



Education

# 城市水需求管理与规划

## Urban Water Demand Management and Planning

[美] 杜安·戴维·鲍曼

Duane D. Baumann

[美] 约翰·J·波朗特 编著

John J. Boland

[美] 华·迈克尔·黑尼曼

W. Michael Hanemann

刘俊良 高永 主译

Chemical Industry Press



URBAN WATER  
DEMAND  
MANAGEMENT  
AND PLANNING

DUANE D. BAUMANN

JOHN J. BOLAND

W. MICHAEL HANEMANN

WITH A FOREWORD BY GILBERT F. WHITE

化学工业出版社  
环境·能源出版中心

# 城市水需求管理与规划

[美] 杜安·戴维·鲍曼

[美] 约翰·J·波朗特 编著

[美] 华·迈克尔·黑尼曼

刘俊良 高永 主译



化学工业出版社  
环境·能源出版中心

·北京·

# (京)新登字 039 号

## 图书在版编目 (CIP) 数据

城市水需求管理与规划/[美] 鲍曼 (Baumann, D. D.), [美] 波朗特 (Boland, J. J.), [美] 黑尼曼 (Hanemann, W. M.) 编著; 刘俊良, 高永主译. —北京: 化学工业出版社, 2005. 5

书名原文: Urban Water Demand Management and Planning  
ISBN 7-5025-7019-5

I. 城… II. ①鲍…②波…③黑…④刘…⑤高… III. ①城市供水-需求-预测②城市供水-供水规划 IV. TU991

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 041949 号

Urban Water Demand Management and Planning/Edited by Duane D. Baumann, John J. Boland, W. Michael Hanemann  
ISBN 0-07-050301-X

Copyright © 1998 by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Chemical Industry Press.

本书中文简体字版由 McGraw-Hill Education (Asia) Co. 和化学工业出版社合作出版发行。

未经出版者预先许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2004-3340

---

### 城市水需求管理与规划

[美] 杜安·戴维·鲍曼

[美] 约翰·J·波朗特 编著

[美] 华·迈克尔·黑尼曼

刘俊良 高永 主译

责任编辑: 董琳

文字编辑: 荣世芳

责任校对: 吴静

封面设计: 关飞

\*

化学工业出版社 出版发行  
环境·能源出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 13¼ 字数 320 千字

2005年7月第1版 2005年7月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-7019-5

定价: 38.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 译者的话

全球淡水资源极为有限,随着世界人口的增加和城市化水平的高涨,水资源危机已成为世界各国政治家、专家学者瞩目的重大问题之一。我国是贫水国,水资源和水环境已制约了国民经济发展和人民生活水平的提高。个别缺水地区已经严重影响了人民正常生活。节制用水,增强人民的节水意识和水资源危机感,建立节水型社会应是我国当前和长远的基本国策,对中华民族永续发展具有深远的战略意义。

为促进节水型城市的建设,实现水资源可持续开发利用,并支持国民经济可持续发展以及人民生活水平可持续提高,必须实施节制用水,城市水需求管理与规划乃是实现节制用水的基础工作和必须研究的内容。特别是我国在城市用水管理上正处在“以需定供”向“以供定需”观念转变阶段,研究借鉴国外的水需求管理经验是十分必要的。

译者协助导师张杰院士在辅导博士生进行“城市用水健康循环途径与需水管理策略研究”的博士学位论文时,发现了由杜安·戴维·鲍曼(Duane D. Baumann)、约翰·J·波朗特(John J. Boland)、华·迈克尔·黑尼曼(W. Michael Hanemann)编著的《城市水需求管理与规划》一书。结合译者从事近十年城市节水规划研究的实践,深感此书值得向国内同行们推荐,特别是向政府水行政管理部门推荐。

《城市水需求管理与规划》一书主要包括以下内容。第1章描述了美国城市水管理的现状、节水的概念与节约效率的度量等;第2章全面阐释了城市用水的决定因素、工业用水经验模型、居民用水消费需求的经济理论以及需求弹性系数的经验估计;第3章主要论述城市用水预测的理论与原理;第4章详细介绍城市预测模型及应用,并介绍了需水量分析软件IWRAPS<sup>®</sup>;第5章、第6章主要解释水价及其结构,水价的形成与功能;第7章主要以菲尼克斯市为例,论述了水价结构选择所需考虑的因素;第8章通过对给水和排水服务的收入和支出变化趋势的分析,研究需求管理的内涵;第9章主要探讨水需求管理和规划;第10章主要描述需求管理计划的评估方法;第11章、第12章通过实例,论述了综合水需求管理规划(IRP)的制定过程。

