



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

能量有效利用

● 刘书智 主编

● 农村能源及能量利用专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

能 量 有 效 利 用

刘书智 主编

农村能源及能量利用专业用

中 国 农 业 出 版 社

全国高等农业院校教材

能 量 有 效 利 用

刘书智 主编

责任编辑 刘 存

出版 中国农业出版社

(北京市朝阳区农展馆北路2号)

发行 新华书店北京发行所

印刷 中国农业出版社印刷厂

* * *

开本 787×1092mm16 开本

印张 15.5 字数 351 千字

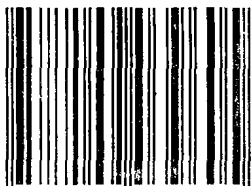
版、印次 1996 年 10 月 第 1 版

1996 年 10 月北京第 1 次印刷

印数 1—2,000 册 定价 12.25 元

书号 ISBN 7-109-03960-9/TM • 27

ISBN 7-109-03960-9



9 787109 039605 >

前 言

本书是根据高等农业院校八五教材规划指令，在全国范围内统编的，作为农村能源开发利用专业的专业课教材。它包括能量有效利用基本原理与节能技术两大部分。其特点是：重视对能量有效利用基本原理的叙述，使学生能学会科学合理用能，寻找和估计节能潜力，正确掌握节能的方向，使能源与能量得到充分合理利用；全书以很大篇幅讲述通用节能设备与通用节能技术，又具体地给出了许多节能措施与方法，使学生以后从事节能工作中，具有广泛的节能技术知识与工作能力，同时，也使本教材具有广泛的适用性；注意反映目前国内外节能方面的最新技术成就；考虑到农村能源专业的面向，对中小企业与农村的节能也给予了足够的重视。

能来源于能源，能包括能量与能质，但习惯上常把能称之为能量，因此，确切地说，能量有效利用应称之为能的有效利用，但本书的名称仍按习惯说法。

本书包含的内容繁多，涉及的知识面很广。由于篇幅限制，不可能把所有领域的节能技术与问题都述及，而只着重能量有效利用的基础理论，通常的节能技术与方法，使学生能举一反三，同时，通过教学中的其他实践性教学环节的配合，培养学生的分析能力与解决问题的能力。

为满足各院校教学上的需要及进一步提高教材质量，本书初稿完成后，曾于1991年8月由沈阳农业大学油印出版，在沈阳农业大学、河南农业大学、吉林农业大学、山东农业大学的农村能源专业试用。通过三届学生试用，以及各校提出了一些修改意见，对提高本教材质量很有帮助。

本书初稿刘书智同志撰写了绪论、第一、二、三、四章；刘国喜同志撰写了第五、八、十章；张全国同志撰写了第六、七、九章，最后由刘书智同志统稿付印。试用后，又由刘书智同志重新修改，经东北农学院陈荣耀教授主审，最后定稿。由于编者的水平所限，书中难免有错误及不妥之处，敬请读者不吝批评赐教。

编 者

1994年1月

目 录

绪论.....	(1)
一、我国的能源供需与使用状况.....	(1)
二、节能的战略地位与对策.....	(3)
第一章 能量有效利用概述.....	(5)
第一节 能量与能质.....	(5)
一、能量.....	(5)
二、能质.....	(5)
三、能的利用过程.....	(6)
四、能的性质.....	(7)
第二节 能量有效利用的评价指标.....	(8)
一、能源与能量利用的评价指标.....	(9)
二、节能及其评价指标.....	(14)
第三节 节能潜力分析.....	(17)
一、节能的可能性与限度.....	(17)
二、节能的途径分析.....	(17)
三、我国的节能潜力估计与分析.....	(19)
第四节 科学合理用能.....	(20)
一、科学合理用能的原则.....	(20)
二、节能的方向.....	(23)
第二章 能量有效利用的热力学分析.....	(24)
第一节 能量平衡分析法.....	(25)
一、能量平衡模型与类型.....	(25)
二、能量平衡计算.....	(27)
三、能量平衡的内容及其工作的大致步骤.....	(30)
第二节 烟与烟分析.....	(31)
一、烟的概念.....	(31)
二、各种形态能量与燃料的烟.....	(32)
三、烟分析.....	(39)
第三章 通用节能设备.....	(50)
第一节 换热器.....	(50)
一、换热器的结构类型及其传热系数数据.....	(50)
二、评价换热器内过程的性能指标.....	(51)
三、影响换热器内过程性能的因素.....	(53)
四、换热器系统分析简介.....	(54)
第二节 热管及其应用.....	(56)

