

北京市可持续发展科技促进中心专项资助

S e w a g e P r o c e s s & A p p l i a n c e

污水处理与应用

邹雪 白玉星 高建岭 王晓纯 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

S e w a g e P r o c e s s & A p p l i a n c e

污水处理与应用



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书全面阐述了水资源在人类生活和生产活动中的重要作用。全书共分四章，主要内容包括水资源与水污染概述、污水处理与再利用的常用技术、国外污水处理与再利用应用实例、我国污水处理与再利用工程实例等部分。作为本书的一大特色，全面介绍了美国、欧洲、日本等工业发达国家对水资源保护和水环境治理的经验，对我国环境保护管理部门和环保工作者有重要的参考价值。

本书可作为高等院校环境工程专业的教材，也可作为水污染防治工作人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

污水处理与应用/邹雪等编著. —北京: 中国电力出版社, 2009

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8920 - 2

I. 污… II. 邹… III. 污水处理 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 088531 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 6 月第一版 2009 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 7.75 印张 180 千字

印数 0001—2000 册 定价 22.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

进入 21 世纪以来,城市建设和工农业生产迅速发展,既给人类带来了日益丰富的物质文化生活,同时也给周围的环境和资源带来了巨大压力。水资源和水环境作为与人类社会最为密切的资源、环境条件之一,也面临总量短缺和水体污染严重等难题,在许多国家和地区,水资源匮乏、水污染正成为制约其经济和社会发展的瓶颈。

早在 20 世纪初,各国就积极开展预防与治理水污染的实践,并逐步探索出了以物理、化学和生物等处理方法为主体的水污染治理手段。此外,在水资源可持续发展这一理念的影响下,人们逐步意识到污水就如同放错了地方的垃圾,经过处理可以作为第二水源而被再利用于工农业生产及日常生活,于是有了污水回用的长足发展。正是在政府和这些水污染防治工作者以及所有关心环保事业的人们的工作共同努力下,才使像莱茵河这样污染严重的河流再现生机与活力。然而,要使我们的人居环境更加和谐健康,真正实现青山绿水式的理想家园,仍然需要我们每一位公民共同努力。

本书共分四章:第一章主要介绍全球的水资源概况和水体污染情况;第二章结合具体工程实例介绍污水处理与再利用的原理和常用技术;最后两章则主要通过国内外水处理与回用的实践案例,使读者对污水处理相关知识有一个直观和全面的认识。为了方便读者了解水处理方面国内外的资源和信息,书的最后还附有中英文对照的污水处理常用词汇。

本书在编写过程中得到了北京市可持续发展科技促进中心的指导和资助,在此表示感谢;对在本书编著过程中参加资料收集和整理的研究生李欣、王俊鹏、张月强和孟庆娟同学表示感谢。对担任本书主审并提出许多建设性意见的北京交通大学土木建筑工程学院李进教授表示感谢!本书所列的参考文献为编写本书提供了大量有益的资料和数据,在此也向这些文献的作者表示谢意。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 水资源与水污染概述	1
1.1 水资源概述	1
1.2 水危机与水污染	13
1.3 解决水体污染的途径	21
第二章 污水处理与再利用的常用技术	23
2.1 污水的来源和分类	23
2.2 污水处理的常用技术	26
2.3 污水再利用	39
2.4 污水处理厂简介	41
第三章 国外污水处理与再利用应用实例	48
3.1 美国污水处理与回用	48
3.2 德国的水污染控制	62
3.3 荷兰的污水处理与再利用	75
3.4 日本的污水处理与再利用	84
第四章 我国污水处理与再利用工程实例	92
4.1 引言	92
4.2 北京市高碑店污水处理厂的污水处理实例	96
4.3 奥运场馆和奥林匹克森林公园——“绿色”与“科技”的完美结合	99
4.4 北京双紫园小区雨水收集与利用示范工程	102
4.5 清洁生产实例——阜阳化工总厂	103
4.6 北京市燕山石化公司的污水处理与回用实践	105
4.7 北方工业大学的中水回用系统	106
附录 1 水污染与水处理常用专业词汇（中英文对照）	109
附录 2 节水小常识	112
参考文献	116



第一章

水资源与水污染概述



1.1 水资源概述

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，城市建设和工农业生产迅速发展，人民生活水平日益提高的形势下，世界各国把水当作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变化的用水要求，促进社会经济持续发展和人类生活水平不断提高。

1.1.1 水资源的基本含义

水资源一词很久以前就出现了，并且随着时代的前进不断丰富和发展。1894年，美国内务部地质调查局设立水资源处（WM），主要是测量和记录地表水和地下水。1972年，国际水资源协会（IWRA）成立，主要是解决水资源规划、开发、管理等方面的科学技术问题，包括水资源工程施工和管理运行，防治水、旱灾害等。近20年来，水资源一词在我国广泛流行，但对其内涵却尚无公认的定论。