《城市水需求管理与规划》一书内容全面、系统、新颖。对于解决我国城市水管理问题,提高我国的综合水资源管理水平具有很高的参考和借鉴价值。

本书由河北建筑工程学院刘俊良、高永主译,由吕广、徐丕青、李云翔审校。其中前言、致谢、第1章~第3章、第10章~第12章由刘俊良翻译,研究生王霞、申军波、李伟、白利云、臧景红、张敬红、王鹏飞、周丽参加了部分翻译工作;第4章~第6章由高永翻译;第7章、第8章由田建茹、徐伟朴翻译;第9章由何延青翻译;由刘俊良、高永负责最后统稿。在校学生迟勇、张亮和闫焕焕负责全部书稿文字、图表的录入、排版和校对工作。

译者

2005年1月

# 前 言

近年来，世界各地的用水管理方式正发生着根本性的转变，城市需水管理方式的评估则可满足这种紧迫的要求。

人类用水在社会和工程方面的转变是几方面因素共同作用的结果。许多低成本储存和输送水的设施已经修建起来。我们能够通过评估更加准确地辨别这些（包括过去的和未来的）设施的修建对环境所造成的影响。用来评价设施开发的社会标准正变得非常精确，同时区域组织的作用也越来越大。

鉴于以上以及其他一些原因，逐步提高在需水量的确定、需水量的预测和评价各种不同的经济、技术、社会方面的对水需求的决定性作用等方面的精确度和可靠度正变得越来越重要。这种重要性由大城市逐步向人口稀少地区扩展，城市用水部分的重要性正在不断增加。近来美国的经验非常值得我们去评价和分析。以低成本和可靠性为标准的旧的模式很少考虑需求量的决定性作用、价格体系和金融政策，已经不再适应新的要求了。

本书对新兴的城市水需求分析和管理的的方法进行了回顾和评价，并指出了如何将其引入整体性的供水管理规划中，在实际应用中如何评价它们的效果。并通过对一个发展中城市的日常行政管理的努力程度的实际评价，对分析框架进行了补充。

本研究的一项基本任务就是要定义节水概念的范围和内涵。当社会和城市致力于可持续发展时，切实认识到需求管理需要什么以及应避免什么是非常必要的。

吉尔伯特·菲茨杰拉德·怀特  
( Gilbert F. White )  
科罗拉多大学  
( University of Colorado )

## 致 谢

本书讲述了城市水需求分析和高级管理的方法。新选择的主题和编者具有更广泛的代表性，同时也提出了许多应用上的原则和细节问题。在许多案例中，所给的材料已经经过加工整理，其中一些材料先前没有出版过。感谢在美国水需求和管理方面做了开拓性工作的个人和机构。

20 世纪 50 年代在芝加哥大学 (University of Chicago) 和哈佛大学 (Harvard University) 的研究为用水管理的发展远景奠定了根本性基础。在芝加哥，吉尔伯特·菲茨杰拉德·怀特 (Gilbert F. White) 在水资源计划编制中就其选择范围的拓宽做了富有说服力的论证。他的早期对洪水灾害的研究工作突破了传统的结构性和可靠性的方法，证实了通过漫滩管理减少潜在危害具有巨大优势，同时可以通过国家保险程序来减轻灾害所造成的损失。他的学生，如克拉克大学 (Clark University) 的罗伯特·怀特·凯茨 (Robert W. Kates) 把这种模式引入到城市水资源管理中，并且与克里福特·拉塞尔 (Clifford Russell) (后来去了哈佛) 和戴维·阿雷 (David Arey) (后来去了克拉克) 一起在城市干旱研究方面做了开创性的工作。

在哈佛大学，进行了与以往研究方向完全一致但内容又有所区别的研究工作。从 1956 年到 20 世纪 60 年代初期，由阿瑟·曼斯 (Arthur Mass) 指导编制的哈佛水用水计划 (Harvard Water Program) 确定了需求分析、经济学工具和最优化。罗伯特·德福曼 (Robert Dorfman)，奥托·艾克斯坦 (Otto Eckstein)，买纳德·霍夫西米兹 (Maynard Hofschmidt)，约翰·克鲁迪拉 (John Krutilla)，斯蒂芬·A·马林 (Stephen A. Marglin)，戈登·马斯克夫 (Gordon Maskew) 和哈罗德·A·托马斯 (Harold A. Thomas, Jr) 等的研究工作对以后几代研究者和从业者产生了深远而持久的影响。

同时，在兰德公司 (Rand Corporation) 的资助下，Jack Hirshleifer、James C. De Haven 和 Jerome W. Milliman 进行了富有开创性的工作。他们工作的重点集中在能促进城市用水的使用效率和经济性的备选方案的重要性上，是城市水资源规划和管理中需求分析必要性的基础性研究工作。

在约翰·霍普金斯大学 (Johns Hopkins University) 的约翰·盖耶 (John Geyer)、F·皮尔斯·利纳威弗 (F. Pierce Linaweaver)、杰罗姆·B·沃尔夫 (Jerome B. Wolff) 和其他人一起完成了第一份对居民、商业和工业用水的综合性分析报告。后来由利纳威弗和查尔斯·W·豪 (Charles W. Howe) 在后来的关于未来水资源的研究中提出了具有开创性的 Howe and Linaweaver 居民用水模型，这个模型在以后 30 年中仍在广泛使用。

