

# 可再生能源 发电技术

尹忠东 朱永强 主编



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

责任编辑 张秀娟

E-mail: zxjuan@waterpub.com.cn



销售分类：电工技术 / 可再生能源发电技术

ISBN 978-7-5084-7468-7



9 787508 474687 >

定价：35.00 元

# 可再生能源发电技术

尹忠东 朱永强 主编



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

可再生能源包括风能、太阳能、水能、海洋能、地热能、生物质能等，都是永不枯竭的绿色能源。本书系统地论述了这些可再生能源的资源形成、储量及其分布，阐述了利用各种可再生能源进行发电的基本原理和实现方法，总结了各种可再生能源发电技术的发展历史和现状，还专门介绍了非常有发展前途的燃料电池技术。

本书提供了翔实的最新数据，并配有大量的照片和图解，内容丰富、图文并茂，是在充分调研和广泛收集素材的基础上，结合多位教师的教学实践经验，精心编制而成，反映了广大师生的教学要求，非常适合作为高校相关课程的教材，同时还可作为可再生能源发电相关技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

可再生能源发电技术 / 尹忠东, 朱永强主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2010.5  
ISBN 978-7-5084-7468-7

I. ①可… II. ①尹… ②朱… III. ①再生资源: 能源—研究 IV. ①TM61

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第080360号

书 名	可再生能源发电技术
作 者	尹忠东 朱永强 主编
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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16印张 379千字
版 次	2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	35.00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

# 前 言

可再生能源发电技术，是未来解决能源与环境问题的重要科学技术。新世纪的大学生，有必要广泛了解人类社会面临的能源与环境问题和相关的解决办法。作者花费大量的时间撰写本书，就是希望大学生朋友们能够由兴趣到责任，为将来成为社会发展的栋梁之材多积累一些知识，多开阔一些思路。

本书分为 11 章，主要涉及风能、太阳能、水能、海洋能、地热能、生物质能等六种可再生能源，论述了这些可再生能源的资源形成、储量及其分布，阐述了利用各种可再生能源进行发电的基本原理和实现方法，总结了各种可再生能源发电技术的发展历史和现状，还专门介绍了非常有发展前途的燃料电池技术。

本书提供了翔实的最新数据，并配有大量的照片和图解，内容丰富、图文并茂。

本书是在广泛收集相关素材的基础上，结合多位教师的教学实践经验，精心编制，力求反映广大师生的教学要求。

第 1 章绪论、第 5 章水力发电、第 9 章地热能发电主要由尹忠东编写，第 7 章潮汐能发电主要由胥国毅编写，其余各章主要由朱永强编写，王玲玲、赵红月分别参与了地热能发电、海洋能发电、生物质能发电等章节的编写工作。

丁泽俊、许郁、陈彩虹、龚媛、蔡靖、范秀丽、王千、钱燕敏、谭大作、黄国泳、施辉选、唐佳能等在本书的素材收集整理阶段都作出了贡献，在此表示衷心的感谢。

本书引用了大量的相关文献，除全书后面的主要参考文献和相关网站之外，可能还有一些素材没有一一列举，在此对所有参考资料的初始来源和相关作者表示感谢。

编 者

2010 年 2 月

# 目 录

## 前 言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 能源的概述 .....	1
1.2 能源的分类 .....	2
1.3 能源的评价与计量 .....	5
1.4 能源的形式和转换 .....	6
1.5 能源问题与环境保护 .....	8
1.6 我国的能源发展 .....	10
<b>第 2 章 风力发电</b> .....	14
2.1 风和风能 .....	14
2.2 风力发电的发展 .....	20
2.3 风力机 .....	25
2.4 风力发电机组 .....	40
2.5 风力发电场 .....	43
2.6 风电的环境影响 .....	48
2.7 风电的发展前景 .....	49
<b>第 3 章 太阳能及其热发电</b> .....	51
3.1 太阳能利用的历史 .....	51
3.2 太阳能资源及其分布 .....	53
3.3 太阳能发电的方式 .....	56
3.4 太阳能热发电的原理 .....	58
3.5 太阳能热发电系统的构成 .....	59
3.6 太阳能热发电系统的基本类型 .....	63
3.7 太阳能热发电的发展 .....	65
<b>第 4 章 太阳能光伏发电</b> .....	68
4.1 光伏发电的基本概念 .....	68
4.2 光伏电池的结构和原理 .....	69
4.3 太阳能光伏发电系统 .....	74
4.4 光伏发电的主要技术问题 .....	80
4.5 光伏发电的特点 .....	82
4.6 世界光伏发电技术的发展 .....	83

