

◎ 高俊发 主编

水环境工程学



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

水环境工程学

高俊发 主编

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

水环境工程学/高俊发主编. —北京: 化学工业出版社, 2003.7

ISBN 7-5025-4624-3

I. 水… II. 高… III. 水处理-技术
IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 055059 号

水环境工程学

高俊发 主编

责任编辑: 陈丽 邹宁

责任校对: 凌亚男

封面设计: 于兵

*

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

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 11¼ 字数 318 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4624-3/X·309

定 价: 26.00 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

前 言

水环境涉及河流、湖泊、海洋、地下水，从地球环境角度来看，涉及生态系统，应从细菌、原生动物、鱼类、鸟类、水生植物等、流域的人类活动以及共生关系等多方面来考虑。另外，由于有害化学物质种类增多，数量增大，与之关联的水环境问题（包括水资源问题和水质问题）的研究内容也日益增加。

本书共分4章，第1章为水环境基础科学，主要内容有：自然界水循环与水利用、水质化学、微生物及其反应、水处理反应器理论、水质指标和水质标准、水环境生态与环境问题。第2章为水环境工程概论，主要内容有：给水工程概论和排水工程概论。第3章为水处理工程，主要内容有：水的沉淀、生物处理法，水的混凝，水的过滤及消毒等。第4章为污水回用与资源化。

本书的特点是重视基本理论和基本概念阐述的严谨性，理论联系实际，注意吸收国内外水环境工程新理论、新技术和新设备，内容深入浅出，系统性和逻辑性较强。

本书可供给水排水工程、环境工程、环境科学、水文与水资源工程等专业技术人员参考，也可做其他专业公共选修课教学用书。

内 容 提 要

本书先从水环境科学与工程的基础理论出发，总结和汇编了环境工程最基本的水质化学、微生物反应理论、水处理反应器理论以及水质指标和水质标准；在此基础上，概述了水环境工程，包括给水工程和排水工程的相关知识；然后，分节阐述了各种水处理单元的原理、分类、适用范围、适用条件和影响因素，并对其进行了分析和评价；最后，介绍了目前国内外最新的水处理方法和技术、污水深度处理的工艺技术与污水资源化的意义。

本书重视对最基本的理论、概念和方法阐述的严谨性和系统性，同时简明扼要的介绍了许多国内外水环境工程新理论、新方法、新技术、新设备，文字深入浅出，内容丰富实用，有很强的可读性。

本书可供给排水工程、环境工程、环境科学、水文与水资源工程等专业技术人员参考，也可作为其他专业公共选修课教学用书。

目 录

第 1 章 水环境基础科学	1
1.1 自然界水循环与水利用	1
1.1.1 水的起源	1
1.1.2 地球上的水量及水循环	2
1.1.3 城市地域水量平衡	5
1.1.4 雨水流出特性	6
1.1.5 水的功能与作用	10
1.1.6 水环境带来的利益	12
1.1.7 水环境与城市机能环的关系	12
1.1.8 水环境对策与课题	13
1.2 水质化学	13
1.2.1 水的特性	13
1.2.2 水中物质浓度与溶解	15
1.2.3 化学反应基础	18
1.3 微生物及其反应	37
1.3.1 细胞的结构与微生物分类	37
1.3.2 微生物能量代谢	40
1.3.3 微生物增殖与基质消耗	45
1.4 水处理反应器理论	48
1.4.1 完全混合间歇反应器	49
1.4.2 连续流搅拌池反应器	49
1.4.3 串联连续流搅拌池反应器	52
1.4.4 推流反应器	53
1.4.5 有弥散的推流（任意流）	55
1.5 水质指标和水质标准	56
1.5.1 水质指标	56
1.5.2 水质标准	78

