

 卓越工程师
EXCELLENT ENGINEER

能源与流体机械

康 灿 施 亮 编 著

ENERGY AND FLUID MACHINERY

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

内容简介 本书根据教育部“卓越工程师教育培养计划”的要求编写,全书共分6章,对能源的基本知识、能源利用过程中的流体机械、典型的流体机械结构及功能、CAD技术在流体机械设计中的应用、流体机械内部流动数值模拟技术、流体机械测试技术及流体机械内部多相流动等进行介绍,突出了知识面宽、结合专业发展的特点,使读者对当今流体机械的设计手段和研究方法有宏观而系统的了解。在此基础上,读者可以有所侧重地继续深入到某一个专题领域。本书可作为能源动力工程专业本科教材,亦可为化学工程、环境工程、机械工程等相关专业的科研人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

能源与流体机械 / 康灿,施亮编著. —镇江: 江苏大学出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-81130-414-5

I. ①能… II. ①康… ②施… III. ①能源—高等学校—教材②流体机械—高等学校—教材 IV. ①TK01
②TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 304362 号

能源与流体机械 Nengyuan yu Linti Jixie

编 著/康 灿 施 亮

责任编辑/汪再非 宋慧娟

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/http://press. ujs. edu. cn

排 版/镇江文苑制版印刷有限责任公司

印 刷/句容市排印厂

经 销/江苏省新华书店

开 本/718 mm×1 000 mm 1/16

印 张/12.75

字 数/250 千字

版 次/2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-81130-414-5

定 价/28.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

2010年启动的教育部“卓越工程师教育培养计划”是我国高等工程教育人才培养模式的一次重大改革,目前该计划已覆盖本科人才和研究生人才的培养,“面向工业界、面向国际、面向未来”的人才培养战略正向纵深推进。本科人才教育以培养应用工程师为主,这对本科人才有明确的能力与素质的要求,主要包括:(1)具有较好的人文科学素养、较强的社会责任感和良好的工程职业道德;(2)具有从事工程工作所需的相关数学、自然科学知识,以及一定的经济管理知识;(3)具有良好的质量、环境、职业健康(安全)及服务意识;(4)掌握扎实的工程基础知识和本专业的基本理论知识,了解本专业的发展现状和趋势;(5)具有综合运用所学科学理论、方法和技术手段,分析并解决工程实际问题的能力,能够参与生产及运作系统的设计,并具有运行和维护能力;(6)具有较强的创新意识和进行产品开发与设计、技术改造与创新的初步能力;(7)具有获取信息和终身学习的能力;(8)了解本专业领域技术标准,以及相关行业的政策、法律和法规;(9)具有较好的组织管理能力,较强的交流沟通、环境适应和团队合作的能力;(10)具有应对危机与突发事件的初步能力;(11)具有一定的国际视野和跨文化环境下的交流、竞争与合作的初步能力。

本书作为针对能源动力工程类专业“卓越工程师教育培养计划”的本科生教材,以流体机械为主要阐述对象,系统介绍了流体机械的工作原理和工程应用,以此为能源动力工程的其他子方向提供可借鉴的研究方法与研究思路。本书面向低年级本科学生,在他们所具备的知识基础前提下,充分考虑了“卓越工程师”的人才能力培养要求,突出体现以下几方面的特点:(1)避免过分专业化,以工程性的语言阐述专业背景、专业对象和专业应用,形式上由浅入深;(2)适应能源与动力工程科学技术的发展需要,安排了新的设计方法、数值模拟和测试方法在本领域应用的知识内容;(3)内容有所侧重,对于叶片式流体机械的前沿问题和热点应用背景进行了较为深入的介绍;(4)对关键专业术语加注英文解释,利于双语思维的训练;(5)内容涉及面广,且多与工程相结合,在能源与动力工程专业的基础上,进一步开拓读者的视野,启发读者进行创新性的思维。

流体机械是国民经济中的重要装备,其结构多样,各具特点,详尽地说明流体机械的原理、设计与研究方法需要很长的篇幅。本书的内容源于编著者为能源与动力工程专业开设的“能源与流体机械导论”课程的讲义,因此本书具有导