4.7 我国太阳能光伏发电的发展 .....	87
<b>第5章 水力发电</b> .....	<b>90</b>
5.1 水电资源及其分布 .....	90
5.2 水电的发展状况 .....	93
5.3 水力发电原理 .....	97
5.4 水轮机的类型和结构 .....	101
5.5 水电站的水工建筑 .....	104
5.6 河川水电站 .....	107
5.7 抽水蓄能电站 .....	113
5.8 小水电的发展应用 .....	116
<b>第6章 海洋能发电</b> .....	<b>119</b>
6.1 海洋和海洋能 .....	119
6.2 海洋能资源的储量和分布 .....	123
6.3 海洋能利用的历史和现状 .....	124
6.4 盐差发电 .....	126
6.5 温差发电 .....	131
6.6 海流能发电概述 .....	138
6.7 海洋发电的发展前景 .....	142
<b>第7章 潮汐能发电</b> .....	<b>144</b>
7.1 潮汐的概念 .....	144
7.2 潮汐能及其分布 .....	146
7.3 潮汐发电的发展应用 .....	149
7.4 潮汐电站的结构和原理 .....	153
7.5 潮汐电站的类型 .....	158
7.6 代表性的潮汐电站 .....	161
7.7 潮汐发电的特点 .....	163
<b>第8章 波浪能发电</b> .....	<b>166</b>
8.1 波浪和波浪能 .....	166
8.2 波浪能资源及其分布 .....	170
8.3 波浪能发电的发展 .....	171
8.4 波浪能发电的原理 .....	173
8.5 波浪能装置的分类 .....	174
8.6 典型的装置和工程 .....	177
8.7 世界各国的研发工作 .....	184
8.8 波浪能发电的评价 .....	186
<b>第9章 地热能发电</b> .....	<b>188</b>

9.1	地热和地热资源 .....	188
9.2	地热资源的分布 .....	192
9.3	地热发电的发展状况 .....	196
9.4	地热发电原理 .....	200
9.5	主要地热国家地热开发工作 .....	207
<b>第 10 章</b>	<b>生物质能发电 .....</b>	<b>211</b>
10.1	生物质和生物质能 .....	211
10.2	生物质能的资源分布 .....	213
10.3	生物质发电概述 .....	215
10.4	直接燃烧发电 .....	218
10.5	沼气发电 .....	220
10.6	垃圾发电 .....	223
10.7	生物质燃气发电 .....	226
10.8	国外生物质能发电建设 .....	228
10.9	生物质能发电的特点 .....	229
<b>第 11 章</b>	<b>燃料电池 .....</b>	<b>231</b>
11.1	燃料电池概述 .....	231
11.2	燃料电池的原理 .....	232
11.3	燃料电池系统的构成 .....	234
11.4	燃料电池的特点 .....	235
11.5	燃料电池的分类 .....	237
11.6	各种类型的燃料电池 .....	238
11.7	燃料电池的应用及前景 .....	242
	参考文献 .....	245



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 能源的概述

### 1.1.1 资源和能源

#### 1. 资源的概念

在一定时期和地点，在一定条件下具有开发价值、能够满足或提高人类当前和未来生存和生活状况的自然因素和条件，称为自然资源，有时简称资源。地球上的自然资源一般包括气候资源、水资源、矿物资源、生物资源、能源等。

