

现代

水文水资源研究

XIANDAI SHUIWEN SHUIZIYUAN YANJIU

王殿武 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

现代

水文水资源研究

XIANDAI SHUIWEN SHUIZIYUAN YANJIU

王殿武 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书内容主要包括:水的形成及循环、与水相关的一些数字、水问题的介绍、水文学的现状及前沿、水资源学的现状及前沿、节约用水的重要性及节水实践成果,同时,还分析了2000年以来全国各流域,特别是松辽流域以及辽宁省的水资源状况及变化规律。

本书可作为从事水利、水文、水资源、防洪、环境、生态、农业、区域经济等领域的科研、管理人员的参考书,大专院校教师和学生的基础知识读本,也可供各级领导参阅。

图书在版编目(CIP)数据

现代水文水资源研究 / 王殿武编著. —北京:中国水利
水电出版社, 2008

ISBN 978-7-5084-5061-2

I. 现… II. 王… III. ①水文学—研究②水资源—研究
IV. P33 TV211.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第162998号

书 名	现代水文水资源研究
作 者	王殿武 编著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32开本 6.625印张 178千字
版 次	2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷
定 数	0001—3000册
定 价	20.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



作者 介

王殿武，男，工学博士，教授研究员级高级工程师。1962年7月出生于辽宁省北票市。1984年毕业于沈阳农业大学水利学院，2004年在职博士研究生毕业于西安理工大学，并获工学博士学位。大学毕业后，一直从事水利科研及技术工作，在土工合成材料应用、堤坝施工、农田水利、农业节水、水文水资源等方面都有一定研究，并取得过较突出的业绩。已取得国际领先水平成果3项，国际先进水平成果5项，国内领先水平成果8项；已获省（部）级科技进步一等奖1项、二等奖5项、三等奖4项；获省级自然科学学术成果一等、二等奖6项；在国内外公开发表学术论文100多篇，编著出版学术著作5部。是“辽宁省优秀专家”、“国家有突出贡献的中青年专家”、“国家有突出贡献专家”、“全国水利青年科技英才”、“全国水文标兵”、“全国杰出专业技术人才”、“全国及辽宁省五一劳动奖章”获得者，入选国家百千万人才工程百人层次人选。

前言

地球应当称为水球，这是有一定道理的，因为我们生活的这个星球拥有大量的水，并且71%的表面积被水覆盖着。在宇航员看来，地球是一个蓝色的水球，十分璀璨，在太阳系家庭中独一无二。地球拥有的水量非常巨大，总量为13.86亿 km^3 ，其中，96.5%分布在海洋里；1.76%分布在冰川、冻土、雪盖中，是固体状态；1.7%分布在地下；余下的，分布在湖泊、江河、大气和生物体中。因此可以说，从天空到地下，从陆地到海洋，到处都是水的世界。

全世界的水是一个有联系的整体。海水在阳光的照射下，不断蒸发，形成水汽弥漫在海洋上空；一部分水汽被气流带到陆地上空，遇冷就凝结成细小的水滴，变成云，降落到地面就是雨或雪；雨雪水落地后，有的流到洼坑里，有的渗入地下，有的流入小溪，汇进江河，奔向海洋。无数小水滴就是这样一刻不停地在世界上往复循环，哪里有水，哪里就有生命，一切生命活动都是起源于水的。

水循环保证了人类淡水的供应和生命的延续，但水循环也给人类带来了不和谐的水问题。可归结为洪涝灾害、干旱缺水、水体污染、水土流失，即通常简称为“水多、水少、水脏、水浑”四大水问题。目前我国的洪

