



能源技術

徐壽波 彭敏華 著

工程師繼續教育用書



能源技术

现代工程师继续教育用书

徐寿波 彭敏华 著

江苏人民出版社出版 北京建华图书发行公司发行
中国核工业总公司燕宇印刷厂印刷、装订
开本787×1092毫米1/32 印张7.875 字数165,000
1988年9月第1版 1988年9月第1次印刷
印数 1—7000册

ISBN 7-214-00197-7

F·33

定价: 2.80元

责任编辑: 胡 凡

前 言

能源是发展国民经济的重要物质基础，是振兴经济的动力。要在我国实现四个现代化，能源技术的发展有着十分重要的地位。

能源技术是一门综合性的、新的科技领域，内容相当广泛。本书根据工程技术人员继续教育的要求，在编写中着重阐述了以下四个部分：能源经济和管理技术；用能设备和节能技术；能源污染防治技术；新能源利用技术。它定为中央电报大学工程技术人员继续教育选修课《能源技术》课程的正式教材。第一章由徐寿波同志撰写，第二、三、四章由彭敏华同志撰写。在撰写过程中，参考并引用了《现代工程师手册》一书中的“能源技术”的某些资料，在此谨向该手册能源技术这一章的诸多作者致谢。

作 者

一九八八年五月十五日 北京

目 录

第一章 能源经济和管理技术

§ 1—1	能量和能源	(1)
§ 1—2	能源储量和分布	(11)
§ 1—3	能源生产和消费	(22)
§ 1—4	能源和经济	(29)
§ 1—5	广义节能和全面能量管理	(48)
§ 1—6	狭义节能方向和途径	(62)
§ 1—7	能源平衡	(87)
§ 1—8	能源发展战略	(116)

第二章 用能设备与节能技术

§ 2—1	锅炉和节能	(130)
§ 2—2	锅炉的化学清洗	(138)
§ 2—3	改进现有工业锅炉结构, 使用蒸气蓄热器提高运行效率	(140)
§ 2—4	利用低品位燃料的锅炉—沸腾炉	(144)
§ 2—5	集中供热与热水锅炉	(149)
§ 2—6	中低压发电机组的改造	(160)
§ 2—7	余热的来源、用途及计算	(167)
§ 2—8	余热回收的设备	(179)
§ 2—9	主要用电设备及其节能	(190)

第三章 能源污染及其防治

- § 3—1 能源污染状况……………(199)
- § 3—2 防止燃煤污染的技术措施……………(200)
- § 3—3 排放标准与除尘器……………(205)

第四章 新能源和节能技术展望

- § 4—1 新能源……………(211)
- § 4—2 节能技术展望……………(213)
- § 4—3 节能工程项目的可行性研究……………(221)
- § 4—4 节能工程技术的发展决策……………(229)

第一章 能源经济和管理技术

§ 1—1 能量和能源

什么是能量？能量简称能，是度量物质运动的物理量，一般把能量称为物质做功的能力。能量是物质的重要属性之一。由于物质运动形式的不同，所以能量的性质也不相同。能量有机械能、热能、光能、电能、化学能和核能几种。机械能是物体本身有规则有次序的机械运动（非随机运动）所具有的能量。热能是物体内部分子随机的不规则运动所具有的能量。光能是电磁波运动所具有的能量。电能是电子运动或带电物质所具有的能量。化学能是物体内部的分子处于可与其他分子起化学作用状态所具有的能量。核能又叫原子能，是重原子核处于可分裂状态或轻原子核处于可聚合状态所具有的能量。以上这些形式的能量，都可以归纳为“动能”和“位能”两种。动能就是物质运动所具有的能量，如机械能、热能、光能、电能都是动能。位能是物质或系统由于它的位置或状态而具有的能量，如化学能、核能都是位能。位能是一种潜在能量，它最终还是要以热能、光能等动能形式反映出来，并转换成其他动能才能被人们所利用。

