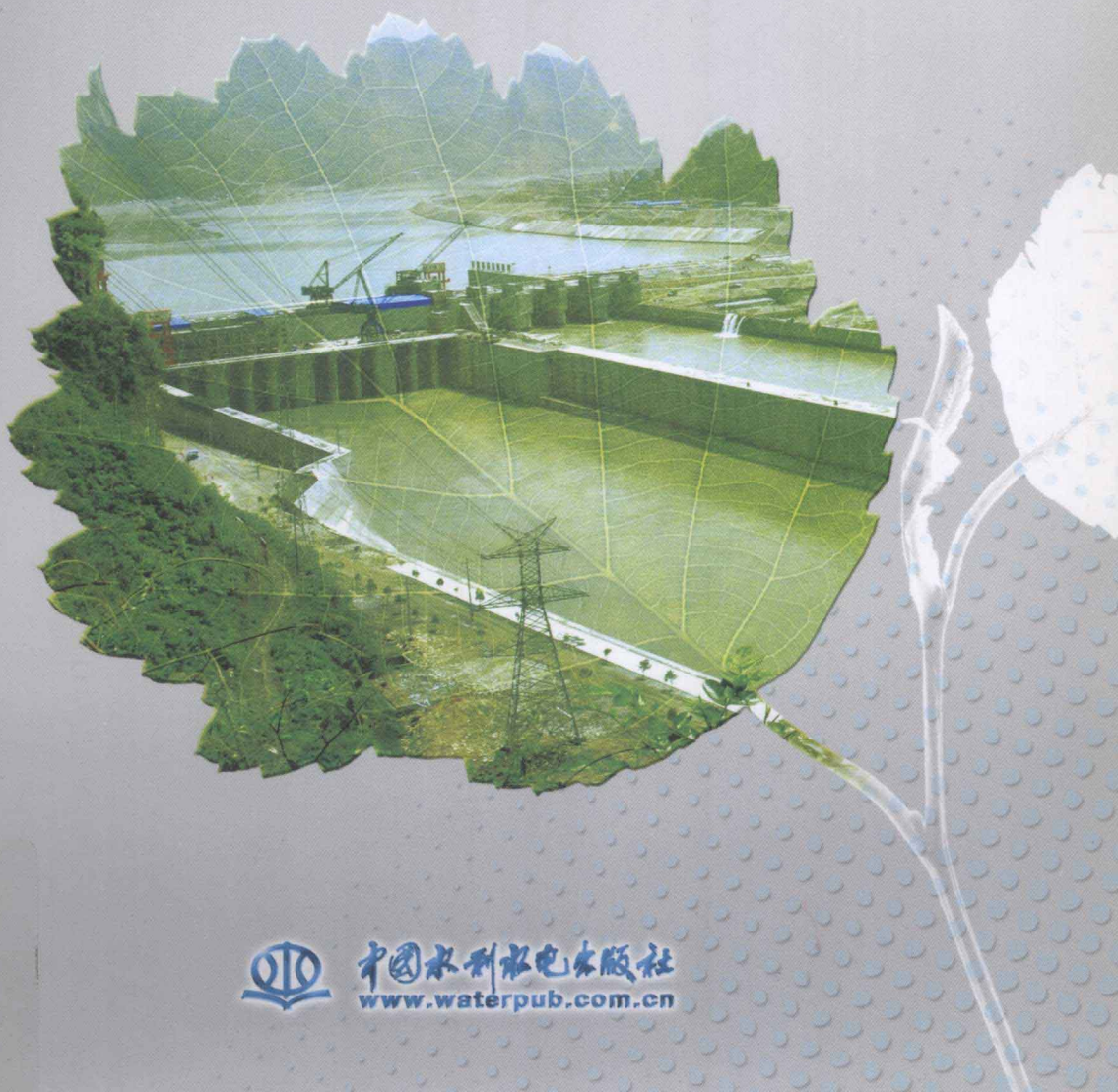


绿色能源发电实用技术丛书

水力发电技术与工程

● 陈锡芳 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

绿色能源发电实用技术丛书

水力发电技术与工程

陈锡芳 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书旨在介绍水力发电的科学技术知识。书中分别对能源与环境、水力(能)资源、水力发电特点和电站类型等问题进行了论述,并对水电站水轮发电机组的安装、维护以及优化运行作了相关的介绍。为了便于读者了解水力发电的全过程,书中对水电站的水电设备结构作了相应的介绍,同时为便于读者阅读,书中还提供了80多幅插图,是一本难得的关于水力发电方面的科技读物。

