



“十三五”普通高等教育本科规划教材

新能源发电技术

黄素逸 龙妍 林一歆 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

新能源发电技术

编著 黄素逸 龙 妍 林一歆
主审 靳世平



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。

能源是国民经济的基础,在社会可持续发展中起着举足轻重的作用。为了实现低碳能源和低碳经济的目标,必须大力发展新能源发电。本书全面介绍了有关新能源发电的原理和相关技术,包括太阳能热发电技术和太阳能光伏发电技术、风力发电技术、地热发电技术、生物质发电技术和海洋能发电技术。为了使全书结构比较完整,对相应的太阳能、风能、地热能、生物质能和海洋能的概况也做了比较详细的介绍。

本书既可作为高等学校本科能源动力类专业的教材,也可供有关工程技术人员和管理干部参考。

图书在版编目(CIP)数据

新能源发电技术/黄素逸,龙妍,林一歆编著.—北京:中国电力出版社,2017.10

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-0369-8

I. ①新… II. ①黄… ②龙… ③林… III. ①新能源-发电-高等学校-教材 IV. ①TM61

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第027142号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:吴玉贤(010-63412540)

责任校对:王开云

装帧设计:张俊霞

责任印制:吴迪

印 刷:北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次:2017年10月第一版

印 次:2017年10月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:19.25

字 数:477千字

定 价:42.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

前 言

能源是国民经济的命脉，与人民生活和人类的生存环境休戚相关，在社会可持续发展中起着举足轻重的作用。纵观历史，人类的一切活动都与能量及其使用密不可分。当人类使用薪柴作为主要能源时，社会发展迟缓，生产和生活水平都极低。当煤炭作为主要能源时，不但社会生产力有了大幅度的增长，而且生活水平也有了很大的提高。20世纪50年代，由于巨大油气田的相继开发，人类迎来了石油时代。近60年来，世界上许多国家，特别是发达国家，依靠石油和天然气创造了人类历史上空前的物质文明。

然而煤炭、石油、天然气这类化石燃料终有耗尽之日，且它们给环境造成的污染也日益严重。21世纪，能源、环境、人口、粮食、资源，依然是困扰当今全人类的共同问题。因此，大力发展新能源，使经济、社会、环境协调和可持续发展仍是全世界面临的共同挑战。

“十三五”是我国全面建成小康社会，实现“中国梦”的关键时期，新时期新阶段能源发展既有新的机遇，也面临更为严峻的挑战。其挑战主要表现在：消费需求不断增长，资源约束日益加剧；结构矛盾比较突出，可持续发展面临挑战；国际市场剧烈波动，安全隐患不断增加；能源效率亟待提高，节能降耗任务艰巨；环境问题日显突出，新能源利用相对落后；体制约束依然严重，各项改革有待深化。

为了实现低碳能源和低碳经济的目标，必须大力发展新能源。作者曾编写了一本《新能源技术》，并于2011年由中国电力出版社出版。因为新能源利用的主要发展方向是用于发电，而且新能源发电近几年发展特别迅速，像风力发电和太阳能发电已经规模化。为此作者根据多年来在新能源发电方面所做的工作，决定编写一本专门介绍新能源发电技术的书，介绍我国新能源发电事业的发展。

本书全面介绍了有关新能源发电的原理和相关技术，包括太阳能热发电技术和太阳能光伏发电技术、风力发电技术、地热发电技术、生物质发电技术和海洋能发电技术。为了使全书结构比较完整，对相应的太阳能、风能、地热能、生物质能和海洋能的概况也做了比较详细的介绍。通常核能，特别是核聚变能也归于新能源的范畴，考虑到有关核能的图书较多，本书中没有涉及核能发电技术。

书中也包括作者在新能源发电方面的若干研究成果，如太阳光伏电池、太阳能热气流发电、盐差能发电技术等。此外，为适应不同读者群的需要，本书在取材上力求资料新颖、涉

及面广，以便为读者提供更多有关新能源发电的最新信息，同时叙述上力求通俗易懂，可读性强。

全书共七章，其中第一、二、五、六、七章由黄素逸编写，第三章由林一歆编写，第四章由龙妍编写。华中科技大学靳世平教授对本书进行了认真审阅，在此对他表示诚挚的感谢。

由于新能源发电技术发展很快且不断创新，作者水平所限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2017年8月于华中科技大学

