



ENERGY

图文并茂◆主题热门◆创意新颖

XINNINGYUAN JIAZH
CONGSHU



水力

Hydraulic power

本书编写组◎编



中国出版集团
世界图书出版公司

图书在版编目 (CIP) 数据

水力 / 《水力》编写组编. — 广州: 广东世界图书出版公司, 2010. 8

ISBN 978 - 7 - 5100 - 2558 - 7

I. ①水… II. ①水… III. ①水力学 - 普及读物
IV. ①TV13 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 160423 号

水 力

责任编辑: 冯彦庄

责任技编: 刘上锦 余坤泽

出版发行: 广东世界图书出版公司

(广州市新港西路大江冲 25 号 邮编: 510300)

电 话: (020) 84451969 84453623

http: //www. gdsw. com. cn

E-mail: pub@gdsw.com.cn, edksy@sina.com

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京燕旭开拓印务有限公司

(北京市昌平马池口镇 邮编: 102200)

版 次: 2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 13

书 号: ISBN 978 - 7 - 5100 - 2558 - 7/T · 0013

定 价: 25.80 元

若因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系退换。

Contents | 目录

引言	1
第一章 水与水能	4
第一节 水	5
第二节 水能	21
第二章 水能的开发利用	35
第一节 早期的水能利用	36
第二节 近现代水能的开发方式	56
第三章 水力发电	62
第一节 水力发电原理	63
第二节 水轮发电机	65
第三节 水力发电站类型	74
第四节 小水电	82
第五节 潮汐电站	86

第四章 世界水电发展	92
第一节 世界水电发展历程	93
第二节 水电发达国家开发状况	96
第三节 国际社会有关水坝的争议	108
第四节 水电发展的前景	121
第五节 世界著名水电站选介	126
第五章 中国水电发展	140
第一节 我国水力资源分布	141
第二节 我国水电开发状况	144
第三节 我国小水电发展	161
第四节 水电开发的制约条件和解决办法	165
第五节 我国水电站选介	173



引言

“水力”这个词，人们常常把它和“水利”混为一谈，实际上两者是有区别的。

“水利”一词，最早见于战国末期间世的《吕氏春秋》中的《孝行览·慎人》篇，它所讲的“取水利”是指捕鱼之利。鱼儿离不开水，人们能够捕鱼以维持生存，也算是从水那里得到的利益。

西汉史学家司马迁所著《史记》，其中的《河渠书》是中国第一部水利通史。该书记述了从禹治水到汉武帝黄河瓠子堵口这一历史时期内一系列治河防洪、开渠通航和引水灌溉的史实，书中感叹道：“甚哉水之为利害也”，并指出“自是之后，用事者争言水利”。从此，“水利”一词就具有防洪、灌溉、航运等除害兴利的含义。

随着社会经济不断发展，水利的内涵也在不断充实扩大。1933年，中国水利工程学会第三届年会的决议中就曾明确指出：“水利范围应包括防洪、排水、灌溉、水力、水道、给水、污渠、港工八种工程在内。”其中的“水力”指水能利用。进入20世纪后半叶，“水利”中又增加了水土保持、水资源保护、环



境水利和水利渔业等新内容，“水利”的含义更加广泛。

因此，“水利”一词是指人类社会为了生存和发展的需要，采取各种措施，对自然界的水和水域进行控制和调配，以防治水旱灾害，开发利用和保护水资源。

“水力”就是指水能利用。

水不仅可以直接被人类利用，它还是能量的载体。水能是一种可再生能源，是清洁能源，是指水体的动能、势能和压力能等能量资源。

人类利用水能的历史很悠久，我国是世界上最早利用水能的国家之一。早在 1900 多年前，就制造了木制的水轮，让流水冲击水轮转动，用来汲水、磨粉、碾谷。不过，在很长一段时间内，水能都只是被用来带动简单的机械运作，作为农业灌溉和手工作坊的动力。

到了 19 世纪，人类掌握了水力发电技术，利用水力带动水轮发电机发电，再把电送到远处的工厂，扩大了水能的使用范围。

水力发电是通过水轮机把水流的势能转化为机械能，再带动发电机输出电能。水力发电除了是一种比较干净的发电方式外，还有一系列的其他优点：水能站运行费用低，设备不易发生故障；水力发电成本低，投资回收快；许多水电工程除了发电外，还兼有防洪、灌溉、城市供水等多种功能。同时，水力发电是一种灵活的能源供应系统，既可连续运转，也可以把能量储存起来。