城市需水研究在 20 世纪 70 年代后期又被重新重视起来。当时，美国陆军工程兵水资源学会 (U. S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources, IWR) 在一定区域内开展了一项调查报告和发展规划。尽管最初的目的是在工程兵范围内资助水计划编制，但由于 IWR 的研究提出了一些在水行业内被广泛应用的分析方法、分析工具和模型，这项工作由工程兵组织的成员詹姆斯·克鲁斯 (James Crews)，唐纳德·邓肯 (Donald Duncan)，迈克尔·克劳兹 (Michael Krause)，达雷尔·诺顿 (Darrell Nolton) 和凯勒·先令 (Kyle

Schilling) 等指导下持续了近十年, 计划编制和管理咨询有限责任公司 (PMCL) 给予了这项工作很大的支持。而新工具开发和测试的成功应归功于本尼迪克特·泽捷列夫斯基 (Benedykt Dziegielewski)、杰克·朗哥夫斯基 (Jack Langowski) 和伊娃·奥佩兹 (Eva Opitz)。

当然, 所有这些工作都提高了城市水管理和计划编制的作用和效率。然而研究工作和第一次实际应用之间的分界线相当模糊, 很难定义。这些方法和模型在早期的应用需要一些罕见的技能和勇气, 他们的成功是对所有参与者的回报。这些方法和模型的具有卓越技能和奉献精神采纳者是威利·霍恩 (Wiley Horne) (南加州的大都市的水区域, Metropolitan Water District of Southern California) 和威廉·米 (William Mee) (菲尼克斯城水和废水局, Phoenix Water and Wastewater Department)。在工程师军团 (Corps of Engineers) 中, 较早和经常性的应用应归功于 Eugene Stakhiv、William Werick 和 Germaine Hofbauer 的不懈努力。Lyle Hoag 进一步完善了对城市需求分析的指导, 加州城市水务处的执行董事 (Executive Director of the California Urban Water Agencies) 为随后由美国水工作协会 (American Water Works Association, AWWA) 出版的关于节水的手册做了大量的准备工作。

对需求分析和管理的先进方法的应用导致了新知识、新的研究方向和新的用水政策的产生。研究和应用的 40 年产生了很多新的见解和技术方法, 可以为未来的规划者和从业者解决一些更难的一些水管理难题。在准备这篇理论和实践的陈述的总结时, 我们非常感谢那些在过去 40 年中发现了难题并指明了解决途径的人。

我们也非常感谢那些为这本书的准备工作提供帮助的人, 他们是: 大学水资源委员会 (Universities Council on Water Resources) 的卡米尔·海登 (Camille Hedden), 规划和管理咨询有限责任公司的特菲尼·布拉姆利 (Stephennie Brumley)、坦布拉·巴特勒 (Tam-bra Battle) 和克里斯·弗朗西斯 (Kris Francis)。

**杜安·戴维·鲍曼 (Duane D. Baumann)**

**约翰·J·波朗特 (John J. Boland)**

**华·迈克尔·黑尼曼 (W. Michael Hanemann)**

## 内 容 提 要

本书是 Mc Graw-Hill 公司出版的“Urban Water Demand Management and Planning”的中文翻译版。

全书主要包括以下内容。第 1 章描述了美国城市水管理的现状、节水的概念与节约效率的度量等；第 2 章全面阐述了城市用水的决定因素、工业用水经验模型、居民用水消费需求的经济理论以及需求弹性系数的经验估计；第 3 章主要论述了城市用水预测的理论与原理；第 4 章详细介绍城市预测模型及应用，并介绍了需水量分析软件 IWRAPS ©；第 5 章、第 6 章主要解释水价及其结构，水价的形成与功能；第 7 章主要以菲尼克斯市为例，论述了水价结构选择所需考虑的因素；第 8 章通过对给水和排水服务的收入和支出变化趋势的分析，研究需求管理的内涵；第 9 章主要讨论水需求管理和规划；第 10 章主要描述需求管理规划的评估方法；第 11 章、第 12 章通过实例，论述了综合水需求管理规划的制定过程。

本书内容全面、系统、新颖，对于解决我国城市水管理问题，提高我国的综合水资源管理水平具有很高的参考和借鉴价值。本书可作为大专院校给水排水工程、水务工程、环境工程和市政工程专业师生的教材和教学参考书，可供城市水务管理部门、城市规划建设管理部门、城市节水管理部门、城市供水和城市排水管理部门及其所属企业相关专业的科研及工程技术人员参考。



