径流的年内分配与年际变化考察。

我国各地的径流年内分配在很大程度上取决于降水的季节分配,很不均衡。在广大的东北、华北、西北与西南地区,降水量一般均集中在6~9月份,约占正常年降水量的70%~80%,12~2月份降水极少,气候干旱。

径流的年际变化一般指年径流的多年变化(年际变幅)和多年变化过程两方面。前者通常用年径流变差系数(C_V 值,即一个系列的均方差与其平均数的比值)、实测最大年平均流量与最小年平均流量的比值(年际极值比)表示。后者包括年径流丰水保证率($P < 25\%$)、平水保证率($25\% < P < 75\%$)、枯水保证率($P > 75\%$)的特性及其交替变化情况。

表 1.3-6 为我国一些大河年径流多年变化特征值情况[3]。

一些大河流年径流多年变化特征值

表 1.3-6

河 名	站 名	集水面积 (km^2)	平均流量 (m^3/s)	实测最大		实测最小		年际极 值 比 K	变差系数 C_V	统 计 年 份
				流量 (m^3/s)	年份	流量 (m^3/s)	年份			
松花江	哈尔滨	390526	1230	2680	1932	387	1920	6.9	0.41	1898~1970
永定河	官 厅	42500	68.2	112	1959	32.1	1931	3.5	0.30	1919~1970
黄 河	陕 县	687869	1350	2091	1937	635	1928	3.3	0.25	1919~1969
淮 河	蚌 埠	121330	853	2280	1921	117	1966	19.5	0.63	1916~1970
长 江	汉 口	1488036	23700	81100	1954	14400	1900	2.2	0.13	1865~1970
西 江	梧 州	329705	7040	11000	1915	3250	1963	3.4	0.23	1900~1970
澜沧江	景 洪	137948	1850	3550	1966	1540	1960	1.6	0.17	1956~1970
怒 江	道街坝	118760	1676	1646	1962	1380	1959	1.4	0.12	1957~1970
雅鲁藏布江	奴 下	191222	2010	2870	1962	1560	1957	1.8	0.20	1956~1957
										1960~1968、1970

资料来源:文献[3]。

我国年径流 C_V 值的分布也同年径流分布一样,具有明显的地带性,但两者的趋势相反。年径流的 C_V 值反映地区年径流的相对变化程度, C_V 值大表明年径流变化剧烈,故 C_V 值从东南向西北增大,即从丰水带的 0.2~0.3 增至缺水带的 0.8~1.0。

年际极值比能直接反映年径流多年变化幅度。由表 1.3-6 可见,我国一些大河的年际极值比差异很大,淮河蚌埠水文站的 K 值竟达 19.5。另外可见, C_V 值大的河流,其年际极值比一般也大,反之则小。

据分析,我国各主要河流的年径流多年变化过程线,都普遍出现 5 年以上的丰水、平水、枯水段。另据有关资料,在一些地区降水量年际变化可相差 5~6 倍之多。

上述情况表明,我国水资源在时程上分布的极不均衡性,不仅造成频繁的大面积水旱灾害,而且对水资源的开发利用十分不利,在干旱年份还加剧了缺水地区城市、工业与农业用水的困境。

1.4 我国水资源开发利用情况与问题

一、开发利用情况

除河道内用水(发电、航运、渔业、冲淤、与部分环境用水)外,我国 1980 年的用水分布情况如表 1.4-1 所示[1]。

表 1.4-1

全国 1980 年用水分布及其组成 单位: 10^8m^3

流 域（片）	总 用 水 量			工 业 用 水		城镇生活用水	农 业 用 水					农村人畜	农副其 他用水
	合 计	地表水	地下水	小 计	其中： 火电厂		小 计	灌 溉					
								种植业	牧 业	林 业			
全国总用水量	4436.91	3817.91	619.00	457.32	157.48	67.69	3911.89	3580.61	34.64	41.08	212.62	42.95	
占总用水量(%)	100	86	14	10.3	3.5	1.5	88.2	80.7	0.9	0.9	4.7	1.0	
东北诸河	353.72	268.86	84.86	63.86	14.74	9.47	280.39	238.51	2.82	3.08	11.57	24.41	
海 河	383.88	181.44	202.44	48.69	11.78	10.72	324.47	304.25	1.10	3.56	14.97	0.59	
淮河及山东半岛诸河	531.26	402.33	128.93	38.42	12.02	5.30	487.54	454.44	0.01	0.16	27.20	5.73	
黄 河	358.37	273.96	84.41	27.93	5.56	6.03	324.40	305.89	3.80	4.66	10.05	1	
长 江	1353.27	1286.25	67.02	208.76	92.65	22.34	1122.17	1041.10	3.14	0.41	74.84	2.68	
华南诸河	660.64	654.52	6.12	45.86	18.09	9.47	605.31	551.23	—	0.01	53.82	0.25	
东南诸河	193.14	188.05	5.09	16.03	2.06	2.14	174.97	166.14	—	—	8.84	—	
西南诸河	43.92	43.25	0.67	0.74	0.03	0.22	42.96	39.46	—	0.01	3.49	—	
内 陆 河	558.71	519.25	39.46	7.03	0.55	2.02	549.68	479.59	23.77	29.19	7.84	9.29	

