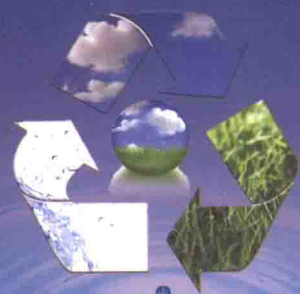


FEICHUANTONG SHUIZIYUAN LIYONG JISHU JI YINGYONG

非传统水资源 利用技术及应用

闫大鹏 侯晓明 郭鹏程 苏妍妹 刘 猛 蔡 明 刘红平 著



黄河水利出版社

非传统水资源利用技术及应用

闫大鹏 侯晓明 郭鹏程 苏妍妹 著
刘 猛 蔡 明 刘红平

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书是一部全面系统地研究非传统水资源的理论体系和应用实践的专著。全书共分为四篇。第一篇论述水资源开发利用现状,包括全球以及中国的水资源利用现状,水资源利用中存在的问题及原因分析,非传统水资源利用的现状、必要性及可行性。第二篇论述再生水利用技术体系,包括概述,再生水回用系统的组成,污水再生利用技术,再生水的利用方式与典型流程,再生水利用系统的规划与设计,再生水利用系统的运行管理,城市污水再生回用系统的评价与对策,国内外再生水利用工程实例、经验总结与发展趋势。第三篇论述城市雨水利用技术体系,包括概述,雨水汇集方式与配套技术,雨水调蓄与净化技术,城市雨水利用规划,城市雨水利用系统设计,雨水集蓄利用工程管理,雨水集蓄利用工程评价,雨水利用工程实例、经验总结及前景展望。第四篇论述海水及其他非传统水资源利用技术体系,包括海水淡化处理技术及工程实例,苦咸水淡化处理技术及工程实例,空中水利用技术及工程实例。

本书可供水资源、水环境、给排水、城市水系等领域的研究、规划、设计、管理工作人员使用,也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

非传统水资源利用技术及应用/闫大鹏等著. —郑州:
黄河水利出版社, 2013. 11
ISBN 978 - 7 - 5509 - 0623 - 5

I. ①非… II. ①闫… III. ①水资源利用 - 研究 IV. ①
TV213.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 276096 号

组稿编辑:简群 电话:0371 - 66026749 E-mail:w_jq@163.com

出版社:黄河水利出版社

网址:www.yrcp.com

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:18.75

字数:430 千字

印数:1—1 000

版次:2013 年 11 月第 1 版

印次:2013 年 11 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

前言

水是生命之源、生产之要、生态之基,事关人类生存、经济发展和社会进步。受水资源自然禀赋和经济社会发展规模与阶段的影响,中国面临着突出的水资源问题,水资源与能源、环境并列为影响经济社会可持续发展的三大制约性因子。2010年3月22日的世界水日前,联合国教科文组织于3月13日公布的《世界水资源开发报告》指出:“我们能否满足持续增长的全球用水需求,将取决于人们现有资源的有效管理。”

随着经济社会的不断发展和人口的急剧增长,中国及全球水资源供需矛盾显得日益突出,解决水资源短缺矛盾的传统模式往往是无节制地开发地表水。江河流量不够就筑水坝、修水库,结果是上游用水得到了保证,而下游城市和居民用水更困难,造成上下游的关系很紧张。时至今日,已经出现了很多河流在某些季节断流的现象,这都是没有节制地开发地表水所造成的。在地表水资源不足的情况下,人们又转向开采地下水,造成地下水位普遍下降,地下水水质退化,城市地面塌陷,沿海城市海水入侵。在这种情况下,进一步解决水资源不足的传统方法是跨流域调水,从小流域的调水到中等距离调水、远距离调水,调水的距离越来越大,工程越来越复杂,投资越来越高,而最后的结果是城市水资源的自给能力越来越低,受制于他人或受制于天。因此,这种传统模式不是可持续的水资源利用模式。

为了解决水资源不足带来的诸多问题,多渠道开发利用非传统水资源,已成为受世界各国普遍关注的可持续的水资源利用模式。在传统水资源开发利用的程度和承载能力即将达到极限的时刻,非传统水资源必将逐步承担解决水资源短缺的重任。非传统水资源的开发利用,增加了水资源总量,提高了水资源利用率,有效保护了常规水资源的开发利用,是水资源可持续利用的必然趋势,对解决当前水资源短缺和水环境污染问题具有重要意义。近年来,发达国家通过大量研究和应用实践,已取得了巨大的收益,并积累了一些成功的经验。随着我国经济社会的迅速发展,非传统水资源的利用也已受到社会各界广泛的关注,传统水资源和非传统水资源的耦合互补利用,不仅能缓解城市供用水的矛盾,而且还能改善水环境、减少水灾害,具有巨大的社会效益、经济效益和生态环境效益。

