



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

可再生能源概论

左然 施明恒 王希麟 主编



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

可再生能源概论

主编 左 然 施明恒 王希麟
参编 闻建龙
主审 葛新石 黄素逸



机械工业出版社

可再生能源通常是指对环境友好、可以反复使用、不会枯竭的能源或能源利用技术,包括太阳能热利用、太阳电池、生物质能、风能、小水能、潮汐能、海浪能、地热能、氢能、燃料电池等。本书对上述相关知识进行了较为系统的介绍,重点介绍各种可再生能源技术的基本原理和开发利用的方式,此外,也简要介绍了目前国内外可再生能源开发利用的现状和最新进展。

本书适合作为理工科大学的教材,也可用作研究生参考教材。对于从事可再生能源技术研发的相关科技人员,本书也具有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

可再生能源概论/左然,施明恒,王希麟主编. —北京:机械工业出版社,2007.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-21462-5

I.可… II.①左…②施…③王… III.再生资源:能源—概论—高等学校—教材 IV.TK01

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第066485号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:刘涛 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文

封面设计:王伟光 责任印制:李妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2007年8月第1版第1次印刷

169mm×239mm·14.75印张·575千字

标准书号:ISBN 978-7-111-21462-5

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379720

封面无防伪标均为盗版

前 言

进入 21 世纪，人类社会面临着严重的能源紧缺和环境污染。传统能源中的石油和天然气将在未来几十年内耗尽，煤尽管还能用一二百年，但它会对生态和环境带来很多的副作用。在世界范围的能源危机中，中国更是首当其冲。因此，研究开发无污染、可再生的新能源与能源转换技术是科技界的当务之急，而培养这方面的人才更是重中之重。

早在 20 世纪 70 年代，发达国家工科类专业（包括机械、电子、化工、材料等）就普遍开设能源与环境、可再生能源技术等相关课程。例如，美国许多大学都开设了名为 Renewable Energy, Alternative Energy, Sustainable Energy 或单独的 Solar Energy, Wind Energy, Fuel Cell 等课程。近年来，国内许多大学也都开设了相关课程。面对我国日益严峻的生态失衡和能源短缺，作为 21 世纪的理工科大学生，迫切需要具备能源与环保、可再生能源技术等基础知识。

尽管太阳能、风能、燃料电池等许多可再生能源和相应的利用技术早已列为国家重点发展的高技术项目，《可再生能源法》也于 2005 年 2 月在全国人大顺利通过，但是国内至今还没有一本适合理工科大学的、专门介绍可再生能源及其利用的大学本科教材。20 世纪 80 年代初机械工业出版社出版过一本作为大学教材的《新能源发电》（西安交通大学陈听宽等编）。该书为国内最早较全面介绍可再生能源技术的大学教材，但由于当时的背景，核能和磁流体发电（不属于可再生能源范畴）占据很大篇幅，显然已不适应新时代的要求。近年来陆续有一些“新能源技术”类书籍问世，除了科普类以外，其中不乏介绍较全面的，但大都面向专业技术人员，偏重于某几类可再生能源，因此更适合于专业人士阅读。

因此，编写一本新的、适合理工科大学的“可再生能源及其利用”教材（本书将采用“可再生能源”这一更为准确的词汇，替代较为模糊的“新能源”一词），较为系统地介绍各种主要的可再生能源及其利

用的原理、实用技术和当今国内外可再生能源技术的发展趋势,对于培养新一代具有开阔视野,将来能够从事与可再生能源相关的研究、开发和管理人才具有重要意义,也是改变我国传统的工科类专业陈旧的课程设置,与国际先进教育理念接轨的一个重要的尝试。

本书第1章是能源概论,内容包括能源与人类和环境的关系、能源的各种来源和分类以及人类所面临的能源和环境危机;第2章介绍可再生能源技术涉及的主要基础理论,包括热流体科学、半导体物理、电化学理论等;第3~10章,分门别类地介绍太阳能热利用、太阳能电池、生物质能、风能、小水能、潮汐能、海浪能、地热能、氢能以及燃料电池技术,重点介绍各种可再生能源的基本概念、利用原理和实用技术。此外,也简要介绍了目前国内外可再生能源开发利用的现状、最新进展、以及对环境的影响。

