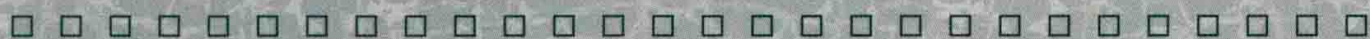


中国节能理论、方法和前沿技术丛书



丛书总主编 黄素逸

# 先进通用节能技术



黄素逸 林一歆◎编著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国节能理论、方法和前沿技术丛书  
丛书总主编 黄素逸

# 先进通用节能技术

黄素逸 林一歆 编著

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 提 要

节能是我国的基本国策,在节能工作中涉及许多重要的通用节能技术。本书系统地介绍各种先进的通用节能技术,包括各种燃料的稳定燃烧和低污染燃烧技术、强化传热技术、余能利用技术、隔热保温技术、热泵技术、热管及其在工业中的应用、各种新型热交换器,以及空冷技术等。

本书可供能源生产、能源管理、节能技术研究及应用等领域的科研人员、工程技术人员及管理人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

先进通用节能技术/黄素逸,林一歆编著. —武汉:华中科技大学出版社,2019.9  
(中国节能理论、方法和前沿技术丛书)  
ISBN 978-7-5680-5422-5

I. ①先… II. ①黄… ②林… III. ①节能-技术 IV. ①TK018

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 181229 号

### 先进通用节能技术

黄素逸 林一歆 编著

Xianjin Tongyong Jieneng Jishu

策划编辑:王新华

责任编辑:王新华

封面设计:原色设计

责任校对:曾 婷

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

印 张:22

字 数:440千字

版 次:2019年9月第1版第1次印刷

定 价:68.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 前 言

能源是国民经济的命脉,与人民生活和人类的生存环境休戚相关,在社会可持续发展中起着举足轻重的作用。我国是最大的发展中国家,节能对我国经济和社会发展更有着特殊的意义,表现在以下几个方面:

- (1) 节能是实现我国经济持续、高速发展的保证;
- (2) 节能是调整国民经济结构、提高经济效益的重要途径;
- (3) 节能将缓解我国运输的压力;
- (4) 节能有利于我国的环境保护。

改革开放 40 年来,中国经济发生了巨大的变化,人民的生活也有了显著的改善,其中能源起了至关重要的作用。“十三五”是我国建成小康社会的关键时期,新时期新阶段能源发展既有新的机遇,也面临更为严峻的挑战。其挑战主要表现在:消费需求不断增长,资源约束日益加剧;结构矛盾比较突出,可持续发展面临挑战;国际市场剧烈波动,安全隐患不断增加;能源效率亟待提高,节能降耗任务艰巨;科技水平相对落后,自主创新任重道远;体制约束依然严重,各项改革有待深化;农村能源问题突出,滞后面貌亟待改观。

节能是我国的基本国策。特别值得提出的是,随着习近平新时代中国特色社会主义思想建设的不断深入,节能工作显得更加重要。

我国在节能方面做了大量工作,但目前还缺少有关节能的系统丛书。为了进一步推动节能工作,华中科技大学出版社组织编写了《中国节能理论、方法和前沿技术丛书》。该丛书的出版适应了目前我国节能形势的需要,将对我国企业的节能工作有重要的借鉴作用。

在节能工作中涉及许多重要的通用节能技术。本书系统地介绍各种先进的通用节能技术,包括各种燃料的稳定燃烧和低污染燃烧技术、强化传热技术、余能利用技术、隔热保温技术、热泵技术、热管及其在工业中的应用、各种新型热交换器、空冷技术等。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请同行和读者批评指正。