论性质,意在通过简单而广泛的知识介绍,促进读者了解专业对象,捕捉专业发展的最新动态。

本书由江苏大学康灿副教授主编,各章编写分工为:前言、第1章、第2章、第5章和第6章由康灿编撰;第3章和第4章由上海凯泉泵业(集团)有限公司施亮编撰;全书由康灿统稿。

教育部“卓越工程师教育培养计划”在中国尚无可借鉴的模式,但人才培养的侧重点不言而喻。本书的编写体现教学与工程相结合、教学与技术储备和专业视野相结合、教学与素质教育相结合的应用特征。通过学习,使读者达到“认知专业、凝练特色、规划学业”的目的。本书的编写是在教学改革基础上的一次大胆尝试,由于编者水平有限,书中不可避免地存在不足甚至错误,衷心期望读者给予指正和建议。另外,书中引用了一些文献和网络资源中的图表,部分已在参考文献中列出,对其他资料的作者在此一并表示感谢。

作 者

2012年9月1日



目 录

第 1 章 能源

- 1.1 能源的基本概念 / 001
- 1.2 能源利用现状 / 005
- 1.3 新能源与可再生能源 / 006
- 1.4 能源利用过程 / 008

第 2 章 流体机械

- 2.1 流体机械概述 / 017
- 2.2 叶片泵基本理论 / 021
- 2.3 叶片泵的基本结构 / 032
- 2.4 典型叶片泵结构举例 / 045

第 3 章 CAD 技术及其应用

- 3.1 CAD 概述 / 055
- 3.2 二维绘图软件 / 056
- 3.3 三维绘图软件 / 071
- 3.4 叶片泵水力设计 CAD / 078
- 3.5 CFturbo 介绍 / 083
- 3.6 逆向工程 / 087

第 4 章 流体机械测试技术

- 4.1 泵的试验 / 090



- 4.2 测试流动的仪器和设备 / 104
- 4.3 PIV 测试实例 / 112
- 4.4 流动显示技术 / 116

第 5 章 数值模拟在流体机械中的应用

- 5.1 计算流体动力学概述 / 123
- 5.2 初始边界条件 / 128
- 5.3 网格生成技术 / 132
- 5.4 流动问题求解实例 / 136
- 5.5 数据处理与绘图软件 / 158

第 6 章 流体机械相关专题

- 6.1 多相流动 / 162
- 6.2 空化现象 / 164
- 6.3 液固两相流动 / 176
- 6.4 流固耦合 / 184

附录 1 能源与动力工程（流体机械）专业常用软件 / 191

附录 2 有关系的部分国家标准 / 192

参考文献 / 194



第 1 章 能 源

能源(energy)是社会和经济发展的基础,是人类生活和生产的基本要素。能源既为人类提供各种形式的自然资源及其转化物,也制约着经济的发展与社会的进步,是一个国家国民经济健康发展和社会可持续发展的重要前提和基础,更是国家安全与稳定的有力保障。

材料、能源与信息技术是当今社会科技发展的三大支柱。中国作为目前世界上最大的发展中国家,正经历着工业化进程的高速发展和城镇化建设步伐的日益加速,能源消费相应处于持续增长阶段。中国又是地球上的能源生产和消耗大国之一,能源储量、生产和消费总量都处于世界前列。在未来很长一段时间内,合理开发能源、提高能源利用率及保护环境是中国在世界经济与社会发展中应该担负的责任,也是中国发展的“重中之重”。

1.1 能源的基本概念

能源是指能够被转换为热能(thermal energy)、机械能(mechanical energy)、化学能(chemical energy)和电磁能(electromagnetic energy)等各种能量形式的自然资源。所谓能量,就是产生某种效果或变化的一种能力。能量储藏于能源之中,同时,产生某种效果或变化的过程必然要伴随着能量的消耗和转化。一般将能量分为机械能、热能、化学能、电能、辐射能和核能 6 种形式。习惯上,energy 既表示能源,又表示能量。

1.1.1 能源的分类

能源可以根据其来源、形态、使用方法及污染程度等进行分类。

1. 一次能源(primary energy)和二次能源(secondary energy)