目前,非传统水资源主要包括雨洪水、再生水、海水、苦咸水、空中水。这些水资源的突出优点是可以就地取材,而且是可以再生的。

雨水利用的潜力很大,在不少国家已经得到广泛采用。其规模可大可小,用途多种多样,方式千变万化,好处不胜枚举。净化后的城市污水可成为城市稳定的第二水源,既缓解城市水资源短缺的矛盾,又减轻对水环境的污染。海水利用在沿海地区的水资源管理中具有举足轻重的地位。在适当的气候条件下进行人工增雨,将空中的水资源化作地面的水资源,已经被国内外证明是开发水资源的一条有效途径。

非传统水资源的开发利用本是为了补充传统水资源的不足,但已有的经验表明,在特定的条件下,它们可以在一定程度上替代传统水资源,或者加速并改善天然水资源的循环

过程,使有限的水资源发挥出更大的生产力。一般情况下,传统水资源和几种非传统水资源配合使用,往往能够缓解水资源紧缺的矛盾,收到水资源可持续利用的功效。

在目前非传统水资源开发利用的类型中,再生水和雨水由于具有地区适应性广泛、技术发展成熟、经济性好、社会共识普遍、综合效益明显等特点而得到了极大重视,本书重点介绍再生水和雨水利用技术,同时对其他非传统水资源开发利用的类型也予以简单介绍。

本书共分为四篇。

第一篇论述水资源开发利用现状,包括4章内容:全球水资源利用现状,中国水资源利用现状,水资源利用中存在的问题及原因分析,非传统水资源利用的现状、必要性及可行性。

第二篇论述再生水利用技术体系,包括8章内容:概述,再生水回用系统的组成,污水再生利用技术,再生水的利用方式与典型流程,再生水利用系统的规划与设计,再生水利用系统的运行管理,城市污水再生回用系统的评价与对策,国内外再生水利用工程实例、经验总结与发展趋势。

第三篇论述城市雨水利用技术体系,包括8章内容:概述,雨水汇集方式与配套技术,雨水调蓄与净化技术,城市雨水利用规划,城市雨水利用系统设计,雨水集蓄利用工程管理,雨水集蓄利用工程评价,雨水利用工程实例、经验总结及前景展望。

第四篇论述海水及其他非传统水资源利用技术体系,包括3章内容:海水淡化处理技术及工程实例,苦咸水淡化处理技术及工程实例,空中水利用技术及工程实例。

本书主要编写人员及编写分工如下:第1~3、23章由侯晓明编写,第4、5章由蔡明编写,第6~8章由郭鹏程编写,第9、16章由闫大鹏编写,第10~12、14、18、20章由刘猛编写,第13、15、17章由苏妍妹编写,第19、21、22章由刘红平编写。全书由闫大鹏、侯晓明统稿。

我国非传统水资源开发利用工作起步较晚,在理论、方法、技术研究方面与发达国家还有很大差距,在应用实践中政策法规和支持保障措施还不够健全,因此非传统水资源开发利用的广度和深度有限。非传统水资源涉及多个专业领域和政府职能部门,一些问题目前仍处于探索研究阶段,加之作者水平有限,书中难免存在疏漏、错误和不妥之处,恳请读者不吝指正。

本书由黄河勘测规划设计有限公司资助出版,在此深表感谢。

作 者
2013年8月

目 录

前 言

第一篇 水资源开发利用现状

第 1 章 全球水资源利用现状	(1)
1.1 全球水资源总量及其分布	(1)
1.2 全球水资源利用面临的严峻形势	(3)
第 2 章 中国水资源利用现状	(11)
2.1 中国水资源概况	(11)
2.2 中国水资源开发利用	(15)
2.3 中国水资源面临的形势与挑战	(18)
第 3 章 水资源利用中存在的问题及原因分析	(21)
3.1 水资源利用中存在的问题	(21)
3.2 水资源短缺的原因分析	(23)
第 4 章 非传统水资源利用的现状、必要性及可行性	(28)
4.1 非传统水资源的分类	(28)
4.2 国内外非传统水资源的开发利用现状	(31)
4.3 非传统水资源利用的必要性	(37)
4.4 非传统水资源利用的可行性	(39)
4.5 本书的技术分析重点	(40)

第二篇 再生水利用篇

第 5 章 概 述	(45)
5.1 污水再生利用概况	(45)
5.2 污水利用的途径与水质要求	(47)
第 6 章 再生水回用系统的组成	(57)
6.1 系统论原理	(57)
6.2 城市污水再生回用系统	(58)
6.3 子系统构成	(60)
6.4 城市污水再生回用系统特点	(68)

第7章 污水再生利用技术	(69)
7.1 概述	(69)
7.2 混凝沉淀法	(73)
7.3 微絮凝-过滤法	(74)
7.4 气浮	(75)
7.5 石灰处理	(76)
7.6 过滤	(76)
7.7 膜分离	(79)
7.8 膜生物反应器	(81)
7.9 人工湿地处理	(82)
7.10 活性炭吸附	(86)
7.11 其他新工艺	(86)
第8章 再生水的利用方式与典型流程	(90)
8.1 生活杂用	(90)
8.2 工业回用	(92)
8.3 农业回用	(94)
8.4 市政杂用	(95)
8.5 景观水体回用	(96)
8.6 地下水回灌	(97)
8.7 其他回用	(98)
第9章 再生水利用系统的规划与设计	(100)
9.1 再生水利用系统规划	(100)
9.2 再生水利用系统设计	(111)
第10章 再生水利用系统的运行管理	(142)
10.1 再生水利用系统存在的问题	(142)
10.2 污水再生处理设施的运行管理	(142)
10.3 再生水回用配套设施的维护管理	(145)
第11章 城市污水再生回用系统的评价与对策	(147)
11.1 市场评价	(147)
11.2 经济评价	(147)
11.3 安全评价	(149)
11.4 城市污水再生回用对策	(150)
第12章 国内外再生水利用工程实例、经验总结与发展趋势	(152)
12.1 国外再生水利用工程实例	(152)
12.2 国内再生水利用工程实例	(154)
12.3 再生水利用工程经验总结与发展趋势	(155)

