

水源污染与 饮用水处理技术

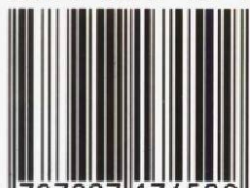
主编
副主编

杨威
左金龙
李俊生

哈尔滨地图出版社

责任编辑 周建英
封面设计 杨桂凤

ISBN 7-80717-450-1



9 787807 174509 >

ISBN 7-80717-450-1/X·16

定价: 32.00 元

水源污染与饮用水处理技术

SHUIYUANWURAN YU YINYONGSHUI CHULI JISHU

主 编 杨 威
副主编 左金龙 李俊生
参 编 车春波

哈尔滨地图出版社

·哈尔滨·

内 容 提 要

本书详细地介绍了水资源及利用情况,论述了取水工艺及设计、水泵站设计、给水预处理工艺、常规处理工艺、深度处理工艺、特殊水质处理工艺、给水处理工艺的选择、净水厂的选择与设计和工程应用等内容,具有较强的实用性和借鉴价值。

本书可以供给水排水、水污染控制、水资源保护的研究、规划、设计、施工等科研、管理人员参考,也可以供高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水源污染与饮用水处理技术/杨威主编.—哈尔滨:
哈尔滨地图出版社,2006.8
ISBN 7-80717-450-1

I.水... II.杨... III.①饮用水—供水水源—水
污染—研究②饮用水—水处理—研究 IV.①X52②
TU991

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 105671 号

哈尔滨地图出版社出版发行

(地址:哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮政编码:150086)

黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂印刷

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:22.75 字数:584 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印数:1~1 000 定价:32.00 元

前 言

水是人类生存和发展的生命线，是国民经济与生态环境的命脉，是实现可持续发展的重要物质基础。随着我国经济社会的发展，水资源短缺、水污染问题已成为制约国民经济可持续发展和直接影响人民健康的重要因素。水资源短缺不仅带来严重的经济损失，而且对水资源的过度开发、利用还造成一系列生态问题。在水资源短缺的同时，严重的水污染尚未得到有效遏制，更加剧了水资源供需矛盾与水生态系统的恶化。科学合理保护、开发水资源，实现水资源可持续利用，是保障经济社会可持续发展的重要条件。

全书共分为 9 章：第 1 章介绍水资源及其利用；第 2 章着重论述取水知识；第 3 章系统介绍水泵站设计；第 4 章着重论述预处理工艺；第 5 章介绍常规处理工艺；第 6 章着重论述深度处理技术；第 7 章系统地介绍特殊水质处理技术；第 8 章着重论述给水处理工艺。

本书由杨威主编。各章的主要编写人员分别为：第 1 章由车春波编写；第 2 章和第 3 章由李俊生编写；第 4 章、第 5 章和第 6 章由杨威编写；第 7 章、第 8 章由左金龙编写。

由于编写时间仓促，作者水平有限，书中难免有疏漏与不足之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2006 年 3 月

目 录

1 水资源及其利用	1
1.1 概述	1
1.1.1 世界水资源	2
1.1.2 中国水资源	3
1.1.3 水资源的开发和利用	3
1.2 地表水源	5
1.2.1 地表水资源概述	5
1.2.2 地表水资源及其分布	6
1.2.3 地表水性质	7
1.2.4 地表水资源的开发利用	9
1.3 地下水源	11
1.3.1 地下水分类	11
1.3.2 我国地下水资源	11
1.3.3 地下水资源的合理开采	24
1.4 水源防护和污染防治	25
1.4.1 水源的可靠性	25
1.4.2 保护水源的一般性措施	27
1.4.3 水源防护和污染防治	28
1.5 节约用水	39
1.5.1 引言	39
1.5.2 我国城市节水潜力分析	39
1.5.3 海水利用	41
1.5.4 城市节水管理	43
1.6 再生水回用	45
1.6.1 回用系统规划的原则和方法	45
1.6.2 回用分类和水质要求	46
1.6.3 再生水回用处理工艺	48
1.6.4 再生水的安全性、稳定性、腐蚀性	49
1.7 人工回灌地下水	50
1.7.1 人工回灌地下水的类型	50
1.7.2 两用井项目可行性研究	51
1.7.3 人工回灌井的设计	55
1.8 回灌井的堵塞与恢复	62
2 取水	64
2.1 一般地表水取水	64
2.1.1 设计资料	64