涝灾害、干旱缺水、水体污染和水土流失四大水问题日趋严重，根据近 15 年资料统计，年均洪涝灾害损失达 1100 亿元，占同期 GDP 的 1%~2%，是美国、日本等发达国家的 10~20 倍；年均因旱减产粮食 245 亿 kg，占粮食总产量的 5% 左右，因旱灾造成国民经济直接损失达 2800 亿元，占 GDP 的 2%~3%，是美国、日本等发达国家的 20~30 倍，甚至更高，全国有 2/3 城市处于缺水状态，地下水超采引发的河流及泉水干涸、湿地萎缩、地面沉降、海水入侵等生态环境问题十分突出；江河超Ⅲ类水以上河段达 41%，即有近一半江河水不能作生活用水，是 1980 年的 3 倍，有 3 亿农民饮水不安全，农村 80% 的疾病与水质不达标有关，城市周边的地表水有 90% 被污染，因水体污染造成国民经济直接损失达 2700 亿元；我国现有水土流失面积 356 万 km²，占国土总面积的 37%，每年流失的地表土 50 亿 t，每年人为造成土石移动 392 亿 t，因此每年形成水土流失面积 1.5 万 km²。江河淤积，湖泊萎缩，土地退化、沙化，已成为我国的头号环境问题。因而了解水问题产生的原因、类型、危害，采取哪些有效措施规避水灾害、防治水灾害，达到人水和谐相处，使我们生活的星球更加适合人类生存繁衍，实现水的可持续利用，提高人们对水的认识，普及水科学知识，尤其是与解决四大水问题密切相关的水文水资源基本知识就显得十分迫切和必要。

地球上的水是从哪里来的？水为什么如此重要？把地球上的水平铺在表面上总厚将达 2800m，这么多的水为什么人类还缺水？为什么江河里日日夜夜总是川流不息？

为什么千万年来那么多江河水流进海洋，而海洋不见满溢出来？雨降落到地面上发生了什么？四大水问题是如何形成的、能否监测预报及防治？水资源是如何定义的、数量有多少、质量状况怎样监测和衡量？为什么要节约用水？节水的作用和潜力有多大？节水的措施有哪些？等等。这些既是民众关注的问题，也是专家学者关注和研究的问题，更是水文、水资源学研究的基本问题。为此，在广泛收集国内外相关资料的基础上，结合科研、技术工作实践的感悟，编著了具有工具、科普性质的《现代水文水资源研究》一书。全书共分七章：第一章为水的形成及循环；第二章为有关水的一些数字；第三章介绍了洪涝灾害、干旱缺水、水体污染、水土流失等四大水问题的形成、表现、危害及解决问题对策；第四章为水文学基础理论及发展；第五章为水资源学基础理论及发展；第六章为节水理论及实践；第七章为水资源状况及变化规律分析。

全书层次分明，内容新颖，数据量大而翔实，具有很强的针对性、实用性，既是一本很好的科研、技术、教学、管理等工作及学生学习的工具参考书，又可作为普及性读物，对于引起全社会关注水问题、为解决水问题而努力，尤其对关注和解决水资源危机问题，实现人水和谐具有重要参考价值。

