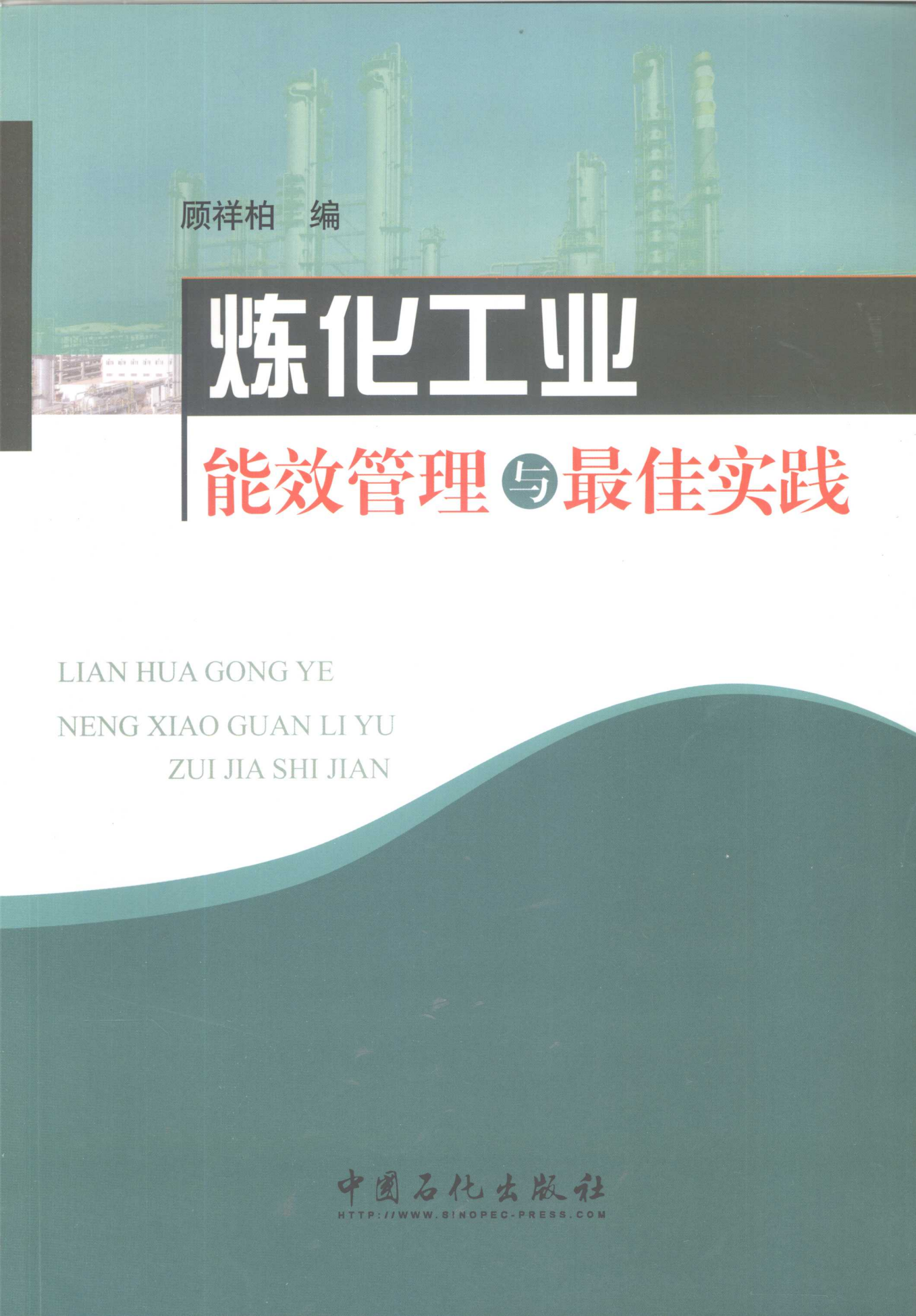




顾祥柏 编

炼化工业

能效管理 与 最佳实践

LIAN HUA GONG YE

NENG XIAO GUAN LI YU

ZUI JIA SHI JIAN

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC.PRESS.COM](http://www.sinopec.press.com)

炼化工业能效管理 与最佳实践

顾祥柏 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了能效管理与审计的核心议题、技术与方法。结合中国与欧美炼化工业能效管理与审计的数据、经验,以及节能相关的定性定量研究成果,详细分析与讨论了炼化工业能效与环境的定性和定量特征、典型炼油厂全流程的能量与排放特征、典型工艺流程(如常减压、流化催化裂化、催化加氢处理、乙烯、乙苯、苯乙烯、对二甲苯、氯乙烯、合成氨等)的能带宽度,以及炼化工业典型工艺流程单元的节能机会与最佳实践,为炼化装置采用先进的节能技术提供了量化的基础与科学依据。结合节能的议题,给出了炼化工业工艺流程加热系统(包括加热炉和精馏)、蒸汽系统、电动设备等典型操作单元的节能最佳实践。最后,结合乙烯工艺流程,从定量分析、定性分析两方面详细讨论了能效管理技术、方法和最佳实践的应用,为炼化工业推广能效管理与最佳实践提供了很好的示例。

本书适合作为炼化企业高层管理人员的参考书,以及专业技术人员和操作人员节能降耗的培训教材。也可以作为高等院校相关专业高年级本科生和研究生的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

炼化工业能效管理与最佳实践 / 顾祥柏编. —北京: 中国石化出版社, 2009
ISBN 978 - 7 - 5114 - 0013 - 0

I. 炼… II. 顾… III. 石油炼制 - 节能 IV. TE62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 127392 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 17.75 印张 434 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定价: 48.00 元

