

需水管理

Water Demand Management

〔英〕大卫·巴特勒 法耶兹·阿里·麦蒙 著
王建华 王明娜 徐文新 肖玉泉 等译



科学出版社

需水管理

Water Demand Management

〔英〕大卫·巴特勒 法耶兹·阿里·麦蒙 著
王建华 王明娜 徐文新 肖玉泉 等译

科学出版社
北京

图字：01-2010-0658

内 容 简 介

20 世纪 60 年代以来，人口爆炸式增长和社会发展致使人类社会对水资源的需求急剧增加，造成全球性的“水资源危机”。世界大部分地区，特别是干旱地区，水的供应正面临严重压力。为缓解缺水危机，必须实行需水管理，通过有效控制耗水量来延缓或减少新的水源开发。本书以英国为例，从社会、技术和法律层面全面讲解需水管理中涉及的主要问题，并推而广之，介绍了发展中国家面临的主要水问题及解决之道。

本书既可作为水资源规划和水资源管理相关的科研工作者、工程技术人员、管理人员工作中的参考书，也可作为高等学校相关专业研究生的教材。

© IWA Publishing 2006

This translation of Water Demand Management is published by arrangement with IWA Publishing of Alliance House, 12 Caxton Street, London, SW1H0QS, UK, www.iwapublishing.com

图书在版编目(CIP)数据

需水管理 / (英) 巴特勒 (Butler, D.), (英) 麦蒙 (Memon, F. A.) 著; 王建华等译. —北京: 科学出版社, 2011

Water Demand Management

ISBN 978-7-03-029622-1

I. 需… II. ①巴… ②麦… ③王… III. 需水量 - 水资源管理 - 研究 - 世界 IV. TU991.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 225103 号

责任编辑: 李 敏 王 倩 / 责任校对: 刘小梅

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏志印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2011 年 1 月第一次印刷 印张: 18 1/4 插页: 2

印数: 1—1 500 字数: 350 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

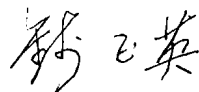
中译本序

近年来，在承担中国工程院有关我国水资源的咨询工作中，逐步认识到：我国正面临水环境退化的危机。不少地方由于水质污染和水资源过度开发，造成水质恶化、地下水位下降、河湖干涸、湿地消失。这种水环境退化的趋势如果不及及时扭转，将威胁到我国水资源的可持续利用。因此提出：水利工作必须转变发展方式，从以开发水资源为重点转变为以管理水资源为重点，进入一个加强水资源管理、全面建设节水防污型社会的新时期。要以提高用水效率和效益、保护水环境为目标，从传统的以供水管理为主转向以需水管理为基础，将水利工作提升到一个新的水平。但长期以来，我国水科学技术主要面向防洪减灾和水资源的开发利用，有关需水管理的知识体系尚未建立，亟须在研究国内外有关经验的基础上，逐步建立和发展。

20世纪80年代以来，国外就开始注重通过需水管理来解决水资源的供需平衡，一些发达国家深入开展了需水管理的实践探索。本书介绍了英国在雨水利用、中水回用、用水器具节水、降低管网漏损，以及节水法规、公众参与等方面的知识和做法，不仅在微观用水效率最大化和减少损耗量等方面提供了有益的经验，而且在政策制度和经济分析等方面进行了深入探讨。本书包括学术界、公共管理部门、行业网络等在内的多主体视角的编写方式，也拓展了受众的范围。

借鉴国际先进经验是知识创新的重要途径之一。我相信，本书的翻译出版，对于我国需水管理知识体系的构建和需水管理的实践，都将发挥积极的作用。

特为之序。



2010年12月27日

译者的话

随着经济社会的不断发展，有限的水资源可利用量与不断增长的用水需求之间的矛盾日益突出，缺水地区尤为明显。水资源供给与需求的矛盾在发达国家和发展中国家普遍存在，针对这一问题有两种典型的解决途径：一是针对“供水端”，即通过开源来满足用水需求；二是针对“需水端”，即通过有效控制耗水量来延缓或者减少新的水源开发。为了最大限度地减轻新建工程带来的影响（如新建水库或者实施区域内调水方案），社会组织、行政机构和政府部门都承担着很大的压力，因此需水管理的重点应该放在对现存水资源量的最大程度利用上。

