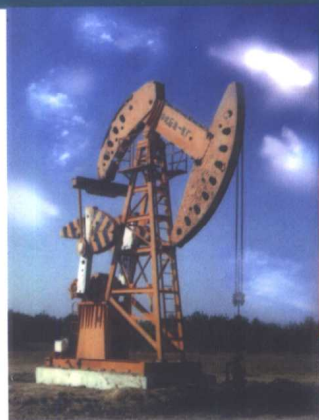


石油工业节能技术

俞伯炎 吴照云 孙德刚 主编



石油工业出版社

石油工业节能技术

俞伯炎 吴照云 孙德刚 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书紧密结合石油工业生产实际,重点针对油田、长输管道、炼油化工的主要耗能设备和生产工艺系统,论述了近年来研制开发和推广应用的节能技术。全书分上、中、下3篇共14章,分别介绍了节能基础知识,常用的单项节能技术和主要生产系统的节能技术。

本书适合于从事石油系统节能管理、设计和科技人员阅读,可作为节能技术培训教材,也可供石油院校有关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

石油工业节能技术/俞伯炎,吴照云,孙德刚主编.
北京:石油工业出版社,2000.5

ISBN 7-5021-2980-4

I.石…

II.①俞…②吴…③孙…

III.石油工业-节能-技术

IV.TE683

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第22780号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 29¼印张 736千字 印1—3000

2000年5月北京第1版 2000年5月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-2980-4/TE·2312

定价:58.00元

前 言

在原油、天然气的开发生生产和加工过程中,自身也要消耗掉大量的能源。据统计,中国石油天然气集团公司 1998 年共消耗各种能源达 4523 万吨标准煤,其中油气田企业耗能 2327 万吨标准煤,相当于自产一次能源的 13.6%。油气生产、炼油化工和长输管道的能耗费用在生产成本中约占 20%~50%。因此,石油工业既是产能大户,也是耗能大户。石油工业要降低成本,提高效益,必须狠抓节能降耗,做节能大户。

石油工业认真贯彻国家“资源节约与开发并举,把节约放在首位,提高资源利用效率”的方针,实施可持续发展战略,在发展油气生产和炼油化工的同时,重视搞好节能工作。不断加强节能科学管理,大力推进节能技术进步,研制、开发和推广应用了一批节能新技术。从单元设备、单项工艺的节能技术改造,到生产装置、系统,甚至区块、全厂的总体能量优化利用。节能技术不断发展,能源利用水平不断提高,为控制油气生产能耗的增长和降低炼化装置的能耗作出了贡献!

为了比较系统地总结石油工业的节能技术,促进这些技术的推广应用,组织编写了这本《石油工业节能技术》。全书分为 3 篇,上篇介绍节能的基础知识,中篇介绍石油工业重点耗能设备的节能技术,下篇介绍油田、管道、炼化企业主要生产系统的节能技术。本书第一章由邱利红编写,第二章由姜会娟编写,第三章、第七章由陈国成编写,第四章由邱利红、许红编写,第五章、第十一章由吴照云编写,第六章由贾光政编写,第八章由张永贵编写,第九章由姜衍智、徐秀芬编写,第十章由李其编写,第十二章由郭俊忠编写,第十三章由常大海编写,第十四章由华贲、杨友麒编写。本书请崔振华、戴超仁、项新耀、常玉连教授和张建杰教授级高级工程师分别审阅了有关章节。全书由俞伯炎、吴照云、孙德刚统稿,经张兴儒教授级高级工程师审阅。在此谨向参与审稿的专家教授致以诚挚的谢意。本书在编写过程中参考了许多文献资料,得到了各方面的大力支持,在本书出版之际,也向各位文献作者和关心支持本书编写的领导和同志们一并表示衷心地感谢!