本书在写作上着重基本概念的阐述,尽可能联系实际,尽可能多利用图、表等。在介绍基本原理的基础上,也适当给出该领域正在发展的、较高深的内容,为学生提供发挥想象力和创造力的空间。每章后备有5~10条思考题与练习题,供学生巩固所学内容,也给出一二道考核学生的创新能力的综合题,培养学生将书本知识转变为实际应用的能力。

本书需要的预备知识包括大学物理、大学化学、热力学、流体力学、传热学、半导体物理和电化学基础等,对于未学过后五门课程的同学,本书第2章给出了扼要的入门知识。其中半导体物理基础和电化学基础是学习太阳能电池和燃料电池的必要准备。本书适合作为理工科大学三年级的教材,也可作为研究生的参考教材。全部内容学习大约需60~80学时,也可利用30学时有选择地学习。本书也为从事可再生能源相关领域研发的科技人员提供必要的参考。

可再生能源技术涵盖了许多不同的学科,涉及广泛的物理和化学原理。因此,编写这样一本教材,需要很宽的知识背景。由于作者主要是在工程热物理相关领域从事教学和科研,因此尽管已经竭尽所能,但错误(包括笔误和技术错误)、遗漏在所难免。诚恳希望读者发现后及时批评指正,以利于以后的再版。

本书第1章、第2章(2.2节除外)、第4章、第8章由左然(江苏大学)撰写,第3章、第9章、第10章由施明恒(东南大学)撰

写，第5章、第6章由王希麟（清华大学）撰写，第7章、第2章2.2节由闻建龙（江苏大学）撰写。全书由左然统稿。清华大学航空航天学院研究生邓佳耀参与了本书的部分工作，江苏大学能源与动力工程学院研究生徐谦、戴剑侠、段清彬、张立平等协助绘图。

本书在编写过程中，参阅了大量的国内外文献，引用了许多不同来源的资料和插图。除了各章后所附的参考文献外，本书主要参考了G. Boyle的Renewable Energy-Power for a Sustainable Future (2nd ed., Oxford University Press, 2004.)一书，以及下列网络资源：

1. 美国可再生能源国家实验室(NREL)网站：www.nrel.gov
2. 加拿大自然资源部(CANMET)能源技术中心网站：www.retscreen.ca
3. 欧洲可再生能源组织(EREC)网站：www.erec-renewables.org
4. 中国新能源网：www.newenergy.org.cn
5. 中国可再生能源网：www.crein.org.cn

全书承蒙我国可再生能源领域的两位著名学者——葛新石教授（中国科技大学）和黄素逸教授（华中科技大学）在百忙之中审阅，在此深表谢意。

最后，希望本书对培养我国可再生能源技术领域的人才有所裨益。

编者

目 录

前言

第 1 章 能源、人类与环境	1
1.1 人类利用能源的历史	2
1.2 能量的各种形式与转换	3
1.3 能源的定义和分类	6
1.4 能源的品质评价	9
1.5 我国的能源问题	10
1.6 能源与生态环境的关系	13
1.7 可再生能源的应用和前景	16
思考题与习题	17
参考文献	18
第 2 章 能量转换基础知识——工程热力学、流体力学、传热学、 半导体物理、电化学基础	19
2.1 工程热力学基础	19
2.2 流体力学基础	32
2.3 传热学基础	50
2.4 半导体物理基础	67
2.5 电化学反应基础	88
思考题与习题	104
参考文献	106
第 3 章 太阳能热利用	107
3.1 太阳辐射	108
3.2 平板型太阳能集热器	117
3.3 真空管集热器与太阳能热水器	127
3.4 太阳房	131
3.5 太阳灶	137
3.6 太阳能热发电	138
3.7 太阳能制冷与空调	146
3.8 太阳能干燥	153
3.9 太阳能储存	154
思考题与习题	158
参考文献	158