一、热管的基本构造与工作原理	(57)
二、热管的工作特性	(58)
三、热管的类型	(63)
四、热管的选择设计	(67)
五、热管的应用	(68)
第三节 吸收式制冷装置	(72)
一、概述	(72)
二、吸收式制冷机的工作原理	(72)
三、溴化锂吸收式制冷	(75)
四、利用低温余热的吸收式制冷机	(77)
第四节 热泵及其应用	(78)
一、概述	(78)
二、蒸汽压缩式热泵	(79)
三、吸收式热泵	(88)
四、热泵的应用	(90)
第四章 通用节能技术	(94)
第一节 远红外辐射加热技术	(94)
一、远红外辐射加热的特点	(94)
二、远红外辐射器件	(95)
三、远红外辐射加热炉	(100)
第二节 隔热保温技术	(106)
一、概述	(106)
二、绝热材料及其应用	(106)
三、热屏蔽	(114)
第三节 蓄能技术	(115)
一、概述	(115)
二、单相热贮存	(116)
三、相变热贮存	(117)
四、锅炉供汽系统中的蓄热器	(118)
第四节 燃烧节能技术	(119)
一、燃料与燃烧的基本知识	(119)
二、燃烧节能技术	(122)
第五章 余热利用	(126)
第一节 概述	(126)
一、余热的概念	(126)
二、余热的种类	(126)
三、余热利用的重要性	(127)
第二节 余热计算	(127)
一、烟气余热	(128)
二、高温炉渣和产品余热	(129)
三、冷却介质余热	(129)
四、可燃气体余热	(130)

五、化学反应余热·····	(130)
第三节 余热利用的原则·····	(130)
一、余热的可用性·····	(130)
二、余热的有效利用·····	(131)
三、余热回收率的控制·····	(131)
四、余热利用的经济性·····	(132)
第四节 余热利用途径与利用实例·····	(132)
一、余热利用方式及途径·····	(132)
二、余热回收利用实例·····	(134)
第六章 锅炉与炉窑的节能·····	(144)
第一节 锅炉的节能·····	(144)
一、锅炉的基本知识·····	(144)
二、锅炉的正确使用·····	(148)
三、锅炉的节能改造·····	(152)
第二节 炉窑的节能·····	(157)
一、炉窑的基本知识·····	(157)
二、炉窑的节能途径·····	(159)
三、农村砖瓦、石灰窑的节能·····	(161)
四、工业企业常用炉窑的节能·····	(167)
第七章 民用炉灶和炕的节能·····	(171)
第一节 型煤·····	(171)
一、型煤的定义及其类型·····	(171)
二、型煤的成型原理与工艺·····	(172)
第二节 型煤炉灶·····	(173)
一、蜂窝煤炉的合理结构·····	(173)
二、上点火蜂窝煤炉·····	(174)
第三节 省柴灶和炕·····	(175)
一、生物质燃料及其燃烧的特点·····	(175)
二、炉灶的热利用分析·····	(176)
三、省柴灶的结构与设计·····	(177)
四、火炕的结构与设计·····	(180)
第四节 民用炉灶和炕的热性能测试·····	(182)
一、民用煤炉的热性能测试·····	(183)
二、民用柴炉灶热性能测试·····	(184)
三、火炕的热性能测试·····	(184)
四、柴灶热性能测试的国际通用标准简介·····	(185)
第八章 企业节能·····	(187)
第一节 加强企业的能源管理·····	(187)
一、企业能源管理的主要内容·····	(187)
二、企业能源管理的职责范围·····	(188)
三、建立能源管理体系,加强企业能源管理·····	(188)

