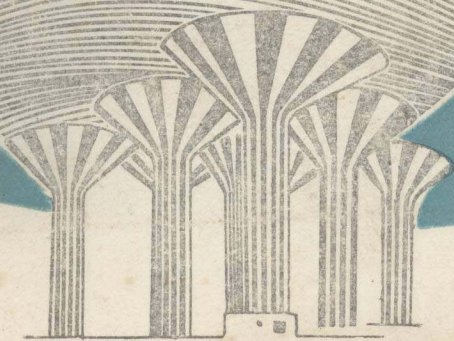


中國環境科學出版社

合理利用城市水资源

袁銘道 編著



内 容 简 介

本书较全面地介绍了全球性的水资源短缺及我国水资源问题的严重性；阐明了合理用水的必要性和可能性，水资源、水污染与生态环境的相互关系；论述了城市合理用水和火电、钢铁、化工、造纸等主要用水行业的合理用水问题；介绍了综合性合理用水措施。

本书主要供从事环保科研，城市规划设计，水资源开发，水电，冶金，轻工等部门有关同志参考。

合理利用城市水资源

袁铭道 编著

责任编辑 李玲英

中国环境科学出版社出版

北京崇文区东兴隆街69号

北京三环印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1990年3月 第 一 版 开本 787×1092 1/32

1990年3月 第一次印刷 印张 6 5/8

印数 1—1 500 字数 150千字

ISBN 7-80010-369-2/X·215

定价，2.90元

前 言

水资源短缺已经成为当今世界的重大问题之一。人口城市化和工业迅速发展，提高了对供水保证率和水质的要求，使城市水的供需矛盾更加突出，城市限量供水现象在不少国家都时有发生，甚至连美国和日本等水资源相对丰富的发达国家也不能例外，有一些国家连饮用水尚无法保证。人类已面临水资源危机的威胁。联合国把本世纪80年代定为“供水十年”，足以说明这一问题的严重性。

我国水资源并不丰富，目前经济还比较落后，生活水平还不高，可是水资源短缺问题已相当严重。全国迄今为止已有一半以上城市供水紧张，连江南不少城市也步入缺水城市的行列，北方许多城市更是处于水荒困扰的境地。水已经成为发展经济的重大制约因素。今后，社会经济的加速发展与水资源不足的矛盾必将尖锐化，形势是十分严峻的。如何采取有效的对策和措施，使有限的水资源能保证社会经济持续稳定的发展，是摆在我们面前一项极其艰巨的任务。

本书从分析当代水资源问题特性出发，强调解决水资源供需矛盾必须要有正确的指导思想：（1）工作重点由供水方面转向需水方面，从依靠水资源开发扩大供水能力转向减少需水量，这是一种战略性转移；（2）水量水质并重，水资源利用与水污染控制有着必然的内在联系，水污染是加剧水的供需矛盾的一个带根本性的原因；（3）水资源问题到底是经济问题，不能就水资源论水资源，必须与社会经济发展密切联系起来考察。

书中较全面地介绍了全球性的水资源短缺及我国水资源问题的严重性；阐明了合理用水的必要性和可能性；水资

源、水污染与生态环境的相互关系；论述了城市合理用水和火电、钢铁、化工、造纸等主要用水行业的合理用水问题；分析了生活合理用水的主要问题；介绍了重要的综合性合理用水措施。

工业用水动态变化综合评价，对掌握工业用水规律，进一步推动工业合理用水，使之提高到一个新的水平有重大意义。这是一个难度很大的新课题，本书对其评价模型及有关问题进行了探讨。

本书强调实用性。它所论述的每一个问题，都紧密地结合了我国的实际情况。书中通过分析研究大量资料和数据，提出了我国城市合理利用水资源的主要途径；讨论了人们普遍关心的一些问题。本书如能为解决我国水资源短缺和水污染问题起到一些作用，不胜荣幸。

由于作者掌握情况不够全面，更限于水平，书中不妥甚至错误之处在所难免，谨请批评指正。

在本书撰写过程中，刘宪法同志对第四章提出了很多宝贵意见。书中引用了天津市环保研究所的科研成果，还引用了由中国城市规划设计研究院主持（主要参加单位为：北京市规划设计研究院、河北省城乡规划设计研究院、山西省水资源技术开发研究所、水电部华北电力试验研究所、冶金部建筑研究总院、轻工部环保研究所等）的“六五”科技攻关项目“城市用水的节水研究”报告中的有关数据，在此一并表示谢意。