第 4 章 太阳电池	160
4.1 太阳电池原理、发展历史和现状	161
4.2 光吸收与载流子产生、光伏效应原理	164
4.3 太阳电池的 $I-V$ 特性	167
4.4 太阳电池的工作特性与功率输出	171
4.5 太阳电池的转换效率和影响因素	173
4.6 太阳电池分类与太阳电池模块的标准测试条件	176
4.7 单晶硅电池的基本结构和制备工艺	178
4.8 太阳电池制备——从石英砂到单晶硅片	180
4.9 太阳电池制备——从硅片到太阳电池	182
4.10 其他类型的太阳电池	186
4.11 太阳电池发电系统	192
4.12 太阳电池的环境影响和发展前景展望	194
思考题与习题	198
参考文献	198
第 5 章 生物质能	199
5.1 生物质能的形成和利用	200
5.2 生物质能的来源	204
5.3 生物质直接燃烧技术	208
5.4 生物质压缩成型燃料技术	214
5.5 厌氧消化制取气体燃料	219
5.6 生物质气化技术	229
5.7 生物质热裂解技术	235
5.8 生物质燃料乙醇技术	240
5.9 生物柴油技术	244
5.10 生物质能与经济和环境	247
5.11 最新生物质能技术	251
5.12 生物质能发展展望	254
思考题与习题	256
参考文献	257
第 6 章 风能	258
6.1 风的形成	259
6.2 风能利用简介	264
6.3 风能资源及分布	268
6.4 风的基本特征	273
6.5 风能的计算	275
6.6 风力机的空气动力学基础	279
6.7 各种类型的风力机	287

6.8	风力发电机的结构	296
6.9	风力机的控制	302
6.10	风力机的选址和输出功率	305
6.11	各种风力系统	308
6.12	风能利用的发展	311
6.13	环境影响和风能利用展望	315
	思考题与习题	321
	参考文献	322
第7章	小水电和潮汐能	323
7.1	水力发电基本原理	324
7.2	小型水电站类型和建站型式	325
7.3	水电站水工建筑物	327
7.4	水轮机的工作参数及类型	329
7.5	水轮机的工作原理	332
7.6	潮汐电站	339
7.7	抽水蓄能电站	344
7.8	环境问题与未来展望	348
	思考题与习题	349
	参考文献	349
第8章	波浪能	350
8.1	波浪的起因和定义	351
8.2	波浪的特征和波浪能的功率	353
8.3	波浪在深水和浅水中的传播	355
8.4	波浪能资源	358
8.5	波浪能转换技术	361
8.6	波浪能装置的范例	371
8.7	世界各国的波能研发活动	378
8.8	波浪发电的技术进展、经济性、环境影响和未来展望	382
	思考题与习题	384
	参考文献	385
第9章	地热能	386
9.1	地热能概述	386
9.2	我国的地热资源	389
9.3	热储工程学基础	396
9.4	地热发电	402
9.5	地热供暖	406
9.6	地热能的其他利用	410
9.7	地热能开采	415

9.8 地热回灌技术	417
思考题与习题	419
参考文献	419
第 10 章 氢能与燃料电池	421
10.1 氢元素和氢能	421
10.2 氢的制备	423
10.3 氢的储存	429
10.4 燃料电池的基本原理	432
10.5 燃料电池的分类及特征	438
10.6 燃料电池的发展现状和应用前景	452
思考题与习题	454
参考文献	454
附录	455
本书常用符号	456
全文索引	458

第 1 章

能源、人类与环境

能源是人类赖以生存的基础，也是人类从事生产和社会活动的基础。能源的开发利用程度标志着人类社会进化和发展的程度。能源对于现代社会的重要性如同粮食对于人类的重要性，没有粮食，人类将不能生存；没有能源，现代社会将陷入瘫痪，人类只能回到远古的刀耕火种时代。

能源的消费水平是衡量国民经济发展和人民生活水平的重要标志。随着现代社会的发展和人民生活水平的提高，人类的能源消耗迅速增长（图 1-1），能耗的增长速度大大超过了人口增长速度。在 20 世纪的 100 年中，世界人口从 16 亿增长到 60 亿，大约增长了 4 倍；而同一时期，世界一次能源的年消耗量从 20 亿 t 标准煤增长到 200 亿 t 标准煤，足足增长了 10 倍。2002 年世界人口为 62 亿，消耗的能源为 451EJ