本书从社会、技术和法律层面，以专业、批判性的视角对需水管理进行了文献综述，旨在为读者提供一个全面、概括性的印象，本书讲解的深度和覆盖的广度在此领域研究中是独一无二的。鉴于中国水资源分布时空不均匀性，北方地区缺水和南方地区水资源污染严重的现状，国家提出新时期治水新思路，其中在水资源管理方面要实现从供水管理向需水管理转变，通过建设节水型社会实现水资源可持续利用。基于这一背景和实践需求，我们着手翻译本书，就是为了学习国际上在需水管理方面的先进经验，推进中国需水管理的实践进程。

为此，在国家自然科学基金重点项目“社会水循环系统演化机制与过程模拟研究”（项目编号：40830637）、国家自然科学基金创新群体项目“流域水循环模拟与调控”、水利部重点项目“从供水管理向需水管理转变及其对策研究”以及“十一五”国家科技支撑计划重大课题“南水北调水资源综合配置关键技术研究”（项目编号：2006BAB04A16）的支持下，我们开展了社会水循环和需水管理方面的研究。本书作为项目研究的重要基础性工作，对英国变化环境下水资源的合理利用和节水情况做了全面阐述，同时对发展中国家需水管理中存在的问题做了深入剖析。全书共分13章。第1章：用水趋势和需水预测技术，简要介绍家庭用水模式、用水趋势变化的驱动因素及当前使用的需水预测方法，由王建华、徐卫红、刘永攀译；第2章：雨水集蓄系统的技术、设计与应用，讲解小规模雨水集蓄系统的技术、设计与应用，主要介绍居民收集并利用自家屋顶的雨水，由王明娜、张俊娥、肖玉泉译；第3章：了解生活灰水处理，介绍了中水处

理技术、中水的特征及其风险评估,由肖玉泉、吕彩霞、刘永攀译;第4章:节水产品,总结了当前的主要节水产品,如洗衣机和冲水马桶的设计和发展及管网优化技术,由王建华、彭辉、刘永攀译;第5章:节水和排水系统,从经济、环境和社会三个方面介绍了水资源的高效利用,由李玮、秦韬译;第6章:水系统的生命周期与回弹效应简介,介绍生命周期及回弹效应的概念,以及其在节水产品和供水系统中的应用,由王建华、贺华翔、徐文新译;第7章:配水管网中的水损失管理策略研究,探讨了跑漏水的形成原因及主要处理对策,由张诚、王明娜、刘永攀译;第8章:发展中国家的需求管理,以南非、亚洲的一些国家为例,对发展中国家的供水现状、存在主要问题、需水管理的重要性做了阐述,并从制度建设和公众意识的提高等方面提出成功实施需水管理的解决之道,由徐文新、朱启林和陈强译;第9章:英国节水和再生水利用的驱动力和障碍,从政府机构、地方部门、水务公司、咨询顾问、开发商、教育研究界、制造业、用水户的不同角度提出了节水和再生水利用的驱动力和主要阻碍,由赢东、王明娜译;第10章:需水管理经济学分析,通过经济学的评估方法,对需水管理的措施和项目的成本效益进行定量的鉴定和评估,由肖玉泉、桑学锋和苟思译;第11章:英格兰与威尔士高效用法律法规,回顾了强有力的监管体制在水务私有化的过程中是怎样保障公众利益不受损害的,并探讨了法律法规如何作用于供水链的各个环节,由葛怀凤、王明娜和王建华译;第12章:消费者对节水政策的反应,从英国用水现状入手,介绍了一些与节水政策制定相关的新理论及人们对用水政策的反应,主要对象为家庭生活用水,由郭迎新、徐文新和王建华译;第13章:需水管理的决策支持工具,讨论节水和需水管理相关领域的决策支持软件工具,由丁冉、王明娜和徐文新译。全书由王建华、王明娜、徐文新、肖玉泉统稿并校核。