1.5.3 我国水环境法规与标准	81
1.6 水环境生态与环境问题	83
1.6.1 水环境生态系统与污染源	83
1.6.2 河流自净作用	87
1.6.3 富营养化	101
1.6.4 地下水的环境问题	104
第2章 水工程学概论	108
2.1 给水工程概论	108
2.1.1 给水工程的功能与作用	108
2.1.2 水质标准	109
2.1.3 给水系统	116
2.1.4 用水量标准	121
2.1.5 用水量计算	126
2.2 排水工程概论	130
2.2.1 排水工程的目的	130
2.2.2 城市排水分类	136
2.2.3 排水系统的体制及其选择	137
2.2.4 排水系统的组成	140
第3章 水处理工程	144
3.1 污水处理概论	144
3.1.1 污水处理的目的	144
3.1.2 污水处理方法分类与系统	144
3.1.3 排放水质标准	153
3.1.4 日本下水道事业发展历程、现状及新进展	155
3.2 格栅	161
3.2.1 格栅分类	161
3.2.2 格栅设计运行工艺参数	162
3.2.3 格栅的设计计算	163
3.3 沉砂池	165
3.3.1 沉砂池的工艺原理及功能	165
3.3.2 一般规定	165
3.3.3 沉砂池的种类	167
3.3.4 平流式沉砂池的设计	167

3.4	沉淀池	168
3.4.1	工艺原理及设计资料	168
3.4.2	日本下水道协会颁布的沉淀池设计标准	171
3.4.3	沉淀池排泥方法比较	172
3.5	生物处理法概述	173
3.5.1	生物处理法分类	173
3.5.2	生物处理法原理	173
3.6	活性污泥法	177
3.6.1	活性污泥与活性污泥法基本流程	177
3.6.2	活性污泥的净化过程与机理	178
3.6.3	活性污泥的影响因素	182
3.6.4	活性污泥的特征、评价指标及系统分析	184
3.6.5	各种活性污泥法工艺	214
3.7	生物膜法	265
3.7.1	概述	265
3.7.2	生物滤池	270
3.7.3	生物接触氧化	270
3.7.4	生物转盘	271
3.7.5	塔式生物滤池	271
3.8	水的混凝	272
3.8.1	混凝剂	273
3.8.2	混合	274
3.8.3	絮凝	276
3.9	水的过滤	278
3.9.1	普通快滤池	278
3.9.2	双层和多层滤料滤池	279
3.9.3	虹吸滤池	281
3.9.4	重力式无阀滤池	282
3.9.5	移动罩滤池	284
3.9.6	V型滤池	287
3.9.7	压力滤池	289
3.10	水的消毒	290
3.10.1	液氯消毒	290

3.10.2	漂白粉消毒	291
3.11	污泥处理	292
3.11.1	概述	292
3.11.2	污泥浓缩	294
3.11.3	污泥的稳定	295
3.11.4	污泥的脱水	300
3.12	污水处理厂臭气产生及其处理	302
3.12.1	臭气产生及浓度强度	302
3.12.2	臭气处理方法	304
第4章	深度处理技术与资源化	308
4.1	污水深度处理、实现资源化的目的及意义	308
4.2	二级处理技术评价	309
4.2.1	综合性指标评价	309
4.2.2	对溶解性有机物去除的评价	311
4.2.3	对营养盐去除的评价	313
4.2.4	对其他方面评价	314
4.3	污水深度处理工艺分析与评价	314
4.3.1	接触氧化法	314
4.3.2	生物膜过滤法	315
4.3.3	流化床式硝化法	316
4.3.4	快滤池	317
4.3.5	混凝沉淀法	317
4.3.6	混凝过滤法	318
4.3.7	活性炭吸附法	319
4.3.8	超过滤法	320
4.3.9	反渗透法	321
4.3.10	后增氧处理	322
4.3.11	脱碳酸处理	322
4.3.12	加氯消毒	322
4.3.13	加氯消毒 + 脱氯处理	323
4.3.14	臭氧氧化、臭氧消毒	323
4.3.15	紫外线消毒	324
4.4	深度处理方法——反渗透处理单元	324

4.4.1	RO膜处理系统	324
4.4.2	前处理	325
4.4.3	RO膜处理	327
4.4.4	冲洗	329
4.4.5	后处理	329
4.5	深度处理方法的分析	330
4.5.1	有机物去除技术	331
4.5.2	营养盐去除技术	333
4.5.3	微量成分去除技术	335
4.5.4	深度处理工艺流程的选择	335
4.6	污水回用资源化方式	337
4.6.1	闭环水循环系统	337
4.6.2	开放式水循环系统	337
4.6.3	用于增加河水流量	338
4.7	水循环再生工程	338
附录	341
附录 1	氧在蒸馏水中的溶解度	341
附录 2	地面水环境质量标准	341
附录 3	污水综合排放标准	343
附录 4	居民生活用水定额和综合生活用水定额	356
附录 5	工业企业内工作人员淋浴用水量	357
附录 6	城镇、居住区室外的消防用水量	358
附录 7	工厂、仓库和民用建筑同时发生火灾次数	358
附录 8	建筑物的室外消火栓用水量	359
附录 9	污水排入城市下水道水质标准	359
附录 10	生物处理构筑物进水中有害物质容许浓度	360
附录 11	我国若干城市暴雨强度公式	360
参考文献	364