目 录

前言

第一章 能源概述	1
第一节 能量与能源.....	1
第二节 能源与环境保护.....	8
第三节 能源与可持续发展	16
第二章 太阳能热发电技术	23
第一节 太阳能概述	23
第二节 太阳能热发电技术综述	36
第三节 聚焦太阳能热发电系统的类型和组成	45
第四节 太阳能光热发电系统的蓄热	72
第五节 太阳能热发电系统的蒸汽发生器.....	102
第三章 太阳能光伏发电技术	110
第一节 太阳能电池材料及其发展趋势.....	110
第二节 太阳能电池性能与评价.....	120
第三节 太阳能光伏发电系统.....	124
第四节 光伏发电系统优化与运行.....	131
第五节 太阳能光伏光热联合发电系统.....	137
第六节 光伏发电的发展趋势与应用前景.....	143
第四章 风力发电技术	151
第一节 风能概述.....	151
第二节 风力发电系统及其发展趋势.....	157
第三节 风力机及其进展.....	177
第四节 风力发电的运行分析.....	185
第五章 地热发电技术	193
第一节 地热能概述.....	193
第二节 地热发电系统.....	199
第三节 地热能发电的关键技术与设备.....	207
第四节 地热发电技术的发展.....	212
第五节 地热发电中的环境保护.....	216
第六章 生物质能发电技术	219
第一节 生物质能概述.....	219
第二节 生物质发电类型.....	227
第三节 生物质燃烧技术与燃烧设备.....	233

第四节	生物质燃料气化和气化设备.....	245
第五节	垃圾填埋气发电技术.....	258
第六节	垃圾焚烧发电.....	262
第七节	沼气发电.....	268
第八节	生物质发电的污染问题分析.....	272
第七章	海洋能发电技术.....	277
第一节	海洋能概述.....	277
第二节	潮汐能发电.....	279
第三节	波浪能发电.....	285
第四节	海洋温差能发电.....	291
第五节	海洋盐差能发电.....	294
第六节	海流能发电.....	297
参考文献	300

第一章 能源概述

第一节 能量与能源

一、能量

物质、能量和信息是构成客观世界的基础。科学史观认为，世界是由物质构成的，没有物质，世界便虚无缥缈。运动是物质存在的形式，是物质固有的属性。没有运动的物质正如没有物质的运动一样是不可思议的，能量则是物质运动的度量。由于物质存在各种不同的运动形态，因此能量也就具有不同形式。信息则是客观事物和主观认识相结合的产物，没有信息，物质和能量既无从认识，又毫无用处。

宇宙间一切运动着的物体都有能量的存在和转化。人类一切活动都与能量及其使用紧密相关。所谓能量，广义地说，就是“产生某种效果（变化）的能力”。反过来说，产生某种效果（变化）的过程必然伴随着能量的消耗或转化。例如，要使物体沿某一方向移动一定的距离 S (m)，就需要消耗一定的功，若推动物体的力为 F (N)，则所消耗的功为 $W = F \cdot S$ (J)，也就是说需要消耗 $W = F \cdot S$ 的能量才能产生上述效果。又如要使质量为 m (kg) 的物体从静止状态加速到速度为 v (m/s)，则要消耗 $\frac{1}{2}mv^2$ (J) 的能量；加热质量为 m (kg) 的水，使其温度由 T_1 升高到 T_2 ，则耗能为 $mc(T_2 - T_1)$ ，其中 c 为水的比热容 [$J/(kg \cdot ^\circ C)$]；同样，移动 q (C) 电荷跨越电位差 U (V) 时，也要消耗 qU (J) 能量。

科学史观还认为，物质是某种既定的东西，既不能被创造也不能被消灭，因此，作为物质属性的能量也一样不能创造和消灭。能量和物质质量之间的关系是爱因斯坦于 1922 年揭示的，即

$$E = mc^2 \quad (1-1)$$

式中： E 为物质释放的能量，J； m 为转变为能量的物质的质量，kg； c 为光速， 3×10^8 m/s。

式 (1-1) 为一个可逆过程，其前提是质量和能量的总和在任何能量的转换过程中都必须保持不变。

在国际单位制中，能量、功及热量的单位通常都用焦 (J) 表示，而单位时间内所做的功或吸收 (释放) 的热量则称为功率，单位为瓦 (W)。因为在能量的转换和使用中，焦和瓦的单位都太小，因此，更多地使用千焦 (kJ) 和千瓦 (kW)，或兆焦 (MJ) 和兆瓦 (MW)。在能源研究中还会用到更大的单位，如 GW、TW 等。能源利用中常用的国际制的词冠见表 1-1。

