

炼油厂设计与工程丛书

炼油厂节能设计 方法与技术

丛书主编 李国清

本书主编 魏志强

本书主审 孙丽丽



中國石化出版社

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

炼油厂设计与工程丛书

炼油厂节能设计 方法与技术

丛书主编 李国清

本书主编 魏志强

本书主审 孙丽丽

中国石化出版社

内 容 提 要

本书系统地总结了近年来炼油厂节能设计的最新方法与技术。内容包括能量分析与焓分析、夹点技术与换热网络优化设计、炼化企业节能设计与用能优化、设计能耗计算方法、固定资产投资项目节能审查。

本书可以供从事炼油厂节能设计、工程设计、生产操作和管理的相关人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

炼油厂节能设计方法与技术 / 李国清主编; 魏志强分册主编. —北京: 中国石化出版社, 2018. 8

(炼油厂设计与工程丛书)

ISBN 978-7-5114-4911-5

I. ①炼… II. ①李… ②魏… III. ①炼油厂-节能-设计 IV. ①TE68

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 157901 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: 北京市朝阳区吉市口路 9 号

邮编: 100020 电话: (010) 59964500

发行部电话: (010) 59964526

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

E-mail: press@sinopec.com

北京柏力行彩印有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 13.25 印张 347 千字

2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷

定价: 58.00 元

《炼油厂设计与工程丛书》编委会

主任：李国清

副主任：孙丽丽 王子康

顾问：徐承恩

委员：(按姓氏笔画排列)

于鸿培 王玉翠 王青川

计鸿谨 刘丽生 孙毅

李家栋 吴向东 余齐杰

张伟 张力克 张京生

张晓华 张德姜 陈争荣

陈瑞金 郑学鹏 孟庆海

赵文忠 胡德铭 侯凯锋

徐建棠 黄少敏 曹益新

彭丹心 韩宇丽 魏志强

前 言

经过 60 余年的发展，我国已经成为世界第二炼油大国，国产化技术名列世界前茅，积累了丰富的工程设计建设经验。为了更好地指导生产实验，努力提高炼油水平，更好地为建设世界一流能源化工公司服务，出版该套介绍炼油厂各专业工程设计内容及程序的《炼油厂设计与工程丛书》十分迫切、十分必要。

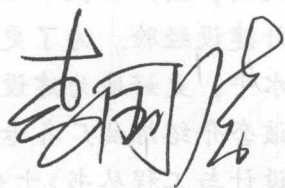
炼油工业是国民经济的支柱产业之一，我国炼油工业依靠独立自主、自力更生，不断创新和发展，目前总体技术处于世界先进水平，并仍在蓬勃发展中。据统计，2016 年我国的原油一次加工能力已达到 7.8 亿吨，仅次于美国。我国炼油企业和炼油厂的发展步伐明显加快，炼油厂的规模不断扩大，炼化一体化程度不断提高，炼油基地化发展迅速，在国际炼油业中的地位不断提升。截至 2017 年年底，我国已拥有千万吨级炼厂 30 座。炼油行业正坚定地走在装置大型化、炼化一体化、发展集约化的道路上。

本丛书共 20 个分册，系统介绍了有关炼油厂各专业范围的工程设计内容及程度，包括：炼油厂厂址选择及总图、总工艺流程、非工艺类专业领域详细设计技术、管道设计、安全与环保、经济评价等。