能量是自然界中存在的物质。它在自然界中既不能创造也不能消灭，只能互相转换，比如机械能可以转换为电能，化学能可以转换为热能，热能可以转换为机械能，光能可以

转换为热能和电能等等。所以能量的总量在自然界中是不变的，守恒的，这就是能量守恒定律，也就是热力学第一定律。根据这个定律，如对某一系统（或体系）给以热量 Q ，则 Q 应等于该系统输出的能量（或功） W ，加上该系统总的内能升高值 ΔE ，即：

$$Q = W + \Delta E \quad (1-1)$$

所以，热力学第一定律规定了能量转换的数量关系。这个定律在实际中得到广泛的应用。企业搞的热平衡就是应用了这个原理。企业投入总能量 Q ，有一部分 W 是有用的，还有很大部分 ΔE 变为空气的热量而损失掉了。我们希望有用的热量越多越好。能量可以互相转换，但是有一定的方向性和限制性，也就是说，能量转换有难有易，有些容易转换，有些很难转换。比如，热量不可能自发地由低温向高温传热，这是热力学第二定律规定的。按照热力学第二定律，由高温热源传给热机的热量 Q 不可能全部变为功，必有一部分热量 Q' 传给较低温度的热源。所以热机的输出能量 $W = Q - Q'$ ，热机热效率是表示供热量 Q 转换为机械功的程度，即

$$\text{热效率 } \eta = \frac{W}{Q} = \frac{Q - Q'}{Q} = 1 - \frac{Q'}{Q} \quad (1-2)$$

理想热机的理想热效率比上述热效率高，即

$$\text{理想热效率 } \eta = \frac{\Delta T}{T} = 1 - \frac{T'}{T} \quad (1-3)$$

式中， T 和 T' 为绝对温度。由此可见，热源温度 T 越高，冷源温度 T' 越低，热机的理想热效率越高，即传热量 Q 转换为机械功 W 的部分越大。

能量是人类社会生产和生活所必不可少的，特别是现代

社会，无论对能量的数量和质量，都有越来越高的要求。生产和生活直接所需要的能量主要是热能、电能、光能和机械能四种，它们所需要的数量越来越大。这些能量中，电能可以转换为其它各种能量（光、热、机械能等），所以它可称为能量之“王”。列宁曾经有一句名言，共产主义就是苏维埃政权加电气化。可见，电能的作用是很强大的。

什么是能源？能源这个名词是70年代世界能源危机以后，才较多地使用它，而已往的是叫动力，或者叫燃料动力。现在看来，能源的叫法更为科学。自从我国1978年3月科学大会通过的我国第三个科技发展长远规划中，把电力、石油、煤炭和节能四个方面科学技术综合取名为“能源科学技术”，并列为八大重要科学技术领域之一以后，能源这个名词就使用得更加普遍和广泛了。能源的科学定义是能量的源泉，即就是说能提供各种能量的物质资源叫能源。它的简称为能量资源。大英百科全书的定义是这样的：“能源是一个包括着所有燃料、流水、阳光和风的术语，人类用适当的转换手段，给人类自己提供所需的能量”；日本大百科全书说：“在各种生产活动中，我们利用热能、机械能、光能、电能等来作功，可利用来作为这些能量源泉的自然界中的各种载体，称为能源。”我们的定义和它们的定义，内容上基本一样，但比它们更为言简意赅。