表 1-1 常用的国际制词冠

幂	词 冠	国际代号	中文代号
10^{18}	艾可萨 (exa)	E	爱
10^{15}	拍它 (peta)	P	拍
10^{12}	太拉 (tera)	T	太

续表

幂	词 冠	国际代号	中文代号
10^9	吉咖 (giga)	G	吉
10^6	兆 (mega)	M	兆
10^3	千 (kilo)	k	千
10^2	百 (hecto)	h	百
10	十 (deca)	da	十

在工程应用和一些有关能源的文献中，还会见到其他一些单位，如卡、大卡、标准煤当量、标准油当量、百万吨煤当量 (Mtce)、百万吨油当量 (Mtoe) 等。它们与国际单位之间的关系是：1 卡 = 4.186 焦 (J)；1 千克标准煤当量 (kgce) = 7000 大卡；1 千克标准油当量 (kgoe) = 10 000 大卡。据此即可对有关数据进行换算。

二、能量的形式

作为一个哲学上的概念，能量是一切物质运动、变化和相互作用的度量。具体而言，能量反映了一个由诸多物质构成的系统与外界交换功和热能力的大小。利用能量从实质上讲就是利用自然界的某一自发变化的过程来推动另一人为的过程。例如，水力发电就是利用水会自发地从高处流往低处的这一自发过程，使水的势能转化为动能，再推动水轮机转动，水轮机又带动发电机，通过发电机将机械能转换为电能供人类利用。显然，能量利用的优劣，利用效率的高低与具体过程密切相关。而且利用能量的结果必然和能量系统的始末状态相联系。例如，水力发电系统通过消耗一部分水能来获得电能，系统的始末状态（如水位、流量等）都发生了变化。

对能量的分类方法没有统一的标准，到目前为止，人类认识的能量有六种形式。

1. 机械能

机械能是与物体宏观机械运动或空间状态相关的能量，与物体宏观机械运动相关的能量称为动能，与空间状态相关的能量称为势能。它们都是人类最早认识的能量形式。具体而言，动能是指系统（或物体）由于做机械运动而具有的做功能力。如果质量为 m 的物体的运动速度为 v ，则该物体的动能 E_k 可以用下式计算：

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1-2)$$

势能与物体的状态有关，除了受重力作用的物体因其位置高度不同而具有重力势能外，还有弹性势能，即物体由于弹性变形而具有的做功本领；以及所谓表面能，即不同类物质或同类物质不同相的分界面上，由于表面张力的存在而具有的做功能力。重力势能 E_p 可以用下式计算：

$$E_p = mgH \quad (1-3)$$

式中： m 为物体的质量； g 为重力加速度； H 为高度。

弹性势能 E_r 的计算式为

$$E_r = \frac{1}{2}kx^2 \quad (1-4)$$

式中： k 为物体的弹性系数； x 为物体的变形量。

表面能 E_s 可用下式计算:

$$E_s = \sigma S \quad (1-5)$$

式中: σ 为表面张力系数; S 为相界面的面积。

2. 热能

热能是能量的一种基本形式, 所有其他形式的能量都可以完全转换为热能, 而且绝大多数的一次能源都是首先经过热能形式而被利用的, 因此热能在能量利用中有重要意义。构成物质的微观分子运动的动能和势能总和称为热能。这种能量的宏观表现是温度的高低, 它反映了分子运动的激烈程度。通常, 热能 E_q 可表述成如下形式:

$$E_q = \int T ds \quad (1-6)$$

式中: T 为温度; ds 为熵增。

3. 电能

电能是和电子流动与积累有关的一种能量, 通常是由电池中的化学能转换而来, 或是通过发电机由机械能转换得到; 反之, 电能也可以通过电动机转换为机械能, 从而显示出电做功的本领。如果驱动电子流动的电动势为 U , 电流强度为 I , 则其电能 E_e 可表述为

$$E_e = UI \quad (1-7)$$

4. 辐射能

辐射能是物体以电磁波形式发射的能量。物体会因各种原因发出辐射能, 其中, 从能量利用的角度而言, 因热的原因而发出的辐射能 (又称热辐射能) 是最有意义的, 例如, 地球表面所接受的太阳能就是最重要的热辐射能。物体的辐射能 E_r 可由下式计算:

$$E_r = \varepsilon c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (1-8)$$

式中: ε 为物体的发射率; c_0 为黑体辐射系数; T 为物体的绝对温度。

5. 化学能

化学能是物质结构能的一种, 即原子核外进行化学变化时放出的能量。按化学热力学定义, 物质或物系在化学反应过程中以热能形式释放的内能称为化学能。人类利用最普遍的化学能是燃烧碳和氢, 而这两种元素正是煤、石油、天然气、薪柴等燃料中最主要的可燃元素。燃料燃烧时的化学能通常用燃料的发热值表示。