第 1 章 水环境基础科学

1.1 自然界水循环与水利利用

1.1.1 水的起源

水是地球上分布最广泛的一种物质，它存在于大气和地壳中，并为动植物生命体的重要组成部分。可是地球刚刚诞生时，地球上没有河流，也没有海洋，更没有生命，地球表面是干燥的，大气层中也很少有水分。那么如今浩瀚的海洋，奔腾不息的河流，烟波浩渺的湖泊，奇形怪状的万年冰雪，还有那地下的清泉伏流和那天空的彩云雾幕，这些水是从哪儿来的呢？目前虽未定论，但一般认为地球上的水与地球的发生和发展有密切联系，它是地球演化过程中的一种产物。

地球是太阳星云分化出来的星际物质聚合体，其基本组成有氢和氦气体及一些固体尘埃。固体尘埃聚集结合为地球的内核，外面围绕着大量气体，这时地球结构松散，质量不大，引力亦小，温度还很低。后来由于某些现在还不清楚的因素作用，地球组成物质集合收缩，内核放射性物质产生能量，致使地球温度不断增高，有些物质慢慢变软熔化，较重物质，如铁、镍等聚集在中心部位形成地核，最轻物质浮于地表，而空间气体一方面在太阳辐射的驱赶下进入宇宙空间；另一方面大气层的气体分子运动速度随着温度增高迅速增大，最后终于摆脱地球引力逃逸到宇宙中去，这样一来地球外围的大气层逐渐消失殆尽，氢和氦等成分也就不复存在。

随着地球表面温度逐渐降低，地表开始逐步形成坚硬的地壳。但因地球内部温度很高，岩浆活动非常激烈，火山喷发频繁，地壳亦不断发生变动，有些地方隆起形成高原和山峰，有些地方则下陷

而成低地和山谷，同时喷发出来的大量气体，由于地球体积不断缩小，质量大大增加，地球引力也随之增强，此时这些气体无法摆脱地球引力，从而构成“原始地球大气”，其中主要成分有二氧化碳、甲烷、氮、氨、硫化氢及水蒸气等。

喷发出来的水蒸气就是地球上的水的先驱，那么水蒸气又是从何而来的呢？如前所述，组成原始地球的固体尘埃，实际上就是衰老了的星球爆炸而成的大量碎屑，这些碎屑多是些无机盐类的东西，其晶格内部往往隐藏着许多水分子，即所谓结晶水合物，如 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ，这些结晶水在高温之下，离析出来变成水蒸气。喷到空中的水蒸气达到饱和时便冷却成云，以降水形式落到地面上来，聚集在低洼处，逐渐积累成湖泊和河流，最后汇集到地表最低洼区域形成海洋。

地球上的水在开始形成时，不论湖泊或海洋，其水量都不会很多。随着地球内部产生的水蒸气不断送入大气层，地面水量也不断增多，经历几十亿年地球演变过程，终于最后形成现代的江河湖海的巨大规模。

1.1.2 地球上的水量及水循环

在地球表面、岩石圈内、大气层中、生物体内以气态、液态和固态形式存在的水，包括海洋水、冰川水、湖泊水、沼泽水、河流、地下水、土壤水、大气水和生物水，在全球构成一个完整的水系统，是地球自然地理环境的重要组成部分，这就是水圈或水环境。

地球上水的总量约为 14 亿立方千米 ($1.384 \times 10^{18} \text{ m}^3$)，覆盖着近 3/4 的地球表面。其中海洋水占 97.5%，水圈中的淡水仅占 2.5%。地球上各种存在形式的水量统计见表 1-1。由此可知，目前能供人类利用的水资源，即地下水和地表水分别占总水量的 0.72% 和 0.016%，这其中地表水（含河流水和湖泊水）中，湖泊水中的 43% 又为咸水，因此地表水中的淡水湖和河流水所占比例不到总水量的 0.009%。综上所述，便于人类直接利用的淡水