本书适合于水电建设部门的广大员工了解水力发电科技知识。也可以供水电站(电厂)和机组制造厂以及国家综合管理部门有关人员阅读、参考。同时也可供有关专业院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水力发电技术与工程 / 陈锡芳编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010.9
(绿色能源发电实用技术丛书)
ISBN 978-7-5084-7941-5

I. ①水… II. ①陈… III. ①水力发电工程 IV.
①TV7

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第187319号

书 名	绿色能源发电实用技术丛书 水力发电技术与工程
作 者	陈锡芳 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 6.5印张 154千字
版 次	2010年9月第1版 2010年9月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	18.00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



作者简介

陈锡芳，1938年生，教授级高级工程师。历任东方电机股份有限公司总设计师，1991年国务院批准其为享受政府特殊津贴专家。

从事水轮发电机设计制造工作50多年来，先后负责国内外重大产品设计14余项；负责和承担国家科技攻关项目多项。对水轮机发电机研究倾注了毕生心血。担任葛洲坝（170MW）发电机主任设计，项目获国家科技进步特等奖、“葛洲坝推力轴承研究”获成都市科技进步二等奖；主持“50MW蒸发冷却水轮发电机研制”项目获中科院科技进步一等奖；负责“李家峡400MW蒸发冷却水轮发电机研制”项目获国家科技进步二等奖。参与三峡机组研究与论证获国家重大装备办公室颁发表彰奖。

1993年起先后负责二滩、三峡等机组的技术引进及图纸审批工作以及贯流式机组的研制。近年进行小湾、拉西瓦、溪洛渡、向家坝和锦屏及1000MW级等大型水轮发电机组的可行性论证。被三峡开发总公司技术委员会聘为机电技术专家参与三峡机组重大技术问题研讨和决策。

曾赴加拿大、德国、法国、俄罗斯、美国等10多个国家进行水电考察和技术研讨。2003年起为抽水蓄能机组技术引进专家组成员，参与技术引进及项目合作。

编著《水轮发电机结构运行监测与维修》一书（2008年）。

编著《水轮发电机组改造扩容与优化运行》一书（2010年）。

E-mail: chenxifa@sina.com.cn

前言

能源是人类社会存在与发展的基石。人们在日常的生产和生活中，都离不开对能源的利用，对电力能源的利用更是当今社会不可缺的。

水能是蕴藏在江河中的宝贵能源。江河的水流来自于大自然中的降水，是天赐的资源，而且长流不息。修建水电站，利用江河的水流发电，不会消耗和污染水流本身，仅是将水流中蕴藏的能量转化为电能输送出去，供人类使用。同时，水库调节径流、绿化大地，使人与自然和谐发展。

随着社会文明的不断进步，可持续发展的问题越来越被人们重视。人口、资源、环境将成为 21 世纪社会发展的首要问题。

“滔滔江水万古流，流的都是煤和油”。通常人们都把水能比作白色的煤炭、洁净的石油，一条条江河就是一座座永远采不完的露天煤矿、一口口永远流淌的油井。我国是水能资源丰富的国家，总的蕴藏量居世界首位，这是一笔十分巨大而宝贵的物质财富。

面对祖国的滔滔江河，如果不了解水力发电常识的话，就不知道水力是怎样发电的，不知道我国究竟有多少水能资源及目前开发的状况，更不知道水电站是如何建造起来的。

在落实科学发展观大好形势下，为了让广大干部群众了解水力发电的常识、水能资源开发建设情况，特别是了解保护生态环境、减少污染、充分利用可再生的清洁能源——水力发电。本书从普及水力发电科学技术知识的角度出发，着重介绍水力发电的基本概念和基本知识，对我国在实践中取得的经验也作了介绍。从而得到广大干部群众的熟悉、支持、促进和发展，共同为 21 世纪我国能源的持续发展作出努力，这是编写本书的宗旨。

本书共分 10 章。第 1 章、第 2 章叙述能源与环境和水力（能）资源概况。第 3 章、第 4 章介绍水力是怎样发电的和水力发电的特点。第 5 章论述水力发电开发方式和电站的类型。第 6 章、第 7 章专门论述水电站主要水工建筑物和机电设备。第 8 章对水电站水轮发电机组安装作了介绍。第 9 章、第 10 章对水电站机组的运行和故障及机组的维护与检修作了论述。

本书可供水电建设部门的广大员工阅读，也可供水电站（电厂）和机组制造厂以及国家综合管理部门有关人员阅读、参考。同时考虑到有关专业院校的师生能对水力发电科技知识有所了解，便于今后工作需要，对各章节中的内容由浅入深加以叙述。

