

环境科学与工程系列丛书

HUANJINGKEXUE YU GONGCHENG XILIECONGSHU

# 城市污水的资源再生及 热能回收利用

尹军 陈雷 王鹤立 编著



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

环境科学与工程系列丛书

# 城市污水的资源再生及 热能回收利用

尹军 陈雷 王鹤立 编著

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

城市污水的资源再生及热能回收利用/尹军, 陈雷,  
王鹤立编著. —北京: 化学工业出版社, 2003. 4  
(环境科学与工程系列丛书)  
ISBN 7-5025-4152-7

I. 城… II. ①尹…②陈…③王… III. 城市污水-  
废水综合利用 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 016487 号

---

环境科学与工程系列丛书  
**城市污水的资源再生及热能回收利用**

尹军 陈雷 王鹤立 编著

责任编辑: 董琳

文字编辑: 徐延荣

责任校对: 李林

封面设计: 郑小红

\*

化学工业出版社 出版发行  
环境科学与工程出版中心

(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

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15½ 字数 368 千字

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4152-7/X·227

定 价: 36.00 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

## 《环境科学与工程系列丛书》编辑委员会

主任 王宝贞 任南琪  
副主任 马 放 于秀娟 赵庆良  
委员 (按姓氏笔画为序)  
于秀娟 马 放 王宝贞 王 鹏 冯玉杰  
刘俊良 汪群慧 任南琪 祁佩时 姜安玺  
赵庆良 黄君礼 杨基先

## 出版者的话

环境科学是在环境问题日益严重后产生和发展起来的一门新兴的综合性学科。近年来，其各分支学科如环境工程学、环境化学、环境生物学、环境经济学等发展异常迅速，国内各高等院校环境科学工程专业学生数量迅猛增长，为给高等院校环境科学与工程专业学生系统地提供一套环境科学与工程专业教学参考书，同时也为满足从事环保科研、设计及工程技术人员的需要，化学工业出版社委托哈尔滨工业大学环境工程学院环境科学与工程系组织有关专家编写了这套丛书，丛书具有以下特点。

(1) 系统性 紧紧围绕环境科学与环境工程专业的研究方向，系统介绍了相关学科的基本理论与应用。

(2) 实用性 紧紧围绕环境科学与环境工程的应用实际，突出了科研成果的转化，因而实用性很强。

(3) 前沿性 突出了环境科学与工程各学科当前的研究进展与应用现状，并预测了今后的发展趋势。

(4) 交叉性 环境科学与工程各学科多为新兴的边缘学科，是众多学科交叉与渗透产生的，因此在编写过程中突出了学科之间的交叉性与渗透性。

(5) 权威性 丛书的编写人员都是在各自的研究领域有较高声望和一定造诣的专家、学者，因此，对于从事相关领域的教学和科学研究人员具有较高的参考和实用价值。

多年来，化学工业出版社一直把环保图书作为主要出书方向之一。2000年6月、2001年6月、2002年6月化学工业出版社成功地在全国各大、中城市举办了三届化工版环保图书展，2003年6月化学工业出版社将在全国各大、中城市的新华书店举办第四届化工版环保图书展。本套丛书也会在众多专家、学者的支持下如期出版参展，希望能得到广大读者的认可，也希望广大读者对化学工业出版社环保图书出版多提宝贵建议与意见。

# 前 言

在当今全球规模的环境问题日趋严重的条件下，过去那种传统的“大量生产、大量流通、大量消费、大量废弃”的生产消费模式，已越来越不被人们所接受。为了保证社会经济的可持续发展和资源的最大限度利用，在一些发达国家已经提出了建立“循环型社会”的口号，并将其作为 21 世纪发展的重大发展战略目标，从工业生产和人民生活的多种角度开始着手实施。

由于水是人类的生命之源，是对生态、经济和社会有巨大价值的物质，是综合国力的重要组成部分，因此，如何充分开发和利用水资源的潜力，也是建立“循环型社会”的一个重要内容。实际上，自然界的水是统一循环的，天然水的蒸发与降雨循环就是一例。因此，人类社会对水的利用应服从这一过程，其保证措施就是对使用过后的水进行必要的再生处理，重新使用。

另一方面，由于近年来我国经济的高速发展和城市进程的加速，需水量的快速增长和水污染的加剧，导致我国城市普遍存在着水污染严重和水资源短缺的问题，而这一问题已成为制约我国城市发展的主要因素，因此，认为城市污水是一种可以再生利用的资源观点，已在国内普遍为人们所接受。