水力是清洁的可再生能源，应该大力开发以节省矿物燃料。



但是和世界能源需要量相比，水力资源仍很有限，并且相当大的一部分水力资源都在远离工业中心的交通不便之处，水电站和输电线路的建设都将耗费大量的资金。目前，全世界水电装机总容量约 4 亿千瓦，仅占可利用资源的 18%。发达国家水能资源利用比较充分，其中西欧国家一般已开发了 70%~90%，美国为 44%，俄罗斯约 20%。发展中国家水能利用率比较低，潜力很大，例如非洲的扎伊尔水能蕴藏量达 1 亿千瓦，而水能利用率尚不到 1%。

我国地域辽阔，河流密布，径流量大，而且山区较多，地形高差又大，水力资源极为丰富，是世界上地表水资源最丰富的国家之一，也是世界上水能蕴藏量最大的国家。据普查统计，我国水能资源蕴藏总量约为 6.8 亿千瓦，其理论上的发电量可达 5.9 万亿度/年。1949 年后的几十年时间里，我国的水能利用得到了较快的发展，截至 2008 年底，中国水电装机容量达到 1.72 亿千瓦，稳居世界第一位。水电能源开发利用也从改革开放前的技术可开发量不足 10% 提高到 27%。

鉴于此，本书重点介绍了水力在 19 世纪后为人类作出的巨大贡献——水力发电。





第一章 水与水能

水是人类生存所需的一种宝贵资源，同时它又是一种能源，而且是可再生能源，是清洁能源，是绿色能源。

广义的水能资源包括河流水能、潮汐水能、波浪能、海流能等能量资源。

狭义的水能资源指河流的水能资源，是常规能源、一次能源。狭义的水能是指河流水能。人们目前最易开发和利用的比较成熟的水能也是河流能源。

本章介绍水作为资源和能源的一些基本知识。



第一节 水

水包括天然水（河流、湖泊、大气水、海水、地下水等），人工制水（通过化学反应使氢氧原子结合得到水）。

水是地球上最常见的物质之一，是包括人类在内所有生命生存的重要资源，也是生物体最重要的组成部分。无论是过去、现在还是将来，水始终是影响人类社会发展的的重要因素。一旦失去了水，万物将无法生存。水是生命之源，水和我们的生活息息相关。

1993 年 1 月 18 日，第四十七届联合国大会作出决议，确定每年的 3 月 22 日为“世界水日”（World Water Day）。

水不仅是生物体的重要组成部分，也是地理环境中最活跃的因素。正因为有了水，地球才变得丰富多彩，生机盎然。

水的形成

几乎与我们时刻相伴的水是怎么形成的呢？目前，对地球上的水是怎么来的有很多种说法，归结起来，可分为 2 大类：①原生说（或自生说），即认为地球上的水来自地球内部；②是外生说，即认为地球上的水来自地球以外的宇宙空间。

原生说（自生说）认为，35 亿年前，原始的宇宙星云凝聚成地球，随着地球快速的自转，含在熔融状态的原始物质里的水分便向地表移动，最终逐渐释放出来，当地球表面温度降至 100 摄



氏度以下时，呈气态的水才凝结成雨降落到地面。

外生说大约又分为两种情况，一种认为大量的陨石降落到地球表面，从而源源不断地带来了宇宙的水；另一种则认为从太阳辐射带来正电的基本粒子——质子，与地球大气中的电子结合成氢原子，再与氧原子化合成水分子。

当然，无论哪种说法，都有待于科学的进一步研究。

水的分布

水是地球上分布最广泛的物质之一。自然界的水总是以气态、液态和固态 3 种形式存在于空中、地表与地下，成为大气水、海水、陆地水以及存在于所有动、植物有机体内的生物水，组成一个统一的相互联系的水圈。

地球总面积为 5.1 亿平方千米，其中海洋面积为 3.613 亿平方千米，约占地球总面积的 70.8%。海洋的总水量为 13.38 亿立方千米，占地球总水量的 96.5%，折合成水深可达 3700 米，如果平铺在地球表面，平均水深可达 2640 米。除海洋外，还有湖泊、河流、沼泽、冰川等。地表约 $\frac{3}{4}$ 被水所覆盖。

地表之上的大气中的水汽来自地球表面各种水体水面的蒸发、土壤蒸发以及植物散发，并借助空气的垂直交换向上输送。一般说来，空气中的水汽含量随高度的增大而减少。科学观测表明，在 1500 米~2000 米高度上，空气中的水汽含量已减少为地面的 $\frac{1}{2}$ ；在 5000 米高度，减少为地面的 $\frac{1}{10}$ ；再向上，水汽含量则更少，水汽最高可达平流层顶部，高度约 55000 米。大气水在 7 千米以内总量约有 12900 立方千米，折合成水深约为 25