自然界中原来就有的、不需改变其形态就可以直接使用的各类能源被称为一次能源。一次能源按照其不同的来源方式可以被划分为 3 类:来自地球内部的、来自地球外部的、地球与其他天体之间相互作用而产生的。

由地球内部产生的一次能源主要是原子能和地热能。原子能被称为“核能(nuclear energy)”,是原子核在发生变化时所释放的能量。地热能来自于从地壳中抽取的天然热能,它来源于地球内部的熔岩,以热力的方式存



在。由地球外部的因素产生的一次能源主要是太阳能(solar energy)和生物质能(biomass energy)。太阳能通常指太阳光辐射所产生的能量。生物质能指经过光合作用所吸收储蓄的太阳能转化生成的能量。由地球与其他天体之间相互作用而产生的一次能源主要指潮汐能(tidal energy)。潮汐能具体是指由海水潮涨和潮落形成落差而产生的势能。对一次能源进行加工与转化后产生的能源被称为二次能源,如各种石油制品、电力及蒸汽等。

2. 可再生能源(renewable energy)和不可再生能源(non-renewable energy)

可再生能源是指可以在一定周期内得到补充或者再生的能源。如潮汐能、太阳能和生物质能都属于可再生能源。不能在短期内恢复或被补充的能源称为不可再生能源。如煤炭(coal)、石油(oil)和天然气(natural gas)都属于不可再生能源。地热能属于不可再生能源,但是从地球内部所蕴藏的巨大能量来看,它又具有可再生能源的性质。

3. 常规能源(conventional energy)和新能源(new energy)

按被利用的程度可将能源分为常规能源和新能源。目前较为普遍的看法是将已经被大规模生产和广泛利用的能源,如煤炭、石油和天然气列入常规能源;而将太阳能、风能(wind energy)、地热能(geothermal energy)、生物质能和潮汐能等列入新能源。对于核能,一般将其列入新能源领域。相对来说,新能源领域的技术成熟度较低,处于未广泛开发阶段,目前只是因地制宜地开发与利用。但新能源多数属于可再生能源,且分布较为广泛,储量比较丰富,将来技术成熟以后有可能成为世界能源供应的主要部分。

4. 清洁能源(clean energy)和非清洁能源(non-clean energy)

按对环境的污染程度,能源可分为清洁能源和非清洁能源。无污染或污染程度很低的能源称为清洁能源,如太阳能、水能、风能等。对环境污染较大的能源称为非清洁能源,如煤炭、石油等。

清洁能源的发展对社会经济和环境的长远发展具有深远的影响。美国的非盈利组织 Pew Charitable Trusts 多次发布清洁能源经济报告,对由于清洁能源的开发与利用而创造的就业进行了统计分析。创建于 2000 年的 Clean Edge 公司也定期地发布清洁能源发展趋势的报告,从报告中的数据和趋势可以看出清洁能源对未来世界发展具有重要意义。该公司最近发布的报告为 *Clean Energy Trends 2012*。

1.1.2 能源的利用

从“钻木取火”到 18 世纪工业革命,煤炭替代薪柴成为了主要能源。19 世纪后期出现了电能,电动机代替蒸汽机成为工矿企业的基本动力,电灯代



替油灯和蜡烛成为生产和生活照明的主要光源,各式各样的电器极大地提高了人们的物质生活水平。

20世纪50年代,美国、中东和北非地区发现了储量巨大的油田和气田,工业发达国家很快将主要能源从煤炭转向了石油和天然气。到20世纪50年代中期,石油和天然气已成为世界能源消费的主要来源。飞机、汽车、轮船等以石油制品为动力来源的交通工具得到迅速发展,人类的能源消费水平又上了一个新的台阶。

进入21世纪,随着能源利用的理论研究和技术的不断突破,核能作为新的能源利用方式被发掘出来。人们不断探索核能利用技术,核电站数量和总装机容量的不断增加,为能源供给注入了新的血液。但核能的利用也成为备受争议的话题。2011年3月,日本的福岛核电站(Fukushima Nuclear Power Plant)受地震影响发生了放射性物质泄漏,使人们再次审视核能利用的安全问题。探索更加安全的核能利用技术,汲取重大事故的教训,是安全利用核能的重要前提。