第二节 企业的能量平衡.....	(190)
一、企业能量平衡的目的和方法.....	(190)
二、设备能量平衡.....	(192)
三、企业能量平衡.....	(193)
第三节 企业节能.....	(197)
一、企业合理用电与节能.....	(197)
二、蒸汽的合理利用.....	(203)
三、节能诊治.....	(209)
第九章 建筑节能.....	(211)
第一节 概述.....	(211)
一、建筑能耗的概念.....	(211)
二、我国建筑能耗的概况.....	(211)
第二节 建筑物建筑节能.....	(212)
一、节能型住宅的规划与设计.....	(212)
二、建筑物的隔热保温.....	(213)
第三节 日常使用节能.....	(214)
一、采暖能耗.....	(214)
二、采暖系统节能.....	(215)
三、夏季空调系统的节能.....	(217)
第十章 农村节能.....	(218)
第一节 农机与耕作节能.....	(218)
一、农用动力的节油途径.....	(218)
二、油料管理上的节能.....	(220)
三、采用新式节能农机具, 搞好农机具合理配套.....	(221)
四、耕作节能.....	(221)
第二节 农副产品加工中的节能.....	(222)
一、干燥与烟叶烘烤的节能.....	(223)
二、物料热处理及制酒节能.....	(226)
第三节 水资源合理利用与节水.....	(228)
一、农业生产节水.....	(229)
二、城镇节水.....	(231)
附录.....	(234)
附录一 各种能量之间的当量值.....	(234)
附录二 各种能源之间的等价值.....	(234)
附录三 常用生物质燃料在不同含水量时的低热值.....	(235)
参考文献.....	(236)

绪 论

能源是维持和发展社会经济、人类生活及其物质文明的最基本要素。在人类面临有限能源资源时代的今天,绝不能再浪费这有限的资源了。对其有效利用是历史与未来赋予我们责无旁贷的任务。因此,能源或能的有效利用是关系到人类持续生存与发展的重大课题。要充分合理地利用能源,发挥它们的作用,即提高能源与能量的利用效率,减少能的损失,杜绝浪费,节约能源。

一、我国的能源供需与使用状况

我国能源供需与使用状况具有如下特点。

(一) 能源资源比较丰富,能源供应立足于国内 我国是一个能源资源比较丰富的国家。煤的地质储量仅次于俄国与美国,居世界第三位。目前已探明总储量达5万亿t左右,占全球总储量的1/10以上。1990年已探明的煤炭保有储量为9544亿t。已生产矿和在建矿占用的储量仅是保有储量的15.5%,储量开发程度不高,资源开发潜力很大。

我国水力资源居世界首位,理论蕴藏量达6.76亿kW,约占世界总量的1/3。其中可开发利用的有3.75亿kW,占世界水力资源的18.5%。若全部开发每年可获电能1.92万亿kW·h,相当每年可提供2.36亿t标准煤的能源。目前已开发利用的水力资源约为可发电量的5%左右,水能储备很大。海洋能理论蕴藏量6.3亿kW。

我国石油资源也较丰富。其地质储量达300—700亿t。目前已探明储量已超过100亿t。天然气可采储量为8898亿m³。还有大量的可供勘探的石油沉积盆地、沉积岩面,沿海大陆架有待勘探与开发。

我国的能源供应,主要是煤、石油和天然气。1992年全国原煤产量超过11.1亿t,石油产量1.42亿t,天然气157亿m³,发电装机容量为16500万kW,发电量7420亿kW·h。发电装机容量及发电量到1987年已跃居世界第四位。根据我国能源资源条件、生产能力和消费状况,我国能源可完全自给。

(二) 能源消费结构以煤为主,农村生活用能以生物质能为主 我国一次能源消费,煤一直在70%以上。1990年一次能源总消费量为98703万t标煤,其中煤占76.19%,石油占16.63%,天然气占2.05%,水电占5.13%。而世界一些主要的发达国家的能源消费构成都以油气为主。以1988年统计而言,美国油气占消费总构成的68.6%,煤仅占27.4%;原苏联油气占67.7%,煤占29.7%;英国油气占64.1%,煤占32.3%;意大利油气占86.0%,煤占9.58%;日本油气占69.4%,煤占23.6%。我国及上述各国能源消费结构的这个特点,到本世纪末都不会有什么大的变化。

与油气相比,煤的热值低,灰分大,利用效率低,对环境污染大,消耗在运输上的能源及运力大,这些对国民经济的发展及环境保护都是不利的。我国煤的产量多,占世界第

一位。油、气在资源与产量上都较少，必然要以煤为主。但要重视煤炭的合理加工、合理分配和供应，以及煤的利用方法。减少直接使用原煤与原煤运输，大力提高煤的利用效率。

我国农村人口众多，国家无力全部解决农村生活用能的商品能源供应，1990年国家向农村供应总的商品能源6904.4万t标煤，仅占全国能量总消费量的7%弱；其中主要供生活用的煤为7805.7万t，占全国煤消费量的7.4%。因此，千百年来，我国农村生活用能一直是就地取材，主要是燃用秸秆、薪柴、树叶、草根、畜粪等生物质能。由于大量燃用生物质，也造成森林、植被破坏，水土流失严重，土壤肥力下降，生态平衡破坏等严重后果。但这种消费结构特点一时还改变不了。因此，应大力发展生物质的气化，发展薪炭林，推广新式节柴灶、炕，以提高生物质的利用效率，节约生物质资源，保持生态环境，改善农村生态平衡。