本丛书编著工作由一批长期工作在炼油厂设计一线的技术骨干和专家共同完成，他们具有较高的理论水平

和丰富的实践经验，因而本丛书内容贴近设计和生产实际，不仅具有新颖性和创新性，而且具有实用价值。

由于参与编写的专业面广，编写人员较多，会在编制内容上出现重复或遗漏，不妥之处请各位读者批评指正。



目 录

第一章 节能基础	(1)
第一节 基本概念	(1)
一、节能	(1)
二、能源消耗评价指标	(5)
第二节 热力学定律	(14)
一、热力学第一定律	(14)
二、热力学第二定律	(20)
第三节 焓的计算	(23)
一、基准态与焓的基本公式	(23)
二、物理焓的计算	(28)
三、化学焓的计算	(37)
第四节 过程系统能量结构模型	(52)
一、过程能量演变	(52)
二、能量结构模型	(53)
三、三环节能量流结构模型	(54)
第二章 能量分析与焓分析	(62)
第一节 三环节能量平衡计算方法	(62)
一、三环节模型	(62)
二、能量平衡关系和评价指标	(66)
三、焓平衡关系及其评价指标	(67)
第二节 工艺装置能量平衡计算	(70)
一、能量转换环节	(70)
二、能量利用环节	(73)

三、能量回收环节	(75)
四、全装置平衡汇总	(78)
第三节 公用工程系统的能量平衡	(79)
一、供热系统的能量平衡	(79)
二、供电系统的能量平衡	(84)
三、供水、供风系统的能量平衡	(86)
第四节 辅助系统的能量平衡	(87)
一、储运系统	(88)
二、污水处理系统	(89)
第五节 全厂能量平衡计算与能耗评价方法	(90)
第三章 夹点技术与换热网络优化设计	(98)
第一节 夹点技术	(98)
一、温焓图和组合曲线	(98)
二、夹点的形成	(100)
三、问题表格法	(101)
四、夹点的意义	(105)
第二节 换热网络优化设计	(106)
一、夹点技术优化设计换热网络	(106)
二、考虑工艺产汽的换热网络优化设计	(113)
三、案例研究	(118)
第三节 阈值问题换热网络优化设计	(128)
一、阈值问题	(128)
二、热端阈值问题换热网络设计方法	(129)
三、案例研究	(132)
第四节 全局热集成优化设计	(138)
一、全局热集成	(138)
二、炼油工艺装置热集成基础	(139)
三、炼油多装置热集成策略	(142)

四、案例研究	(144)
第四章 炼化企业节能设计与用能优化	(155)
第一节 炼化企业创新系统化节能设计与用能优化	(155)
一、方法	(156)
二、能源规划	(157)
三、能量集成	(158)
四、单元强化	(159)
五、应用案例	(159)
第二节 工艺装置节能设计与用能优化	(164)
一、工艺装置节能技术	(165)
二、工艺装置节能工作指南	(166)
第三节 蒸汽系统节能设计与用能优化	(189)
一、蒸汽平衡	(189)
二、驱动设备蒸汽优化	(200)
三、蒸汽动力系统优化案例	(203)
第四节 储运系统节能设计与用能优化	(212)
一、储运系统节能技术	(212)
二、储运系统节能实例	(215)
第五节 氢气系统节能设计与用能优化	(218)
一、氢气平衡与氢资源合理利用	(218)
二、氢气管网压力设置	(224)
三、炼厂油品质量升级过程的氢气系统优化与改进	(230)
第六节 低温热系统节能设计与用能优化	(234)
一、低温热资源的特点与分布	(234)
二、大系统回收低温热	(236)
三、低温热利用原则	(239)
四、低温热利用方式	(239)

第七节	循环水系统节能设计与用能优化	·····	(247)
一、	炼油企业循环水分布	·····	(247)
二、	炼油企业循环水节能设计	·····	(252)
三、	炼油企业循环水系统节能工作指南	·····	(254)
第八节	加热炉节能设计	·····	(269)
一、	加热炉节能措施	·····	(269)
二、	加热炉节能案例	·····	(276)
第五章	设计能耗计算方法	·····	(280)
第一节	石油化工设计能耗计算标准	·····	(281)
一、	术语	·····	(281)
二、	基本规定	·····	(282)
三、	能耗计算	·····	(285)
四、	炼油单位因数能耗计算	·····	(289)
第二节	炼油单位产品能源消耗限额	·····	(293)
一、	范围	·····	(293)
二、	技术要求	·····	(294)
三、	统计范围	·····	(294)
四、	炼油工艺装置能量系数	·····	(295)
第三节	乙烯单位产品能源消耗限额	·····	(299)
一、	范围	·····	(299)
二、	术语和定义	·····	(300)
三、	技术要求	·····	(300)
四、	统计规范和计算方法	·····	(301)
第四节	计算实例	·····	(305)
一、	炼油单位能耗	·····	(305)
二、	炼油单位因数能耗	·····	(311)
三、	炼油工艺装置与系统能耗	·····	(314)
四、	乙烯装置能耗	·····	(331)