注: 1. 表中数字未统计台湾省资料, 计入台湾, 我国 1980 年总用水量为 $4562.35 \times 10^8 \text{m}^3$ (台湾农业用水 $99.24 \times 10^8 \text{m}^3$, 工业用水 $13.05 \times 10^8 \text{m}^3$, 城市生活用水 $13.15 \times 10^8 \text{m}^3$, 合计 $125.44 \times 10^8 \text{m}^3$).

2. 资料来源: 文献[1].

另据有关资料,我国 1997 年用水组成情况同 1980 年的对比如表 1.4-2 所示。

全国 1980、1997 年用水情况对比 单位: $10^8\text{m}^3/\%$

表 1.4-2

年 份	总 用 水 量	工 业 用 水	城镇生活用水	农 业 用 水
1980	4436.91/100	457.32/10.30	67.69/1.50	3911.89/88.20
1997	5566.00/100	1121.00/20.14	175.72/3.16	4269.28/76.70

注: 1. /以上为用水量, 以下为占总用水量的比例(%)。

2. 1997 年数据, 根据水利、城市建设部门有关资料分析确定。

3. 农业用水中包括农村人、畜用水。

由表 1.4-2 可见, 在 1980~1997 年期间, 我国工业用水量和城镇生活用水量增长较快, 分别为 5.8% 和 4.42%, 而农业用水量增长较缓, 农业用水比例有所减少。这种变化是世界各国城市化进程发展的必然趋势。

表 1.4-3 为本世纪 80 年代前、中期我国同世界各国或地区用水结构对比的大致情况, 可供分析参考。

中国同世界各国或地区用水结构

表 1.4-3

国家或地区	各类用水占总用水量的比例(%)			统计年份
	工 业 用 水	城镇生活用水	农 业 用 水	
亚 洲	5.00	6.00	88.00	1987
欧 洲	54.00	13.00	33.00	1987
非 洲	5.00	7.00	88.00	1987
中 国	8.59	1.86	89.54	1988
印 度	4.00	3.00	93.00	1975
日 本	33.00	17.00	50.00	1980
美 国	46.00	12.00	42.00	1985
法 国	69.00	16.00	15.00	1985
全世界	23.00	8.00	69.00	1987

资料来源: 文献[6]。

由表 1.4-2、1.4-3 可见, 在用水结构上我国与世界发展中国家同期相比有相似之处。但近十年来的情况已有明显变化, 工业与城镇生活用水量占总用水量的比例明显增大, 而农业用水量所占比例已降至 76.7%。后者, 同经济发达国家相比仍然偏高, 其原因显然同农业在国民经济中所占比例相对较大, 以及较落后的灌溉技术有关。

另一方面, 水资源的开发利用很不平衡。如以“1980”水平年我国各流域水资源开发利用情况为例(表 1.4-4), 可见早已呈现南方各河流域的开发利用程度较低, 北方的较高的状况, 其中海河流域高达 67.7%。地下水的开发利用程度也是北方高于南方, 其中海河流域浅层地下水的开发利用率已达 84.4%。实际上在缺水地区的工业与城市集中地段, 水资源的开发利用程度远高于上述水平, 如辽河流域的浑河, 太子河地区地表水资源的开发利用率已达 89%, 多数城市范围的地下水已过量开采。

近 20 年来,虽然水资源开发利用情况又有新的变化,但以前的基本格局并未改变。在缺少近年来有关水资源开发利用完整统计分析资料的情况下,表 1.4-4 的数据仍具有参考价值[2]。

全国各流域“1980”水资源开发利用程度 单位:10⁸m³ 表 1.4-4

流 域 (片)	河 川 径 流			地 下 水		
	多年平均河 川径流量	可供水量	开发利用程度 (%)	平原地下 水资源量	开 采 量	开 采 程 度 (%)
全 国	27115	4144	15.3	1873.4	591	31.5
东北诸河	1653	295	17.8	330.1	95	28.8
海 河	288	195	67.7	178.2	154	84.4
淮河及山东半岛诸河	741	406	54.8	296.7	119	40.1
黄 河	560	240	42.8	157.2	84	53.4
长 江	9513	1609	16.9	260.6	51	19.6
华南诸河	4685	697	14.9	92.7	3	3.2
东南诸河	2557	213	8.3	51.9	7	13.5
西南诸河	5853	43	0.7	—	—	—
内陆诸河	1164	446	38.3	506	78	15.4