一次能源和二次能源之间以及一次能源内部可以相互转化。例如,以机械能形式存在的水能和潮汐能,可以通过机械设备将机械能转换成电能或动能;以化学能形式存在的煤炭、石油和天然气等能源,可以通过燃烧等方式将化学能转换成热能。热能既可以被人类直接利用,也可以通过机械设备如汽轮机(steam turbine)、内燃机(internal combustion engine)转换成动能,应用到各种机械装置(如交通工具)中,以满足人类的需要。发电和交通运输耗能占全部能源消耗的比例非常大。据统计,20世纪仅发电的耗能就占全部能源消耗的40%。在人类无法预见第四次能源革命的情况下,更无法预知电气化将达到的程度。依据现有的科技发展水平及经济、社会和自然条件的不同,世界各国的电气化程度呈现出不同的水平。根据发达国家的用电规模,可以得出结论:一次能源转化为电力部分的比例越大,电气化程度越高,现代化水平也越高。

热能、机械能和电能是现代人类从各类能源中获取能量的3种主要形式。

热能是能量的一种基本形式。从分子运动学的观点来看,热能是物体内部大量分子杂乱运动的动能。在自然界中存在的一次能源中,除风能、水能及部分海洋能作为机械能可直接利用外,其他各种能源或是以热能形式存在,或是经过燃烧反应、原子核反应等,被转化为热能再予以利用。所以,人们从自然界获得能源的主要形式为热能。

热能可以由太阳能直接获得,或通过地热、燃料燃烧放热、核裂变或核聚变放热得到。当然,热能亦可由电能转化而来,或由机械能通过摩擦



得到。

物质宏观机械运动所具有的能量为机械能。机械能是更为理想的能量形式,可以完全转化为热能,也能够以很高的效率转化为电能。人们日常生活及生产中需要的动力都来自于机械能。大部分机械能来自于热能的转化,在其转化过程中,热机(如内燃机、汽轮机及燃气轮机(gas turbine)等)起到了关键的作用。

电能是电荷的流动或聚积而具有的做功能力。电能有多种形式,如直流电能、交流电能和高压电能等。电能可以方便地转化为其他几乎任何形式的能量,且易于控制、测量和远距离输送。电能的生产方式有直接能量转换和间接能量转换。直接生产电能的方式主要包括:热能直接转化为电能的磁流体发电、化学能直接转化为电能的各种电池或燃料电池发电、电磁能直接转化为电能的太阳能电池等。间接能量转换是目前电能生产的主要方式,其通过交流发电机将机械能转换成电能。

近年来,随着经济的发展和科学技术的进步,能源利用的形式越来越多,能源利用的效率不断提高,而全世界的能源消费总量持续增长,2011年我国及世界其他主要国家的能源消费情况见表1-1。以中国为例,据国家统计局初步核算数据显示,2010年我国能源消费总量为32.5亿吨标准煤,比2009年增长5.9%,比1978年增长了4倍。据美国能源署在《世界能源展望2007:中国选粹》中预测,2005年到2030年,我国一次能源需求将维持年均3.2%的增长率。若按此速度增长,到2030年我国将超过北美地区,成为世界上一次能源需求量最大的国家。在我国能源消费结构中,煤和石油占绝大部分。同时,我国石油消费量的50%以上依赖于国外进口,对外依存度较高。

表1-1 2011年中国一次能源消费与世界其他主要国家对比

序号	国家	石油	天然气	煤炭	核能	水电	可再生能源	合计
1	美国	833.6	626.0	501.9	188.2	74.3	45.3	2 269.3
2	加拿大	103.1	94.3	21.8	21.4	85.2	4.4	330.3
3	巴西	120.7	24.0	13.9	3.5	97.2	7.5	266.9
4	法国	82.9	36.3	9.0	100.0	10.3	4.3	242.9
5	德国	111.5	65.3	77.6	24.4	4.4	23.2	306.4
6	俄罗斯	136.0	382.1	90.9	39.2	37.3	0.1	685.6
7	英国	71.6	72.2	30.8	15.6	1.3	6.6	198.2
8	中国	461.8	117.6	1 839.4	19.5	157.0	17.7	2 613.2
9	印度	162.3	55.0	295.6	7.3	29.8	9.2	559.1