第三篇 城市雨水利用篇

第 13 章 概 述	(157)
13.1 城市雨水的特点	(157)
13.2 城市雨水开发利用现状及发展方向	(162)
第 14 章 雨水汇集方式与配套技术	(167)
14.1 不同下垫面材料的产流特征	(167)
14.2 雨水汇集工程基本参数及其确定	(168)
14.3 集流场地表处理技术研究	(171)
14.4 城市地表产流特性及影响因素分析	(173)
第 15 章 雨水调蓄与净化技术	(176)
15.1 雨水调蓄	(176)
15.2 雨水净化技术	(183)
第 16 章 城市雨水利用规划	(192)
16.1 雨水利用规划的指导思想、原则和任务	(192)
16.2 基本资料的收集	(194)
16.3 雨水利用规划	(195)
第 17 章 城市雨水利用系统设计	(209)
17.1 雨水集蓄利用系统设计	(209)
17.2 雨水渗透利用系统设计	(211)
17.3 雨水屋顶花园利用系统设计	(215)
17.4 生态小区雨水综合利用系统设计	(216)
第 18 章 雨水集蓄利用工程管理	(224)
18.1 运行管理	(224)
18.2 水质管理	(227)
18.3 用水管理	(227)
第 19 章 雨水集蓄利用工程评价	(228)
19.1 技术评价	(228)
19.2 经济评价	(229)
19.3 环境评价和社会影响评价	(231)
19.4 发展雨水集蓄利用工程的政策措施	(231)
第 20 章 雨水利用工程实例、经验总结及前景展望	(233)
20.1 国外雨水集蓄利用工程实例	(233)
20.2 国内雨水集蓄利用工程实例	(236)
20.3 雨水集蓄利用技术经验总结及前景展望	(242)

第四篇 海水及其他非传统水资源利用篇

第 21 章 海水淡化处理技术及工程实例	(246)
21.1 海水淡化工程的发展状况	(246)
21.2 海水淡化的主要技术及比较	(248)
21.3 工程实例	(254)
第 22 章 苦咸水淡化处理技术及工程实例	(269)
22.1 淡化方法与技术状况	(269)
22.2 淡化方法适应性分析	(271)
22.3 工程实例	(272)
第 23 章 空中水利用技术及工程实例	(282)
23.1 空中水资源总量及特性	(282)
23.2 空中水资源开发利用的原理和主要途径	(282)
23.3 我国空中水资源开发利用现状	(283)
23.4 开发利用空中水资源前景	(283)
23.5 吉林省开发空中水资源工程实践	(284)
参考文献	(288)

第一篇 水资源开发利用现状

第 1 章 全球水资源利用现状

1.1 全球水资源总量及其分布

水是人类赖以生存和发展的珍贵资源,地球水储量包括地球表面、岩石圈内、大气层中和生物体内所有各种形态的水,主要有海洋水、冰川水、湖泊水、沼泽水、河流水、地下水、土壤水、大气水、生物水几种类型,在全球形成了一个完整的水系统,这就是水圈。水圈内全部水体的总储量为 13.86 亿 km^3 。

地球“三分陆地七分水”,总水量的绝大部分储存于海洋中,淡水所占的比重很小。海洋水储量 13.38 亿 km^3 ,占全球水体总储量的 96.5%,其他各种水体储量只占 3.5%,地表水和地下水各占一半左右。地球水总量中,含盐量不超过 1 g/L 的淡水仅占 2.5%,即 0.35 亿 km^3 ,其余 97.5% 均为咸水。淡水有 68.7% 被固定在两极地带的冰盖和高山冰川中,有 30.9% 蓄存在地下含水层和永久冻土层中,而湖泊、沼泽、河流、土壤中所容纳的淡水还不及 0.5%。地球上各种水体储量以及咸水、淡水的分布情况见表 1-1。