# 目 录

<b>1 城市用水管理的状况</b> .....	1
1.1 城市水工业 .....	1
1.2 城市用水的发展 .....	2
1.3 城市水工业的经济价值 .....	3
1.4 供水变革的历史重要性 .....	4
1.5 节水在 20 世纪 80 年代重新受到关注 .....	5
1.6 什么是节约 .....	6
1.7 节约效率的测评 .....	10
1.8 供需方案的整合 .....	11
1.9 本书的编写目的 .....	13
1.10 用水管理的神话 .....	13
参考文献 .....	17
<b>2 城市用水的决定因素</b> .....	19
2.1 工业用水 .....	20
2.2 居民用水 .....	32
参考文献 .....	43
<b>3 城市用水预测的理论与原理</b> .....	47
3.1 用水预测的必要性 .....	47
3.2 选择预测方法的标准 .....	49
3.3 用水预测方法的评价 .....	51
3.4 预测中的不确定性 .....	54
3.5 考虑不确定性时的预测 .....	56
参考文献 .....	57
<b>4 城市预测模型及应用</b> .....	58
4.1 需水量分析软件 .....	58
4.2 军事设施水资源分析和计划系统的水需求模型 (IWRAPS ©) .....	66
参考文献 .....	81
<b>5 价格及费率结构</b> .....	83
5.1 水的费率结构组成 .....	83
5.2 水费率设计标准 .....	84
5.3 供水成本及其组成 .....	86
5.4 边际成本定价 .....	89
参考文献 .....	106
<b>6 水价的形式与功能概述</b> .....	108
6.1 什么是水价 .....	108
6.2 受水价影响的决策的类型 .....	108

6.3	水价的作用 .....	109
6.4	水价与水质 .....	110
6.5	水价和供水可靠性 .....	111
6.6	结论 .....	111
	参考文献 .....	112
<b>7</b>	<b>菲尼克斯市水价从阶梯价格到统一价格的转变 .....</b>	<b>113</b>
7.1	菲尼克斯市水系统资料 .....	113
7.2	改变用水水价结构的缘由 .....	114
7.3	以前的水价结构 .....	114
7.4	可选的水价结构的研究 .....	115
7.5	现行水价结构 .....	117
7.6	现行水价结构对用水群体和被选用户的影响 .....	118
7.7	现行水价结构的效益小结 .....	119
7.8	再次改变水价结构的尝试 .....	119
7.9	对现行水价结构的思考 .....	119
7.10	水服务部的关注和建议 .....	121
7.11	水价结构的选择 .....	122
7.12	关于水价目标选项的讨论 .....	123
7.13	对用水账单的影响 .....	125
7.14	委员会建议的水价结构的综合分析 .....	128
7.15	对建议的水价结构的反映 .....	128
7.16	结论 .....	129
	参考文献 .....	129
<b>8</b>	<b>给水和排水服务的收入和支出趋势：需求管理的内涵 .....</b>	<b>130</b>
8.1	支出的种类 .....	130
8.2	自酬经费供水公司中的收支关系 .....	136
8.3	趋势的讨论 .....	137
8.4	总结 .....	138
	参考文献 .....	139
<b>9</b>	<b>需求管理规划的方法 .....</b>	<b>140</b>
9.1	确定计划目标 .....	140
9.2	确定实用性和可行性 .....	141
9.3	确定社会可接受性 .....	143
9.4	评估节约用水的潜力 .....	147
9.5	确定实施条件 .....	152
9.6	计划实施的效益-成本分析 .....	154
9.7	将节水纳入供水计划 .....	161
	参考文献 .....	165
<b>10</b>	<b>需求管理计划的评估方法 .....</b>	<b>166</b>
10.1	计划评估的作用 .....	166
10.2	过程评估数据的收集 .....	168

10.3	评估样本的选择 .....	169
10.4	计划评估研究的设计 .....	170
10.5	评估研究的有效性 .....	170
10.6	计划影响的衡量 .....	171
10.7	衡量计划影响的数据和方法 .....	171
10.8	衡量节水量的不确定性 .....	174
10.9	节水估计的标准化 .....	175
	参考文献 .....	176
<b>11</b>	<b>综合供水与水需求管理 .....</b>	<b>177</b>
11.1	综合资源规划 .....	177
11.2	IRP 过程 .....	180
11.3	供水综合规划的案例 .....	181
11.4	结论 .....	188
	参考文献 .....	189
<b>12</b>	<b>综合资源规划方法在城市干旱方面的应用 .....</b>	<b>191</b>
12.1	干旱和水管理 .....	191
12.2	长期干旱预防 .....	191
12.3	干旱规划框架: DROPS .....	193
12.4	菲尼克斯, 亚利桑那州的实例 .....	195
12.5	总结 .....	198
	参考文献 .....	198

# 1 城市用水管理的状况

杜安·戴维·鲍曼

(Duane D. Baumann)

南伊利诺斯州大学卡本代尔分校

(Southern Illinois University at Carbondale)

