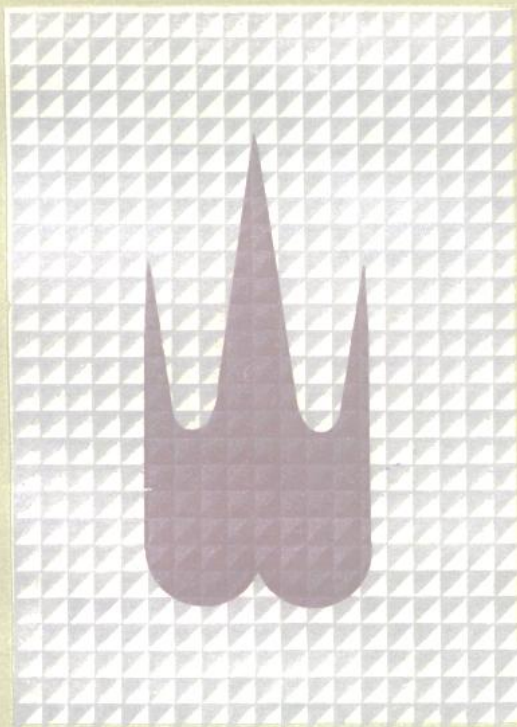


25

NENG LIANG
YOU XIAO
LI YONG
JI SHU

能量有效利用技术

[日] 能量变换恳话会 编



化学工业出版社

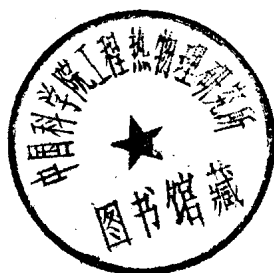
72
143

能量有效利用技术

〔日〕能量变换恳话会 编

王维城 马润田 译

曾葆盛 校



化学工业出版社

√101255

内 容 提 要

本书主要介绍热力学、传热学、过程系统分析及综合方法在节能中的应用，并以石油、化工、冶金、水泥等高能耗工业的生产过程为例进行具体分析，介绍了一系列行之有效的节能措施，并提出节能社会化的设想。

本书可供广大科技人员，特别是从事节能工作的技术人员阅读，也可作为各种节能培训班的参考教材。

EF58/11

総合エネルギー講座⑥

エネルギー利用工学

エネルギー変換懇話会 編

昭和55年(1980)第1版第1刷発行

能量有效利用技术

王维城 马润田 译

曾葆盛 校

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

北京市通县曙光印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本850×1168¹/₃₂印张7⁵/₈字数206千字印数1—7,000

1984年5月北京第1版1984年5月北京第1次印刷

统一书号15063·3565定价0.95元

译 序

节省能源已经是一个世界性的潮流，国际能源界把节能称为“第五大能源”，与煤炭、石油和天然气、水电、核能四大能源并列。我国解决能源问题的方针也是实行开发和节约并重，近期把节能放在优先地位，大力开展以节能为中心的技术改造和结构改革。近几年来，各行各业，尤其是石油、化工、冶金等高能耗工业部门，广泛开展节能技术改造，取得了初步的成果。为了使工业节能向深度发展，设计部门以及工矿企业中从事节能工作的广大技术人员，迫切要求学习有关节能技术的基础理论和基本方法。吉田邦夫所编的《エネルギー利用工学》是一部新发行的切合实用的节能技术书籍，书中系统地介绍了热力学、传热学、过程系统分析及综合方法在能量有效利用中的应用，并以石油、化工、冶金、水泥等高能耗工业为例，进行具体的事例分析，给出一系列行之有效的节能措施，并提出节能社会化的设想。日本由于缺乏资源，特别重视节能，是一个节能技术先进的国家，他们的经验和方法很值得我们参考。

本书的内容涉及面较广，但篇幅不大，除具有简明扼要、重点突出的优点而外，必然在细节上论述得不够详细，当读者需要深入了解某个细节问题时，可参阅书中提供的文献资料和有关方面的专著。我们把书名译作《能量有效利用技术》而不直译为《能量有效利用工程学》也是考虑到上述原因。本书各章是由不同方面的专家撰写的，凡有名词不统一之处，在翻译过程中尽量给予统一，只有第二章中的“焓”和第五章中的“有效能”仍沿用原词，未加统一，因为这两个名词在不同的学科中应用都很广泛。另外，原书中的排印错误，均在正文中直接更正，不再一一注释。