编 者

2019 年 1 月 3 日

# 目 录

<b>第 1 章 高效低污染燃烧技术</b> .....	(1)
1.1 燃料 .....	(1)
1.2 有关燃烧的基本知识.....	(12)
1.3 煤燃烧的高效低污染技术.....	(17)
1.4 液体燃料燃烧的节能技术.....	(25)
1.5 气体燃料燃烧的节能技术.....	(29)
1.6 燃烧器.....	(36)
<b>第 2 章 强化传热技术</b> .....	(44)
2.1 概述.....	(44)
2.2 单相流体对流换热的强化技术.....	(59)
2.3 沸腾换热的强化.....	(78)
2.4 凝结换热的强化.....	(84)
2.5 耗功强化传热技术.....	(88)
<b>第 3 章 余能回收技术</b> .....	(97)
3.1 余能资源及其评价.....	(97)
3.2 热能的梯级利用 .....	(102)
3.3 余能利用的主要技术 .....	(110)
3.4 凝结水回收 .....	(135)
<b>第 4 章 绝热技术</b> .....	(148)
4.1 概述 .....	(148)
4.2 对绝热材料的要求 .....	(150)
4.3 主要的保温材料简介 .....	(156)
4.4 管道保温计算 .....	(163)
4.5 隔热保温技术的进展 .....	(177)
<b>第 5 章 热泵技术</b> .....	(185)
5.1 概述 .....	(185)
5.2 压缩式热泵 .....	(190)
5.3 吸收式热泵 .....	(201)
5.4 热泵应用中存在的问题 .....	(204)
<b>第 6 章 热管及其在节能中的应用</b> .....	(208)
6.1 概述 .....	(208)

---

6.2	热管的分类和制造 .....	(212)
6.3	热管的传热极限 .....	(217)
6.4	热管换热器的应用 .....	(222)
<b>第7章</b>	<b>换热器及其进展</b> .....	<b>(243)</b>
7.1	概述 .....	(243)
7.2	常用工业换热器 .....	(255)
7.3	换热器进展 .....	(280)
<b>第8章</b>	<b>空冷技术</b> .....	<b>(303)</b>
8.1	概述 .....	(303)
8.2	石化行业的空冷器 .....	(310)
8.3	电站空冷器 .....	(324)

# 第 1 章 高效低污染燃烧技术

## 1.1 燃 料

### 1.1.1 概述

燃料通常是指能够通过燃烧过程而将化学能转换为热能的物质。它包括：所有的化石燃料(如煤、石油、天然气、油页岩等)，以及由化石燃料加工而成的其他含能体(如煤气、焦炭、汽油、煤油、柴油、重油、液化石油气、丙烷、甲烷、乙醇等)；生物质燃料(如薪柴)，以及由生物质燃料加工而成的含能体(如沼气)。

随着核能的发现及核电的发展，人们也将通常所说的燃料概念扩展到核领域，即把能够实现核裂变或核聚变的材料，如铀、钚等称为核燃料。也就是说，通过核反应能将原子核内部的核能转换成热能的物质通称为核燃料。由此可知，燃料作为能量的载体，主要以热能的形式被利用。为此有些研究人员也将太阳辐射看作能量转换的主要燃料之一，因为太阳辐射很容易直接转换为热能。

所有化石燃料都是由碳水化合物化合物的腐化作用形成的。这些碳水化合物化合物的化学式为  $C_x(H_2O)_y$ ，它们是有生命的植物通过光合作用将太阳能直接转换成化学能时形成的。植物枯死后，经过亿万年的变迁，压力和热量的作用使其转换为碳水化合物，并在缺氧的条件下再转变成烃类，其一般化学式为  $C_xH_y$ 。所有矿物燃料都是由烃类组成的。常用的化石燃料为煤、石油和天然气。化石燃料有时又称矿物燃料。

### 1.1.2 煤炭

煤炭是世界上储量最多、分布最广的化石燃料。煤炭分布于约 76 个国家和地区，60 多个国家进行了规模性开采。在世界一次能源生产和消费总量中，煤炭占 25%~30%。煤炭是世界经济发展的重要支柱。

#### 1. 煤炭的组成

煤是由有机物质和无机物质混合组成的。煤中有机物质主要由碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)四种元素构成，还有一些元素则组成煤中的无机物质，主要有硫(S)、磷(P)以及稀有元素等。

碳是煤中有机物质的主导成分，也是最主要的可燃成分。一般来说，煤中碳含

量越多,煤的发热量也越大。煤中碳含量的规律是随煤的变质程度的加深而增加。例如,在泥炭中碳含量为 50%~60%,褐煤中碳含量为 60%~75%,而在烟煤中则增至 75%~90%,在变质程度最高的无烟煤中则高达 90%~98%。碳完全燃烧时生成二氧化碳(CO<sub>2</sub>),因此每千克纯碳可放出 32866 kJ 热量;碳在不完全燃烧时生成一氧化碳(CO),此时每千克纯碳放出的热量仅为 9270 kJ。由于碳的着火与燃烧都比较困难,因此含碳量高的煤难以着火和燃尽。