约翰·J·波朗特

(John J. Boland)

约翰霍普金斯大学

(John Hopkins University)

## 1.1 城市水工业

丰富的水将地球与其他我们熟悉的星球区别开来。地球上，水真是无处不在。地球表面70%以上被水所覆盖。大部分水(97.3%)是海水，剩余绝大多数的水处于冰冻状态(2.14%)，除此之外的一部分水的数量也很可观(8556.25km<sup>3</sup>)。尽管如此管理如此丰富且易得的资源依然是一个挑战，但这确实很值得我们去思考。

50年前，贝克(M. N. Baker)出版了著作《净水探索》(The Quest for Pure Water)。在此书的结尾部分，他针对这个问题提出了一些设想。

在人类社会早期，水被视为生活必需品。水有可能是纯净丰富的，充足而不混浊的，或水质好但稀少。为了得到更多更好的水，人们并不是把质量好的水输送到他们自己的居住地或者改善现有水质，而是直接搬到水质较好的水源地去居住。(Baker, 1948, p. 465)

换句话说，在那时，水只能直接获得而不能间接制造。从较好的水源直接获得水，对于原始狩猎族和游牧的牧民来说是可能的，但对早期城市里定居的商人和工匠而言就变得很难了。他们被迫使用附近的任何水。如果水量缺乏，城市和文明就会衰退；如果水量充足但不卫生，人们就会生病。人口总数和用水需求之间这种固定关系就导致了“用水管理”的需要。用水管理方面的最早尝试(贝克认为开始于大约4000年前)，开始于直到40个世纪以后仍在继续的“对干净水的寻找”。

在前39个世纪中，这方面探索的进展是断断续续、极不连贯的，显然是依靠经验和运气。在贝克的文章的前言中，阿拜尔·沃曼(Abel Wolman)认为用水管理发展的这部分“是一段艺术的而非科学的历史”(Baker, 1948, p. viii)。事实上，在100年以前，科学和理性的分析才刚刚出现。

科学与技术有着明显的区别。相对于较早的几个世纪，科学与技术的发展是突飞猛进的。我们把疾病归因于恶臭的气味，现在的水质标准也包含了许多的物理、化学和微生物方面的指标。我们不但能查明这些物质的存在，而且在大多数情况下能去除和惰化那些有害的物质。技术的发展使得在时间和空间上进行调水变得非常容易。我们开始反思人类用水对生态环境影响的历程，虽然这一历程可能在其他方面对人类有益。但有一些道理还是

难以理解：如果没有认真地收集、处理和净化废水，水就不能被安全有效地管理。

在解释用水能力的稳定提高的过程中，产生了更好的预测用水的工具和多种影响用水的方式。当用水管理的研究有了科学的基础，并掌握了对相关技术的应用之后，也就超越了早期仅仅研究供水的倾向，而是包含了供水与需水的各个方面，包括技术、习俗、法律、规章制度、激励体制和融资策略等。

## 1.2 城市用水的发展

在 19 世纪前半叶，对城市而言，通过管道连接向许多建筑物提供复杂的供水服务，是不常见的。一般每户居民都必须有简易厕所和处理生活污水的化粪池。相对于现在流行的生活方式，那时的用水活动非常少。在文献中很少有这个世纪城市用水方式的描述。但是当城市系统为满足人口增长的需要而开始扩展时，用水量就有了大幅度的增加。表 1-1 从不同的资料收集的一些数据证明了这种趋势，这些数据也表明那些已调查和正在调查的城市之间的用水量也存在着很大的差异。

表 1-1 城市用水观测

年份	城市	GPCD	年份	城市	GPCD
97	罗马	38	1913	欧洲	
1550	巴黎	0.25		维也纳	14
1885	费城	72		伦敦	40
1890	巴黎	65		巴黎	98
1895	费城	162	1940	美国观测平均量	127
	巴尔的摩	95	1954	美国观测平均量	140
1990	全国平均水平	90	1965	美国观测平均量	156
	典型城市	100	1970	美国观测平均量	189
	主要工业城市	159	1981	美国观测(样本数为 137)	493
1913	美国			最高量	176
	达拉斯	56		平均量	86
	纽约	129		最低量	
	芝加哥	275	1989~1992	美国观测平均量	180

注：1. 资料来源：Frontinus, 1899; Sewerage commission, 1897; Babbitt and Doland, 1929; AWWA (美国自来水厂协会) (未表明日期); 美国自来水厂协会, 1981; 美国自来水厂协会, 1992。

2. GPCD 表示 gal/(人·d), 1gal=3.7841dm<sup>3</sup>。

据 1899 年克莱门斯·赫赛尔 (Clemens Herschel) 在 Frontinus 发表的数据计算，罗马帝国的用水非常惊人，这反映出用水量和建筑物很少有直接联系，但却和公共喷泉和浴室的用水有确定的关系。换言之，在 16 世纪的巴黎很少有这些公共设施。19 世纪末的评估，显示出城市用水量在密度和数量上的快速增长的影响。一些城市，比如 1913 年的芝加哥，表现出了很高的人均用水量。值得注意的是，芝加哥的供水在当时并没有使用水表计量。