但是迄今为止，将城市污水作为资源而加以利用的手段还只是将城市污水按一定要求进行适当处理后，作为中水或工业用水等加以回用。而实际上城市污水中所蕴藏的资源潜力并不仅限于此，随着当今科学技术的飞速发展，人们已认识到城市污水除了可以作为水资源的一部分而加以利用之外，同时还可以在此基础上，将其作为城市低温热能资源加以利用。特别是近年来，热泵技术的日趋成熟和快速发展，为在实际工作中推广和应用城市污水热能回收与利用技术提供了可靠的技术保证。

此外，对目前城市污水生物处理过程中产生的污泥进行处置与资源化利用的途径也在不断扩大，已由传统的堆肥、农田利用等方式向各种工业化利用方面拓展，污泥中所蕴藏的资源潜力越来越受到人们的关注，有关技术的研究与开发也已成为城市污水资源化技术的重要组成部分。

因此，当今对于城市污水资源化的研究与技术开发工作，应以更宽广的视野去观察、去分析和努力。我们应将城市污水看做是一个潜力巨大的、具有多种利用途径的资源，除了应继续不断深入研究和开发各种高效节能污水处理回用技术以外，还要从不同角度去挖掘、开发，使其所蕴藏的资源能得以最大限度的释放和充分利用。当今科学技术的发展已要求人们在自然资源利用方面，应是全方位的、彻底的，而不是局部的、有限的，否则就是对资源的一种浪费。作为 21 世纪的城市污水资源化技术，不能仅仅满足于将城市污水只作为水资源补充利用方面所取得的进展，而应适应于其全方位的利用要求。我们认为，21 世纪理想的、成熟的城市污水资源化技术应是污水回用、污泥利用与污水热能利用三位一体构成的成套体系，而不是其中单独的某一项技术所能代表的。

正是基于这样一种观点和认识，我们在本书中第一次尝试除设置有关城市污水再生与资源化技术的第一篇内容外，将污水热能利用的内容归入本书之内，并独立设置一篇，同时又

单独设置了有关污泥处置和资源化利用方面的第三篇内容。

在本书的编著过程中，由陈雷、王鹤立负责第一篇，尹军、韦新东负责第二篇，尹军、谭学军负责第三篇，王宏哲、全贞花参加了第二篇的部分工作。

由于作者水平有限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

**编著者**

**2003年4月7日**

## 内 容 提 要

本书是环境科学与工程系列丛书中的一本，全书分为三篇。第1篇以污水的再生处理工艺与新技术为理论基础，规划、设计具体的污水再生回用系统，并结合具体的处理流程及国内外的工程实例，全面地阐述了城市污水的再生利用技术。第2篇基于水源热泵技术的日趋成熟与发展，详细介绍了该项技术在城市污水热能回收利用系统中的推广与应用，并举了工程实例。第3篇是对污水处理过程中产生的固体废弃物——城市污水污泥做了专题说明，从污水污泥的特性、常规处置方法，新型处理技术到污水污泥资源化研究与利用。该书注重理论联系实际，实用性强，适用于环境工程、给水排水、化学化工等有关专业的高等院校研究生、本科生及相关专业的科研与工程技术人员。



# 目 录

## 第 1 篇 城市污水的再生利用技术

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 城市污水资源的特征 .....	1
1.1.1 水资源状况及其特征 .....	1
1.1.2 水资源危机及解决对策 .....	5
1.1.3 城市污水资源的特征 .....	6
1.2 城市污水再生利用的意义 .....	8
1.2.1 城市污水再生利用的目的 .....	8
1.2.2 城市污水回用的意义 .....	8
1.3 城市污水再生利用的途径与水质要求 .....	9
1.3.1 城市污水再生利用的分类 .....	9
1.3.2 城市污水再生利用的途径与水质要求 .....	10
1.4 城市污水再生回用的发展状况与前景 .....	18
1.4.1 国外污水回用的发展状况 .....	18
1.4.2 我国污水回用的发展历史与现状 .....	22
1.4.3 污水回用存在的问题及发展方向 .....	23
<b>第 2 章 城市污水再生处理单元工艺与新技术</b> .....	25
2.1 有机污染物的去除单元 .....	25
2.1.1 有机污染物的生物处理原理 .....	25
2.1.2 活性污泥法 .....	28
2.1.3 生物膜法 .....	31
2.2 脱氮单元 .....	34
2.2.1 生物脱氮机理 .....	34
2.2.2 废水生物脱氮工艺 .....	36
2.2.3 生物脱氮工艺的影响因素与主要参数 .....	38
2.3 除磷单元 .....	40
2.3.1 化学除磷技术 .....	40
2.3.2 生物除磷 .....	41
2.4 悬浮物与浊度的去除单元 .....	45
2.4.1 混凝技术 .....	45
2.4.2 过滤技术 .....	50
2.5 消毒单元 .....	56
2.5.1 消毒机理 .....	56
2.5.2 氯消毒 .....	57