10	日本	201.4	95.0	117.7	36.9	19.2	7.4	477.6
11	韩国	106.0	41.9	79.4	34.0	1.2	0.6	263.0

注：① 资料来源于《BP 世界能源统计年鉴 2012》。

② 表中的能源消费单位中，石油消费以百万吨为计量单位，其他能源以百万吨油当量(million tonnes of oil equivalent, MTOE)为计量单位。1 百万吨油当量大约相当于 420 亿焦(热力单位)或 1.5 亿吨硬煤(固体燃料)或 11.1 亿立方米天然气(气态燃料)。

1.2 能源利用现状

我国是一个人口大国，又是一个经济迅速发展的国家，21 世纪的中国将面临经济增长和环境保护的双重压力。因此，能源的开发与合理利用是经济发展过程中的关键环节。从更为合理的能源利用角度看，大力发展水电、风电、核电、天然气发电和生物质发电，改善我国电力供应结构，是满足电能需求的重要措施，对建立可持续的能源系统，促进国民经济发展和环境保护具有重要意义。

与发达国家相比，我国的能源利用效率较低，而能源消费系数却相对较高。目前，我国的综合能源利用率仅为 33% 左右，并且在不同的行业领域，能源利用效率不均衡。而一些发达国家的能源利用率要远远高于这一水平。

人类在享受能源带来的利益的同时，也面临着能源安全及环境污染等

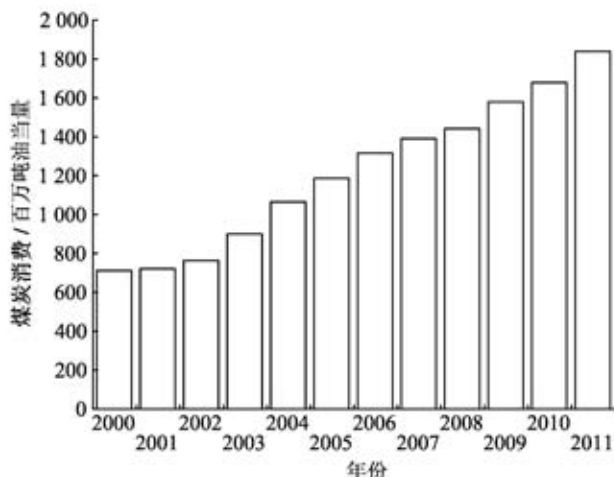


图 1-1 近年中国煤炭消费情况

(数据来源:BP 世界能源统计年鉴 2012)



问题。在城镇化和工业化的特殊时期,能源安全和节能减排是特别需要关注的两个问题。近年来,国际能源价格不断飙升所带来的能源经济问题、温室气体排放所带来的能源环境问题以及传统石化能源资源的日益枯竭所带来的能源安全问题,已经成为各个国家关注的焦点。为了实现可持续发展,节能减排得到了各个国家的积极响应,鼓励新能源产业发展已被列入诸多国家的能源战略规划。对于中国而言,节能减排是目前的重要决策之一,也是我国需要担负的重要社会责任之一。

在能源利用方面,由于各种原因,目前中国使用较多的仍是石油、煤炭等常规能源,而这些能源往往伴随着严重的环境污染(environmental pollution)。例如,燃煤产生的 SO_2 、 CO_2 等废气是造成我国大气污染的主要原因之一。

由图 1-1 可以看出,自 2000 年以来,我国的煤炭消费量持续增长。尽管在此过程中,煤炭消费的增长趋势曾有所减缓,但以煤炭为主的能源消费结构依然是我国能源消费的基本特征,也是我国经济社会发展的首要选择。

2011 年中国的能源消费情况如图 1-2 所示,由图可以看出,我国的能源消费结构仍以煤炭消费为主导。随着交通运输业的快速发展,石油消费占据了能源消费中的另一大部分。而核能、水电和可再生能源等所占的比例较小。在未来的二三十年内,煤炭占能源消费的比重会有所减少,但其主体地位不会根本改变。这一现状也再次提醒我们,一定要大力调整能源消费结构,努力实现经济和社会的可持续发展。

