

31

能量转换与新能源

中国金属学会

冶金继续教育丛书

冶金工业出版社

徐业鹏 编著

冶金继续工程教育丛书

能量转换与新能源

徐业鹏 编著

冶金工业出版社

1990

内 容 简 介

本书是“冶金继续工程教育丛书”之一。由北京科技大学热能工程系徐业鹏教授编著，倪学梓教授审定。该书阐明了化学能、热能、电能、原子能及几种新能源——太阳能、地热能、水能、风能、海水的机械能和热能、氢能、生物能的特点，详尽论述了这些能量之间相互转换的原理及转换装置、各种能源的利用方式以及能量的贮存与输送等等。该书所选用的资料较新，尤其是有关新能源的部分，内容也比较丰富，可作为广大能源科技工作者和管理工作者继续教育用书，也可供高等学校有关专业师生参考。

冶金继续工程教育丛书

能量转换与新能源

徐业鹏 编著

责任编辑：张维真

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

河北省阜城县印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

787×1092 1/32 印张7³/₄ 字数176千字

1990年9月第一版 1990年9月第一次印刷

印数00,001—4,800册

ISBN 7-5024-0688-3

TK·7 定价4.70元

序

中国金属学会组织编写了“冶金继续工程教育丛书”，为大家办了一件好事。积极开展继续教育，对于提高冶金科技人员水平，促进冶金工业的发展具有重要意义。希望冶金战线各级领导重视这项工作，努力创造条件，为科技人员在职学习提供方便；同时也殷切希望广大冶金科技工作者坚持学习，不断吸收新知识，学习新技术，为实现四化、振兴中华做出更大贡献。

中国继续工程教育协会理事

冶金工业部副部长

徐大珪

一九八八年十二月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 能量转换与社会的发展.....	(1)
1.2 能量的形态与转换.....	(3)
1.3 对能量转换系统的要求.....	(5)
1.4 当前的能源形势与本教材的任务.....	(6)
2 化学能的转换、改质和利用	(11)
2.1 化学能的转换.....	(11)
2.2 煤的气化和液化.....	(17)
2.3 乳化油和煤水浆.....	(42)
2.4 冶金工厂副产煤气化学能的回收和利用.....	(49)
3 热能的转换和利用	(53)
3.1 热力学基础知识.....	(54)
3.2 焓分析与焓评价.....	(57)
3.3 热力转换系统.....	(87)
3.4 远红外线加热.....	(99)
3.5 工业企业中的余热回收和利用.....	(104)
4 电能与热能的转换和利用	(144)
4.1 电能转换的基本规律.....	(144)
4.2 电弧与等离子焰.....	(148)
4.3 电阻加热与感应加热.....	(152)
4.4 电子射线加热.....	(170)
5 原子能利用	(174)
5.1 原子能 (原子核能)	(174)
5.2 核电站概况.....	(181)

5.3	核电站反应堆的发展概况.....	(190)
5.4	原子能在冶金工业上的利用.....	(196)
6	新能源和可再生能源的利用.....	(200)
6.1	太阳能.....	(200)
6.2	水能和风能.....	(217)
6.3	地热能.....	(219)
6.4	海水的机械能和热能.....	(224)
6.5	氢能.....	(228)
6.6	生物能.....	(231)
7	能量的贮存和输送.....	(233)
7.1	能量的贮存.....	(233)
7.2	能量的输送.....	(239)

绪 论

1.1 能量转换与社会的发展

人类的历史与能源开发和利用水平密切相关，能源是人类生存和发展的重要物质基础。现在人们已公认，人类使用能源已有50万年的历史，考古学家发现，50万年以前生活在北京周口店的中国猿人就已开始使用火了，他们用火来取暖和煮烤食物。但这时的火来自于闪电或自然燃烧着的树木，那时人类还不能支配火，只是在这以后的劳动中，在逐渐掌握了“钻木取火”的方法后人类才第一次实现了能量转换，即将来自于肌肉运动的机械能转换成为热能。正如恩格斯所说的“摩擦生火第一次使人支配了一种自然力，从而最终把人同动物界分开”（《反杜林论》），如此才真正开始了人类的历史。