2.1.2	水文计算.....	66
2.1.3	取水构筑物的分类.....	67
2.1.4	取水构筑物设计原则及位置选择.....	68
2.1.5	取水头部.....	69
2.1.6	进水管(梁).....	71
2.1.7	集水井.....	72
2.2	高水位差取水构筑物.....	73
2.2.1	移动式取水构筑物.....	74
2.2.2	固定式取水构筑物.....	75
2.2.3	取水节能.....	76
2.3	高浊度水取水构筑物.....	77
2.3.1	选择高浊度水源取水口位置的基本要求.....	77
2.3.2	取水构筑物形式的选择.....	80
2.3.3	取水构筑物的防泥砂措施.....	85
2.3.4	水泵的选择.....	90
2.3.5	取水构筑物的防草、防冰冻.....	90
2.4	寒冷地区取水构筑物.....	92
2.4.1	我国北方寒冷地区水源特点.....	92
2.4.2	寒冷地区取水构筑物主要形式及其取水口位置选择.....	94
2.4.3	严寒地区取水口防冰絮、防杂草和漂浮物的有效措施.....	95
2.4.4	寒冷地区设计取水构筑物应注意的问题.....	95
2.5	湖泊、水库取水构筑物.....	96
2.5.1	湖泊、水库水源的特点.....	96
2.5.2	湖泊、水库的取水口位置和深度的选择.....	98
2.5.3	湖泊、水库取水构筑物形式.....	99
2.6	地下水取水构筑物.....	100
2.6.1	设计原则.....	100
2.6.2	设计资料收集与现场踏勘.....	100
2.6.3	地下水取水构筑物的类型.....	100
2.6.4	管井.....	101
3	水泵站.....	105
3.1	水泵类型及选型.....	105
3.1.1	水泵类型.....	105
3.1.2	离心泵.....	105
3.1.3	轴流泵.....	107
3.1.4	混流泵.....	108
3.1.5	水泵选型.....	109
3.2	泵站节能及水泵调速.....	110
3.2.1	泵站运行工况分析.....	110

3.2.2 泵站节能.....	111
3.2.3 调速水泵的选择与比较	113
3.2.4 水泵调速方法.....	115
3.3 水泵进水及流道布置.....	117
3.3.1 吸水池内旋涡的形成及防治.....	117
3.3.2 前池、吸水井及各部分尺寸的确定	119
3.3.3 大中型水泵的进水流道	119
3.4 泵房布置	121
3.4.1 泵房布置一般要求	121
3.4.2 布置形式.....	123
3.4.3 进、出水管路布置	123
3.4.4 附属设施.....	124
4 预处理工艺	127
4.1 高浊度水预沉淀.....	127
4.1.1 条渠沉砂池.....	127
4.1.2 平流式沉淀池.....	128
4.1.3 辐流式沉淀池.....	129
4.1.4 斜管板沉淀池.....	130
4.1.5 旋流絮凝沉淀池.....	131
4.2 化学预氧化.....	132
4.2.1 化学预氧化作用	132
4.2.2 臭氧氧化.....	133
4.2.3 高锰酸钾预氧化.....	137
4.2.4 其他化学预氧化.....	142
4.3 生物预处理.....	144
4.3.1 生物预处理净水技术	144
4.3.2 颗粒填料生物接触氧化预处理.....	145
4.3.3 弹性填料生物接触氧化预处理.....	150
4.3.4 富营养化水源水的生物预处理.....	153
4.3.5 粉末活性炭投加方法	157
5 常规处理工艺	161
5.1 混凝	161
5.1.1 混凝过程.....	161
5.1.2 混凝药剂.....	163
5.1.3 混凝剂的配制与投加	167
5.1.4 混合设施.....	171
5.2 絮凝	172
5.2.1 絮凝过程.....	172