如表 1-1 所示，在 1940 年以前，美国平均人均用水量是由美国自来水厂协会 (American Water Works Association, AWWA) 负责定期调查的。对数据的初步分析显示，用水量在一个快速的正增长之后，从 1970 年以后进入了一个稳定和下降期。但事实上，这方面的例证很少。这些数据表明：①由于调查的自发性和局限性导致了取样的误差；②人们从气候湿润的（低用水量）东北部到半干旱的（高用水量）西南部这一重要的人口迁移，对全国平均用水量的影响。过去的五十多年里，城市的用水量已经没有明显的时间趋势了。不同时间和不同地点的观测值不同，一般被解释为由于价格、收入、气候、房屋类型和其他决定用水

量的因素的差异而引起（详见第2章）。

### 1.3 城市水工业的经济价值

如果不从实际操作的观点，而仅从经济角度来讲，城市水工业的组成为：为满足不同人群的使用而对水进行保护、处理、输送和分配的一些必要活动（即供水）和对产生的废水进行收集、输送、处理的另外一些活动（即废水处理）。虽然这些功能有时被有组织地分开，但在一般情况下它们是不可分割的。除了一些室外用水（例如浇灌草坪和花木用水），其他每一种用水都会产生废水。在工业世界的大部分城市中，给水导致了对废水处理的需求。给水的成本和废水处理的成本之和构成了用水成本。

在美国，由公共部门和个人组织来共同负责供水。两亿多美国人采用公共供水系统，其余七分之一的美国人从个人投资者所有的公用设施获得用水。国有公用事业公司包括市属机构、地方性机构、政府办的公司或州属机构。虽然有极少数个人投资的废水处理公司，但几乎所有的废水处理公司都是国有的。近年来，全部或部分控股的国有公用事业公司的数量有了很大的增加。有时，公司的所有权也转给了私人经营者。迄今为止，这些私有化的进程还没有对公私合营的供水体系的分裂造成太大影响，这种情况已经稳定存在了许多年。

在考虑城市水工业的经济价值时，有两方面值得注意。其一，是它的绝对条件很多，但在资金密集方面是个例外。

在1993年，美国政府所有的供水设施共获得了208亿美元的净收入（美国人口普查局1996 e报告）。一项对私人投资者所有的供水设施的类似估计显示，其收入为32亿美元（美国人口普查局1996 c报告，这些可得到的最新的数据是前一年的）。供水设施的总收入估计大约为240亿美元。同期政府所有的废水处理设施审核后所得总收入为165亿美元；个人投资者所有的废水处理设施获得的收入为4亿美元；总计为169亿美元（美国人口普查局1996 c和1996 e报告）。

水工业整个行业，在整个美国1993财政年度共获得了大约410亿美元的收入。这只占国民总收入的很小一部分（大约是0.8%），但它几乎与采矿业在1993年的总产值（412亿美元）相等，大约是国民经济中农业、林业和渔业总产值（910亿美元）的一半（美国商业部1996报告）。

同样，在美国1993财政年度，政府所有的供水设施在固定资产方面的投资大约为62亿美元（美国商业部1996报告，p. 53）。据估计，包括私人投资者在内，共向供水设施投资了大约72亿美元。另外政府所有的废水处理系统共得到了103亿美元的投资（美国商业部1996报告，p. 53；Vogan 1996）。据估计水工业共获得了175亿美元的投资，等同于全年审核后总收入的43%。

在美国，再没有别的主要工业部门能如此接近这个年度投资收入比。据报道，另一个资金密集工业组织矿业联盟（All Mineral Industries）（SIC 101-149）在1992年的投资额平均占收入的11%。在这个组织中的大部分资金密集型的单个行业，例如化学药品及肥料采矿业（Chemical and Fertilizer Mining）（SIC 1479），就达到了26%的投资比率（美国人口普查局1996 b报告）。美国制造加工业（SIC 201-399）在1992年的投资额仅占收入的3.4%（美国人口普查局1996 a报告）。水工业以外投资额最高的资金密集型行业是电力服务行业（SIC 491）和通讯行业（SIC 48），其投资额分别为收入的16%和18%（美国人口

普查局 1995, 1996 a, 1996 d 报告)。

水工业的另一个更重要的特征是其主要设施都有很长的使用寿命。不像别的工业行业那样, 投资后设备只能产生 5~10 年的经济使用寿命。供水和废水处理的设施几乎都有很长的使用寿命, 投资的设备预期其使用年限很少有少于 20 年的。一些设备, 例如管道和水泵, 可以使用 50 年、100 年或者更长的时间。