全书经建材部情报研究所曾葆盛同志校阅，清华大学化工系系统工程研究室彭秉璞同志、热能工程系鲁钟琪、朱明善同志校阅了

有关章节，并提出宝贵意见，特此致谢。限于译者水平，译文中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

译 者

序 言

《能量利用工程学》，这一技术词汇也许是大家不太熟悉 的说法，如果通俗地说，也可以称为节能工程学。但是，作为综合讲座，为了保持标题的统一性，同时为了避免“节能”一词给人们造成消极印象，而强调从积极方面去谋求能量的有效利用，所以采用了这个书名。

能源的开发和通过有效利用来控制能量的消费，是解决能源问题的两个基本途径。其中，对于缺乏能源的日本来说，后者的重要性格外突出。

本书先从热力学和传热学的观点对能量有效利用技术作理论上的论述，然后再介绍能量密集型工业部门中所使用的具体节能技术。首先阐明主要工业的能量利用状况和技术发展的历史过程，其次叙述在这些部门中应该采取的技术措施，最后，论述与社会有关的能量利用技术。

由于搜集了各方面权威的精心创作，相信本书对于学习能量利用技术的工程技术人员将会有很大帮助。然而，能量利用技术的系统化还只是刚刚开始尝试，而且由于新技术层出不穷，所以在几年后大幅度地修订本书可能是必要的。为此，恳切地期待着读者们的批评和建议。此外，为本书的出版，押田先生和能量变换恳话会的诸位不断提出宝贵建议，在此表示衷心感谢。

编辑委员 吉田邦夫 1980年1月

• • •

本书执笔人员

第一章 吉田邦夫 (东京大学)

第二章 山内繁 (东京大学)

101255

- 第三章 鈴木睦 (东北大学)
- 第四章 大島栄次 (东京工业大学)
- 第五章 梅田富雄城子克夫 (千代田化工建设)
- 第六章 垣田行雄 (日本系统开发研究所)
- 主编 吉田邦夫 (东京大学)

目 录

第一章 能量利用工程概论	1
1-1 能量利用工程的意义	1
1-2 能量利用的形式	6
1. 能量利用效率	6
2. 能量消耗的分配	10
3. 工业中的能量利用	12
1-3 能量有效利用技术的开发	16
1. 节能潜力的估计	16
2. 能量有效利用技术	17
1-4 节能技术的方向	21
文献	24
第二章 热力学在能量有效利用中的应用	25
2-1 基于热力学第一定律的分析	26
1. 焓的基准和计算方法	28
2. 焓流的方法	31
2-2 基于热力学第二定律的分析	32
1. 焓和焓损失	33
2. 物理变化和物质的焓	38
3. 基准焓的规定	43
4. 实用燃料的基准焓	51
5. 焓流的计算	58
6. 焓损失的原因分析	60
文献	72
第三章 传热学在能量有效利用中的应用	73
3-1 热屏蔽和隔热材料	73
1. 隔热材料	74
2. 隔热材料内的传热机理	75

3. 热屏蔽	80
4. 以吹送法降低放热系数	82
5. 隔热材料和热屏蔽材料的选择	84
3-2 用换热器进行热回收	86
1. 单相强制对流换热的强化	87
2. 冷凝换热及其强化	89
3. 沸腾换热及其强化	91
3-3 小温差及低温余热的利用技术	95
1. 热管	96
2. 朗肯循环及其工质	98
3. 吸收式制冷	101
4. 热分离器	102
文献	104
第四章 技术开发和能量的有效利用	106
4-1 单位能耗	106
1. 能量消费和人民生活	106
2. 工业中的能量消耗	108
3. 单位能耗	110
4. 单位能耗的变化	113
4-2 水泥工业	116
1. 水泥生产过程	116
2. 水泥工业的能耗	119
3. 粉碎和煨烧的节能措施	121
4-3 钢铁工业	124
1. 炼铁生产过程	124
2. 单位能耗	128
3. 炼铁生产的节能措施	130
4-4 化学工业	131
1. 化工生产过程和石油化学工业	131
2. 化学工业过程和能量消耗	135
3. 化学工业中的节能技术	139
4-5 能量利用的评价	143
1. 物质流和能量	143