氢也是煤中重要的可燃成分。氢的发热量最高,燃烧时每千克氢的低位发热量可高达 120370 kJ,是纯碳发热量的 4 倍。煤中氢含量的规律一般是随煤的变质程度的加深而减少。正因为如此,变质程度最深的无烟煤,其发热量还不如某些优质的烟煤。此外,煤中氢含量多少还与原始成煤植物有很大的关系。一般由低等植物如藻类等形成的煤,其氢含量较高,有时可以超过 10%;而由高等植物形成的煤,其氢含量较低,一般小于 6%。

氧是煤中不可燃的元素。煤的氧含量也随变质程度的加深而减少。例如,在泥炭中氧含量高达 30%~40%,褐煤中氧含量为 10%~30%,而在烟煤中为 2%~10%,无烟煤中则更少,不足 2%。

煤中氮含量较少,仅为 1%~3%。煤中氮主要来自成煤植物。在煤燃烧时,氮常呈游离状态逸出,不产生热量。但在炼焦过程中,氮能转化成氨及其他含氮化合物。

硫是煤中的有害物质。煤中的硫可以分为无机硫和有机硫两大部分。前者多以矿物杂质的形式存在于煤中,可进一步按所属的化合物类型分为硫化物硫和硫酸盐硫。有机硫则是直接结合于有机母体中的硫。煤中有机硫主要由硫醇、硫化物以及二硫化物三部分组成。近年来,随着分析技术的进步,许多学者还在煤中检出了硫的另一种存在形态,即单质硫。

据统计,我国煤中有 60%~70%的硫为无机硫,30%~40%为有机硫,单质硫的比例一般很低。在无机硫中绝大多数是黄铁矿,因此,煤中黄铁矿的治理对于煤的清洁燃烧、减少硫的危害具有十分重要的意义。

大量的煤样资料表明,含硫率小于 0.5%的低硫煤中的硫以有机硫为主,黄铁矿硫较少,硫酸盐硫含量甚微;而含硫量大于 2%的高硫煤中,主要为黄铁矿硫,小部分为有机硫,硫酸盐硫一般不超过 0.2%。

根据煤中含硫的多少,常将煤分成不同的级别(见表 1-1),以便于用户选用。

表 1-1 煤炭硫分等级划分标准

代 号	等 级 名 称	硫 含 量/(%)
SLS	特低硫煤	≤0.50
LS	低硫分煤	0.51~1.00

续表

代 号	等 级 名 称	硫含量/(%)
LMS	低中硫煤	1.01~1.50
MS	中硫分煤	1.51~2.00
MHS	中高硫煤	2.01~3.00
HS	高硫分煤	>3.00

磷也是煤中有害成分。磷在煤中的含量一般不超过1%。炼焦时煤中的磷可全部转入焦炭之中,炼铁时焦炭中的磷又转入生铁中,这不仅增加溶剂和焦炭的消耗量,降低高炉生产率,还严重影响生铁的质量,使其发脆。因此,一般规定炼焦用煤中的磷含量不超过0.01%。

煤中含有的稀有元素有锗(Ge)、镓(Ga)、铍(Be)、锂(Li)、钒(V)以及放射性元素铀(U)等,一般含量甚微。

## 2. 常用的煤质指标

为了使燃料高效燃烧,必须了解各种燃料的成分和化学组成,因此需要对燃料进行分析。通常燃料分析有元素分析、工业分析和成分分析。对固体燃料主要进行元素分析和工业分析,对液体燃料使用元素分析,对气体燃料多用成分分析。

为了正确使用煤炭资源,对不同产地和矿井的煤都需要进行煤的工业分析、元素分析及发热值测定,并将测定结果提供给用户。工业分析主要是测定煤的水分、灰分、挥发分,并据以计算固定碳。元素分析主要包括碳、氢、氮、硫等元素分析。对于动力、冶金和气化用煤,还需要进行专门的试验,如对动力用煤需进行与燃烧有关的性能测定,主要包括:煤对二氧化硫的化学反应性;煤的稳定性;煤的结渣性、煤灰熔融性等。对于冶金炼焦用煤,需进行烟煤胶质层指数测定。