前 言

随着中国启动自主创新，能源对中国经济发展的严重制约已成为政府与工业界必须倾全力解决的问题。能源是战略性资源，与经济之间的关系唇齿相依。节能已上升为国家战略目标并将其作为约束经济社会发展的指标，这既说明节能已迫在眉睫，也说明中国能源效率有很大的提升空间，更说明提高能源使用效率，实现能源的集约管理与使用已势在必行。

中国石油炼制和石油化工技术总体上落后于国外先进水平。特别是在能效审计、能效管理和节能的最佳实践等方面与国外同类行业相比存在着非常大的差距。同时，炼化工业是中国的耗能大户，炼化工业占全国工业能耗的 1/3 左右，在经济结构中占有相当的比重，中国炼化行业的综合能耗与国际先进水平相比仍然偏高，但是通过产业结构优化调整，强化能效审计与管理，积极推行节能的最佳实践，完全可以实现逐步节能降耗的目标，以增强炼化工业的国际竞争力。

为此本书系统地介绍了能效管理与审计的核心议题，并在此基础上详细说明了改进能效的技术与方法，以及高效的能效管理应该做什么、怎么做，从而实现降低行业成本，建立企业、自然与社会环境和谐发展的模式，提高企业的核心竞争力，并逐步完善中国炼化工业的能量与环境特征的系统化数据以及相应的参数指标体系。针对当今炼化工业面临的热能、电能以及排放等能源效率相关的挑战，结合中国与欧美有关炼化工业的能效审计的数据、经验，以及节能相关的定性与定量研究成果，详细分析与讨论了炼化工业能效与环境的定性与定量特征、典型炼油厂全流程的能量与排放特征、炼化工业典型工艺流程单元的节能最佳实践。

要实现炼化工业能效的科学管理，就有必要熟悉与掌握炼化工业的能耗与环境的定性与定量特征。尽管有关行业协会如乙烯工业协会、塑料工业协会以及氯碱工业协会等每年都提供相关行业的能耗与物耗数据，但是尚缺乏系统并具有通用指导意义的数据，并且大多数数据还处于仅供行业内参考使用，公开出版的系统化数据特别是与能效相关的数据并不多，因此，目前很难找到关于国内炼化工业能耗与排放系统化的典型数据或参数指标。为了准确说明炼化工业典型工艺流程单元能耗的定量特征，本书结合能量品质和有效能的基本概念，

详细介绍了炼化工业典型工艺流程单元如常减压、流化催化裂化、催化加氢处理、催化重整、烷基化、乙烯、丙烯、丁二烯、乙苯、苯乙烯、对二甲苯、氯乙烯、合成氨等单元的能带宽度，为炼化装置采用先进的节能技术提供了量化的基础与科学依据。除此之外，本书还结合包括烃分离和拔顶、烃的热裂化或催化裂化、烃的组合与重排、产品精制与调和以及润滑油、石蜡和沥青等专用产品生产的典型炼油厂全流程，详细介绍了各工艺单元、辅助工艺单元的能量特征与排放特征，为炼油工业实际生产的节能操作提供可供参考的典型数据，以便在实际应用中有目标地找出炼油工业中存在巨大节能和减排潜力的工艺单元，进一步提高能效管理的效率与效益。

炼化工业生产流程具有显著的单元操作特点，不同工艺流程中有许多相同的操作单元，如加热炉、换热器、泵、压缩机等，相同操作单元的节能最佳实践具有非常明显的相互借鉴的意义，为此针对节能的议题，详细介绍了工艺流程加热系统(包括加热炉和精馏)、蒸汽系统、换热系统、电动设备、照明、能量回收等炼化工业典型操作单元节能的最佳实践，为炼化工业的生产操作与维护提供了实用、可直接借鉴并行之有效的节能操作指南。

最后，结合乙烯工艺流程提供了一个案例分析，从定性分析、定量分析以及最佳实践三个方面详细讨论了能效管理技术、方法与相关节能实践的应用，为能效管理与最佳实践的实际应用提供了很好的示例。

国内目前尚没有结合炼化工艺流程的特点，对能效审计与管理以及节能的最佳实践进行系统论述的有关专著出版，希望本书能给读者带来一些启迪。

本书整个内容的选取基于作者结合国家高技术研究发展计划(863计划)专题课题(2007AA04Z170)研究过程中所获得的一些体会，部分内容来自于该课题的研究成果。聂向锋博士、田清和石晓赞硕士协助做了书中部分图表及内容的文字校正，借此向他们表示衷心的感谢。由于时间仓促，错误之处所在难免，敬请读者和同行不吝赐教。

最后，衷心感谢我的妻子王玉华女士和儿子多年来对我的事业的一贯支持，没有他们的支持，这本书也不可能与读者见面。

顾祥柏
2009年4月

目 录

第一章 能效与能源管理	(1)
第一节 能效与节能的基本概念	(1)
第二节 能源计量与集成	(8)
第三节 能源数据与分析评价	(12)
第四节 能源管理	(15)
第五节 能源控制	(24)
第二章 能源审计与节能技术评估	(28)
第一节 能源审计	(28)
第二节 企业能源计量与能源统计	(34)
第三节 企业能源审计的方法	(36)
第四节 能源分析文档	(39)
第五节 节能技术的成本估算	(40)
第六节 节能的经济评价	(42)
第七节 编制节能行动计划	(44)
第三章 炼化工业能效与环境特征的定性与定量分析	(45)
第一节 中国的节能战略与工业能效现状	(45)
第二节 中国炼化工业技术与能效现状	(53)
第三节 炼化装置能带宽度和有效能分析的基本概念	(64)
第四节 典型炼化工艺过程的能带宽度分析	(66)
第五节 典型炼油装置能耗特征的定量分析	(72)
第六节 典型石化装置能耗特征的定量分析	(73)
第七节 典型单元操作的能量和有效能损失	(88)
第八节 典型石化单元的推荐节能措施	(90)
第四章 炼油行业的能量与环境特征	(93)
第一节 能量物料消耗	(93)
第二节 环境的影响	(94)
第三节 一体化的石油炼制	(96)
第四节 原油蒸馏	(100)
第五节 裂化与焦化工艺	(106)
第六节 催化重整	(119)
第七节 烷基化	(121)
第八节 加氢处理	(126)
第九节 助剂与调和组分	(129)
第十节 润滑油生产	(135)

