

221

科学用能原理及方法

张管生 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书以热力学基本理论为依据,分析了能量的概念、构成、传递和用能过程,叙述了能量的基本性质、能量平衡和能量利用的评价方法;重点阐述了焓(有效能)的概念、图解和计算。对能的可用性进行了分析;建立了能量科学利用的概念,并指出了科学用能和节能的方法。

本书可供节能、热工、动力、化工、冶金、机械、暖通等方面的科技人员及干部阅读,亦可供大专院校有关专业师生参考。

科学用能原理及方法

张 管 生 编著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张12³/₄ 279千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷 印数: 0,001-- 2,050册

统一书号: 15034·2960 定价: 2.70元

前 言

近年来，随着能源开发和节能工作的开展，国内出版了不少能源管理和节能技术方面的书籍，但较系统地阐述节能理论方面的书籍却很少。自 1979 年以来，笔者曾为能源管理干部、科技人员及学生讲过有关能源知识和节能理论方面的课程。他们认为这些内容对加速开展节能工作和提高用能水平将会起一定的作用；对克服节能工作的盲目性和节能措施的低效性将起促进作用；对从事能源管理和节能工作的干部、技术人员较为有益。为了适应节能工作的需要，以讲义为基础，并补充了新内容，编写了此书。

笔者运用热力学的基本理论，分析了能量科学利用的原理和方法；介绍了焓及其分析；解释了能的可用性，并据此建立了科学用能的概念。本书既叙述了能的质量利用，也说明了能的数量利用。本书内容尽力作到丰富，通俗易懂，力求给读者一个较完整的概念，以期对能量的科学利用原理和方法有所了解，便于参考使用。

本书可供从事能源工作的科技人员和管理干部阅读，亦可供大专院校有关专业师生参考。

本书得到许多同志的关心、帮助与支持才得以问世，在此深表感谢。

书中错误之处在所难免，望批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
第一节 节能概述	1
第二节 科学用能	5
第三节 烟发展简史	7
第一章 热力学基本原理	10
第一节 常用名词术语与基本概念	10
第二节 热力学基本定律	24
第三节 气体的基本热力过程	33
第四节 工质性质	38
第五节 基本热力循环	57
第二章 传热学基础知识	62
第一节 传热方式和传热规律	62
第二节 稳定导热	65
第三节 对流换热	67
第四节 辐射换热	80
第五节 传热	83
第六节 传热的实用计算	88
第三章 能	95
第一节 能源	95
第二节 能量	103
第三节 能质	110
第四节 能级	112
第五节 能的利用	113
第六节 能的性质	117

第七节	能的计算	129
第四章	能源利用评价方法	132
第一节	能源消耗评价	133
第二节	能量利用分析	138
第三节	能耗	144
第四节	能源利用率	157
第五节	企业节能量计算	168
第五章	能量平衡	179
第一节	基本概念	179
第二节	能量平衡模型和类型	184
第三节	能量平衡的计算	189
第四节	企业能量平衡的内容和结果表示	198
第六章	焓及焓分析	215
第一节	两种能量分析法	215
第二节	焓	219
第三节	焓的图示	225
第四节	焓的计算	246
第五节	焓分析	272
第七章	科学用能	302
第一节	能的可用性	302
第二节	用能的指导思想——最小不可逆性	304
第三节	合理用能——按质用能	307
第四节	完全用能——减少外部损失	311
第五节	充分用能——减少内部损失	339
第六节	有效用能——能的优化利用	362
附录		379
参考文献		394

绪 论

第一节 节 能 概 述

一、节能的概念

节能即节约能源消耗，但并不是简单地减少所消耗的能源数量。关于节能，不同的人有不同的理解和看法。必需予以明确。现在为节能下一个十分确切的定义尚有困难，但它的中心思想大家认识却较一致。

1. 节能的中心思想

按照世界能源大会节能委员会 1979 年报告的说法，“节能的中心思想是，采用技术上可行经济上合理以及环境和社会可接受的措施（也就是说，采用使现有理想生活方式改变最小的方法），来更有效地利用能源”。简单地说，节能就是在不影响生产活力和生活水平的前提下，对能源的利用要做到减少浪费，降低消耗，提高效率，增加效益，改善环境。而不是简单地用减少供应，限制生产，降低标准等来实现所谓“节能”，实际上这些办法并不是真正的节能。