由于编者水平所限,难免有错误和疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者
1999 年 6 月

目 录

上篇 节能基础知识

第一章 能源与节能的基本概念	(3)
第一节 能的形态和性质	(3)
第二节 能源的分类	(6)
第三节 能源的计量单位及其换算	(15)
第四节 节能	(21)
参考文献	(29)
第二章 热工基础及燃烧基本知识	(31)
第一节 工程热力学基础	(31)
第二节 传热学基本原理	(45)
第三节 燃烧原理与计算	(55)
参考文献	(60)
第三章 电工基础	(61)
第一节 交流电路的基本概念与基本物理量	(61)
第二节 正弦交流电路	(65)
第三节 单一参数的交流电路	(73)
第四节 R 、 L 、 C 串联和并联电路的相量图与计算	(79)
第五节 交流电路的功率和功率因数	(82)
第六节 三相电路的基本计算	(84)
第七节 电子技术基础理论	(90)
参考文献	(95)
第四章 节能技措项目的经济评价	(96)
第一节 概述	(96)
第二节 节能技措项目费用计算	(100)
第三节 节能技措项目效益计算	(103)
第四节 节能技措项目经济评价方法	(105)
第五节 案例计算	(114)
附录	(119)
参考文献	(130)

中篇 单项节能技术

第五章 锅炉、加热炉节能技术	(133)
第一节 锅炉、加热炉基本知识	(133)
第二节 高效节能燃烧器	(138)

第三节 燃料添加剂节能技术·····	(145)
第四节 油田锅炉经济运行·····	(148)
第五节 加热炉运行控制与节能·····	(151)
参考文献·····	(153)
第六章 离心泵的节能技术·····	(154)
第一节 概述·····	(154)
第二节 三元流动理论在离心泵上的应用·····	(170)
第三节 离心泵的调节方式·····	(175)
第四节 离心泵的调速运行·····	(180)
参考文献·····	(189)
第七章 电动机及其控制装置节能技术·····	(190)
第一节 概述·····	(190)
第二节 异步电动机的节能技术·····	(192)
第三节 同步电动机的节能技术·····	(202)
第四节 电动机控制装置节能技术·····	(208)
参考文献·····	(222)
第八章 其他节能技术·····	(223)
第一节 热电联产技术及其在油田的应用·····	(223)
第二节 余热利用技术·····	(230)
第三节 烟分析方法及其在油田节能中的应用·····	(250)
参考文献·····	(254)

下篇 系统节能技术

第九章 油田电网节能技术·····	(259)
第一节 油田电网概述·····	(259)
第二节 供电网无功补偿·····	(261)
第三节 配电网无功补偿·····	(266)
第四节 变压器经济运行·····	(271)
第五节 电力线路的经济运行·····	(278)
第六节 供电网优化运行·····	(281)
第七节 配电网优化运行·····	(287)
第八节 需求方管理 (DSM) ·····	(290)
参考文献·····	(295)
第十章 机械采油井系统节能技术·····	(296)
第一节 概述·····	(296)
第二节 有杆抽油系统效率计算公式与测试·····	(297)
第三节 提高有杆抽油系统效率的措施·····	(311)
第四节 潜油电泵系统能平衡测试及计算公式·····	(317)
第五节 潜油电泵高效运行及优化设计·····	(322)
参考文献·····	(325)

第十一章	油气集输系统节能技术	(327)
第一节	油气集输工艺概述.....	(327)
第二节	不加热集油工艺技术.....	(329)
第三节	化学清、防蜡降粘技术.....	(339)
第四节	磁化技术在原油集输中的应用.....	(342)
第五节	原油脱水节能.....	(351)
第六节	集油系统综合节能.....	(357)
	参考文献.....	(361)
第十二章	油田注水系统节能	(362)
第一节	概述.....	(362)
第二节	油田注水系统节能.....	(366)
第三节	油田注水系统优化运行.....	(375)
	参考文献.....	(378)
第十三章	原油长输管道节能技术	(379)
第一节	概述.....	(379)
第二节	含蜡原油处理输送.....	(391)
第三节	含蜡原油加剂处理技术.....	(393)
第四节	输油管道的优化运行.....	(397)
	参考文献.....	(402)
第十四章	炼油化工节能技术	(403)
第一节	炼油化工过程节能原理.....	(403)
第二节	核心工艺过程的节能技术.....	(411)
第三节	炼油化工过程能量回收节能技术.....	(427)
第四节	能量转换子系统的节能技术.....	(443)
第五节	炼油化工过程系统节能设计和改造.....	(453)
	参考文献.....	(459)