(包括地下水和地面水) 约为 0.1 亿立方千米, 在地球总水量中所占比例微乎其微。

表 1-1 地球上各种存在形式的水量统计

存在形态	体积/($\times 10^{12} \text{m}^3$)	所占比例/%
海水	1349929	97.5
陆地水		
冰雪水	24230	1.75
地下水	10100	0.72
地表水 ^①	220	0.016
土壤水	25	0.002
生物水	1	0.0001
大气水	13	0.001
总计	1384518	100

① 地表水含河流水和湖泊水。

地球上的水经历着连续不断地变换地理位置和物理形态的运动过程, 即在太阳辐射作用下, 不断地因蒸发而变成蒸汽进入大气, 再经气流的水平输送和上升凝结形成降水, 落回地面或海洋。落到地面的雨水, 一部分经蒸发返回大气, 另一部分以地面径流和地下径流的形式注入海洋。自然界中水分的这种不断蒸发、输送和凝结形成降水、径流的循环往复过程, 称为水循环。水的三态(气态、液态和固态)转化特性是产生水循环的内因, 太阳辐射和重力作用则是水循环的动力。

地球上的水经常处于循环运动中, 包括自然循环和社会循环。由自然力促成的水循环, 称为水的自然循环, 它是水的基本运动形式。海水蒸发为云, 随气流迁移到内陆, 遇冷气流凝为雨雪而降落, 称为降水。一部分水沿地表流动, 汇成江河湖泊, 称为地面径流; 另一部分降水渗入地下, 形成地下径流。在流动过程中, 地面水和地下水相互补给, 最终复归大海。这种海洋→内陆→海洋的循环, 称为大循环。那些在小的自然地理区域内的循环, 称为小循环。生物体内的水, 也进行着吸收→蒸腾或蒸发→吸收的内外循环。水的自然循环如图 1-1 所示。