有一些资源是可以再生的，例如水资源、生物资源，如果进行合理的开发，则能够长期利用。

#### 2. 能源的概念

能源就是能够向人类提供某种形式能量的自然资源，包括所有的燃料、流水、阳光、地热、风等，通过适当的转换手段可使其为人类生产和生活提供所需的能量。例如煤和石油等化石能源燃烧时提供热能，流水和风力可以提供机械能，太阳的电磁辐射可转化为热能或电能。

人们通常按能源的形态特征或转换与应用的层次对它进行分类。世界能源委员会推荐的能源类型分为：固体燃料、液体燃料、气体燃料、水能、电能、太阳能、生物质能、风能、核能、海洋能和地热能。其中，前三个类型统称化石燃料或化石能源。已被人类认识的上述能源，在一定条件下可以转换为人们所需的某种形式的能量。

### 1.1.2 人类利用能源的历史

人类利用能源的历史，也就是人类认识和征服自然的历史。人们持续不断地探索可利用的能源，不断地改进和完善的开发能源的方法及途径，越来越多的用能源来满足人类社会日益增长的各种需求。

人类利用能源的历史，可以大致分为四个阶段。

#### 1. 柴草时期

这一时期的能源利用主要是薪柴燃火和畜力、风力、水力等自然动力的初级应用。

自从人类学会了用火，在此后漫长的岁月里，人类一直以柴草作为生活能量的主要来源，燃火用于烧饭、取暖和照明。逐渐学会将畜力、风力、水力等自然动力用于生产和交通运输。

直到 19 世纪中叶，能源的利用也一直没有大的突破。例如，在 1860 年的世界能源消费结构中，薪柴和农作物秸秆还占能源总消费量的 73.8%。

#### 2. 煤炭时期

虽然人类用煤炭作燃料的历史，可追溯到 2000 多年前，但煤炭一直未能在世界能源消费结构中占据主导地位。

18世纪70年代,英国人瓦特发明了蒸汽机。以煤炭作燃料的蒸汽机的广泛应用,带动人类进入了能源利用的煤炭时期,实现了主要能源形式从热能向机械能的转变。

煤炭在世界一次能源消费结构中所占的比重,从1860年的25%,上升到1920年的62%。

### 3. 石油时期

人类很早就发现石油是一种可燃液体,但是直到19世纪,石油工业才逐渐兴起。

19世纪末,内燃机和电力的发明,使人类逐渐进入了以石油为主要能源的时代。

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,进一步推动工业革命,带来了巨大的技术进步。以石油和电能为基础,将人类快速推进到现代文明时代。

20世纪60~70年代,石油和天然气逐渐取代了煤炭,在世界能源消费构成中占据主要地位。例如,1979年,世界能源消费结构的比重是:石油占54%,天然气和煤炭各占18%。

### 4. 能源结构的多元化时期

作为目前的第三大能源,天然气有可能将部分代替石油,成为全球最主要的能源之一。

核能的迅速发展,也将使其在世界能源结构中占据重要位置。自从1942年美国在芝加哥建立世界上第一座核反应堆,到20世纪90年代,核能发电所提供的电力已经占全世界发电总量的17%左右。核能是最有希望取代石油的重要能源。

进入21世纪以来,太阳能、风能、海洋能、生物质能等可再生能源发展很快,并且逐渐走向成熟和规模化,所占的比重也有望大幅度提高。

按照目前的发展趋势预测,到了21世纪中叶,很可能形成包括水能、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)在内的多种能源联合利用体系。

## 1.2 能源的分类

### 1.2.1 一次能源和二次能源

#### 1.2.1.1 一次能源和二次能源的划分

按能源的形成条件,可分为一次能源和二次能源。

以天然形态存在于自然界中,可直接取得而不需改变其基本形态的能源,称为一次能源。简单说,一次能源就是自然界中现成存在的天然能源。如煤炭、石油、天然气等化石燃料,以及风能、地热能、核能、潮汐能、生物质能等。

为了满足生产和生活的需要,有些能源通常需要经过加工进行直接或间接的转换才能使用。由一次能源经加工转换而获得的另一种形态的能源,称为二次能源。如焦炭、沼气、液化气、酒精、汽油和其他各种石油制品,以及电能、蒸汽等。