河流的年径流量,包含大气降水和高山冰川融水产生的动态地表水,以及绝大部分的动态地下水,它反映了水资源的数量和特征,所以各国通常用多年平均河川径流量来表示水资源量。陆地多年平均河川径流量为 4.45 万 km^3 ,其中有 0.10 万 km^3 排入内陆湖,其余的均流入海洋。包括 0.23 万 km^3 南极冰川径流在内,全世界年径流总量为 4.68 万 km^3 。径流量在地区分布上很不均衡,有人居住和适合人类生活的地区至多拥有全部年径流量的 40%,约 1.9 万 km^3 。各大洲的自然条件差别很大,因而水资源量也不相同。大洋洲的一些大岛(新西兰、伊里安、塔斯马尼亚等)的淡水最为丰富,年降水量几乎达到 3 000 mm,年径流深超过 1 500 mm。南美洲的水资源也较丰富,平均年降水量为 1 600 mm,年径流深为 660 mm,相当于全球陆地平均年径流深的 2 倍。澳大利亚是水资源量最少的大陆,平均年径流深只有 40 mm,有 2/3 的面积为无永久性河流的荒漠、半荒漠地区,年降水量不到 300 mm。非洲的河川径流资源也较贫乏,降水量虽然与欧洲、亚洲、北美洲相接近,但年径流深却相差一半,只有 150 mm,这是因为非洲南北回归线附近有大面积的

沙漠。南极洲的多年平均降水量较少,为 165 mm,该地没有一条永久性的河流,然而却以冰的形态储存了地球淡水总量的 62%。全球水资源分布情况详见表 1-2。

表 1-1 地球水储量

水体种类	水量		咸水		淡水	
	10^3 km^3	%	10^3 km^3	%	10^3 km^3	%
海洋水	1 338 000	96.54	1 338 000	99.04	0	0.00
地表水	24 254	1.75	85	0.01	24 169	69.00
冰川与冰盖	24 064	1.74	0	0.00	24 064	68.70
湖泊水	176	0.01	85	0.01	91	0.26
沼泽水	11	0.00	0	0.00	11	0.03
河流水	2	0.00	0	0.00	2	0.01
地下水	23 700	1.71	12 870	0.95	10 830	30.90
重力水	23 400	1.69	12 870	0.95	10 530	30.06
地下冰	300	0.02	0	0.00	300	0.86
土壤水	17	0.00	0	0.00	17	0.05
大气水	13	0.00	0	0.00	13	0.04
生物水	1	0.00	0	0.00	1	0.00
全球总储量	1 385 985	100	1 350 955	100	35 030	100

表 1-2 全球水资源分布

大陆	面积(万 km^2)	年降水		年径流	
		mm	10^3 km^3	mm	10^3 km^3
欧洲	1 050	789	8.29	306	3.21
亚洲	4 347.5	742	32.24	332	14.41
非洲	3 012	742	22.35	151	4.57
北美洲	2 420	756	18.3	339	8.2
南美洲	1 780	1 600	28.4	660	11.76
大洋洲*	133.5	2 700	3.61	1 560	2.09
澳大利亚	761.5	456	3.47	40	0.3
南极洲	1 398	165	2.31	165	2.31
全部陆地	14 900	800	119	315	46.8

注:1. * 除澳大利亚大陆外,包括塔斯马尼亚岛、新西兰岛和伊里安岛等岛屿。

2. 引自中国农业百科全书总编辑委员会水利卷编辑委员会,中国农业百科全书编辑部编,中国农业百科全书·水利卷上,北京:农业出版社,1986年,第540~542页。

各国淡水资源的情况也很不均衡,巴西、俄罗斯、加拿大、中国、美国、印度尼西亚、印度、哥伦比亚和刚果等 9 个国家的淡水资源占了世界淡水资源的 60%。同时,有 22 个国家的人均水资源拥有量不到 $1\,000\text{ m}^3$, 18 个国家的人均水资源拥有量不到 $2\,000\text{ m}^3$,在降水少的年份尤为严重,约占世界人口总数 40% 的 80 个国家和地区严重缺水。缺水最严重的地区主要集中在中国北部、非洲北部、中东、印度北部、墨西哥部分地区和美国西部。在撒哈拉沙漠以南的 18 个非洲国家,人均日用水量仅为 $10\sim 20\text{ L}$;相反,在欧洲,人均日用水量高达 300 L 以上。全球 200 多个国家和地区中,水资源最丰富的是南美洲的巴西。

1.2 全球水资源利用面临的严峻形势

1.2.1 人口等经济要素与淡水资源分布不匹配,加剧了水资源矛盾

联合国教科文组织统计资料表明,按全世界人口为 60 亿计算,人均占有水量为 $8\,000\sim 10\,000\text{ m}^3$ 。由于世界水资源消费量急剧增加 6 倍,远远超过 $4\,000\text{ km}^3$,人均淡水占有量已降到 $4\,800\text{ m}^3$ (1995 年为 $7\,300\text{ m}^3$)。由于仅有的淡水量分布不平衡,有 60% ~ 65% 以上的淡水集中分布在 9 ~ 10 个国家,例如俄罗斯、美国、加拿大、印度尼西亚、哥伦比亚等,其中奥地利每年有 840 亿 t 水可满足欧盟 3.7 亿人口的用水需求,供水收入达 10 亿欧元。而占世界人口总量 40% 的 80 多个国家却为水资源匮乏的国家,其中有近 30 个国家为严重缺水国,非洲占 19 个,像卡塔尔仅有 91 m^3 ,科威特为 95 m^3 ,利比亚为 111 m^3 ,马尔他为 82 m^3 ,成为世界上四大缺水国;而几个富水国,水资源消费急剧上升,像美国纽约人均日耗水量为 $600\sim 800\text{ L}$,日本大阪为 575 L ,法国巴黎为 443 L ,罗马为 435 L ,贫富相差极为悬殊。