上篇 节能基础知识

第一章 能源与节能的基本概念

第一节 能的形态和性质

一、能的基本概念

能是物体或物质系统做功的能力或做功的本领。能的大小，即物体或物质系统做功本领的大小由能量这一物理量来描述。

功和能具有十分紧密的联系，物体或物质系统的能总是与物体或物质系统的某一运动状态相联系，并且与运动状态存在着对应关系。因此，能是物体运动状态的单值函数，它不能被直接观察或测量，而只能通过它对物质产生的作用来研究。功则是一个过程量，它与物体状态的具体变化过程有关，是在物体与外界相互作用的情形下，物体运动状态改变的量度，所以，物体能量大小的变化可以由功来量度。物体对外做了多少功，其能量就减少了多少；外界对物体做了多少功，物体的能量就增加了多少。一个物体的能量越大，它对外界就有可能做更多的功。

二、能的分类

能的形态与物质的运动形式相对应，有什么样的运动形式就有什么样的能的形态。自然界中，物质的运动形式纷繁复杂，决定了能的形态多种多样。至今，人类所认识的能的形态大致可归纳为下述6类。

1. 机械能

物体或物质系统因作机械运动而具有的能称为机械能。机械能与物体的位置及位置的变化有关，其大小等于物体或物质系统在某一时刻所具有的宏观动能和宏观势能的总和。固体和流体的动能、势能、弹性能、表面张力能等均为机械能，其中最常见的是动能和势能。

物体往往依靠机械能的减少对另一物体做功。机械能的获得可以采用多种不同的方式，例如，在热力发动机中通过燃气或水蒸气的膨胀做功过程使热能转变为机械能；水轮机则利用水头落差把势能转变为机械能。

2. 内能

物体因内部微观粒子的热运动而具有的能称为内能或称“热能”。内能与物质的热运动相联系，其大小等于宏观物体内所有分子热运动的动能，分子间相互作用的势能以及分子内原子、电子等运动的能量总和。做机械运动的宏观物体，一方面因其内部微粒做无规则运动而具有内能；另一方面又因所有这些微粒同时做有规则运动而具有机械能，所以一个宏观物体的总能量实际上是机械能和内能的总和。

任何物体都是由不断运动而且相互作用着的分子构成的，因此任何物体都具有内能，但并非所有物体的内能都相同。一个确定的物体系统的内能与以下3个因素有关：首先，由于内能包括分子热运动的动能，分子平动动能又直接与物体的温度有关，所以内能与物体的温度有关。其次，由于内能包括分子间相互作用的势能，分子间的势能又与分子间的相对位置有关，对一个物体系统而言，其体积的膨胀或收缩将会改变分子间的相对位置，从而改变分

子间的势能，因此，内能还与物体系统的体积有关。再次，由于内能还包括分子内原子、电子等的运动，因此对电介质或磁介质系统，当外界存在电磁场时，介质便会极化，极化的介质的磁矩或电矩，在外场中的势能也属于物体的内能，而这部分内能显然与外场有关。

因为物体系统的内能取决于温度、体积、外场等因素，所以若要改变物体的内能，可以通过向物体传递热量以改变物体系统的温度，做机械功以改变物体系统的体积，以及改变外场等途径来实现。如果将功的含义加以推广，使它不仅包括机械功，而且包括电磁、化学等各种形式的功，则外场变化引起的内能变化从形式上来看，也就是外场对物体系统做了电磁功，于是改变内能的途径就可以概括成两个：传递热量和作功。

3. 电磁能

彼此相联系的交变电场和磁场所具有的能称为电磁能，它与物质的电磁运动相联系。电磁能包括电能、电磁能和磁能等。电磁能与其他形式的能相互转换可通过发电机、电动机等来实现。

4. 辐射能

辐射能包括电磁波、声波、弹性波、核放射线等所传递的能量。例如，太阳能是典型的辐射能，具有温度的物体均能发出热辐射。

5. 化学能

物质系统的分子结构发生改变时释放的物质结构能称为化学能，它是对物质化学运动所做的最一般的描述。化学能的大小仅取决于发生化学反应的物质系统中，各种物质的分子结构及其数量，而与该物质系统的温度无关。当参与化学反应的某些物质的分子相互发生化学作用，原有物质的分子结构遭到破坏而产生新的反应生成物时，将会导致反应前后整个物质系统的化学能发生变化，并转化为其他形式的能。例如，通过燃烧可促使燃料中碳、氢、硫等可燃反应物质的化学能转变成二氧化碳、水蒸气、二氧化硫等燃烧生成物所具有的热能；原电池则将反应物质的化学能转变为电能等。碳和氢的燃烧反应是人们广为利用的放热反应。