第六章 固定资产投资项目节能审查	(334)
第一节 固定资产投资项目节能审查办法	(334)
第二节 节能报告的推荐编制方法	(337)
一、评估依据	(337)
二、基本情况	(338)
三、建设方案节能审查	(339)
四、节能措施评估	(344)
五、项目能源利用状况核算及能效水平评估	(346)
六、项目能源消费影响评估	(353)
七、结论	(360)
八、项目摘要表	(360)
九、评估概要	(362)
第三节 能源统计与综合能源消费量	(363)
一、能源统计基本概念	(363)
二、能源消费统计	(364)
三、项目年能源消费统计表	(368)
四、综合能源消费量与综合能源消耗量	(368)
五、工艺装置综合能源消费量	(373)
第四节 能源计量	(378)
一、能源计量的作用	(379)
二、能源计量的单位	(380)
三、能源计量器具配备	(386)
四、能源计量管理	(389)
第五节 能量平衡表与能量平衡网络图	(392)
一、能量平衡的基本知识	(392)
二、企业能量平衡表	(397)
三、能量平衡网络图	(403)
参考文献	(408)

第一章 节能基础

第一节 基本概念

一、节能

(一) 基本概念

《中华人民共和国节约能源法》中定义，节能是指加强用能管理，采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施，从能源生产到消费的各个环节，降低消耗，减少损失和污染物排放、制止浪费，有效、合理地利用能源。其中，由于能源转换和终端利用环节技术改进而导致能耗下降，称之为技术节能或直接节能；由于产品附加值提高，产品结构和产业结构调整而导致能耗下降，称之为结构节能或间接节能。

(二) 节能量

节能量又称能源节约量，指统计期内（通常是一年）满足同等需求或达到同样目的条件下，能源消耗量节约或减少的数量。是实际能源消耗量与基准期能源消耗之间的相对差值。因此节能量是一个相对的比较量，对比的基准不同，其数值也不同。

根据国家标准，企业计算节能量的方法有如下几种：

(1) 按单位产品能耗计算节能量。

按单位产品综合能耗算出的节能量计算公式如式(1-1)所示：

$$\Delta E_c = \sum_{i=1}^n (e_{bi} - e_{ji}) M_{bi} \quad (1-1)$$

式中 ΔE_c ——企业产品总节能量，tce，负值表示节能；

e_{bi} ——统计报告期第 i 种产品的单位产品综合能耗, tce;

e_{ji} ——基期第 i 种产品的单位产品综合能耗, tce;

M_{bi} ——统计报告期内产出第 i 种合格产品数量;

n ——统计报告期内企业生产的产品种数。

(2) 按产值计算节能量。

产值节能量是用企业单位产值(或增加值)综合能耗计算出来的节能量。其计算公式如式(1-2)所示:

$$\Delta E_g = (e_{bg} - e_{jg}) G_b \quad (1-2)$$

式中 ΔE_g ——企业产值(或增加值)总节能量, tce, 负值表示节能;

e_{bg} ——统计报告期企业单位产值(或增加值, 可比价)综合能耗, tce/万元;

e_{jg} ——基期企业单位产值(或增加值, 可比价)综合能耗, tce/万元;

G_b ——统计报告期内产出的产值(或增加值, 可比价), 万元;