2.5.3	二氧化氯消毒	59
2.5.4	臭氧消毒	60
2.5.5	紫外线消毒	61
2.5.6	次氯酸钠消毒	61
2.5.7	超声波消毒	61
2.5.8	电场消毒法	62
2.5.9	光催化氧化消毒法	63
2.5.10	协同消毒作用	63
<b>第3章</b>	<b>城市污水的回用方式、水质标准与典型流程</b>	<b>64</b>
3.1	生活杂用水回用	64
3.2	工业回用	65
3.2.1	回用循环冷却水	65
3.2.2	回用于生产工艺用水	66
3.3	农业回用	68
3.4	景观水体回用	71
3.5	地下水回灌	73
3.6	建筑中水	74
3.7	其他回用	75
<b>第4章</b>	<b>城市污水再生回用系统的规划、设计与评价</b>	<b>80</b>
4.1	概述	80
4.2	污水回用项目的目标多重性及规划方式	80
4.2.1	污水回用的目的	80
4.2.2	规划构想	81
4.2.3	规划阶段	81
4.2.4	规划范围的圈定	82
4.3	回用水市场评估与市场保证	83
4.3.1	再生水市场评价	83
4.3.2	供水背景	84
4.4	工程设计问题	85
4.4.1	工程问题	85
4.4.2	机构化可行性	87
4.4.3	市场保证	88
4.5	经济和财政分析	90
4.5.1	经济和财务分析的总构想	90
4.5.2	货币的时间价值	91
4.5.3	经济分析	91
4.5.4	再生水的收益来源和定价	97
4.5.5	敏感性分析和保守假定	97
<b>第5章</b>	<b>国内外城市污水再生利用工程实例与经验总结</b>	<b>98</b>
5.1	国内城市污水回用状况及工程实例	98

5.1.1	大连市污水回用工程	98
5.1.2	北京市污水回用工程	99
5.1.3	太原市污水回用工程	101
5.1.4	青岛市污水回用工程	104
5.1.5	泰安市污水回用工程	104
5.1.6	其他城市污水回用工程	105
5.2	国外城市污水回用状况及工程实例	106
5.2.1	美国污水回用状况	106
5.2.2	日本污水回用状况	109
5.2.3	以色列污水回用状况	111
5.2.4	其他国家污水回用状况	112
5.3	城市污水回用的工程经验总结与发展趋势	113
5.3.1	城市污水回用于农业灌溉	113
5.3.2	城市污水回用于工业用水	114
5.3.3	城市污水回用于娱乐景观用水	114
5.3.4	城市污水回用于地下水回灌	114
参考文献		116

## 第 2 篇 城市污水热能的回收利用

<b>第 1 章</b>	<b>概述</b>	117
1.1	城市低温热能资源	117
1.2	城市污水的热能特征	118
1.3	城市污水热能回收利用的意义	119
1.4	城市污水热能回收利用发展状况	119
<b>第 2 章</b>	<b>热泵原理与特性</b>	121
2.1	热泵工作原理	121
2.2	热泵的基本运行	122
2.2.1	制冷过程	122
2.2.2	压焓图 ( $p-H$ 图)	123
2.2.3	冷冻机的基础计算	125
2.2.4	冷媒	125
2.3	不同热源的热泵种类	127
2.4	热泵的特性	128
2.4.1	性能表示方法	128
2.4.2	能力特征	131
2.4.3	使用范围	133
<b>第 3 章</b>	<b>城市污水热能回收利用系统原理及方式</b>	134
3.1	热回收热泵系统	134
3.2	污水热源泵的组成及工作原理	135
3.3	城市污水热能回收与利用系统工作原理	136