一、水资源定义的复杂性

至今水资源尚无公认的定义，主要原因有：不同的部门、不同的行业对水资源理解有差异；水的表现形式多种多样，如地表水、地下水、降水、土壤水等，且相互之间可以转化；水资源包含水量和水质两个方面，水资源处处都作为一个复变函数出现，变化规律复杂；水资源的开发利用受自然因素、社会因素、经济因素和环境因素等的影响和限制。水资源的利用率由于上述诸多因素的影响也是不断地发生变化的。水资源系统是一个非平衡态超复杂的巨大系统，它涉及众多的学科，如数学、物理学、化学、生物学、地学、气象学、水文学、地质学和生态学等，并且与人类社会系统相耦合。

在《英国大百科全书》中，水资源定义为全部自然界任意形态的水，包括气态水、液态水和固态水的全部量。1963年，英国通过水资源法把水资源定义为“具有足够数量的可用水”。

联合国教科文组织（UNESCO）和世界气象组织（WMO）共同制订的《水资源评价活动——国家评价手册》中，水资源定义为“可利用或有可能被利用的水源，具有足够数量和可用的质量，并能在某一地点满足某种用途而可被利用”。

因此，水资源可以理解为人类长期生存、生活和生产过程中所需要的各种水，既包括了水资源数量和质量的定义，又包括它的使用价值和经济价值。水资源概念通常有广义和狭义



之分。

狭义上的水资源是指人类能够直接使用的淡水，也就是指自然界水循环过程中大气降水落到地面形成径流，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。人类常把它用来满足工业、农业和生活等方面的用水。

广义上的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。具体地说，水资源是指地球上所有的淡水和咸水，既包括天然水，又包括通过工程措施和生物措施取得的水。

本章所述的水资源一般指能利用的淡水和海水资源。

二、水的特殊物理化学性质

水的许多用途与其特殊的物理化学性质有关。

(1) 沸点高。由于氢键作用使水有较高的沸点，常温下呈液态，因而地球上才会出现海洋、湖泊、河流和生物水。

(2) 蒸发热大。在所有液体中，水的蒸发热最大。这意味着蒸发一点点水就需要大量的热能。水的这种特性可以使太阳照射到地球上的热能在全球得以分散，调节地球上各地的气温，大量的太阳能以热的形式储存在被蒸发海水的水汽中，然后转移到较冷的陆地上空，凝结成降水而释放热量。

水的蒸发热高，还有利于生物维持体温，仅需蒸发少量的水分即可满足散热的要求。

(3) 热容量高。水是热容量最高的物质之一，除氢和铝之外，水比其他物质热容量都高，高 5~30 倍。这种特性，使水温的升降过程比其他物质慢得多，从而影响并减缓周边气温变化的幅度，保护了生命机体免受气温突变的伤害，也有利于热电站和工业生产中的排热。

(4) 反常膨胀。水温为 4℃ 时，水的密度最大，低于 4℃ 以后因体积膨胀，其密度变小，成为冰而浮于水面。冬天湖面、河面、洋面结冰时，大多数生物仍可在底部的水中，如果没有这种特性，地球将永远处于冰河时期。

(5) 良好的溶剂。水能溶解化学周期表中的绝大部分元素，包括二氧化硅这类难溶解的物质，是最好的溶剂，因此营养物质才能随水在动植物体内输送；也才可能作为清洗剂被人类广泛使用。但是正因为这种性质，水极易被污染，并使污染在一定区域内扩大。

1.1.2 水资源的分布与循环

一、地球上水的储量

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。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 0.0138%，江河水占 0.0002%，生物水占 0.0001%，大气水占 0.001%，总水量约为 138 598 万 km³。地球上的储水量见表 1-1。

地球总面积约为 51 000 万 km²，其中海洋面积约为 36 100 万 km²，占全球面积的 70.8%；陆地面积约为 14 900 万 km²，仅占全球面积的 29.2%。因此，海洋水储量占地球总水量的 96.5%，而陆地表面的水量与海洋相比是微不足道的。在总水储量中，海水、湖泊



表 1-1

地球上的储水量

序号	类 别		水储量 (万 km ³)	占总储量的比 (%)	占淡水储量比 (%)	循环更替周期
一	海洋水		133 800	96.54		2600 年
二	地下水		2340	1.69		深层地下水
	其中	咸水	1287	0.93		14 001 年
		淡水	1053	0.76	30.06	
三	土壤水		1.65	0.001	0.05	1 年
四	冰川及永久雪水		2406.41	1.74	68.70	
	其中	南 极	2160		61.7	极地冰川
		格林兰岛	234		6.7	9700 年
		北 极 岛	8.35		0.2	
		山 脉	4.06		0.1	1600 年
五	永冻土底冰		30	0.022	0.86	10 000 年
六	湖泊水		17.64	0.13		17 年
	其中	咸水	8.54			
		淡水	9.1		0.26	
七	沼泽水		1.147	0.0008	0.03	5 年
八	河网水		0.212	0.0002	0.006	16 天
九	生物水		0.112	0.0001	0.003	几小时
十	大气水		1.29	0.001	0.04	8 天
	总计		138 598.46	100.0		
	淡水总计		3502.92	2.53	100.0	