5.2.2	絮凝池的分类和选择	173
5.2.3	絮凝池的设计	175
5.3	沉淀	179
5.3.1	沉淀池的分类和选用	179
5.3.2	平流沉淀池	181
5.3.3	斜管沉淀池	183
5.3.4	斜板沉淀池	184
5.3.5	波形斜板沉淀装置	186
5.4	澄清	187
5.4.1	澄清池的分类和选用	187
5.4.2	机械搅拌澄清池	189
5.4.3	水力循环澄清池	192
5.4.4	脉冲澄清池	194
5.5	气浮	197
5.5.1	气浮净水的分类	197
5.5.2	气浮机理	198
5.5.3	压力溶气气浮工艺的流程与特点	199
5.5.4	压力溶气系统	199
5.5.5	溶气释放系统	201
5.5.6	气浮分离系统	202
5.5.7	设计要点及设计参数	203
5.5.8	气浮净水的发展趋势	204
5.6	过滤	205
5.6.1	过滤机理	205
5.6.2	滤池分类	206
5.6.3	滤料	206
5.6.4	滤池反冲洗	207
5.6.5	滤池配水系统	208
5.7	消毒	209
5.7.1	氯消毒	209
5.7.2	二氧化氯消毒	214
5.7.3	臭氧消毒	218
6	深度处理	225
6.1	活性炭吸附	225
6.1.1	活性炭特性	225
6.1.2	活性炭作为饮用水深度处理的作用	228
6.1.3	活性炭用于饮用水深度处理系统中的使用条件及影响因素	229
6.1.4	活性炭吸附的水处理工艺流程及构筑物选型	230
6.1.5	设计要点及数据	232

6.1.6 活性炭再生	233
6.2 臭氧-活性炭生物吸附	233
6.2.1 臭氧-活性炭技术的发展	233
6.2.2 臭氧-活性炭吸附机理	235
6.2.3 臭氧氧化-生物活性炭过滤工艺选择及臭氧氧化构筑物选型	238
6.2.4 工程设计实例以及运行情况	240
6.3 膜处理	242
6.3.1 电渗析	242
6.3.2 微滤	249
6.3.3 反渗透和纳滤	255
7 特殊水质处理	260
7.1 除氟	260
7.1.1 饮用水除氟技术概述	260
7.1.2 活性氧化铝除氟技术	264
7.1.3 电渗析除氟技术	271
7.2 除铁除锰	274
7.2.1 除铁	274
7.2.2 除锰	277
7.2.3 单元处理构筑物	279
7.3 水质稳定处理	282
7.3.1 概述	282
7.3.2 水质稳定性指标	283
7.3.3 水质稳定处理	284
8 给水处理工艺选择	288
8.1 水质标准	288
8.1.1 我国水质标准	288
8.1.2 国外水质标准	289
8.2 常规水处理工艺	290
8.2.1 给水处理的目的和要求	290
8.2.2 主要给水处理工艺	291
8.2.3 给水工艺选择原则	292
8.2.4 水处理工艺选择的试验	292
8.2.5 常规水处理工艺	293
8.2.6 强化常规水处理	295
8.3 高浊度水处理工艺	296
8.3.1 工艺流程选择因素	297
8.3.2 高浊度水处理流程	298
8.4 低温低浊水处理工艺	300

8.4.1 低温季节时水质难处理的原因.....	300
8.4.2 低温低浊水处理方法	301
8.5 微污染水处理工艺	301
8.5.1 加强常规处理	301
8.5.2 生物预处理—生物接触氧化法.....	301
8.5.3 后处理.....	301
8.6 富营养化湖泊水处理工艺	301
8.6.1 富营养化湖泊水的水质和水处理问题.....	301
8.6.2 富营养化湖泊水的处理工艺.....	301
9 净水厂	301
9.1 净水厂布置.....	301
9.1.1 净水厂布置一般要求	301
9.1.2 平面布置的主要形式	301
9.1.3 平面布置的影响因素	301
9.1.4 平面布置的要素	301
9.2 净水厂污泥处置.....	301
9.2.1 净水厂污泥来源和组成	301
9.2.2 排泥水处理工艺流程	301
9.2.3 排泥水的截留	301
9.2.4 排泥水的浓缩.....	301
9.2.5 污泥预处理	301
9.2.6 污泥脱水.....	301
9.2.7 分离水和泥饼的最终处置.....	301
9.3 净水厂过程检测仪表.....	301
9.3.1 过程检测仪表的基本概念.....	301
9.3.2 流量测量.....	301
9.3.3 液位测量.....	301
9.3.4 压力(差压)测量	301
9.3.5 温度测量.....	301
9.3.6 水质分析仪表.....	301
9.3.7 显示调节仪表	301
9.4 净水厂自动控制.....	301
9.4.1 净水厂自动控制的基本原则及其发展方向	301
9.4.2 控制及常用控制设备	301
9.4.3 模拟及自动调节系统	301
9.4.4 分散型控制系统(DCS).....	301
9.4.5 可编程序控制器(PC).....	301
9.4.6 自动控制系统设计	301
参考文献	301