（三）能源消费结构中，部门构成以工业为主 1990年全国能源总消耗量为98703万t标煤，其中工业消耗占68.47%，农林牧渔与水利共占4.92%，建筑占1.23%，交通运输与邮电通讯占4.6%，生活消费占16.01%，其他消耗占4.77%。而工业中，重工业消耗占79.7%，占总消耗量的54.57%，占一半多。而一些发达国家的能源消费部门构成却不同，如1980年美国的能源消费部门构成为：工业占27.5%，运输占31.6%，民用占29.9%，其他占11%；日本，工业占50.4%，运输占19.5%，民用占21.0%，其他占9.1%。相比之下，我国在运输与民用耗能方面相差甚远，这反映我国人民生活水平还很低。

（四）能源利用效率低，单位产品能耗高，能源浪费大 能源利用率是反映一个国家能源有效利用的一项综合性指标。现在我国的能源利用率约30%，世界发达国家为40%—55%，与之相比，低10—15个百分点；每亿美元国民生产总值能耗，我国比一些发达国家有较大差距，甚至比一些发展中国家也高，如比印度高一倍。1992年我国万元国民生产总值能耗为5.0t标煤（按1990年不变价格计算）。近年来，美国、原苏联、英国等发达国家，折合的万元国民生产总值能耗仅2.3—2.5t标煤，日本、德国还要低些。我国主要耗能产品综合能耗与发达国家80年代相比，加权平均高40%。我国与日本、美国相比的部门能源利用率及四项耗能产品的单耗与国外先进水平相比如表一、二所示。从表列数据看到，我国总的及部门能源利用率都低，单位产品综合能耗高，能源浪费严重，因而存在很大的节能潜力。

表一 部门能源利用率比较

项 目 国 别	发 送 电 (%)	工 业 (%)	交 通 (%)	民 用 (%)	总 效 率 (%)
中 国	23.9	35	15.2	25.5	30
日 本	30	76	22.4	75.5	57
美 国	30.6	75.1	25.1	75.1	51

（五）人均能耗低 按人口算的人年平均能耗是衡量一个国家经济发展和人民生活水平的一项综合指标。我国能源消费量虽然很大，每年总耗能约10亿t标煤，仅次于美国与前

表二 单位产品综合能耗比较 (1990年数据)

产 品 \ 国 别	中 国	外 国	备 注
电力 (火电厂)	427gcal/kW·h	325 (苏)	中国6000kW以上火电厂指标为392
钢	1611kgcal/t	629 (日)	中国为全行业指标, 重点企业为1201
合成氨	1343kgcal/t	1000 (美)	中国为大型企业指标, 小型企业为2355
水 泥	201.03kgcal/t	113.2 (日)	中国为全行业指标

苏联。但人口众多, 1990年人年平均一次能源消费量为869.5kg标煤, 而世界人、年平均一次能源消费量为1958kg标煤, 仅是世界平均水平的1/3。与发达国家的差距就更大。因此, 逐步提高我国人民的能源消费水平, 是不断推进我国四个现代化建设的重要条件与标志。