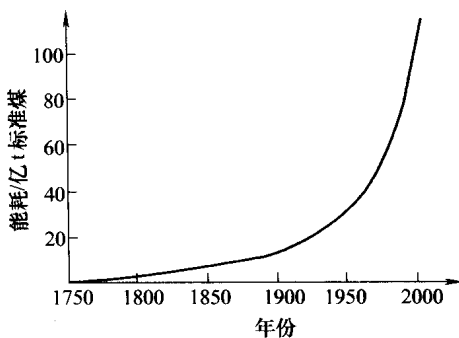


图 1-1 工业革命以来人类能源消耗的增长

($1\text{EJ}=10^{18}\text{J}$),其中化石能源提供了总能量的 $3/4$ 。据能源专家预测，以目前的消耗速度，地球上已探明的储藏，煤大约还能维持 200 年，石油大约 40 年，天然气约 60 年。而且全世界的石油产量，很可能在 2010 年左右即达到峰值，并从此以后开始下降。因此，人类正面临着日益严峻的能源危机。

传统的化石能源不仅数量有限，而且已经造成严重的生态失衡和环境污染。人类不能无节制地向自然索取，只有合理地开发和利用能源，与自然和谐相处，才能从根本上解决能源问题。我国的现代化建设，在很大程度上取决于能源的充分供应和有效利用。开发无污染、可再生的新能源与能源转换技术是科技界的当务之急。

现代科学技术有四大支柱：信息科学、材料科学、生命科学、能源科学。属于能源科学的可再生能源技术的特点是，它并不自成一个学科，而是多种学科的交叉。能源技术研究各种能源的开发、生产、转换、储存和综合利用。简而言之，研究能源技术的目的有两个：一是寻找新的能源和能源利用方式；二是提高现有能源的利用效率，特别是转换为电能的效率。对于可再生能源技术来说，最重要的是能量的高效率低成本的转换。因此，学习和了解可再生能源技术需要较广的知识背景，需要掌握多方面的知识，特别是物理学和化学的基础知识。

在系统地介绍可再生能源技术之前，本章和第2章将分别介绍有关能源利用的一般知识和基础理论，本章将介绍能源利用的历史、能源的定义和分类、各种能源的品质评价、中国所面临的能源问题和环境问题以及可再生能源的开发前景。第2章将给出有关能源利用与转换的基础理论知识，包括工程热力学、流体力学、传热学、半导体物理以及电化学的基础知识。

1.1 人类利用能源的历史

人类进化的历史，也是一部不断地向自然界索取能源的历史。伴随着能源的开发利用，人类社会逐渐地从远古的刀耕火种走向现代文明。人类使用能源的历史大致可以分为四个时期：

(1) 柴草时期 大约50万年前，人类学会了使用工具和火，特别是学会了利用火来取暖和做饭（图1-2）。此时的燃料主要是树枝、杂草等，从此人类完成了从猿到人的进化，能源利用进入了柴草时期。从远古时代直至中世纪，在马车的低吟声中，人类度过了悠长的农业文明时代。尽管生产力和生活水平非常低下，但火的发现和使用，使人类开始了迈向具有理性的文明社会的步伐。此后一直到18世纪中叶，人类一直以柴草烧饭、取暖和照明，以人力、畜力和极少量水车、风车为动力，从事手工生产和交通运输。这一时期生产力低下，人类基本受制于大自然。



图1-2 钻木取火——人类最早从事的能量转换过程

(2) 煤炭时期 从18世纪中叶开始，以蒸汽机的发明为代表，人类进入了能源利用的煤炭时期。意大利人马可·波罗在《东方见闻记》中记载了中国的可燃的“黑石头”，即煤。其实，中国人早在1000多年前就开始使用煤。从17世

纪开始,英国人开始大规模地开采和利用煤。煤气灯的使用,结束了人类的漫漫长夜。蒸汽机的发明,使煤炭一跃成为第二代主体能源。到 18 世纪以煤炭作燃料的蒸汽机的广泛应用,使纺织、冶金、采矿、机械加工等产业获得迅速发展。同时,蒸汽机车、轮船的出现,使交通运输业得到巨大进步。通过大规模使用机器,欧洲国家率先进入了工业社会。以煤炭作为主要的动力能源,人类开始对大自然进行大规模的改造。