注 本表数据摘自 1977 年联合国水会议文件。

咸水和地下水的咸水占 97.47%，剩余的淡水约为 3502.92 万 km³，占 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淡水总储量的 0.006%，加上湖泊中的淡水，总共也只占淡水总量的 0.26%。因此，淡水资源是不多的。

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。但是，河流淡水积极参加水循环，每年更新量较大，作为年水资源量潜力的全球年径流量为 4.7 万 km³，其中河川年径流量约为 4.45 万 km³，而冰川年径流量约有 0.25 万 km³。另外，在内陆区河流约有 0.1 万 km³ 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内年际变化等因素的影响，适于人类经济活动地区的径流量目前只有总径流的 40%。

二、全球水资源分布特点

具体地讲，全球水资源分布特点如下：

(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。由表 1-2 可知，以年降水和年径流的深度计，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 2700mm，年径流深达 1500mm 以上。但大洋洲的澳洲大陆却是水量最少的地区，年降水仅为 456mm，年径流深只有 39mm，有 2/3 的面积为荒漠和半荒漠。南美洲水量也很丰富，年径流深为全球陆地平均值的两倍。欧洲、亚洲和北美洲的降水和径流量都接近全球陆面的平均值。非洲大陆有大片的沙漠，气候炎热，虽然降水量接近世界平均值，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，全洲蒸发量平均可视为零，全部降水以冰雪形态储存，总储存量相当全球淡水总量的 61.7%（见表 1-2），其径流形式为冰流量和冰雪融水量。

表 1-2 世界各大洲年降水量及年径流量分布

洲名	面积 (万 km ²)	年降水量		年径流量		径流系数
		(万 km ³)	(mm)	(万 km ³)	(mm)	
亚洲	4347.5	3.22	741	1.441	332	0.45
欧洲	1050	0.829	791	0.321	306	0.39
非洲	3012	2.23	740	0.457	151	0.20
北美洲	2420	1.83	756	0.820	339	0.45
南美洲	1780	2.84	1596	1.176	661	0.41
南极洲	1398	0.231	165	0.231	165	1.00
澳洲	761.5	0.347	456	0.030	39	0.09
大洋洲（各岛）	133.5	0.361	2704	0.209	1566	0.58
全球陆地	14 902.5	11.888	798	4.685	314	0.39

(2) 各洲人均占有量相差大。世界淡水资源在全球分布是不均匀的，而人类居住地理位置的集中程度与水资源分布也不相称。由表 1-3 可知，1986 年人均水资源量为 9531m³，其中亚洲水资源量最多，但人口也最多，人均水资源最少，仅为 5031m³；欧洲为 6498m³，而大洋洲、南美洲人均值最高，分别达 95 761m³ 与 43 018m³。各洲最大与最小人均水资源占有值相差 18 倍。

表 1-3 各大洲水源人均和单位耕地面积平均值（1986 年）

洲名	人口 (万)	耕地 (亿亩)	灌溉面积 (亿亩)	水资源 (×10 ³ km ³)	人均水资源 (m ³)	每亩耕地水资源 面积 (m ³)	人均灌溉 面积 (亩)
亚洲	286 449.1	63.61	20.74	14.41	5031	2265	0.724
非洲	57 189.5	24.95	1.594	4.57	7991	1831	0.286
北美洲	40 689.7	40.18	3.804	8.20	20 152	20.41	0.935
南美洲	27 337.2	17.25	1.220	11.76	43 018	6817	0.446
欧洲	49 396.5	34.17	2.414	3.21	6498	939	0.489
大洋洲	2495.8	7.392	0.281	2.39	95 761	3233	1.124
澳洲	1588.8	7.264	0.243	0.30	18 882	413	1529
大洋洲 (各岛)	907.0	0.128	0.038	2.09	230 420	163 345	0.415
全世界	491 565.2	206.366	33.047	46.85	9531	2270	0.672

注 1 亩=666.7m²，1 亿亩=666.7 亿 m²。



(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(见表1-4)。加拿大人均占有量为 $106\ 735\text{m}^3$, 是世界平均数的12.8倍; 巴西人均占有量为 $33\ 766\text{m}^3$, 是世界平均数的4.1倍; 中国每人占有量仅为 2262m^3 , 仅是世界平均数的1/4。每亩耕地平均水量最高的是印度尼西亚, 为 $10\ 943\text{m}^3$, 为世界每亩平均数的4.7倍; 中国每亩得水为 1904m^3 , 只占世界平均数的82%。