当然,水的问题十分复杂,水资源科学管理是一个不断发展、不断完善的过程。希望本书的出版对提高中国水资源科学管理、加强节约用水、缓解供用水矛盾能够起到借鉴和参考作用。由于译者水平有限,书中不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

译者
2010年10月

序

全球城市需水的共同特征是用水需求的无情增长性，及未来几十年中可预见的持续增加趋势。其主要影响因素是人口增长、人口向城市迁移、生活方式改变、人口结构变化和气候变化。气候变化的具体影响尚不清楚，而且它受城市所处地理位置的制约，但它必将增加供水安全的不确定性。由于混合了社会经济的快速发展、城市化蔓延和一些地区生活水平的提高等因素，水问题更为复杂。

不言而喻，以现有的水资源量满足日益增长的用水需求是一场艰苦卓绝的斗争，这在用水紧张地区或缺水地区尤为突出。在水资源问题上，发达国家与发展中国家是平等的。通常有两种典型应对措施：在“供水端”，通过开发新的资源来满足日益增长的需求；或在“需水端”，通过控制消耗性需求来延缓或避免开发新的资源。来自社会公众、监管机构和一些政府部门的压力都要求尽量减少新的供水工程（如新建水库、区域间调水等）带来的影响，这表明我们应将重点转移到需水管理上来，最大限度地利用好现有的水资源量。

英国在解决未来用水需求方面做出了巨大的努力，需水管理已成为政府可持续发展政策的一个重要组成部分，该项工作的重心是控制跑漏水和实现用水效率最大化。开发、研究和实施一种环境可持续的、技术可行的、经济能承受的、社会可接受的解决用水方法从未如此迫切过。

本书由来自于学术界、政府部门和行业网络共同组成的节水小组编写。英国工程物理科学和工程研究理事会为本小组和相关小组的工作由提供了为期三年的资助，宗旨是为了促进重要产业部门间的合作与技术交流。

本书是该项目的系列成果之一，其他成果还包括六次国内工作讨论，一次国际会议和一个网站。具体可参见：<http://www.watersave.uk.net>

本书的中心思想是通过专家审核过的文献综述方式，来构造一幅完整的需水管理画面，涵盖技术、社会和法律层面。我们相信，本书的广度和深度在相关研究领域是独一无二的。

最后，完成这样一书中任何一章都是一项艰苦的工作，我们要感谢作者团队的不懈努力。通读全书，你会发现不同的风格、内容和方法。本书作为一个整

体，不仅仅是各个章节的简单拼凑。事实上，这种多样性也反映了在 21 世纪，要安全明智地解决水问题，其途径是多种多样的。

大卫·巴特勒

法耶兹·阿里·麦蒙

目 录

中译本序

译者的话

序

1 用水趋势和需水预测技术	1
1.1 绪论	1
1.2 大方向	1
1.3 人均用水量	3
1.4 影响用水的因素	4
1.5 用水量微观成分	6
1.6 用水趋势和节水潜力	8
1.7 需求预测技术	10
1.8 结论	19
1.9 致谢	19
1.10 参考文献	19
2 雨水集蓄系统的技术、设计与应用	22
2.1 概述	22
2.2 雨水集蓄系统的背景与应用	22
2.3 雨水集蓄系统的种类与组成	27
2.4 雨水集蓄系统的集水能力	32
2.5 雨水水质	39
2.6 讨论	43
2.7 参考文献	45
3 了解生活灰水处理	50
3.1 概述	50
3.2 困惑与争论	54
3.3 生活灰水特征	56
3.4 标准的失误	61

3.5	风险评估	62
3.6	结论	64
3.7	参考文献	64
4	节水产品	66
4.1	前言	66
4.2	节水产品的分析框架	66
4.3	可行的技术；分类分析	70
4.4	效率与回用、集雨的对比	82
4.5	结论	86
4.6	参考文献	86
5	节水和排水系统	87
5.1	引言	87
5.2	污水管中的水流和污染负荷	90
5.3	对城市排水系统的压力	97
5.4	节水措施对于排水系统干支管以及污水处理厂的潜在影响	98
5.5	结论	102
5.6	参考文献	103
6	水系统的生命周期与回弹效应简介	105
6.1	概述	105
6.2	生命周期思维	105
6.3	生命周期评价与水系统	107
6.4	回弹效应	109
6.5	结论	110
6.6	参考文献	111
7	配水管网中的水损失管理策略研究	113
7.1	概述	113
7.2	了解整个系统网络	114
7.3	处理真实水损（跑漏水）	117
7.4	渗漏管理	128
7.5	技术和设备	139
7.6	结论	141
7.7	参考文献	143