大部分一次能源都转换成容易输送、分配和使用的二次能源,以适应人类的需要。

#### 1.2.1.2 一次能源的来源

自然界中一次能源的初始来源,有下列三种情况。

### 1. 来自地球以外天体的能量

来自地球以外天体（主要是太阳）的能量，一部分是能以光和热的形式直接利用的能量，这就是通常所说的太阳能；还有很多在自然条件下以其他形式存储下来。

例如，绿色植物通过光合作用把太阳能转变成化学能在植物体内贮存下来，这部分能量为人类和动物的生存提供了食物和能源。煤炭、石油、天然气、油页岩等化石燃料，是由古代理在地下的动植物经过漫长的地质年代形成的，实质上是由古代生物固定下来的太阳能。此外，水能、风能、海洋能等，也都是由太阳能经过某些方式转换来的。

太阳能是地球上多种能源的主要源泉。人类所需能量的绝大部分都直接或间接地来自太阳。

从数量上看，来自太阳的能量非常巨大。理论计算表明，太阳每秒钟辐射到地球上的能量相当于 500 多万 t 煤燃烧时放出的热量；一年就有相当于 170 万亿 t 煤的热量，现在全世界一年消耗的能量还不及它的万分之一。

### 2. 地球内部蕴藏的能量

来自地球本身的能源，主要是核燃料和地热能。

地球内部蕴藏着丰富的热能，是一个巨大的热库。这些热量蕴藏在地下热水、地热蒸汽及热岩石中，其数量是地球煤储量所含热能的上亿倍。从地下喷出地面的温泉和火山爆发喷出的岩浆就是地热的表现。地球上的地热资源贮量也很大，按目前钻井技术可钻到地下 10km 的深度，估计地热能资源总量相当于世界年能源消费量的 400 多万倍。

地热能主要来源于地球内部放射性元素衰变时释放的能量。有些放射性元素可以提炼出来，作为核燃料利用，也就是核能。实际上，原子核反应包括裂变反应和聚变反应。目前在世界各地运行的 440 多座核电站就是使用铀原子核裂变时放出的热量。世界上已探明的铀储量约 490 万 t，钍储量约 275 万 t。使用氘、氚、锂等轻核聚变时放出能量的核电站正在研究之中。聚变燃料主要是氘和锂，海水中氘的含量为 0.03g/L，据估计地球上的海水量约为 138 万亿 m<sup>3</sup>，所以世界上氘的储量约 40 万亿 t；地球上的锂储量虽比氘少得多，也有 2000 多亿 t。这些聚变燃料所释放的能量比全世界现有能源总量放出的能量大千万倍。

### 3. 地球与其他天体相互作用产生的能量

地球、月亮、太阳有规律的运动，造成三个天体之间相对位置的周期性变化，引力作用使海水发生周期性的涨落，形成潮汐。潮汐能就是地球、月球和太阳三个天体相互作用所产生的能源。其他星体距离地球较远，或质量较小，对地球的引力作用远不如太阳和月亮的引力作用明显。

每年全球的潮汐能数量巨大，而实际可用的只是浅海区那一部分。

## 1.2.2 常规能源与新能源

根据能源的开发和利用状况，可分为常规能源和新能源。

常规能源是指在当前的科技水平和利用条件下，已被人们广泛应用了较长时间的能源，现阶段主要是指煤、石油、天然气、水能、核（裂变）能。这类能源，使用较普遍，技术较成熟。目前，世界能源消费绝大部分靠这五大能源来供应。