第十一节 辅助工艺	(139)
第五章 工艺流程加热系统及节能的最佳实践	(148)
第一节 炼化工艺流程加热系统的特点	(148)
第二节 流程加热的应用说明	(149)
第三节 夹点分析与流程集成	(153)
第四节 热生成的最佳实践	(156)
第五节 热传递的最佳实践	(160)
第六节 工艺加热炉	(162)
第七节 精馏塔	(163)
第八节 防热泄漏的最佳实践	(165)
第九节 废热回收的最佳实践	(167)
第十节 流程检测与控制及其他应用的最佳实践	(170)
第六章 工艺过程蒸汽系统及节能的最佳实践	(172)
第一节 概述	(172)
第二节 蒸汽生产	(172)
第三节 蒸汽的分配与回收	(176)
第四节 蒸汽的终端使用	(178)
第五节 工艺过程蒸汽系统的最佳实践	(180)
第六节 蒸汽生产的最佳实践	(181)
第七节 蒸汽分配的最佳实践	(183)
第八节 蒸汽终端使用的最佳实践	(187)
第七章 电动设备与照明及其节能的最佳实践	(191)
第一节 电动机	(191)
第二节 泵的应用	(192)
第三节 泵系统控制策略的最佳实践	(198)
第四节 选择和安装泵设备的最佳实践	(203)
第五节 泵设备维护和监控的最佳实践	(208)
第六节 提高电动机的应用效率	(211)
第七节 压缩机和风机	(212)
第八节 照明	(216)
第八章 换热系统及其节能的最佳实践	(218)
第一节 制冷系统的应用	(218)
第二节 制冷系统的最佳实践	(219)
第三节 冷却塔的最佳实践	(223)
第四节 换热器的最佳实践	(225)
第九章 能量回收与热电联产及其节能最佳实践	(227)
第一节 火炬气回收	(227)
第二节 电回收	(228)
第三节 水回收	(228)
第四节 蒸汽相关的回收	(229)

第五节 氢气回收 (230)

第六节 热电联产 (231)

第十章 蒸汽裂解与其他烯烃生产工艺能耗分析示例 (235)

第一节 概述 (235)

第二节 背景因素 (236)

第三节 石脑油裂解流程说明 (237)

第四节 定义 (239)

第五节 石脑油/乙烷裂解的能量分析 (241)

第六节 石脑油裂解的最新进展 (243)

第七节 催化和其他选择性技术 (246)

第十一章 炼化工业能效管理与最佳实践展望 (252)

第一节 炼化行业能效管理最佳实践的方向 (252)

第二节 基于数据挖掘与数据融合等技术的炼化行业能效指标研究 (254)

参考文献 (262)

附录 A 员工能效管理的任务 (266)

附录 B 能源管理系统的能效最佳实践评估 (267)

附录 C 能源管理评估矩阵 (268)

附录 D 石化工艺流程能带宽度分析数据 (270)

附录 E 书中法定单位与非法定单位换算 (275)

第一章 能效与能源管理

提高工业能源使用效率、降低污染排放的活动起始于 20 世纪 70 年代，但起初这类活动通常由工业用户各自独立开展。随着全球范围内能源危机的出现，以及温室气体排放对人类生存与生活环境的破坏日益严重，无论是从能源使用的经济性，还是从环境保护的角度来看，都有必要进一步推动工业领域科学合理地使用能源。作为耗能大户的炼化工业，更有必要建立科学使用能源的体系，系统地进行能源审计，找出优化使用能源的目标与措施，加强能源管理，推广生产运营过程中的节能最佳实践，持续提高能源效率，逐步实现清洁生产，不断提高企业的核心竞争力。

第一节 能效与节能的基本概念

能效是能源效率(energy efficiency)或能源转换效率的简称。衡量或评价能源效率或节能潜力的方法和指标很多，归纳起来主要有两类：一类是能源经济效率指标；一类是能源技术效率指标。能源经济效率也称能源强度(Energy Intensity)，是指产出单位经济量(或实物量、服务量)与消耗的能源量之比。能源强度越低，能源经济效率越高。能源经济效率指标通常用宏观经济领域的单位 GDP 能耗和微观经济领域的单位产品能耗来表示。常用的能源经济效率指标有单位产值能耗、单位 GDP 能耗、单位产品能耗、单位服务量能耗等指标；此外，还可采用单位能源消费量实现国民生产总值(或工业总产值、工业增加值、工业利润总额等)及其逆指标来反映能源经济效率。能源技术效率是指在使用能源(开采、加工、转换、储运和终端利用)的活动中所获得的有效能与实际输入的能量之比，一般用百分率表示；利用能源技术效率进行比较，可以相对准确地反映不同国家的能源生产、加工转换和终端利用的能效水平，但该方法需要有全面、详尽的技术和能源数据基础。国际上常用于分析比较的能源效率是能源生产的效率、中间环节的效率与终端使用效率的乘积，这一方法是进行国际能源效率比较可比性较强又比较准确的方法。