8 发展中国家的需求管理	144
8.1 引言	144
8.2 需求管理	147
8.3 间歇供水	149
8.4 水损失	152
8.5 水费、水价与水计量	157
8.6 节水器具改造	161
8.7 污水回用	162
8.8 机构能力	163
8.9 公众意识	164
8.10 发展中国家的需求管理项目	165
8.11 结论	167
8.12 参考文献	167
9 英国节水和再生水利用的驱动力和障碍	171
9.1 引言	171
9.2 三个主要驱动力	172
9.3 节水与再生水利用措施	175
9.4 政府和监管机构的驱动力与障碍	176
9.5 地方主管部门	178
9.6 水务公司	179
9.7 私营咨询公司	180
9.8 建筑师、开发商与规划者	181
9.9 教育与研究界	182
9.10 制造业	183
9.11 用水户	184
9.12 结语	186
9.13 参考文献	186
10 需水管理经济学分析	188
10.1 概况	188
10.2 经济学评估	190
10.3 实际应用	203
10.4 结论及建议	218
10.5 参考文献	220

11 英格兰与威尔士高效用水法律法规	225
11.1 概述	225
11.2 取用水	226
11.3 公共供水组分	230
11.4 新近立法	236
11.5 结论和展望	238
11.6 讨论	240
11.7 结论	243
11.8 参考文献	244
12 消费者对节水政策的反应	245
12.1 引言	245
12.2 节水之态度与反应	248
12.3 污水回用之态度与反应	253
12.4 需求管理之外	256
12.5 总结：关于能力建设的一些评论	259
12.6 参考文献	261
13 需水管理的决策支持工具	266
13.1 引言	266
13.2 决策支持系统	266
13.3 需水预测工具	268
13.4 需水削减策略实施支持工具	271
13.5 系统层次需水管理支持工具	274
13.6 谈判工具	276
13.7 总结及未来发展趋势	277
13.8 参考文献	279

1 用水趋势和需水预测技术

Fayyaz Ali Memon David Butler

1.1 绪论

本章介绍了家庭用水模式、用水趋势变化的驱动因素以及当前使用的需水预测方法。本章大部分内容是基于英国的研究工作，但是也引用了其他国家的研究成果，以便更加全面地分析有关情况，对比用水趋势的相似与不同之处。

1.2 大方向

如果当前的用水趋势保持不变，那么淡水资源可利用量能否满足未来的用水需求？这是一个非常重要的问题，但是不容易回答。因为回答之前需要对一些复杂因素的影响做出彻底评价，包括人口增长速度、新兴社会经济发展趋势以及气候变化的范围等。全世界生活用水的需求总量大约是 $200\text{km}^3/\text{a}$ ，约占平均径流总量的 0.5% (Stephenson, 2003)。理论上，淡水资源总量能够满足现在及将来的生活用水需求，但是时空分布不均性及用户承受能力的地区差异等问题，导致世界上许多地方淡水资源供需不平衡的缺口越来越大。

联合国 (1997) 依据相对需水量 (relative water demand, RWD) (即用水总量与水资源可利用总量的比值) 对水资源胁迫做了等级划分，如表 1.1 所示。Vörösmarty 等 (2000) 将一个水量平衡模型与两个全球气候环流模式 (CGCM1 和 HadCM2) 结合起来，在预测人口增长及气候变化对需水的影响及评估世界不同区域的水资源胁迫水平方面做出了尝试。表 1.2 列出了各大洲 1985 年水资源胁迫的观测值和 2025 年水资源胁迫的预测值。