王殿武

2007年8月

目 录

前言

第一章 水的形成及循环..... 1

第一节 水的形成..... 1

第二节 水的循环..... 2

第三节 水的特性..... 4

第二章 水的一些数字..... 6

第三章 四大水问题及解决对策..... 11

第一节 洪涝灾害（水多问题）..... 11

第二节 干旱缺水（水少问题）..... 13

第三节 水体污染（水脏问题）..... 14

第四节 水土流失（水浑问题）..... 17

第五节 四大水问题造成的损失..... 19

第六节 解决四大水问题的对策..... 20

第四章 水文学基础理论及发展..... 22

第一节 水文学的概念及含义..... 22

第二节 水文常用名词..... 23

第三节 洪水及有关水文气象要素..... 35

第四节 水文学现状及发展趋势..... 50

第五章 水资源学基础理论及发展..... 54

第一节 水资源学的概念及含义..... 54

第二节 水资源学常用名词..... 57

第三节 水资源状况..... 83

第四节 水资源学现状及发展趋势..... 94

第六章 节水理论及实践..... 102

第一节 节水潜力究竟有多大 102

第二节 工业节水 106

第三节 农业节水 114

第四节 生活节水 123

第五节 节水器具 130

第六节 开发其他水源 137

第七章 水资源状况及变化规律分析..... 143

第一节 全国水资源状况及变化规律 143

第二节 松辽流域水资源状况及变化规律 154

第三节 辽宁省水资源状况及变化规律 174

参考文献 198

后记 199

第一章 水的形成及循环

在地球上，哪里有水，哪里就有生命，一切生命活动都起源于水。人类很早就知道水、利用水，水无色、无味、无嗅、透明，是自然界中最常见的液体。古代哲学家们认为，水是万物之源，万物皆复归于水，所以一直把水、火、气、土当作四个基本元素，世界上一切物体由它们构成。直到 1784 年英国科学家卡文迪许用实验才证明水不是元素，是由两种气体化合而成的产物。1809 年，法国化学家盖吕萨克测定，1 体积氧和 2 体积氢化合，生成 2 体积水蒸气。后来的科学家便定出了水的分子式： H_2O 。

第一节 水的形成

关于水的起源人们的认识仍有很大的分歧，目前约有 32 种关于水形成的学说。这里简述几种主要学说：

一种学说认为在地球形成之前的初始物质中存在一种 H_2O 分子的原始星云，类似于现在平均含水 0.5% 的陨石，地球形成后降到地球上，从而使地球上有了水。

一种学说认为在地球形成后才有形成水的原始元素（氢和氧），氢与氧在适宜的条件下化合，生成羟基（OH），羟基再经过复杂的变化，形成水（ H_2O ）。

荷兰的天文学家奥特认为，地球上的水主要来源是我们这颗行星内部的岩石圈的上地幔。岩石圈的物质一半是由硅组成，其中含有硅酸盐和水分。这些岩石在一定的温度和适宜的条件下（如火山爆发）脱水，从而形成了水。

美国学者肯尼迪等认为，岩石在熔化中完全混合时，含有硅

酸盐 75%，含水 25%。在地球形成初期，火山爆发频繁，从而加快了地球上水的形成。由于地球内部的高温，地球的水还在增加。研究资料表明，海洋水面近 1000 年内上升了 1.3m。不过近几十年海洋水面快速升高可能是因为全球气候变暖造成的，见图 1-1。

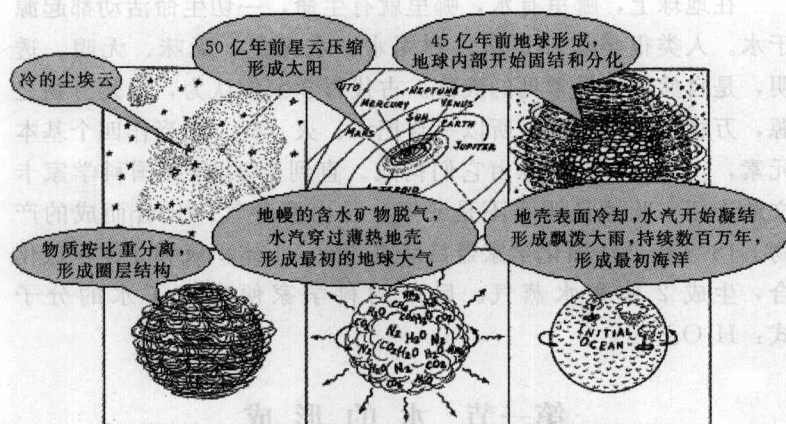


图 1-1 地球上的水形成过程示意图

值得人类警醒的是，二氧化碳 (CO_2)、二氧化硫 (SO_2) 等气体的大量排放，形成温室效应，使全球气温逐年升高，致使南北极的冰盖融化，造成了海平面的不正常的上升，从而给地球上的人类生存带来了很大的威胁。我们只有一个地球，要珍惜我们地球的环境，呼吁人类要像爱护自己的生命一样爱护我们的地球。