目前，国际上普遍用“能源效率”(energy efficiency)来替代 20 世纪 70 年代能源危机后提出的“节能”(energy conservation)一词。实际上，从国际权威机构对“节能”和“能源效率”给出的定义来看，两者的涵义是一致的。为了更好、更准确地理解能效与节能的基本概念，下面从热力学定律、节能与能效的定义与分类、能源强度等方面进行详细说明。

一、热力学定律的能量转换效率

(一) 热力学第一定律的能量转换效率

热力学第一定律(first law efficiency by thermodynamics)认为，能量既不能产生也不会消失，只会由一种形式转变为另一种形式。据此，能量转换效率通常定义为由系统提供的功或者能量与输入到系统中的能量之比。

(二) 热力学第二定律的能量转换效率

热力学第二定律(second law efficiency by thermodynamics)认为系统的熵总是增加的，也就是说，能量在转换过程中损失了它的“品质”，或者做某种作业的能力。因此，能量转换

效率既要考虑数量又要考虑“品质”的损失。据此，第二定律的能量转换效率 ε 定义为完成某种作业所需的有用功与实际消耗的功之比，有用功是指完成该作业的最小能耗。

按照第二定律定义的能量转换效率，大多数耗能活动的能量转换效率小于10%，而第一定律的能量转换效率则可以达到很高的水平。典型的例子是家用燃油炉，按照第二定律其能量转换效率只有5%，而按照第一定律其能量转换效率可高达60%。根据第一定律的能量转换效率定义，似乎提高能源效率的潜力有限，但第二定律的能量转换效率表明能源效率还有很大的提升潜力。

二、节能与能效的定义

世界能源委员会1979年提出的节能定义是“采取技术上可行、经济上合理、环境和社会可接受的一切措施，来提高能源资源的利用效率。”这就是说，节能旨在降低能源强度(单位产值能耗)，应在能源系统的所有环节，包括开采、加工、转换、输送、分配到终端利用，从经济、技术、法律、行政、宣传、教育等方面采取有效措施，来消除能源的浪费。世界能源委员会在1995年出版的“应用高技术提高能效”中，把“能源效率(亦即能效)”定义为“减少提供同等能源服务的能源投入”。不难看出，用“能源效率”替代“节能”，是由于观念的转变。早期节能的目的，是为了通过节约和缩减能源来应付能源危机，现在则强调通过技术进步来提高能源效率，以增加效益，保护环境。

一个国家的综合能源效率指标是指增加单位GDP的能源需求，即单位产值能耗；部门能源效率指标分为经济指标和物理指标，经济指标为单位产值能耗，工业部门能源效率的物理指标为单位产品能耗；服务业和建筑物能源效率的物理指标为人均能耗和单位面积能耗。

能源效率的物理指标通常用热效率来表示。联合国欧洲经济委员会的定义是：在使用能源(开采、加工转换、储运和终端利用)的活动中所得到的起作用的能源量与实际消耗的能源量之比。

根据联合国欧洲经济委员会的能源效率物理指标评价和计算方法，能源系统的总效率由三部分组成：①开采效率，能源储量的采收率；②中间环节效率，包括加工转换效率和储运效率，后者用能源输送、分配和储存过程中的损失来衡量；③终端利用效率，即终端用户得到的有用能源量与过程开始时输入的能源量之比。

中间环节效率与终端利用效率的乘积称为“能源效率。”把终端利用效率混同于“能源效率”是错误的。例如，有人说，“中国的能源利用效率约为30%左右，日本和美国的能源利用效率在50%以上。”实际上，前者是“能源效率”，后者是“终端利用效率。”

按照上述定义计算能源效率(热效率)相当复杂，需要大量的动态数据，一般来讲，难以精确计算出终端利用效率，并且很难考虑价格和环境因素的影响。

三、节能的分类

(一) 直接节能

直接节能(direct energy saving)是指采取各种措施减少生产和生活中直接消耗的能源。直接节能的主要途径有：①改进能源管理；②采用节能的技术、工艺、设备等措施。

(二) 间接节能

间接节能(indirect energy saving)是指减少商品生产或服务所间接消耗的能源量而实现的节能，如降低工料、辅助原材料、零部件及其他消耗品的消耗，提高产品质量、合理延长设备和产品的使用寿命，改变经济结构和产品结构等。

（三）技术节能

技术节能(technical energy saving)是指采取技术措施而实现的节能。技术节能措施主要有：通过能耗监测，改进操作和维护，提高现有设备或系统的运行效率；采用成熟的节能技术，对设备或系统进行技术改造；采用先进技术、更新设备和工艺等。

（四）结构节能

结构节能(structural energy saving)是指经济结构合理变化而少用的能源量。经济结构是国民经济中各种指标因素的纵向或横向的数量比例关系的总和。具体地说，是以年为完成基准来计算相同产值或产量，靠合理改变经济结构而减少的能耗总量，或是相同数量的总能耗，由于经济结构变化而解决了年度部分产值或产量增长所需要的能源。通常，结构节能是间接节能的主要方面。一般按五个层次对结构节能计算进行分析：部门结构、工业结构、行业结构、企业结构、产品结构。通过工业产值结构模式的理论计算，可以得出整个工业产品产值结构节能量基本等于全国工业产值结构节能量，可见工业其他层次结构节能量均反映在产品层次的结构节能量之中。

（五）系统节能

系统节能(system energy saving)是利用系统工程的原则，全面考虑整个系统用能的能源转换、传递和利用，使之整体优化，以达到整个系统的节能。按照系统划分的范围不同，有企业系统节能、行业系统节能、城市或地区系统节能和国家系统节能等。