(3) 石油时期 从 19 世纪末开始,以发明内燃机和电力为代表,人类进入以石油为主要能源的时代。中国人很早就发现石油是一种可燃的液体,宋朝的沈括就对石油作了详细的记载。但漫长的封建社会,压抑了中国人的聪明才智和科学技术的发展。而在地球的另一端,工业革命带来了巨大的技术进步。1854 年,美国宾夕法尼亚州打出了世界上第一口油井,现代石油工业由此发端。1886 年,德国人本茨和戴姆勒研制成以汽油为燃料、内燃机驱动的世界第一辆汽车,从此开始了大规模使用石油的汽车时代。从 19 世纪初法拉第发现电磁感应现象,到该世纪末爱迪生发明电灯,作为一次能源的石油和煤炭被转换成更加便于输送和利用的二次能源——电能,使人类永远地脱离了黑暗。到 20 世纪 60 年代,全球石油的消费量超过煤炭,成为第三代主体能源。以石油和电能为基础,汽车、轮船、飞机、电力机车、发电站、以及电话、电视、电子计算机等信息设备的发明和使用,将人类快速推进到现代文明时代。

(4) 可再生能源时期 进入 21 世纪,人类进入信息社会,也同时逐渐步入了可再生能源利用的时代。在使用石油、煤、天然气等化石能源以及核能的同时,水力能以及太阳能、风能、海洋能、生物质能等可再生能源也逐渐走上历史舞台。由于传统的化石能源面临枯竭,人类正在积极地开发可再生的新能源。尽管目前人类仍处于石油能源时期,但按照当前的发展趋势预测,到 21 世纪中叶,很可能形成包括水力能、太阳能、风能、生物质能等可再生能源以及核能(核裂变和核聚变)的多种能源联合利用体系,可再生能源将占据社会总能源需求的至少半壁江山。

1.2 能量的各种形式与转换

什么是能量?按照物理学的定义,能量即物体(或系统)对外做功的能力。物体对外界做功 W ,则外界的能量增加 W ,而物体本身能量则减少 W 。这就是能量的最重要的特征——能量守恒:能量既不能被创造也不能被消灭,它只能从一种形式转变为另一种形式。如动能变为势能、电能变为光能、机械能转换为热能、化学能转换为电能等。若用热力学的语言,则有热力学第一定律,它是目前除了核能以外的几乎所有能量转换的理论基础。若考虑爱因斯坦的质能关系式

$E=mc^2$,即质量和能量的相互转化,则有广义的能量守恒定律,它是核电站以及受控核聚变的理论基础。

能量的概念来源于力学,后来扩展到许多学科,成为人类认识世界的一个极其重要的物理量。能量有各种不同的形式,以下举出一些不同学科讨论的能量形式。

在牛顿力学中,有平动动能 E_k 、转动动能 E_r 和重力势能 E_p ,可分别表示为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

式中, m 为物体的质量; v 为物体的平动速度。

$$E_r = \frac{1}{2}I\omega^2$$

式中, I 为物体的转动惯量; ω 为物体的转动角速度。

$$E_p = mgh$$

式中, g 为重力加速度; h 为物体的相对高度。

上述三种能量通称为机械能,可再生能源中的水力能、波浪能、风能即属于上述能量形式。

在热力学中,能量守恒定律转化为热力学第一定律。对于封闭系统, $\Delta U = Q - W$,其中, ΔU 为系统热力学能的变化, Q 为热能, W 为做功。系统的热力学能就是系统分子热运动的能量,也泛指为热能。热能的本质是微观粒子随机热运动的动能。分子运动速度越快,物体的温度越高。在热力学中,热能也可以表示由温差传递的能量的。绝大多数化石能源的利用,都是先将燃料的化学能转变为热能,然后再转变成其他形式的能量。