6. 核能

原子核在转变过程或反应过程中释放出来的能称为核能，它是区别于化学能的另一种物质结构能。核能起源于将中子和质子保持在原子核中的一种特别强大的短程相互作用力，这种作用力远远大于原子核与外围电子之间的相互作用力，核反应中释放的能量比化学能大几百万倍。核能的获得有两种途径，一是重核的裂变，二是轻核的聚变。

由于人类目前对物质运动状态的认识还很有限，对能的形态的划分并非绝对，随着科学技术的发展，人类将不断发现物质的新种类和运动的新状态，从而不断丰富和扩大对能的认识。

三、能的基本形态

能的具体形态名目繁多，且一个物质系统的能量常可表现为不同的宏观能量形式，但若从微观本质上对一个物质系统的能量作深入分析，一个物质系统的宏观能量总可以归结为在适当层次内运动的微观粒子的动能和势能的总和。

1. 动能和势能的基本概念

1) 动能

动能是物体或物质系统因运动而具有的能，即由于具有运动速度而储藏在物体或物质系统内的能。动能包括平移运动动能和旋转运动动能。平移运动动能与运动物体的质量和速度

有关, 旋转运动动能与物体的转动惯量和转动角速度有关。

物体在外力作用下, 运动速度发生变化时, 将引起动能的相应改变, 此时动能的增大或减小值等于外界对物体或物体对外界所做的功。工程技术上常利用某物体动能的减小来取得机械功, 如气轮机中借高速气流冲击动叶轮时导致气流动能的减少而对叶片做功等。

通常将物体作整体宏观运动而具有的动能称为“宏观动能”, 因物质内部的分子、原子等微观粒子运动而形成的微观动能称为“内动能”。

2) 势能

势能是由物体间或物体内部各部分之间的相互作用和相对位置所确定的能, 也称位能。由于势能既和物体之间的相互作用有关, 又和物体之间的相对位置有关, 所以势能是属于相互作用着的物体所组成的系统。

物体之间存在着各种各样的作用力, 但只有当这种作用力所做的功仅由运动物体的起点和终点的位置决定, 与运动物体所经历的路径无关, 或者说, 物体沿闭合路径绕行一周, 作用力所做的功为零时, 才能引入势能的概念。重力、弹力、万有引力和静电力等作用力所做的功都与路径无关, 都能引入势能这一概念。按作用力的作用性质不同, 势能可分为引力势能、弹性势能、电势能和核势能等。在力学中有 3 种势能: 重力势能、万有引力势能、弹性势能。

通常, 因宏观作用力而具有的势能称为“宏观势能”, 因物质内部的分子、原子等微观粒子之间的相互作用力形成的微观势能称为“内势能”。

2. 动能和势能是能的基本形式

由动能和势能的概念可知, 如果仅考虑到分子这一层次, 即假定分子的内部结构不发生变化, 由于分子的运动可分解为有规运动 (也称定向运动) 和无规运动两部分, 物体的宏观动能便可以归结为组成该物体全部分子有规运动动能的总和, 而全部分子的无规运动动能的总和与物体的热能相对应。物质分子间的相互作用势能也可分解为两部分: 一部分与物质系统的相对位置及宏观形变有关, 即有规势能; 另一部分只与热运动现象有关, 即无规势能。物体的宏观势能实际上就是全部分子有规势能的总和, 物体热能与全部分子无规势能的总和就表现为物体的宏观内能。因此, 物体的宏观机械能可以归结为分子的有规动能和有规势能的总和, 而内能则可归结为分子的无规动能和无规势能的总和。

如果物质之间发生化学反应, 则物质的分子结构要发生变化, 此时原子间将发生电子的交换或电子的重新分布。于是, 原子的能量, 包括原子核和电子的动能, 以及它们之间相互作用的势能就要发生相应的变化。所谓化学能就是上述原子能量变化的宏观表现, 也就是说化学能可以归结为原子核和电子的动能变化以及原子核和电子之间相互作用势能变化的总和。