作 者

1988年6月

目 录

第一章	全球性的水资源短缺	(1)
第一节	水资源问题的特性	(1)
第二节	水资源的有限性	(5)
第三节	取水量的迅速增长	(9)
第四节	我国的用水状况	(16)
第五节	水资源开发日益受到限制	(20)
第六节	全球性的水资源短缺	(28)
第二章	水资源与生态环境	(33)
第一节	水污染加剧供水紧张	(33)
第二节	我国水污染严重	(35)
第三节	治理水污染费用惊人	(40)
第四节	地下水的过量开采	(44)
第五节	水资源开发不当破坏生态环境	(52)
第六节	生态环境对水资源的影响	(56)
第七节	小结	(65)
第三章	城市合理用水	(67)
第一节	合理用水的必然性	(67)
第二节	合理用水	(69)
第三节	工业用水概述	(75)
第四章	工业用水规律性探讨	(88)
第一节	动态变化规律探讨	(88)
第二节	工业用水的影响因素	(92)
第三节	动态变化综合评价模型	(98)
第五章	工业合理用水	(109)
第一节	减少用水量的重要性	(109)

第二节	冷却水的合理利用	(115)
第三节	火电工业合理用水	(123)
第四节	钢铁工业合理用水	(131)
第五节	化学工业合理用水	(139)
第六节	造纸工业合理用水	(144)
第六章	城市生活合理用水	(152)
第一节	我国城市生活用水概况	(152)
第二节	公共用水浪费严重	(154)
第三节	国外重视节约生活用水	(159)
第四节	我国生活节水初见成效	(164)
第五节	正确对待中水道	(166)
第七章	合理用水综合性措施	(171)
第一节	海水利用	(171)
第二节	污水回用	(176)
第三节	地表水地下水联合利用	(181)
第四节	改革管水体制	(187)
第五节	计划供水与调整水价	(192)
第六节	结束语	(200)
主要参考文献		(203)

第一章 全球性的水资源短缺

第一节 水资源问题的特性

长期以来曾被认为是“取之不尽，用之不竭”的水，如今却成为十分稀缺的资源。第二次世界大战后，世界经济发展不到30年时间，就开始出现水资源短缺问题，目前全球约有50%陆地面积水源不足，身受缺水之苦的国家日渐增多，有的已处于“水荒”的困境。早在1972年于斯德哥尔摩召开的联合国人类环境会议上，许多国家的报告中都强调了城市缺水问题。会议提要中明确指出：“为不断增长的人口和迅速发展的工业提供适当清洁的水，已是许多国家一个技术、经济和政治上的复杂问题，而且是日益深化的问题。在各国提出的报告中，还没有其他环境问题受到如此重视”。接着在1977年的联合国水会议上，进一步向全世界发出警告：“水不久将成为一个严重的社会危机，石油危机之后的下一个危机便是水”。

人口、资源和生态环境是当今举世瞩目的三大问题，对今后世界发展的影响极其深远。水不仅是全球人类活动必不可少的自然资源，而且是维持生态平衡最基本要素之一，具有自然资源和生态要素的双重特性。因而水资源对人类社会的作用是举足轻重的。

尽管世界上越来越多的人认识到水资源的重要性，可是因长期受对水的传统观念的影响，至今还不能说已经从战略高度对水资源给予应有的重视。几乎所有国家的领导人都十分关心石油价格的变化，而了解水价的则屈指可数。

水是可再生的资源，既具有与其他自然资源相同的共性，又有其特性。全面深入地了解水资源问题的特性，无疑对提高认识，解决城市水的供需矛盾，满足社会经济发展需要具有重要意义。水资源问题的主要特性从宏观上可概括如下：

一 水资源的有限性

全球以及各洲和各国所拥有的水资源量是相对固定的，不存在发现新的油田和煤田那样增加储量的前景。同时由于维持生态平衡的需要，以及受到自然条件等制约，拥有的水资源中只有一部分可供开发利用。人类只能利用有限的水资源，求得社会经济长期持续的发展。如果需水量不断增长，即使增长率很低，总有一天会出现水的供需无法平衡的局面。