作者长期在水电建设战线上从事水轮发电机设计制造，曾负责和担任过国内外重大水电站发电机的设计。为了能为水电建设战线上的同仁们提供一本有关水力发电方面的科技读物，供广大读者在落实科学发展观的新形势下发挥作用，是作者最大的心愿。现在，这本书终于诞生了。在这里要感谢我国水电建设战线上的老前辈、老专家和东方电机有限公司的历届领导及设计部门的全体同仁多年来对作者的支持和帮助。同时也要感谢全国有关水电建设单位的大力支持。

本书由陈锡芳编著，刘光玉同志参加了部分工作。

由于作者的水平和经验所限，书中错误与不足之处敬请广大读者批评指正。

作者

2010年5月

目 录

前言

第 1 章 能源与环境	1
1.1 能源与能源分类	1
1.2 能源概况	2
1.3 能源与环境	4
第 2 章 水力(能)资源	6
2.1 水力资源总量估算	6
2.2 我国的水力资源	6
2.3 我国水力资源特点	7
第 3 章 水力发电的原理	8
3.1 水力的概念	8
3.2 功、位能(势能)和动能	9
3.3 功率	9
3.4 水力发电	9
第 4 章 小型水力发电	15
4.1 小型水力发电的定义	15
4.2 小型水力发电的作用和意义	16
4.3 小型水电站的特点	17
4.4 水电站主要系统的作用与要求	17
第 5 章 水力发电开发方式和电站类型	19
5.1 水资源综合利用规划	19
5.2 水力发电开发方式	21
5.3 水电站的类型	22
5.4 水力发电水能设计简述	24
第 6 章 水电站主要水工建筑物概述	28
6.1 水电站的总体布置	28
6.2 挡水和泄水建筑物	29
6.3 引水建筑物	31

6.4	水电站厂房	33
第7章	水电站主要机电设备	38
7.1	水轮机及其辅助设备	38
7.2	发电机及其辅助装置	50
7.3	电力变压器	76
7.4	电气主接线	79
第8章	水电站水轮发电机组安装概述	81
8.1	机组安装前的基本要求	81
8.2	水轮机安装要点	82
8.3	立式水轮发电机安装要点	83
8.4	卧式水轮发电机安装要点	85
第9章	水电站运行	87
9.1	水电站运行	87
9.2	水电站水轮发电机运行	88
9.3	水轮发电机组经济运行	90
9.4	水轮发电机组的事故	90
第10章	水电站水轮发电机组维护与检修	92
10.1	水轮发电机组使用和维护	92
10.2	水轮发电机组检修	93
参考文献	96

第1章 能源与环境

1.1 能源与能源分类

1.1.1 能源

能源是可以直接或通过转换提供人类所需的有用能的资源。人类利用自己体力以外的能源是从用火开始的。世界上一切形式的能源的初始来源是核聚变、核裂变、放射线源以及太阳系行星的运行。太阳的热核反应释放出极其巨大的能量。射到地球大气层的辐射能量为 17.4 万 TW/a。这种辐射实际上为地球和太空提供了用之不竭的能源。太阳的热效应产生风能、水能、海洋能、煤炭、石油。天然气等化石燃料，也是间接来的太阳能。生物质是植物通过光合作用吸收的太阳能。太阳系行星的运行产生潮汐能。

1.1.2 能源分类

能源按其形态、特性或转换和利用的层次进行分类，给每种或每类能源以专门的名称。世界以能源会议推荐的能源的分类如下：固体燃料；液体燃料；气体燃料；水力；核能；电能；太阳能；生物能；风能；海洋能；地热能；核聚变。

能源又可分：一次能源、二次能源和终端能源；可再生能源和非再生能源；新能源和常规能源；商品能源和非商品能源等。

(1) 化石燃料。化石燃料是指已经或可以从天然矿物源开采的含有能量的原材料，它们所含的能量可通过化学或物理反应（或核反应）释放出来。这些原材料有：各种固体、液体和气体化石燃料，各种核燃料。

(2) 洁净能源。洁净能源是指大气污染物和温室气体零排放或排放很少的能源，主要有 3 类：可再生能源、氢能和先进的核电。

(3) 替代能源。替代能源有两种含义：狭义是指一切可代替石油的能源；广义是指可代替目前广泛使用的化石燃料（煤炭、石油和天然气）的能源，包括核能、太阳能、水能、地热、风能、海洋能、氢能等。

(4) 常规能源和新能源。常规能源又称传统能源。已经大规模生产和广泛利用的煤炭、石油、天然气、水能等都是常规能源。

新能源是在新技术基础上系统开发利用的可再生能源，如太阳能、风能、生物质能、海洋能、地热能、氢能等。新能源是世界新技术革命的重要内容，是未来世界持久能源系统的基础。