1 水资源及其利用

1.1 概述

水是生命的源泉，是社会发展和人类进步的重要物质，是生态环境系统中最活跃和影响最广泛的因素，是工农牧副业生产不可取代的重要资源。因此，在世界人口不断增长，城市建设和工农业迅速发展，以及人民生活水平日益提高的今天，世界各国把水当做一种宝贵的资源去研究、开发、利用和保护，以便合理、长期满足各个方面不断递增的用水需求，促进社会经济持续发展和人民生活水平不断提高。

水资源一词很久以前就已经出现，并随着时代发展不断丰富和发展。1894年美国内务部地质调查局设立水资源处（WRD），主要是测量和记录地表水和地下水，1972年成立国际水资源协会（IWRA），主要是解决水资源规划、开发、管理等方面的科学技术问题，包括水资源施工和管理运行、防治水旱灾害等。

水资源可以理解为人类在长期的生存、生活和生产过程中所需要的各种水，既包括了数量和质量上的定义，又包括它的使用价值和经济价值。水资源的概念有广义和狭义之分。

狭义上，水资源是指人类能够直接利用的淡水。也就是自然界水循环过程中，大气降水落到地面后形成的径流，流入江河、湖泊、沼泽和水库中的地表水，以及渗入地下的地下水。人类常用它来满足工业、农业和生活等方面的需要。

广义上，水资源是指人类能够直接或间接使用的各种水和水中的物质，能作为生产资料和生活资料的天然水，在社会生产中具有使用价值和经济价值的水都可称为水资源。具体说，是指地球上所有淡水和咸水，既包括天然水，又包括通过工程措施和生物措施取得的水。

本章中的水资源一般指能利用的淡水和海水资源。

地球上的水广泛分布于空中、地面和地下，有海洋、河流、湖泊、沼泽、冰川水、大气水、地下水、土壤水和生物水。总水量估计为 $138\,598\text{ 万 km}^3$ ，其中海洋水占 96.54%，地下水占 1.69%，冰川和永久积雪占 1.74%，湖泊水、沼泽水占 0.013 8%，江河水占 0.000 2%，生物水占 0.000 1%，大气水占 0.001%。在总储量中，海水、湖泊、河、地下水的咸水占 97.47%，剩余为淡水，有 $3\,502.92\text{ 万 km}^3$ 占 2.53%。淡水中有 69.56% 为固体状态，大部分储存于南极、北极岛屿、高山和北半球冰冻层内；其次为地下水，占淡水量的 30.1%，主要分布于在地面至深度 2 000 m 的地壳中的那部分淡水；其余为河流、湖泊和沼泽的淡水以及大气水等。

计算淡水资源时，常常以天然流域为单位，其中主要计算流域的降水量、河川径流量和地下径流量。

地球总面积约为 $51\,000\text{ 万 km}^2$ ，其中海洋面积约为 $36\,100\text{ 万 km}^2$ ，占全球面积的 70.8%，陆地面积为 $14\,900\text{ 万 km}^2$ ，仅占全球面积的 29.2%。而海洋水储量占地球总水量的 96.5%，陆地表面的水量与海洋相比是微不足道的。

地球上的水不是静止的，而是不断变化和相互交换的。在太阳辐射和地心吸力的作用下，地球上各种形态的水从海洋面、江河面、湖沼面、陆地面和植被面蒸发、散发变成水汽，上升于空中，或滞留在空中，或被气流带到其他地区，在适当的条件下凝结，然后以降水形式

落到海洋面或陆地表面。到达地面的水，在重力作用下，部分渗入地下形成地下径流、部分形成地表径流流入江河，回归海洋，还有一部分重新蒸发到空中。水分这样往返循环，不断转移交替的现象叫水循环。其中，地球海陆之间的水分交换为大循环；海洋或陆地的水汽上升遇冷凝结后又重新降落到海洋或陆地上，这种水循环称小循环。