新能源是指由于技术、经济或能源品质等因素而未能大规模使用的能源，如太阳能、

风能、海洋能、地热能、生物质能、氢能、核聚变能等。这类能源，已经开始或即将被人们推广利用，但目前还没有被大规模使用，有的甚至还处于研发或试用阶段。

常规能源和新能源的分类是相对的，在不同的历史时期是会变化的，这取决于它们应用历史和使用规模。现在的常规能源过去也曾是新能源，今天的新能源将来也会成为常规能源。

在中国新能源与可再生能源是指除常规化石能源和大中型水力发电、核裂变发电之外的生物质能、太阳能、风能、小水电、地热能以及海洋能等一次能源。

### 1.2.3 非再生能源和可再生能源

根据能否循环使用和不断得到补充，一次能源又分为非再生能源和可再生能源。

非再生能源，用完后不可再生，总有枯竭的一天。如煤、石油、天然气等化石燃料和核燃料均为非再生能源。

可再生能源，可以循环使用，能够有规律地不断得到补充。如太阳能、水能、风能、海洋能、地热能和生物质能，均为可再生能源。

当非再生能源资源日益面临枯竭的时候，可再生能源的技术开发和利用成为满足人类未来能源需求的希望。

国际能源署（IEA）推荐将新能源和可再生能源再分为三类：第一类是大中型水电；第二类是传统的生物质能利用；第三类是新的可再生能源。前两类为旧的可再生能源，其开发相对比较成熟，但对环境有较大的不利影响。第三类新的可再生能源，包括太阳能、风能、地热能、海洋能、小水电、现代生物质能和氢能等。除了可以再生以外，环境破坏和污染少，也是其重要特征。

### 1.2.4 清洁能源和非清洁能源

根据利用时对环境造成污染的程度，能源可以分为清洁能源和非清洁能源。

清洁能源是指对环境没有污染或污染较小的能源，有时也叫绿色能源。清洁能源可以是本身就不产生污染物的能源，例如太阳能、风能、海洋能；也可以是“变废为宝”，利用能源与环境保护相结合的开发方式，如垃圾发电、沼气等生物质能利用。

非清洁能源是指可能对环境造成较大污染的能源，如煤炭。

清洁与非清洁能源的划分也是相对的。石油的污染比煤炭小一些，但也会产生氧化氮、氧化硫等有害物质。与煤炭相比，有人认为石油是清洁能源，而与风能、太阳能等相比，它又不够清洁。

### 1.2.5 能源的其他分类

按利用方式，能源可分为燃料能源和非燃料能源。燃料能源包括具有化学能的矿物化石燃料（如煤炭、石油、天然气等），生物燃料（如薪柴、木材、沼气、有机废物等），化工燃料（如甲醇、酒精等）和具有原子能的核燃料（如铀、钍、氘、氚等）。非燃料能源种类也很多，例如提供机械能的风能、水能、潮汐能、海流和波浪能，提供热能的地热能、海水温差能，以光辐射形式存在的太阳能，以及电能、激光等二次能源。

按流通情况，能源可分为商品能源和非商品能源。商品能源是指作为商品参与市场流通并被大量消费的能源，例如各种化石燃料和电能。非商品能源是指不经流通环节而就地消费的能源，例如薪柴、禽畜粪便，以及其他农业或林业废料。

国际上的能源统计数字，一般都只限于商品能源，而很少记入非商品能源。

按能源结构或消费额，还可分为主要能源和辅助能源。目前，主要能源是指化石能源、水能和核裂变能，其余的均为辅助能源。

## 1.3 能源的评价与计量

### 1.3.1 能源品质的评价

能源的种类很多，各有各的优势，也各有各的缺点。相互比较时，可从以下几个方面评价能源的品质。

#### 1. 能流密度

即在单位空间或单位面积内，能够从某种能源获得的功率。化石燃料与核燃料的能流密度大，各种可再生能源的能流密度一般都比较小。能流密度较小的太阳能、风能等可再生能源，小规模应用的技术已经相当成熟，大规模开发时需要安排较大的接收面积。能量密度太小，则不利于开发利用，因为经济性太差。

#### 2. 开发费用和设备造价

化石能源与核燃料，勘探、开采、加工、运输，都需投入大量人力、物力，本身也消耗能源。太阳能、风能等可再生能源，开发费用主要是开发能源的一次性投资。不过，可再生能源的设备造价比较高。按目前的技术水平，太阳能、海洋能发电设备的价格为每千瓦上万元到几十万元，相对比较成熟的风力发电也有每千瓦几千元。而使用天然气和石油的发电设备以及水电设备，价格为每千瓦几百元到几千元，初期投资小，资金周转快。