(5) 一次能源和二次能源。一次能源是指直接取自自然界没有经过加工转换的各种能量和资源。它包括：原煤、原油、天然气、油页岩、核能、太阳能、水力、风力、波浪



能、潮汐能、地热、生物质能和海洋温差能等。一次能源可以进一步分为再生能源和非再生能源两大类。再生能源包括：太阳能、水力、风力、生物质能、波浪能、潮汐能、海洋温差能等。它们在自然界可以循环再生。而非再生能源包括：原煤、原油、天然气、油页岩、核能等，它们是不能再生的，用掉一点，少一点。

由一次能源经过加工转换以后得到的能源产品，称为二次能源，例如电力、蒸汽、煤气、汽油、柴油、重油、液化石油气、酒精、沼气、氢气和焦炭等。

(6) 可再生能源。可再生能源是可连续再生、永续利用的一次能源。这类能源大都直接或间接来自太阳，包括太阳能、水能、生物质能、风能、波浪能以及海洋表面与深层之间的热循环等。地热能也可算作可再生能源。

1.2 能源概况

1.2.1 全球能源

1.2.1.1 常规能源

目前人类最常使用的常规能源，煤炭、石油、天然气和水能。而前3种资源是十分有限的。据世界能源委员会(WEC)公布，全球三大常规能源的最终可采储量，折合成标准煤分别为，煤炭6800亿t，石油2000亿t，天然气2200亿t，合计1.1万亿t。2001年全球总能耗折合标准煤为90.6亿t，其中煤炭22.6亿t，石油35.1亿t，天然气24.1亿t，铀6.4万t。按此能耗速度，可以开采总年限为121年，煤炭可采年限为300年，石油可采年限为57年，天然气可采年限为91年。WEC预测，到2050年，全球总能耗折合标准煤，将达到200亿t标煤。如果按2050年的能耗速度，可以开采总年限只有55年。这就是说坚持不了几代人的时间，上述常规能源除了水能外就会逐渐枯竭耗尽。能源的形势不容乐观。

1.2.1.2 新能源

随着世界人口的增加和经济的发展，对能源的需求将日益增加。到2020年全世界的能源消耗量，将比1995年的能量需要量增长1倍。如果这些能源全部使用化石燃料，如煤、石油、天然气，那么，到2020年世界上就难以找到能满足100亿人口的煤田和油田。因此科学家从20世纪80年代开始，就大力宣传“开源、节流”，也就是在节约能源消耗的同时开发新能源。

根据科学家的预测，21世纪的新能源将主要为核能、太阳能、风能、地热能、氢能和潮汐能以及海洋能。

(1) 核能。核能是一种可靠而安全的能源。设计良好，认真操作，敬业负责的核电站，一般不会发生核废物泄漏污染环境事件。实际上，核电站在设计时完全考虑了核安全问题。为了防止泄漏，采用了5层防护措施。同时，核能发电，可以使燃煤用量迅速减少，使SO₂和CO₂等大气污染物排放减少。据资料介绍，核燃料的资源量为 2.9×10^6 t铀(1t铀=14000~23000tce)，若铀的消耗量保持稳定(55000t/a)，则现有铀资源大约可使用57年。

(2) 太阳能。太阳这颗巨大的恒星，不停地通过核聚变反应向宇宙释放大量的能量，



而到达地球的能量为太阳辐射总量的 $1/20$ 亿，经大气层的反射和吸收，能到达陆地的约为 $1.7 \times 10^{13} \text{ kW}$ ，是地球上每年发电功率的几万倍。如果人类能有效地利用这些能量，那么未来的世界就不会为了能源的枯竭问题担忧了。

(3) 风能。风是地球上的一种自然现象，它是由太阳不均匀辐射热引起的。太阳照射到地球表面，地球表面各处受热不同，产生温差，从而引起大气的对流运动形成风。风是流动的空气，有速度、有密度，所以包含能量。据估计，到达地球的太阳能中虽然只有大约 2% 转化为风能，但是其总量仍是十分可观的。据气象组织估计全球的风能约为 $2.74 \times 10^9 \text{ MW}$ ，其中可以利用的风能为 $2 \times 10^7 \text{ MW}$ ，比地球上可开发利用的水能总量还要大 10 倍。

全世界每年燃烧煤炭得到能量，还不到风力在同一时间所提供给我们的能量的 1%。可见风能是地球上非常重要的能源之一。合理利用风能，既可减少环境污染，又可减轻越来越大的能源短缺的压力。