第二节 水的循环

地球上的水不是静止的，它在不断运动变化和相互交换。海洋和陆地表面的水蒸发形成水汽进入大气层，水汽在适宜条件下重新凝结形成降水，降水一部分汇集于江河湖泊形成地壳水，一

部分渗入地下，成为地下水，还有一部分流入海洋，成为海水，水的这种不断运动称为水循环。

鉴于自然界水的循环规律，所以说水是一种可以更新的资源，人类和万物处于水的循环中，所以人类活动直接影响着水的循环过程。

全世界的水是一个有联系的整体，每年平均约有 57.7 万 km^3 参与水循环，变成无数小水滴一刻不停地在世界上运动，按此速度全部水量循环一次，或者说全部水量更新一次，需要 2400 年。各种水体在自然界都是以循环运动的方式存在。正是水循环使得江河里日日夜夜总是川流不息，并保证了人类淡水的供应，地球生物圈的延续发展。

水分循环一般包括降水、径流、蒸发三个阶段。降水包括雨、雪、雾、雹等形式；径流是指沿地面和地下运动着的水流，包括地表径流和地下径流；蒸发包括水面蒸发、植物蒸腾、土壤蒸发等。

水的循环按其循环过程的不同，可分为大循环和小循环两种。

从海洋蒸发上升的水汽被气流带到陆地，遇冷凝聚而以降水的方式落到地面。降落的水一部分蒸发，重新回到空中，一部分形成地表径流汇入江河，流归海洋。这种海洋与陆地之间的水迁移与交换现象称为大循环。

从海洋表面蒸发形成的水汽，上升到空中，遇冷凝聚后又降落到海洋上；或者从陆地上蒸发形成的水汽，上升到空中，遇冷凝聚后又降落到陆地上，这种海洋内部或陆地内部的水的迁移与交换现象称为小循环。

水的大循环与小循环实际上是不能截然分开的，是互相联系的，小循环往往包含在大循环内部。水的循环总的趋势是海洋向陆地输送水汽，而陆地又将一部分径流流回至大海。在水的循环过程中，地球上的大气圈、水圈和岩石圈之间，通过蒸发、降水、下渗进行着水的交换。地球上的各类水体的循环周期见表 1-1。

表 1-1 地球上的各类水体的循环周期

水 体	循环周期	水 体	循环周期
大气	8~10 天	河水	16 天
海洋平均	2500~3000 年	湖泊	17 年
其中：浅层	100~150 年	沼泽	5 年
最深层	3 万~4 万年	土壤水	1 年
冰冠和冰川	1 万~1.5 万年	深层地下水	1400 年
其中：地下冰	1 万年	浅层地下水	30~100 年
高山冰川	1600 年	生物水	几小时
常年积雪	1 万年	全球水平均	2400 年

第三节 水的特性

水是最常见的物质，但它有许多异常特性。也正是由于这些特性，才使水在自然界和人类生活中普遍发生巨大作用，成为支配自然和人类环境中各种现象的主要因素。

水同其他物质一样，受热时体积增大，密度减小。纯水在 0°C 时密度为 $999.87\text{kg}/\text{m}^3$ ，在沸点时水的密度为 $958.38\text{kg}/\text{m}^3$ ，密度减小 4%。水的沸点与压力成线性变化关系。沸点随压力的增加而升高。

在正常大气压下，水结冰时，体积突然增大 11% 左右。冰融化时体积又突然减小。据科学家观测，在封闭空间中，水在冻结时，水变为冰，体积增加所产生的压力可达 2500 个大气压。这一特性对自然界和工业有重要意义。岩石裂隙在反复融冻时裂隙逐渐增大就是这个道理。地埋输水塑料管为防冻坏，一般要求一定的埋深（大于冻土层深度）。水的冻结温度随压力的增大而降低。大约每升高 130 个大气压，水的冻结温度降低 1°C 。水的这种特性使大洋深处的水不会冻结。