在煤的利用中,常用的煤质指标有水分、灰分、挥发分和发热量。

水分是煤中不可燃成分,其来源有三种,即外部水分、内部水分和化合水分。煤中水分含量的多少取决于煤内部结构和外界条件。含水分高的煤发热量低,不易着火、燃烧,而且在燃烧过程中水分的汽化要吸取热量,降低炉膛的温度,使锅炉的效率下降,还易在低温处腐蚀设备;煤的水分高还易使制粉设备难以工作,需要用高温空气或烟气进行干燥。

灰分是指煤完全燃烧后其中矿物质的固体残余物。灰分的来源,一是形成煤的植物本身的矿物质和成煤过程中进入的外来矿物杂质,二是开采运输过程中掺杂进来的灰、沙、土等矿物质。煤的灰分几乎在煤的燃烧、加工、利用的全部场所都带来不利影响。灰分含量高不仅使煤发热量减少,而且影响煤的着火和燃烧。灰分每增加1%,燃料消耗量即增加1%。由于燃烧的烟气中飞灰浓度大,受热面易

受污染而影响传热,降低效率,同时易受磨损而缩短寿命。为了控制排烟中粉尘的浓度,保护大气环境,对烟气中的尘粒必须进行除尘处理。

根据煤中灰分含量的多少,又可将煤分成不同的级别,其等级划分标准见表 1-2。

表 1-2 煤炭灰分等级划分标准

代 号	等 级 名 称	灰分含量/(%)
SLA	特低灰煤	$\leq 5.00$
LA	低灰分煤	5.01~10.00
LMA	低中灰煤	10.01~20.00
MA	中灰分煤	20.01~30.00
MHA	中高灰煤	30.01~40.00
HA	高灰分煤	40.01~50.00

在隔绝空气的条件下,将煤加热到 850 °C 左右,从煤中有机物质分解出来的液体和气体产物称为挥发分。煤的挥发分常随煤的变质程度而有规律地变化,变质程度越高的煤,挥发分越少。挥发分高的煤易着火、燃烧。由于挥发分是表征煤炭性质的主要指标,因此通常也根据挥发分的多少对煤炭进行分级,其分级标准见表 1-3。

表 1-3 煤的挥发分分级标准

名 称	低挥发分煤	中挥发分煤	中高挥发分煤	高挥发分煤
挥发分/(%)	$\leq 20.0$	20.01~28.00	28.01~37.00	$> 37.00$

单位质量煤完全燃烧时所放出的热量称为煤的发热量。煤的发热量分为高位发热量  $Q_{gr}$  和低位发热量  $Q_{net}$ 。煤的发热量因煤种不同而不同,含水分、灰分多的煤发热量较低。煤炭发热量等级划分标准见表 1-4。

表 1-4 煤炭发热量等级划分标准

代 号	等 级 名 称	$Q_{net}/(\text{MJ}/\text{kg})$
LQ	低热值煤	8.50~12.50
MLQ	中低热值煤	12.51~17.00
MQ	中热值煤	17.01~21.00
MHQ	中高热值煤	21.01~24.00
HQ	高热值煤	24.01~27.00
SHQ	特高热值煤	$> 27.00$

### 3. 煤的分类

煤的科学分类为煤炭的合理开发和利用提供了基础,通常最简单的分类方法是根据煤中干燥无灰基挥发分含量  $V_{daf}$  将煤分成褐煤、烟煤和无烟煤三大类,见表 1-5。根据不同用途,每大类中又可细分为几小类。我国动力用煤则将烟煤中  $V_{daf}$  小于 19% 的煤称为贫煤,并将  $V_{daf}$  大于 20% 的分为低挥发分烟煤和高挥发分烟煤,见表 1-6。我国现行煤炭分类标准是将煤炭分为十大类。

表 1-5 煤的分类方法

煤种	干燥无灰基挥发分含量 $V_{daf}/(\%)$	低位发热量 $Q_{net}/(\text{MJ}/\text{kg})$
无烟煤	$\leq 10$	26~33
烟煤	10~37	20~33
褐煤	$> 37$	10~17

表 1-6 我国动力煤的分类方法

煤种	干燥无灰基挥发分含量 $V_{daf}/(\%)$	低位发热量 $Q_{net}/(\text{MJ}/\text{kg})$
无烟煤	$\leq 10$	$> 20.9$
贫煤	10~20	$> 18.4$
低挥发分烟煤	20~30	$> 16.3$
高挥发分烟煤	30~37	$> 15.5$
褐煤	$> 37$	$> 11.7$