毫米，仅占地球总水量的 0.001%。虽然数量不多，但活动能力却很强，是云、雨和雪等的根源。

地球上的水，水平分布面积很广，垂直分布存在于大气圈、生物圈和岩石圈之中，其水量非常丰富，约为 13.68 亿立方千米，所以地球有“水的行星”之称。

水是宝贵的自然资源，也是自然生态环境中最积极、最活跃的因素。同时，水又是人类生存和社会经济活动的基本条件，其应用价值表现为水量、水质和水能。

世界上一切水体，包括海洋、湖泊、河流、沼泽、冰川、地下水以及大气中的水分，都是人类宝贵的财富，即水资源。目前，限于当前技术条件，对含盐量较高的海水和分布在南、北两极的冰川的大规模开发利用还存在很多困难。河流、湖泊、地下水等淡水，能够被人类直接或间接开发利用，尽管这几种淡水资源合起来只占全球总水量的 0.32% 左右，约为 1065 万立方千米，但却是目前研究的重点。

需要说明的是，大气降水不仅是径流形成的最重要因素，而且是淡水资源的最主要（甚至是唯一）的补给来源。

水循环

水循环是指地球上各种形态的水在太阳辐射、地心引力等作用下，通过蒸发、水汽输送、凝结降水、下渗以及径流等环节，不断地发生相态转换和周而复始运动的过程。

从全球整体角度来说，这个循环过程可以设想从海洋的蒸发开始，蒸发的水汽升入空中，并被气流输送至各地，大部分留在



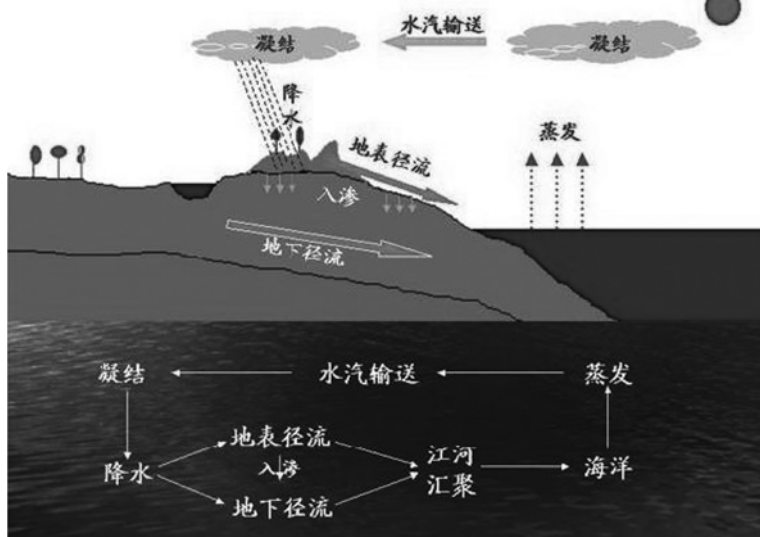
海洋上空，少部分深入内陆，在适当条件下，这些水汽凝结降水。其中海面上的降水直接回归海洋，降落到陆地表面的雨、雪，除重新蒸发升入空气中的水汽外，一部分成为地面径流补给江河、湖泊，另一部分渗入岩石层中，转化为壤中流与地下径流。地面径流、壤中流与地下径流，最后亦流入海洋，构成全球性统一的、连续有序的动态大系统。

水循环整个过程可分解为水汽蒸发、水汽输送、凝结降水、水分入渗，以及地表、地下径流等 5 个基本环节。这 5 个环节相互联系、相互影响，又交错并序、相对独立，并在不同的环境条件下呈现不同的组合，在全球各地形成一系列不同规模的地区水循环。

太阳辐射与重力作用是水循环的基本动力。此动力不消失，水循环将永远存在。其中，蒸发、降水和径流是水循环的主要环节。

从实质上说，水循环乃是物质与能量的传输、储存和转化过程，而且存在于每一环节。在蒸发环节中，伴随液态水转化为气态水的是热能的消耗，伴随着凝结降水的是潜热的释放，所以蒸发与降水就是地面向大气输送热量的过程。据测算，全球海陆日平均蒸发量为 1.5808 万亿立方米，是长江全年入海径流量的 1.6 倍，蒸发这些水汽的总耗热量高达 3.878×10^{21} 焦耳，如折合电能为 10.77×10^{14} 千瓦时，等于 1990 年全世界各国总发电量的近 100 倍，所以地面潜热交换成为大气的热量主要来源。

由降水转化为地面与地下径流的过程，则是势能转化为动能的过程。这些动能成为水流的动力，消耗于沿途的冲刷、搬运和



海陆间水循环

堆积作用，直到注入海洋才消耗殆尽。

根据水循环的不同途径与规模，全球的水循环可分为大循环与小循环。大循环发生于全球海洋与陆地之间的水分交换过程，由于广及全球，故名大循环，又称外循环。大循环的主要特点是，在循环过程中，水分通过蒸发与降水两大基本环节，在空中与海洋，空中与陆地之间进行垂直交换，与此同时，又以水汽输送和径流的形式进行水平交换。交换过程中，海面上的年蒸发量大于年降水量，陆面上情况正好相反，降水大于蒸发；在水平交换过程中，海洋上空向陆地输送的水汽要多于陆地上空向海洋回送的水汽，两者之差成为海洋的有效水汽输送。正是这部分有效的水汽输送，在陆地上转化为地表及地下径流，最后回流入海，在海陆之间维持水量的相对平衡。小循环是指发生于海洋与大气