在电磁场中,有电场能 W_e 和磁场能 W_m ,可分别表示为

$$W_e = \frac{1}{2}CV^2 \quad W_m = \frac{1}{2}LI^2$$

式中, C 为电容; V 为电压; L 为电感; I 为电流。

在微观世界中,能量只能以一份一份不连续的形式放出或接受。用量子力学的表达式, $E = h\nu$ 。 E 为单个粒子或光子的最小能量, h 为普朗克常数, $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$, ν 为振动频率。由于普朗克常数为很小的数,因此在宏观世界里通常观察不到这一能量的不连续性。但是,当原子核发生裂变或聚变时,根据爱因斯坦的质能关系式, $E = mc^2$,释放出巨大的能量。其中 m 为物体质量, C 为光速, $C = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 。这里的能量 E 表示当物质的质量或原子核的数目改变时,所释放出的原子核能。1kg 铀 235 裂变后产生的能量等价于 2500t 煤,该能量足以产生一次强烈地震,或一次原子弹爆炸。1kg 的氘和氚放出的能量相当于

1 万 t 煤, 4 倍于铀裂变的能量。太阳能就是一种核聚变能, 其中大量的氢原子聚合到一起, 形成氦原子, 以光辐射的形式放出巨大的能量。

在化学反应中, 涉及的能量包括化学键能、热能与光能等。当燃料燃烧时, 内部的化学键能转变为分子热运动的热能和光能。无论是吸热反应或放热反应, 由于原子需重新组合, 首先必须由外界提供能量, 如热能或光能, 使联接原子之间的化学键打开, 此能量即活化能, 然后原子重新组合, 释放出多余的化学能。干电池和蓄电池都是利用了化学能。

在生物化学中, 涉及的能量过程包括:

1) 光合作用。植物利用阳光将空气中的水和二氧化碳转变为葡萄糖和氧气 ($6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$), 能量储存在葡萄糖中。粮食、薪柴、煤、石油中所含的能量都来自太阳的光合作用。

2) 无氧发酵。利用微生物将碳水化合物转变为醇, 此即酿酒过程。沼气也是来自这一过程。

3) 酶催化或消化作用。动物和人类要维持生存, 都要利用这一过程, 从食物中摄取能量。此时, 能量以葡萄糖的形式储存在体内, 呼吸时与氧气作用, 反应产生 H_2O 和 CO_2 , 释放出来。

综上所述, 能量能够以多种形式存在。可以简单地把能量分为两类: 与运动相联系的能量称为动能, 与物体的相对位置或内部结构有关的能量统称为势能。目前人类使用的能源可以认为全都来自以下若干类型的势能:

重力势能: 由距离地球表面的垂直高度决定。水力能即是利用水的位差产生的重力势能。

弹性势能: 可储存在弹性物体内部, 如弹簧、压缩空气等。

温度差能: 热量储存在海水和空气的温度差中, 风能可以认为是来自空气的温差。

化学势能 (化学键能): 该能量在化学反应中释放出来 (分子重新组合), 如煤、石油、天然气等化石能源。燃料电池也是利用化学势能。

电磁能: 带电体或导磁体在电磁场所具有的电磁能量。如电容器、超导线圈, 都可以储存大量的能量。电磁能也可通过辐射的形式放出, 即光能。

原子核能: 由于原子核内部粒子间的相互作用而储存在原子核内部的能量, 当原子发生某种重新组合时释放出来。此能量非常巨大。当其发生不可控的链锁反应时, 则为原子弹或氢弹爆炸。人类和平利用原子能的目标是实现可控的核裂变和核聚变。太阳其实就是一座天然的核聚变反应堆, 氢同位素的核聚变放出能量, 产物为水, 因而是最理想的能源。原子核能释放时, 以热能、声能或光能的形式放出能量。

不同学科遇到的各种能量形式及表达式如表 1-1 所示。

表 1-1 不同学科遇到的能量形式及表达式

学 科	能 量	表 达 式	符 号 意 义
牛顿力学	平动动能	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	m , 物体的质量; v , 物体的平动速度
	转动动能	$E_t = \frac{1}{2}I\omega^2$	I , 转动惯量; Ω , 物体的转动角速度
	重力势能	$E_p = mgh$	g , 重力加速度; h , 物体的相对高度
热力学	热能、热力学能	$\Delta U = Q - W$	ΔU , 系统热力学能的变化; Q , 热能; W , 做功
电磁场	电场能	$E_e = \frac{1}{2}CV^2$	C , 电容; V , 电压
	磁场能	$E_m = \frac{1}{2}LI^2$	L , 电感; I , 电流
核物理学	核能	$\epsilon = h\nu$ $E = mc^2$	ϵ , 单个粒子或光子的最小能量; h , 普朗克常数; ν , 振动频率; m , 质量; C , 光速
化学	化学键能、热能、光能	化学反应方程式	在化学反应中, 首先由外界提供能量, 如热能或光能, 使连接原子之间的化学键断开, 此能量即活化能; 然后, 原子发生重新组合, 释放出多余的化学能
生物化学	光合作用	$6H_2O + 6CO_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$	植物利用阳光将空气中的水和二氧化碳转变为葡萄糖
	无氧发酵		利用微生物将碳水化合物转变为醇, 此即酿酒过程
	酶催化或消化作用		能量以葡萄糖的形式储存在体内, 呼吸时与氧气作用, 反应释放出 H_2O 和 CO_2