#### 1) 褐煤

褐煤是煤中埋藏年代最短、炭化程度最低的一类。其颜色大多为褐色,因此称为褐煤。褐煤相对密度最小的在 0.9~1.25 之间,由于含水分较多,在空气中极易风化,碎裂成小块。碳含量低,为 60%~75%;挥发分含量高, $V_{daf} > 37%$ ;氧含量高,为 20%~25%。褐煤的水分、灰分含量都较高,煤质松,发热量低,无黏结性,一般作为化工、气化或民用煤。

#### 2) 长焰煤

长焰煤的煤化程度仅稍高于褐煤,是最“年轻”的烟煤,常呈褐黑色,因燃烧时发出较长的火苗而得名。它的挥发分高, $V_{daf} > 37%$ ,黏结性差,在低温干馏时能析出较多的焦油,所以除作为动力用煤外,还常用于气化及低温干馏。

#### 3) 不黏煤

不黏煤的煤化程度仅高于长焰煤,亦属“年轻”烟煤。煤质特征为几乎不具任何黏结性,故称之为不黏煤。不黏煤的化学反应活性好,煤灰熔点低,其燃点也低,

有的用火柴即可点燃,一般作为气化、动力或民用煤。

#### 4) 弱黏煤

弱黏煤是煤化程度较低,又具有弱黏性的烟煤。该煤种胶质层厚度  $Y$  值在  $0\sim 9\text{ mm}$  之间。挥发分较高,灰分较低,灰熔点亦较低,主要作为气化、动力和民用煤。

#### 5) 贫煤

贫煤是煤化程度最高的烟煤。其主要煤质特征是干燥无灰基挥发分  $V_{\text{daf}}$  仅高于无烟煤,一般为  $10\%\sim 20\%$ ,胶质层厚度  $Y$  值为  $0$ 。我国贫煤含硫量、含灰量均高。贫煤燃点高,燃烧时火焰短,但热值较高。贫煤经洗选加工后多用作动力煤。

#### 6) 气煤

气煤属于煤化程度低的煤种,颜色黑,具弱玻璃光泽,挥发分较高, $V_{\text{daf}}$  为  $28\%\sim 37\%$ ,胶质层厚度  $Y$  值为  $5\sim 25\text{ mm}$ 。加热时产生大量气体和较多焦油,是制造城市用煤气和工业用煤气的良好原料,因此称为气煤。黏结性较强,是良好的炼焦配煤,也可作为低温干馏或动力用煤。

#### 7) 肥煤

肥煤属于中等煤化程度的煤种,黑色,具玻璃光泽,胶质层厚度  $Y$  值大于  $25\text{ mm}$ ,黏结性最强,加热时能产生比焦煤更多的胶质体,所以称之为肥煤,它是炼焦配煤中的主要成分。

#### 8) 焦煤

焦煤也属于中等煤化程度的煤种,黑色,具玻璃光泽,是结焦性最好的煤种。由于以往单一煤种炼焦时用这种煤能炼出强度大、块度大的优质焦煤,是最好的炼焦用煤,因此称之为焦煤。

#### 9) 瘦煤

瘦煤属高煤化程度的煤种,黑色,具玻璃光泽,黏结性较弱,与焦煤相比在加热时仅能产生少量的胶质体,所以称之为瘦煤。一般作为炼焦配煤。

#### 10) 无烟煤

无烟煤是煤化程度最高的煤种,呈带有银白或古铜色彩的灰黑色,似金属光泽,因其燃烧时无烟而得名。它的硬度和密度在煤中是最大的,干燥无灰基挥发分的含量最少, $V_{\text{daf}}\leq 10\%$ ,挥发分析出的温度也较高,因此着火困难,着火后也难以燃尽。无烟煤燃烧时出现的青蓝色火焰没有烟,它的结焦性差,储藏时稳定不易自燃,可作为民用煤和化工用煤。

我国煤炭的具体分类指标在国家标准(GB/T 5751—2009)中都有具体规定。世界各产煤国多根据各自煤炭资源的情况规定不同的煤炭分类方法。表 1-7 即为美国煤的分类方法。