(4) 生物质能。生物质能是指光合作用而产生的各种有机体。生物质能是太阳能以化学能形式储存在生物中的一种能量形式，一种以生物质为载体的能量，它直接或间接地来源于植物的光合作用。在各种可再生能源中，生物质是独特的，它是储存形式的太阳能，更是一种唯一可再生碳源，可转化成常规的固态、液态和气态燃料。据估计，地球上每年植物光合作用固定的碳达 $2 \times 10^{11} \text{ t}$ ，含能量达 $3 \times 10^{21} \text{ J}$ 。因此每年通过光合作用储存在植物的枝、茎、叶中的太阳能，相当于全世界每年耗电量的 10 倍。

生物质能是第四大能源，生物质遍布世界各地，其蕴藏量极大。世界上生物质资源数量庞大，形式繁多，其中包括薪柴、农林作物，尤其是为了生产能源而种植的能源作物、农业和林业残剩物、食品加工和林产品加工的下脚料、城市固体废弃物、生活污水和水生植物等。生物质能可以转化为多种形式的二次能源，如转化为气体、液体燃料，也可以用来发电。

(5) 海洋能。地球的表面积约为 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，其中陆地表面积为 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，占 29%、海洋面积达 $3.6 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，占 71%。以海平面计，全部陆地的平均海拔约为 840m，而海洋的平均深度为 380m，整个海水容积多达 $1.37 \times 10^9 \text{ km}^3$ 。一望无际的汪洋大海，不仅为人类提供航运、水产和丰富的矿藏，而且还蕴藏着巨大的能量。海洋能是潮汐能、波浪能、海流能、温差能、盐差能以及新近发现的海底甲烷冰（可燃冰）等。根据联合国教科文组织的估计数字，五种海洋能理论上可再生的能量总量为 766 亿 kW。其中温差能为 400 亿 kW，盐差能为 300 亿 kW，潮汐能和海浪能各为 30 亿 kW，海流能为 6 亿 kW。目前还难以把上述全部能量取出，最有可能利用的是海流、潮汐和波浪能。盐差能是利用大降雨量地域的盐差度，而温差能利用受热机卡诺效率的限制。因此，估计技术上允许利用的海洋能功率为 64 亿 kW，其中盐差能 30 亿 kW，温差能 20 亿 kW，波浪能 10 亿 kW，海流能 3 亿 kW，潮汐能 1 亿 kW。

(6) 地热能。科学家研究，地球很久很久以前是从太阳派生出来的一个行星。最初也是一个高热的球体，像太阳一样，是由放射性元素进行着不断的热核反应。大约经过四五十亿年以后，表面逐渐冷却，形成了地壳。但是地球内部仍是炽热的，而且它的热一直不断地向太空释放。这种现象在地球物理学上就叫大地热流。地热能是来自地球深处的可再



生热能，它起源于地球的熔融岩浆和放射性物质的衰变。地下水的深处循环和来自极深处的岩浆侵入到地壳后，把热量从地下深处带至近表层。

地热是指来自地上的热能资源。我们生活的地球是一个巨大的地热库，仅地下 10km 厚的一层，储存热量就达 $1.05 \times 10^{26} \text{J}$ ，相当于 9.95×10^{15} 标准煤所释放的热量。

(7) 氢能。氢，这种自然界最轻的元素，正在能源领域崭露头角。氢能是人类热切期待的新的二次能源。

氢是宇宙中含量最丰富的元素之一。可提取出无穷无尽氢。氢运输方便，用作燃料不会污染环境，重量又轻，优点很多。目前各国正在积极试验用氢作为汽车的燃料。无疑，氢将是人类未来优先利用的能源之一。

1.2.2 我国的能源

我国是一个能源资源比较丰富的国家，尤以煤炭和水力资源更为丰富。我国煤炭的探明储量为 7000 多亿 t，居世界第三位。水力资源的理论蕴藏量约为 6.9 亿 kW，居世界首位。其中可以开发利用的约有 4 亿 kW，年发电量可达 1.7 万亿 kW·h，相当于 7 亿 t 标准煤。石油和天然气的储量也较丰富。目前估计石油储量约 70 亿 t，可采储量约 27 亿 t。天然气可采储量估计 8700 亿 m^3 。

从能源资源总量来看，我国属于世界上能源资源丰富的国家之一。但是，我国人口多，按人口平均计算的能源拥有量，不仅低于一些发达国家很多，甚至还不及世界的平均水平。再从能源消费来看，我国人均能耗为 0.8t 标准煤，仅及世界人均能耗的 1/3，同发展中国家相比，也属中等偏低的水平，与发达国家相比差距更大。