2. 节能的目的

节能是手段而不是目的，不能为节能而节能。但节能有明确的目的，就是在满足经济增长和生活需要的前提下，科学地利用能源，实现能源节约，以达到供需平衡。其一般目标是为了降低单位国民生产总值所需要的能源总量。具体来说，对一个企业通过节能要不断提高能源利用率，提高劳动

生产率，提高产品质量，降低能源消耗，降低生产成本，降低环境污染。总之，节能要包括四大要素：节省、效率、经济和环境。

二、节能的内容和潜力

节能的潜力十分巨大，它不仅存在于能的数量中，而且存在于能的质量中；它不仅表现在未利用能即损失能量中，而且表现在已利用能即有效能量中。

节能的内容更加广泛，从广义节能角度看，它几乎包罗万象，从生产到生活，从原料到产品，从材料到设备，从技术到经济，从管理到组织，从能源到厂房均属节能的范畴，例如，调整轻重工业比例，改革产品结构，进行技术改造，采用新技术、新材料、新设备、新工艺，新产品等等都是节能的内容和潜力所在。

从直接节能看，从能源的观点分析，节能的主要内容和重要潜力可以归纳为两点：全面能源管理和科学利用能量。

三、全面能源管理

全面能源管理是国外的先进经验，是能源科学管理的基本内容，就象全面质量管理一样、全面能源管理的开展必将对节约能源起着重大作用。

1. 管理内容

全面能源管理的基本点是：

1) 各类人员参加管理，各有职责。从要我节能，转变为我要节能，人人都关心节能。参加节能，节能的主体是能源消耗和使用部门（生产单位），节能骨干是能源管理和生产部门（动力部门）；

2) 各种能源都要管理。各种能源主要指一次能源、二次能源、耗能工质、原料能源，以及其他各类载能体，如原

料、材料、设备等；

3) 各个环节分别管理。从能源生产、加工、运输、贮存、采购、销售到操作运行、维护保养的每个环节都要分别加以管理；

4) 各种设备加强管理。每个企业的设备数目众多，型号规格不同，作用效果不等，需要加强管理，主要应考虑下面几个问题：

- ①在生产操作过程中和维护保养方面是否耗能最少；
- ②设备本身设计是否考虑到节能的经济性；
- ③现用设备是否最理想，是否还有其他耗能更少的设备代替；
- ④这种设备是否必不可少，可否用其它方法代替；
- ⑤是否可改为其它耗能更少的工艺或其它操作方式。

5) 用能过程重点管理。一般的能量利用过程包含四个环节：能源转换、能量传输、能量使用和能量回收，如图 0-1 所示。

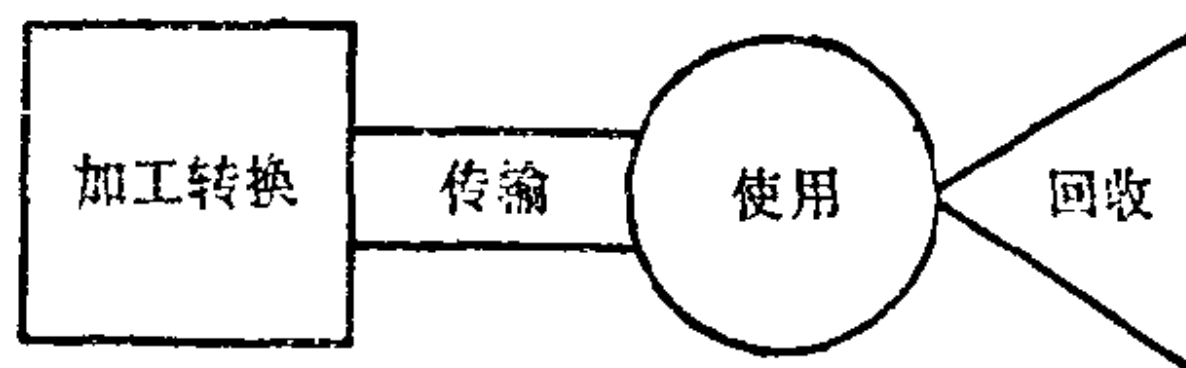


图0-1 能量利用四环节

用能过程是能源管理的重点和节能的第一线。燃烧的合理性、能

量传递的方式、流动的阻力、绝热保温与保冷、负荷均匀化、保持高效率、余能、重能的回收等等都是必需加以分析研究解决的。

6) 能源与产品、经济、环境的关系。把改善能源管理、有效节约能源与提高产品质量、改良品种、降低能源成本、增加经济效益、减少环境污染等紧密联系起来，以取得显著的价值效果。