表 1-7 美国煤的分类方法

煤 种	干燥基固定碳 FC <sub>d</sub> /(%)	干燥基高位发热量 Q <sub>gr</sub> /(MJ/kg)	干燥无灰基元素含量/(%)		
			C	H	Q
褐煤	25~30	15~19	70~75	4~5	20~25
半烟煤		19~17	75~85	5	10~25
低挥发分烟煤	68~86		85~90	4~5	5~10
中挥发分烟煤	69~78		85~90	4~5	5~10
高挥发分烟煤 A	<69	<33	85~90	4~5	5~10
高挥发分烟煤 B	30~33	30~33	85~90	4~5	5~10
高挥发分烟煤 C		27~30	85~90	4~5	5~10
无烟煤	86~98		90~97	3~5	1~3

### 1.1.3 石油及其制品

#### 1. 概述

石油是仅次于煤的化石燃料。按照有机成油理论,水体中沉积于水底的有机物和其他淤积物一道随着地壳的变迁,埋藏的深度不断增加,有机物开始经历生物和化学转化阶段。先是被好氧细菌,然后是被厌氧细菌改造。细菌活动停止后,便开始了以地温为主导的地球化学转化阶段。一般认为,有效的生油阶段在 50~60℃开始,150~160℃结束。过高的地温将使石油逐步裂解成甲烷,最终演化为石墨。因此严格地说,石油只是有机物在地球演化过程中的一种中间产物。

石油主要由烷烃、环烷烃、芳香烃等烃类化合物组成。组成石油的主要元素是碳、氢、硫、氧、氮。其中碳、氢元素最多。硫、氮、氧以化合物、胶质、沥青质等非烃类物质形态存在。一般硫、氧、氮三种元素的含量小于 1%,此外还有微量钠、铅、铁、镍、钒等金属元素存在。

天然石油(又称原油)通常是黑褐色或黑色的流动或半流动的黏稠液体,密度为 0.65~0.85 t/m<sup>3</sup>。通常有许多物性指标用以说明石油的特性,包括黏度、凝点、盐含量、硫含量、蜡含量、胶质、沥青质、残碳、沸点和馏程等。

石油的组成极其复杂,确切分类相当困难。通常在市场上有以下三种分类方法。

(1) 按石油的密度分类:根据密度由小到大,相应地将石油分为轻质石油、中质石油、重质石油和特重质石油。

(2) 按石油中的硫含量分类:硫含量小于 0.5% 的为低硫石油,硫含量为 0.5%~2.0% 的为含硫石油,硫含量大于 2.0% 的为高硫石油。世界石油总产量中,含硫石油和高硫石油约占 75%。石油中的硫化物对石油产品的性质影响较大,加工含硫石油时应应对设备采取防腐蚀措施。

(3) 按石油中的蜡含量分类:蜡含量为 0.5%~2.5% 的为低蜡石油,蜡含量在 2.5%~10% 之间的为含蜡石油,含量大于 10% 的为高蜡石油。

## 2. 主要石油产品的种类与用途

石油由许多组分组成,每一组分各有其沸点。通过炼制加工,可以把石油分成几种不同沸点范围的组分。一般来说,沸点范围为 40~205 °C 的组分作为汽油,180~300 °C 的组分作为煤油,250~350 °C 的组分作为柴油,350~520 °C 的组分作为润滑油(或重柴油),高于 520 °C 的渣油作为重质燃料油。

按石油产品的用途和特性,可将石油产品分成 14 大类,即溶剂油、燃料油、润滑油、电器用油、液压油、真空油脂、防锈油脂、工艺用油、润滑脂、石蜡和地蜡、沥青、石油焦、石油添加剂和石油化学品。主要石油产品的用途简述如下:

(1) 溶剂油:按用途可分为石油醚、橡胶溶剂油、香花溶剂油等。可用于橡胶、油漆、油脂、香料、药物等工业,作为溶剂、稀释剂、提取剂,在毛纺工业中作为洗涤剂。

(2) 燃料油:按燃料油的馏分组成,可分为石油气、汽油、煤油、柴油、重质燃料油。柴油以前的各种油品通称为轻质燃料油。各种燃料油按使用对象或使用条件又可分成不同的级别,如煤油可分为灯用、信号灯用和拖拉机用三个级别。柴油可分为轻级、重级、船用级和直馏级。重油可分为陆用级和船用级。

石油气可用于制造合成氨、甲醇、乙烯、丙烯等。汽油分为车用汽油和航空汽油,前者供各种形式的汽车使用,后者供螺旋桨式飞机使用。煤油分为航空煤油和灯用煤油,前者作为喷气式飞机燃料,后者供灯用,也可作为洗涤剂和农用杀虫药溶剂。柴油又分轻柴油和重柴油,前者用于高速柴油机,后者用于低速柴油机。