二、节能的战略地位与对策

能源是人类生存与社会进步的基本物质资源。能源与我们的经济建设和人民的物质、精神生活息息相关。我国能源资源虽比较丰富, 但由于人口众多, 人均资源占有量仅及世界平均水平的一半, 在世界居第80位。我们应树立起“能源相对不足, 必须节约使用的观念”。在我国经济发展过程中, 能源与各种资源相对不足的矛盾始终存在, 特别是能源短缺的形势还相当严峻, 即使国民经济生产总值今后平均每年按6%递增, 经测算“八五”期间能源缺口为1.1亿t标煤, 到2000年缺口为4亿t标煤。何况今后的国民生产总值的增长率还要提高到8%—9%以上, 能源的缺口将更大, 将成为限制国民经济增长的瓶颈。这个矛盾的协调和解决, 一个重要方面就是靠节能。十多年的节能实践表明, 节能的效果是很显著的。如1991年全国国民生产总值比上年增长7%, 而平均每万元国民生产总值能耗由去年的5.27t标煤下降为5.11t标煤, 节约和少用能源3200万t标煤, 节能率为3%。同时, 从1980年到1990年10年中, 国家、部门、地方和企业共投入节能技术改造资金200多亿元, 建成5600万t标煤的节能能力, 平均节约1t标煤只投资370多元, 比能源开发综合费用要省1/3, 并达到年均节能率达3.5%的效果。而且还具有很大的节能潜力, 因此, 节能是一条投入少、见效快、效益高、走内涵为主发展经济的道路。正如李鹏总理在1991年全国节能宣传周活动中题词所指出的:“节约能源是我国经济发展的一项长远战略方针。”

我国国民经济和社会发展十年规划以及“八五”计划纲要规定:“能源要坚持开发与节约并重的方针, 把节约放在突出的位置。”要求到1995年每万元国民经济生产总值能耗降到8.5t标煤以下(按1980年不变价格计算), 到本世纪末的节能目标为4亿t标煤, 国民生产总值单耗降到7.5t标煤以下, 年均节能率为4%。这是保证我国国民经济持续高速增长的需要, 是保证到本世纪末国民生产总值翻两番的需要, 是我国实现四个现代化的需要。因此, 节能具有重大的现实意义与战略意义。同时, 由于能源资源有限, 节约能源, 保护能源资源也绝不是一时的权宜之计。为了子孙后代及人类的繁荣发展, 节能始终是一项重要的战略任务。

如前所述, 我国的节能潜力巨大, 据估计, 总的节能潜力约4亿t标煤。为了把节能潜

力变为现实，国家制定了节能方针与相应的政策，如国务院于1986年初颁布了《节约能源管理暂行条例》，共60条，于当年4月1日起实行；1987年3月又公布了国家经委和计委制订的《关于进一步加强节约用电的若干规定》，以及保证提高能源利用率，降低产品单耗的许多国家标准。国家还正在制订“节约能源法”，以加强节能的法制管理。在组织上，从中央到地方，以至各行业、企业都设立了节能的机构，加强能源管理与推广节能技术。在节能措施上，抓大力推进技术进步，推广应用节能新技术，各行各业都把节能、降耗作为技术改造的重点来抓；调整产业、行业、企业以及产品的结构；研究制订合适的经济政策，开辟节能与技术改造的资金渠道；继续加强节能的法制建设和强化节能管理；继续加强节能宣传教育，国务院规定，每年的11月第二周为“节能宣传周”，以增强全民的“节能意识”、“资源意识”，使节能成为全民的自觉行动。上下齐抓共管，全民一条心，我们的节能目标是一定能实现的。

第一章 能量有效利用概述

第一节 能量与能质

能源是产生或提供能的物质资源，是人类赖以生存的物质基础，故能是来源于能源。

能是物质运动的体现，是作功的能力。能有能量与能质之分。能量是能的数量，是物质所处状态的函数。能质是能的品质，用该能量可转变为有用功的多少来衡量，即能可转变为功的能力。热力学第一定律是关于能量守恒与转换的数量关系的定律；热力学第二定律是关于能在质方面的定律。

由于历史的原因，通常都把能叫做能量，所以各种书包括本教材在内，常把能与能量二词混用。由于自然界物质运动的多样性，决定了能形态的多样性。能有机械能（包括物质宏观运动的动能与势能）、热能（物质微观分子运动的动能与分子力所引起的势能）、化学能（物质化学运动的能量）、电磁能、原子能、量子能、物质能等。但从形成能的原因来看，能的基本形态可概括为三类：动能（物质运动所具有的能），如机械运动的动能，分子运动的动能，电子运动的动能；势能（由某种力所引起的能），如重力势能，分子力势能，电磁力势能等；动能加势能，如热能，机械能等。

能是物质运动的量度，而寓于物质之中。物质具有的能量有外部能与内部能之分。外部能是物质宏观运动状态所具有的能，是相对于以外界物体为参考系而言的。外部能主要指机械能。内部能是物质内部微观粒子运动与相互作用所具有的能，热能、化学能、电磁能、原子能等都属于内部能。