四、能源强度与效应

（一）能源强度

能源强度(energy intensity)亦称单位产值能耗。是指一定时间内一个国家或地区、部门或行业单位产值消耗的能源量，通常以吨(或公斤)油当量(或煤当量)/元来表示。一个国家或地区的能源强度，通常以单位国内生产总值耗能量来表示。它反映经济对能源的依赖程度，受一系列因素的影响，包括经济结构、经济体制、技术水平、能源结构、人口等。

（二）能源消费弹性系数

能源消费弹性系数(elasticity of energy consumption)是一个国家或地区某一年度一次能源消费量增长率与经济增长率之比。经济增长率通常采用国民生产总值或国内生产总值、国民收入的增长率来表示。它反映能源与经济增长的相互关系。由于产值和能耗都是综合性指标，涉及经济结构、管理体制、资源状况、技术水平、人口多寡、气候条件以至国际关系等许多因素，因此在一个国家的年度之间以及不同国家之间差异很大。第一次石油危机以来，能源来源和品种趋于多样化，节能取得很大发展，各种能源之间的相互替代复杂多变，能源市场更加灵活，国际化更为突出，电气化进程加速。这些因素使得能源与经济的相互关系发生畸变，总的趋向是从紧密相关变得没有规律，甚至相互脱节。因此，能源消费弹性系数不宜用作预测能源需求的依据。

（三）能源效率的回弹效应

能源效率的回弹效应(rebound effect of energy efficiency)是指依靠技术进步提高能源效率的幅度与一家公司、一个部门或一个国家的能源强度(单位产值能耗)的下降率不等同的现象。这是因为：只要价格保持不变，对效率更高的能源的需求就会增加，用户会适应更低的能源服务价格。另外，高能源含量产品的价格会下降，消费者会购买更多的这类产品。结果是能源效率提高不会完全转化为能源强度下降。

回弹效应的实质是用户、家庭、公司关注的是能源服务(如照明、采暖、耗能器具的运

行等)，而不是能源的使用。技术效率的提高，即一种燃料或电源转换成电力或能源服务的效率更高，会使能源服务量增加。如果燃料价格不变，能效提高会使能源服务价格下降，促使能源服务需求增加，从而产生燃料消费减少的反效应。

回弹效应不是消极的。公司、家庭转向能源效率更高的消费，意味存在着更多、价格更低的能源服务，从而促进经济不断增长。提高能源效率的作用，一部分转为经济增长，一部分转为能源消费减少。在价格不变的条件下，能源效率提高一倍，但燃料消费的减少不到50%，研究表明，民用部门的燃料消费约减少20%~50%。如果价格上升，在短期内，能源用户采取的调整措施，会阻止回弹效应；随着时间的推移，回弹效应越来越明显。

（四）能源效率的“松脱”效应

通常认为提高能源效率是可逆的过程，即它会随着能源价格的升降而起伏。但实际上提高能源效率不会因此而中断，这与提高能源效率的不可逆性或“松脱”效应有关。能源效率的“松脱”效应（“ratchet effect” of energy efficiency）是指有关能效技术的知识不会因能源价格的下降而被忽略。例如当能源价格下降时，人们不会去掉既有住房的绝热层，但如果预期能源价格将持续走低，人们可能建造不采取特别绝热措施的新住房。

随着技术的进步，能源强度趋于下降是显而易见的。有两个因素会使能源强度下降的趋势产生偏离：①回弹效应降低技术改进的作用，并影响节能的有效性。②能源价格的变化使用能行为和其他要素变得更为相关，并且不规则地偏离能源强度下降的趋向。

五、节能率

节能率（energy saving rate）是指节能量与比较基准期的相应能源消费量之比。常用的数学表达式有以下几种：

（1）以单位产品（产值）能耗表示

$$j = \frac{\Delta e}{e_1} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 j ——节能率；

Δe ——单位产品（产值）能耗的降低数量；

e_1 ——比较基准期的单位产品（产值）能耗量。

（2）以能源利用效率表示

$$j = \frac{\Delta \eta}{\eta_2} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 j ——节能率；

$\Delta \eta$ ——比较期末的能源利用效率比期初的提高值；

η_2 ——比较期末的能源利用效率。

（3）用能源消费弹性系数表示

$$j = 1 - D \quad (1-3)$$

式中 j ——节能率；

D ——能源消费弹性系数。

用能源利用效率来表示节能率时，如果原来的效率值较高，进一步提高难度较大，与原来的效率值较低的情况相比，提高同样的值，要付出更大的努力。

如计算一个时期内的年平均节能率，计算公式为：

$$\text{年平均节能率} = \sqrt[n]{\frac{\text{报告期单位能源消费量}}{\text{基期单位能源消费量}}} - 1 \quad (1-4)$$

式中的单位能源消耗量可按产值(产品)能耗等计算, n 为基期与报告期间隔的年份数。

六、节能建筑

节能建筑(energy - saving building)是指设计和建造采用节能型结构、材料、器具和产品的建筑物。主要包括:①围护结构。外墙和屋面,采用复合隔热保温结构,墙体材料采用加气混凝土、多孔砖、空心砌块、膨胀珍珠岩、岩棉、聚苯乙烯、聚氨酯泡沫塑料等;窗采用低导热系数材料、热反射或低发射率镀膜中空玻璃。与中国常规建筑相比,采暖空调能耗可减少 50% ~ 80%;②采暖空调。采用燃气热电冷联供系统;其中供热采用高效锅炉、双管系统和调控装置,热表到户,计量收费。节能潜力 30% ~ 35%;③采用高效燃气和电热水器,可节能 15%。热泵热水器替代电阻热水器,节能潜力 50%;④照明。用紧凑型荧光灯替代白炽灯,可节能 70% 以上;细管荧光灯替代粗管荧光灯,可节能 10%;日光集光和分配照明系统,可节能 50%;⑤采用建筑用能计算机系统(采暖、通风、空调、照明等),可节能 10% 以上;⑥利用可再生能源。被动式太阳房,一个采暖季可节能 30kgce/m²;太阳能热水器,年节能 120kgce/m²(集热面积);先进太阳能建筑、太阳能光伏电池/发电系统、热泵、控制系统、高性能隔热保温材料、蓄热材料和窗玻璃,可节能 85%;地热水供暖,一个采暖季可节煤 40kg/m²;地源热泵采暖空调,可节能 30% 以上。