最初人们用草木燃料，以后人类又发现埋藏在地下的化石燃料（煤炭、石油、天然气）可以产生高温的热能，这种热能可以用来冶炼金属。从此人类便由石器时代进入了铁器时代。

但长期以来人们只是将“火”作为一种热能来使用，而不能将它转换为其他形式的能。这时的机械能主要来自于人力、畜力和少量水力（水车）、风力（风车）。据考察，我

国4000年以前即有了使用畜力来耕种和拉车的记载，2000年前已可以使用风车水车。但是长期以来能量的转换只局限于机械能之间的转换。

18世纪下半叶（1781年），英国的詹姆斯·瓦特在前人工作的基础上，发明了一种能产生大量动力的发动机——蒸汽机，从而第一次将热能转变成了机械能。这是技术发明史上的一项具有划时代意义的贡献，它有力地推动了18世纪欧洲的资产阶级工业革命，从而使手工业生产迅速过渡到了使用机器的大工业生产，并导致产生了火车、轮船。蒸汽动力的使用也使冶金工业用的鼓风机得到了发展，从而推动了冶金工业的发展。

其后，由蒸汽机又发展到了内燃机，出现了飞机和火车。以后又出现了火箭发动机。

在人类开始探索热能到机械能的转变方式后的100年，即19世纪70年代世界上又发现了一种使生产得以更加速发展的强大能量——电能。

在这以前人们对电磁现象的认识还只是停留在静电学的范围内。1866年人们首次制成了工业上可以使用的发电机，1879年又发明了电灯，实现了燃料的化学能→热能→机械能→电能的能量转换，人类从此进入了电气化时代。

20世纪人类又开始进入了原子能时代。1939年人们发现了原子核的“链式裂变反应”，自此，借助于以铀、钍、钚为原料的裂变反应，和以氘、氚为原料的聚变反应，人类开始了用人工方法释放潜藏于原子核内能量的时代。目前世界上已有400座核裂变原子能发电站，随着将来核聚变技术的进一步突破，原子能将能为人类提供几乎是取之不尽的能量。

综上所述，火的使用、蒸汽机的发明、电能的应用、原子能的利用，这四种有代表性的能量产生与转换技术的运用，

标志着人类技术发展史上的四个重大阶段。

现在正处在一个能源开发的过渡时期，即由化石燃料向核能和其他新能源发展的过渡时期。现在困扰着全人类的正是能源问题。随着能源开发与转换技术的发展，这一过渡时期将会缩短。人们常说“目前正处于重大技术突破的前夕”，能源技术的突破也是其中的一项重要内容。

1.2 能量的形态与转换

上一节介绍了能量转换发展史的四个阶段，但并未述及地球上的全部能源。现在人们所利用的能源以及能源之间的转换方式的分类方法有多种，本节将给出简单的转换图和表，见图1-1和表1-1。