由人的社会需要而促成的循环, 称为水的社会循环。它是直接

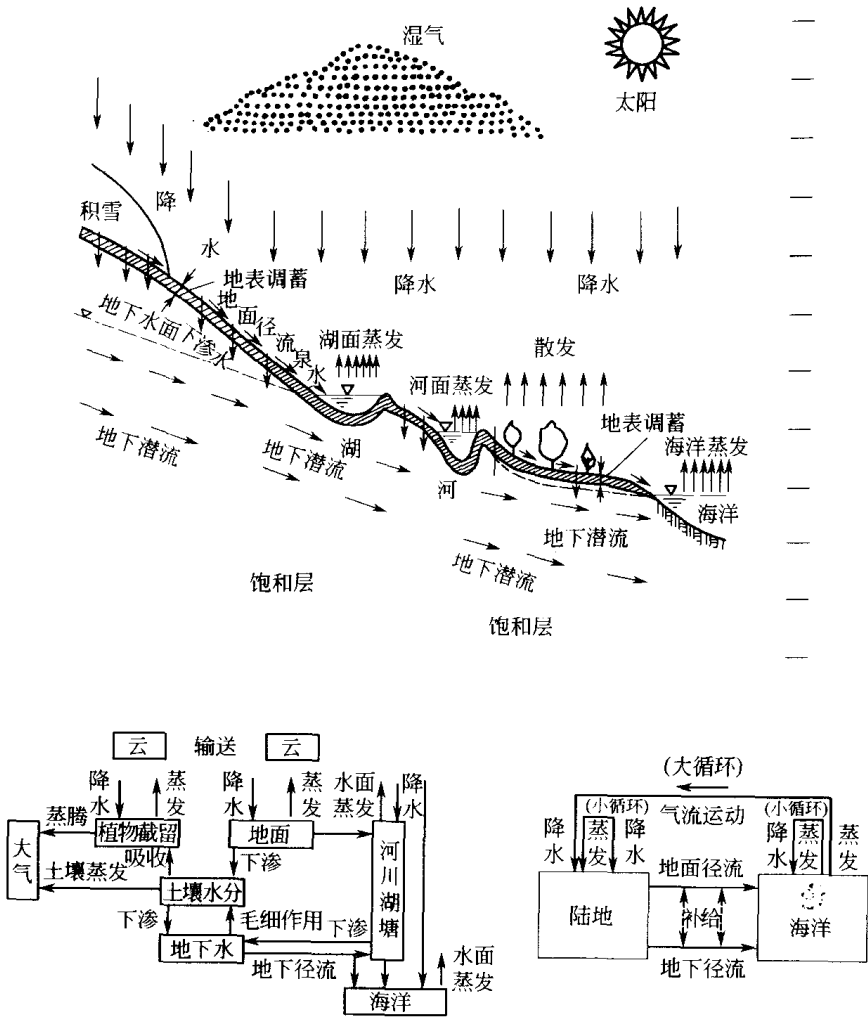


图 1-1 水的自然循环

为人们的生活和生产服务的。取之自然而直接供生活和生产（特别是工业生产）使用的水，称为给水；使用后因丧失原有使用价值而废弃外排的水，称为废水。为保证给水能满足用户的使用要求（水量、水质和水压）而采取的整套工程设施，称为给水工程。为保证废水（有时也包括部分雨水）能安全排放或回用而采取的整套工程

设施，称为排水工程。给水工程和排水工程构成了水的社会循环（见图 1-2）。完善的给水系统和排水系统是现代城市和工业区所必须具备的基础条件。

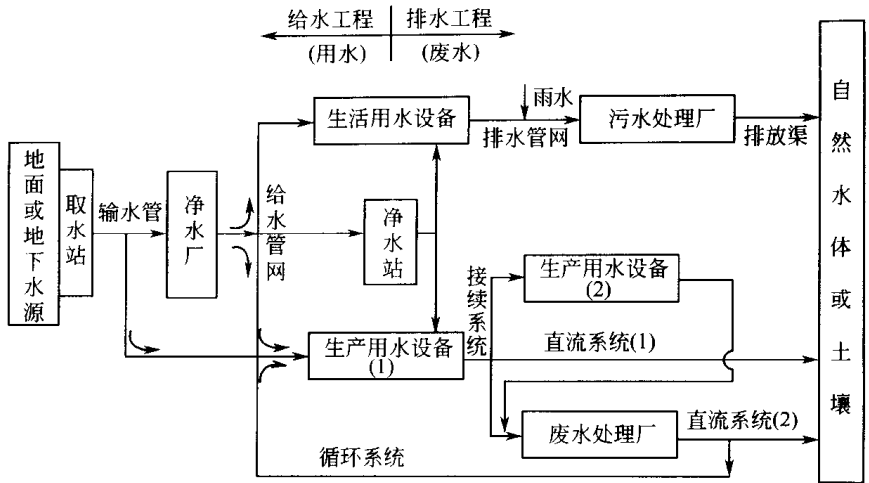


图 1-2 水的社会循环

1.1.3 城市地域水量平衡

城市人口的集中和地面的铺砌改变，对水的自然循环有很大的影响，形成了城市特有的水收支平衡。例如，城市人口增加导致供水不足，需要新开水源或从其他流域引水解决，其结果使水的自然流动发生了改变。另外，给水工程从上游河流取水，排水工程将处理水排入下游河流，形成了地表自然流出的旁通管流。再之，由于不渗透性路面和建筑物面积的增大，抑制了雨雪水的下渗，减少了地下水的补给，导致雨水地面径流量的增加。

城市水收支以日本东京大学虫明教授对东京 23 区所作的年水收支平衡为例（图 1-3）。调查时间是 1979 年，图中数据反映了当时东京 23 区水收支平衡有以下特征。