我国具有丰富的新能源和可再生能源资源。据统计，太阳能年辐照总量大于 502万 kJ/m^2 、年日照时数在 2200h 以上的地区约占我国国土面积的 2/3 以上，具有良好的开发条件和应用价值。风能资源理论储量为 32.26 亿 kW，而可开发的风能资源储量为 2.53 亿 kW。地热资源的储存条件也较好，其远景储量相当于 2000 亿 t 标准煤以上，已勘探的 40 多个地热田，可供中低温直接利用的热储量，相当于 31.6 亿 t 标准煤。生物质能资源也十分丰富。农作物秸秆产量每年约 7 亿 t，可用作能源的资源约为 2.8 亿~3.5 亿 t，薪材的年合理开采量约 1.58 亿 t；此外还有大量的可用作生产的沼气的禽畜粪便和工业有机废水资源等。新能源和可再生能源还包括可用作能源的固体废弃物、潮汐能、波浪能、潮流能、温差能等，也具有很大的开发潜力。

1.3 能源与环境

“节约资源，保护环境”是人类共同的呼声。水资源是最基础性资源，既是重要的环境资源，又是重要的能源资源。

我国政府在“十一五”发展能源规划中明确提出了节能减排要求和具体指标。节能减排与保护和改善环境列入我国经济社会可持续发展的重要战略举措。应该指出的是，一方面，要大力推行节能，减排和保护环境的措施；另一方面，还要加大力度，开发（新增）更多，可再生的清洁能源，以替代或补充日益枯竭并高排放的矿物能源资源，实现能源结



构上的节约。

我国能源资源特点是煤炭储量丰富，石油相对短缺，天然气储量偏少，可再生能源尤以水能资源和风能资源富集而著称。煤炭是我国丰富的能源资源，其全身是宝，但它在燃烧过程中要释放出相当数量的二氧化碳、二氧化硫和粉尘等，将污染大气环境。温室气体大量排入大气引发全球气候变暖，酸性物质排入大气带来了酸雨等，使人类生存环境遭到破坏。

大气是人类赖以生存必不可少的物质，大气质量的 99% 集中在距地面 30km 以内范围。因此，全球范围来说，大气质量是有限的，它能容纳的污染物当然也是有限的。就一个区域来说，虽然在风力和气流的作用下，大气不断与周围空气进行交换，但这种交换受气候条件的限制，空气充分交换亦需足够的时间。当进入大气的污染物超过一定数量，就全球范围来看，就会引起气候环境的变化。目前大家关心的全球气候变暖，就是因为矿物石化能源燃烧后，向空气中排放大量二氧化碳所致。

我国每年向大气排放的二氧化碳约为 4.2 亿 t。二氧化碳是大气中最主要的“温室气体”，大量二氧化碳进入大气层，是导致地球温度升高最重要的原因。据有关资料估算，大气中二氧化碳含量若增加 1 倍，全球气温将可能上升 2℃。如果世界能源结构不变化，按目前能源消费状况，估计到 2030 年，大气二氧化碳浓度将可能增加 1 倍。

据估算：全球每年排入大气的二氧化硫总量在 1 亿 t 以上。我国以燃煤为主要能源的国家，二氧化硫排放量每年以 4.8% 的速度增长。1998 年以来，平均每年排放量约为 1500 万 t，其中 40% 以上是由燃煤发电造成的。大气中的二氧化硫浓度过高，不仅影响人类身体健康，而且它在阳光作用下，还会与水蒸气和氧结合形成硫酸，随雨降落到地面，成为酸雨。

全球烟尘排入大气的数量也很大，在 1 亿 t 左右。我国烟尘排放量每年也在 1400 万 t 左右，其中，绝大部分也是因燃煤造成的。大量烟尘进入大气使空气混浊，造成大气质量下降。

由以上介绍可知，燃煤对大气的影影响最为突出，最为严重。截至 1990 年，我国的矿物燃料在能源消耗构成中仍占 94.7%。因此，我国控制污染和开发清洁可再生能源（水能）的重任，迫在眉睫。

第 2 章 水力（能）资源

水力（能）资源是重要的能源资源，更是重要的环境资源。我国水能资源富甲天下。本章重点介绍我国水力资源概况。

2.1 水力资源总量估算

国际上通用估算水能资源的指标有 3 个：

(1) 水能资源理论蕴藏量。是指河川水流所具有的总能量。

(2) 技术可开发量。是指在当前技术水平和条件下，有可能开发利用的水能资源数量。

(3) 经济可开发量。是指在当前当地经济条件下与其他能源（如火电、核电等）相比，具有竞争力的那部分水能资源数量。

这 3 个指标的计量单位都是以千瓦（kW）、兆瓦（MW）或发电量千瓦·时（kW·h）来表示。

2.2 我国的水力资源

在我国国土上的河川众多，大江大河源远流长。河流流域面积在 100 km² 以上的河流有 5 万多条，河川多年平均年径流总量达 2.71 万亿 m³。

长江、黄河发源于青藏高原，落差分别为 5400m 和 4830m；雅鲁藏布江、澜沧江、怒江的落差均在 4000m 以上；其余还有许多河流，如大渡河、雅砻江、岷江、珠江、红河等，其落差也多在 2000m 以上。河川丰沛的径流量和巨大的落差，构成了我国十分丰富的水力资源。