单位质量 (固体、液体燃料) 或体积 (气体燃料) 的物质在完全燃烧, 且燃烧产物冷却到燃烧前的温度时所放出的热量称为燃料的发热量 (发热值或热值), 单位为 kJ/kg 或 kJ/m^3 。应用上又将发热量分为高位发热量和低位发热量。高位发热量是指燃料完全燃烧, 且燃烧产物中的水蒸气全部凝结成水时所放出的热量; 低位发热量是燃料完全燃烧, 而燃料产物中的水蒸气仍以汽态存在时所放出的热量。显然, 低位发热量在数值上等于高位发热量减去水的汽化潜热。由于燃烧设备, 如锅炉中燃料燃烧时, 燃料中原油的水分及氢燃烧后生成的水均呈蒸汽状态随烟气排出, 因此低位发热量接近实际可利用的燃料发热量, 所以在热力计算中均以低位发热量作为计算依据。表 1-2 为各种不同燃料低位发热量的概略值。

表 1-2 不同燃料低位发热量的概略值

燃 料		低位发热量	
固体燃料 (MJ/kg)	天然固体燃料	木材	13.8
		泥煤	15.89
		褐煤	18.82
		烟煤	27.18
	加工的固体燃料	木炭	29.27
		焦炭	28.43
		焦炭	26.34
液体燃料 (MJ/kg)	天然液体燃料	石油(原油)	41.82
	加工成的液体燃料	汽油	45.99
		液化石油气	50.18
		煤油	45.15
		重油	43.91
		焦油	37.22
		甲苯	40.56
		苯	40.14
		酒精	26.76
气体燃料 (MJ/m ³)	天然气	天然气	37.63
	加工成的气体燃料	焦炉煤气	18.82
		高炉煤气	3.76
		发生炉煤气	5.85
		水煤气	10.45
		油气	37.65
		丁烷气	125.45

6. 核能

核能是蕴藏在原子核内部的物质结构能。轻质量的原子核(氘、氚等)和重质量的原子核(铀等)其核子之间的结合力比中等质量原子核的结合力小,这两类原子核在一定的条件下可以通过核聚变和核裂变转变为在自然界更稳定的中等质量原子核,同时释放出巨大的结合能,这种结合能就是核能。由于原子核内部的运动非常复杂,目前还不能给出核力的完全描述。但在核裂变和核聚变反应中都有“质量亏损”,这种质量和能量之间的转换完全可以用式(1-1)来描述。

三、能源的分类

能源可简单地理解为含有能量的资源。对于能源常常有不同的表述。例如,《大英百科全书》对能源一词的解释为“能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语,人类采用适当的转换手段,给人类自己提供所需的能量”。在《现代汉语词典》中,对能源的注解是“能产生能量的物质,如燃料、水力、风力等”。总之,不论何种表述,其内涵都是基本相同的,即能源就是能量的来源,是提供能量的资源,这些来源或资源,要么是来自物质,

要么是来自物质的运动,前者如煤炭、石油、天然气等矿物燃料(又称化石燃料),后者如水流、风流、海浪、潮汐等。

从广义上讲,在自然界里有一些自然资源本身就拥有某种形式的能量,它们在一定条件下能够转换成人们所需要的能量形式,这种自然资源显然就是能源,如煤、石油、天然气、太阳能、风能、水能、地热能、核能等。但生产和生活过程中由于需要或为便于运输和使用,常将上述能源经过一定的加工、转换使之成为更符合使用要求的能量来源,如煤气、电力、焦炭、蒸汽、沼气、氢能等,它们也称之为能源,因为它们同样能为人们提供所需的能量。

由于能源形式多样,因此通常有多种不同的分类方法,它们或按能源的来源、形成、使用分类,或从技术、环保角度进行分类。不同的分类方法都是从不同的侧面来反映各种能源的特征。

1. 按地球上的能量来源分

地球上能源的成因有三种。

(1) 地球本身蕴藏的能源,如核能、地热能等。

(2) 来自地球外天体的能源,如宇宙射线及太阳能,以及由太阳能引起的水能、风能、波浪能、海洋温差能、生物质能、光合作用、化石燃料(如煤、石油、天然气等,它们是一亿年前由积存下来的有机物质转化而来的)等。

(3) 地球与其他天体相互作用的能源,如潮汐能。

2. 按被利用的程度分

从被开发利用的程度、生产技术水平和经济效益等方面对能源进行分类则有:

(1) 常规能源,其开发利用时间长、技术成熟、能大量生产并广泛使用,如煤炭、石油、天然气、薪柴燃料、水能等,常规能源有时又称为传统能源。

(2) 新能源,其开发利用较少或正在研究开发之中,如太阳能、地热能、潮汐能、生物质能等,核能通常也被看成新能源,尽管核燃料提供的核能在世界一次能源的消费中已占15%,但从被利用的程度看,还远不能和已有的常规能源相比。另外,核能利用的技术非常复杂,可控核聚变反应至今未能实现,这也是将核能仍视为新能源的主要原因之一。不过也有不少学者认为应将核裂变作为常规能源,核聚变作为新能源。新能源有时又称为非常规能源或替代能源。

3. 按获得的方法分

(1) 一次能源,即自然界现实存在,可供直接利用的能源,如煤、石油、天然气、风能、水能等。

(2) 二次能源,即由一次能源直接或间接加工、转换而来的能源,如电、蒸汽、焦炭、煤气、氢等,它们使用方便,易于利用,是高品质的能源。

4. 按能否再生分

(1) 可再生能源,它不会随其本身的转化或人类的利用而日益减少,如水能、风能、潮汐能、太阳能等。

(2) 非再生能源,它随人类的利用而越来越少,如石油、煤、天然气、核燃料等。

5. 按能源本身的性质分

(1) 含能体能源,其本身就是可提供能量的物质,如石油、煤、天然气、氢等,它们可以直接储存,因此,便于运输和传输,含能体能源又称为载体能源。

(2) 过程性能源,它们是指由可提供能量的物质的运动所产生的能源,如水能、风能、潮汐能、电能等,其特点是无法直接储存。

6. 按是否能作为燃料分

(1) 燃料能源, 它们可以作为燃料使用, 如各种矿物燃料、生物质燃料以及二次能源中的汽油、柴油、煤气等。

(2) 非燃料能源, 它们是不可作为燃料使用的能源, 其含义仅指其不能燃烧, 而非不能起燃料的某些作用, 如加热等。

7. 按对环境的污染情况分

(1) 清洁能源, 即对环境无污染或污染很小的能源, 如太阳能、水能、海洋能等。

(2) 非清洁能源, 即对环境污染较大的能源, 如煤、石油等。

此外, 还有一些有关能源的术语或名词, 如商品能源、非商品能源、农村能源、绿色能源、终端能源等。它们也都是从某一方面来反映能源的特征。例如, 商品能源是指流通环节大量消费的能源, 如煤炭、石油、天然气、电力等。而非商品能源则指不经流通环节而自产自用的能源, 如农户自产自用的薪柴、秸秆, 牧民自用的牲畜粪便等。表 1-3 所示为能源分类的情况。

表 1-3 能源的分类

按使用状况分	按性质分	按一、二次能源分		
		一次能源	二次能源	
常规能源	燃料能源	泥煤 (化学能)	煤气 (化学能) 余热 (化学能)	
		褐煤 (化学能)	焦炭 (化学能)	
		烟煤 (化学能)	汽油 (化学能)	
		无烟煤 (化学能)	煤油 (化学能)	
		石煤 (化学能)	柴油 (化学能)	
		油页岩 (化学能)	重油 (化学能)	
		油砂 (化学能)	液化石油气 (化学能)	
		原油 (化学能、机械能)	丙烷 (化学能)	
		天然气 (化学能、机械能)	甲醇 (化学能)	
		生物燃料 (化学能)	酒精 (化学能)	
	非燃料能源	水能 (机械能)	天然气水合物 (化学能)	苯胺 (化学能)
				火药 (化学能)
				电 (电能)
				蒸汽 (热能、机械能)
新能源	燃料能源	核燃料 (核能)	余热 (热能、机械能)	
			沼气 (化学能)	
	非燃料能源		太阳能 (辐射能)	激光 (光能)
			风能 (机械能)	
			地热能 (热能)	
			潮汐能 (机械能)	
			海水热能 (热能、机械能)	
			海流、波浪动能 (机械能)	