#### 3. 存储的可能性与供能的连续性

也就是能源可以连续供应，需要能量时可以马上提供，不用时能够大量存储。基于能源自身的特点，化石燃料都比较容易存储，也便于连续供应。而太阳能、风能等可再生能源则不易保存，能量供应也有间断性。

#### 4. 运输费用与损耗

能源的资源分布与能源利用的需求分布，往往并不一致。从能源的开发地点到使用地点，运输过程本身也需要投资并消耗能源，远距离运输的成本和损耗会影响能源的使用。太阳能、风能、地热能，是难以运输的。化石燃料可以运输，但要考虑运输的成本和耗能。

#### 5. 对环境的影响

环境问题已经成为影响人类生存和未来发展的全球性重大问题。致力于能源的利用，也要考虑可能对环境造成的影响。化石燃料燃烧过程中会排放 CO<sub>2</sub> 等温室气体，甚至还有一些有毒的或腐蚀性物质，对环境影响较大。核燃料有放射性污染及废料处理的问题。可再生能源大多是洁净能源，对环境的影响较小。

#### 6. 蕴藏量

作为可以长期利用的能源，在地球上的蕴藏量要足够丰富。此外，能源的地理分布对其开发利用也有影响。化石燃料等非再生能源，蕴藏量总是有限的，总有用完的时候。太阳能、风能等可再生能源，可以循环使用，不断的得到补充，即使每年更新的数量有限，

长期来看，也是无穷无尽的。

### 7. 能源品位

能源品位反映的是能源利用的方便程度。一般来说，二次能源的能源品味都比一次能源高。能够直接变成机械能和电能的能源（如水力）的品位，要比那些必须先经过热利用环节的能源（如化石燃料）的品位高一些。应合理安排不同品位的能源，供其利用，各得其所。

## 1.3.2 能源的计量单位

### 1. 能量及其单位

能量即物体（或系统）对外做功的能力。

能量的基本单位是焦耳（J）。物体在1牛顿（N）的力作用下，在力的方向上移动1米（m）距离所做的功，就是1焦耳（J）。即

$$1\text{J} = 1\text{N} \cdot \text{m}$$

在实际工程中，焦耳作为能量单位显得太小，也常用kJ（即 $10^3\text{J}$ ）或MJ（即 $10^6\text{J}$ ）。热量也是能量的一种表现形式，在国际单位制中，热量也是以J为单位。在日常生活中，热量的单位也常用卡路里（cal），简称卡。

$$1\text{cal} = 4.1858\text{J}$$

### 2. 功率及其单位

功率是指单位时间内所做的功，是做功快慢程度或能量变化速度的度量。

功率的基本单位是瓦特（W）。

$$1\text{瓦特} = 1\text{焦耳/秒}, 1\text{W} = 1\text{J/s}$$

在实际工程中，瓦特（W）作为功率单位也显得太小，也常用kW（即 $10^3\text{W}$ ）、MW（即 $10^6\text{W}$ ）、GW（即 $10^9\text{W}$ ）。

### 3. 能量密度和能流密度

在单位空间或单位面积内，能够从某种能源获得的能量，称为能量密度。

在单位空间或单位面积内，能够从某种能源获得的功率，称为能流密度或功率密度。例如太阳能的能流密度，用 $\text{W}/\text{m}^2$ 表示；而盐差能的能流密度，有时可以用 $\text{W}/\text{m}^3$ 表示。

### 4. 标准煤

由于各种燃料的热值是互不相同的，在统计能源的生产和消费，特别在计算能耗指标时，通常定义一种假想的标准燃料，即标准煤。标准煤的热值为 $2.9 \times 10^4 \text{J}/\text{kg}$ 。

各种燃料均可按平均发热量折算成标准煤。中国各种燃料折算成标准煤的比率是：原煤为0.714，石油为1.429，天然气为1.33，生物燃料、柴草约0.6，每千瓦电力的能耗，一般按当年火力发电的实际耗煤量折算成标准煤。