所有这些统计数据都是为了描述水工业, 在这个行业中, 资金投入的使用效率和效果非常重要。水工业是美国经济中惟一一个非常重要的资金密集型行业, 毋庸置疑, 它在其他国家也拥有相似的地位。然而, 美国每年对水行业的投资规模相当大 (1993 年为 175 亿美元, 占全年总收入的 43%), 而该行业错误的投资结果也会延续很长时间 (设备的使用寿命为 20~100 年)。

自从资本投资部分地基于用水预测来执行, 预测的准确度就成为一个非常严肃的经济问题。供水和废水处理的成本回收是同样重要的, 它既决定着消费者对新的主要设备需求的动机, 也决定着金融投资的可获得性。在其他需求方面的管理, 比如长期的储存和短缺时的管理, 作者认为也很重要。一个简单的例子就能证明这一点: 如果按照法规进行强制管理, 则新的管道设备将最终减少相当于五年的用水增长量; 如果 50% 的资本投资是与供水流量相关的, 则从新政策的获益将等于一次性获得大约 440 亿美元的利润 (减少五年投资成本的 50%)。

#### 1.4 供水变革的历史重要性

纵观整个历史, 人口的密度总是和大规模的供水设施密切相关。在中东、中美洲和美国西南部, 长久不熄的人类文明留下了对供水依赖性的证据。在 19 世纪末 20 世纪初, 为确保城市供水的安全性和可饮用性而进行的卫生革命, 仅仅增加了城市文明对水的依赖性。这种依赖性在今日仍然毫不逊色。在美国水和其他资源被广泛而集中地开采利用, 因此这些资源的使用效率越来越受关注。

现在的城市供水计划是一项与以往彻底不同的、极富挑战性的、非常复杂的工作。在过去, 城市供水计划先确定设计的服务人口并估计人均用水量, 然后再简单加上设计的远期用水量。当考虑估计的远期需水量之后, 计划制定者就必须面对鉴别水量丰富性和供水资源 (通常是另外的水库和水井) 可用性的难题。

今日面临的难题绝对不单单是供水不足, 而是各种因素在城市水资源的计划和管理方面的巨大影响和重要作用。因此, 需要研究开发新的规划技术和评估方法。另外, 用水管理的政策和实践也应有相应的改变。早在 1973 年, 美国国家水委员会 (U. S. National Water Commission) 就指出: 为了使成本最小化、提高用水效率、保护并改善水质, 需要对现行的用水政策和规划做重大变革。

1973 年以后, 城市水资源的计划和管理的过程发生了实质性的变化。例如, 美国联邦水资源委员会 (U. S. Federal Water Resources Council) 制定了水和相关土地资源计划的原则和标准; 美国集团军工程师组织 (U. S. Army Corps of Engineers) 贯彻了新的方针, 其计划编制过程为: 多目标计划框架, 项目开发的环境影响分析。

与计划编制过程的变化相伴而生的是观念上的转变, 也就是选择范围有了扩大。对用水需求增加的传统反应是开发新的水源。而其他的可选对策, 比如改变需求, 通常会被忽略。同样地, 增加供水只依赖技术, 而不是修改需求时间表, 在另一个水资源难题——洪水控制

方面就表现得很明显。

制定城市用水计划时，在平衡供给和需求的所有可能的选择范围内确定一个最佳结合点是一个难点。不仅增加供给是一种替代方案，而且考虑用水需求的改变（比如节水）也是有价值的。

## 1.5 节水在 20 世纪 80 年代重新受到关注

城市节水最初引起广泛关注是在 20 世纪 70 年代初。美国国家水委员会进行了一项关于通过节水减少用水量的研究，包括价格政策和可以增加供水的节水措施或者其他因素。一些城市的供水部门开始鼓励消费者节约用水。例如，华盛顿市郊卫生委员会（Washington Suburban Sanitary Commission），1972 年编制了《水储存和废水减少消费者手册》（A Customer Handbook on Water-Saving and Wastewater-Reduction）。人们对节水越来越多的关注，起因于减少用水量可以减少废水量这一事实。1977 年的《净水条例》（The Clean Water Act of 1977）特别要求，采取措施来减少废水量以适应废水处理设施的处理能力。

循环用水和高效率用水有望在计划用水中发挥日益重要的作用，而循环用水已在节约工业用水方面发挥了极其重要的作用。因此，国家对节水的重视已经反映在计划中，高节约用水将在计划用水中发挥日益重要的作用。

然而，在用水计划编制中考虑节水的原则不仅仅是供水和用水计划之间关系；当今另外一些与用水效率和计划紧密相关的因素也必须满足未来用水的要求。全国总体用水的数据缺少相关性。因为城市供水计划是地方性的，在这种情况下，确定供水效率的要素的范围是非常重要的。