2. PEC的概念	145
文献	149
第五章 过程系统中的能量有效利用	151
5-1 过程系统的特征	151
5-2 能量有效利用的基本途径	156
1. 从数量方面的分析	157
2. 从质量方面的分析	163
3. 从质和质量两方面的分析	164
4. 过程系统的综合	173
5-3 能量有效利用的方法	177
1. 系统地调查节能技术	178
2. 制订检查清单	178
3. 进行能量详算	178
4. 确定指标	181
5. 过程系统的改造	181
5-4 具体实例	183
1. 单个设备	183
2. 特定系统	188
5-5 有关的某些问题	199
文献	202
第六章 社会系统中的能量有效利用	204
6-1 总能量系统的概念	204
6-2 公共利用中心	208
1. 神户市食品联合企业	208
2. 小名浜利用工厂余热为地区供应热水	209
6-3 地区供冷和供暖	213
1. 汉堡市的地区供暖	215
2. 萨尔布鲁根市的地区供暖	220
6-4 公共发电	225
6-5 资源循环的社会	227
文献	231
附录	232

第一章 能量利用工程概论

1-1 能量利用工程的意义

为了尽可能有效地利用能量，无论是先进国家还是发展中国家，都制订了各种有关能源的政策，并进行了技术开发。但是，能量有效利用或者叫节能，对其内容的理解也因人而异。自然科学工作者主要关心的是在使用中的浪费，经济学家着重关心的则是分配的合理性。在能源的使用上，个人和团体所关心的问题也不一样。另外，随着时间、地点的不同，其意义也会发生变化。即使在英语中也有几种不同的表示方法，如energy conservation(能源保持)，energy saving(节能)，energy management(能源管理)，以及efficient use of energy(能源的有效利用)等。

不管怎样，“conservation”与天然资源的利用方法——速度、目的以及利用效率等有关。这里所谓天然资源(natural resources)是指土地、土壤、水、森林、植物、动物、矿物和太阳等能源。其中矿物、煤炭、石油等由于生成速度较慢，称为非再生型资源(nonrenewable resources)，而动植物、太阳和核能等再生速度快，称为可更新型资源(renewable resources)或非枯竭型资源(non-exhaustible resources)。然而，例如土壤，从其土质恢复能力迅速的角度来看，它是属于再生型的，而土地表层被冲走后，再生就需要几千年，所以它又属于非再生型资源。这样，有些资源究竟属于哪一种范畴是较难区别的。进一步把“conservation”一词广义解释时，它具有当开采资源时一定要考虑到保护被破坏的自然环境的含义。也就是说，资源有可能利用技术找到它们的代用物，而环境则往往是不借助于自然力就不能维持的，所以，还不仅要讨论资源蕴藏量的长远性和能源价格上升等问题，更要优先考虑自然

环境保护方面的问题。

节约资源和能源的目的，也包含有下述伦理上的特征。由于资源的有效利用，从而达到节约资源和保护资源的目的。至少可以为后代节约和保存一些资源，这也可以看成是我们的义务之一。从这样的考虑出发，如果从全球着眼，有人主张绝不允许各先进国家片面地浪费资源，必须注意保留，以便发展中国家随着工业化的进展，能得到充分的资源使用。

即使对于生长在现代的我们自己来说，为了过着舒服，愉快的生活，努力保护环境也是必要的。因而，要保护自然环境，就要付出经济上的代价，这在社会上也在一定程度上被认为是不得不这样做的。然而，节能的观点在社会上能得到多少人的承认，是值得怀疑的。为了节能，要降低室内暖气温度，要停止使用车辆等，必然会有牺牲舒适生活的一面。另外，在工业生产过程中，可通过提高产品价格来解决能源的使用量增加和价格的上涨，也可不必对节能作出努力。对于这样的情况，为了强调努力节约能量，如上所述，为了子孙后代，也应该保存资源，或者说要给以充分的时间来开发清洁能源。结果，在地球环境保护方面也起了很大作用，这样可以获得非经济性的收益也是必要的。

可以认为在资源中也包括能源。从而节省资源和节省能源两词可以相互通用，在许多的情况下并不加以区别。实际上，象汽车这样的生产资料，稍延长使用寿命，就会既节省了资源也节省了能源。但是，如本书后面所叙述的，能量可有不同的使用方式，最后，当达到环境温度时，虽然不能再循环和再利用，但是，除水等以外，大部分资源还可以回收和二次利用。从而，节能的技术和节省资源的技术不一定相同。