## 1.4 能源的形式和转换

常见的能量表现形式，有机械能、热能、电能、化学能、原子能等。

### 1. 机械能

机械能包括与位置相关的势能和与运动相关的动能。

物体以一定的速度平移时，所具有的机械能称为平动动能。平动动能可按下式计算

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

式中  $E_k$ ——平动动能；  
 $m$ ——物体的质量；  
 $v$ ——物体的移动速度。

物体以一定的角速度旋转时，所具有的机械能称为旋转动能。旋转动能可按下式计算

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

式中  $E_r$ ——旋转动能；  
 $J$ ——物体的转动惯量；  
 $\omega$ ——物体的旋转角速度。

处于相对高处的物体，就有势能，也叫位能。位能 ( $E_p$ ) 与物体的质量 ( $m$ )、相对高度 ( $h$ ) 和当地的重力加速度 ( $g$ ) 有关，即

$$E_p = mgh$$

式中  $m$ ——物体的质量；  
 $g$ ——重力加速度；  
 $h$ ——物体的相对高度。

风能、水能、波浪能等可再生能源，提供的都是机械能形式的能量。

## 2. 热能

热能是与分子热运动有关的能量，其本质是随机热运动的微观粒子所具有的动能。分子运动速度越快，物体的温度越高。不同温度的物体之间，会有热量的传递。

绝大多数化石能源的利用，都是先将燃料的化学能转变成热能，然后再转变成其他形式的能量。

## 3. 电能

电能是与电荷的流动和积累相关的一种能量。

## 4. 电场能、磁场能

带电粒子的积累和流动也会在一定条件下建立电磁场，电磁场中存在电场能和磁场能，有时表现为强烈的电磁辐射。

## 5. 化学能

化学能是存在于物质中各组分之间连接键内的一种能量，是在发生某种化学反应时形成或释放的。

干电池和蓄电池都是利用了化学能。光合作用可以把太阳能转换为化学能储存在植物体内。

## 6. 原子能

原子能是与原子核的变化有关的能量释放。宏观上物质的质量的变化，微观上原子核内核子（质子和中子）数目的改变，会释放原子核能。释放原子核能的过程有放射性物质的衰变、裂变和氢等原子量较小的元素的聚变。

## 1.5 能源问题与环境保护

### 1.5.1 常规能源的环境影响

通常,任何一种能源的开发和利用都会给环境造成了一定的影响。例如:水能开发利用可能造成地面沉降、上下游生态系统显著变化、地区性疾病(如血吸虫病)蔓延、土壤盐碱化、水质发生变化等;地热能的开发利用能引起地面下沉,地下水或地表水受到氯化物、硫酸盐、碳酸盐、二氧化硅的污染,水质发生变化等。

在诸多的能源中,以不可再生能源引起的环境影响最为严重和显著,它们在开采、运输、加工、利用等环节都会对环境产生严重影响。它们给环境带来的问题主要有以下几方面。

#### 1. 城市大气污染

化石能源利用过程中,产生大量的 $\text{CO}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 及多种芳烃化合物,已对一些国家的城市造成了十分严重的污染,不仅导致生态系统的破坏,还会损害人体健康。欧盟每年因大气污染造成的材料破坏、农作物和森林以及人体健康损失费用超出100亿美元。我国大气污染造成的损失每年达120亿元人民币。如果考虑一次能源开采、运输和加工过程中的不良影响,则造成损失更为严重。以采煤而言,世界每采1万t煤,受伤人数为15~30人,破坏土地 $200\text{km}^2$ (露天矿),排出矿坑废水达10万t。

#### 2. 温室效应增强

工业革命前,每100万大气单位中有280个单位的 $\text{CO}_2$ 。由于大量化石能源的燃烧,大气中 $\text{CO}_2$ 浓度不断增加,到1988年就已达到349个单位。大气中 $\text{CO}_2$ 浓度增加一倍,全球平均表面温度将上升 $1.5\sim 3^\circ\text{C}$ ,极地温度可能上升 $6\sim 8^\circ\text{C}$ 。这样的温度可能导致海平面上升 $20\sim 140\text{cm}$ ,将对全球许多国家的经济、社会产生严重影响。