一次能源中的化石燃料，包括天然气、石油和煤炭，除有极少量用作化工原料外，绝大部分都在各种炉子和工业热装置中通过燃烧转化为热能；核能则通过反应堆转化为热

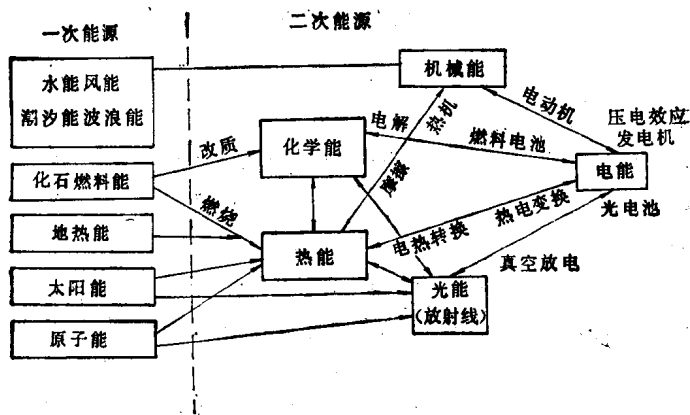


图1-1 能量转换关系图

表1-1 各种能源的能量转换

自然界中的能源	转变成能的形态	转换装置
水能、风能、潮 汐能、波浪能	机械能→机械能 机械能→电能	水车、风车、水力透平 水力发电
太阳能	光能→热能 光能→热能→机械能 光能→热能→机械能→电能 光能→热能→电能 光能→电能	太阳热取暖、热水器 太阳能热机 回转型发电机 热电及热电子发电 太阳能电池、光化学电池
煤、石油等化石 燃料	化学能→热能 化学能→热能→机械能	室内调温设备 各种热机（活塞式蒸汽 机、内燃机、蒸汽透平、 煤气透平、火箭）
氢、醇类等二次 燃料	化学能→热能→机械能→电能 化学能→热能→电能	用回转型发电机的火力发 电
地 热	热能→机械能→电能	蒸汽透平回转型发电机
核 能	核分裂能→热能→机械能→电 能 核分裂能→热能→电能 核分裂能→放射性 同位素辐射能的利用； 放射性同位素放出射线被其他 物质吸收变为热能或电能	现用的原子能电站 MHD火电、热电发电、 热电子发电

能；此外人们还可以由地热能、太阳能直接得到热能。热能可直接利用，也可以转化为其他形式的能，一般85~90%的一次能源都要通过热能这一中间形态再转化为其他形式的能。因此各种工业炉和热装置在能量转换中都具有重要的作用。

水力能可以通过水轮机、风力能可以通过风车直接转化为机械能。使用光电池或燃料电池可以使光能或化学能直接

转换成电能。但是由于经济上的原因，目前绝大多数电能是通过发电机从机械能转化过来的。

1.3 对能量转换系统的要求

能量有多种形态，它们之间可以互相转换。能量转换系统尽管本质不同，有的利用化学过程，有的利用物理过程，但作为能量转换的装置，都必须满足某些共同的要求，下面提出四个方面的要求：

(a) 转换效率要高。一种能量转换系统转换效率的高低，往往决定着这种转换方式的使用价值和生命力。例如汽轮机的效率高于蒸汽机的效率，在许多场合蒸汽机已处于被淘汰的境地。又如用煤作为生活用的燃料，其热效率只有煤气的三分之一到二分之一，城市的煤气化是节能的一个重要方向。

能量转换效率主要有两种评价标准，其一是根据热力学第一定律，用过程的热平衡或能量平衡指标，如各种炉子或各种热机的热效率等，判断过程转换效率的高低；另一种是根据热力学第二定律，由于能量品位高低有别，能量中包括可用能和不可用能两部分，所以可以用能量转换过程中可用能（即焓）的转换效率来评价其效率的高低。（详细内容见第三章）

(b) 转换速度和能量密度要大。对于一般的能量转换装置，人们都希望用尽量小的设备获得更多的能量，如一般的热交换装置，人们希望其传热强度尽可能地大，单位面积上所传递的热量尽可能地多，这样就可以用最小的转换装置满足热交换要求。尤其对于一些移动的设备，如汽车、火车，其上要求动力装置要尽可能地紧凑，各种内燃机比燃料电池

的转换速度和能量密度都要大得多,故目前燃料电池还不适于用在汽车上。对于一些通过化学反应而进行的能量转换过程,人们往往采用提高反应温度或使用触媒的方式来增加转换速度。

(c) 具有良好的负荷调节性能。对能量转换装置,人们往往需要根据用能一方的要求调节其转换能量的大小。如对一座发电站,人们经常需要根据用电负荷的变动来调节其供电量,或将其多余的能量妥善地储存起来。

(d) 满足环境要求,做到经济上合理。满足环境要求即是指不能污染环境。燃烧过程是造成环境污染的主要原因,防止燃烧污染是当前能量转换领域的重要研究课题。但环境方面的要求与经济性经常是有矛盾的。各种自然能源多是无污染的清洁能源,如太阳能、风能等,但这些能源的利用在经济上还不都是合理的,因为它们目前还造价太高。我们应当把低污染与经济性统一起来作为一个努力方向。

1.4 当前的能源形势与本教材的任务

能源问题既与人类社会的发展密切相关,在现实社会中它也是一个具有战略意义的重大问题。一个国家工业发展的快慢,在很大程度上取决于这个问题解决得如何。世界各国对能源的开发和利用都给予了极大的关注。

100年前全世界每年能耗 5×10^8 t 标煤,到1980年全世界一次能源的消耗量大约为 100×10^8 t 标煤,现在每年还以 3% 的速度增长。预计到2000年会增长到 2×10^{10} t 煤。从能源结构来看,本世纪60年代以前,大量应用的一次能源是煤,其次是石油和天然气。60年代以后石油在能源结构中所占的比例急剧增加,目前石油约占50%左右,同时天然气也有明