3.4	城市污水热能利用的基本方式 .....	137
3.5	城市污水热能利用热力学分析 .....	138
3.6	其他水源热能回收系统 .....	139
3.6.1	中水热能回收系统 .....	139
3.6.2	河水、海水的热能回收系统 .....	139
3.7	热泵集中供热(冷)系统 .....	140
3.8	城市污水在融雪方面的热能利用 .....	142
<b>第4章</b>	<b>未处理城市污水热能回收技术分析</b> .....	<b>143</b>
4.1	未处理城市污水热能回收利用方式分类及特点 .....	143
4.1.1	泵吸式 .....	143
4.1.2	热交换方式 .....	144
4.2	未处理城市污水热能回收利用方式分析及比较 .....	148
4.3	未处理城市污水热能回收利用系统污水水质控制 .....	148
4.3.1	城市污水热能回收利用系统污水水质控制技术措施 .....	149
4.3.2	城市污水热能回收利用系统污水水质控制技术装置 .....	149
<b>第5章</b>	<b>城市污水热能回收利用系统评价指标体系</b> .....	<b>151</b>
5.1	城市污水热能回收利用系统评价指标体系构建的基本原则 .....	151
5.1.1	系统性原则 .....	151
5.1.2	层次性原则 .....	151
5.1.3	目标性原则 .....	151
5.1.4	客观性原则 .....	151
5.1.5	操作性原则 .....	151
5.1.6	前瞻性原则 .....	151
5.2	城市污水热能回收利用系统评价指标体系的结构框架 .....	152
5.3	城市污水热能回收利用系统评价指标的计算与分析 .....	153
5.3.1	城市污水热能回收利用系统节能性评价指标的计算与分析 .....	153
5.3.2	城市污水热能回收利用经济性评价指标的计算与分析 .....	154
5.3.3	城市污水热能回收利用系统环保性评价指标的计算与分析 .....	154
<b>第6章</b>	<b>城市污水热能回收利用系统运行状况分析</b> .....	<b>156</b>
6.1	以处理后的污水作为热源的城市污水热能回收利用系统的运行状况 .....	156
6.1.1	用于供暖时的运行状况 .....	156
6.1.2	用于空调制冷时的运行状况 .....	157
6.2	以未经处理的污水作为热源的城市污水热能回收利用系统的运行状况 .....	158
6.2.1	用于供暖时的运行状况 .....	159
6.2.2	用于空调制冷时的运行状况 .....	160
6.3	城市污水热能回收利用系统运行状况评价 .....	161
<b>第7章</b>	<b>我国城市污水热能回收利用可行性分析</b> .....	<b>162</b>
7.1	我国城市污水热能回收利用节能状况和经济性的分析 .....	162
7.1.1	计算和分析方法 .....	162
7.1.2	分析结果 .....	162

7.2 我国城市污水热能回收利用对减少大气污染的作用 .....	166
7.2.1 计算和分析方法 .....	167
7.2.2 分析结果 .....	168
<b>第8章 国内外城市污水热能回收利用研究与应用实例</b> .....	169
8.1 国内某城市污水热能回收利用研究实例 .....	169
8.1.1 试验流程及条件 .....	169
8.1.2 与其他供能方式的比较 .....	169
8.2 日本城市污水热能回收利用工程实例 .....	171
8.2.1 利用城市污水的热能供热和制冷 .....	171
8.2.2 直接利用城市污水的热能融雪 .....	173
<b>参考文献</b> .....	176

### 第3篇 城市污水污泥处理处置与资源化利用

<b>第1章 城市污水污泥特性及处理处置现状</b> .....	177
1.1 我国城市污水污泥的特性 .....	178
1.1.1 污泥中重金属离子含量 .....	178
1.1.2 污泥中营养物质含量 .....	179
1.1.3 污泥中的碳水化合物、脂肪和蛋白质的含量 .....	179
1.1.4 污泥的含能量 .....	180
1.1.5 污泥的 C/N 比 .....	180
1.1.6 污泥的 pH 值和酸碱度 .....	180
1.1.7 污泥所含的微生物 .....	181
1.1.8 污泥中的有毒有机物 .....	181
1.2 国内外城市污水污泥处理处置的现状 .....	181
1.2.1 我国城市污水污泥处理处置的状况 .....	181
1.2.2 我国城市污水污泥处理处置中存在的问题 .....	182
1.2.3 我国城市污水污泥处理处置对策 .....	185
1.2.4 国外城市污水污泥处理处置状况 .....	186
<b>第2章 常规的城市污水污泥处理处置方法</b> .....	187
2.1 污水污泥的处理 .....	187
2.1.1 污泥浓缩 .....	187
2.1.2 污泥稳定 .....	187
2.1.3 污泥脱水 .....	190
2.2 污水污泥的处置 .....	190
2.2.1 土地利用 .....	190
2.2.2 土地填埋 .....	191
2.2.3 污泥焚烧 .....	191
2.2.4 水体消纳 .....	192
<b>第3章 城市污水污泥处理新技术研究</b> .....	193
3.1 污水污泥的热干燥处理技术 .....	193