7) 能源政策研究、除了国家、主管部门的总体能源政策外, 每个企业都要研究自己的具体能源政策。例如, 调整能源用途, 使重要能源用于最需要的生产中; 扩大数量多价格廉能源的用途; 寻求和发展使用其它能源等。

2. 管理方法

为了实现全面能源管理的各项内容, 必须采用科学的管理方法, 其要点是:

1) 信息管理——科学依据

任何有效的管理必须有科学的依据, 这种依据就是各种信息、数据、资料等, 离开了它们就谈不到科学管理, 故称为信息管理或数据管理;

2) 标准管理——科学方法

通常的能源管理和其他管理相同, 多采用行政管理、技术管理和经济管理等方法, 但真正的科学方法可以概括为标准管理。所谓标准管理是指依据标准(国家的、部门的、企业的)、法令、政策、规章、制度、条例、规程等进行管理, 而不是靠简单的行政命令或领导决定, 这样才能作到事半功倍。总之, 要把过程管理中的行政方法等, 提高为标准管理。

3) 目标管理——科学要求

当前有两种管理方法, 一种是过程管理, 一种是目标管理, 国外在进行过程管理的同时更强调目标管理, 取得了明显的效果。我国在农业上实行了目标管理后也取得了巨大的成绩, 但是在工业上还很少采用, 特别是在能源管理中应用得更少, 所谓目标管理就是要有明确的目标如定额、指标、要求等。凡能达到或超过目标者应予表扬和鼓励, 凡未达到目标者应予批评和惩罚, 并限期达到。对达到目标的途径、方法、措施等并不强求一律, 以调动各级人员的积极性, 因

地、因时制宜。

3. 基本要求

全面能源管理要求必须做到：加强宣传教育，搞好基础工作，培训管理人员。

1) 宣传教育

通过对能源形势与节能意义的宣传教育使大家认识到节能的主体是能源消耗和使用部门（即生产部门），节能的骨干是能源管理和生产部门（即动力部门）。努力做到从被动节能变为主动节能；从局部节能变为全面节能；从狭义节能变为广义节能；从企业节能变为国家节能。

2) 基础工作

能源管理的基础工作，即节能的基础工作主要有：

①建立并完善能源计量，包括配齐计量器具和搞好能源测试计量；

②开展能量平衡和能源普查；

③制订能源消耗定额。主要有理论定额（靠计算），技术定额（靠测定），生产定额（靠统计），供应定额（靠规定）；

④建立建全规章制度和标准；

⑤制定节能规划和计划。

3) 培训人员

必须对各级干部特别是领导干部，技术人员和工人普及能源知识，进行能源基础理论和节能技术的教育。

第二节 科学用能

一、问题的提出

理论是行动的指南。节能需要正确的指导，因此，用能

原理与节能技术是必须解决的重要课题。

节能不是消极地限制和减少能源消耗，而是积极地提高能源有效利用程度，减少可用能量的浪费，合理地使用能源。那么，衡量能量利用有效程度的依据是什么？确定能量浪费大小的标准是什么？判断能量利用合理与否的判据是什么？总之，在一台设备，一座工厂，一个地区乃至全国的能量平衡与合理利用中建立一个科学的统一标准是必不可少的。只有解决了这个问题，才能有一个共同的比较基础，才能有一个明确的提高目标。为此，首先要分析能量及其可用性，只有真正掌握了能的可用性，才能实现能量的科学利用，做到合理、完全、充分和有效地利用能量。

二、能的可用性

能的可用性是指能量可以利用的程度和限度。只有掌握了能的可用性才能在能的利用中“吃干榨净”。由于能量具有数量和质量之分，能量是由作功能与不作功能所组成，因此，能的可用性必须从能的数量利用，质量利用，作功能利用，不作功能利用诸方面加以分析，并还必须考虑用能方式的合理性与上述能量各个方面的综合利用系统配合即最优化问题。