四、能源的评价

能源多种多样,各有优缺点。为了正确地选择和使用能源,必须对各种能源进行正确的评价。通常能源评价包括储量、能量密度、储能的可能性等几方面。

1. 储量

储量是能源评价中的一个非常重要的指标。作为能源的一个必要条件是储量要足够丰富。对储量常有不同的理解。一种理解认为,对煤和石油等化石燃料而言,储量是指地质资源量;对太阳能、风能、地热能等新能源而言则是指资源总量。而另一种理解是,储量是指有经济价值的可开采的资源量或技术上可利用的资源量。在有经济价值的可开采的资源量中又分为普查量、详查量和精查量等几种情况。在油气开采中,通常又将累计探明的可采储量与可采资源量之比称为可采储资比,用以说明资源的探明程度。储量丰富且探明程度高的能源才有可能被广泛地应用。

2. 能量密度

能量密度是指在一定的质量、空间或面积内,从某种能源中所能得到的能量。显然,如果能量密度很小,就很难用作主要能源。太阳能和风能的能量密度就很小,各种常规能源的能量密度都比较大,核燃料的能量密度最大。几种能源的能量密度见表 1-4。

表 1-4 几种能源的能量密度

能源类别	能量密度	能源类别	能量密度
风能(风速 3m/s)	0.02(kW/m ²)	天然铀	5.0×10 ⁸ (kJ/kg)
水能(流速 3m/s)	20(kW/m ²)	²³⁵ U(核裂变)	7.0×10 ¹⁰ (kJ/kg)
波浪能(波高 2m)	30(kW/m ²)	氘(核聚变)	3.5×10 ¹¹ (kJ/kg)
潮汐能(潮差 10m)	100(kW/m ²)	氢	1.2×10 ⁵ (kJ/kg)
太阳能(晴天平均)	1(kW/m ²)	甲烷	5.0×10 ⁴ (kJ/kg)
太阳能(昼夜平均)	0.16(kW/m ²)	汽油	4.4×10 ⁴ (kJ/kg)

3. 储能的可能性

储能的可能性是指能源不用时是否可以储存起来,需要时是否又能立即供应。在这方面,化石燃料容易做到,而太阳能、风能则比较困难。由于大多数情况下,用能是不均衡的,比如,白天用电多,深夜用电少,冬天需要热,夏天却需要冷。因此,在能量的利用中,储能是很重要的一环。

4. 供能的连续性

供能的连续性是指能否按需要和所需的速度连续不断地供给能量。显然,太阳能和风能就很难做到供能的连续性。太阳能白天有,夜晚无,风力则时大时小,且随季节变化大。因此,常常需要有储能装置来保证供能的连续性。

5. 能源的地理分布

能源的地理分布和能源的使用关系密切。能源的地理分布不合理,则开发、运输、基本建设等费用都会大幅度的增加。例如,我国煤炭资源多在西北,水能资源多在西南,工业区却在东部沿海,因此能源的地理分布对使用很不利,带来“北煤南运”“西电东送”等诸多问题。

6. 开发费用和利用能源的设备费用

各种能源的开发费用以及利用该种能源的设备费用相差悬殊。例如,太阳能、风能不需要任何成本即可得到。各种化石燃料从勘探、开采到加工却需要大量投资。但利用能源的设备费用则正好相反,太阳能、风能、海洋能的利用设备费按每千瓦计,远高于利用化石燃料的设备费。核电厂的核燃料费远低于燃油电站,但其设备费却高得多。因此,在对能源进行评价时,开发费用和利用能源的设备费用是必须考虑的重要因素,并需进行经济分析和评估。

7. 运输费用与损耗

运输费用与损耗是能源利用中必须考虑的一个问题。例如,太阳能、风能和地热能都很难输送出去,但煤、油等化石燃料却很容易从产地输送至用户。核电厂的核燃料运输费用极少,因为核燃料的能量密度是煤的几百万倍,而燃煤电厂的输煤就是一笔很大的费用。此外,运输中的损耗也不可忽视。

8. 能源的可再生性

在能源日益匮乏的今天,评价能源时不能不考虑能源的可再生性。比如,太阳能、风能、水能等都可再生,而煤、石油、天然气则不能再生。在条件许可和经济上基本可行的情况下,应尽可能地采用可再生能源。

9. 能源的品位

能源的品位有高低之分,例如,水能够直接转变为机械能和电能,它的品位要比先由化学能转变为热能,再由热能转换为机械能的化石燃料要高些。另外,热机中热源的温度越高,冷源的温度越低,则循环的热效率就越高,因此温度高的热源品位比温度低的热源高。在使用能源时,特别要防止高品位能源降级使用,并根据使用需要,适当安排不同品位能源。