1.1.1 世界水资源

1.1.1.1 水资源概况

在全球水储量中，淡水储量只占全球水储量的 2.53%，而总淡水量中绝大部分又是储存在高山冰川、两极冰川、永久积雪和深层地下水中，这些就占去淡水总量的 98.7%。与人类生活关系最密切的河流水储量只占全球水储量的 0.006%，而淡水湖泊中的淡水，总共不过占淡水总量的 0.256%。因此，淡水资源是不多的。但是，河流淡水积极参加水循环，每年更新量较大，作为淡水资源潜力的全球年径流量为 4.7 万 km^3 ，其中河川年径流量约为 4.45 km^3 ，而冰川年径流量约有 0.25 万 km^3 ，另外在内陆区河流约有 0.1 万 km^3 的径流量，这些内陆河流排入内陆湖泊或沼泽。在全部径流量中，由于地域和径流的年际变化等因素的影响，适于人类经济活动区域的径流量只有总径流量 40%，全球水资源分布如下：

(1) 各大洲分布不均匀

世界各大洲自然条件不同，降水和径流的差异也较大。以年降水和年径流的厚度计算，大洋洲各岛（除澳大利亚外）水量最丰富，多年平均年降水量达 2 700 mm，年径流深 1 500 mm 以上，但大洋洲的澳大利亚大陆却是水量最少的地区，其年降水仅 456 mm，年径流深只有 39 mm，有 2/3 的面积为荒漠或半荒漠。南美洲水量也很丰富，年径流深为全球鲁斯平均值的两倍。欧洲、亚洲和北美洲的降水和径流都接近全球路面的平均值。非洲大陆有大片沙漠，气候炎热，虽然降水接近世界平均值，但年径流深却不及世界平均值的一半。南极洲的降水量不多，但由于冬季气温极低，夏季云层和冰面反射强度大，冰原大陆的全年辐射平衡是负值，全洲蒸发量平均值可视为零，全部降水以冰雪形态储存，总储量相当全球淡水总量的 61.7%，其径流形式为冰流量和冰雪融水量。

(2) 各大洲人均占有量相差大

世界水资源在全球分布是不均匀的，而人类居住的地理位置，集中程度与水资源分布也不相称。从各大洲水资源的人均及单位耕地面积平均值表来看，1986 年人均水资源量为 9 531 m^3 ，其中亚洲水资源占有量最多，但人口也最多，人均水资源占有量少，仅 5 031 m^3 ；其次是欧洲，为 6 498 m^3 ，而大洋洲、南美洲人均值最高，分别达 95 761 m^3 与 43 018 m^3 。各洲最小人均水资源占有值相差 18 位。

(3) 不同国家径流占有量相差更大

全球河川径流量最大的几个国家有巴西、原苏联、加拿大、美国、印度尼西亚和中国等。加拿大每人占有量为 106 735 m^3 ，是世界平均数的 12.8 倍；巴西每人占有 33 766 m^3 ，是世界平均数的 4.1 倍；中国每人占有量仅为 2 262 m^3 ，为世界平均数的 1/4。每亩耕地平均水量最高的是印度尼西亚，为 10 943 m^3 ，为世界每亩平均数的 4.7 倍，中国每亩得水为 1 904 m^3 ，只占世界平均数的 82%。

世界资源研究所提供的“1987 年人均水资源丰富和水资源贫乏的国家”资料表明。人均

占有径流量最大的国家是冰岛，高达 $685\,480\text{ m}^3$ ，人均占有最少的仅为 20 m^3 ，相差 34 200 倍。中国和加拿大该年的径流总量大致相等，但中国的人口为加拿大的 40 倍，因此人均流量仅有其 2.1%。新加坡是一个城市化的多雨的岛国，单位面积径流量大，径流深达 $1\,053\text{ mm}$ ，但其国土面积小，人口集中，人均占有径流量仅 230 m^3 ，仍为十分缺水的国家。

1.1.2 中国水资源

我国水资源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、冰川、沼泽等水体的动态水量，一般用河川径流量综合反映。