(3) 按技术措施计算节能量。

技术措施是指设备更新、改造和采用新工艺等措施。某项技术措施实施后比采取该措施之前生产单位产品能源消耗减少的数量, 称为该项技术措施节能量。各项技术措施节能量之和等于企业技术节能量, 可用于评价企业技术措施总节能效果。其计算公式如式(1-3)所示:

$$\Delta E_t = \sum_{i=1}^r (e_{thi} - e_{thi}) P_{thi} \quad (1-3)$$

式中 ΔE_t ——多项技术措施总节能量, tce/a;

e_{thi} ——第 i 种单位产品(工件)的生产(加工), 采取某项技术措施前所消耗的能源量, tce/单位产品;

e_{thi} ——第 i 种单位产品(工件)的生产(加工), 采取某项技术措施后所消耗的能源量, tce/单位产品;

P_{thi} ——第 i 种单位产品(工件)的生产(加工),采取某项技术措施后一年共生产(加工)出该产品(工件)的数量, t (件、箱等);

r ——企业技术措施项目数。

(4) 按产品质量计算节能量。

企业产品结构节能量是指企业生产的各种产品比重发生变化所形成的能源消耗减少量,该指标是分析企业改善经营管理,提高能源利用效率的指标,其表达式如式(1-4)所示:

$$\Delta E_{cj} = G_z \times \sum_{i=1}^n (K_{bi} - K_{ji}) e_{jgi} \quad (1-4)$$

式中 ΔE_{cj} ——企业产品结构节能量, tce ;

G_z ——统计报告期总产值(或增加值,可比价),万元;

K_{bi} ——统计报告期替代第 i 种产品产值占总产值(或总增加值,可比价)比重, %;

K_{ji} ——基期第 i 种产品产值占总产值(或总增加值,可比价)比重, %;

e_{jgi} ——基期第 i 种产品的单位产值(或增加值)综合能耗, $tce/$ 万元;

n ——统计报告期内企业生产的产品种数。

(三) 节能率

节能率是指节能量与比较基准期内相应能源消费量之比,是反映能源节约程度的综合指标,表示所采取节能措施对能源消费的节约程度,也可以理解为能源利用水平提高的幅度。计算公式有如下两种表述:

(1) 以单位产品(产值)能耗表示:

$$\text{节能率} = \frac{\text{单位产品(产值)能耗的降低数}}{\text{基准期的单位产品(产值)能耗}} \times 100\%$$

(2) 以能源利用效率表示:

$$\text{节能率} = \frac{\text{比较期末的能源利用效率比初期的提高值}}{\text{比较期初的能源利用效率}} \times 100\%$$

(四) 能源强度

能源强度也称“单位产值能耗”。是指一个国家或地区、部门或行业，一定时间内单位产值能耗的能量，通常以 t(或 kg)油当量(或煤当量)/万元来表示。一个国家或地区的单位产值能耗，通常以单位国内生产总值能耗来表示，它反映经济对能源的依赖程度，以及能源利用的效益。

(五) 能源效率

能源效率分为开采效率、加工和转换效率、储运效率以及终端利用效率。通常所说的“能源效率”指后 3 个环节的总效率，4 个环节的效率的乘积是“能源系数总效率”，即为终端用户提供服务的效率。研究节能问题应从能源系统的全过程系统地分析“能源系统总效率”。

开采效率即回采率或采收率，用从一定能源储量中开采出来的产量的热值与储量的热值之比来衡量。

能源加工与转换是密切相关的，“加工”是指煤、石油、天然气、铀矿等的精选和炼制，“转换”则包括炼焦、发电、产热以及汽化和液化等一次能源变成二次能源的过程。“加工和转换效率”是加工和转换出来的能源产量与投入的能源产量之比，其差额即加工转换过程中的损失和耗用的能源。