表 1-4 某些国家年径流总量、人均和耕地占有水量

国家	年径流总量 (万 m^3)	年径流深 (mm)	人口(亿人) (1994年)	人均水量 (m^3)	耕地面积 (亿亩)	亩均水量 (m^3)
巴西	51 912	600	1.5374	33 766	6.452	8009
原苏联	47 120	211	2.9008	16 247	34.0	1386
加拿大	31 220	313	0.2925	106 735	6.813	4582
美国	29 702	317	2.6066	11 395	27.861	1608
印度尼西亚	28 113	1476	1.9068	14 744	2.569	10 943
中国	27 115	284	11.9850	2262	14.237	1904
印度	17 800	514	9.1857	1938	24.915	714
日本	5470	1470	1.2496	4377	0.600	9117
全世界	468 180	314	56.298	8310	201.798	2320

注 人口、耕地来自《国家统计年鉴》, 用1991年的人口数。

世界资源研究所提供统计出的1987年度人均水资源丰富和水贫乏的若干国家降雨年径流量见表1-5。由表1-5可知, 人均占有径流量最大的国家是冰岛, 高达 $685\ 480\text{m}^3$, 最低的仅为 20m^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, 因此人均径流量仅为加拿大的2.1%。新加坡是一个城市化的多雨岛国, 单位面积产流大, 径流深达1053mm, 但国土面积小, 人口集中, 人均占有径流量仅为 23m^3 , 仍为十分缺水的国家。

表 1-5 1987年度人均水资源丰富和水贫乏的若干国家境内降雨年径流量

国家名称		年径流总量 (×10 亿 m ³)	地区 (×1000m ³ /ha)	按人口计算 (×1000m ³ /人)	国家名称		年径流总量 (×10 亿 m ³)	地区 (×1000m ³ /ha)	按人口计算 (×1000m ³ /人)
水资源丰富的国家	冰岛	170	16.96	685.48	水资源贫乏的国家	埃及	1.00	0.01	0.02
	新西兰	397	14.78	117.53		沙特阿拉伯	2.20	0.01	0.18
	加拿大	2901	3.15	111.74		巴巴多斯	0.05	1.16	0.21
	挪威	405	13.16	97.40		新加坡	0.60	10.53	0.23
	尼加拉瓜	175	14.74	49.97		肯尼亚	14.80	0.26	0.66
	巴西	5190	6.14	36.69		荷兰	10.00	2.95	0.68
	厄瓜多尔	314	11.31	31.64		波兰	49.40	1.62	1.31
	澳大利亚	343	0.45	21.30		南非	50.00	0.41	1.47
	喀麦隆	208	4.43	19.93		海地	11.00	3.99	1.59
	原苏联	4384	1.97	15.44		秘鲁	40.00	0.31	1.93
	印尼	2530	13.97	14.67		印度	1850.00	6.22	2.35
	美国	2478	2.70	10.23		中国	2800.00	3.00	2.39

注 $1\text{ha}=10^4\text{m}^2$ 。



尽管地球上的河水和湖水的总量与海水、地下水相比，其数量极少，但它们直接供应人类生活和工农业生产需要，因此是水资源的重要部分，现简述如下：

(1) 地球上主要河流水资源。地球上有无数的河流，其流域面积、长度、年径流总量和年径流深等，在各洲不同地区和气候带差别很大。据统计，河口年平均流量在 $2000\text{m}^3/\text{s}$ (年径流量为 63.7km^3) 以上的河流全球有 51 条，流域面积在 1万 km^2 以上的河流有 97 条，河长在 1000km 以上的有 106 条。现将全球年径流量前 27 位及河长前 18 位的共 30 条河流的特征值列在表 1-6 中。其中，年径流量、流域面积及河长均为全世界第一位的是位于南美洲赤道地区的秘鲁和巴西等国的亚马逊河，其年径流量达 5519km^3 (年平均流量为 $175\,000\text{m}^3/\text{s}$ ，年径流深为 783mm)，流域面积为 705km^2 ，河长为 6751km ；全球水量第二位的是非洲赤道地区的刚果河，年平均径流量为 1256km^3 ；位于非洲东部从赤道附近经热带草原、热带沙漠地区往北流的尼罗河，全长为 6689km ，河长为全球第二位，但年径流量仅为 80.7km^3 ，流域年径流深为 28mm ；我国的长江，处于东亚亚热带季风区，年径流量及河长均为世界第三位。