我国水利水电部根据 1956~1979 年 24 年全国同期系列资料分析得出，全国多年降水总量为 $61\,889\text{ 亿 m}^3$ ，平均年降水深 648 mm ，小于全世界陆地平均降水深 798 mm ，也小于亚洲平均年降水深 741 mm 。多年平均河川径流总量 $27\,115\text{ 亿 m}^3$ ，平均年径流深 284 mm ，多年平均年地下水资源量 $8\,288\text{ 亿 m}^3$ ，扣除两者之间重复计算水量 $7\,279\text{ 亿 m}^3$ ，全国多年平均年水资源量为 $28\,124\text{ 亿 m}^3$ 。其全国水资源总量仅比河川径流总量多 3.7%，因此，河川径流量的特征基本能反映出水资源的变化特征。

受海陆位置、水汽来源、气候、地形地质条件等因素的影响，我国水资源的地区分布，多年变化、年内分配十分复杂，其详情见以下各节。

1.1.3 水资源的开发和利用

人类对水资源的开发和利用分两大类：一类是从水源取走所需的水量，满足人民生活 and 工农业生产需要后，数量有所消耗，质量有所变化，从另外地点回归水源。另一类是用水能进行发电，发展水运、水产和水上游乐，保持生态平衡，这种利用不需要从水源引走水量，但需要河流、湖泊、河口保持一定的水位、流量和水质。本章所讨论的水资源利用情况主要是第一类用水形式。

1.1.3.1 水资源的供给和利用

早期对水资源的开发利用，主要是在农业、航运、水产养殖和水能利用等方面。直到 20 世纪初，随着世界人口高速增长及工农业生产发展，工业和城市生活用水迅速增加，水资源的消耗越来越大。世界用水量逐年增长，1900~1975 年，每年平均以 2.72% 的增长速度增长，到 2000 年，世界总用水量预计将达到 $60\,000\text{ 亿 m}^3$ ，占世界总径流量的 2.8%，其中一半以上在利用中，以蒸发、散发等形式被消耗掉。

从世界一些国家的用水情况来看，美国年用水高达 $4\,676\text{ 亿 m}^3$ ，人均用水量达 $2\,190\text{ m}^3$ ，中国年用水量次之，1980 年为 $4\,437\text{ 亿 m}^3$ ，是世界人均值 744 m^3 的 60%。到 1997 年中国年用水总量为 $5\,566\text{ 亿 m}^3$ ，人均值仍为 450 m^3 ；2000 年，总用水量降至 $5\,498\text{ 亿 m}^3$ ，人均值降为 430 m^3 ，从 1980~2000 年的实际运行情况来看，中国 20 年总用水量增长率仅为 1.08%，远低于预计水平，而工业和城镇用水量增长率则高达 4.67% 和 7.53%，说明此期间中国城镇经济及其人口增长十分迅速。

将世界供水设施和各种用水情况简述如下：

(1) 世界蓄水等供水设施概况

为了开发和利用水资源,自 20 世纪初以来,世界蓄水供水工程大量增加,大批蓄水工程如上百亿立方米库容的特大型水库不断建成,大规模的地区引水、提水、地下水开采和供水水厂等工程正在世界各地不断实施和建成。在 20 世纪 50 年代后期,开始发展海水淡化工程,1975 年全世界建成大型淡化海水厂 386 座,每天淡化海水 130 万 m^3 ,到 1988 年每日淡化海水能力为 800 万 m^3 ,其成本目前约为自来水成本的 5 倍左右。下面着重介绍世界蓄水工程的状况。

人工修建的水库,具有天然湖泊的各种功能,能调节径流,蓄洪防洪。到 20 世纪 80 年代初期,世界已建成数十万座大中小型水库等蓄水工程,总库容共 50 000 亿 m^3 ,有效库容为 30 000 亿 m^3 ,总库容占全球年径流量的 10.6%。库容大于 100 亿 m^3 的水库,全世界有 97 座,其中原苏联有 32 座,加拿大 17 座,巴西 10 座,美国 8 座,中国 5 座。非洲的乌干达、坦桑尼亚、肯尼亚的维多利亚水库总库容最大,达 2 048 亿 m^3 ,有效库容 680 亿 m^3 ,水库面积 76 000 km^2 ;加纳的沃尔特水库总库容为 1 480 亿 m^3 ,有效库容达 900 亿 m^3 ,水库面积为 8 480 km^2 。有些水库总库容很大,而有效库容很小,如原苏联乌斯季—伊利姆期克水库总库容为 594 亿 m^3 ,有效库容仅 28 亿 m^3 。