近年来，大家对节能的关心程度与日俱增，其动机是出于下述种种考虑：

(1) 考虑到便宜的，普遍性的能源供应能力的限度；

(2) 由能源使用场所所排放的热量和污染物的数量，增加到会给环境带来恶劣的影响；

(3) 由于现在主要的能源是石油,要用其它新能源来代替它,就需要长时间的准备和大量的资金;

(4) 能源依赖于由国外进口,会危及国家的独立自主;

(5) 随着能源价格上涨,产品制造成本和家庭经济费用急剧增加;

(6) 节约使用能源是解决能源问题最快的办法,也是最容易取得效果的手段。

由于日本国土狭小,资源贫乏,在日本根据上述(2)、(4)点所产生的节能动机,比其它国家更为强烈。

姑且不谈伦理的,非经济性的方面,就追求经济利益来说,也会产生节能的要求,国家、企业和家庭都可以得到收益,在考虑教育普及活动和财政措施时都要注意到节能问题。从这个观点出发,把各种节能的办法加以分类,列于表1-1中。

现在我们的生活离不开能量。生产活动和交通工具要消耗能量,要维持舒适的现代生活水平也不能不使用能量。只是不要浪费,必须努力做到用同样的能量消耗量去完成更多的工作。这就意味着在一切国家,一切企业,以及所有阶层中都必须制订一个节能的目标。因此,有必要更加充分地研究“节能”的确切定义和它应有的地位。

本书作为节能技术,它所处理的范围不包括法律的、经济的手段,而只限于工程的、技术的因素。能量有热能、电能等多种形态,当输送、贮藏、利用时,必须把它变为与使用目的相吻合的能量形态。因此,要进行各种能量形态的变换。例如,有代表性的能量形态变换是利用热机进行发电的生产过程。在该过程中进行热能 \rightarrow 机械能 \rightarrow 电能的变换。在该变换中,机械能转变为电能的转换效率可以达到接近100%,但由热能转换为机械能,其效率只有40%以下。所使用的燃料发热量有60%以上损失于大气中。随着生活水平的提高,使用电能的比例增大,所以,当考虑全国的能源有效利用时,对转换效率较高的发电生产过程的开发寄予更大的希望。这样的中间变换过程与能源的最终需要过程相比,本书以后者作为能

表 1-1 各种节能方案与受益者、负担者等的关系

方 法	直接受益者①	效 果	负 担 者	费 用	政府的相应措施②	问 题
努力节省生活 消费能量	家庭经济	电灯、燃料费 减少	家庭经济，供 能企业	舒适性减低 销售额降低	教育，改变费 用系统	平时降低与高峰时 的差额扩大
强化住宅的隔 热	家庭经济 隔热材料的供 给者	电灯、燃料费 减少，舒适性增 加，销售额增加	家庭经济 供能企业	投资费 销售额降低	低利贷款	家庭经济必须进行 投资
使用节能型耐 久性消费品	家庭经济	电灯、燃料费 减少	家庭经济	有时便利性减 低	对该种消费品 减税	在购买者的家庭经 济中如何使之有这种 意愿
延长耐久性消 费品的使用年限	家庭经济	购入耐久性消 费品的成本降低	企业 家庭经济	销售额减少 失去新技术	半旧品的税制 优惠（对购买新 产品进行收税， 税额根据产品的 寿命来定）	有可能使用能量增 加
在生产技术上 努力节能	企业	降低成本	企业	预备投资	特殊折旧	石油价格靠不住
延长设备使用 年限	企业	投资费减少	企业	将有可能在技 术上落后		将有可能使运行能 量增加

续表

方法	直接受益者①	效果	负担者	费用	政府的相应措施②	问题
工业余热转为民用	家庭经济 企业	减少电灯、燃料费，社会形象提高	企业	不管工厂开工情况如何，工厂要负供应责任	调整内部系统	
工业废料资源化	企业	增加销售额或降低成本	企业 竞争企业	随着回收成本和供应过剩价格下降	建立工业废料资源利用系统	
生活废弃物的能源化			政府 家庭经济	回收成本和分别收集要价	建立系统	绝对量较少