如图 1-1 所示,世界各国人均日用水量的差异是很明显的,美国最高为 575 L ;澳大利亚居其次,为 495 L ;欧洲的许多国家在 $300\sim 400\text{ L}$;亚洲的印度和中国分别为 135 L 和 85 L ;相比之下,非洲的许多国家,比如阿尔及利亚、乌干达、尼日利亚等国人均日用水量小于 50 L ,其中以莫桑比克最小,仅为不到 10 L 。由此我们也可以看出,人均日用水量的多少,与国家经济发达的程度是大体相关的,并且如图 1-2 所示,发达国家与发展中国家的用水构成是有很大差异的,发达国家农业和工业用水分别占总用水量的 40%,家庭生活用水占 20%;而发展中国家,用水则主要集中在农业,占总用水量的 80%,工业和家庭生活用水分别约占 10%。

如图 1-3 所示,1950 年,在全球城市人口中,欧洲所占比重最大,占了全球城市人口总数的近 38%;亚洲位居其次,大约为 31%;北美洲以 15% 排位第三;拉丁美洲及加勒比海地区约占 10%;非洲约占 5%;大洋洲最少,仅占 1%。到 2000 年,亚洲城市人口占全球的比例增长了近 10%,达到了 47% 而跃居各大洲首位,也是近 50 年来增长最快的地区;而欧洲所占比重则下降了 20%,为 18% 而位居其次;拉丁美洲和加勒比海地区比例上升了 4%,达到 14% 位于第三;非洲增长了 6 个百分点,位于第四;而北美洲则下降为 9%,位于第五;而大洋洲几乎没有变化,仍为 1%。由此可见,从 1950 年到 2000 年,全球城市人口中亚洲城市人口比例上升最为显著,相应生活生产的需水量也在逐渐增加。因此,随着