二 水资源的不可替代性

在可预见的将来，水是不可替代的资源，这也是与许多其他自然资源所不同的。近年来，海水淡化技术虽然取得较大进展，可是因费用高、能耗大等原因，迄今全球所有脱盐淡化装置的能力每年仅为 $27 \times 10^8 \text{m}^3$ ，不到全球取水量的 $1/1000$ ，把取之不尽的海水变成可供利用的淡水资源，仍将是十分遥远的事，无法与开发新能源的情况相比。不少国家还在酝酿研究从南极拉冰，以解决水源不足问题，据称在经济上比较合理，可是南极冰的归属是个政治问题，而且如果从南极大量拉冰，将导致气象条件及相应生态环境的改变，可能对人类造成灾难。

三 水资源分布的不均匀性

水资源在时空分布上都极不均匀。全球可利用的水资源

量中，约有35%经过无人区，任其白白流走。非洲的扎伊尔河（前称刚果河）的径流量仅低于全球水量最大的亚马孙河，约为该大陆可更新水量的30%，可是大部分流经人烟稀少的雨林。而2/3非洲国家水源却不足，近年来的连续干旱，已有20多个国家遭受饥荒。城市因人口和工业集中，需水量大，保证率要求高，而且增长迅速，较易出现水源供不应求的情况，即使在水资源相对丰富的国家，城市缺水也难以完全避免。

水资源量年际变化较大，丰水年水涝成害，枯水年则干旱成灾，有的国家和地区甚至在同一年内既要防洪又要抗旱。一遇丰水年忙于防洪，便把水源不足置之脑后，很容易造成“缺水是暂时性问题，只需采取应急措施就能解决”的错觉。这种特性在自然资源中可能是绝无仅有的。

四 水资源与生态环境的相关性

水资源的开发利用与生态环境有着密不可分的联系，两者相互依存相互制约。水在使用过程中，除消耗部分外，仍然返回自然环境中，不过水质发生了变化。在人口和工业集中的城市，大量使用后的污水排放水体，使水污染日益严重，水资源的质量下降，减少了可利用的水资源量，水污染已经成为当前城市水源不足的重要原因之一。此外，大气污染造成大气中CO₂浓度的增加，以及滥伐森林、植被减少与水土流失等对生态环境的破坏，都将导致水资源量的减少。同时水资源的开发利用不当，也会引起诸如土壤盐渍化，地面沉降及土地沙化等生态环境问题。

五 取水量增长的急剧性

据70年代初苏联科学家为联合国《国际水文十年》提供的

一份最全面的历史资料估计，在1900~1940年的40年间，全球取水量增长1倍。而进入本世纪中叶，取水量增长速度急剧加快，1970年的取水量为1950年的2.4倍，年均递增率达4.4%，即16年取水量就翻一番。并且在此期间工业取水量增长速度更快，年均递增率近5.1%，致使城市水污染日益严重，城市供水日趋紧张。如果今后仍然保持这种增长趋势，取水量与可利用水资源有限性的矛盾，势必更加尖锐。

六 水资源很低的可调节性

一个地区或城市对水的需求量很大，数以亿立方米计，不可能象能源那样作为商品在市场上交易、相互调节。跨流域长距离调节地区之间水的余缺，虽然在世界上已有实例，但是工程浩大，需要大量资金、很长时间，还有可能带来影响生态环境的不良后果，付出代价之巨大往往超出预料，而且有时并不能完全达到预期效果。权衡得失，各国对调水工程都持慎之又慎的态度，计划得多，实施得很少。

七 需水量的可塑性

随着水资源短缺及水污染问题的日益突出，有些国家于70年代开始采取一系列合理用水的措施，取得明显成效。美国1950~1970年总取水量年均递增率为3.1%，而1970~1980年则下降为1.7%，而且与水污染关系密切的制造业（除火电和矿业以外的所有工业），自1968年至今取水量持续下降。日本工业取水量自1973年起一直呈下降趋势，1983年与1975年的总取水量基本持平。我国天津、大连、青岛等缺水城市，自70年代末以来也先后出现了工业连年增产，工业取水量反而逐步下降的可喜局面。