一、能 量

能量是从数量来表示能的多少，并可用数学式来定量表示与其他物理量的关系。如机

械运动的动能 $E_K = \frac{1}{2}mv^2$ ，重力势能 $E_P = mgh$ ，热能 $E_T = \frac{3}{2}KT$ ，式中 K 为波尔兹曼常数， $K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ kJ/K}$ 。电能以电功表示， $W_e = -\int e dz$ ，式中 e 为电动势，以伏特计； Z 为电荷，以库仑计。光子运动的量子能（一个光量子的能量） $\epsilon_0 = h\nu$ ，式中 h 为普朗克常数， $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ， ν 为频率。物质能即质量可转变的能量 $E_m = mc^2$ ，式中 c 为光速， $c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

按能量守恒与转换定律，各种不同形式的能量可以相互转换，但总量不变，这是能的数量规律。

二、能 质

由能转变为功的能力来表示能的品质，按能可转变为功的能力大小，把能质分为三类：

高质能，能量可全部转变为功，即具有无限转换能力的能，如机械能，电能；低质能，只有部分能量转变为功，即具有有限转换能力的能，如热能，化学能；无质能，不可转变为功的能，即无转换能力的能，如环境状态的热能、压力能等。

环境状态的能已与环境处于平衡态，无作功能力，因而可以其距平衡态（环境状态）的远近来判断能质的高低。高质能是远离平衡态的能，与平衡态有大的势差。势差愈大，能质愈高，如高温、高压、高真空状态的能均属高质能；低质能是离平衡态近的能，势差小，如低温、低压、低真空状态的能，皆属低质能；平衡状态的能，势差为零，是无质能，或不可用能。能质的高低在量上可用能级来度量。能级是能量中可转变为功的能量所占的比例。即能的作功能力 E_x 与能量 E 之比，以 λ 表示，

$$\lambda = \frac{E_x}{E} \quad (1-1)$$

它是在量上描述能质的物理量。如机械能、电能的 $\lambda = 1$ ；热能的能级等于以环境温度 T_0 为冷源的可逆卡诺循环的热效率 η_k ，即

$$\lambda = \frac{W_{\max}}{Q} = 1 - \frac{T_0}{T} = \eta_k \quad (1-2)$$

式中， Q 为用来作功的热量； $W_{\max}$ 为热量 Q 所作出的最大有用功。与环境处于平衡态的能量，已无转变为功的能力， $\lambda = 0$ 。

三、能的利用过程

在生产和生活中，时时刻刻都需要用能，并消耗着产生能量的大量能源，但能量是守恒的，不可能被消耗，那么用能是用什么？消耗了能的什么？下面从用能过程的分析来回答这些问题。

（一）用能过程的环节 用能过程包括四个环节：一是能源转换。为了使能源符合使用要求，要将能源进行转换，如把一次能源转换为二次能源，或再转换为所用的能量形式。如通过锅炉使煤燃烧产生蒸汽；或再使蒸汽通过发电装置变为电能。二是能量传输。将转换后符合要求的二次能源或能量通过管路或线路等设备传输到用能的地方。三是能量使用。在用能设备中进行使用，以实现某种目的，如获得某种产品，或转换成某种可利用的能量，象利用蒸汽蒸馏生产酒精；用电灯照明等，这是能量利用过程的中心环节。四是能量回收。将已使用过的能量，或尚未使用的能量，但仍有使用价值的能量加以回收再用，如回收从加热炉排出的高温烟气的热量，以实现节能的目的。

（二）用能过程分析 能的利用是把能量传到用能设备或对象上，通过能的作用产生用能所要求的效果。在用能过程中，能作为动力来克服能量传递的阻力，并以一定的能量强度（表示为单位时间内作用在用能对象上的能量，称为能量传递速率）作用在用能对象上，以促使能的转变（变为产品或其他形式的能），或转移（从一处传到另一处，如传热）的实现。能量传递速率等于动力被阻力除。如用电能，其能量传递速率是电流强度 I ，动力是电压 U ，要克服的阻力是电阻 R ，因此，用电过程中，这三个参数之间的关系就是大家熟知的欧姆定律，其表达式为：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-3)$$