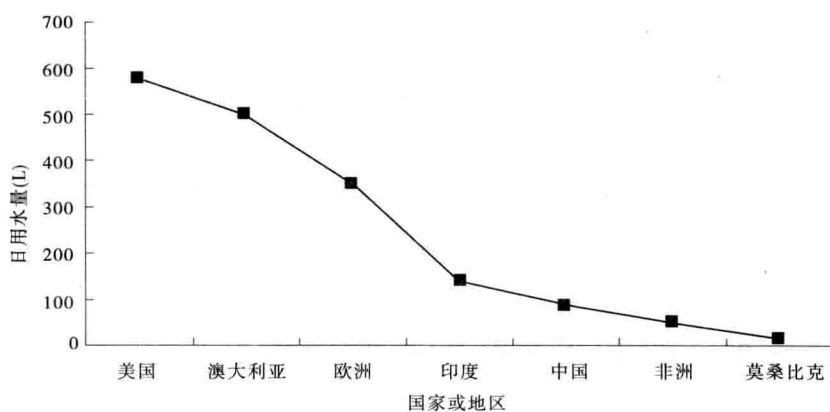


图 1-1 部分国家或地区 1998 ~ 2002 年平均人均日用水量差异

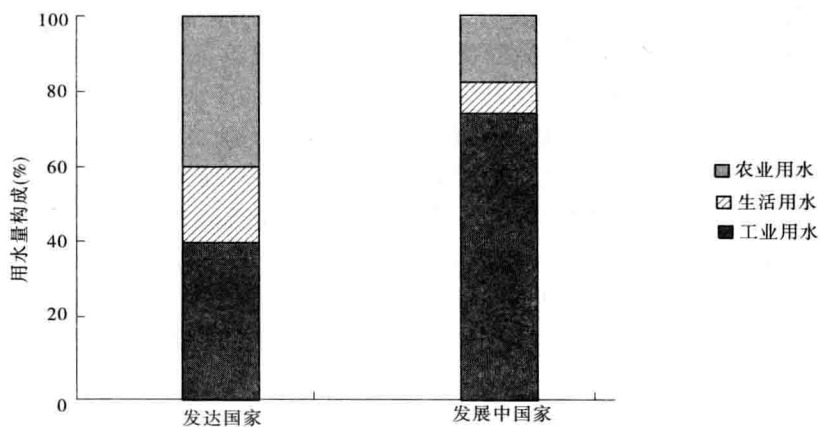


图 1-2 1998 ~ 2002 年发达国家与发展中国家用水量构成

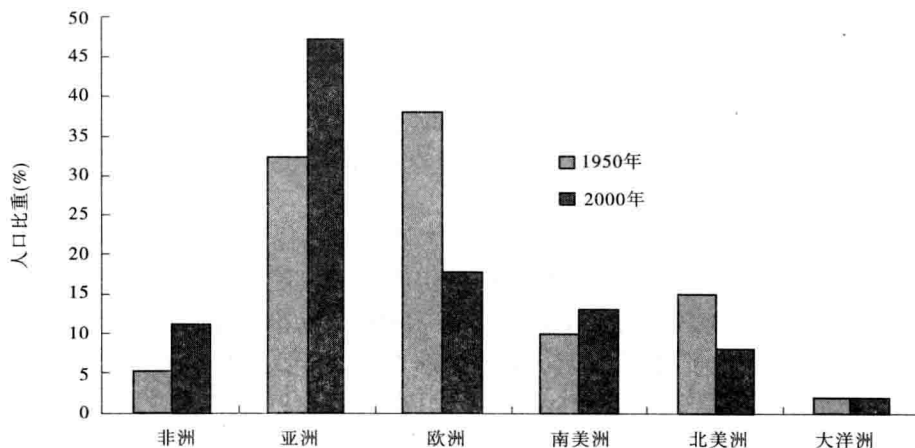


图 1-3 1950 年和 2000 年各大洲城市人口比重变化

城市人口的增加,城市缺水问题已愈加突出。

人口的增长带来了许多问题,人类对水资源的需求以惊人的速度扩大:12 亿人用水短缺,30 亿人缺乏用水卫生设施,每年有 300 万~400 万人死于和水有关的疾病。据材料统计,20 世纪初,全球年水消耗量为 5 000 亿 m^3 ,到 20 世纪末已增长为 50 000 亿 m^3 ,增长 10 倍以上。1954~1994 年美洲大陆用水量增加 100%,非洲大陆用水量增加 300% 以上,欧洲大陆增加 500%,而亚洲大陆增长幅度更高。地下水年开采量为 5 500 亿 m^3 (20 世纪 80~90 年代),其中大于 100 亿 m^3 的有 10 余个国家,占总开采量的 8.5%。

此外,世界人口的分布及增长的情况与水资源在全球的分布是错位的,世界人口密集的亚洲东部和南部、非洲西部,正是水资源分布较为贫乏的地区(有些是极为贫乏的地区,比如亚洲的东部和南部),所以产生了水资源供需不平衡,导致了一些地区对于水资源过度开发等问题,比如亚洲东、南部,非洲北部,北美洲中部及南美洲南部等地区的水资源处于过度利用状态。如图 1-4 所示,中国、莫桑比克、尼日利亚、菲律宾、也门等国家,1990~2004 年城市人口占总人口的比重都是上升的,而相应的人均水资源的数量却是降低的,由此可见,世界上水资源的分布和人口的增长之间是不平衡的。如图 1-5 所示,2000 年约占全球 20% 的人口得不到安全的饮用水;65% (85% 减去 20%) 的人口饮用水质处于较低水平;而只有 15% 的人口拥有充足且安全的饮用水。水资源危机带来的生态系统恶化和生物多样性破坏,也将严重威胁人类生存。

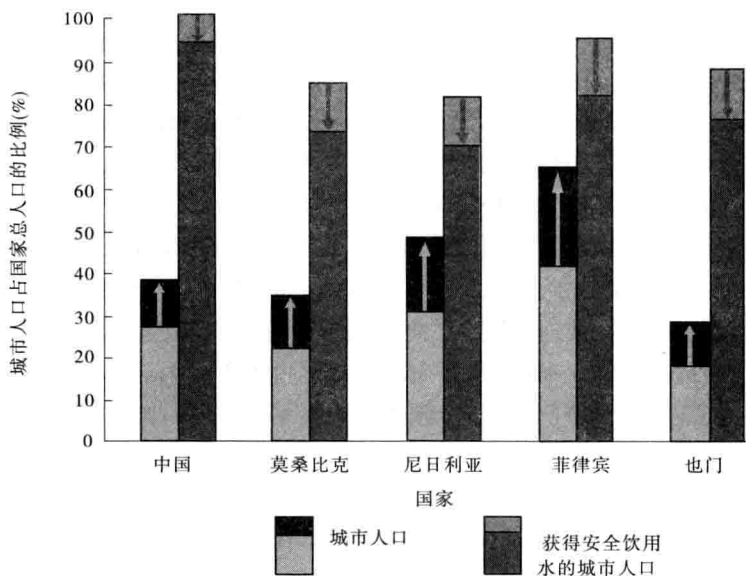


图 1-4 1990~2004 年部分国家快速增长的城市化与水资源的关系

1.2.2 污染、浪费等问题加剧了全球水资源危机程度

水资源的污染可以分为直接污染和间接污染两大类,直接污染主要包括工业污染、农业污染和家庭生活等人类活动直接排入水体造成对水源的污染;而间接污染,则是通过向地下渗漏的过程,是地下水因人类所排放的污水、污物而受到污染,以及由于过度开采地