这些事实有力地说明，面临水资源短缺的严峻挑战，决

不是束手无策的。在提高对水资源问题认识的基础上，利用高度发达的科学技术，以控制取水量增长及水污染的发展，使有限的水资源满足今后的需要，是可以大有作为的。

第二节 水资源的有限性

一 全球可利用的水资源量

全球平均每年以雨、雪等形式降到陆地（格陵兰和南极除外）的水量、陆地蒸发量及形成的径流量见表1-1。在径流量中约有2/3以暴雨形式很快流掉，而且往往是害多利少，只有其余1/3的稳定径流量可供开发利用。全球兴修的水利工程，使稳定径流量增加到 $14 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，约为径流量的36%，这是人类赖以生存发展可供利用水资源量的上限（在稳定径流量中约有 $5 \times 10^{12} \text{m}^3$ 流经无人区，实际可利用水量为 $9 \times 10^{12} \text{m}^3$ ）。1983年全球人均拥有径流量和稳定径流量分别为 8300m^3 和 3000m^3 。美国环境质量委员会根据卡特总统指示，在1980年出版的《全球2000年——致总统的报告》中指出：仅仅由于人口的增长，到本世纪末，人均可供水量将下降约1/3。

表1-1 全球可再生水量

降水量 ($\times 10^{12} \text{m}^3$)	蒸发量 ($\times 10^{12} \text{m}^3$)	径流量 ($\times 10^{12} \text{m}^3$)	稳定径流量 ($\times 10^{12} \text{m}^3$)	1983年人均	
				径流量 (m^3/a)	稳定径流量 (m^3/a)
110.3	71.5	38.8	14.0	8300	3000

水资源在世界各洲分布情况见表1-2，分布是很不均匀

的，亚洲是面临水资源不足威胁最严重的大陆，人口为全球的58%，径流量占全球的比重仅26%，而且径流量在主要大陆中是最不稳定的。目前亚洲人均稳定径流量尚不到全球平均的一半。

表1-2 水资源在各洲分布情况

地 区	年均径流量 ($\times 10^{12} \text{ m}^3$)	占全球径流量 的比重(%)	占全球人口的 比重(%)	稳定径流量的 比重(%)
非 洲	4.225	11	11	45
亚 洲	9.865	26	58	30
欧 洲	2.129	5	10	43
北 美*	5.960	15	8	40
南 美	10.380	27	6	38
大 洋 洲	1.965	5	1	25
苏 联	4.350	11	6	30
世 界	38.874	100	100	36

* 包括中美洲径流量 $0.545 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

各大陆及各国拥有的水资源量差别很大，在一个国家内不同地区水资源的分布也很不均匀。印尼是水资源较丰富的国家，然而全国60%的人口居住在径流量不到10%的爪哇岛。孟加拉国近几年来，几乎每年都遭受水灾，1987年8月全国3/4地区洪水为患，而首都达卡却闹水荒，这座500万人口的城市，供水量只能达到平时的60%。特别是亚洲和中东等缺水国家，源于邻国的水成为本国必不可少的水源，如尼罗河的源头在布隆迪，流经乌干达、埃塞俄比亚、苏丹和埃及。埃及是世界上水资源最短缺国家之一，目前水源80%来自尼罗河，尼罗河对埃及是生命攸关的。因此水资源往往成为国际争端的一个重要原因，有时为了解决分水的矛盾，甚至不惜诉之武力。

二 我国水资源情况

我国多年平均降水为 628mm, 低于全球和亚洲平均值 970mm 和 740mm, 拥有水资源总量约 $27210 \times 10^8 \text{m}^3$, 居世界第6位。我国人口超过全球的 1/5, 遥居首位。1983年我国人均拥有水资源量不过 2670m^3 , 约为全球人均值的 32%。据最近公布的资料, 我国人均水资源拥有量, 列世界第 88 位。