- 注: 1. 水平年以“1980”表示,主要以河道外需水进行供需分析。
 2. 计算河川径流开发利用程度时,可供水量中外区调入水量未扣除。
 3. 资料来源:文献[1]。

表 1.4-5 为我国“1980”水平年用水量同一些国家相近年份用水量的对比情况。

中国“1980”水平年用水量同一些国家相近年份用水量对比 表 1.4-5

国 家	年 份	总用水量 (10 ⁸ m ³)	占 径 流 (%)	人均用水量 (m ³ /人)	占 总 用 水 量 (%)			
					农 业	工 业	生 活	其 他
美 国	1975	4676	27.4	2184	48.7	43.4	7.9	
前苏联	1975	3316	7.6	1304	48.9	32.0	4.8	14.4
日 本	1981	882	16.0	792	65.8	18.2	16.0	
印 度	1974	4240	23.8	691	92.4	4.0	3.3	
法 国	1975	420	25.0	796	33.3	57.2	9.5	
英 国	1969	221	14.5	400	0.3	76.0	22.4	1.3
加拿大	1968	229	0.7	1070	13.5	81.5	5.0	
中 国	1980	4437	16.30	452	88.2	10.3	1.5	
全世界	1975	30000	6.4	744	70.0	21.0	5.0	4.0

表 1.4-6 为我国同一些国家水资源开发利用情况的对比。

中国同一些国家水资源开发利用情况对比

表 1.4-6

对比项目 \ 国 家	中 国	美 国	日 本	前 苏 联	前联邦德国
年水资源量 (10^8m^3)	28124 (1)	29770 (1.09)	4494 (0.17)	47140 (1.68)	1700 (0.06)
人均年水资源量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	2400 (1)	13080 (5.45)	3841 (1.59)	17860 (7.44)	2784 (1.16)
年总取水量(总用水量) (10^8m^3)	5000 (1)	5220 (1.04)	882 (0.18)	3900 (0.78)	224 (0.045)
人均年取水量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	427 (1)	2300 (5.39)	754 (1.77)	1477 (3.46)	367 (0.86)
万元国民生产总值取水量 ($\text{m}^3/\text{万美元}$)	11600 (1)	1300 (0.112)	560 (0.048)	2200 (0.19)	350 (0.03)
年可供水量 (10^8m^3)	10000~11000 (1)	10160 (1)	2000 (0.2)	14100 (1.34)	—
人均年可供水量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	897 (1)	4776 (5.32)	1710 (1.9)	5341 (5.95)	—
年总取水量/年水资源量(%)	17.8	17.6	17.9	8.3	13.2
年总取水量/年可供水量(%)	47.6	51.4	44.1	23.0	—
1980~1985 年取水量 增长率(%)	+ 10.5	- 10.7	+ 1.1		

注：1. 中国有关数据以 1985 年计。

2. 部分资料参照文献[6]、[7]。

由表 1.4-7 可见,我国国民生产总值虽远低于经济发达国家,但年总取水量(在此即用水量)及其他用水经济指标却超过经济发达国家。应该讲,水资源利用水平低下也是我国水资源开发利用中的突出问题之一。

为了便于深入了解我国水资源开发利用情况,以上述“1980”水平年为基础,我国各类用水情况及其后变化如下:

1. 农业用水

1980 年全国有效灌溉面积为 $4869 \times 10^8 \text{m}^2$ (即 7.3×10^8 亩,约占耕地面积的 48%),其中实际灌溉面积 $4095 \times 10^8 \text{m}^2$ (6.14×10 亩)。由此以总人口计的人均灌溉面积为 494m^2 (0.74 亩),相当于世界的平均数 467m^2 (0.7 亩),如按农业人口计则仅及世界农业人口平均数的 57%。亩均灌溉水量,全国为 583m^3 ,略低于 1975 年世界亩均灌溉水量 630m^3 ,且北方 ($365 \sim 540 \text{m}^3$) 低于南方 ($541 \sim 886 \text{m}^3$)。农村生活用水量约为 $25 \sim 40 \text{L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ 。截至 1990 年底,全国已解决 1.32×10^8 人的用水困难问题(占总人数 1.59×10^8 人的 83%),牲畜饮水也相应得到解决。

2. 工业用水

“1980”水平年全国各流域(片)一般工业(不包括火力发电厂)万元产值取水量,如表