水力资源作为可再生的清洁能源，是能源资源的重要组成部分，我国水能资源丰富，在能源平衡和能源可持续发展中占有重要的地位。为了对我国的水力资源有一个了解，曾进行了多次水力资源的普查。2005 年复查的结果见表 2-1。

表 2-1 2005 年水力资源复查结果

项 目		数 值	项 目		数 值
理论蕴藏量	年发电量（亿 kW·h）	60829	经济可开发量	水电站数量（座）	11653+27/2
	平均功率（MW）	694400		装机容量（MW）	401795
				年发电量（亿 kW·h）	17534
技术可开发量	水电站数量（座）	13286+28/2	已正可开发量	水电站数量（座）	6053+4/2
	装机容量（MW）	541640		装机容量（MW）	130980
	年发电量（亿 kW·h）	24740		年发电量（亿 kW·h）	5259

注 本表统计范围为理论蕴藏量 10MW 及以上河流和这些河流上单站装机容量 0.5MW 及以上水电站，不含港澳、台地区。



根据 2005 年水力资源复查的结果可知：

- (1) 全国水力资源总量，包括理论蕴藏量、技术可开发量和经济可开发量，均居世界首位。
- (2) 从全国水力资源复查可知，全国水力资源技术可开发量分省排序中四川第一。
- (3) 全国江河水力资源技术可开发量排序长江流域为最大。
- (4) 大型水电站装机容量和年发电量的比重占全国技术可开发水电站 7% 左右。

2.3 我国水力资源特点

(1) 地域分布极其不均，需要水电“西电东送”。由于我国幅员辽阔，地形与雨量差异较大，因而形成水力资源在地域分布上的不平衡，水力资源分布是西部多，东部少。按照复查数据可知，水力资源约占全国总量的 81.46% 特别是西南地区占 66.7%，其次是中部地区占 13.66%，而经济发达的东部地区仅占 4.88%。我国的经济是东部相对发达、西部相对落后，因此西部水力资源开发除了西部电力市场自身需求外，还要考虑东部市场，实行“西电东送”。

(2) 时间分布不均，需要建设水库进行调节。我国位于亚欧大陆的东南部，濒临世界上最大的海洋，使我国具有明显的季风气候特点，因此大多数河流年内、年际径流分布不均，丰、枯季节流量相对悬殊，需要建设调节性能好的水库，对径流进行调节。这样才能提高水电的总体发电质量，以更好地适应电力市场的需要。

(3) 较集中地分布在大江大河干流，便于建立水电基地实行战略性集中开发。我国水力资源富集于金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、乌江、长江上游、南盘江、红水河、黄河上游、湘西、闽浙赣、东北、黄河北干流以及怒江等水电基地，其总装机容量约占全国技术可开发量的 50.9%。特别是地处西部的金沙江中下游干流总装机规模 58580MW，长江上游干流 33197MW，其他河流也都有一定的装机容量。这些河流的水力资源集中，有利于实现流域、梯级、滚动开发，有利于建成大型的水电基地，有利于充分发挥水力资源的规模效益实施“西电东送”。

(4) 大型水电站装机容量比重大，中小型水电站座数多，分布地域广。全国技术可开发水电站中，装机容量 300MW 及以上的大型水电站占很大比重，在理论蕴藏量 10MW 及以上河流上单站装机容量 0.5MW 及以上的 13286+ 国际界河 28 座水电站中，装机容量 300MW 及以上的大型水电站 263+ 国际界河电站 10 座，但其技术可开发装机容量和年发电量的比重分别为 71.76% 和 72.43%，其中装机容量 1000MW 及以上的特大型水电站虽仅 111+ 国际界河电站 5 座，但装机容量达 315594MW，年发电量达 14579.07 亿 kW·h，其装机容量和年发电量的比重均超过 50%。这些特大型水电站绝大多数分布于西南地区。而小型水电站共有 12238+ 国际界河电站 8 座，占总座数的 92.1%，在全国各地都有分布，虽然其总装机容量和年发电量不大，但可供地区及农村村镇用电，特别在大电网尚未覆盖的边远地区，是解决当地能源和电力的宝贵资源。