当物质发生核反应时, 原子核结构将要发生变化。所谓核能, 就是核子, 即原子核内的中子和质子动能的变化及由电磁力和核力所引起的核子之间相互作用势能变化的总和。

四、能的性质

1. 能量转换的普遍性

自然界中存在着许许多多的运动形式, 各种运动形式之间经常发生着相互转换。例如, 摩擦生热或摩擦生电就是机械运动转化为热运动或电磁运动; 太阳亿万度的高温使原子核发生聚变反应就是热运动转化为微观运动; 原子弹爆炸产生巨大的冲击波和热辐射, 就是微观运动转化为机械运动、热运动及电磁运动。由于能的形式与运动形态一一对应, 当物质的运

动形式发生转变时,能量的形式同时发生转变。例如,摩擦生热或摩擦生电就是把机械能转化为热能或电能;太阳亿万度的高温使原子核发生聚变反应就是热能转化为核能;原子弹爆炸产生巨大的冲击波和热辐射,就是核能转化为机械能、热能及电能。事实上,在一定条件下,任何一种类型的运动形式都可以转化为其他类型的运动形式,任何一种形态的能都可以转换为其他形态的能。

2. 能量转换在数量上的守恒性

无数经验和事实表明,在一个与外界没有能量交换的系统,即封闭系统内,不论发生何种变化过程,能量的总和都是恒量。能量既不能消失,也不能创造,只能从一种形式转换为另一种形式,这一结论称为能量转换和守恒定律,或简称能量守恒定律。

能量守恒定律是物理学中具有最大普遍性的定律之一,可以适用于机械的、热的、电磁的、原子和原子核内的,以及化学的、生物的等等任何变化过程。在能源使用过程中,我们常常应用这一定律来考察并研究一个系统的能量收入支出在数量上的平衡关系。

3. 能量转换的限制性

能量的大小是由作功能力的大小来衡量的。所有的功都能转化为能,但并非所有的能都可以转化为功。如果我们将给定环境下,从系统的给定状态达到与环境相平衡状态的可逆变换过程中,理论上使能量中最大限度地转换为功的那部分定义为有效能,不能转换为功的那部分称为无用能,则单位能量所含有效能越高,能够转换为功,进而转换为其他形态的能的部分就大,从作功,或转换角度看,能量的品质就越高。

由于相同数量的能在品质上存在差异,各种形态的能不可能无条件地相互转化。如机械能可以全部转换为热能,而热能却不能无条件地全部转换为机械能;高温热能可以转换为低温热能,低温热能却不能自动转换为高温热能等。

4. 能量的传递性

能量的传递性是指在系统经历状态变化过程中,系统通过边界可以由作功或传热的方式向外界传递能量。例如,热量是由于系统和外界的温差引起的能量传递;机械能常常是由于系统和外界的压差而引起的能量传递。

各种形态的能量既有数量上的差别,又有质量上的不同。为了使能量得到充分、合理的利用,不仅要尽量减少能量在总量上的损失,而且要按质用能,使各种能量各尽其用。

第二节 能源的分类

能源是自然界中能够直接或通过转换提供某种形式能量的物质资源,它包含在一定条件下能够提供某种形式的能的物质或物质的运动,也指可以从其获得热、光或动力等形式的能的资源,如燃料、流水、阳光和风等。为了了解能源的特点和相互关系,便于研究和有效地开发利用,通常将能源按不同的方式分类。常见的能源分类方式有以下7种。

一、按能源的形态、特性或转换和利用的层次进行分类

这种分类方式是世界能源委员会推荐的能源分类方式。

1. 化石燃料

化石燃料又称矿物燃料,包括固体、液体和气体燃料。它们分别是古代植物和低等动物的遗体在缺氧条件下,经高温高压作用,经漫长的地质年代演变而成。固体燃料主要指可以或已经从天然矿物中开采出来的可作为能源使用的各种固体原材料,包括泥炭、褐煤、无烟

煤、天然焦、煤矸石、炭沥青、油页岩等；液体燃料是赋存在地下储集层中，通过地面分离设施后在常温常压下仍保持液态的各种烃类混合物，包括石油、油层凝析液，以及由焦油砂、天然沥青和油页岩生产的液态烃；气体燃料统称天然气，是指地表下岩石储集层中自然赋存的以碳氢化合物为主体的气体混合物。