之间，或陆地与大气之间的水分交换过程。小循环又称内部循环，前者又可称为海洋小循环，后者称陆地小循环。海洋小循环主要包括海面的蒸发与降水两大环节，所以比较简单。陆地小循环的情况则要复杂得多，并且内部存在明显的差别。从水汽来源看，有陆面自身蒸发的水汽，也有自海洋输送来的水汽，并在地区分布上很不均匀，一般规律是距海愈远，水汽含量愈少，因而水循环强度具有自海洋向内陆深处逐步递减的趋势。如果地区内部植被条件好，贮水比较丰富，那么自身蒸发的水汽量比较多，有利于降水的形成，因而可以促进地区小循环。陆地小循环可进一步区分为大陆外流区小循环和内流区小循环。其中外流区小循环除自身垂直方向的水分交换外，还有多余的水量，以地表径流及地下径流的方式输向海洋，高空中必然有等量的水分从海洋送至陆地，所以还存在着与海洋之间的水平方向的水分交换。而陆地上的内流区，其多年平均降水量等于蒸发量，自成一个独立的水循环系统，地面上并不直接和海洋相沟通，水分交换以垂直方向为主，仅借助于大气环流运动，在高空与外界之间进行一定量的水汽输送与交换活动。

河流与湖泊

地球上参与水循环的水量，相当于全球多年平均蒸发量，其中 39.5% 形成为河川径流（简称河流），最终汇入海洋。河流是地球上水循环的重要路径，对全球的物质、能量的传递与输送起着重要作用。

河水的来源叫做河流补给。河水最主要的来源是大气降水，



尤其是降水中的雨水，经过地表径流汇入河流。世界上大多数河流的补给都是靠雨水补给。山地的湖泊，有的成为河流的源头；位于河流中下游地区的湖泊，则对河流径流起着调节的作用，在洪水期蓄积部分洪水，以削减河川的洪峰。人工湖泊——水库更是起着这样的作用。陆地上的其他水体，如冰川、地下水，也常常是河流补给的组成部分，对某些河流来说，还是相当重要的部分。然而事实上，单由一种水源补给的河流很少，绝大多数河流有多种补给形式，正是由于河水补给形式的多样性，才导致了河流径流变化的复杂性。

径流是指受重力作用到达地面的大气降水扣除蒸发返回大气、植物截留、土壤下渗、洼地滞蓄及地面滞留等水量后，通过不同途径形成地面径流、表层流和地下径流，汇入江河，流入湖泊、海洋的水流总称。径流的水量称为径流量，指的是一段时间内河流某一过水断面过水量，径流量反映某一地区水资源的丰歉程度。径流量在水文上有时指流量，有时指径流总量。计算公式为：径流量=降水量-蒸发量。单位为：立方米/秒。

径流是水循环的主要环节之一，径流量是陆地上最重要的水文要素之一，是水量平衡的基本要素，是自然地理环境中最活跃的因素。在当前的技术经济条件下，径流是可资长期开发利用的水资源。

世界上径流量最大的河流是南美洲的亚马孙河，其次是非洲的刚果河，然后就是中国的长江。





亚马孙河

亚马孙河河口多年平均流量 17.5 万立方米/秒，年均径流量 69300 亿立方米。

刚果河河口年平均流量 39000 立方米/秒，年径流量 13026 亿立方米。

长江河口年平均流量 31000 立方米/秒，年径流量 9600 亿立方米。

各大洲的径流量，亚洲径流占全球的 31%，南美洲占 25%，北美洲占 17%，非洲占 10%。各大洋获得的径流量，其中大西洋获得陆地地表径流总量的约 52%，其次为太平洋，占 27.2%。全世界河流径流总量按人平均分，每人约合 10000 立方米。大洋洲平均每人占有径流量最多，欧洲最少。

河流量有季节变化和年际变化，因而海洋获得的地表径流量也具有随季节与年际而变化的特性。

河流在一年内各个月份的径流量是不同的。洪水季节和枯水



刚果河

季节的交替，一般很有规律。河流径流一年内有规律的变化，叫做河流径流的季节变化。河流径流的季节变化，同河流的水源补给密切相关。各种类型的河流水源不同，因而径流季节变化的规律也就不同：以雨水补给为主的河流，主要是随降雨量的季节变