#### 3. 酸雨

化石能源燃烧产生的大量 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 等污染物,通过大气传输,在一定条件下形成大面积酸雨,改变酸雨覆盖区的土壤性质,危害农作物和森林生态系统,改变湖泊水库的酸度,破坏了水生生态系统,腐蚀材料,造成重大经济损失。酸雨还导致地区气候改变,造成难以估量的后果。

#### 4. 核废料问题

发展核能技术,尽管在反应堆方面已有了安全保障,但是,世界范围内的民用核能计划的实施,已产生了上千吨的核废料。这些核废料的最终处理问题并没有完全解决。这些废料在数百年里仍将保持着有危害的放射性。

### 1.5.2 可持续发展与绿色GDP

#### 1. 可持续发展

可持续发展就是“满足当代人的需求,又不损害子孙后代满足其需求能力的发展”。

在人类以大量物质消耗换取经济效益的同时,科学家们已经意识到,人们的盲目索取,会使资源枯竭,并指出以牺牲环境谋求经济发展和舒适生活,以及被动地进行保护和防治污染的消极后果,即是百年之后给子孙留下的将是一个不再适合生存和发展的地球。



在长期科学工作的基础上,前挪威首相布伦特兰夫人主持的联合国世界环境与发展委员会提交了调查报告《我们共同的未来》,在阐述人类面临的一系列重大经济、社会和环境问题的同时,提出了关于环境与发展的可持续发展概念。这一概念及其构想在1992年联合国环境与发展大会上得到全世界一百多个国家的认同。可持续发展强调自然资源在本代人与后代之间、国家和地区之间的公平分配,强调人类的经济和社会发展不能超越资源与环境承载能力,强调全人类采取联合行动。

在联合国环境与发展大会之后,党中央和国务院批准颁布了我国“环境与发展的十大对策”,组织制订了《中国21世纪议程》,明确走可持续发展道路是我们的唯一选择。不仅城市要可持续发展,农业和农村也要可持续发展。

## 2. 绿色 GDP

绿色 GDP,是指用以衡量各国扣除自然资产损失后新创造的真实国民财富的总量核算指标。简单来说,就是从现行统计的 GDP 中,扣除由于环境污染、自然资源退化、教育低下、人口数量失控、管理不善等因素引起的经济损失成本,从而得出真实的国民财富总量。

绿色 GDP 不仅能反映经济增长水平,而且能够体现经济增长与自然保护和谐统一的程度,可以很好地表达和反映可持续发展的思想和要求。绿色 GDP 占 GDP 的比重越高,表明国民经济增长的正面效应越高,负面效应越低。

### 1.5.3 世界能源与环境问题

表 1.1 2008 年世界主要国家一次能源消费量及构成

国 家	能源消费总量 (亿 t 油当量)	占消费量的比重 (%)				
		煤炭	石油	天然气	核电	水电
美 国	22.99	24.6	38.5	26.1	8.4	2.4
加拿大	3.30	10	30.9	27.3	6.4	25.4
北美小计	27.99	21.7	38.5	26.8	7.7	5.3
巴 西	2.28	6.4	46.2	9.9	1.4	36.1
委内瑞拉	0.81	—	40.0	35.8	—	24.2
中南美小计	5.80	4.0	46.6	22.2	0.8	26.4
法 国	2.58	4.6	35.7	15.4	38.6	5.6
德 国	3.11	26.0	38.0	23.7	10.8	1.5
意大利	1.77	9.6	45.8	39.6	—	5.0
英 国	2.12	16.7	37.2	39.9	5.6	0.6
俄罗斯	6.85	14.8	19.1	55.2	5.4	5.5
欧洲和俄罗斯小计	29.65	17.6	32.2	34.7	9.3	6.2
沙特阿拉伯	1.75	—	59.7	40.3	—	—
中东小计	6.14	1.5	50.0	48.0	—	0.5
南 非	1.32	77.7	19.9	—	2.3	0.1
非洲小计	3.56	31.0	38.0	24.0	0.8	6.2