3.1.1	传统的污泥处理中需要解决的问题	193
3.1.2	污泥的热干燥处理	193
3.1.3	现行的污泥热干燥处理技术	194
3.1.4	污泥热干燥处理技术的应用分析	194
3.2	剩余污泥的好氧消化处理	195
3.2.1	污泥好氧消化的效能及机理研究	196
3.2.2	污泥好氧消化的活性参数及其相关性研究	200
3.3	超声波技术处理污水污泥	203
3.3.1	超声波降解有机物主要机理	203
3.3.2	利用超声波处理污水污泥	204
3.4	湿式氧化法	206
3.5	超临界水氧化法	206
3.5.1	超临界水 (SCW) 的性质及基本原理	206
3.5.2	超临界水氧化法处理废水废物的特点	207
3.6	辐射技术用于处理污水污泥	208
<b>第4章</b>	<b>城市污水污泥的资源化研究与利用</b>	<b>210</b>
4.1	污泥土地利用	210
4.1.1	农田利用	210
4.1.2	林地利用	211
4.1.3	园林绿化利用	212
4.1.4	用于严重扰动的土地改良	212
4.1.5	污泥土地利用应注意的问题	213
4.1.6	污泥土地资源化利用准则	216
4.2	污泥堆肥	217
4.2.1	概述	217
4.2.2	污泥堆肥工艺	218
4.2.3	污泥堆肥主要影响因素	219
4.2.4	污泥堆肥应用与研究	220
4.3	城市污水污泥直接热化学液化处理技术	223
4.3.1	概述	223
4.3.2	工艺过程的特征与分类	223
4.3.3	研究状况及进展	224
4.3.4	发展前景	227
4.4	城市污水污泥在其他方面的利用	228
4.4.1	污泥制动物饲料	228
4.4.2	污泥制吸附剂	228
4.4.3	污泥用于制造建材	229
4.4.4	污泥做黏结剂	229
<b>参考文献</b>		<b>230</b>

# 第1篇 城市污水的再生利用技术

## 第1章 概述

水在自然界中的循环运动即水的自然循环。在没有人类社会干扰的情形下，水的自然循环是良性的。大气中的水与地球表面的水通过降水过程及蒸腾作用相互循环补给；地表水与地下水通过渗流过程相互补给循环。降雨或积雪融化汇成径流，由江河汇集于湖海，再经蒸发到大气，而回到源头。在上述水的自然循环中，一些杂质会进入水中，而形成一定程度的污染，但在环境容量范围内，水的自净作用对污染可以起到足够的缓解作用，使水可以维持一定的洁净度。

人类社会的生活、生产离不开水，大量的水在人类取用后即进入了水的社会循环。用过的水被人类程度不同的污染后，一般被废弃并任其回到天然水体中。废水带入的杂质远远超过环境容量，而无法通过自净作用保持水质，导致天然水体的污染程度日益加剧，也使水的循环进入恶性状态。

上述情形是由于水的社会循环不完善造成的。长期以来，人类只重视取用水，而忽视了废水的处理与再用。但随着水环境的恶化，取用水也逐渐面临着由于原水变化而带来的安全问题、技术问题以及经济问题、社会问题等。因此人们已认识到，只有从优化水的社会循环着手，才可能从根本上解决水的资源与环境问题，保障人类社会的可持续发展。

在水的社会循环中，污水的再生与回用是一个最为关键的环节。污水经二级处理，排放的仍然是大量的污染水，仅仅是污染的程度得到一定减轻，经年累月的进入水体，仍然会导致水体污染的继续加剧。只有将大部分的废水经过再生处理后代替新鲜水再用，才能减少用水过程对新鲜水的污染量，同时也可以减少排放到水体中的污染物的量。因此，水的再生与回用既是开源也是节流，是水的可持续开发利用的重要保障。