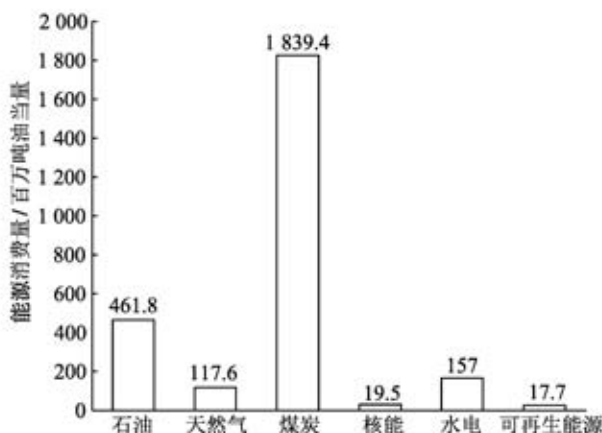


图 1-2 2011 年中国能源消费结构

(数据来源:BP 世界能源统计年鉴 2012)

1.3 新能源与可再生能源

1981年8月,联合国于肯尼亚首都内罗毕召开了主题为“新能源和可再生能源”的会议。在该会议上通过了具有里程碑意义的《促进新能源和可再生能源发展与利用的内罗毕行动纲领》,意在促进新能源和可再生能源的开发与利用,并第一次对新能源和可再生能源做出了明确的定义,即“新的可更新的能源资源,通过新技术和新材料进行开发利用,它不同于常规的化石能源,能够实现持续利用,经消耗后能够迅速得到恢复和补充,不产生或很少产生污染物,对环境损害程度很小,有利于生态良性循环”。

当前对于新能源的定义,通常是指非传统、对环境影响小的能源形式及储藏技术,基本上是直接或者间接源自于太阳或者地球内部热能,包括太阳能、风能、生物质能、水能和海洋能、地热能、氢能以及生物燃料所产生的能量。也就是说,新能源涵盖了各种可再生能源以及核能。联合国开发计划署(United Nations Development Programme, UNDP)对新能源进行了划分,将其分为3类:①大中型水电;②新可再生能源,包括小水电、太阳能、风能、现代生物质能、地热能以及海洋能(潮汐能);③穿透性生物质能。

我国在《中国21世纪发展议程》中指出,可再生能源包括水能、生物质能、太阳能、风能、地热能和海洋能等。2005年2月28日,经全国人大审议通过的《中华人民共和国可再生能源法》中界定了可再生能源是指“水能、风能、太阳能、地热能、海洋能、生物质能等非化石能源”。

如前所述,可再生能源与新能源要加以区分,核能属于新能源,但不属于可再生能源。可再生能源与清洁能源也要加以区分,如生物质能属于可再生能源,但其不属于清洁能源,生物质能发电过程中也会产生一定量的SO₂。

新能源具有如下几个明显特点:①资源种类丰富,分布区域广泛,地域特征明显;②大部分新能源具备可再生的特征;③使用过程中对生态环境的破坏程度小、污染程度轻;④太阳能、风能及海洋能等新能源存在能源供给不连续的问题,从而对实现规模化开发利用提出了更高的技术要求。

新能源产业是体现国家战略的新兴产业,对中国经济的长期可持续发展,以及在国际产业竞争中占据主导性地位,都具有重要意义。中国新能源产业属于新兴产业;同时,新能源产业是国际产业竞争的重要领域,也是产业技术快速发展的领域。新能源产业发展的这些特征,决定了其需要选择与其他产业不同的战略路径。

近年来,我国的新能源产业得到了迅猛发展,以风力发电为例,2011年中



国的风电装机容量占全球风电装机总容量的 26.1%，居世界第一。排名世界第二的我国的风电装机容量占全球风电装机总容量的 19.7%，德国为 12.1%。图 1-3 显示了 2000 年以来中国风电装机总容量的增长过程。