水的热容量除了比氢和铝的热容量小之外,比其他物质的热容量都高。水的传热性则比其他液体小。由于这一特性,天然水体封冻时冰体会极慢地增厚,即使在水面长期封冻时,河流深处可能仍然有液体,水的这种特性对水下生命生存有重要意义。水的这一特性对指导灌溉也有意义,如进行冬灌能提高地温,防止越冬作物由于低温受冻害。

在地球表面的环境条件下,水可能呈三种物理状态,即液态、气态和固态。由于沸点和冰点间温度范围相当宽,且相变热很大,所以地球表面大量的水还是呈液态,于是构成了各种类型的天然水系。通常条件下呈液态这一点也正是水的最重要特点之一。水的某些异常性质及意义见表 1-2。

表 1-2

水的某些异常性质及意义

性 质	特 点	意 义
状态	一般为液态	提供生命介质、流动性
热容	非常大	良好的传热介质,调节环境和有机体的温度
熔解热	非常大	使水处于稳定的液态,调节水温
蒸发热	非常大	对水蒸气的大气物理性质有意义,调节水温
密度	4℃时极大	水体冰冻始于表面,控制水体中温度分布,保护水生生物
表面张力	非常大	生理学控制因素,控制液滴等表面现象
介电常数	非常大	高度溶解离子性物质并使其电离
水合	非常广泛	对污染物是良好溶剂和载带体,改变溶质生物化学性质
离解	非常少	提供中性介质
透明度	大	透过可见光和长波段紫外线,在水体深处可发生光合作用

第二章 水的一些数字

随着世界经济日益发展,人类生活水平不断提高,在水的消耗量不断增加的情况下,水已成为制约众多国家经济社会发展、人民生活水平提高和环境生态建设的重大问题。因而水、能源、人口、环境形成了当今世界四大热点问题。人们已深刻认识到,人类赖以生存的水,再也不是“取之不尽,用之不竭”的了,世界上到现在为止还没有找到任何一种物质可以替代水。

一、天空中的数字

据气象学家初步计算,天空中水有 28 万 m^3 , 占全球总水量的 0.002% , 循环周期为 8.7 天 , 即一年里天空中的水可循环 42 次多, 总水量可达 1176 万亿 m^3 之多, 是地球表面总量的 8.4 倍。如果按地表或地下水使用后循环周期 400 年 计算, 天空中的水可用的总量达 47.2 万亿 m^3 , 为全球淡水总量的 112 倍。

二、地球表面的数字

地球 71% 的表面被水覆盖, 全球的水量为 13.86 亿 km^3 , 其中地表水约为 13.42 亿 km^3 , 若将其平均分布于地球表面, 则地球平均水深 2800 m ; 地下水约为 4400 万 km^3 ; 大气水约为 11.4 万 km^3 ; 土壤水约为 6.5 万 km^3 ; 生物水约为 5.2 万 km^3 。我国水资源总量约为 2.8 万亿 m^3 , 其中地下水约 0.87 万亿 m^3 。

三、可利用有限的数字

地球的淡水只占总水量的 2.53% , 约为 3500 万 km^3 , 且主要分布在南北两极的冰雪中。目前 8 类可以直接利用的只有地下水、湖泊淡水和河床水, 三者相加约占地球总水量的 0.77% , 除去不能开采的深层地下水, 人类实际能够利用的水只占地球总量的 0.2% 左右, 约为 277.2 万 km^3 。我国的淡水总量占全球淡

水总量的 8%，水资源量人均 2200m^3 ，居世界第 110 位。在我国水资源总量中，可用水储量只有 1.1 万亿 m^3 ，目前用水量已达 5600 亿 m^3 。我国水资源分布不均，长江以南地区面积占全国的 36%，人口占全国的 54%，耕地占全国的 40%，GDP 占全国的 56%，水资源量占全国的 81%；北方面积占全国的 64%，人口占全国的 46%，耕地占全国的 60%，GDP 占全国的 44%，水资源量占全国的 19%，其中黄淮海区水资源量仅占全国的 7%。全国水资源可利用总量 8548 亿 m^3 ，占水资源总量的 31%，黄淮海区（2000 年一次性）供水量已接近可利用总量，个别地区超过可利用总量。