七、能源管理的基本概念

(一) 能源定额管理

能源定额管理(quota management of energy)是在规定生产单位产品消耗能源限额的基础上,实行能源定量供应,对企业能源使用状况进行考核、监督和奖惩。

中国从 1978 年开始实行能源定量:利用 1t 废纸,可节约烧碱 300 ~ 450kg,节煤 400 ~ 600kg,并减少污染物排放。利用 1t 废纸,可产纸浆 0.8t,节约木材 3m³,节能 1.2tce,节水 100m³。

回收的废纸经打浆后,可直接生产低档纸,如卫生纸、瓦楞纸、包装纸等。如果再进行脱黑处理,可生产中档、高档纸,如文化用纸、新闻纸、计算机纸、照相纸等,生产成本仅为用新原料浆造纸的 50% ~ 60%。

(二) 节能诊断

节能诊断与能效审计的概念相近,是指组织有关专家深入企业现场,记实取样,调查研究,分析对比,发现问题,实际操作,预测节能潜力,提出解决办法与实施方案的过程。

(三) 能源审计

通常审计活动分为财务审计、效益审计和管理审计。审计是一种科学管理的手段与方法,它具有很强的监督与管理功能。能源审计(energy audit)是一种专业性审计活动,属于管理审计范畴。政府通过能源审计,加强能源管理、合理使用能源资源、提高能源利用率、节约能源、保护环境,持续地发展经济。

(四) 合同能源管理

合同能源管理(contract energy management, CEM)是一种基于市场的、全新的节能项目投资机制。20 世纪 70 年代中期以来,这种节能投资新机制首先在市场经济国家中逐步发展起来。

合同能源管理机制的实质是以实施节能项目取得的节能收益来支付项目全部费用的节能筹资方式。合同能源管理可通过节能服务公司来运作实施。中国已引进这种节能新机制,正在进行示范。

(五) 能源效率标准

能源效率标准(energy – efficiency standards)是指规定产品能源性能的程序或法规。有时能效标准禁止能效值低于最低规定值的产品在市场上销售。按照规定的测试程序确定产品的能源性能(通常指最大能耗或最低能效)的目标限定值。在欧洲和拉丁美洲,有时用“限额”(norm)代替“标准”(standard)表示目标限定值。能效标准可分为指令性标准、最低能源性能标准和平均能效标准三类。能效标准可以是强制性的,也可以是自愿性的。

指令性标准要求在所有新产品上增加一个特殊的性能或安装一个独特的装置。对指令性标准确定符合性最简单,仅需对产品进行检测。

性能标准主要规定最低能效(或最大能耗)指标,要求制造商在一个规定日期以后生产的所有产品都必须达到标准的规定。性能标准仅规定产品的能源性能,而不对技术或设计提出要求。性能标准允许创新和具有竞争性的设计,其符合性由实验室确定。例如,一些电冰箱的性能标准要求每台冰箱每年所消耗的能源不能超过实验条件下的能耗最高值。

标准中的能效指标也可以按某种产品的年平均能效为基础来确定。美国的汽车燃油效率标准即采用此法。日本有几种产品的标准也采用此方法,要求制造商所生产的产品能效达到或超过按销售量加权计算的平均效率。销售加权方法对推动技术进步尤其适用(例如,从白炽灯到紧凑型荧光灯,从储水式电阻热水器到热泵热水器)。提高平均能效水平可以增加新技术的市场份额,但并不完全淘汰旧技术。平均能效标准比其他标准需要更多的数据,符合性验证也更困难。但在满足提高产品能效目标方面,这种标准比其他标准赋予制造商更多的灵活性和创新性。与前两种标准不同的是,平均能效标准要求制造商或政府采取措施吸引消费者购买足够的高能效产品,以实现销售加权平均能效的目标。

大多数能效标准(如北美)都是强制性的最低能源性能标准。一些国家(如日本、巴西和瑞士)则建立并实施自愿性或目标性协议。自愿性协议通常是在政府和制造商之间达成共识。在某些情况下(如瑞士),为了达到自愿性标准的要求,要给制造商留出一段改进的时间。如果制造商没有遵守自愿性标准,有关机构可以用强制性标准代替。

国际能源机构(IEA: International Energy Agency)成员国家的能效标准如表 1-1。

表 1-1 IEA 国家的能效标准

项目	目的	利用程度	市场限制	效果
建筑能耗标准	提高建筑能效	所有 IEA 国家	消费难以预测、缺乏信息、分散	克服市场障碍非常有效;是提高新建建筑绝热性能的低成本方法;提供长期信号;易适应地区条件
器具能效标准	提高新器具能效	美国、欧盟、日本	分散	缺乏足够的信息,难下结论;大多数国家对能效标识更感兴趣
新轿车燃料效率标准	提高轿车能效	9 个国家,只有美国强制执行		针对汽车厂和进口商;油价下降时难以实施;指令性和自愿执行的计划均已实现