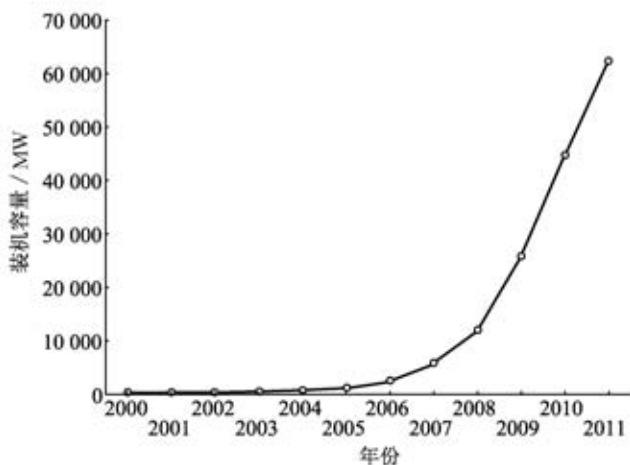


图 1-3 近年来中国风电的装机总容量

风能是太阳能的一种转化形式。目前对太阳能这一清洁能源的使用主要是利用其光和热进行发电，具体方式有两种：一是热发电，利用聚光镜将太阳辐射能聚焦到吸热器上，产生的高温热能通过热力循环(thermodynamic cycle)，驱动发电机(generator)发电；二是光伏发电，也称光伏(photo-voltaic, PV)发电，这是一种将太阳光辐射能通过光伏效应、经太阳能电池直接转换为电能的新型发电技术。图 1-4 是我国近年来太阳能发电的发展情况。相对于风电的发展来说，我国的太阳能发电存在着技术不成熟、发电成本高等问题，尽管太阳能发电的装机容量也呈迅速发展趋势，但其基数小，吸热器、储能材料、光电转换及控制等关键技术仍需进一步探索。

新能源产业的发展带动了一批相关产业的发展，增加经济效益的同时，也为社会增加了就业岗位。

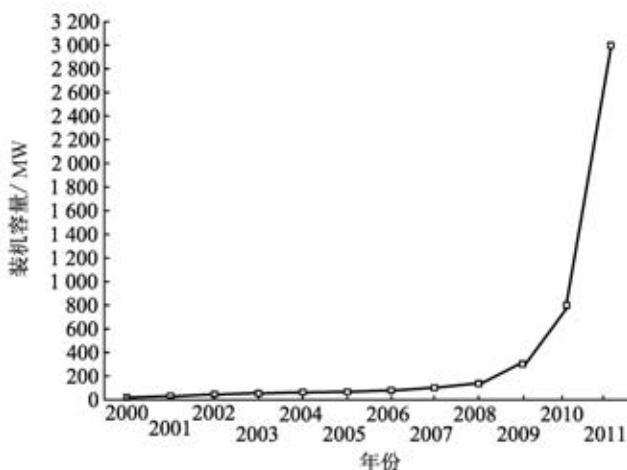


图 1-4 近年来中国太阳能发电装机总容量

1.4 能源利用过程

电能是目前能源利用的主要形式之一。利用煤炭资源获得电能需要热力发电厂；利用水的落差资源获得电能需要水电站；利用风力资源获得电能需要风电设备。本节将重点介绍核能、风能和水电的发展及其向电能转化的过程。能源的利用过程是一个综合过程，涉及多个环节、多种设备，提高能源利用率离不开设备本身性能的提高，更离不开各种设备之间的匹配。



1.4.1 核能

1. 我国核电事业发展概况

核能是被公认的唯一可大规模替代常规能源的、既清洁又经济的能源。由于核燃料资源丰富,运输和储存方便,且核电厂具有污染小、发电成本低等优点,因而从1954年前苏联建成第一座实验核电厂以来,核能发电在全世界得到了很大的发展。

核电是电力工业的重要组成部分,它不会造成对大气的污染排放。积极推进核电建设,是我国能源建设的一项重要政策。这对于满足经济和社会发展不断增长的能源需求,保障能源供应与安全,保护环境,实现电力工业结构优化和可持续发展,提升我国综合经济实力、工业技术水平,都具有重要意义。自从1985年3月秦山一期(1×300 MW)核电厂开工以来,我国的核电事业得到迅速发展。2007年国务院正式批准了《国家核电发展专题规划(2005—2020年)》,提出的发展目标:到2020年,核电运行装机容量争取达到40 GWe(注:GWe为10亿瓦的电容量),并有18 GWe在建项目接转到2020年以后续建。核电占全部电力装机容量的比重从现在的不到2%提高到4%,核电年发电量达到2 600~2 800亿kW·h。2010年10月18日中国共产党第十七届中央委员会第五次全体会议通过“十二五”规划,对《核电中长期发展规划(2005—2020年)》进行了大幅度的调整,将“核电中长期发展规划”中提出的“到2020年,核电运行装机容量达到40 GWe”的目标上提至86 GWe,到2030年达到200 GWe,到2050年达到400 GWe。