(3) 润滑油:品种很多,几种典型的润滑油如下。

① 汽油机和柴油机油,前者用于各种汽油发动机,后者用于柴油机,主要供润滑和冷却。

② 机械油,用于纺织缝纫机及各种切削机床。

③ 压缩机油、汽轮机油、冷冻机油和汽缸油。

④ 齿轮油,又分为工业齿轮油和拖拉机、汽车齿轮油,前者用于工业机械的齿轮传动机构,后者用于拖拉机、汽车的变速箱。

(4) 电器用油:又分为变压器油、电缆油,其用途并不是润滑,主要起绝缘作用。因其原料属润滑油馏分范围,通常也将其包括在润滑油中。

(5) 液压油:用作各类液压机械的传动介质。

(6) 润滑脂:在润滑油中加入稠化剂制成,根据稠化剂的不同又可分为皂基脂、烃基脂、无机脂和有机脂四大类。用于不便于使用润滑油润滑的设备,如低速、重负荷和高温下工作的机械,工作环境潮湿、水和灰尘多且难以密封的机械。

(7) 石蜡和地蜡:不同结构的高分子固体烃。石蜡分成精白蜡、白石蜡、黄石蜡、食品蜡等,可分别用于火柴、蜡烛、蜡纸、电绝缘材料、橡胶、食品包装、制药工业等。

(8) 沥青:可分为道路沥青、建筑沥青、油漆沥青、橡胶沥青、专用沥青等多种类型。主要用于建筑工程防水、铺路,以及涂料、塑料、橡胶等工业中。

(9) 石油焦:石油焦是优良的碳质材料,用于制造电极,也可作为冶金过程的还原剂和燃料。

(10) 石油添加剂:石油产品中大多需要加入添加剂,以改善其性能。如汽油中大多加入抗爆剂,柴油中加入抗氧剂、十六烷值增进剂,航空煤油中加入抗氧剂、防冰剂,重质燃料油中加入抗凝剂,沥青中加入抗老化剂等。

(11) 石油化学品:采用催化剂可促进石油在加工过程中的变化,提高产品质量和生产效率。炼油催化剂有上百种之多,常分成金属型、金属氧化物型、酸碱型和金属配合物型。如催化裂化采用硅酸铝或分子筛催化剂,催化重整采用铂催化剂,加氢裂化采用钨催化剂等。

#### 1.1.4 天然气及其他气体燃料

##### 1. 天然气

以天然气为代表的气体燃料通常包括四大类:天然气、人工煤气、液化石油气和沼气。天然气是一种重要的一次能源,燃烧时有很高的发热值,对环境的污染也较小,而且是一种重要的化工原料。天然气的生成过程同石油类似,但比石油更容易生成。天然气主要由甲烷、乙烷、丙烷和丁烷等烃类组成,其中甲烷占80%~90%。通常天然气可以分为纯天然气、石油伴生气、凝析气和矿井气四种,纯天然气是从矿井中开采出来的干天然气,也称气田气,石油伴生气是开采石油时的副产品,矿井气又称煤层气,是伴随煤矿开采而产生的,俗称“瓦斯”。通常60%的天然气为气田气,40%的为伴生气,煤层气则可能附于煤层中或另外聚集,在7~17 MPa和40~70℃时每吨煤可吸附13~30 m<sup>3</sup>甲烷。

天然气中主要的有害杂质是二氧化碳、水、硫化氢和其他含硫化合物。因此天然气在使用前也需净化,即脱硫、脱水、脱二氧化碳、脱杂质等。从天然气中脱除硫化氢和二氧化碳一般采用醇胺类溶剂。脱水则采用二甘醇、三甘醇、四甘醇等,其中三甘醇用得最多;也可采用多孔性的吸附剂,如活性氧化铝、硅胶、分子筛等。