地下蕴藏的化石燃料主要包括煤、石油、天然气、焦油砂和页岩油。据估计，经过多年开采，剩下的储量已非常有限，而且是以煤为主（表1-1）。化石燃料既可通过燃烧提供热量，又可作为极其宝贵的化工原料加工提炼出诸如化学纤维、塑料、尼龙、橡胶、化肥等化工产品。而以化石燃料为主体的能源系统造成了严重的全球环境问题，因而未来世界能源结构将逐步转向以可再生能源为基础的持续发展的能源体系，化石燃料将更多地作为化工原料发挥作用。

表 1-1 1996 年世界能源产量，1996 年末世界能源储量

能源种类	统计范围	1996 产量	储 量
石油	世界	$31.69 \times 10^8 \text{t}$	$1409 \times 10^8 \text{t}$
	中国	$1.56 \times 10^8 \text{t}$	$33 \times 10^8 \text{t}$
天然气	世界	$22314 \times 10^8 \text{m}^3$	$1.41 \times 10^6 \times 10^8 \text{m}^3$
	中国	$199 \times 10^8 \text{m}^3$	$1.17 \times 10^4 \times 10^8 \text{m}^3$
煤	世界	$46.07 \times 10^8 \text{t}$	$1.03 \times 10^4 \times 10^8 \text{t}$
	中国	$13.97 \times 10^8 \text{t}$	$1.15 \times 10^3 \times 10^8 \text{t}$

注：石油、煤为探明可采储量，天然气为探明储量。

来源：美国《油气杂志》，1996 年终号、BP 世界能源统计评论，1997 年 6 月。

2. 水能

水能也称水力，是天然水流能量的总称，通常专指陆地上江河湖泊中的水流能量。自然界的水因受重力作用而具有位能，因不断流动而具有动能。水流能量的大小取决于流量和落差这两个因素。水能属于再生能源，价廉、清洁，可用于发电或直接驱动机械做功，是可再生能源中利用历史最长，技术最成熟，应用最经济也最广泛的能源。据估计，全世界水力资源理论蕴藏量为 $350000 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h/a}$ ，技术可开发量约为 $150000 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h/a}$ ，经济可开发量约为 $93500 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h/a}$ ，目前，已开发利用的水力资源约为技术可开发量的 14%。中国水能资源十分丰富，理论蕴藏量达 $59200 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h/a}$ ，技术可开发量约为 $19200 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h/a}$ ，经济可开发量约为 $12600 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h/a}$ ，居世界第一位，但目前利用程度不高，已开发利用的储量约占可开发储量的 14%。在电力生产中，水电比重较低，且呈下降趋势（表 1-2）。随着国民经济高速发展，我国能源和电力的供需矛盾越来越突出，从我国能源资源状况来看，应确立优先开发水电的战略思想，扭转水电发展长期落后的局面，使我国丰富的水力资源真正成为发展经济的动力。

3. 核能

核能包括重核的裂变能和轻核的聚变能。重核的裂变能是指铀、钚等重元素的原子核发生链式裂变核反应时释放出的巨大能量。核裂变能能量密度高，一个铀原子核裂变时释放出的能量约是一个碳原子氧化时放出能量的 5×10^7 倍，即 $1 \text{kg } ^{235}\text{U}$ 裂变时释放出的能量相当于 2500t（标准煤）；对大气污染小；燃料运输量小；发电综合成本低，且开发技术成熟，

目前，已大量应用于工业能源生产（表 1-3）。核裂变能主要用于发电和供热，由于核裂变能的上述优越性，核电事业有较大发展，但由于自然界中所含的核原料有限，并且核裂变产生的放射性废物会构成对环境污染的威胁，并可能引起核扩散，因此核裂变能并非理想的长期能源。

表 1-2 中国水电在电力生产中的比重

年 份	1975	1980	1985	1990	1995
水电容量占电力总容量比重, %	30.9	30.8	30.3	26.1	24.0
水电发电量占发电总量比重, %	24.3	19.8	22.0	20.0	18.0