表 1.1 依据相对需水量 (RWD) 衡量的水资源胁迫

水资源胁迫等级	RWD
低	< 0.1
中等	0.1 ~ 0.2
中高	0.2 ~ 0.4
高	> 0.4

表 1.2 1985 年水资源胁迫的观测值和 2025 年水资源胁迫的预测值 (Vörösmarty et al., 2000)

区域	人口/10 ² 万人		水资源可利用量 / (km ³ /a)		水资源 胁迫 (1985 年)	2025 年相对于 1985 年水资源 胁迫的变化百分比/%		
	1985 年	2025 年	1985 年	2025 年		气候	人口	两者结合
非洲	543	1 440	4 520	4 100	0.032	10	73	92
亚洲	2 930	4 800	13 700	13 300	0.129	2.3	60	66
澳洲	22	33	714	692	0.025	2.0	30	44
欧洲	667	682	2 770	2 790	0.154	-1.9	30	31
北美洲	395	601	5 890	5 870	0.105	-4.4	23	28
南美洲	267	454	11 700	10 400	0.009	12	93	121
全球	4 830	8 010	39 300	37 100	0.078	4.0	50	61

结果显示,所有区域的水资源相对胁迫都有大幅增加,其中人口增长的影响大于气候变化的影响。利用表 1.1 水资源胁迫的等级标准对 2025 年的预测值做等级评价,看起来形势非常好。然而,这种全球尺度的调查评价掩盖了局部地区缺水 and 干旱的情况,当把范围限制在较小尺度(国家或区域)内做调查评价时,这些问题就都暴露出来了。例如,在 1993~1994 年(50 年一遇干旱年),英格兰和威尔士大约一半区域(环境署管辖范围内)的用水量占水资源可利用量的 80% 以上,其中一个区域用水占到 90% 以上(DoE, 1996)。气候的显著变化可能会影响水资源储量补给的可靠性,从而使上述问题更加恶化(Mitchell, 1999)。有资料表明,降水的时间分布也将改变,带来更潮湿的冬季和更干旱的夏季(Wigley and Jones, 1987)。因此,即使是多年平均年降水量“正常”的区域,也不能保证有充足的水可以供应。英国 1995 年发生的干旱引起了严重的问题,为了满足该年的供水需求,增加了大约 4700 万英镑的额外支出。对于整个英国来说,自 1989 年发布干旱指令(法律上对非基本用水的强制性约束)以来,1997 年已经是第 7 个年头了(Mitchell, 1999)。因此,更好地认识用水趋势并开展适当的和有计划的需水管理研究是非常必要的。

在英国,主要的用水类型有 4 种:生活用水(公用供水)、发电用水、工业用水和农业用水。图 1.1 显示了 1971~1991 年,每年用于这 4 种用水类型的抽引水总量(英格兰和威尔士地区)。从图 1.1 可以看出,这些年来,公用供水有大幅度增长,工业和发电用水逐渐减少,农业用水呈少量增长。虽然公共供水增加了,但是 1991 年的抽引水总量与 1971 年的基数相比减少了 16%。上述 4 种用水类型中,本章只讨论与生活供给有关的用水。

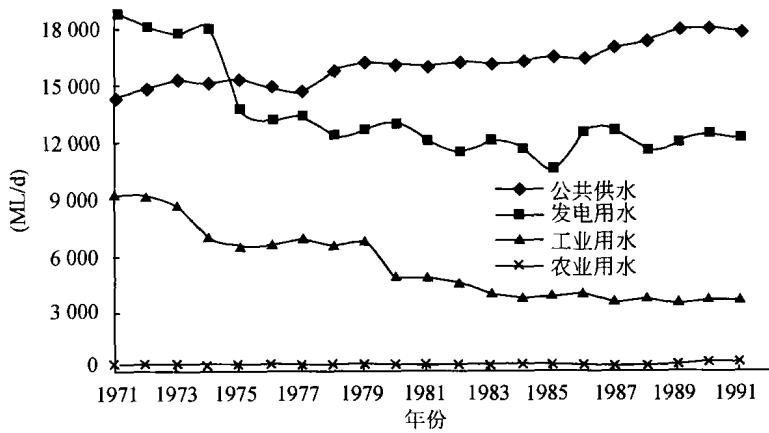


图 1.1 英格兰和威尔士地区获得许可的非感潮水体抽水量 (Herrington, 1996)