### 1.1 城市污水资源的特征

#### 1.1.1 水资源状况及其特征

水在自然界通过蒸发、降水、下渗与径流等运动方式进行着周而复始的循环运动。水从地球表面蒸发，主要依靠地面蒸发、水面蒸发、海洋蒸发、叶面蒸发和截流蒸发等五种方式形成蒸汽，并在高空凝结。在一定的条件和环境下，凝结在空气中的水以降雨或降雪的方式下落到地球表面。降落在陆地上的水或是以地面径流的形式汇集成江河流入海洋或湖泊，或是以地下渗流的形式渗入江河湖泊和海洋。

水在自然界的循环过程中，水量虽然不会增加或减少，但这种循环却对地球的自然环境和人类的生存产生巨大影响。通过蒸发进入大气的水气是产生雨雪闪电的主要物质基础，空气中的含水量的多少，直接影响气候的湿润和干燥；降水形成的径流，冲刷和侵蚀地面，将平原切割成沟壑，山丘侵蚀为平原；水流搬运大量泥沙，堆积形成冲积平原，低洼地由于地

表水的蓄积形成湖泊或沼泽；渗入地下的水，溶解岩层中的物质，富集盐分，送入海洋；容易溶解的岩石受到水流强烈的侵蚀和溶解作用，形成岩溶等地貌；降水将大气中游离的氮素带到地面，滋养植物；陆地上径流将大量的有机物带入海洋，供养海洋生物。此外，水在自然界的这种循环也为人类利用水资源创造了基本条件。

自然界的水，其总量约为  $1.4 \times 10^{18} \text{ m}^3$ ，其中海洋占总水量的 94%，约为  $1.3 \times 10^{18} \text{ m}^3$ ，陆地上 6% 的水资源中有 4% 是深层水或高矿化度水，其水量约为  $5.5 \times 10^{16} \text{ m}^3$ ，其余 2% 为淡水。而这 2% 的淡水中又有近 1.7% 为冰川，仅有余下的 0.3%—— $0.47 \times 10^{16} \text{ m}^3$  的淡水开发条件较好，其中逐年更新的淡水仅占总剩余量的 1%，即全球总量的 0.003%。其绝对量约为  $4.7 \times 10^{13} \text{ m}^3$ ，这其中在一定经济技术条件下能为人们利用的又极为有限(表 1-1-1)。

表 1-1-1 地球水资源的分布

水的类型	体积/ $\text{km}^3$	占总水资源的比例/%
海洋	$1.32 \times 10^9$	93.7
咸水湖及内陆海	$1.04 \times 10^5$	0.008
大气中的水	$1.3 \times 10^4$	0.001
土壤及渗透水	$6.7 \times 10^4$	0.005
冰帽及冰川	$2.92 \times 10^7$	2.14
浅层地下水 (<800m)	$4.17 \times 10^6$	0.31
深层地下水	$4.17 \times 10^6$	0.31
河流	$1.25 \times 10^3$	0.0001
淡水湖	$1.25 \times 10^5$	0.009
合计	$1.4 \times 10^9$	100

### 1.1.1.1 我国水资源状况

我国水资源量包括地表水资源量和地下水资源量。地表水资源量是指河流、湖泊等水体的动态水量，通常用河川径流量来表示。我国水资源主要来自降水，水资源总量较为丰富，水利水部的调查统计表明，我国年平均降水总量约为  $6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，平均降水深 648mm，小于世界平均降水深 798mm 和亚洲平均降水深 741mm。有 45% 的降水转为地表和地下水资源量，其余 55% 的水量为植物蒸腾或地表水分蒸发所消耗。以河川径流量为代表的地表水资源约为  $2.7 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，折合径流深 284mm，地下水资源量约为  $8.3 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，扣除地表和地下水重复计算的  $7.3 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，水资源总量为  $2.8124 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，与河川径流量相似。我国湖泊的储水总量为  $7.6 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，其中淡水储量约占 28%，为  $2.17 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 。