能源的种类。能源大约有40多种。它们可以按能源的成因、能源的性质和能源的使用状况分类。（表1—1、1—2）

一、按能源成因分，全部能源可分为两大类：一类是自然界中以现成形式存在的能量资源，如原煤、油页岩、原油、天然气、核燃料、植物燃料、水能、风能、太阳能、地热

能、海洋能、潮汐能等等，叫做一次能源，也就是天然能源；另一类是由一次能源直接或间接加工转换为其他种类和形式的能源，包括人造的能源，如煤气、焦炭、人造石油、人造天然气、汽油、煤油、柴油、重油、电、蒸汽、热水、沼气、余能、火药、酒精、氢、激光等等，叫做二次能源，也就是人工能源。一次能源根据它的原始来源又可以分为三大类。第一类是来自地球以外天体的能量，包括来自太阳和其他天体的能量。除了平常我们所说的太阳能以外，煤炭、石油、天然气、油页岩等矿物燃料属于这一类，因为它们都是由古代生物沉积在地下形成的，而古代生物的能量都来源于太阳辐射能。水能、雷电能、风能、海洋能（包括海水热能、海流和波浪动能）也都属于这一类。我们知道，地球上的水在太阳能的辐射下慢慢地被蒸发，变成水蒸气，水蒸气上升到高空遇到低温凝结，下沉变成雨、雪等降落到地面，成为各条河流的水源，而各条河流由于所处地形高低不同，河水由高处流向低处，最后流入海洋，越在高处的水所具有的势能就越大，低处水的势能就小，水流的势能就是水能。由此可见，水能来源于太阳辐射能。夏季，地球表面上的水由于受太阳的强烈照射加热变成潮湿的气流，急剧上升到高空，形成雷雨云，然后雷雨云相互之间或雷雨云和地面之间发生雷电。雷电能就是大气中发生雷电时所产生的能量。因此，雷电能也是从太阳辐射能转化来的。在地球上，由于太阳对各个地方的不同照射以及其他的气候影响，使各处大气的温度不同，产生了空气微团的运动，形成了风，风能就是大气流动时空气的动能，可见风能的来源是太阳辐射能。海

表1-1

能 源 分 类 表

按使用 状况分	按 性 质 分	按 成 因 分	
		一 次 能 源	二 次 能 源
常 规 能 源	燃 料 能 源	泥 煤 (化学能) 褐 煤 (化学能) 烟 煤 (化学能) 无 烟 煤 (化学能) 石 油 (化学能) 油 页岩 (化学能) 油 砂 (化学能) 原 油 (化学能、机械能) 天 然 气 (化学能、机械能) 生物燃料 (化学能)	煤 气 (化学能) 余 能 (化学能) 焦 炭 (化学能) 人 畜 力 (生物能) 汽 油 (化学能) 煤 油 (化学能) 柴 油 (化学能) 重 油 (化学能) 液 化 石 油 气 (化学能) 丙 烷 (化学能) 甲 醇 (化学能) 酒 精 (化学能) 橡 胶 (化学能) 火 药 (化学能)
	非 燃 料 能 源	水 能 (机械能)	电 (电能) 蒸 气 (热能、机械能) 热 水 (热能) 余 热 (热能、机械能)
新 能 源	燃 料 能 源	核 燃 料 (核能)	沼 气 (化学能) 氢 (化学能) 六 甲 四 固 体 燃 料 (化学能)
	非 燃 料 能 源	太 阳 能 (光 能) 风 能 (机械能) 地 热 能 (热能、机械能) 潮 汐 能 (机械能) 海 水 热 能 (热 能) 海 流、波 浪 动 能 (机械能)	激 光 (光 能)

表1-2 一 次 能 源 分 类 表

按 来 源 分	按 再 生 性 分	
	再 生 能 源	非 再 生 能 源
第 一 类 能 源 (来自地球以外)	太阳 能 风 能 海水热能 海流动能 波浪动能 生物燃料 (雷电能) (宇宙射线能)	无烟煤 烟煤 褐煤 泥煤 石油 天然气 油页岩 油砂
第 二 类 能 源 (来自地球内部)	地热能 (火山能) (地热能)	核燃料
第 三 类 能 源 (来自地球和其他天体的作用)	潮汐能	

注：括号中的能源现在还未被人们利用。

洋里的水受到太阳照射，表面的水温增高，太阳辐射能转化成了海水热能。海水由于受定向风力的吹动，或者各处的海水由于受太阳照射而形成不同的密度，于是造成了流动，海水流动所包含的能量就是海流动能，它同海水受各种风力吹动所产生的波浪动能一样，归根到底都来源于太阳辐射能。

另外，植物的化学能是通过“光合作用”由太阳辐射能转化来的。实际上，人类和各种动物平常所吃的食物也都来

源于太阳辐射能。

从上面可以看到，自然界中绝大多数能源所包含的能量都来自太阳。既来自太阳，但不完全来自太阳，同时又来自其他天体能量的，现在只知道有一种宇宙射线。它由各种粒子组成，每个粒子具有很大的能量，从 10^{18} 电子伏到 10^{20} 电子伏。现在它被用来进行高能物理的科学研究。至于它的其他用途，科学家们正在探索。