1.3 人均用水量

为家庭供水的首要目的是满足居民的基本用水需求。Gleick (1996) 提出了为满足人类基本需求的 4 项需求, 最小用水量是 $50\text{L}/(\text{人}\cdot\text{d})$, 这 4 种需求为生存饮用水、个人卫生用水、卫生设施用水和适度的家庭烹饪用水。不幸的是, 全球有超过 50 个独立国家不能满足这些基本的生活用水需求。这些国家中大约 70% 只能提供低于 $30\text{L}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 的生活用水, 包括尼日利亚这种石油高产国。不同国家的人均生活用水量各不相同, 主要依赖于经济状况、传统的卫生习惯、淡水资源可利用量以及提高用水效率的政治意愿。图 1.2 显示了多个国家的人均生活用水量。处于上端的是美国, 人均生活用水量高于 $300\text{L}/\text{d}$ 。处于下端的国家, 如冈比亚和尼日利亚, 人均生活用水量只有 $4\sim 30\text{L}/\text{d}$ 。

不同国家用水之间的用水变化趋势是不同的, 这依赖于气候、资源可利用量、科技进步、水价结构、鼓励措施以及立法规定等因素。例如, 对经济合作与发展组织 (OECD) 成员国的 27 年人均用水量数据做分析, 结果表明, 自从 1990 年以来, 日本的人均用水量相当稳定; 英格兰、威尔士和韩国的人均用水量持续增加; 而德国人均用水量则处于下降状态 (Herrington, 1999)。

在英国, 人均用水量大约是 $150\text{L}/\text{d}$, 并且一直在增加, 但是平均值掩盖了个体之间的巨大差异。如图 1.3 所示, 对数正态分布图曲线尾部伸展很长, 反映了样本人群中有一小部分人群的用水量很高。

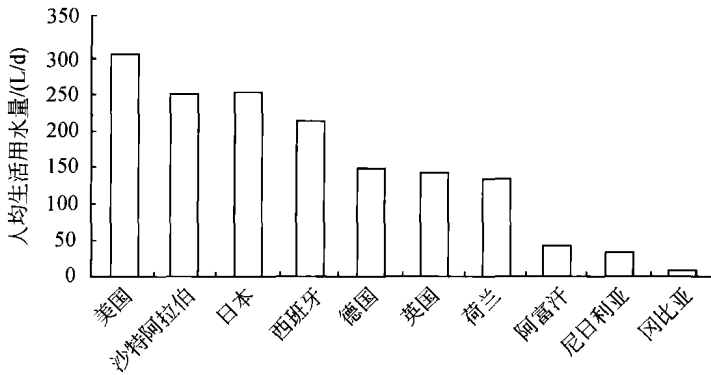


图 1.2 部分国家的人均生活用水量

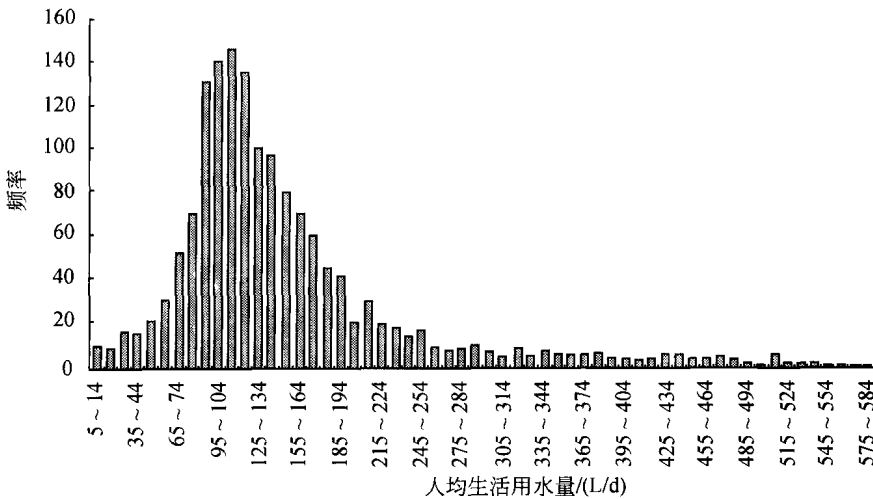


图 1.3 英国人均用水量的典型频率分布图 (Edwards and Martin, 1995)