表 1-6

世界大河流及其特征

按河流量次序	河名	所在国	河长 (km)	流域面积 (万 km^2)	年平均径流量 (km^3)	年径流深 (mm)	按河长度次序
1	亚马逊河	秘鲁、巴西等国	6751	705	5519	783	1
2	刚果河	赞比亚、刚果、扎伊尔等	4640	369	1256	340	9
3	长江	中国	6397	180.85	976	540	3
4	奥里诺科河	哥伦比亚、委内瑞拉	2730	94.4	795	842	25
5	拉普拉塔河	巴西、阿根廷等五国	4264	310.3	723	233	12
6	叶尼索河	蒙古、俄罗斯	5227	260.5	625	240	7
7	布拉马普特拉河	中国、印度、孟加拉	3100	62.2	618	994	20
8	密西西比河	美国、加拿大	6262	322	580	180	4
9	托坎廷斯河	巴西	2750	82	568	693	23
10	恒河	印度、孟加拉	2527	105	550	524	27
11	勒拿河	俄罗斯	4400	241.8	540	223	10
12	湄公河	中国、泰国、越南等六国	4880	81.8	539	668	8
13	伊洛瓦底江	缅甸	2714	43.0	486	1130	26
14	圣劳伦斯河	美国、加拿大	3800	130	447	344	15
15	鄂毕河	中国、哈萨克斯坦、俄罗斯	5410	299	385	129	6
16	马更些河	加拿大	4241	180.5	357	198	13
17	黑龙江	蒙古、中国、俄罗斯	4344	184.3	350	190	11
18	珠江	中国	2214	45.4	336	740	28
19	赞比亚河	赞比亚、莫桑比克等	2735	133	269	102	24
20	印度河	中国、印度、巴基斯坦	2896	96.35	269	279	21
21	伏尔加河	俄罗斯	3686	138	257	186	17
22	萨尔温江	中国、缅甸	3240	32.5	252	775	18



续表

按河流量次序	河名	所在国	河长(km)	流域面积(万 km ²)	年平均径流量(km ³)	年径流深(mm)	按河长度次序
23	哥伦比亚河	美国、加拿大	2000	66.9	234	350	29
24	马格达莱纳河	哥伦比亚	1612	26.2	221	844	30
25	多瑙河	罗马尼亚等国	2850	81.7	203	248	22
26	育空河	美国阿拉斯加	3185	85	201	236	19
27	尼日尔河	马里、尼日利亚等国	4160	210	200	95	14
28	尼罗河	苏丹、埃及等国	6689	284.9	80.7	28	2
29	黄河	中国	5464	75.24	56.3	75	5
30	屈累达令河	澳大利亚	3750	107.3	22.7	21	16

河流的另一个特征值为反映流域平均径流强度的年径流深。世界最大年径流深的大河为缅甸的伊洛瓦底江,其值为 1130mm。中国的珠江、长江分别为第七位与第十位。全球年径流深前十位的大河一般位于亚热带、热带季风区及赤道附近的热带雨林区内。

(2) 地球上主要湖泊水资源。湖泊水按含盐度可分为淡水湖、微咸水湖和咸水湖。淡水湖含盐度一般在 1‰以下,这种湖一般为外流湖,湖水有进有出,更迭交换,水的盐分不易聚集,如我国的鄱阳湖、洞庭湖。世界最大的淡水湖是北美洲的苏必利尔湖,面积达 8.21 万 km²。微咸水湖的含盐度为 1.0‰~24.7‰,大于 24.7‰为咸水湖,这两种湖大多为内陆湖,多数没有河流水进出,湖水以蒸发为主而消耗,水中的盐分容易聚集。地球上最大的咸水湖为亚洲与欧洲之间的里海,面积达 37.19 万 km²。中国最大的咸水湖是青海湖。

湖泊水是仅次于冰川水的地表水,它的水量是全球河流蓄水量的 83 倍,为 17.6 万 km³,其中淡水湖的水量为 9.1 万 km³,咸水湖水量为 8.54km³。全世界湖泊的总面积为 270 万 km²,占全球陆地面积的 1.8%,面积在 1000km² 以上的湖泊有 146 个,其中亚洲 38 个、北美洲 57 个、欧洲 19 个、非洲 18 个、南美洲 10 个、大洋洲 4 个,其储水量为 16.786 万 km³,占全球湖泊总水量的 95.4%。全球最深的湖是俄罗斯的贝加尔湖,深度达 1621m;第二位是非洲坦噶尼喀湖,深度为 1418m;第三位是里海,深度为 995m。蓄水量最多的湖是里海,为 6.678 万 km³;第二位是贝加尔湖,为 2.2995 万 km³;第三位是坦噶尼喀湖,为 1.78 万 km³。世界较大天然湖泊面积特征值见表 1-7。

表 1-7 世界较大天然湖泊面积特征值(面积大于或等于 5000km²)

湖面面积次序	湖名	所在洲	所在国	湖面面积(km ²)	蓄水量(km ³)	最大水深(m)	湖面高程(m)	水质状况
1	里海	亚洲	原苏联 4 国、伊朗	371 794	66 780	998	-28	咸
2	苏必利尔湖	北美洲	美国、加拿大	82 103	12 258	406	183	淡
3	维多利亚湖	非洲	坦桑尼亚、乌干达	69 479	2518	81	1134	淡
4	咸海	亚洲	哈萨克、乌兹别克	65 527	1451	68	53	咸
5	休伦湖	北美洲	美国、加拿大	59 829	3539	229	176	淡
6	密执安湖	北美洲	美国	39 751	4940	281	176	淡