显增长。原子能发电在70年代还处于萌芽阶段。60年代以后煤的比例迅速下降。近年来烦扰着世界的“能源危机”实质上主要是“石油危机”。目前世界上已探明的可采石油储量为 $8.8 \times 10^{10} \text{t}$ ，按现在每年 $30 \times 10^8 \text{t}$ 的开采水平计算，现有储量只够开采20—30年。为此一些产油国家一方面要以石油为武器来维护自己的经济利益和政治利益，另一方面也想控制开采规模，以延长开发时间。这样就使1973年石油危机以后世界石油价格增长十余倍，由每桶2美元增加到每桶30多美元（近几年有所回落）。在这一形势下，各国一方面积极着手研究新能源，另一方面又努力恢复煤炭生产，实行以煤代油。预计从现在到21世纪初新能源核聚变和氢燃料等大量应用以前这一阶段将是能源过渡时期。预计不久后石油产量将会下降。但煤炭在世界上的储量还是丰富的，据估计世界煤炭总储量为 10^{12}t ，其中已探明的可采储量为 $6 \times 10^{11} \text{t}$ ，以目前每年消耗煤炭 $35 \times 10^8 \text{t}$ 计，已探明储量可供全世界使用200年，因此煤将在这一过渡时期占有十分重要的地位。表1—2列出了几个发达国家的能源消费构成。

我国的资源特点是煤炭、水力资源丰富，石油天然气资源紧缺，我国已探明的煤炭储量为 $6 \times 10^{11} \text{t}$ ，其中可采储量为 $1.6 \times 10^{11} \text{t}$ ，占世界第三位。我国水力资源理论蕴藏量有 $6.8 \times 10^8 \text{kW}$ ，在世界上列第一位，到1980年已装机 $2 \times 10^7 \text{kW}$ ，而开发率很低，只有4%（美国为32%，苏联为11.2%，日本为63%，法国为78%）。

1987年我国一次能源总的年产量为 $9.1 \times 10^8 \text{t}$ 标煤，平均每人每年0.8t标煤，而全世界平均每人每年为2.3t，这表明我们的能耗水平还很低。到2000年每人每年平均国民生产总值达到1000美元时，我国大体上每人每年消耗能量应当为1.5—1.6t标准煤，以12亿人口计算，则需要能源 $1.8—2.0 \times 10^9 \text{t}$

表1-2 几个主要工业国家的能源消费构成

国 别	年 份	一次能源 总消耗量 (10 ⁴ t标准煤)	消 费 构 成 比 例 (%)				
			煤	石 油	天然气	原子能、水能	合 计
美 国	1950	113 985	39.6	33.5	21.8	5.1	100
	1960	144 779	24.6	40.7	33.1	1.6	100
	1970	227 896	20.6	41.0	36.9	1.5	100
	1974	243 348	20.5	44.0	33.3	2.2	100
	1977	272 200	19.0	47.0	27.0	7.0	100
	1985	342 324	30.0	26.0	25.0	19.0	100
苏 联	1960	60 712	63.4	25.7	9.9	1.0	100
	1970	107 686	42.2	32.1	24.3	1.4	100
	1974	132 372	35.7	37.1	26.0	1.2	100
	1977	152 890	31.8	37.6	25.8	4.8	100
日 本	1950	6420	60.4	3.9	0.1	35.6	100
	1960	10 581	57.6	34.9	0.7	6.8	100
	1970	33 237	26.8	68.5	1.5	3.2	100
	1974	42 100	20.3	74.5	2.5	2.7	100
	1985	79 800	14.5	66.7	6.8	12.0	100
西 德	1950	12 690	92.2	3.2	0.1	4.5	100
	1960	20 289	79.3	19.4	0.3	1.0	100
	1970	31 705	41.2	50.5	7.1	1.2	100
	1974	35 349	32.4	50.2	16.1	1.3	100
	1977	39 630	27.3	52.1	14.9	5.7	100
	1985	47 600	21.6	42.6	15.6	20.2	100
英 国	1950	22 350	90.5	9.1	—	0.4	100
	1960	25 900	74.9	24.9	—	0.2	100
	1970	29 914	50.8	42.5	5.4	1.3	100
	1974	30 649	38.1	45.0	15.4	1.5	100
	1978	35 900	35.0	41.0	19.0	5.0	100