(六) 能源效率标识

能源效率(能效)标识(energy – efficiency labels)是附在产品上的信息标签,用来表示产品的能源性能(通常以能耗量、能源效率和/或能源成本的形式给出),以便在消费者购买产品时,向消费者提供必要的信息。能效标识可分为保证标识、比较标识和单一信息标识三类。

保证标识实质上是根据特定的标准所做的“认可标志”。比较标识是一种为消费者提供信息的标识，可以让消费者通过性能等级或标尺对同类产品的性能进行比较。单一信息标识只提供与产品性能有关的数据。

能效标识可以单独使用，也可以作为能效标准的补充。能效标识提供的信息可以使消费者选择能效更高的产品型号。同时，标识也提供了一个公认的能效基准，使电力公司和政府节能机构能够更容易地鼓励消费者购买能效高的产品。能效标识的实施效果在很大程度上依赖于电力公司和政府节能机构向消费者提供信息的方式。

（七）能效标准交易

能效标准交易（energy - efficiency standards trade）是美国对新轿车达不到燃料效率标准所采取的灵活实施措施，主要是指借鉴 SQ2 排放权交易的经验，实行新轿车燃料效率标准交易，即新车燃料效率比标准高的厂商，可将其节余的额度出售给未达标的厂商。

八、能源效率是优质资源

大多数情况下，国内大型工业企业增加企业效益最直接、最主要且优先选择的手段仍然是扩大再生产。依靠提高能源效率来增加企业效益的方式则位居次位。该现象从另一个侧面也说明，中国的经济增长方式总体上仍然没有完全走出以高增长、高消耗、粗放扩张为主的模式。

目前，中国高耗能行业单位产品能耗比世界先进水平平均高出 40%，如果能源效率达到世界先进水平，按单位产品能耗和终端用能设备能耗计算，每年的节能潜力可达 3 亿吨标准煤。这也足以说明，能源效率是一项巨大、优质的资源。

事实上，改革开放以来，中国国内提高能源效率的工作已经取得了明显的成效。从单位产值能耗看，按 1990 年不变价格计算，每万元 GDP 能耗从 1990 年的 5.3 吨标准煤下降到 2005 年的 2.7 吨标准煤，下降近 50%；从单位产品能耗看，2005 年与 1990 年相比，火电供电煤耗由每千瓦时 427 克标准煤下降到 374 克标准煤，吨钢可比能耗由 997 千克标准煤下降到 760 千克标准煤，水泥综合能耗由每吨 201 千克标准煤下降到 153 千克标准煤。1990 年至 2005 年期间，能源消费以年均 5.5% 的增长速度支持了国民经济 9.7% 的增长速度。能做到这一点，对于一个经济快速增长的国家来说绝非易事。

尽管如此，改进能源效率仍面临两方面的困难：首先是产业结构中高耗能的第二产业比重偏大，低耗能的第三产业比重偏小；其次，以煤为主的能源消费结构在短时间内难以根本改变。

由此来看，调整产业结构和能源消费结构是国内提高能源效率的长远目标，真正实现仍需假以时日。现阶段来讲提高能源效率应该从以下几方面着手：首先，能源效率是一项巨大、廉价、清洁的优质资源，能源效率优先应成为长期的国策，以应对能源供给压力，为此应强化节约能源和高效利用能源的政策导向，采取更加有效的政策措施，从管理和技术上做出更加积极的努力；其次，在法律法规方面，应制定并颁布《能源法》（2008 年 2 月 1 日完成了征求意见），将能源管理全部纳入法制化管理，从立法的高度保障经济能源安全，并长期贯彻执行；第三，以《可再生能源法》（2005 年 2 月颁布）和《节约能源法》（2007 年 10 月 28 日通过）为核心，建立和完善相配套的法规标准的节能法律法规体系。

在中国能源消费构成中，工业能耗占能源消费总量的 70.4%，所以，提高能源利用效率，降低能源消耗，关键是降低工业能耗。应制定《节能设备（产品）目录》，重点是终端用能设备，对生产或使用节能产品实行鼓励政策，并将节能产品纳入政府采购目录。国家对一

些重大节能工程项目和重大节能技术开发示范项目，给予投资和资金补助或者贷款贴息支持。

此外，还应建立终端用能设备能耗标准和标识体系。依据中国经济技术发展水平，对主要耗能产品制定和实施国家强制性能效标准，包括能耗设备、家用电器、照明器具、机动车等方面的能效标准。对节能潜力大、使用面积广的用能产品实行统一的强制性能效标识制度，为用户和消费者的购买决策提供必要的信息，引导用户和消费者选择高效节能产品。

加快改进能源效率技术的开发示范和推广，也是现阶段提高能源效率的显著手段之一。最主要的应该是建立节能共性技术和通用设备科研基地，鼓励依托科研单位、企业和个人开发先进节能技术和高效设备，引入竞争机制，对高投入、高风险的项目政府给予经费支持。

虽然通过政府层面的管理和技改手段可以降低部分能耗，但从具体实施者——用能企业的角度来看，许多节能措施和技术一直停留在理论探讨层面，还没有实现观念的实质转变。观念不到位，措施就难以到位；如果观念到位，措施到位，实施目标的手段才会更加明确。所以，用能企业为了自身的生存与发展，以及提高核心竞争力，必须切实关注如何在本企业实现提高“能源效率”，降本增效促发展。

第二节 能源计量与集成

大型炼化企业内部的能源计量工作是一项复杂而细致的工作，每天需要统计、计量大量的数据。由于数据量大，人工计量、抄表、统计出错在所难免，企业每年因此蒙受很大的损失。另外，在水、电、汽等能源的存储、运输、使用和消耗过程中，各类跑、冒、滴、漏现象也普遍比较严重。如何对其进行行之有效的计量和监控，是炼化企业必须考虑的问题。