轻核的聚变能是指两个轻原子核聚合成一个较重原子核所释放出来的能量。常用的核聚变燃料是氘和氚。核聚变能具有较核裂变能更高的能量密度，单位质量的氘聚变时放出的能量约为单位质量的²³⁵U 裂变时放出能量的 4 倍，1L 海水中的氘发生聚变反应放出的能量相当于 300L 汽油完全燃烧时放出的能量，地球表面海水储量约为 10¹⁸t，即使考虑能源消耗水平的逐年增加，地球上的氘也足够使用 1000 亿年以上。此外，核聚变能还是一种较核裂变能更清洁、更安全的能源，这主要是因为核聚变反应物基本没有放射性，反应产物适当处理后对环境没有严重的污染问题，反应过程中一旦出现问题，反应会自动地迅速停止。轻核聚变能是一种非常理想的可供人类长期使用的潜在能源，受控热核聚变是当前科学界正积极研究的一项重大课题，它的成功将为人类找到一条有效的长期稳定的能源供应途径。

表 1-3 1997 年 3 月世界核电装机容量

国家/反应堆类型	运行中		总 计	
	台	MW	台	MW
美国	109	100459	112	104062
法国	55	57373	60	63783
日本	51	40970	57	46997
德国	20	22237	20	22237
中国	3	2100	9	6670
世界合计	433	345796	496	397487
轻水堆	250	220422	286	253518
沸水堆	94	78585	100	85605
气冷堆	35	11699	35	11699
重水堆	36	19377	52	27647
石墨慢化轻水堆	15	14785	16	15710
液态金属冷却快中子增殖堆	3	928	7	3308

来源：nuclear news。

4. 电能

电能，又称电力，是以电磁场为载体，以光速传播的一种优质能源。目前主要由一次能源通过电磁感应转换而成，也可通过燃料电池由氢、煤气、天然气、甲醇等燃料的化学能直接转换而成，或利用光生伏打效应由太阳能直接转换而成。目前世界上主要发电形式为火力发电、水力发电和核能发电，重点研究的新的发电方式有磁流体发电、热电子发电、电气体发电、燃料电池等。电能有各种形式，如直流电能、交流工频电能、高频电能等。由于电能来源广泛，可以方便地由各种一次能源转换而来，又可方便地转换为机械能、热能、光能、磁能和化学能等其他能量形式以满足社会生产和生活的种种需要，还可方便、经济、高效地大规模、远距离传输和分配，且在生产、传送、使用过程中易于调控，在使用过程中没有污染，已成为人类社会迄今应用最广泛、使用最方便、最清洁的一种二次能源（表 1-4）。电力的开发及其广泛应用是继蒸汽机发明之后，近代史上第二次技术革命的核心内容。20 世纪 70 年代兴起的新技术革命中，电的应用则是信息传递与控制的基础。

表 1-4 全世界和中国的年发电量增长情况 (单位: $10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$)

年 份	全 世 界	中 国
1950	9589	46
1960	23577	594
1970	50690	1159
1980	82473	3006
1990	117738	6213
1996		10794

注：中国各年数据中均未包括台湾和香港的数据。

数据来源：《能源百科全书》，1997。

5. 太阳能

太阳能是指太阳内部高温核聚变所释放的辐射能。太阳向宇宙空间发射的辐射能中，只有 20 亿分之一到达地球大气高层，其中，30% 被大气层反射，23% 被大气层吸收，地球表面截获的太阳能的功率为 $8 \times 10^{13} \text{kW}$ 。

太阳能是一种清洁的，可持久供应的自然能源，资源量非常巨大，被大气层吸收和地球表面截获的太阳能约有相当于 $12 \times 10^{13} \text{kW}$ 的能量，为目前全世界能源消费总量的 20000 倍。太阳能可转换为热能、机械能、电能、化学能等加以利用，常见的方式有：直接热利用、热发电或通过电池发电等。

太阳能具有以下两大特点：一是聚集性差，地球表面上的太阳辐射功率密度很低，但分布广泛，集中使用要求占用较大面积，特别适宜在广大农村和边远地区分散使用；二是太阳能供应的间断性和不稳定性使太阳能的利用受到季节和气候变化的影响，这就要求太阳能利用装置和系统的设计必须考虑能量的贮存，或与其他能源匹配互补供能，以满足用户的负荷需要。目前，太阳能的利用在许多国家还处于起步阶段，开发与利用技术有待于进一步研究，随着科学技术的不断发展，太阳能将会被列入常规能源。