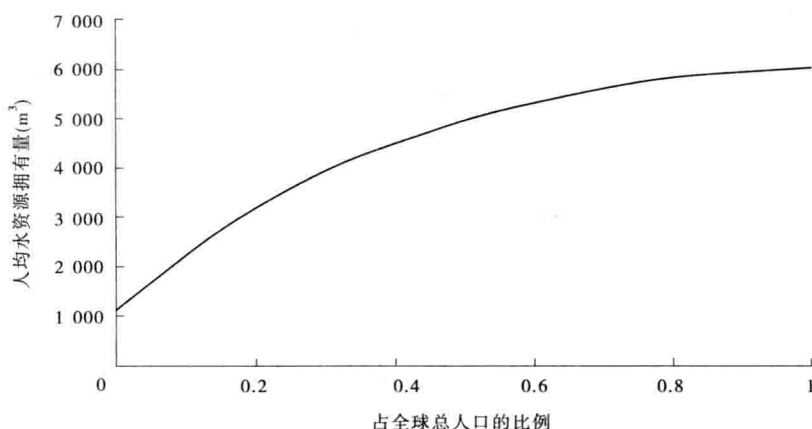


图 1-5 2000 年全球人均水资源分布

下水,使得海水倒灌而对地下水源的污染等。间接污染的主要途径,主要来自于固体废物的污染、工业生产对河流的污染、工业园区本身对土地的污染、有害物质贮存向地下的渗漏、医疗器械的污染、农药化学物质的排放以及城市生活污水的污染等。近年来,对地下水资源的保护成为全球关注的重点,而这种关注在欧盟执行委员会更为明显,其主张对地下水源污染的预防要比污染后再治理要有效得多。

欧盟的一份报告指出,农药对地下水的污染比预计的要严重得多。从现在起 50 年内,6 万 km^2 的含水层将受到这种污染。有些欧洲经济共同体的国家,河水遭受污染随处可见。在布鲁塞尔附近的塞纳河中,充满了有毒化学品和臭味难闻的污物。对西欧的 8 条大河水质化验表明,其中罗纳河每升河水中氨气含量为 20.1 mg,超过规定的标准 40 多倍。此外,超标的还有马德里的塔古斯河(氨含量 10.7 mg/L)、阿姆斯特丹的阿姆斯特芬河(氨含量 0.88 mg/L)、法兰克福的莱茵河(氨含量 0.69 mg/L)、巴黎的塞纳河(氨含量 0.33 mg/L)。被誉为俄罗斯母亲河的伏尔加河,如今每年有 10.42 km^3 的生活污水和工业废水流淌其中,有害物质的浓度大大超过正常的限度,已使得黑海的鲟鱼无法在此产卵。非洲的尼罗河、美洲的亚马孙河、亚洲的长江等世界著名河流都已经在不同程度上受到污染。法国国家环境所最近公布一份调查报告显示,由于农业生产中大量使用农药,法国各大河流和地下水源污染严重,其中 40% 的水源需进行特殊处理才能重新成为饮用水,而水质依然保持良好的水源只占抽样调查的 5%。

目前,水资源的过度利用、水污染和生态环境恶化等造成湖泊、河流、湿地与地下含水层的淡水系统的破坏,淡水物种和生态系统的多样性正在迅速衰退,其退化速度往往快于陆地和海洋生态系统。1/5 的淡水鱼种群或濒临灭绝,或已经绝迹。对于人类而言,2002 年全球约有 310 万人死于腹泻和疟疾,其中近 90% 的死者是不满 5 岁的儿童。每年约 160 万人的生命原本都是可以通过提供安全的饮用水来挽救的。在美国、印度和中国的一些地区,过度开采地下水,水床沉降而无法补充河流的水源,常常造成河流断流而使下游干涸,如美国的科罗拉多河和中国的黄河。沿海地区地下水过度开采造成的海水倒灌问题等,都导致有限的可利用淡水资源量在不断地萎缩。

日益严重的水污染蚕食大量可供消费的水资源。全世界每天约有 200 t 垃圾倒进河流、湖泊和小溪,每升废水会污染 8 L 淡水;所有流经亚洲城市的河流均被污染;美国 40% 的河流流域被加工食品废料、金属、肥料和杀虫剂污染;欧洲 55 条河流中仅有 5 条水质差强人意。现在全世界每年排放的污水达 4 000 多亿 t,从而造成 5 万多亿 t 水体被污染,致使目前全世界 60 亿人口中约 20% 的人无法获得洁净饮水,每年有 220 万人死于与污染或恶劣卫生条件相关的疾病,到 2025 年,世界上无法获得安全饮用水的人数将增加到 23 亿人,到 2050 年底,全世界 90 亿总人口当中的大约 70 亿人将可能面临用水短缺。

目前,人类正面临严重的水资源形势,如图 1-6 所示,人均水资源量不足 $1\,700\text{ m}^3/\text{a}$ 的人数,1990 年为 5 亿人,2005 年为 10 亿人,预计 2025 年和 2050 年将分别达到 36 亿人和 55 亿人;其中人均水资源量不足 $1\,000\text{ m}^3$ 的人数,1990 年为 1 亿人,2005 年增长到 3 亿人,预计 2025 年和 2050 年将分别达到 6 亿人和 18 亿人。