10. 对环境的影响

使用能源一定要考虑对环境的影响。化石燃料对环境的污染大,太阳能、氢能、风能对环境基本上没有污染。在使用能源时,应尽可能地采取各种措施防止对环境的污染。

第二节 能源与环境保护

一、环境概述

地球是人类赖以生存的环境。地球上的生物和非生物物质则被视为环境要素,与人类息息相关。人类环境还有别于其他生物环境,它既包含自然环境,也包含社会和经济环境。自然环境包括人类赖以生存的环境要素,如大气圈、水圈、土壤圈和岩石圈等。社会和经济环境则指人类的社会制度等上层建筑条件,包括社会的经济基础、城乡结构以及同各种社会制度相适应的政治、经济、法律、宗教、艺术、哲学的观念和机构等,即智慧圈。

世界经济发展和人类赖以生存的环境是不协调的,经济发展和人口增长给环境造成了巨大的压力,这种情况在发展中国家尤为突出。联合国最新公布的研究结果显示,在过去30年里,虽然国际社会在环保领域取得了一定成绩,但全球整体环境状况持续恶化。国际社会普遍认为,贫困和过度消费导致人类无节制地开发和破坏自然资源,这是造成环境恶化的罪魁祸首。

全球环境恶化主要表现在大气和江海污染加剧、大面积土地退化、森林面积急剧减少、

淡水资源日益短缺、大气层臭氧空洞扩大、生物多样化受到威胁等多方面，同时，温室气体的过量排放导致全球气候变暖，使自然灾害发生的频率和程度大幅增加。

我国的环境状况也不容乐观，除了国内资源难以支撑传统工业文明的持续增长外，我国的环境更难以支撑当前这种高污染、高消耗、低效益生产方式的持续扩张。人类从来没有像今天这样意识到和感受到生存环境所受的威胁，社会也从来没有像现在这样企盼生活空间质量的改善。

能源作为人类赖以生存的基础，在其开采、输送、加工、转换、利用和消费过程中，都直接或间接地改变着地球上的物质平衡和能量平衡，必然对生态系统产生各种影响，成为环境污染的主要根源。能源对环境的污染主要表现在温室效应、酸雨、破坏臭氧层、热污染、放射性污染等。

二、温室效应

全球气候正在变暖已是不争的事实。1860年有气象仪器观测记录以来，全球平均温度升高了 $(0.6 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ 。最暖的13个年份均出现在1983年以后。20世纪北半球温度的增幅可能是过去1000年中最高的。降水分布也发生了变化。大陆地区尤其是中高纬地区降水增加，非洲等一些地区降水减少。有些地区极端天气气候事件（如厄尔尼诺、干旱、洪涝、雷暴、冰雹、风暴、高温天气和沙尘暴等）出现的频率与强度均有所增加。近百年来，我国气候也同样在变暖，气温上升了 $0.4 \sim 0.5^\circ\text{C}$ ，尤以冬季和西北、华北、东北地区最为明显。1985年以来，我国已连续出现了16个全国范围的暖冬。降水自20世纪50年代以后则逐渐减少，华北地区呈现变暖干化趋势。

地球为什么会变暖？是由于人类大量使用能源，其放出的热量使地球变暖的吗？目前，人类一年使用的全部能源约为 $33 \times 10^{16} \text{kJ}$ ，大约相当于80亿t石油。如果把这些热量全部用来加热海洋中的海水，则仅仅可以使海水温度上升 $6 \times 10^{-5}^\circ\text{C}$ ，即加热一万年，海水的温度也只能上升 1°C 。从另一方面看，人类使用能源一天所放出的热量约为 $0.1 \times 10^{16} \text{kJ}$ ，而地球一天从太阳获得的热量却为 $1500 \times 10^{16} \text{kJ}$ 。因此，地球变暖一定另有原因。

太阳射向地球的辐射能中约有 $1/3$ 被云层、冰粒和空气反射回去；约25%穿过大气层时暂时被大气吸收，起到增温作用，但以后又返回到太空；其余的大约37%则被地球表面吸收。这些被吸收的太阳辐射能大部分在夜间又重新发射到天空。如果这部分热量遇到了阻碍，不能全部被反射出去，地球表面的温度就会增加。单原子气体和空气中的氮、氧、氢等双原子气体的辐射和吸收能力微不足道，均可看成是透明体。然而二氧化碳、水蒸气、二氧化硫、甲烷、氟利昂（制冷剂）等三原子气体都有相当大的辐射能力和吸收能力。与固体不同，上述这些气体的辐射和吸收有选择性，即它们只能辐射和吸收某些波长区间的能量，对该波长区以外的能量则既不辐射也不吸收。对于二氧化碳这类气体，它们只能吸收长波，不能吸收短波。太阳表面的温度约为6000K，辐射能主要是短波（可见光）；地球表面温度约为288K，辐射能主要为长波（红外线）。因此，从太阳发射出来的短波辐射被地球表面吸收后变成低温，向宇宙空间发射的是长波的红外线。这样一来，二氧化碳这类气体能让太阳的短波辐射自由地通过，同时却吸收地面发出的长波辐射。其结果是，大部分太阳短波辐射可以通过大气层到达地面，使地球表面温度升高；与此同时，由于二氧化碳等气体强烈地吸收地面的长波辐射，使散失到宇宙空间的热量减少，于是，地面吸收的热量多，散失的热量少，导致地球温度升高，这就是所谓温室效应。像二氧化碳这类会使地球变暖的气体就称为