我国地域辽阔, 各地区水资源量相差十分悬殊, 有近一半国土处于平均降水低于 400mm 的少水干旱地带。长江流域和长江以南地区, 人口约占全国的 54%, 耕地面积约为 38%, 水资源量约占 82%; 包括黄河、淮河、海滦河三大流域, 以及东北和西北内陆诸河的北方地区, 水资源量仅占全国的 18%, 而人口和耕地面积却分别为全国的 46% 和 62%。尤以海滦河和淮河流域更为突出, 水资源量只占全国 4%, 而人口和耕地面积均为全国的 27% 左右。按人均水资源拥有量 (1980年数据) 计, 珠江流域为 5400m^3 , 长江流域 700m^3 , 淮河流域 480m^3 , 而海滦河流域只有 300m^3 。我国北方地区人多、地多而水少, 是造成北方缺水的重要原因。

我国降水年际变化大, 越是降水少的地区, 变化就越大。南方丰水年的降水量约为枯水年的 1.5~3 倍, 而北方则为 3~6 倍。且一年内降水分布很不均匀, 华北地区雨季最短, 降雨大部分集中在 7~8 月, 并经常以暴雨形式出现, 因此容易造成春旱和秋涝。

径流量的年际变化较降水量更为剧烈, 又是北方大于南方。历年最大和最小径流量的比值, 长江以南的河流一般小于 3, 而淮河及海滦河各支流可高达 10~20, 部分平原河流甚至更大, 近年来有些河流枯水季节经常断流。海河 1972 年

径流量只有 $99 \times 10^8 \text{m}^3$ ，当年人均径流量仅 110m^3 ，平均每亩耕地才 65m^3 。

上述情况造成我国历史上水、旱灾害频繁。据不完全统计，在公元前206年到1949年的2155年期间，全国共发生可查考的水灾1092次，较大的旱灾1056次，平均每两年发生一次水灾和旱灾。建国以来我国投入很大人力物力兴修水利，对提高抗灾能力，减少经济损失成绩显著。可是水、旱灾害仍不断发生，黄、淮、海地区相对更为严重，1950~1979年期间农田受旱、水灾害的面积均超过全国的50%。

根据国内外有关部门测算，我国最大可供开发利用的水资源量为 $10000 \sim 11000 \times 10^8 \text{m}^3$ ，约占水资源总量的37~40%，按10~11亿人口算年人均可供水量 1000m^3 左右。当然要使可供水量真正得到利用，是要投入大量资金，作出极大努力的。

美国大陆部分（相连接的48个州）水资源总量约 $20000 \times 10^8 \text{m}^3$ （如包括阿拉斯加、夏威夷和加勒比则河川多年平均径流量为 $29700 \times 10^8 \text{m}^3$ ），其中多年平均地表径流量约 $17000 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其余为地下径流，尚有一小部分为水库库面蒸发和出境水量。据估计美国大陆部分在保证率为95%的干旱年分，可供利用的地表水为 $9330 \times 10^8 \text{m}^3$ ，地下水为 $830 \times 10^8 \text{m}^3$ （地表水与地下水量中可能有部分重复计算），两者合计大体上相当于现时的年人均可供水量4000多 m^3 。苏联多年平均水资源量约 $47000 \times 10^8 \text{m}^3$ ，按稳定径流量约占径流量30%估计，年人均可供水量为 5000m^3 左右。苏、美水资源总量名列世界第2和第4位，均是水资源相当丰富的国家，人均可供水量高出我国数倍。他们同样存在水资源分布不均匀的问题。如美国西南部地区水资源有限，苏联占水资源总量80%的主要河流位于北部和东部经济尚不发达地区，

而欧洲部分的南半部、高加索、哈萨克斯坦、中亚细亚等最主要用水地区，水资源量仅为20%，但其水资源条件在总体上比我国优越得多。

日本1956~1983年多年平均降水深为1788mm，接近全球平均值的2倍。丰水、平水和枯水年水资源总量依次为 $5791 \times 10^8 \text{m}^3$ 、 $4494 \times 10^8 \text{m}^3$ 和 $3338 \times 10^8 \text{m}^3$ ，估计可供开发利用水量为 $2000 \times 10^8 \text{m}^3$ （按此计算年人均可供水量近 1700m^3 ）。日本水资源总量仅为我国的1/6，而人均拥有量和可供水量均超过我国。