标准煤，这样我们尽最大努力也难以实现，估计最多可能到 $1.3—1.4 \times 10^9 \text{t}$ 。因此能源问题，将成为我们实现现代化的

一个关键问题。

由于各国的能源资源不同，因而对解决能源问题所采取的措施也不尽相同，但所有措施不外乎开源与节流两个方面。

在开源方面，目前各国(a)重视煤炭的开发和煤的改质(将煤液化、气化)；(b)积极发展新能源，如建立原子能发电站，研究利用太阳能、地热能，加紧对核聚变和氢燃料的研究等，在这些方面很多国家制订了很多庞大的计划；(c)提高能量转换的效率，如采用磁流体发电，它可将转换效率由一般火力发电的28%提高到50%以上。

节流就是节能。从全世界来说，总能源消耗量中工业生产消耗约占30—50%，运输业消耗占10—15%，民用消耗占20—30%，而其中煤和石油等一次能源利用率平均为三分之一左右(日本工业利用率可达50%，我国为30%左右)，其余的能量则全部损失于转换、输送、分配和使用中，故节能不仅十分必要，而且潜力也很大。总的节能的途径是：(a)改革各种用能设备的工艺流程，如冶金工业采用连续冶炼、连铸、连轧等，以减少加热工序；(b)提高用能设备的热能利用率，如采用炉体绝热，以提高炉子热效率；(c)加强余能的回收和利用，如采用余热回收装置等。

冶金工业在各国都是能源消耗的大户，我国前几年冶金工业每年消耗 8×10^7 t标煤(其中钢铁工业为 7×10^7 t，有色为 10^7 t)，在全国总能耗中所占比例很大，约10%左右。从消耗水平上来看，我国钢铁工业的能耗比世界先进国家高出很多，例如我国的吨钢能耗比日本的吨钢能耗高出近1倍，因此我国能耗也大有节约的潜力。今后若干年内我国冶金工业应主要靠节约来求增产。

我们作为能源科技工作者，工作的岗位可能多在企业的

能源中心和能源管理、能源研究部门，任务是合理选择能源，充分利用能源。要完成以上任务会遇到许多能源转换问题、节能问题，为此必须对各种主要能源有所了解，尤其是要对能源转换原理有一定了解，这不仅对使用能源是必要的，而且对充分利用余热也是必要的，本教材主要介绍与冶金热能有关的几种能源的转换原理和利用方法。

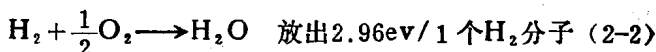
冶金工业的热效率还不高，我国尤其如此。提高热效率除对工艺流程进行改造外，充分利用各种冶金过程的余能也具有重要意义。本书在热能的转换和利用方面，将同时介绍各种余能利用的潜力，所用设备的原理和发展动向。

新能源的利用大部分还处于萌芽时期和试验阶段。目前新能源应用得虽还不多，但却是将来发展的方向，因此这方面的知识是冶金能源工作者所必备的，这方面的问题在冶金工业中也是可能碰到，为此本书要专门对新能源作些介绍。

化学能的转换、改质和利用

2.1 化学能的转换

化学能的转换即是指某些物质通过化学反应放出热能，形成压力能或电能等能量的过程，它也包括一种化学能通过改质变成另一种形态化学能的过程。释放“化学能”，是指一种原子和另外一种或多种原子结合，生成新的分子，从而改变原子核周围电子存在的状态，使其变为更稳定状态而放出的能量，这有别于核反应放热，后者是靠原子核中的中子、质子的分裂或聚合释放能量，二者差别很大。对于化学反应：



若是对于 1 mol 分子，则需分别乘以 6.02×10^{23} ，然后再乘以 $1\text{ev}/\text{J} = 16 \times 10^{-20}$ ，分别得到 $395.1\text{KJ/mol}(\text{C})$ 和 $285.2\text{kJ/mol}(\text{H}_2)$ 。

元素的氧化过程多半是放热过程，因此，利用这些过程可得热能。如 $\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2$ ， $2\text{Fe} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \longrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ 这两个反应均为放热反应，但因这些元素在自然界中总量少，