核能发电技术具有装机容量大,持续运行时间长,发电稳定性高,经济成本低(初始固定设备建设投入较高,但后续运营成本低)等优点,并且不存在目前风电、光伏发电所面临的电网接入方面的技术瓶颈,这些优势使核能成为被普遍看好的、未来用以替代火电的最佳发电能源。在环境保护方面,核能发电能够基本实现温室气体的零排放。根据相关统计,每100万t煤炭使用过程中所产生CO₂的量可以通过使用22 t铀发电替代来避免。

世界核电技术已经发展到第三代核电技术,主要代表技术有法国的EPR和美国西屋公司的AP1000技术,同时,第四代核电技术正在研究中。我国在20世纪80年代就已经确定了走压水堆核电站的技术道路,通过对当时引进的二代法国压水堆技术的消化吸收,已取得了巨大的技术进步,自主实现了600 MW压水堆机组设计国产化,基本掌握了百万千瓦压水堆核电厂的设计能力,自主研发了CNP1000技术并对法国M310技术进行了改进。2007年3月,中国国家核电技术公司与美国西屋联合体签署《核电自主化依托项目核岛采购及技术转让框架合同》,山东海阳核电项目机组建设



将选用西屋联合体的第三代百万千瓦级压水堆技术,该技术被称为“AP1000 方案”。AP1000 核电系统作为第三代核电技术,在吸取了大量的核电站运行经验的基础上,充分利用现有的科学技术成果,按照当前新的核安全法规设计,把严重事故作为设计预防基准,其安全性和经济性都有了很大的提高。采用 AP1000 技术建设的核电站在未来 10 到 20 年内,在我国的核电建设中将占主导地位,而且将来我国拥有自主知识产权的 CAP1400、CAP1700 核电技术研究成功后,还有可能向其他国家输出核电技术。

2. 压水堆核电站的组成

压水堆(pressurized water reactor, PWR)核电站主要由压水反应堆、反应堆冷却剂系统(简称一回路)、蒸汽和动力转换系统(又称二回路)、循环水系统、发电机及其辅助系统组成,如图 1-5 所示。由于压水堆核电站中具有放射性的一回路与不带放射性的二回路系统是分开的,所以通常又把压水堆核电站分为核岛和常规岛两大部分。核岛是指核系统和设备部分;常规岛是指那些和常规火电厂相似的系统和设备部分。图 1-6 所示为一回路主要部件。

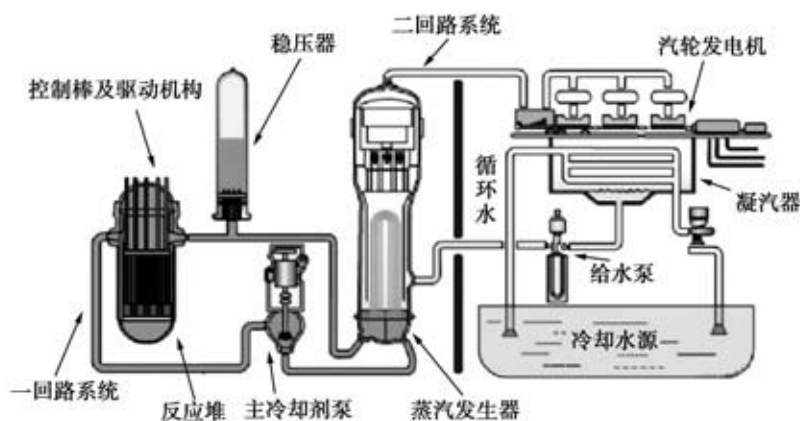


图 1-5 压水堆核电站运行示意图