温室气体。主要的温室气体及其来源如图 1-1 所示。

工业化时代开始以来, 仅仅 200 年的时间, 人类的活动已使地球上层的大气发生了很大的变化。在过去的一个世纪里, 由于燃烧化石燃料和砍伐森林, 二氧化碳的含量已经增加了 20%, 大气中的 N_2O 也增加了 1/3, 它主要来自化石燃料的燃烧以及肥料脱氮和森林破坏所释放的污染物质。此外, 甲烷在上层大气中的含量也增加了 1 倍, 这主要是由于油气井的喷发, 森林和原野转变成牧场和耕地, 以及海洋捕捞活动中产生的有机废弃物腐烂所引起的。如果这种趋势继续下去, 全球平均地表气温到 2100 年将比 1990 年上升 $1.4 \sim 5.8^\circ C$ 。这一增温值将是 20 世纪内增温值 ($0.6^\circ C$ 左右) 的 2~10 倍。21 世纪全球平均降水将会增加, 北半球雪盖和海冰范围将进一步缩小。2100 年全球平均海平面将比 1990 年上升 $0.09 \sim 0.88m$ 。一些极端事件 (如高温天气、强降水、热带气旋强风等) 发生的频率将会增加。

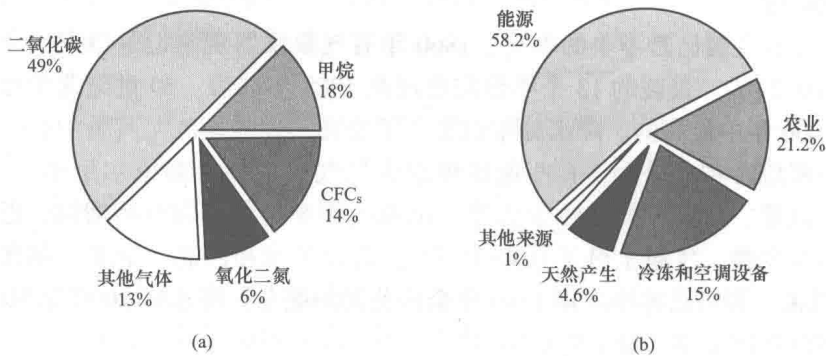


图 1-1 主要的温室气体及其来源
(a) 含量; (b) 来源

气候变化对自然生态系统已造成并将继续产生明显影响, 它主要表现如下:

(1) 气候变化将改变植被群落的结构、组成及生物量, 使森林生态系统的空间格局发生变化, 同时, 也造成生物多样性减少等。

(2) 冰川条数和面积减少, 冻土厚度和下界会发生变化, 高山生态系统对气候变化非常敏感, 冰川规模将随着气候变化而改变, 山地冰川普遍出现减少和退缩现象。

(3) 气候变化将导致湖泊水位下降和面积萎缩。

(4) 农业生产的不稳定性增加, 产量波动大; 农业生产布局 and 结构将出现变动; 农业生产条件改变, 农业成本和投资大幅度增加。

(5) 气候变暖将导致地表径流、旱涝灾害频率以及水质等发生变化, 水资源供需矛盾将更为突出。

(6) 对气候变化敏感的传染性疾病的传播范围可能增加, 与高温热浪天气有关的疾病和死亡率增加。

(7) 气候变化将影响人类居住环境。

CO_2 浓度的增加主要来自化石燃料的燃烧 (其所放出的 CO_2 约占 CO_2 排放总量的 70%) 和地球植被破坏。能源工业同时也是甲烷气体的一个重要的产生源 (约占总量的 20%)。此外, 与化石燃料有关的产业 (包括原煤开采、石油和天然气在输送时的泄漏等) 也是温室气体增加的重要原因。因此, 能源产业就成为减少温室气体排放行动的焦点。据统计, 全球