又如用热能过程，三个参数的表现形式分别为：速率为热流量 Q ，动力为温差 Δt ，阻力为热阻 R ，其表达式为：

$$Q = \frac{\Delta t}{R} \quad (1-4)$$

又如用水能的表达式为：

$$Q = \frac{\Delta P}{R} \quad (1-5)$$

式中， Q 为水流量； Δp 为压力差； R 为水的流动阻力，如沿程阻力、局部阻力及惯性阻力等。

上述各种用能过程的动力都可统称为势差。势差（一定质的能）就是用能过程的推动力。而势差是由能源提供或产生的。如电能的产生是消耗煤或水能而产生具有一定电压的电能。用能过程中，动力克服阻力，并使能量以一定速率作用在用能对象上，产生了产品、能量的转变或转移。同时，能的势差（能质）下降或消失了。因此，能的使用价值在于它促成变换，表现为通过消耗能质而获得产品或另一种形式的能，或能的转移。而能的量并未减少或被消耗掉，只是经过传递或转换，由一处到另一处，或转变为产品，或另一种能量，这就是用能的实质。能质的消耗表现为势差的下降，由高质能变成低质能或无质能。能的回收也是回收能的质，而获得势差，以免有质能散失到环境中，无谓地变成无质能。

四、能的性质

综上所述，能的重要性质可归纳如下。

（一）状态性 能量是物质运动状态的量度，运动离不开物质，故能量寓于物质之中，是说明物质所处状态的物理量。同时，能量也取决于物质所处的状态。即能量是物质所处状态的函数。这就是能的状态性。如气态工质的能量是其温度 T 、压力 P 或比容 U 的函数，即

$$E = f(P, T) \text{ 或 } E = f(P, v) \quad (1-6)$$

在用能过程中，应注意能的状态，并根据能的压力、温度来安排用途。

（二）可加性 能的量与物质的量密切相联。物质的量不同，虽处于相同状态，能的量也不同。 m kg 物质的能量 E 是1 kg 物质能量 e 的 m 倍，即 $E = me$ 。同时，不同物质所具有的能量在量上是可相加的，即一个体系所获得的总能量 E 是输入这个体系各种物质的能量之和即

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n = \sum_{i=1}^n E_i \quad (1-7)$$

（三）传递性 能量可以从一个地方传到另一个地方，但能量的传递是有条件的，且有方向性。能量传递必须有势差或能量密度差，且总是由高势差流向低势差，反方向传递则要消耗其他能质作补偿，而不能自动地进行。势差在能量传递过程中，因克服传递中的

阻力而逐渐下降,当势差消失或等于零时,传递过程就终止。

(四) 转换性与守恒性 物质运动的转换性决定了能量的转换性。能量可由一种形态转变成另一种形态,且可相互转换,如燃烧可使燃料产生的化学能变为热能,热能在热机中可转变为机械能,机械能在发电机中转变为电能,电能通过电灯、电炉、电动机等用电设备又可转变为光能、热能和机械能。但各种能在相互转换中,其转换效率与转换的难易程度是不同的,如机械能可自运、全部地转变为热能,而热能则不能自动、全部地转变为机械能。

各种能量在相互转换与能量的转移中,其总量保持不变,这就是能量的守恒性。它表明能量既不会无中生有,也不会自行消失。

能量的转换性与守恒性是能在量方面的重要性质,并构成了能量转换与守恒定律,是自然界最重要的定律之一,它应用于热能与其他能的转换现象中的规律就是热力学第一定律。它是企业、设备或体系进行能量平衡或热平衡的基础。

(五) 作功性与贬值性 是能在质方面的重要性质,构成了热力学第二定律的内容。利用能来作功是用能的基本方式和主要目标。具有势差或能质的能,即具有作功能力的能才能作功。作功的多少取决于能质的高低与能量的多少,且还与作功过程有关。功是过程的函数,功的一般表达式为:

$$W = \int X dy \quad (1-8)$$

式中, X 为势差,即某一强度量与环境中该强度量之差,它是能量作功的推动力与能否作功的条件; dy 是某一广延性状态量在作功过程中的变化量,可用以表示能作了功的标志。式(1-8)表明了能的作功性。

任意状态的能量可逆地变化到环境状态所能作出的功是最大功。由于实际过程的不可逆性,存在多种不可逆因素,能量在作功与转移等传递过程中,总伴随有能质的损耗,表现为能质的下降,或作功能力的损失,这时,能量作出的功将小于最大功,这就是能的贬值性,或能质的不守恒性。在用能过程中,总伴随着能的贬值,能经过一次传递(即用一次),能质就降低一次,就贬值一次,直至与环境中的能的品位相同,就已无使用价值了。