我国目前经济还比较落后，今后经济将有较快的发展，应该清醒地看到，与上述发达国家相比，水资源条件不如他们优越，在经济建设中必须格外重视水资源问题。

第三节 取水量的迅速增长

一 全球取水量的增长

在联合国《国际水文十年》（1965~1974年）计划过程中，苏联科学家们对地球上所有水体作了计算，于1974年出版了《世界水平衡和全球水资源》，提供了一份最全面的历史资料。全球自本世纪初到1970年取水量的增长情况如表1-3所示。1900~1940年总取水量增长1倍，自进入本世纪中叶，取水量增长迅速，在1950~1970年的20年中，取水量增长2.4倍，年均递增率为4.4%，即16年取水量就翻一番。在此期间工业取水量增长更快，年均递增率高达5.1%。1900年人均取水量为 242m^3 ，1940年约为 354m^3 ，到1970年则增加到约 700m^3 ，比1950年高出约60%，这个数值为我国人均可供水量的70%左右。

表1-3 全球1900~1970年取水量

(单位除注明外均为 $\times 10^8 \text{ m}^3$)

用水部门	1900	1940	1950	1960	1970	1900~1940 平均递增率(%)	1950~1970年 均递增率(%)
城 市	200	400	600	800	1200	1.7	3.5
工 业	300	1200	1900	3100	5100	3.5	5.1
农 业	3500	6600	8600	15000	19000	1.6	1.2
合 计	4000	8200	11100	19000	26000	1.8	4.4

美国世界观察研究所于1984年底出版有关水资源问题报告中称：当前全世界取水量相当于总径流量1/10，约为可供利用稳定径流量的25%左右。据此推算，年人均取水量近 830m^3 ，与我国人均可供水量 1000m^3 已相差不远。

报告还指出，在全球范围内，农业取水量占绝大部分，为总取水量的70%左右。工业是第二个用水大户，取水量比重约为25%。城市生活取水量约占7%。具体到各个国家则很不相同，工业发达国家工业取水量的比重可高达60~80%，而大多数发展中国家尚不到10%，这些国家今后工业取水量比重必将有很大提高。

二 一些国家取水量的变化

目前各国取水量的统计口径和方法不尽一致，用报道的数据在宏观上进行比较仍不失有重要参考价值。

1. 美国

美国地质调查局(US Geological Survey, 以下简称USGS)公布1950~1980年每隔5年一次的美国用水数据，工业用水由制造业和火电工业组成(原工业用水数据中包括

使用的咸水,作者根据有关资料扣除)。城市生活用水在美国归入公共供水系统,美国制造业大部分工厂企业都有自备水源,只有小厂从公共供水系统取水,自备水源取水量约占制造业总取水量的85~90%,火电工业基本上全部由自备水源供水。因为没有历年公共供水中制造业小工厂取水量数据,无法进行修正,因此公共供水量包括了少量制造业取水量。美国历年取水量数据见表1-4。美国1980年总取水量比1950年增加了1.2倍,年人均取水量已高达2274m³。1950~1980年期间总取水量年均递增率为2.6%,自70年代起,取水量

表1-4 美国1950~1980年取水量
(单位除注明外均为 $\times 10^8 \text{ m}^3$)

年 份	人口(亿)	公共供水	工 业	农 业	合计(5)	人均取水量 (m ³ /人)
1950(1)	1.507	193	923	1281	2405	1596
1955(1)	1.640	234	1274	1570	3135	1912
1960(2)	1.793	292	1570	1570	3314	1848
1965(2)	1.938	332	1821	1712	3730	1925
1970(3)	2.059	372	2252	1858	4395	2135
1975(4)	2.164	402	2416	2004	4723	2183
1980(4)	2.296	471	2526	2150	5220	2274
1950~1980 年均递增率(%)	1.4	3.0	3.4	1.7	2.6	1.2
1950~1970 年均递增率(%)	1.6	3.3	4.6	1.9	3.1	1.5
1970~1980 年均递增率(%)	1.1	2.4	-1.2	1.5	1.7	0.6

注, (1) 只包括48个州及哥伦比亚特区。

(2) 包括50个州及哥伦比亚特区。

(3) 包括50个州及哥伦比亚特区和波多黎各。

(4) 包括50个州及哥伦比亚特区、波多黎各和弗吉尼亚岛。

(5) 原表中各部分数值和合计值稍有出入。