续表

湖面面积次序	湖名	所在洲	所在国	湖面面积(km ²)	蓄水量(km ³)	最大水深(m)	湖面高程(m)	水质状况
7	坦噶尼喀湖	非洲	坦桑尼亚、扎伊尔	32 893	17 827	1418	773	淡
8	大熊湖	北美洲	加拿大	31 328	2293	413	156	淡
9	贝加尔湖	亚洲	俄罗斯	30 501	22 995	1621	455	淡
10	马拉维湖	非洲	马拉维、莫桑比克	29 603	16 140	679	472	淡
11	大奴湖	北美洲	加拿大	28 570	2088	614	156	淡
12	伊利湖	北美洲	美国、加拿大	25 667	483	64	174	淡
13	温尼伯湖	北美洲	加拿大	24 390	371	28	217	淡
14	安大略湖	北美洲	美国、加拿大	19 554	1657	244	75	淡
15	巴尔喀什湖	亚洲	哈萨克	18 427	1847	26	340	西淡东咸
16	拉多加湖	欧洲	俄罗斯	17 702	908	225	4	淡
17	乍得湖	非洲	乍得	16 317		7	240	咸
18	马拉开波湖	南美洲	委内瑞拉	13 512	280	35	0	南淡北咸
19	帕士斯湖	南美洲	巴西	10 144				咸
20	奥涅加湖	欧洲	俄罗斯	9609		100	33	淡
21	埃尔湖	大洋洲	加拿大	9324		1.2	-19.8	咸
22	的的喀喀湖	南美洲	秘鲁、玻利维亚	8288		251	3812	淡
23	尼加拉瓜湖	北美洲	尼加拉瓜	8029		70	31	淡
24	阿萨巴斯卡湖	北美洲	加拿大	7935		124	213	淡
25	伦迪尔湖	北美洲	加拿大	6651			387	淡
26	图尔卡纳湖	非洲	肯尼亚	6405		73	375	咸
27	伊塞克湖	亚洲	吉尔吉斯	6079		702	1610	淡
28	托伦斯湖	大洋洲	澳大利亚	5775			28	咸
29	维纳恩湖	欧洲	瑞典	5580		100	44	淡
30	内蒂灵湖	北美洲	加拿大	5542		29	0	淡
31	温尼伯戈西斯湖	北美洲	加拿大	5374		12	253	淡
32	蒙博托湖	非洲	扎伊尔、乌干达	5374		51	619	淡
33	乌尔米耶湖	亚洲	伊朗	5200		4~6	1276	咸
34	肯韦鲁湖	非洲	扎伊尔、乌干达	5100		9~15	931	淡

三、水循环与水量平衡

地球上的水储量是在某一瞬间储存在地球上不同空间位置上的水的体积，以此来衡量不同类型水体之间量的多少。在自然界中，水体并非静止不动，而是处在不断的运动过程中，不断地循环、交替与更新。因此，在衡量地球上水储量时，更注意其时空性和变动性。



地球上水的循环分为自然循环和社会循环两种。自然循环,根据其路径和规模的不同,可分为大循环和小循环。

(一) 自然循环

地表水、地下水和生物有机体内的水,不断蒸发和蒸腾,化为水汽,上升至空中,冷却凝结成水滴或冰晶,在一定的条件下,以降水的形式落到地球表面。降落于地表的水又重新产生蒸发、凝结、降水和径流等变化。水的这种不断蒸发、输送、凝结、降落的往复运动过程称为水的自然循环。

水自然循环的产生有其内因和外因,内因是水的“三态”变化,也就是在常温的条件下,水的气态、液态、固态可以相互转化。这使水分循环过程的转移、交换成为可能。水自然循环产生的外因是太阳辐射和地心引力。太阳辐射的热力作用为水的“三态”转化提供了条件,太阳辐射分布的不均匀性和海陆热力性质的差异造成空气的流动,为水汽的移动创造了条件。地心引力(重力)则促使水从高处向低处流动,从而实现了水循环。

整个水循环过程包括了蒸发、降水、径流三个阶段和水分蒸发、水汽输送、凝结降水、水分下渗、径流五个环节。水循环通过三个阶段和五个环节,使天空与地面、地表与地下、海洋与陆地之间水相互交换,使水圈内的水形成一个统一的整体。水的自然循环如图 1-1 所示。