四、生命中的数字

在地球上，水是生命之源，没有水就没有生命。生命和水是分不开的，成年人体内含水量占体重的 65%，脑髓含水 75%，血液含水 83%，肌肉含水 76%，连坚硬的骨骼里也含水 22%。大象身体的 70% 是水，马铃薯的水分含量为 80%，西红柿约为 95%。生命体中的水调节体温，促进新陈代谢，输送营养物质、排除废物，忙碌而有秩序。同时，水也参加化学反应，与蛋白质、糖、磷脂结合，发挥复杂的生理作用。一个健康成人，每天平均要喝 2200mL 水，再加上体内物质代谢产生的内生水 300mL，总共 2500mL，一生约需要 75~80t 水。每天稍加间隔就需要而且是必要的水补充和排出，这是生命的象征，也是生命的内容。人体一旦缺水，后果是很严重的。缺水 1%~2%，感到渴；缺水 5%，口干舌燥，皮肤起皱，意识不清，甚至幻视；缺水 10% 便会引起疾病；缺水 15%，往往表现出饥饿；缺水 20%~22% 就面临死亡。没有食物，人可以活较长时间（有人估计为两个月），如果连水也没有，顶多能活一周左右。

五、短缺的数字

全球有 60% 的陆地面积淡水供应不足，20 亿人饮水短缺，40 多个国家严重缺水。而人类正以每 15 年增加 1 倍的淡水需求

消耗着水资源。我国 669 个城市中有 400 多个供水不足，其中 110 个严重缺水，日缺水量达 1600 万 m^3 。因缺水影响 4000 万城市人口的正常生活，每年造成工业损失 2000 多亿元。农村有 5000 万人和 4000 万头大牲畜饮水供应不足，3 亿亩农田受旱。

六、污染的数字

全球年排污水 4200 多亿 t，使得上万亿吨的水质遭受污染，全世界有 1/10 的河流受到污染。占世界人口 40% 的 80 个国家约 10 亿人饮用被污染的水，发展中国家农村有 70% 的人得不到清洁卫生的供水，17 亿人没有良好的卫生设施，每年约有 2500 万人死于饮用不清洁的水。我国 2003 年废污水排放总量达 680 多亿 t (2/3 为工业废水，1/3 为生活污水)，比 1980 年增加 2 倍。约有 1/3 的工业废水和 2/3 的生活污水未经处理排入水中。农田大量使用化肥、农药，也加剧了水环境的污染。全国 52 个主要湖泊评价显示，5 个受到污染，26 个受到严重污染，75% 的湖泊不同程度的富营养化。七大水系的河道 50% 被污染，20% 被严重污染；全国 25% 的地下水体遭到污染，35% 的地下水水源不合格，平原区约有 54% 的地下水不符合生活用水水质标准。致使全国符合饮用水标准的水体仅占 1/3，有 3 亿多人饮水不安全，1.9 亿人的饮用水有害物质超标。每年因水体污染造成国民经济直接损失 2700 亿元。

七、危机的数字

人类对水的需求量与日俱增，全世界 1975 年用水量为 3 万亿 m^3 ，1994 年为 4.3 万亿 m^3 ，2000 年为 7 万亿 m^3 。2030 以后，水将供不应求；2050 年，将亏水 2300 亿 m^3 ；2070 年，亏水 4100 亿 m^3 。我国近 5 年来平均每年有 318 座城市近 2200 万人因旱用水紧张。每年农田受旱面积 3 亿~4 亿亩，平均每年因旱减产粮食 250 亿~300 亿 kg，占各种自然灾害损失总量的 60%。21 世纪初面临缺水的国家：欧洲有 15 个，亚洲有 14 个，非洲有 20 个，中美有 5 个。21 世纪的水危机将取代石油危机，