储运效率用能源输送、分配和储存过程中的损失来衡量，一般不包括自身消化的能源，但输电线路中变压器和管道输送泵所消耗的能源要计算在内。

终端利用效率是终端用户得到的有用能与过程开始时输入的能源量之比。

终端利用效率的计算是个复杂的问题。因为终端用户所需的能源服务通常是以热、光或机械能的形式提供的。从物理观点看，这些能源是全部用完的，即输出等于输入，效率为 100%。从不同角度来计算终端利用效率，相差极大。例如，白炽灯输出的有用能，按光通量计算，效率很低；若按发出的热量计算，效率高达 95% 以上。因此，由于一些国家计算方法不同，会有很

大出入，进行国际比较就很困难。以上3项终端用途的能源消费量约占一次能源总消费量的30%，对总的能源效率有很大影响。

正确计算能源效率水平，可以预测能源系统各环节的节能潜力，各项主要技术的进展及节能率，推广应用的范围和经济性，为节能规划提供依据。

二、能源消耗评价指标

(一) 能耗评价指标

炼化企业能耗可分为两大类，一类是单项能耗，另一类是综合能耗，如图1-1所示。

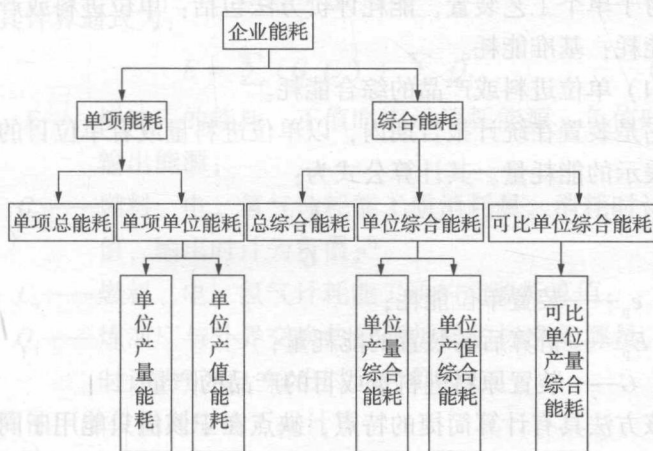


图 1-1 企业能耗分类框架图^[1]

能耗评价方法建立的前提是对能耗进行合理计算，能耗计算包括以下内容：

(1) 实际能耗。

以实际计量的燃料、蒸汽、电、耗能工质的实耗量为基础，结合企业能耗折算系数计算能耗量。实际能耗反映了企业的实际能耗状况，是一个实数。

(2) 对比能耗。

以实测量的燃料、动力实耗量为基础，采用统一折算系数计算的能耗量。它用于计算装置、系统和企业内部的能耗，也用于同类型装置能耗的对比和分析。对比能耗是虚数。

(3) 能耗指数。

是衡量企业能耗水平的一个指标。

(4) 节能量。

狭义上节能量是指企业在生产过程中节约直接消耗的有形能源，如直接节约煤、油、水、电、汽等。广义是包括狭义节能和间接消耗能源的无形节能，旨在降低生产过程中的全部能耗。

(二) 工艺装置的能耗评价指标

对于单个工艺装置，能耗评价方法包括：单位进料或产品的综合能耗；基准能耗。

(1) 单位进料或产品的综合能耗。

它是装置在统计报告期内，以单位进料量或者单位目的产品产量表示的能耗量。其计算公式为：

$$e_p = \frac{E_p}{G} \quad (1-5)$$

式中 e_p ——装置单位能耗；

E_p ——折算后的装置的能耗量；

G ——装置原料进料量或目的产品的产量。

该方法具有计算简捷的特点，缺点在于该值只能用于同个装置不同时期且原料基本一致的情况下的能耗对比，横向对比时，可比的合理性值得商榷。

(2) 基准能耗。

中国石化制定了部分炼油装置的基准能耗计算导则^[2]。通常用能耗因数 E_F 并结合装置与本基准能耗设定的条件对比，分析评价各装置的能量利用水平。

$$E_F = \text{实际能耗} / \text{校正后的基准能耗}$$

实际能耗中不计热出料和低温热输出，也不包括伴热和采暖用蒸汽，这部分蒸汽可在全厂性管理耗能指标中加以控制。 E_F