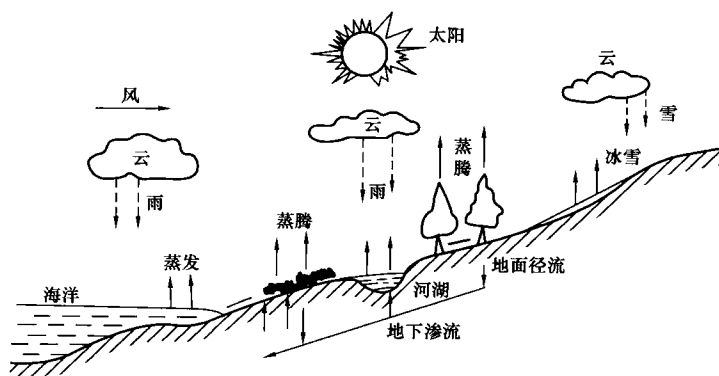


图 1-1 水的自然循环

从海洋表面蒸发的水汽,被气流带到大陆上空,在适当的条件下以降水的形式降落到地面后,其中一部分蒸发到空中,另一部分经过地表和地下径流又回到海洋,这种海陆之间的水分交换过程,称为大循环,也称海陆间循环。它是由许多小循环组成的复杂的水分循环过程。而小循环则是指水仅在局部地区(海洋或陆地)内完成的循环过程,可分为海洋小循环和陆地小循环。海洋小循环就是从海洋表面蒸发的水汽在空中凝结,以降水形式降落回海洋上的循环过程。陆地小循环就是从陆地上蒸发的水汽在空中凝结,以降水形式降落回陆地上的循环过程。

据统计估算(见表 1-8),全球参加水循环年平均水量为 57.7 万 km^3 (目前已发表的估计量为 $49.6 \sim 57.7 \text{ 万 km}^3$), 占全球总水量的 0.042% 。



表 1-8

全年水量平衡

项名	面积 (万 km ²)	降水量		蒸发量		径流量	
		万 km ³	mm	万 km ³	mm	万 km ³	mm
海洋	36 130	45.80	1270	50.50	1400	-4.70	-130
太平洋	17 870	26.00	1460	26.97	1510	-0.97	-50
大西洋	9170	9.27	1010	12.44	1360	-3.17	-340
印度洋	7620	10.04	1320	10.80	1420	-0.76	-100
北冰洋	1470	0.53	361	0.32	220	0.21	141
陆地	14 900	11.90	800	7.20	485	4.70	315
外流区	11 900	11.00	924	6.30	529	4.70	395
内流区	3000	0.90	300	0.90	300		
全球	51 030	57.7	1130	57.7	1130		

水循环的意义及特征如下:

总水量保持平衡。全球范围内,在相当长时期内的水循环中,从地球表面的蒸发量同返回的降水量相等,处于相对平衡状态。在海洋,蒸发量大于降水量,但来自大陆的径流使这部分缺水得补偿,海水量不会减少。在大陆,降水量大于实际蒸发量,多余水量形成径流汇入海洋,大陆的水量不增多。据计算,海面输送到陆地上空的水汽只占海洋总蒸发量的 9.3%,其余水汽以降水的形式回落到海洋。参加海陆之间大循环的有效水量仅占全球水循环总量的 8.1%。

时空分布不均匀。水循环中水量的年际变化很明显,一些地区河川径流的丰水、枯水年往往交替出现。一般来说,在低纬湿润地区,降雨量较多,雨季降雨集中,气温高,蒸发量大,水文循环强烈;高纬度地区,冰雪覆盖期长,气温低,水文循环弱;而干旱地区降水稀少,蒸发能力大,但实际蒸发量小,水文循环微弱。水循环年内、年际和地区变化的不均匀现象造成了洪涝、干旱等多变复杂的水文情势。

各类水体循环速度变化很大,更替周期不一。据估算,地球上每年参加水循环的总水量平均为 57.7 万 km³,而大气对流层水分的总量约为 1.29 万 km³,这些水分通过蒸发和降水每年平均更换 45 次,即更换周期为 8d;河川径流更新期为 16d,极地冰川更替速度缓慢,周期长达 9700 年等(见表 1-1)。

水循环对地球自然环境的形成、演化和人类的生存产生巨大影响。

(1) 直接影响气候的变化。通过蒸发、散发进入大气的水汽,是产生雨雪闪电的主要物质基础。空气中含水量的多少,直接影响气候的湿润和干燥,调节地面的气候。

(2) 改变地表的地貌形态。降水形成的径流,冲刷和侵蚀地面,将塬面切割成沟壑,山丘侵蚀为准平原;水流搬运大量泥沙,可堆积形成冲积平原,部分低洼地由于地表水的蓄积形成湖泊和沼泽;渗入地下的水,溶解岩层中的物质,富集盐分,输入大海;容易溶解的岩石受到水流强烈的侵蚀和溶解作用,可形成岩溶等地貌。

(3) 造成再生资源。水循环造成巨大的、可以重复使用的再生水资源,使人类获得不枯竭的水源和能源;大气降水把天空中游离的氮素带到地面,滋养植物;陆地上径流把大量的



有机物送入海洋，供养海洋生物，而海洋生物又是人类食物和制造饲料的重要来源。水循环带来的洪水和干旱，也会给人类和生物造成威胁。

(4) 人类对地球水循环的影响日益增加。由于人类社会的发展，用水量不断增加，特别是最近几十年，世界经济高速发展，人口膨胀，用水量迅速增加。人类的取水源不断由地表水体和地下水体中取水，经使用后一部分消耗于蒸发返回大气，使入海的径流量减少，另一部分则以废、污水的形式回归于地表或地下水体，这就形成了陆地上小循环中的侧支循环。这个循环主要反映了现代人类社会水资源的供需问题，也是目前污水处理要研究和探讨的问题。