1.4 影响用水的因素

不同家庭的生活用水需求有很大差异，这依赖于社会经济因素和家庭特征。对这些因素的影响进行调查研究，结果表明，人均用水量随着家庭人数、物业类型、家庭成员的年龄以及季节的改变而改变。下面对这些研究结果做简要回顾。

家庭居住者数量（即住在该家庭中的人数）对人均用水量有直接影响。虽然家庭成员的增加使得生活用水总量随之增加，但是普遍认为人均用水量是随着

家庭居住者数量的增加而减少的 (Butler, 1991; Edwards and Martin, 1995)。例如, 只有一个人居住的家庭人均用水量与两人居住的家庭相比要高出 40%, 与 4 人居住的家庭相比要高出 73%, 与 5 人或以上人口的家庭相比要高出 2 倍多 (POST, 2000)。图 1.4 显示了这种趋势。从未来需水的角度来看, 家庭居住者数量与人均用水量的关系非常紧密, 因为根据对未来几十年的发达经济背景下家庭数量的预测, 家庭数量的增长主要来自于单人家庭或其他小型住宅。根据英国政府的预测, 1996~2016 年, 英格兰和威尔士将新增 330 万户新家庭, 并且是朝着更少的家庭人数方向发展 (EA, 2001)。

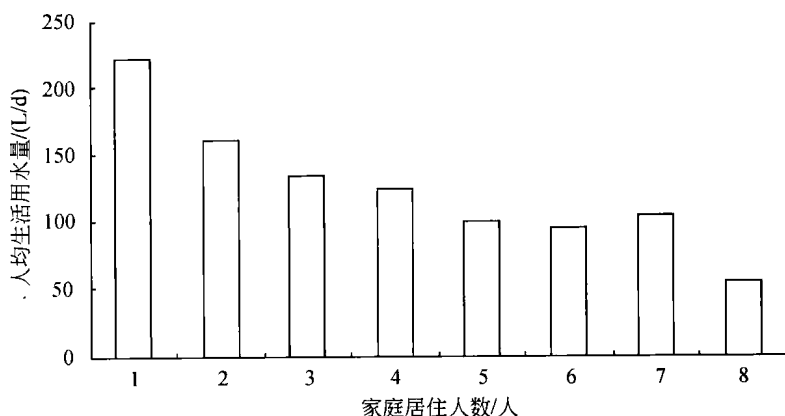


图 1.4 家庭人数对人均用水量的影响 (Edward and Martin, 1995)

Russac 等 (1991) 调查了住宅类型 (如独立式住宅、半独立式住宅、公寓) 对每户平均用水量的影响。他发现独立式住宅的用水需求最高而公寓最少, 这是因为公寓里人均园艺灌溉需水相对较低。此外, 独立式住宅的高用水需求可能与空间较大便于器具的使用或者社会经济因素有关。英国建筑服务研究与信息协会 (BSRIA, 1998) 和美国用水工程协会 (AWWA, 1999) 则发现这与建筑面积有关。

Russac 等 (1991) 同时对用户的年龄组和需水量做了一个有趣的调查。独居的退休人员平均每天用水 200L, 而独居的成人每天用水 140L。这可能是由于退休人员待在家的时间更长。同时, 与年龄相关的疾病, 如糖尿病, 以及男人的前列腺问题, 经常导致排尿频率增加, 从而增加了使用马桶的次数 (Green, 2003)。

据报告, 季节变化也是引起需水水平变化的因素, 通常与花园的浇水有关。根据 Herrington (1996) 的研究, 在英格兰东南部, 20 世纪 90 年代初期的 5~8 月, 家庭花园每 6 天洒一次水。每个灌溉季平均浇水量约为 1000~1200L。约