与此同时，炼化企业内部各个生产过程都应采用节能技术、节能工艺及使用再生能源，避免能量的损耗；其次，应该按照企业之间、工艺流程之间能量需求的高低不同，形成能量的梯级使用，在不增加能量消耗的前提下，满足各个企业生产用能的需要，从而有效地提高能量的利用率；第三，各炼化企业尽量使用清洁能源，使用集中供热和热电冷联产，以最大限度地节约能源。

一、能源计量单位

能源计量单位(unit of energy)表示能源的量的计量单位。具有确切定义和当量值的能源(能量)单位主要有焦耳(J)、千瓦时(kW·h)、卡(cal)和英热单位(Btu)，它们之间可以相互换算，如表1-2所示。

表 1-2 能源计量单位的转换

项 目	FJ	GJ	MJ	kW·h	kcal	Btu
FJ(百万兆焦耳)	1	1.0×10^6	1.0×10^9	2.78×10^8	2.389×10^{11}	9.48×10^{11}
GJ[兆(十亿)焦耳]	1.0×10^{-6}	1	1.0×10^3	277.77	2.389×10^5	9.48×10^5
MJ(百万焦耳)	1.0×10^{-9}	1.0×10^{-3}	1	0.278	238.9	948
kW·h(千瓦时)	3.6×10^{-9}	3.6×10^{-3}	3.6	1	860	3412
kcal(千卡)	4.187×10^{-12}	4.187×10^{-6}	4.187×10^{-3}	1.17×10^{-3}	1	3.968
Btu(英热单位)	1.055×10^{-12}	1.055×10^{-6}	1.055×10^{-3}	2.93×10^{-4}	0.252	1

按照《中华人民共和国法定计量单位》的规定，J 和 kW·h 是许用单位。cal 和 Btu 是不允许使用的单位(1986 年起)。

国际能源机构(IEA)对成员国能源统计指标的定义、计算方法和计量单位作了统一规定。IEA 采用的能源统计方法适用于欧盟和联合国统计,因此是国际通用的方法。IEA 对能源计量单位的规定如下:

(1) 编制能源平衡表,采用吨油当量(toe)为计量单位;

(2) 一次能源供应。化石燃料按净热值计量,燃料的净热值等于总热值减去燃烧产生的气体中的水蒸气凝结成液体的潜热,该部分潜热实际上未被利用。天然气的这一潜热约占总热值的 9%~10%,石油和煤炭约占 5%。煤炭、原油、天然气的净热值按燃料质量、工艺流程和用途确定,各国不同。石油制品则采用统一换算系数;

(3) 核电和水电产量和消费量按现代火电厂转换效率 33% 计算热当量,地热发电按平均热效率 10% 计算。

目前,中国通常仍采用煤当量(标准煤)作为各种能源的统一计量单位。在能源平衡表中水电和核电按照火电厂当年生产 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 电实际消耗的燃料的平均煤当量值来计算。

二、能源质量

能源质量一般采用油当量(oe; oil equivalent)(俗称标准油)和煤当量(ce; coal equivalent)(俗称标准煤)来考察,即按石油或煤的热当量值作为计算各种能源的能源计量单位。国际能源机构(IEA)规定, 1kg 油当量(1kgoe) = 10000kcal (41868kJ 或 41.9MJ); 1kg 煤当量(1kgce) = 7000kcal (29307kJ 或 29.3MJ)。此规定适用于经济合作与发展组织和联合国统计,因此是世界通用的。

目前,国际上通常采用油当量。煤炭、原油和天然气换算成油当量或煤当量的系数,各国不相同,而且按品种和用途细分,并随时间变化。例如,据以计算换算系数的发电用煤的热值,2003 年,澳大利亚 27.6MJ/kg (6600kcal/kg),日本 24.25MJ/kg (5795kcal/kg),美国 23.25MJ/kg (5556kcal/kg)。

中国仍采用煤当量(即标准煤)作为计算各种能源的计量单位。 $1\text{kgce} = 29.3\text{MJ/kg}$ 。原煤换算成煤当量时,按平均热值 20.9MJ/kg (5000kcal/kg)计算,换算系数为 0.714;原油热值按 41.8MJ/kg (10000kcal/kg)计算,换算系数为 1.429;天然气热值按 39.0MJ/m^3 (9310kcal/m^3)计算,换算系数为 1.33。

除采用通用的油当量和煤当量对能源质量进行考量外,还应考虑电能质量以及与其相关的一系列基本概念。

(一) 电能质量

电能质量(quality of electric energy)是电力系统对用户供电的规范条件。在一个理想的交流电力系统中,电能是以一恒定的工业频率(50Hz 或 60Hz)和正弦的波形,按规定的电压水平向用户供电。在三相交流电力系统中各相电压的电流应该是幅值相等,相位差 120° 的对称状态。所以,电能质量一般用频率、电压波形和三相电压、电流的不对称来衡量。各国和各电力系统为了保证电气设备的正常运行,都规定了相应的频率和电压质量标准,以及电力系统谐波的规定和电力系统不对称度的标准。

此外,电力系统频率的波动、电压的波动和闪变(波动的幅值和频率)、直流输电系统中的电压脉动以及供电的连续性(年不停电时间)等也都是考核电能质量的指标。

(二) 发电煤耗

发电煤耗(gross coal consumption rate)又称发电标准煤耗,为火力发电厂每发 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 电能平均耗用的标准煤量。其计算式为: