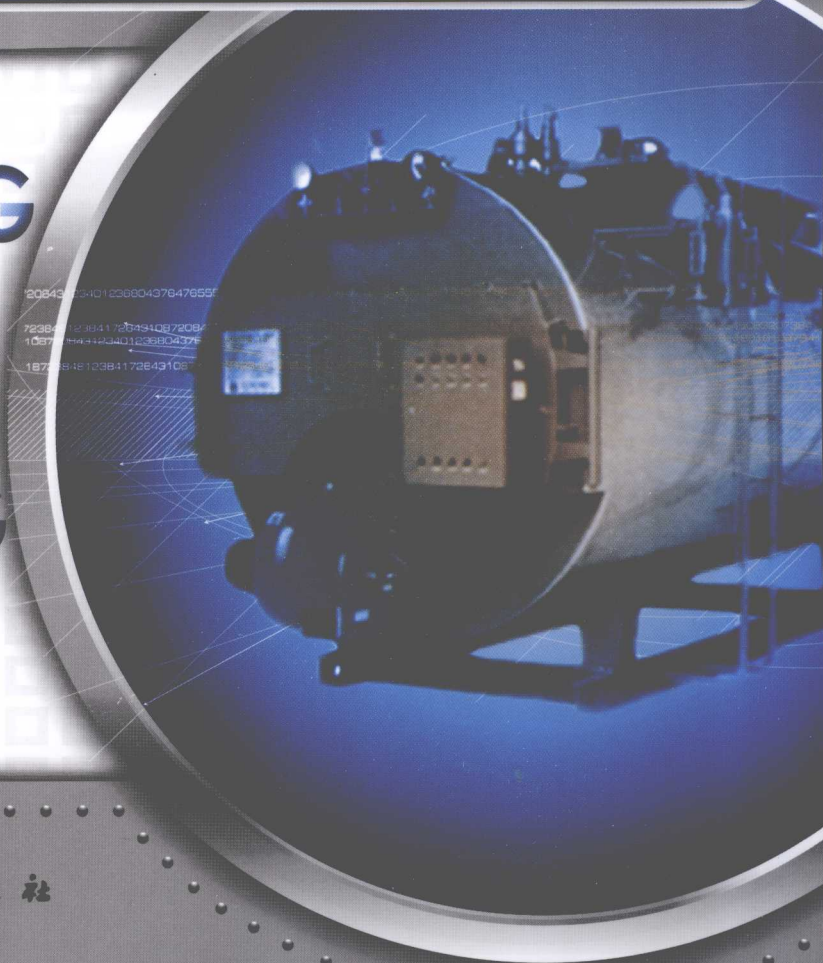


热工设备 节能技术

李沪萍 向 兰 夏家群 等编

REGONG
SHEBEI
JIE NENG
JISHU

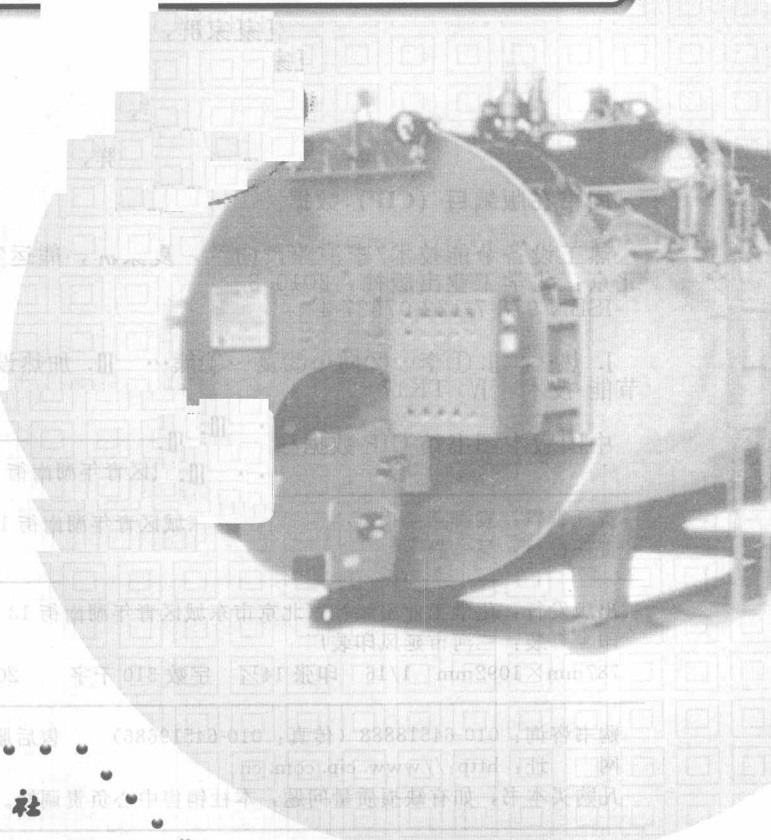


化学工业出版社

热工设备 节能技术

• 李沪萍 向 兰 夏家群 熊运实 编 •
罗康碧 审

REGONG
SHEBEI
JIEJING
JISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

能源问题是国家高度重视的问题之一。本书从我国能源特点和使用现状出发,简述了能源领域的发展前景和节能的必要性;结合节能基础知识,介绍了工业生产过程中主要热工设备的用能特点、相应的节能技术和方法、节能的途径及措施等内容。

全书共分六章,包括:能源及节能基础、燃料热工设备节能、耗电热工设备节能、热工设备余热资源的回收利用、耐火材料在热工设备中的应用、热工测量仪表及节能监测。

本书可作为企业、学校开展节能工作及节能技术开发等人员参考用书或教学、培训用教材,也可供化工、冶金、电力等领域的生产、科研和设计工作的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

热工设备节能技术/李沪萍,向兰,夏家群,熊运实编.
北京:化学工业出版社,2010.3
ISBN 978-7-122-07627-4

I. 热… II. ①李…②向…③夏…④熊… III. 加热设备-
节能-技术 IV. TK17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 009151 号

责任编辑:袁海燕
责任校对:吴 静

装帧设计:杨 北

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 310 千字 2010 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

我国能源面临严峻的形势，有一系列很难解决但必须解决的难题。六十年来，我国在能源方面取得了巨大的成绩，从一个原来在世界上能源所占份额微不足道的国家，变为一个举足轻重的能源生产与消费大国。我国能源以煤为主，石油、天然气等所占比例较小，且人均能源资源储量少，尤其是石油和天然气。1993 年我国从石油出口国变成净进口国，进口量逐年增长。我国煤储量虽然十分丰富，但人均也只有世界平均煤储量的 50%。

我国能源发展突出表现为能源的供需品种结构问题、地区性结构问题和结构性污染问题。从未来的发展看，今后相当长的时间内能源消费还将持续增长，而其中大部分需要通过增加煤炭产量来解决，这会使上述结构性矛盾更加尖锐，环境压力更大。

我国是一个能源利用效率比较低的国家，能源利用总效率只有 32%，单位国民生产总值能耗比先进国家高三倍，生产单位产品的能耗比国外高出 50%~100%。1980~2007 年，我国能源消费以年均 5.44% 的增长支撑了国民经济年均 9.78% 的增长。按 2005 年的价格计算，万元国内生产总值能源消耗由 1980 年的 3.39 吨标准煤下降到 2008 年的 0.95 吨标准煤，年均节能率 3.95%，扭转了近年来单位国内生产总值能源消耗上升的势头，且单位产品能耗明显下降，其中钢、水泥、大型合成氨等产品的综合能耗及供电煤耗与国际先进水平的差距不断缩小。但我国能源的合理转化和应用仍然具有巨大的潜力。如我国现有的 50 多万台工业锅炉和 10 多万台工业炉窑的热效率约为 60%~70%，与国外相比差 10%~15%。有资料显示，目前我国一次能源转换有 25% 的节能潜力，终端消费有 26% 的节能潜力，一次能源消费的平均节能潜力达 26%，节能前景十分可观。由于我国能耗的 70% 集中在冶金、化工、建材等工业领域，因此，工业被看成节能潜力最大的部门。

由于热工设备是节能技术实施的重点设备，因此，本书针对工业生产中的主要热工设备的节能技术进行了较全面的介绍，旨在为工业节能提供较系统的理论指导。全书共分六章，第一章介绍能源基本状况及与节能相关的基础知识；第二章介绍燃料热工设备的节能技术；第三章介绍耗电热工设备的节能技术；第四章介绍热工设备余热资源的回收和利用方法；第五章介绍在常用热工设备中应用耐火材料进行节能；第六章热工设备热平衡测试和节能监测中主要用的热工测量仪表及节能监测的主要方法。其中李沪萍编写第二章、第三章和第四章；向兰编写第一章；夏家群编写第五章；熊运实编写第六章。全书由罗康碧教授审订。

由于编者水平有限，不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者
2010 年 1 月

目 录

第一章 能源及节能基础	1
第一节 能源状况	1
一、能源种类	1
二、我国能源状况及特点	2
三、能源利用前景	3
四、热工设备节能的必要性	3
第二节 燃料的种类及组成	4
一、燃料的分类	4
二、燃料组成的表示方法	4
三、元素分析中组分的性质	8
第三节 常见燃料的基本性质	9
一、燃料的热值	9
二、煤的基本性质	11
三、燃料油的基本性质	14
四、气体燃料的基本性质	18
第四节 燃料的燃烧	23
一、燃烧的定义	23
二、内燃机和燃烧炉内的燃烧	24
三、燃烧装置的基本性能	25
第五节 热量传递的基本方式	26
一、热传导	27
二、热对流	28
三、热辐射	29
第六节 气体力学基础	30
一、气体的基本规律	30
二、气体静力学和动力学方程	31
三、通过炉门的逸气量	32
四、烟囱的工作原理及高度计算	33
五、火焰炉内气体的流动	35
第二章 燃料热工设备节能	41
第一节 传热的节能与强化	41

一、提高燃料的热利用率	41
二、热量的回收利用	41
三、减少热量传输过程中的热损失	42
四、减少换热器的压降损失	43
五、加强企业管理	43
六、提高传热系数	43
七、采用新型高效的传热元件与传热设备	44
八、应用热管技术	46
第二节 流体流动中的节能	46
一、降低流体在直管内流动时的焓损失	47
二、减少节流过程的焓损失	47
三、减阻剂的应用	47
第三节 工业炉窑的热过程及节能措施	49
一、燃料的燃烧过程	50
二、工业炉窑的热利用特点	51
三、工业炉窑的热损失	52
四、工业炉窑的节能措施	53
第四节 热工设备的热平衡	55
一、热工设备的热平衡基准	56
二、热平衡的计算方法	56
三、热工设备的热平衡测定	60
四、锅炉的热平衡试验	63
五、热平衡的能量分析	65
第五节 热工设备用燃烧装置	65
一、气体燃料燃烧装置	65
二、液体燃料燃烧装置	67
三、燃煤装置	67
第六节 局部增氧助燃技术	68
一、局部增氧助燃技术概述	68
二、局部增氧助燃技术的特点	69
三、局部增氧助燃技术的应用	70
第七节 节约和替代燃料油技术	72
一、机械行业燃油使用现状	72
二、节约燃料油的措施	73
三、替代燃料油的燃料	74
第八节 热工设备的节能途径	75
一、热工设备节能方案的选择	76
二、热工设备合理用热的选择方法	77
三、热工设备节能的途径	78

第九节 锅炉的节能途径	87
一、工业锅炉的节能改造	87
二、锅炉热能的合理利用	88
第十节 磷肥高炉的节能途径	90
一、磷肥高炉热能利用分析	90
二、磷肥高炉的节能途径	91
第三章 耗电热工设备节能	95
第一节 节约用电基础知识	95
一、概述	95
二、节约用电措施的制定和实施	96
三、电能管理体系	98
第二节 电阻炉的节电	99
一、电阻炉概述	99
二、电阻炉的节电技术	100
第三节 电弧炉的节电	102
一、炼钢电弧炉的节电技术	103
二、铁合金矿热电炉的节能技术	105
第四节 黄磷电炉的节能	108
一、黄磷的物理化学性质	108
二、制磷的理论基础	108
三、制磷的工艺过程及主要设备	109
四、制磷工业的发展前景	112
五、黄磷炉渣的利用	113
第五节 铝电解生产节能	114
一、铝的基本性质	114
二、铝电解生产过程	115
三、铝电解过程的节能	121
第四章 热工设备余热资源的回收利用	124
第一节 余热资源及利用方式	124
一、余热资源的定义	124
二、余热资源的来源及其分类	124
三、余热资源利用的前提	127
四、余热资源的利用方式	130
第二节 热工设备主要余热利用装置	131
一、工业炉窑余热利用的主要形式	131
二、换热器	133
三、蓄热室	140

四、余热锅炉	141
五、高效隔热材料的采用	144
六、减少水冷元件	145
第三节 蓄热式燃烧技术及蓄热式工业炉	145
一、蓄热燃烧技术概述	146
二、高效蓄热式工业炉	147
第四节 蒸汽蓄热器	155
一、蒸汽蓄热器的优点	155
二、蒸汽蓄热器的工作原理与热力计算	156
三、蒸汽蓄热器的结构及运行	159
四、蒸汽蓄热器的应用实例	160
第五节 模糊控制技术节能	162
一、模糊控制技术简介	162
二、模糊控制在节能方面的应用	163
第六节 干燥过程的节能	164
一、干燥原理与特点	164
二、热泵干燥装置的原理与流程	166
三、各种干燥器能耗的比较	167
四、减少干燥过程能耗的途径	170
五、干燥装置实施节能示例	171
第七节 蒸发操作的节能	172
一、低温余热的利用	172
二、多效蒸发的讨论	172
三、热泵蒸发的应用	174
四、渗透蒸发膜分离技术	174
第五章 耐火材料在热工设备中的应用	176
第一节 炼铁生产用耐火材料	176
一、高炉	176
二、高炉热风炉	178
三、混铁炉和混铁型铁水罐	179
四、焦炉	180
五、直接制铁用耐火材料	180
六、铁矿石原料烧结装置用耐火材料	180
第二节 炼钢设备用耐火材料	180
一、电弧炉	180
二、氧气转炉	182
三、感应炉	183
第三节 铸锭及连续铸钢用耐火材料	184

一、钢包	184
二、浇钢用耐火材料	186
三、连铸过程及耐火材料	187
第四节 轧钢用耐火材料	189
一、加热炉	189
二、均热炉	193
第五节 有色冶金用耐火材料	194
一、炼铝用耐火材料	194
二、炼镍用耐火材料	195
三、炼铜用耐火材料	196
四、炼铅用耐火材料	197
五、炼锌用耐火材料	198
第六章 热工测量仪表及节能监测	200
第一节 压力测量仪表	200
一、压力测定常用仪表	200
二、压力计和压差计的选用	200
第二节 温度测量仪表	202
一、温度测定常用仪表	202
二、温度仪表的选用	202
第三节 流量测量仪表	204
一、流量测量常用仪表	204
二、流量仪表的选择方法	204
第四节 流速测量仪表	207
一、流速测量常用仪表	207
二、流速测量仪表的选择方法	207
第五节 节能监测概述	208
一、节能监测的目的	208
二、节能监测的作用	208
三、节能监测是一项执法活动	209
四、节能监测执法主体与监测对象	209
五、节能监测的基本程序	209
第六节 节能监测的内容和要求	210
一、节能监测的内容	210
二、节能监测的要求	211
三、节能监测的技术条件	212
第七节 热力输送系统节能监测方法	212
一、主题内容与适用范围	212
二、引用标准	212

三、保温结构表面温升	212
四、节能监测内容	213
五、测试方法	213
六、节能监测合格指标	214
七、节能监测结果的评价	214
参考文献	215

第一章 能源及节能基础

第一节 能源状况

能源是指可用来产生机械能、热能、光能、电磁能、化学能等各种所需能量的自然资源，是人类赖以生存和发展工业、农业、交通运输、科学技术、军事国防，改善人民生活所必需的燃料和动力来源。因此，能源是人类生产和生活的重要物质基础。国家发展，企业生产，人民生活都必须有足够的能源做保证。

一、能源种类

目前，可供人类利用的能源很多，如薪柴、煤、石油、天然气、甲烷冰、水能、太阳能、风能、地热能、波浪能、潮汐能、海洋能、核能等。在各种能源中，太阳的能量最大，它每年投射到地球表面上的能量是我们每年所消耗能量的上万倍，它是无污染、可再生的能源。太阳能进入和离开地面的能流如图 1-1 所示。

能源的种类非常多，按生成方式可分为一次能源，二次能源。通常，把已可直接利

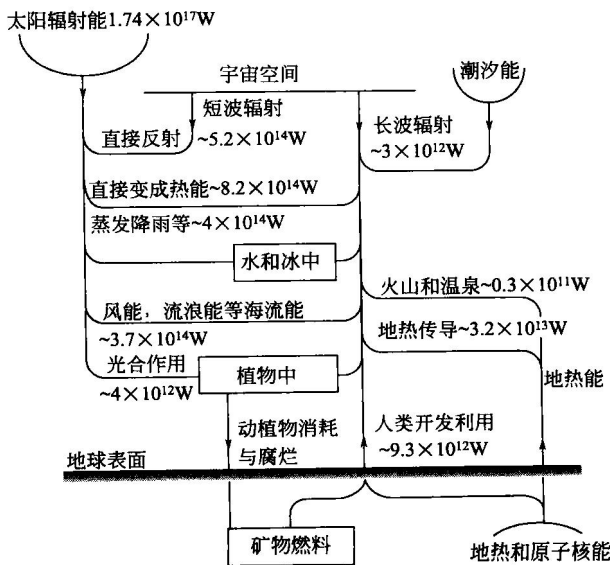


图 1-1 地球表面的能流

用的形式存在于自然界中的能源称为一次能源（如煤、石油、天然气、甲烷冰）；把需要用其它能源来制作或生产的能源称为二次能源（如焦炭、煤气等）。一次能源还可按其能否再生进一步分为再生能源和非再生能源。再生能源就是不会随着它本身的转化或人类的利用而日益减少的能源。非再生能源是指那些随着人类的开发利用而越来越少的能源，其分类如图 1-2 所示。

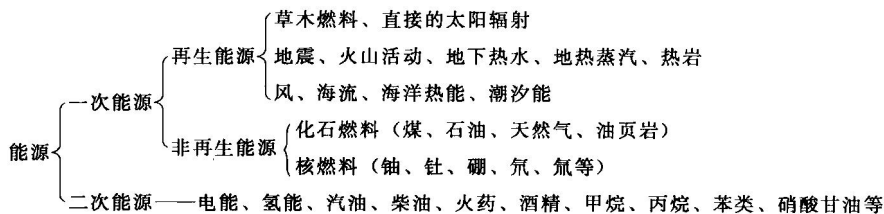


图 1-2 一次能源和二次能源、再生能源和非再生能源分类

二、我国能源状况及特点

我国能源资源丰富，一次能源储量居世界第三位。在我国已探明的一次能源资源储量中，煤炭资源总量为 5.6 万亿吨，占 94%；石油远景资源量为 1086 亿吨，占 5.4%；天然气资源量为 56 万亿立方米，占 0.6%。

2008 年，我国一次能源总产量达到 26 亿吨标准煤，消费总量为 28.5 亿吨标准煤，是世界第一大能源生产国和第二大能源消费国。在能源一次性消费中，煤炭占 70.2%，石油占 18.4%，天然气占 3%，水电占 6.6%，新能源、可再生能源量（不包括水电）约占 1.8%。

我国能源资源的基本特点是富煤、贫油、少气，这决定了煤炭在一次能源中的重要地位。

虽然我国能源资源总量较为丰富，但人均能源资源拥有量在世界上处于较低水平。我国是一个能源生产和消费大国，能源生产量仅次于美国和俄罗斯，居世界第三位；基本能源消费占世界总消费量的 1/10，仅次于美国，居世界第二位，但人均能源消费水平还很低，仅相当于世界平均水平的 3/4，人均石油消费只相当于世界平均水平的 1/2，石油人均进口量也只相当于世界平均水平的 1/4，远低于世界发达国家水平。

在能源发展方面，我国存在三大结构性问题：一是能源供需品种结构问题，即优质能源供应不足和以煤为主的一次能源生产结构，这不仅影响整个生产和技术的选择与效率，而且引起日益严重的环境污染；二是能源的地区性结构问题，主要表现在东南沿海地区的能源短缺和农村商业能源供给不足；三是结构性污染问题，由燃料结构引起的煤烟型污染和主要由电力、建材、钢铁、化工行业所主导的结构性污染占整个大气污染的 70% 左右。

在能源开发和利用方面，我国能源利用效率较低，与发达国家的差距还很大。在清洁能源开发、能源综合高效利用和环境保护领域内，与发达国家也存在着较大的差距。

三、能源利用前景

我国能源消费结构不断向优质化方向发展,煤炭在能源消费总量中所占比例从1952年的95.0%下降到2008年的68.7%,优质能源比例上升明显。

在优化一次能源结构的同时,我国致力于煤炭的高效清洁利用,提高煤炭加工转换比例,降低煤炭直接作为终端分散使用比例。

我国水能蕴藏总量达6.8亿千瓦,居世界第一位,可开发利用的约有3.8亿千瓦,但我国水能开发利用大大低于世界发达国家,甚至发展中国家的平均水平。以长江为例,目前已开发的水能只占长江总水能的5%。我国可开发利用的地表风电资源约为10亿千瓦,其中陆地2.5亿千瓦,海上7.5亿千瓦,如果扩展到50~60m以上高空,风力资源将有望扩展到20~25亿千瓦,目前我国开发的风能仅占可利用风能的6%。我国拥有丰富的生物质能资源,理论生物质资源为50亿吨标准煤左右,实现生物质发电550万千瓦装机容量是“十一五”规划的目标。我国2/3以上国土的年日照大于2200h,年辐射总量平均大于59亿焦耳/m²,是世界上最大的太阳能生产国之一,但开发利用率还不够高。

目前我国的可再生能源量在一次能源结构中的比例约为9%,包括水电、风电、太阳能发电、生物质发电,还有太阳能热水器、沼气等应用在内,可再生能源利用已经达到了2.46亿吨标准煤,但与国外相比差距仍很大,开发利用的前景十分巨大。

四、热工设备节能的必要性

世界性能源危机发生后,人们强烈地感受到世界经济的发展越来越受到能源短缺的威胁,而另一方面,人们发现现有的耗能设备和耗能方式竟使世界能源总量的50%~70%被白白浪费掉。

我国是一个能源利用效率比较低的国家,能源利用总效率只有32%,而日本、美国、德国的能源利用率达57%、50%、40%;我国单位国民生产总值能耗比先进国家高三倍,生产单位产品的能耗比国外高出50%~100%。我国现有的50多万台工业锅炉和10多万台工业炉窑的热效率约为60%~70%,与国外相比差10%~15%。由于我国能耗的70%集中在冶金、化工、建材等工业领域,其中,各类热工设备中工业炉所耗用的能源约占1/3,与发达国家的工业炉相比,炉窑平均热效率要比国外低20%左右,全国的工业炉窑如能平均节能10%,则节约的能源相当于1亿吨标准煤,可见工业炉窑的节能潜力是非常巨大的。

早在20世纪80年代初,我国就制定了“开发与节约并重,把节约放在首位”的方针。在“十一五”规划纲要中将单位GDP能源消费强度下降20%作为约束性指标。在一系列节能政策的指导下,我国实现了以能源消费翻一番支撑GDP翻两番的目标。1978~2008年的30年间,我国的GDP年均增长9.8%,一次能源消费年均增长5.5%,年均节能率3.9%,能源自给率保持在90%以上。虽然我国在节能方面制定了相关的法律法规,但有资料显示,目前我国在一次能源转换方面仍有25%的节

能潜力，终端消费有 26% 的节能潜力，一次能源消费的平均节能潜力达 26%，其节能前景十分可观。因此，对我国这样一个资源相对匮乏的国家来说，节能技术的进步对缓解我国能源紧张状况，减少污染物的排放，保持国民经济高速、稳定、协调发展具有重要意义。

第二节 燃料的种类及组成

在人类社会的发展中，热能具有极其重要的地位。它一方面可直接用于人类的生产和生活，另一方面它可以转化为其它形式的能量（如电能、机械能等）。长期以来，燃烧植物体燃料与矿物燃料是人类获得热能的主要手段。可以说，人类的文明是伴随着燃烧燃料以获得热能的过程发展起来的。

据统计，在 50 年前，世界范围内 99% 的能源是由燃烧提供的。随着水电、核电和其它新能源的发展，由燃烧提供的能源在可用总能源中所占的比例有所降低，但在大多数国家，尤其在发展中国家燃料燃烧仍起主要的作用。

一、燃料的分类

燃料是指能够通过燃烧而获得可用热能的物质。但并非可燃的物质都是燃料，燃料一词有着明确的行业使用背景。有些物质（如煤、石油）从热能利用的角度来说是燃料，但从工艺来说则是原料。

燃料的种类很多，按其形态可分为固体、液体和气体燃料三大类，按其来源可分为天然燃料和人造燃料两大类。

1. 固体燃料

常见的固体燃料有：煤（包括无烟煤、烟煤、褐煤）；煤的干馏残余物（包括焦炭、半焦炭等）；有机可燃页岩和泥炭；木柴、植物秸秆、木炭。

2. 液体燃料

常见的液体燃料有：石油及其炼制产品（包括汽油、煤油、柴油、重油、渣油等）；醇类（主要是甲醇和乙醇）；植物油（包括一些产油率较高但不宜食用的植物油和某些低等级植物油）。

3. 气体燃料

常见的气体燃料有：天然气（包括气田气和油田气）；液化石油气（即石油加工过程中的副产品）；人造煤气（主要有焦炉煤气、高炉煤气、发生炉煤气等）。

二、燃料组成的表示方法

实际使用的燃料都是复杂的混合物，其中有可燃组分和不可燃组分。为了有效、合

理地使用燃料，应当了解它们的基本组成。从热能利用的需要出发，燃料组成通常采用工业分析组成、元素分析组成和成分分析组成三类方法表示。

1. 工业分析组成

工业分析组成主要是针对固体燃料和液体燃料提出来的。用工业分析方法可得出燃料的组成为：水分（M）、灰分（A）、挥发分（V）和固定碳（FC）四种组分，其含量用百分比表示，四者之和为 100，即

$$M + A + V + FC = 100(\%) \quad (1-1)$$

该组成可反映燃料中可燃组分和不可燃组分的含量。

2. 元素分析组成

元素分析主要用来表示固体和液体燃料的组成，每种组分的含量用该组分的质量百分比表示。但组分含量的计算与燃料的实际状态紧密相关，即采用不同的计算基数，可以得到不同“基”的燃料组分，通常采用以下几种基准作为计算基础。

(1) 收到基组分（ X_{ar} ） 收到基组分以包括全部组分在内的燃料成分总量作为计算基数，有的资料称之为应用基组分或工作基组分。各组分在收到基燃料中的质量百分数称为收到基组分，它们的关系为：

$$C_{ar} + H_{ar} + O_{ar} + N_{ar} + S_{ar} + A_{ar} + M_{ar} = 100(\%) \quad (1-2)$$

式中各项依次为碳、氢、氧、氮、硫、灰分和水分在收到基中的质量百分数。其中 S_{ar} 是可燃性硫的质量百分数，煤中的全水分（ M_{ar} ）包括外在水分和内在水分两部分。煤中的外在水分很容易受到气候、运输和存放条件的影响。故收到基组分经常因水分的波动而不能准确反映燃料的基本燃烧性质，为此引入空气干燥基组分。

(2) 空气干燥基组分（ X_{ad} ） 空气干燥基以 60℃ 空气风干后的燃料成分总量作为计算基数。此时燃料中的外在水分已经扣出，余留在燃料中的仅为内在水分。燃料的空气干燥基组分可以写为：

$$C_{ad} + H_{ad} + O_{ad} + N_{ad} + S_{ad} + A_{ad} + M_{ad} = 100(\%) \quad (1-3)$$

式中的 M_{ad} 是空气干燥基水分，煤的分析是在普通化验室中进行的，适宜采用空干基组分。煤质分析资料中一般给出的水分大都是空气干燥基水分。但是内在水分毕竟也不够稳定，为此需要使用干燥基组分。

(3) 干燥基组分（ X_d ） 干燥基是以除去所有水分后剩下的燃料作为计算基数，可用下式表示。

$$C_d + H_d + O_d + N_d + S_d + A_d = 100(\%) \quad (1-4)$$

为了获得干燥基组分，必须将燃料加热到超过 100℃ 的温度才能将其内在水分除去。燃料中的灰分也容易受到开采、运输和存放等条件的影响。为了更确切地表示煤的化学组成特点，人们又引入干燥无灰基组分。

(4) 干燥无灰基组分（ X_{daf} ） 干燥无灰基组分是指除去水分和灰分之后剩下的燃料成分，是用 C、H、O、N、S 五种元素在燃料中的质量百分数来表示的成分，即

$$C_{daf} + H_{daf} + O_{daf} + N_{daf} + S_{daf} = 100(\%) \quad (1-5)$$

干燥无灰基组分不受水分和灰分的影响,可以较真实地反映燃料的燃烧性能。因而,煤矿的煤质资料一般用干燥无灰基组分表示,并以此来区分煤种及其属性。在元素分析中,习惯上把氧和氮都归为燃料的干燥无灰基组分。但按氧和氮的化学性质来说,它们并不是可燃元素。干燥无灰基中的 S_{daf} 由有机硫和黄铁矿硫两部分组成。在干燥无灰基中除了黄铁矿硫之外,其它都是有机物。实际上黄铁矿硫也是燃料形成过程中由外部带来的,其含量并不稳定。因此,只有有机可燃物才是燃料中最基本的可燃成分,于是又提出了更能反映燃料性质的干燥无矿物质基组分。

(5) 干燥无矿物质基组分 (X_{dmmf}) 干燥无矿物质基组分以燃料中再除去黄铁矿硫后所剩的有机质总量作为计算基数。干燥无矿物质基组分可写成:

$$C_{dmmf} + H_{dmmf} + O_{dmmf} + N_{dmmf} + S_{dmmf} = 100(\%) \quad (1-6)$$

干燥无矿物质基组分是研究燃料的形成,判定燃料类别以及分析燃料性质时最有用的表示方法。不过,在动力设备的设计和运行中的应用并不广泛,这是由于黄铁矿硫在燃料中的含量不大,且普通的分析实验室多半只能测出燃料中的全硫量。因此,在应用中大多采用干燥无灰基作为鉴定燃料特征的主要数据。在图 1-3 中,用图解形式给出了各种基准的相互关系。

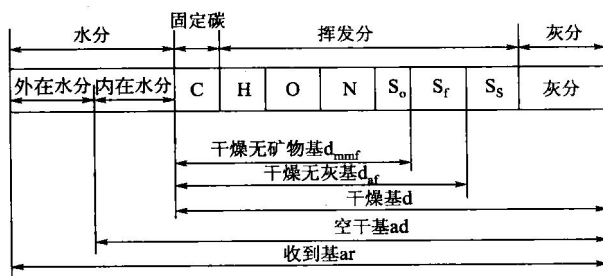


图 1-3 燃料组分的各种表示基准之间的关系

综上所述,燃料的燃烧性能一般用比较稳定的干燥无灰基组分表示;考虑到灰分时,用干燥基组分表示;考虑到各种水分时,则用收到基组分表示。在燃烧计算中又需要用收到基组分来表示全部组成的数据。因此,有必要对各种基组分进行相互间的换算,表 1-1 列出了各种基准之间的换算系数。

表 1-1 不同基燃料组分的换算关系 (GB483—87)

项目	空气干燥基 (ad)	收到基 (ar)	干燥基 (d)	干燥无灰基 (daf)	干燥无矿物质基 (dmmf)
空气干燥基 (ad)	1	$\frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - (M_{ad} + A_{ad})}$	$\frac{100}{100 - (M_{ad} + MM_{ad})}$
收到基 (ar)	$\frac{100 - M_{ad}}{100 - M_{ar}}$	1	$\frac{100}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - (M_{ar} + A_{ar})}$	$\frac{100}{100 - (M_{ar} + MM_{ar})}$
干燥基 (d)	$\frac{100 - M_{ad}}{100}$	$\frac{100 - M_{ar}}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A_d}$	$\frac{100}{100 - MM_d}$
干燥无灰基 (daf)	$\frac{100 - (M_{ad} + A_{ad})}{100}$	$\frac{100 - (M_{ar} + A_{ar})}{100}$	$\frac{100 - A_d}{100}$	1	$\frac{100 - A_d}{100 - MM_d}$
干燥无矿物质基 (dmmf)	$\frac{100 - (M_{ad} + MM_{ad})}{100}$	$\frac{100 - (M_{ar} + MM_{ar})}{100}$	$\frac{100 - MM_d}{100}$	$\frac{100 - MM_d}{100 - A_d}$	1

3. 成分分析

成分分析组成主要是针对气体燃料而言的。对气体燃料的各组成成分，用相应组成气体成分的容积占气体燃料总容积的百分数表示，各成分容积百分数的总和为 100。气体燃料的组成通常用干气体组成（不含水分）和湿气体组成（包含水分）两种表示方法。反映燃料的特性资料时，常用干气体组成来表示。在炉窑燃料计算和热工计算时，则必须使用湿气体组成。干气体组成用上标“g”表示，即

$$C_n H_{2n+2}^g + CO^g + H_2^g + C_2 H_4^g + \cdots + O_2^g + N_2^g + H_2 S^g + CO_2^g = 100 \quad (\%) \quad (1-7)$$

湿气体组成用上标“s”表示，即

$$C_n H_{2n+2}^s + CO^s + H_2^s + C_2 H_4^s + \cdots + O_2^s + N_2^s + H_2 S^s + CO_2^s + H_2 O^s = 100 \quad (\%) \quad (1-8)$$

气体燃料干、湿成分的换算关系（ $g_{H_2O}^g$ 表示湿含量）为：

$$X^s = X^g \frac{100}{100 + 0.124 g_{H_2O}^g} \quad (1-9)$$

水分是气体燃料中最不稳定的物质，若要实时了解气体燃料的组分就应进行换算。为了避免这种麻烦，实际应用中通常采用含湿量表示。含湿量是指：在某一温度下 1Nm^3 （ Nm^3 表示标准立方米，下同）干气体中所吸收的水蒸气的质量（用 g 表示），其单位为 g/Nm^3 。知道了气体燃料的含湿量后，可方便地将其中的水蒸气体积求出来。在标准状态下 1kmol （ 18kg ）水蒸气的体积为 22.4Nm^3 ，于是 A_g 克的水蒸气体积为：

$$V_q = 22.4 \times A_g / (18 \times 1000) = 0.00124 A_g \quad \text{Nm}^3 / \text{Nm}^3 \quad (1-10)$$

气体燃料的含湿量可以用吸收法和冷却法测定，也可根据饱和蒸汽含量表推算。但在流动体系中，推算法可能造成一定的偏差。因为气体在某段容器内达到较低温度后，其中的水分可能凝结下来；当这些气体再流到温度较高的区段时，若仍根据饱和蒸汽含量表推算，便会将水分含量估计过高。

空气中的水分也常用含湿量形式表示，其定义方式与气体燃料的含湿量相同。

固体燃料的工业分析组成和元素分析组成的关系可用图 1-4 说明。工业分析给出的水分代表固体燃料中各种水分的总含量，灰分代表无机矿物质的含量，这两项为燃料的不可燃组分，挥发分和固定碳为燃料的可燃组分，其中挥发分代表煤中易挥发（容易着火）可燃物的含量，而固定碳代表燃料中不挥发性可燃物的含量。应当指出，工业分析所得到的并不是燃料的原始组成，而是在一定条件下通过加热将燃料中原有的极为复杂的组成加以分解和转化而得到的可用普通的化学分析方法来研究的组成，例如，煤的灰分与煤中原有的矿物质是不同的，它是煤加热到规定温度（国标规定为 815°C ）时燃烧后的残留物。再如，挥发分是煤加热到规定温度（国标规定为 900°C ）时在隔绝空气的条件下分解出来的气态有机物质，而固定碳是挥发分分解后剩余的固态有机物质。上述组成仅是煤的有机物质在一定条件下的转化产物，因而，工业分析组成具有很强的规范性。在分析操作中，必须严格按试验标准进行，否则分析结果将会产生较大误差。