三、热能的地位

目前各种能源的消耗百分之八十是首先通过“热”这个环节才实现的，因此，研究能量的可用性的中心课题乃是研究热的可用性。热的利用一般分直接利用与间接利用两种方式。前者如加热、冷却、冷凝、采暖等热交换；后者如热力发电，热能动力（内燃机等）等热功转换。不论那种方式，都必须遵守热力学第一定律和第二定律，因此，这两个定律就成为分析能的可用性的理论基础。

四、焓

焓是在热力学第一定律和第二定律基础上导出的一个有条件的状态参数，尚不为人们所熟悉，但它却是描述能的可用性的重要物理量，是科学用能中进行定性分析与定量计算的主要参数。因而十分重要。

五、科学利用能量

能量的科学利用是在对能量构成，能的性质和用能过程分析的基础上，按照能的可用性观点建立的新概念，对指导节能具有重要意义。它的要点是：

用能的指导思想——最小不可逆性；

用能的基本原则——能级匹配——合理用能；

能的数量利用——完全用能；

能的质量利用——充分用能；

能的优化利用（能量、能质、作功能、不作功能的综合系统利用）——有效用能。

以上这些都是本书的重要内容。

第三节 焓发展简史

关于能量可用性的概念，并不是什么新东西。早在十九世纪初叶就已出现。1824年卡诺（S. Carnot）在“论火的动力”这篇论文中提出的著名的卡诺循环及卡诺定理，就是热能可用性概念的首次出现；1875年吉布斯（J. W. Gibbs）发表的“多相物质平衡”一书中，关于化学势的重要概念，即所谓自由焓，也就是能量可用性的概念；1889年古依（Gouy）更明确提出“对利用有用的能量”；1898年、1910年斯托多拉（Stodola）为了解决技术问题，首先应用了这方面的概念。但是由于当时的生产要求不高，技术发展有限，故

关于能量可用性的概念没有引起足够的重视。直到本世纪三十年代由于生产的发展才使能量可用性的研究与应用重新开展起来；1930年达利亚斯（Darrieus）建议用符号 $\eta = \frac{W}{-\Delta e}$ 来衡量动力机的完善程度；1932年凯纳（J. H. Keenan）建议对上述符号采用有效度（effectiveness）的名称以区别于热效率 $\eta_{ov} = \frac{W}{-\Delta h}$ （即相对内效率）；1937年普朗克（R. Z. Plank）亦有论述；1938年波斯雅克维奇——（Bosnjakovic'）发表了一篇论文“与不可逆性作战”。这篇文章引起了广泛的重视，他提出了做功本领（Arbeitsfähigkeit）一词；1941年凯南又称为可用性（Availability）函数；1944年波斯雅克维奇又提出了技术做功能力（Техническая Работоспособность）的名称；以后格拉斯曼（Grassmann）格拉色尔（Glaser）、耐色尔曼（Nesselmann）等人进行了不少研究；1953年施米特（Schmidt）称为最大功；1956年马迟尔（Marchal）称作利用能；特别在1956年朗特（Z. Rant）命名为焵（exergie）即有效能（available energy）以来，关于能量的可用性的研究有了很大发展。在基本理论如焵的特性，焵图焵表等方面及焵的分析计算如焵效率，焵的实用计算等方面，特别是关于应用方面有了迅速而广泛的发展。现在已扩展到动力（蒸汽、燃气）制冷、化工、冶金、原子能、换热、机械等各个行业。在热工领域更是深入，燃烧、导热、热辐射、传热、深冷、热泵、火箭、燃料电池、磁流体发电等各个方面都已有应用。目前，在经济和热管理及系统工程中也正进行研究和应用，其前景是乐观的。并且与焵相对应又提出了“反焵”（Anergie）的

名词。

炯的原文是 *exergie*，它是由希腊字 *ex+ergon* 转化而来，意即作出的功。英、俄、日等国均为相应的音译：*exergy*（英）、*Эксергий*（俄）和 *エタセルギ*（日）。1957 年德国埃勒斯纳（N. Elsner）首次介绍到我国来，并被译为“炯”。而 *Anergie* 则是希腊字 *An+ergon* 转化而来，相应的音译为 *Anergy*（英）和 *アネルギ*（日）。其意为不作功的能量。因此笔者建议译为“炆”（*Anergie*）亦有人试译为“炆”。