① 远大于年降雨量的水量是从其他流域（80% 是来自于利根河水系）引入作为上水使用的。

② 上水管道的渗漏转化为地下水，其量与雨水下渗量相当。

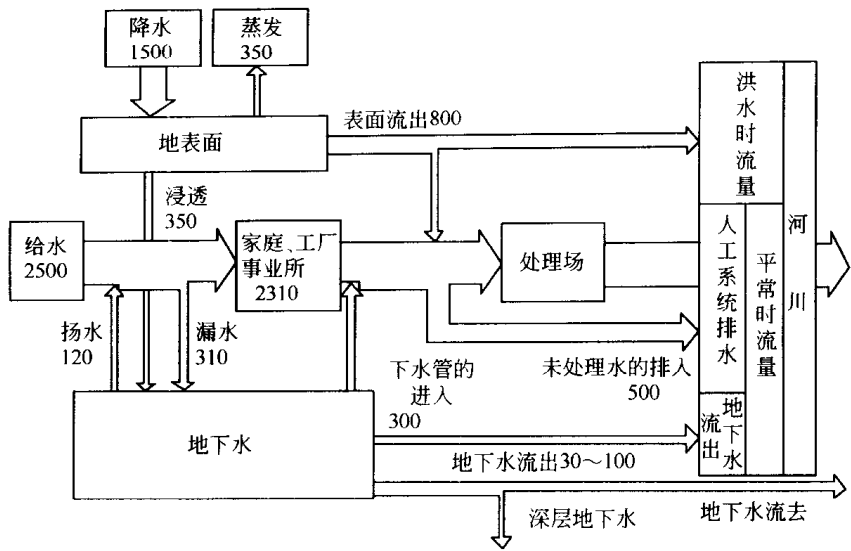


图 1-3 东京市 23 区年水收支平衡/mm
(1979 年不透水面积占 65%，下水道普及率 75%)

与之相当的地下水又从地铁等地下构筑物中渗出。

③ 从河流常流量的构成来看，未铺设下水道地区的排水是地下水流出量的 5~10 倍，河流中大部分流量来自生活污水的排放，因此，铺设下水道会减少河流流量。

④ 由上水排入到下水的处理水再生回用是今后城市水循环的重要研究课题。

1996 年东京市下水道普及率为 95% (23 区为 99%)，城市河流旱季流量越来越少。例如神田川河流，旱季流量的 96% 来自于污水处理厂的排放水，自然流量微乎其微。相反，随着城市化的发展，不渗透面积的增加导致雨天时河水流量急剧增大而引发洪水。

1.1.4 雨水流特性

1.1.4.1 降雨

降落到地面上的雨水称之为降雨，降落到地面上的雪称之为降雪，从大气降落到地面上的水总称为降水。降水量一般用内径为

20 cm 的雨量计在降雨时间内的水量除以受水面积，水的深度用 mm 表示。

降水是水循环的重要环节之一，是区域水资源的最主要来源。在 20 世纪 80 年代初统计，中国全国多年平均年降水总量为 61889 亿立方米，折合年降水量 648 mm，相当于全球陆面平均年降水量的 81%，亚洲陆面平均年降水量的 88%。但由于受海陆位置、水汽来源、地形地貌等因素的影响，中国年降水的地区分布极不均匀，总的趋势是由东南向西北递减。东南沿海及西南部分地区多年平均年降水量大于 2000 mm，在台湾东北部和西南边境局部地区，如中印边境东段，平均年降水量达 5000 mm 以上。长江中下游地区多年平均年降水量在 1000 mm 以上，秦岭至淮河一带为 800~900 mm，华北平原、东北、山西、陕西大部、甘肃、青海东南部、新疆北部和西部山区、四川北部和西藏东部等，多年平均年降水量为 400~800 mm。东北西部和内蒙、甘肃以西的地区年降水量均低于 400 mm，有些地区如新疆塔里木盆地和青海柴达木盆地，年降水不足 25 mm，是中国降水量最少的地区。

中国境内的降水在年内分配上也很不均匀，多数地区在汛期四个月内的降水量占全年降水量的 50%~80%，其中东南沿海地区占 50%~60%，其他大部分地区为 70%~80%。从南到北最大四个月的时段，也为 4~7 月、5~8 月、6~9 月、7~10 月几个月份不等。全年中连续三个月最小降水量占全年降水量的比值，则由南到北的变化为 10%~5%。

各地区历年最大年降水量和历年最小年降水量的比值，以西北地区为最大，一般都在 8 以上，华北地区为 4~6，东北地区 3~4，南方一般为 2~3，西南地区小于 2。和世界其他同纬度地区相比，中国降水的年际变化要大一些。

降雨量、强度、历时、频率和重现期等参数，可用来分析降雨的特征。

(1) 阵雨历时和降雨历时 一场暴雨经历的整个时段称降雨历时；阵雨过程中任一连续的时段则称降雨历时。阵雨历时和降雨