一次能源的第二类，是来自地球本身的能量。例如，海洋和地壳中所储藏的核燃料所包含的原子能，地球内部的热能和重力能（如地热能、火山能、地震能）等等都属于这一类。

第三类是地球和其他天体相互作用而产生的能量。例如，地球——月球——太阳系统由于相互吸引力的作用所产生的潮汐能（涨潮落潮的海水能量）属于这一类。

一次能源还可以根据它们是否能够“再生”而分为两大类。第一类是再生能源，是指每年能够重复产生的自然能源，如太阳能、水能、风能、海洋能、生物燃料、潮汐能、地热能*等等。这些能源，一般可以说是人类取之不尽，用之不竭的。第二类是非再生能源，是指那些不能每年重复再生的自然能源，如煤炭、石油、天然气、油页岩和核燃料铀、钍等。这些能源，每年用一点就少一点，总有一天会被人类用尽。

二、按能源性质分，无论是一次能源或二次能源，都可以分为燃料能源和非燃料能源两种。属于燃料能源的有这样四种：矿物燃料，如煤、油、气等；生物燃料，如碳水化合物、蛋白质、脂肪、木材、沼气、有机废物等；化工燃料，

如丙烷、甲醇、酒精、苯胺、火药、可燃性元素（硼、铝、镁）、废塑料制品等；核燃料，如铀、钍、氘等。除核燃料包含原子能以外，其他燃料都包含着化学能，其中有的同时包含着机械能，例如有不少石油和天然气具有很大的天然压力，开采时能够自动从井下流到地面，再经过管道输送出去。

非燃料能源多数包含着机械能，例如风能、水能、潮汐能、海流和波浪动能等，有的包含着热能，如地热能、海水热能、余热等；有的包含着光能，如太阳能、激光等；有的包含着电能，如电。由此可见，不同的能源所提供的能量种类不同。

从能源的储存输送性质看，还有含能体能源和过程性能源之分。含能体能源是指包含着能量的物体，这种含能体可以直接储存输送。燃料能源和地热蒸汽都属于这一类。过程性能源是指在流动过程中所产生的能量，这种能量无法直接储存输送，如风、水流、海流、潮汐等等属于这一类。

三、从能源的使用状况来看，有新能源和常规能源、清洁能源和非清洁能源的说法。常规能源是指人们平常已经广泛使用的能源。新能源是和常规能源相对说的。煤炭、石油、天然气、水能、电等等在人类刚开始利用的时候是新能源，但到后来由于人们已经广泛地利用，所以成为常规能源了。人类开始利用地热温泉、风力、太阳能等等的时间虽然比较早，但是它们一直没有象矿物燃料那样得到广泛充分的

* 地热能的形成需要三个地质条件：一是要有不断供应的地下水；二是要有热岩不断供给热量；三是要有不渗漏的地质储藏条件。因此，有些地热能并不是再生的，用之不竭的。

利用，而是现在才引起人们的广泛重视。其他如海洋能、核燃料、沼气、氢、激光等能源，近几年来才开始受到人们的重视，因此人们都把它们称为新能源。

人们从环境污染的角度，根据能源在使用中所产生的污染情况，把无污染的和污染小的能源称为清洁能源，例如有太阳能、风能、海洋能、水能、气体燃料等等；把污染大的能源叫做非清洁能源，例如有各种固体燃料、裂变核燃料等等。煤炭、油页岩、裂变核燃料等所产生的污染最为严重，显然是非清洁能源。而液体燃料石油的污染比固体燃料少，但也产生二氧化硫、氧化氮这些污染物质。可见清洁能源和非清洁能源的划分并不是绝对的。

世界一次能源系统图。从图 1—1 中可以看到，在进入世界三种来源的能量中，以第一类太阳辐射能为最多，每年有 13×10^{20} 大卡，相当于 186 万亿吨标准燃料的热量。每年进入世界的第二、三类的能量只有第一类的能量的五分之一。这三类能量进入世界后是如何流动的呢？根据能量不灭定律，这些能量不会被消灭，只是转换了形式。例如，太阳辐射能中约有 30% 由于遇到大气中的云层、尘埃等原因，以短波辐射的形式直接反射和散射回宇宙空间，这部分能量现在不能利用；有 47% 左右被大气、陆地和海洋吸收，直接转变为热能后，以长波辐射的形式返回宇宙空间，我们平常所说的太阳能就是指这部分能量，现在还没有被人们很好地利用；有不到 23% 消耗在水分蒸发、雨雪降落以及整个自然界中水循环过程，这是全世界水能和海水热能的来源；约有 0.2% 转换成为风能、波浪和海流动能的能量；只有 0.02% 被植物利用，转化为植物的化学能，这部分能量有的被动物