引自：茅阳一编「省エネルギー——その意義と問題点の体系的检讨」，

① 间接地对人民和政府，甚至成为全人类的利益。

② 作为整体的对策，应考虑根据能源税来提高能源价值。

量有效利用技术的重点。作为科学和技术工作者，一方面要改善能量利用方法，另一方面也应该把开发新技术领域作为主要目的。

1-2 能量利用的形式

1. 能量利用效率

当着手节能时，第一步应定量地掌握所要解决的对象能量利用情况，从评价它的现有效率开始。在此基础上弄清楚是否还有改善的余地，进一步订出技术革新的目标。当考虑到“energy conservation”的物理意义时，可以应用热力学第一定律能量守恒的法则。我们由该法则可以得知能量是否有损失。

在加热炉中，当利用天然气与空气燃烧得到的气体加热钢材时，带入加热炉中的热量是空气和天然气所带有的少量的显热和大量的燃烧热。另一方面，由加热炉带出的热量是被加热的钢材所带出的显热、加热炉排烟的显热、以及通过炉墙的散热损失。当加热炉稳定运行时，根据热力学第一定律可知，上述的带入热量和带出热量应相等。

通常，当要掌握能量利用状况时，就要对所考查对象的整个系统，求出带入的各项能量和带出的各项能量。然后给出效率，即给出为了达到预定目的所应该使用的能量与实际所使用的能量之比值。当加热钢材时，加热炉的效率就是使用燃料所具有的燃烧热中有多少真正用于加热钢材。从加热钢材的目的来看，燃烧气体所带出的热量和炉壁的散热都是浪费的能量。为谋求能量的有效利用，就要努力减少上述两项热量的损失，同时考虑回收排烟所带走的热量，并加以利用。

这里，热能的单位通常以kcal或J表示。我们根据热力学第二定律可知，不能把热能全部变为机械功。因而，同样的1000kcal的热量，在20℃下、100℃和1000℃下，它们的价值是不一样的。也就是说，不管20℃的水量有多大，作为能量来说也没有价值。而100℃的热水虽然可以用来供应暖气和供应热水，但余热回收要花

很大努力。可是，1000°C的蒸汽用于发电却是很容易的。作为显热来说，即使是同样数量的能量，从质的方面来说可以完全不同。

为了评价能量的质量，我们用焵 (exergy) 作为尺度，也可以叫作有效能或可用能 (availability, available energy)。这个尺度是根据该能量做功的大小而定的，作功能力愈大，焵值也愈高。

根据热力学第二定律，要从一定量的热能中取得最大的功，必须通过可逆循环的卡诺机 (Carnot engine) 来达到。当以环境温度作为低温热源时，在图 1-1 的温焵图上，焵值以斜线部分的面积 E 来表示。这时面积 A 表示无效能量，或者叫作焵 (anergy)。

从而，图 1-1 所示的温度为 T_1 ，热能为 Q 的焵值 ε 可由下式求得：

$$\varepsilon = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right) \quad (1-1)$$

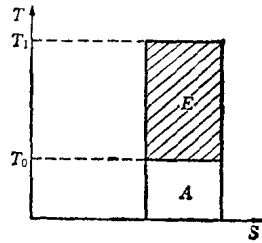


图 1-1 焵与能

例如，在1000°C下，10kcal 的热能之焵值为：

$$\varepsilon = 10 \left(1 - \frac{25 + 273}{1000 + 273} \right) = 7.65 \text{kcal}$$

在50°C下，200kcal热能之焵值为：

$$\varepsilon = 200 \left(1 - \frac{25 + 273}{50 + 273} \right) = 3.87 \text{kcal}$$

它可以定量地表示焵值相同的能量在质上的差别。

根据所掌握的焵流和焵流，就可以基于热力学第一定律求出效率 η_I 和基于热力学第二定律求出效率 η_{II} 。两者可由下式表示：

$$\eta_I = \frac{\text{系统能完成的焵的转移量}}{\text{投入系统的焵量}} \quad (1-2)$$

$$\eta_{II} = \frac{\text{系统能完成的焵的转移量}}{\text{投入系统的焵量}} \quad (1-3)$$

下面用一个简单的例子来说明两者效率的不同。现在来考虑一