最近十年液化天然气技术有了很大发展。液化后的天然气体积仅为原来体积的1/600,因此可以用冷藏油轮运输,运到使用地后再予以汽化。另外,天然气液

化后,可为汽车提供方便的污染小的天然气燃料。

## 2. 其他气体燃料

人工煤气是人为地利用固体燃料或液体燃料加工而得到的二次能源,按制气原料和制气工艺不同,又可分为干馏煤气、气化煤气和油制气。

### 1) 干馏煤气

煤在隔绝空气的条件下,加热分解而成煤气、焦油和焦炭等。此过程称为煤的干馏。产生的煤气称为干馏煤气。干馏煤气主要是由氢气、甲烷、一氧化碳、碳氢化合物及氮气、二氧化碳组成。标态下热值为  $17000 \text{ kJ/m}^3$  左右。我国城市煤气主要由焦炉、连续式直立炭化炉等提供。焦炉是以一定配比的炼焦煤、气煤、肥煤为原料,干馏温度为  $900 \sim 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,主要产品为焦炭,副产品为煤气,即为焦炉煤气。直立炭化炉是以肥煤或气煤为原料,干馏温度为  $800 \sim 850 \text{ }^\circ\text{C}$ ,主要产品是煤气,即为炭化炉煤气,标态下热值为  $16000 \text{ kJ/m}^3$ 。

### 2) 气化煤气

以固体燃料为原料,以空气、水蒸气或氢气为气化剂,在高温条件下,气化剂与固体燃料通过化学反应,转化为气体燃料,即气化煤气。主要成分有一氧化碳、氢气和少量甲烷。由于气化剂不同,生成的煤气也有区别,主要有发生炉煤气和水煤气两种。这两种煤气热值低,且毒性大。气化煤气多作为工业用气。不可单独作为城市煤气气源,与热值高的天然气、油制气、液化石油气掺混后作为城市气源。

### 3) 油制气

油制气是用石油系列产品为制气原料,在一定的压力、温度和催化剂作用下,原料油分子发生裂解反应,生成的可燃气体。裂解方法不同,则得不同煤气。重油蓄热裂解制得的油制气,主要成分有甲烷、乙烯、丙烯等,可直接作为城市气源,也可与其他煤气掺混作为城市气源。用重油蓄热催化裂解得到的油制气,主要成分有氢气、甲烷、一氧化碳等,可直接作为城市气源。油制气投资少、成本低,生产自动化程度高。

液化石油气是呈液体状态的石油气,简称液化气,主要由丙烷、丁烷等碳氢化合物组成。它从气田或油田开采中获得,也可从石油炼制过程中作为副产品提取。前者为天然石油气,后者为炼油石油气。在常温环境中呈气体状态,在一定压力下或低温条件下,呈液体状态。液化后体积缩小,气态与液态体积相差约 250 倍。液化石油气是城市主要气源之一。

沼气是生物质能源,由各种有机物如粪便、垃圾、杂物、酒糟等,其中蛋白质、纤维素、淀粉在隔绝空气条件下,因微生物发酵作用产生的可燃气体。其主要成分是甲烷,占 60% 左右。沼气在农村应用较为广泛。

我国常用气体燃料的特性如表 1-8 所示。

表 1-8 我国常用气体燃料的特性

煤气种类	相对分子质量	密度 /(kg/m <sup>3</sup> )	体积定压热容 /[kJ/(m <sup>3</sup> ·°C)]	标态下 高位 发热量 /(kJ/m <sup>3</sup> )	标态下 低位 发热量 /(kJ/m <sup>3</sup> )	标态下 理论 空气量 /m <sup>3</sup>	标态下 理论 烟气量 /m <sup>3</sup>	理论 燃烧 温度 /°C
炼焦 煤气	10.4966	9.4686	1.390	19820	17618	4.21	4.88/3.76	1998
直立 炉 煤气	12.3805	0.5527	1.383	18045	16136	3.80	4.44/3.47	2003
混合 煤气	14.9968	0.6695	1.369	15412	13858	3.18	3.85/3.06	1986
发生 炉 煤气	20.1421	1.1627	1.319	6003.8	5744	1.16	1.98/1.84	1600
水 煤气	15.6912	0.7005	1.329	11451	10383	2.16	3.19/2.19	2175
催化 油 煤气	12.0355	0.5374	1.390	18472	16521	3.89	4.55/3.54	2009
热裂 油 煤气	17.7162	0.7909	1.618	37953	34779	8.55	9.39/7.81	2038
干井 天然 气	16.6544	0.7435	1.560	40403	36442	9.64	10.64/8.65	1970
油田 伴 生气	23.3296	1.0415	1.812	52833	48383	12.51	13.73/11.33	1986
矿井 气	22.7557	1.0100		20934	18841	4.6	5.90/4.80	1900