第3章 水力发电的原理

水电是兼有一次与二次能源双重功能的优质能源。水电是可再生能源的重要组成部分，也是迄今可以大规模商业化开发和最重要的替代能源。本章将重点叙述水力（能）是怎样发电的基本知识。

3.1 水力的概念

地球上的一切物体都由物质组成，而物体中所含有的物质多少，称为“质量”。质量的计量单位为千克（kg）。

地球上的物体，要受到地球引力的作用，会产生一个垂直向下的力，这个力叫做重力，也是人们常称为的“重量”。

在日常生活中，人们对“质量”和“重量”的区分并不十分严密，常把“质量”和“重量”混为一谈。实际上质量在地球上的任何地方都是不变的；而重量在地球表面的一定范围内也是一样的，但是，地表高程不同，距地心距离不一样，重量会随所处地点高程的不同而有所变化。如果把1kg质量的东西拿到距地面5000km的高空中去称，重量可能不是1kg，如果把它放在太空船上，那会完全失去重量，而1kg质量的东西却始终还是1kg。这就是“质量”和“重量”的区别。

地面上的水体，也和所有的物体一样，承受着地心引力的作用，也会产生一个垂直向下的重力。如江河中的水，就是由于重力的作用而从高处向低处流动。“水往低处流”就是俗语所反映的客观道理。水体的重力，简称为“水力”。

根据牛顿第二定律，力（ F ）等于质量（ m ）与其加速度（ a ）的乘积。力的单位是牛顿（N），用公式表示为

$$F = ma \quad (3-1)$$

式（3-1）表示，作用在质量为1kg的物体上，并使其产生 1m/s^2 加速度的力，称为1N。

地面上的所有物体都受到地心引力的作用，它们产生的重力加速，用 g 表示。其值的大小各地略有不同，一般为 $g=9.81\text{m/s}^2$ 。也就是说，地面上所有的物体都会产生重力加速度（ g ），质量（ m ）大的产生的重力（ F ）大，质量（ m ）小的产生的重力（ F ）小。因为，在一定范围内它们的加速度（ g ）始终是一样的。也可以说，在一定范围内物体的重力加速度（重量）也是一样的。

水体是地球上的物体之一，水体的重力（重量）就是水力，用 F 来表示。所以也可以用式（3-2）表示



$$F = mg \quad (3-2)$$

可以用下式计算

$$F = mg = 1 \times 9.81 = 9.81(\text{N}) \quad (3-3)$$

式(3-3)说明, 1kg 质量的水体, 它具有的“水力”是 9.81N。

3.2 功、位能(势能)和动能

把一个水体从低处抬高到高处, 就得用力。这个力的大小和水体的重力(水力)相等, 方向相反。水体的质量愈大, 抬得愈高, 所花的力就愈多, 花费的这个力就是克服“水力”做了功。

这个“功”并没有白做, 把水体抬到了高处。在高处的水体就获得或具有了“位能”, 或叫“势能”。当这个水体向下流动时, 这个“位能”就转化为“动能”释放出来, 假若是流到原来的低处, 水体不再动了, 它的“动能”就释放完了。

功、位能(势能)和动能, 都是能量的一种表现形式。它们都是不生不灭(能量守恒), 并可以相互转换。

功的计量单位为焦耳(J), 其定义是: 用 1 牛顿(N)的力, 沿着力的方向使物体移动 1 米(m) 距离所做的功, 并计量为 1 焦耳(J)。

在地面上, 把质量为 1kg 的水体垂直向上(与重力相反方向)抬高 1m 距离(落差), 所做的功(或者说水体获得的位能), 根据式(3-3)应当是 9.81J。因为, 这是在地球重力场中, 克服重力(水力)所做的“功”。

3.3 功率

当把 1kg 质量的水体向上抬高 1m, 即做了 9.81J 的功。这里只是说做了多少“功”, 并没有说是花了多少时间才做完的。我们可以说花了几小时, 或几分钟, 或几秒钟, 甚至可以在瞬间来完成这个过程, 其快慢程度大不相同。

“功”的大小固然重要, 做“功”的快慢程度更为关键。为了方便应用, 人们提出用“功率”来衡量和表示所做的“功”。并规定: 1 秒(s)内做 1 焦耳(J)功, 称为 1 瓦特(W)。

如果在 1s 之内, 把 1kg 水体, 垂直向上抬高 1m, 则其功率 N 应为

$$N = 9.81/1 = 9.81(\text{W}) \quad (3-4)$$

3.4 水力发电

水力发电是水力(能)利用的主要形式, 它是利用河流中以水的落差(水头)和流量为特征值所积蓄的势能和动能, 通过水轮机转换成机械能, 然后带动发电机发出电能, 通过输电线将强大的电流输送到用电部门。