(二) 社会循环

人类社会为了满足生活和生产的需求，要从各种天然水体中取用大量的水。这些生活和生产的用水经过使用以后就成为生活污水和生产废水，它们被排放出来，最终又流入天然水体。这样，水在人类社会中也构成了一个局部的循环体系，这就称为水的社会循环。整个水循环系统应该包括水的自然循环和社会循环，图 1-2 显示了人类在取水和处理污水过程中对水体循环产生的影响。

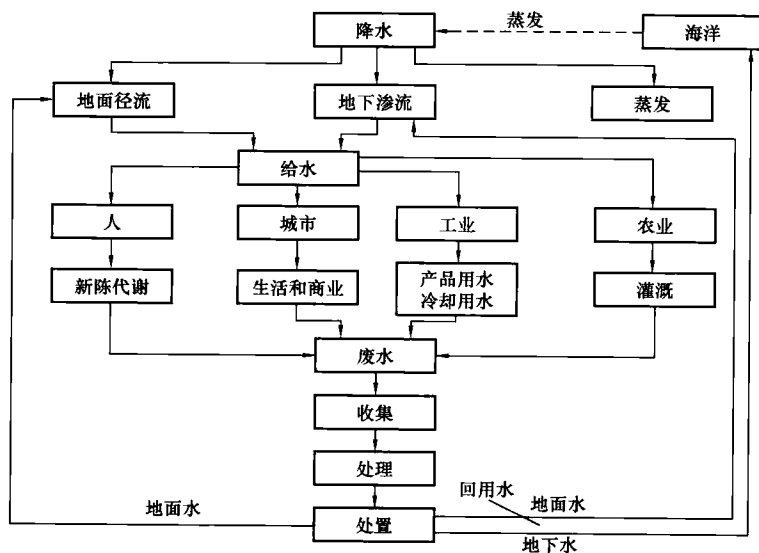


图 1-2 水循环系统

人们的日常生活需要水。人体中的水约占体重的 $\frac{2}{3}$ 。因此，水是构成人类机体的基础，又是传输营养和新陈代谢过程的一种介质。水还起着放散热量、调节体温的作用。从医学卫生的观点看，人类为维持正常生命，每人每天至少需要 5L 水，如果加上卫生方面的需要，全部生活用水量每人每天约需 40~50L 以上。一般来说，人们的生活水平越高，生活用水量也越大。目前，发展中国家平均每人每日用水量为 40~50L，而发达国家则达每人每天 200~300L，在一些现代化的大城市里还要更高一些。当然，用水量大小也与不同地区的气候条件和人们的生活习惯有关。表 1-9 列出了某些城市的生活用水量。



表 1-9

某些城市的生活用水量

L

城市	人均日用水量	城市	人均日用水量
北京	148	巴黎	450
上海	150	伦敦	277 (1968)
天津	80	罗马	443
广州	295	莫斯科	600
青岛	50	列宁格勒	530
大连	80	华沙	235
华盛顿	700	贝尔格莱德	248
芝加哥	824	斯德哥尔摩	590
旧金山	620	日内瓦	417
东京	492	苏黎世	380
名古屋	423	都灵	403

工业生产更是离不开水。据统计,工业用水一股要占城市用水量的 70%~80%。各种工业,无论是发电、冶金、化工、石油,还是纺织、印染、食品、造纸等,都离不开水。各类工业产品的单位用水量可因原料、工艺过程、管理水平等而有所不同。表 1-10 列出了各类产品的单位用水量。

表 1-10

各类产品的单位用水量

m³/t

产品	用水量	产品	用水量	产品	用水量
苛性钠	100~150	纸浆	200~250	白铁皮	50
苏打	50	报纸	280	铝	160
90%硫酸	30	毛织品	150~350	煤炭	1~5
硫酸铵	50~250	棉纱	200	石油	4
液氨	30	皮革	50~125	汽油	10~20
电石	60	人造丝浆料	680	水泥	1~4
丙酮	360	黏胶人造丝	2400	炸药	800
醋酸	400~1000	玻璃	70	合成橡胶	1250~2800
乙醇	200~500	甜菜糖	100~200	电力	0.02m ³ /(kW·h)
啤酒	20~80	钢铁	3000	汽车	40m ³ /辆
肉类加工	8~35	钢板	70~75		

水是农业的命脉。水对农、林、牧、渔各业十分重要。不少国家尽管工业用水量很大,但用于农田灌溉的水量仍远远超过工业用水量。即使工业发达国家,如日本和美国的农业用水量通常也是工业用水量的 2~3 倍。我国以农业为基础,农业是主要的用水和耗水部门。据统计,长江流域每亩水稻田的需水量为 250~500m³。北方地区主要农作物如小麦、玉米和棉花每亩约需水量分别为 200~300m³、150~250m³ 和 80~150m³。

随着世界人口的增长和工农业的发展,用水量也在日益增加。据统计和预测,全世界的