我国河川年径流量位居世界第六位，按国土面积计算，平均每平方公里的产水量为世界陆地平均每平方公里产水量的 90% 左右，但由于人口众多，我国的人均占有水资源量仅有  $2300 \text{ m}^3$ ，不足世界人均占有水量的 1/4，列世界第 110 位；我国耕地每公顷平均水量约  $26250 \text{ m}^3$ ，只占世界平均值的 1/2。预计到 2030 年，中国人口接近 16 亿的高峰时，人均水资源仅有  $1760 \text{ m}^3$ ，即使在充分考虑节水的情况下，估计用水总量为  $7 \times 10^{11} \sim 8 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，要求供水能力比现在增长  $1.3 \times 10^{11} \sim 2.3 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 。扣除必须的生态环境需水后，全国实际可能利用的水资源量约为  $8 \times 10^{11} \sim 9 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，预计的用水量已经接近合理利用水量的上



限。不仅如此，我国水资源时空分布不均匀，淮河流域及其以北地区的国土面积占全国的63.5%，但水资源仅占全国总量的19%。此外，水资源的年内、年际分配严重不均，大部分地区60%~80%的降水量集中在夏秋汛期，洪涝干旱灾害频繁。

建国以来，我国进行了大规模的防治水害和开发利用水资源的工作，取得了巨大成就，但同时在水资源利用和管理方面也存在着许多问题：可利用的水资源量占水资源总量的比重小，对水资源的综合利用不够，地下水开采过量，水的浪费问题也十分突出，特别是北方水资源严重不足，根据《1997年中国环境状况公报》统计，20世纪70年代黄河断流的年份最长历时21天，1996年为133天，1997年长达226天。另外我国水污染现象普遍较严重，1997年我国7大水系、湖泊、水库、部分地区地下水受到不同程度污染。这都导致了我国可资利用的水资源日益短缺，水资源缺乏和水域污染已成为我国经济和社会发展的制约因素，我国也被联合国列为13个水资源贫乏的国家之一。我国缺水严重的城市如表1-1-2所示。

表 1-1-2 我国缺水严重城市统计资料

缺水城市/座 (全国: 114)		占缺水城市/%	占该地区城市的/%
南北分	北方地区: 71	62.3	30.0
	南方地区: 43	37.7	17.8
东西分	沿海地区: 48	42.1	25.0
	中部地区: 41	36.0	20.0
	西部地区: 25	21.9	25.0

注：资料来源为城市可持续发展与水污染防治对策。

衡量一个国家淡水资源储备多少的标准是：淡水消耗量占全国可用淡水的20%~40%的为中高度缺水国家，超过40%的为高度缺水国家。据统计，我国可利用的淡水资源平均 $11 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，按目前的正常需要和不超采地下水，我国年缺水总量在 $3 \times 10^{10} \sim 4 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。全国用水量低于日均10L或15L的严重缺水人口已达4700万人，100多个水资源缺乏的城市中有40个城市被列为水荒城市。全国农村约有500万人，3000万牲畜饮水困难。每年平均受害农田达20km<sup>2</sup>。根据水利部门调查分析，我国北方缺水地区总面积已达 $58 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，包括北京、天津、河北、山西、河南和山东等地。尤其是遇上干旱少雨的年份，常使河道干涸断流，水库储水锐减。水资源紧张严重阻碍了国民经济的发展、给人民的生活带来很大的不便。

随着经济和社会的高速发展，中国需水量将愈来愈大，预计到2030年左右人口达到高峰时，也将出现用水高峰，如果不采取有力措施，我国有可能在未来出现更严重的水危机，水资源问题已成为中国实施可持续发展战略过程中必须认真解决的重大问题。

#### 1.1.1.2 我国水资源的特点

我国地域辽阔，地处亚欧大陆东侧，跨高中低三个纬度区，受季风与自然地理特征的影响，南北、东西气候差异很大，致使我国水资源的时空分布极不均衡。

① 水量在地区上分布不均衡 我国南方地区，特别是广东、福建、浙江、湖南、广西、云南、西藏东南部等地区水系发达，水量丰沛，其水资源量占全国水资源总量的80%以上，人均水资源占有量为4000m<sup>3</sup>左右。而我国北方地区，如内蒙古、甘肃、宁夏、新疆西部和北部、东北西部等地区干旱少水，水资源严重缺乏，其水资源量仅占全国水资源总量的14%左右，人均水资源占有量仅为900m<sup>3</sup>左右，已低于国际水资源紧缺限度 ( $\leq 1000 \text{ m}^3$ )。