(2) 农业用水

农业是用水大户,历年世界农业用水量占全部用水量的 60% 以上,它包括灌溉用水、农村人畜用水等。农业灌溉用水一般占农业用水的 90% 左右,不同的自然条件,不同的农作物组成和不同的灌溉方式,用水量的大小均有差别。1975 年世界实际灌溉面积 630 万 hm^2 。美国每亩耕地平均用水量 669 m^3 (1974 年),原苏联为 659 m^3 (1975 年),中国为 583 m^3 (1980 年),日本较高达到 1 157 m^3 /亩。在一些干旱而灌溉技术先进的国家发展了滴灌、渗灌、喷灌等节水农业技术,每亩灌溉用水量可降到 60~200 m^3 ,如以色列在 20 世纪 80 年代初已有 26% 耕地采用滴灌、渗灌(微灌)等先进技术。

(3) 工业用水

工业用水一般是指工、矿企业生产过程中,用于制造、加工、冷却、空调、净化、洗涤等方面的用水。工业用水最多的国家是美国,年用水量达 2 033 亿 m^3 ,其次是原苏联,中国在 1980 年为 457 亿 m^3 ,2000 年为 1 138 亿 m^3 ,居世界第三位。

工业用水的消耗水量比农业少,世界工业的消耗水量平均仅占用水量的 4%~7%,而农业的消耗水量平均高达 75% 左右。工业的用水量可以增加回收用水设施,提高用水的重复利用率,节约用水。一些国家的工业用水重复利用率增长比较快,到 20 世纪 80 年代已达 70%~87%,中国工业用水重复率 1980 年时约为 20%~30%,1988 年为 40%,到 1997 年增加到近 63%。我国城市工业用水重复率地区差别大,北方缺水城市重复率可达 70%~85%,而南方城市特别是沿江水源充足的城市如广州、重庆等城市,工业用水重复率仅在 30%~40%。从万元产值用水量来看,1982 年全国一般工业平均为 635 m^3 /万元,2000 年已降到 78 m^3 /万元,说明我国工业的用水的水平和效率正在逐步提高。

(4) 城镇生活用水

城镇生活用水包括居民日常生活用水(饮用、洗涤等室内用水和洗车、绿化等室外用水)和公共设施用水(浴室、商店、旅馆、学校医院、机关、单位、市政绿化、清洁和消防等用水)。城市生活用水量占总用水量的比例各国区别很大,英国高达 31%,日本、波兰占 14%,中国 1980 年仅占 1.5%,2000 年占 5.2%,低于世界平均水平。

城市人均生活用水量随着城市现代化水平的提高而增加，以日本为例，1965 年人均日用水量 169 L，到 1983 年增加到 298 L，年平均增长率为 3.2%，而同期总用水量的年增长率为 4.9%，中国城市公用供水系统人均日生活用水量由 1979 年的 121.8 L 到 1997 年的 209.8 L，年增长率为 3.07%。中国行政设市的城市到 1997 年已发展到 668 个（未包括台湾、香港和澳门），城市日供水能力已达 2.06 亿 m³，年总供水量达 476.78 亿 m³（其中市政公用供水系统供水量 269.28 亿 m³，单位自建设施供水 207.50 亿 m³）。供给城市生产用水 257.52 亿 m³，生活用水 175.72 亿 m³，用水人口达 2.255 亿人，人均日生活用水量为 213.5 L，略高于公用供水系统人均日生活用水量。

1.2 地表水源

1.2.1 地表水资源概述

地表水资源量是指河流、湖泊、冰川等水体的动态水量，一般用河川径流量综合反映，大气降水是地表水体的主要补给来源，在一定程度上反映水资源的丰枯情况。

在一个流域片内，如果忽略不计从地下水进出的潜水量，则根据多年均衡情况可建立下列水量平衡方程式：

$$P = R + E$$
$$W = R + R_g - R_t$$

式中：P—降水量；

R—河川径流量；

E—蒸发量；

W—水资源总量；

R_g—地下水补给量；

R_t—重复水量。

此关系式表示的是降水与河川径流量之间的相互关系。降水是水资源的收入项，河川径流及蒸发是支出项。通常人们所说的地表水资源基本上就是河川径流量。

式中 R_t 为重复水量，这是由于地表水和地下水相互联系又相互转化，河川径流量中一部分是由地下水补给的，而地下水补给量中也有一部分来源于地表水的入渗。因此，在计算水资源总量时，应扣除相互转化重复计算的水量。