6. 生物质能

生物质能来源于生物质，生物质指一切有生命的可以生长的有机物质，包括动物、植物

和微生物。动物要以植物为生，而植物则通过光合作用将太阳能转化为化学能而贮存在生物质内。因此，从根本上说，一切生物质能都来源于太阳能。所有生物质均具有一定的能量，而可作为能源利用的生物质主要包括木材及森林工业废弃物、农作物及其废弃物、水生植物、城市和工业有机废弃物、动物粪便等。在人类发展历史中，生物质能为人类提供了基本燃料。目前，生物质能消费量约占世界能源消耗的 14%，多应用于生活和工、农业生产。

生物质能源可以就地开发和利用，是可再生的廉价能源。其优点是使用方便，含硫量低，灰分少，易燃烧，并可进行多种转化，但缺点是容重小、体积大，贮运不便，传统的直接燃烧利用方式热效率极低。为了提高利用效率和方便运送、贮存和多功能使用，可采用热转换法，如干馏、热解，获得燃料油和可燃气体；或在厌氧环境下，经微生物分解产生沼气；淀粉、谷物之类的生物质可在霉菌和酵母菌的作用下发酵产生酒精。

目前地球上绿色植物的光合作用效率还比较低，利用植物生产生物质能的潜力还很大，进行能源种植和开发植物能源都是行之有效的办法。能源种植就是通过光合作用，直接把太阳能的光能转化为像石油那样的烃，如 1978 年，美国科学家卡尔文培育出好几种能提取液体燃料的植物，并因此获得诺贝尔奖，这类被人们称作“石油草”的植物，割开表皮就会源源流出一种可直接用作汽车燃料的白色含烃乳状液。可直接生产“燃料油”的植物也被大量发现，如巴西科学家在亚马逊河热带丛林里发现的一种名为“苦配巴”的石油树，其汁液不需加工即可用来发动柴油机，6 个月后可再次采油。

7. 风能

风能是由于太阳辐射造成地球各部分受热不均匀，引起大气层中的压力不平衡而使空气运动形成风所携带的能量，它是太阳能的一种转化形式。风能是一种可再生的清洁能源，储量大、分布广，但能量密度低，并且不稳定，是一种间歇性的自然能。只有当地面以上 20~30m 高度处的平均风速达到 5m/s 时，风能才值得较大规模地利用。风能主要用于发电、提水、制热和航运。风力发电目前已用于充电、照明、无线电通讯、卫星地面站电源、灯塔电源及海水淡化等，在美国加利福尼亚州，风力发电已获得大规模商业应用。据初步估计，中国的风能资源蕴藏量约相当于 $10 \times 10^8 \text{ kW}$ ，有可能利用的约占 10%，相当于 $1 \times 10^8 \text{ kW}$ 左右。为缓解中国能源短缺的状况，应加强风能的开发利用，尤其应在边远、偏僻地区以及海岛、草原上加快开展风能的利用工作。

8. 海洋能

海洋能是指蕴藏在海洋中的可再生能源，包括潮汐能、波浪能、潮流能（海流能）、海洋温差能和海水盐度差能等。其中前 3 种是机械能，海洋温差能是热能，海水盐度差能是渗透压能。潮汐能和潮流能主要来源于月球的引力，其他都是直接或间接来源于太阳的辐射能。海洋是巨大的能源宝库，海洋能的特点是能量密度低、总蕴藏量大，能在同一地点进行综合利用。由于海洋能的存在形式不同，在技术上转换的方法也不同。虽然早在 10 世纪以前人们就开始利用海洋能，如潮汐能磨坊和潮汐能提水，但除潮汐能发电和小型波浪能发电外，多数海洋能利用技术尚处于研究试验阶段，科学地开发利用海洋能是现代技术所要解决的重要课题。

9. 地热能

地热能是赋存于地球内部的岩石和流体中的热能。它是驱动地球内部一切热过程的动力源。地球基岩的热能通过热传导进入大气和海洋，火山或活动地热田的热能则通过对流进入周围环境。地热能包括天然蒸汽、热水、热卤水等，以及由上述产物带出的与流体相伴生的