食用成为动物的化学能，有的腐烂或做为燃料被消耗掉，其中有一部分植物和动物的机体沉积在地下，长年累月就转变成成为矿物燃料。我们知道，所有进入世界的能量（除太阳能的直接反射和散射外），不论是被人们利用还是不利用，最后绝大部分都变为热能以长波辐射的形式返回宇宙空间。

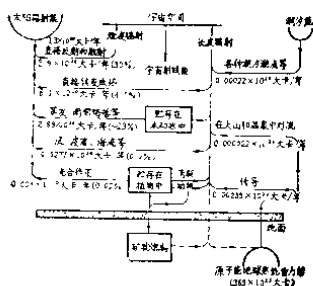


图 1—1 世界一次能源系统图

§ 1—2 能源储量和分布

一、世界能源储量和分布

目前，人类使用的能源最主要的是非再生能源。如石油、天然气、煤炭和裂变核燃料这些非再生能源约占能源总消费量的90%左右，再生能源如水力、植物燃料等只占10%左右。

(一) 石油 石油是用途最广的一种能源。世界石油资源探明的可采储量累计总共为1400多亿吨，已经开采500多亿吨，1986年1月1日尚剩下959亿吨。这些储量分布很不均

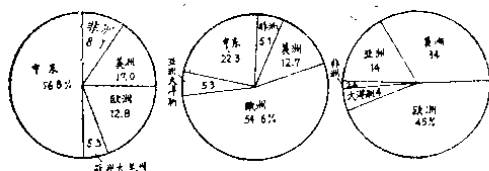


图1—2 世界矿物燃料储量分布

匀，以中东地区为最多，占56.8%；其次是美洲占17%；欧洲占12.8%；非洲占8.1%；亚洲太平洋地区最少，只占5.3%。从国家看，沙特阿拉伯石油资源最多，有231亿吨；其次是科威特、苏联、墨西哥、伊朗、伊拉克、阿布扎比、美国、委内瑞拉、利比亚、中国、尼日利亚、英国、挪威、阿尔及利亚、印尼等16个国家，分别有10~100亿吨的储量。

随着世界经济的发展，石油资源储量远远不能满足需要的增长。1985年全世界石油生产大约26.7亿吨。如果以现在每年的开采量计算，现有石油储量只能供开采36年。其中，美国只能开采9年，苏联只能开采14年。

（二）天然气 天然气的用途虽比石油少，但是比煤炭优越得多。它在世界能源市场上颇受欢迎。特别现在把天然气进行液化，变为液体，叫做液化天然气，国际间用轮船输送就很方便。世界天然气资源探明的可采储量累计起来总共为130万亿立方米以上，已经开采20多万亿立方米，现在尚剩108万亿立方米。以欧洲储量为最多，占54.6%；中东第二位，占22.3%；美洲第三，占12.7%；亚洲大洋洲占5.3%；非洲地区最少，约占5.1%。从国家来看，苏联最多，有42.45万亿立方米；伊朗居第二位，有13.3万亿立方米；美国、卡塔尔、沙特阿拉伯、加拿大、墨西哥、荷兰、委内瑞拉、尼日利亚、印尼等9个国家都在1万亿立方米以上。1985年世界生产天然气约17750亿立方米。如果以现在每年的开采量计算，现有的天然气资源只能开采60年。

（三）煤炭 煤炭是历史上最悠久的常规能源，它除了做炼制焦炭的原燃料以外，对于其他各种用途来说，都不如石油和天然气。它在开采、输送和使用方面既不方便，又不经济、特别是污染严重。因此，自从发现了油、气以后，煤炭就相形见绌，逐渐不被人们所欢迎。煤炭能源的开采速度，也就放慢了。世界煤炭资源虽然开采了一两个世纪，但是现在探明的储量仍有21000多亿吨，经济可采储量有8000多亿吨，比现在石油和天然气资源加起来还多一倍半，如