从工程热力学中知道,能的贬值程度,即能的作功能力损失 E_{xL} 与系统或过程的熵产 ΔS_{gy} 成正比,可用下式计算

$$E_{xL} = W_L = T_0 \Delta S_{gy} \quad (1-9)$$

式中, T_0 为环境温度。

第二节 能量有效利用的评价指标

能量利用是否有效,需要有适当的评价标准或指标来判断。根据不同的目的要求,从不同角度进行分析,会有不同的评价方法,因而有不同的评价标准或指标。通常从宏观与微观两方面来分析能源与能量的利用,而建立相应的评价指标。宏观分析是对能源消耗效果的综合分析,对能源消耗效果进行评价;微观分析是对能量利用过程的解析分析,对能量利用过程进行评价。下面介绍能源、能量利用的评价指标与节能指标。

一、能源与能量利用的评价指标

常用能耗、能源利用率与能量利用率作为能源与能量有效利用的评价指标。

(一) 能耗 指能源消耗量,是企业或产品的直接能源消耗量,包括用于产品、用于过程和散失于环境中的全部能耗量,它反映能源消耗的数量与利用水平。由于能耗的概念简明,计算简便,因此成为一种最通用的能源利用评价指标。

能耗不应理解为能量的消耗,据能量守恒定律,能量是不可能被消耗掉的。能耗常用能量的单位来表示,如消耗多少千焦的热,多少千瓦时电。实际上,多用实物量单位来表示能耗量,如消耗多少吨煤,多少吨油,多少立方米天然气等。为了统一实物耗量的计量标准和便于比较,人为地提出“标准煤”(或煤当量)作为实物能耗的单位,以 C_e 表示,并规定1 kg C_e 的低位发热量等于29.27MJ (7000kcal),因此,消耗任何具有29.27MJ能量的物质均相当于1 kg C_e 。欧美等国家还常以标准油作为计量标准,称为油当量,以 O_e 表示。我国标准也规定1 kg 标准油或1Nm³标准气等于41.82MJ (10000kcal液体或气体燃料)。

对于消耗二次能源与耗能工质,首先应折算到一次能源,再换算成标准煤。由二次能源与耗能工质折算到一次能源应根据国家有关主管部门规定计算。这种能源原料与能源产品之间的数量折算关系,称为能源的等价值。即获得一个单位的二次能源全国平均必须消耗的一次能源量。所消耗的一次能源量就是该二次能源的等价值 B 。显然,二次能源的等价值随其加工转换效率而异。因为其转换效率 $\eta_{\text{转换}}$ 为:

$$\eta_{\text{转换}} = \frac{E_{\text{输出}}}{E_{\text{输入}}} = \frac{E_{\text{二次}}}{E_{\text{一次}}} \quad (1-10)$$

考虑到能源等价值是以消耗单位能源计算,因此,能源等价值 B 与转换效率 $\eta_{\text{转换}}$ 的关系为:

$$B = \frac{e_{\text{二次}}}{\eta_{\text{转换}}} \quad (1-11)$$

如1kW·h电的等价值可按上式及全国平均转换效率计算。

$$1985\text{年} \quad B_{\text{电}} = \frac{1\text{kW}\cdot\text{h}}{\eta_{\text{电厂}}} = \frac{3600}{0.285} = 12631.58\text{kJ/kW}\cdot\text{h} = 431\text{gCe/kW}\cdot\text{h}$$

$$1990\text{年} \quad B_{\text{电}} = \frac{1\text{kW}\cdot\text{h}}{\eta_{\text{电厂}}} = \frac{3600}{0.314} = 11464.97\text{kJ/kW}\cdot\text{h} = 392\text{gCe/kW}\cdot\text{h}$$

又如蒸汽的等价值,可用1 kg 蒸汽焓值被锅炉热效率除来计算。压力为 $13 \times 10^5\text{Pa}$ 的饱和蒸汽的焓值为2785.25kJ/kg,若取锅炉热效率为0.7,则该蒸汽的等价值为:

$$B = \frac{2785.25}{0.7} = 3978.93\text{kJ/kg} = 0.1380\text{kg Ce/kg}$$

注意,各种能量由于采用的单位不同,而相互转换存在着当量关系,如1kW·h相当于3600kJ,称做“当量值”。这不是能源的等价值。各种能量之间的当量值是不变的常数,