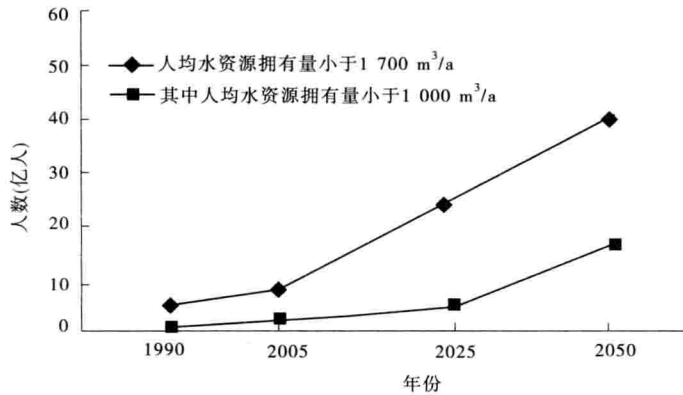


图 1-6 全球水资源形势严峻

水源的污染,对人类生存及良好生态环境的维护都是极为不利的。人类若饮用不干净的水,可能引起腹泻、疟疾、红眼病等传染性疾病,相应地也会影响到食品的安全。全世界每年至少有 2 500 万人死于水污染引起的疾病(主要是在发展中国家)。世界上传播最广的疾病中有一半都是直接或间接通过水传播的。全球由水污染而产生的疾病每年使 1 500 万人丧生,其中大部分是儿童,仅腹泻每年就造成 4 万~5 万婴儿和差不多相同数量的成年人死亡。同时,也会破坏生态环境的多样性,水资源污染严重的地区还会导致某些物种的数量逐渐减少,甚至永远消失。可见,目前人类面临的水资源短缺问题是非常严峻的,水资源的污染和浪费,减少了原已非常宝贵的淡水资源,使得淡水资源的供需矛盾更加突出。因此,对水资源污染的预防与治理是人类急需解决的重要问题。

面对极其宝贵而又为数有限的水资源,工农业生产用水不讲效益又造成了巨大的浪费。许多发展中国家基础设施陈旧,水库和水渠的渗漏现象严重而普遍,管道内水的流失率高达 15%~20%。农业灌溉基本上都是采用大水漫灌、串灌的做法,灌溉效益很低。工业用水的重复利用率也很低,而每万元工业产值的耗水量和火电站每万度电的耗水量则很高(日本工业用水重复利用率为 71%,美国和德国也都在 60% 以上)。

生活用水的浪费也很普遍。在一些发展中国家的某些城市,60% 的饮用水因水管生

锈或者管路的搭接违反规定而流失。菲律宾马尼拉市自来水总管的泄漏率高达 58%，而在管理较为完善的新加坡水管泄漏损失平均只有 8%。联合国的一项调查报告显示，英国和美国生活用水浪费约有 10%，个别地区通过采取节约用水和循环用水的措施甚至可以节省更多的水。

1.2.3 全球气候变化对水资源的影响

全球气候异常造成的突发性灾害。一份气候变暖可能对地球造成危害的最全面的预测报告指出，到 21 世纪末，如果全球平均气温升高 3℃ 或者更高，届时将有半数以上的主要森林从地球上消失。随着全球气温的上升，在未来 200 年，洪水、森林火灾和干旱将变得更加常见。

同时，这种气候的变化将导致全球降水量的减少及其格局发生相应的变化。全球降水总量将减少 30%。南非一些国家，包括安哥拉、马拉维、赞比亚以及津巴布韦，这些地区的干旱程度将逐渐加大。而目前，这些国家就面临着全球最为严重的食品安全问题，农业依靠自然降水程度高；从北非的毛利塔尼亚等国一直到中东地区，包括世界上水资源最为短缺的国家，均有很高的人口增长率，并且对水资源的利用程度水平也很低；巴西及其东北部地区，比如委内瑞拉等国，由于气候的变化，降水量也将逐渐减少。对于亚洲的一些国家，比如说印度，这种气候的变化，也将会使其降水量减少。

全球气候的变化，除了会引起降水量的变化，还带来了许多与水有关的自然灾害，包括洪水、沙尘暴、干旱、饮用不洁水源而感染的疾病与海啸等；近 30 多年来，洪水以及沙尘暴发生的次数及其影响人数均是显著增加的；如表 1-3、图 1-7 所示，1970～2004 年全球与水有关的灾害的影响人数呈增长趋势，并造成 245 万人死亡。这些与水有关的自然灾害对人类的影响程度，涉及的人数是相当多的且增长也较为明显，足以见得气候的变化对水资源以及对人类的重要程度。

表 1-3 1970～2004 年全球水灾害影响人数

年份	影响人数(万人)	死亡人数(万人)
1970～1979	75 000	75
1980～1989	140 000	70
1990～1999	190 000	55
2000～2004	150 000	45

1.2.4 全球因争夺水资源而引起的地区冲突

水权又称水资源产权，广义的水权是指与水资源有关的一组权利的总和，是水权主体围绕或通过水而产生的责、权、利关系，其最终可以归结为水资源所有权、水资源使用权、水资源工程所有权和经营权。狭义的水权是指水资源的使用权和收益权，是一项建立在水资源国家所有的基础上的他物权，即一种“用益物权”。它的获得或者依照法律的规定，或者通过双方当事人的交易来实现。从法律上对水权的界定可归结为对水权的拥有和转移所产生的法律上权利、义务的变化，而在经济学上对水权界定的意义则在于由水权