一般将水量 P 和河川径流量 R 根据各流域水文监测资料算出。因此公式中蒸发量 E 可用降水量 P 减去河川径流量 R 求得。

以上简要说明了降水量、河川径流量、水资源量之间的关系。

1.2.2 地表水资源及其分布

1.2.2.1 河流水资源

我国江河众多,流域面积在 100 km^2 以上的河流约 50 000 多条,流域面积在 $1\ 000\text{ km}^2$ 以上的河流约 5 800 多条。

我国按流域水系划分为 10 大片,即黑龙江流域片、辽河流域片、黄河流域片、海滦河流域片、淮河流域片、长江流域片、珠江流域片、浙闽台流域片、西南诸河片、内陆诸河片。

按河川径流循环的形式,河流可分为直接注入海洋的外河流和与海洋沟通的内陆河两大类。根据我国河流情况,可分为太平洋、印度洋、北冰洋和内陆河四大流区,我国外流区的河流流域面积约占全国总面积的 65.2%,内流区约占 34.8%。其中内陆河塔里木河河长在国内排第 7 位,流域面积排第 10 位,它是我国第一大内陆河。

入海水量是外流区河流经流域内各种消耗后的剩余水量,它与天然径流相比,可以大致反映河川径流的利用程度。随着我国工农业生产的不断发展和人民水平的不断提高,用水量连年增加,因此,入海水量有逐渐减少的趋势,这一趋势在北方河流中更加明显。

1.2.2.2 湖泊及水库水资源

湖泊及水库是地表水资源的一部分。湖泊分类有两种方法:按照湖泊所在的流区分类,可分为外流湖区和内流湖区湖泊;按照湖水中化学成分分类,可分为淡水湖和咸水湖两大类。

根据湖泊地理分布的特点,全国可划分为 5 个主要湖区,即青藏高原湖区、东部平原湖区、蒙新高原湖区、东北平原及山地湖区、云贵高原湖区等。

青藏高原湖区湖泊一般湖水较深,湖面高程大多在海拔 $4\ 000\text{ m}$ 以上。全区湖泊面积 $36\ 889\text{ km}^2$,占全国湖泊总面积的 51.4%,大多数为咸水湖,仅青藏高原东部和南部的外流湖为淡水湖。著名湖泊有青海湖、鄂陵湖、扎陵湖、纳木错、奇林湖、班公湖、羊卓雍错等。

东部平原区湖区范围包括长江、淮河中下游、黄河、海河下游湖泊分布区。湖泊面积 $21\ 641\text{ km}^2$,占全国湖泊总面积的 30.2%。著名湖泊有鄱阳湖、洞庭湖、太湖、洪泽湖、巢湖等。

蒙新高原湖区范围包括长江、淮河中下游、内蒙古、新疆维吾尔自治区及河北省西北部湖泊分布区。湖泊面积 $9\ 411\text{ km}^2$,占全国湖泊总面积的 13.1%。著名湖泊有呼伦湖、博斯腾湖等。

东北平原及山地湖区湖泊面积 $2\ 366\text{ km}^2$,占全国湖泊总面积的 3.3%。著名湖泊有镜泊湖、五大连池、兴凯湖(中俄界湖)、长白山天池(中朝界湖)等。

云贵高原湖区湖泊面积 $1\ 108\text{ km}^2$,占全国湖泊总面积的 1.5%。著名湖泊有滇池、洱海、抚仙湖、泸沽湖等。

1.2.2.3 冰川水资源

我国是世界上中低纬度山丘分布最广的国家之一,我国山丘冰川面积占世界亚洲山丘冰川的 $1/2$,占世界的 $1/4$ 。

我国冰川分布在西北、西南地区,其范围南起云南的玉龙雪山、北抵新疆的阿尔泰山,西起帕米尔高原,东至青海的阿尼玛卿山。分布在西藏、新疆、青海、甘肃、四川和云南等省(自治区)的高山上。我国冰川面积有 $5.852\ 3\text{ 万 km}^2$,占全球冰川面积 22.75% 的 0.35%,约占我国面积的 0.6%,其冰川总储量为 $50\ 000\text{ 亿 m}^3$ 。冰川消融时期形成的水流在出山口汇