用水计划的考虑范围的扩展，包括对需求管理的各种替代方案和其他创新性解决方案的考虑，这些都已经通过用水计划者在现在和将来都必须面对的许多新的挑战而表现出来。

未使用的水资源变得日益稀少，而地下水的下降和污染在将来也会限制对它的使用。

在过去 10 年里，频繁发生的干旱加剧了城市和农村对水资源的争夺。

过去 20 年中，在环境方面对增加用水的关注强调：新水源的开发在政策上是不可行的，而对许多水厂而言，对主要建设项目的资金规划的前景也不乐观。

1974 年颁布的《安全饮用水条例》（The Safe Drink Water Act of 1974）和它最近的修订版本都规定必须对饮用水中大量污染物的日益增加予以严格限制。

这些新的限制考虑的因素促使用水计划者把他们的视角从传统的水资源开发计划扩展开来。越来越多的供水替代方式被探索和评估，包括以下几点。

① 现有供水的高效利用，比如采用水泵提升存储，减少从蓄水池取水的沿程水头损失，抑制蒸发和为抗洪而对库存水进行再分配。

② 净化污染源以保护现有的供水，建设屏障以防止海水侵蚀，开发新技术以大规模地处理被污染的含水层。

③ 开发非传统供水水源。使用地下含水层来存储过剩的地表水，或者通过地下水和地表水的联合使用，淡化海水或盐渍的地下水使其达到饮用水标准，还有中水回用，例如，修建双重管道配水系统。

④ 现有的水市场和区域性用水管理以及新水源水质可以改善不同地域间的用水分配。

⑤ 用水需求管理替代方案的使用，体现出供水计划中的一个重要的变化：需水量减少计划允许一些机构去平衡未来供给和需求的成本，使其低于开发新水源在经济、社会和环境



方面的成本。

这些在自然、社会和经济环境方面的动态变化必然引起新的、急需解决的问题。要解决这些问题，就必须开发新的评估方法。确切地讲，这些问题是以下几点。

① 什么是节水，也就是说，我们怎么定义水的需求管理？

② 有效节约的效力或者需求管理的方式是什么？

③ 在市政和工业供水中节水方式的评价原则是什么？也就是说，如何将供需最优结合的可选方案明确地表述在城市水资源计划中。

## 1.6 什么是节约<sup>①</sup>

对大多数人而言，节约用水是一个高尚而值得赞美的目标，但是在明确表述和执行节水政策时，就会遇到一个难题：节约到底是什么？

很明显，对上述问题的回答是必要的，节水需要一个明确无误的定义，在政府机构开始制定政策之前，为了满足这方面的要求，美国水资源委员会详细阐述了节水的概念。

完全包含了各种节约因素的水资源计划应建立在对水资源管理策略的各种选择方案（包括结构性和非结构性措施）的系统评估基础之上。规划、设计和政策的各种备选方案，被单独或组合后所得的基本类型有以下几种。

① 减少用水量，或者为特定的目的而改变现行以及将来的用水时间模式，以使供水可以满足不同的需求。

② 改变现行水资源开发的管理模式以提高额外用水的可靠性。

③ 增加对径流和管渠流量的管理以改变其在地点、时间和水量上的分布。

类似地，在美国内政部（the U. S. Department of Interior）1978年的一篇报告《节水概念研究》（Water Conservation Opportunities Study）中，节水被定义为“……聪明公平地使用可用供水”。同样模棱两可的关于节水的含义也出现在水资源专门委员会（ad hoc Committee on Water Resources, Commission on Natural Resources of the National Academy of Sciences）的一篇报告中，并占了大量篇幅。然而对美国水资源和技术办公室（the U. S. Office of Water Resources and Technology）而言这篇报告的目的仅仅是“对制定一个节水研究计划提供指导和帮助”，而仍旧没有给出节约的一个明确的定义。事实上，它们的报告中仍旧没有对节水与全面高效的供水管理进行区别。

该委员会指出：节水包括对水资源进行更好、更高效地利用。但是节水的目的应该被扩展到包括供水的优化管理——准确的水文预测、地下水的高效使用、更具灵活性的设备（例如系统互联和储备水量的调配）——是否也等同于减少需求？问题仍旧是在节水计划的目的与高效的供水计划和管理之间到底有何区别。

总的来说，这些定义（正如节水定义的历史传统一样）都遗留了我们所期望解决的一些问题；虽然它们受到广泛的尊重，但却缺少准确性。其结果是重则引起对立，轻则引起混乱。为此，节水的概念可以定义为：一方面是减少用水量，另一方面是开发新的水源，还有就是缩减某些用途的用水量。对经济学家来说，效率是一层含义，而对农艺学家而言，则又

---

① 节水的定义这部分最初是水资源学会 1979 年 4 月出版的，美国军方工程师编写的《节约在供水计划编制中的作用》；Daumann, Duane D, Boland, John J 和 Sims John 写的“节水：定义之争”，水资源研究，20（1984 年 4 月），428~434。