第一章 热力学基本原理

热工学是研究热能在工程上有效利用的一门综合性的技术科学。当前能源的利用绝大部分都是首先通过热这个环节进行的，因此，能源科学、能源技术和能源管理，特别是节能工作，离不开热工方面的知识和技术。

热工基础知识主要包括两大方面：工程热力学与工程传热学。它们是从工程实用出发，研究能量，特别是热能的性质和规律（包括转换和转移）的科学。由于能量是物质的属性，所以在热工基础中离不开研究物质（主要是气体）的热力特性。

第一节 常用名词术语与基本概念

1. 热设备

热是能量的一种形态，凡是和热现象和热过程有关的设备通称热设备。工程上主要包括热能动力设备（简称热力设备），如各种热机、动力锅炉和热能工业设备（简称热工设备），如各种工业炉、工业窑、换热器、工艺用热设备（蒸发器、干燥器等）。

2. 工质

能量传递过程的工作物质简称工质。它是一种载能体和媒介物。为了较好地实现能量的转移与转换，工质多采用流体，又以气体为主如空气、燃气、烟气、水和水蒸汽等。

3. 热力系（体系）

在能量分析计算中，单独划分出来的研究对象称为**热力学体系**简称**热力系**或**体系**。体系是包含大量分子的宏观物质和客观实体。体系有一定的范围并应有明确的边界，它的确定取决于研究的目的和便于分析计算。体系周围的有关物体叫做**外界**或**环境**。体系是我们着重研究的，对环境只考虑它与体系的相互作用，即体系与环境的能量交换与质量交换。

工业中经常遇到的热力系主要有**开口系**、**封闭系**和**绝热系**。

1) **开口系**是指有物质通过边界的体系，即体系与外界既有能量交换又有质量交换。各种连续生产的设备都是开口体系，如锅炉、汽轮机、换热器等。在正常均衡的连续生产中，往往都是负荷稳定，各项参数不随时间改变，才能保证产品数量和质量，称为**稳定流动**。因此**稳流系**在开口系中具有特别重要的地位。

2) **封闭系**是指没有物质通过边界的体系，即体系与外界只有能量交换，没有质量交换，因此体系内的物质保持恒定。如间断生产的蒸球、高压锅等，在进料后、出料前均可视为**封闭系**。

3) **绝热系**是指与外界没有热量交换的体系。如保温极好的设备，如暖瓶，或过程进行极快的装置，如有气流在其中高速运动的喷管、节流阀等。

4) **孤立系**是指既无质量交换又无能量交换的理想体系。即把发生相互作用的所有物体均包含在内的体系，因而不受环境的影响，这往往带来研究与分析问题的方便。

按体系内部组成情况来区分，热力系又可分为：

单元系——由单一化学成分组成的体系；

多元系——由多种化学成分组成的体系；

单相系——由单一相态组成的体系；

复相系——由多种相态组成的体系；

均匀系——体系各部分性质均匀一致；

非均匀系——体系各部分性质不均匀一致。

4. 状态和状态参数

状态是指某一时刻体系内工质所处的状况，是热力系全部宏观性质的综合表示，它是体系各种特性的总标志，例如水蒸汽是饱和状态还是过热状态等。

为了研究方便，计算简单，通常视热力状态为平衡状态。平衡状态是指在无外界作用（重力除外）时能长期保持不变的状态，即体系的性质不随时间变化的状态。这里所指的平衡主要指体系处于热（温度）、力（压力）平衡。如体系原来处于平衡状态，将仍然保持平衡状态；如体系原来处于不平衡状态，将会自发进行某一过程而使之趋向平衡，这是状态的重要特性。

在平衡状态中，有两种状态比较简单而又最经常遇到，这就是均匀状态与稳流状态。均匀状态是体系内各部分性质均匀一致的状态，显然均匀状态是平衡状态，但处于热力平衡的状态不一定是均匀状态，如处于平衡状态的汽水混合物。稳流状态是指开口系的稳定流动状态，即在稳定流动中状态不随时间而改变，却可因地点而不同。

描写工质热力状态的物理量称为状态参数，它是体系的性质。它的基本特性是，状态参数值仅仅取决于工质的状态。

状态参数是状态的单值函数，与达到该状态的过程和来源无关。因此，这个函数的数学特征是全微分，即为点函数或态函数，即