1.3 能源的定义和分类

前面介绍了能量的各种形式, 那么什么是能源呢? 广义地讲, 能源即能够向人类提供能量的自然资源。如煤和石油等化石能源提供热能, 水力和风力提供机械能, 地热提供热能, 太阳提供电磁辐射能(可转化为热能或电能)。许多自然过程都产生一定的能量, 甚至普通的垃圾也可以转化为能量, 但转化的数量和转化的难易程度则差异极大。因此, 能源又可定义为比较集中而又比较容易转化的含能物质或含能资源。从不同的角度考虑, 能源的分类有多种方式:

1) 按照来源的不同, 能源可分为来自太阳的辐射能量、地球内部固有的能量、地球与其他天体相互作用产生的能量共三大类(表 1-2), 分别称为第一类能源、第二类能源、第三类能源。

表 1-2 一次能源的分类

	可再生能源	不可再生能源
第一类能源 (直接或间接来自太阳辐射)	太阳能、风能、水力能、海浪能、海流能、海水温差能、生物质能	煤、石油、天然气、油页岩、可燃冰
第二类能源 (地球内部带来的能量)	地热能、火山、地震、海啸	核燃料(铀、钍、钷、氡等)
第三类能源 (地球—天体相互作用能)	潮汐能	

第一类能源即来自太阳辐射能，又可分为：①间接来自太阳辐射，经光合作用转化为生物质能，如草木中所含的能量；其中一部分又经过生物体的变化或死亡，进一步转化为煤、石油、天然气、沼气、油页岩等；②间接来自太阳辐射，经空气或水的吸收转化为风能、水力能、海流能、波浪能、海水温差能等；③直接吸收太阳辐射，转化为热能或光能。如太阳能热水、太阳能采暖、太阳能光电池等。

第二类能源为地球内部固有的能量，又可分为：地热水或汽、热岩层、地震、火山运动、核能(铀、钍、氡、氫)等。

第三类能源为地球与其他天体的相互作用能，主要是潮汐能，它来自月亮和太阳对地球海水的引力。

2) 按照不同的资源形态，能源可分为：①含能体能源：能量存在于物质中，易于储存。包括化石燃料(煤、石油、天然气等)、草木秸秆、核燃料、地热水或汽、氢能等。②过程性能源：能量存在于运动过程中，无法直接储存。包括太阳辐射、风、河流、海流、潮汐、波浪、地震、闪电等。

3) 按照人们开发和使用的程度，能源可分为：①常规能源：使用较普遍、技术较成熟的能源。如煤、石油、水力等；②新能源：正在研发利用、但尚未普遍使用的能源。如太阳能、风能、海洋能等。

核能曾属于新能源，但随着其广泛的开发，已归类为常规能源。

4) 按照能否反复使用，能源可分为：①不可再生能源，即只能一次性使用，用完后不可再生的能源。它包括所有化石能源和核能。据估计，按照现有的开采程度，地球上的石油最多还可使用 40 年，天然气还可使用 60 年，煤还可使用 200 年。②可再生能源，即可以反复使用，不断再生，不会耗尽的能源。它包括太阳直接辐射能(以后称太阳能)、水力能、风能、海浪能、地热能等。

5) 按照是否经过加工或转换，能源又可分为：①一次能源，指自然界中以天然形态存在，未经任何形式转换的能源。如原油、原煤、天然气、薪柴、水流、核燃料，以及太阳辐射、地热、潮汐等。②二次能源，指由一次能源经过加