

张相洪 主 编
杨 涵 李燕军
尹立军 史长虹 副主编

野外燃烧器技术与应用



科学出版社
www.sciencep.com

野外燃烧器技术与应用

张相洪 主编

杨 涵 李燕军 尹立军 史长虹 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书重点介绍了燃料、燃烧和野外燃烧器的相关知识。全书共 5 章,较为详细地介绍了燃料的种类,燃料的理化性能,燃烧的基本原理,燃烧火焰传播规律,燃烧相关参数,发热量、燃烧温度、燃烧速度、空气量和燃烧产物等的计算方法,以及燃烧积炭产生的原因和解决办法。本书特别介绍了我军后勤装备油炉产品的研发过程,包括设计背景、设计战术技术指标、实验检验及调整改进、实战装备应用情况。

本书可供从事燃料燃烧、燃烧器相关研究的学者和工程技术人员阅读,也可作为相关领域学生学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

野外燃烧器技术与应用/张相洪主编. —北京:科学出版社, 2009
ISBN 978-7-03-023992-1

I. 野… II. 张… III. 野外炊事技术-燃烧器-研究 IV. E144

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 017583 号

责任编辑:沈 建 / 责任校对:刘小梅

责任印制:赵 博 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

盛主印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 7 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2009 年 7 月第一次印刷 印张: 16 1/2

印数: 1—1 500 字数: 321 000

定价: 50.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

本书重点介绍了燃料、燃烧和野外燃烧器的相关知识。燃料按其物态分为气体燃料、液体燃料和固体燃料三种，其中典型固体燃料为煤，典型液体燃料为石油及其副产品（如汽油、柴油、煤油等），气体燃料常见的为各种煤气和天然气。燃料的燃烧是复杂的物理化学过程，书中阐述了燃料的成分及其特点，燃料的物理化学性能，燃烧的基本原理，燃烧反应机理，火焰传播规律，燃烧发热量、空气量、燃烧产物、燃烧温度、燃烧速度等的测算，还介绍了相关传统燃烧技术和个别新型燃烧技术，以若干种典型燃料为例具体阐释了燃烧的过程及特点。

本书介绍了军用炊事油炉的设计背景，评价了实际战术技术指标完成情况，分析了相关设计的优缺点及在模拟实战中的应用。军用炊事油炉是战场饮食保障的一种重要给养器材，用于在野战条件下为炊事作业提供可靠、高效的热源。可有效补充因大型饮食装备不便展开而引发的保障困难。对于保存有生力量，提高单兵及分队生存能力和战斗力起着重要作用，是保障“打赢”的客观需要。

我军后勤饮食装备初具规模，营以上单位饮食保障形成系列化，炊事作业采用电力为动力的燃油炉具，完全满足作业需要，但是在连以下单位的饮食保障方面还存在不足，野战条件下，没有统一的炉具加热食物，尤其是边防、海岛部队，因饮食保障问题使巡逻线路受到限制。机动装备方面，如炊事挂车，因缺乏必要电力，在炉具使用上也存在困难，炉具成为制约炊事挂车发展的重要一环。

此前，我军使用炉具品种多，性能差异较大，在维修、使用上的通用化、标准化程度低，不利于野战条件下的饮食保障。因此，为适应现代战争条件下饮食保障形式多样化的需求，必须减少炉具新旧型号装备交织共存的现状，尽快使炉具统一、制式、标准，形成系列化，提高炊事作业的质量，满足部队在各种情况下饮食保障的需要。

新近研究开发的军用炊事油炉系列结构简单，采用直喷式燃烧器，运用燃烧积炭综合控制技术降低燃烧积炭，配以全旋半开式预热系统及高效防爆阻燃油罐，具有燃烧稳定、预热快、使用时间长、重量轻、使用方便安全等特点，由于采用了一系列新工艺、新材料，加之在结构上的创新设计，提高了炉具的先进性，增强了其环境适应性，加强了应用可靠性，符合部队实战需要，适应我军作战方式和特点，并方便与其他野战给养器材（如各种炊事用车）相配套，共同形成综合保障力，能很好地适应现代战争条件下快速、灵活的作战需求。

军用炊事炉具系列的研制成功，使我军首次拥有了从单兵到连成系列的炊事

加热器材，满足了连以下单位在野战条件下的自我饮食保障，填补了我军野战饮食装备中炉具给养器材的空白，完善了部队野战饮食保障的方法和手段，提高了部队的野外生存能力。

本书由张相洪主持编写，其他参与编写的人员还有杨涵、李燕军、尹立军、史长虹、谢先达、李咏梅、胡欣、曾昕、张浩、于咏泽、冯浩楠、刘军、刘晶晶、刘辉、刘长江、吴荣、孙海民、孙爱荣、张亚丹、张军华、李家玉、李爱芝，在此一并表示感谢。

目 录

前言

第 1 章 燃料	1
1.1 燃料的种类	1
1.1.1 气体燃料	1
1.1.2 液体燃料	5
1.1.3 固体燃料	29
1.2 燃料的理化性能	51
1.2.1 燃料的发热量	51
1.2.2 气体燃料的特性	51
1.2.3 液体燃料的特性	52
第 2 章 燃烧	57
2.1 燃烧的基本原理	57
2.1.1 燃烧概述	57
2.1.2 燃烧反应机理	59
2.1.3 燃烧中的火焰传播	65
2.2 燃烧的计算	90
2.2.1 燃烧的发热量	90
2.2.2 空气量和燃烧产物	99
2.2.3 燃烧温度	109
2.2.4 燃烧速度	139
2.3 燃烧的产物	146
2.3.1 不完全燃烧产物成分和生成量	146
2.3.2 化石燃料燃烧产物	150
2.3.3 炭黑	152
2.3.4 积炭	159
2.4 液体燃料燃烧	161
2.4.1 液体燃料燃烧过程的特点	162
2.4.2 液体燃料的雾化及雾化器	163
2.4.3 柴油油滴蒸发及其燃烧过程	173
2.4.4 乳化油及其燃烧	176

2.4.5	液体燃料预蒸发燃烧技术	180
2.5	气体燃料的燃烧	190
2.5.1	无焰燃烧	190
2.5.2	无焰燃烧器	191
2.5.3	有焰燃烧	192
2.5.4	有焰燃烧器	193
2.5.5	O_2/CO_2 燃烧技术	193
第3章	野外燃烧器的分类	198
3.1	红外线燃气灶	198
3.1.1	红外线与大气式燃气灶工作原理及热效率对比	198
3.1.2	节能和环保效益	202
3.2	醇基液体燃料炉具	204
3.2.1	概述	204
3.2.2	醇基液体燃料	205
3.2.3	醇基液体燃料炉分析	206
3.2.4	炉具压力控制	208
3.2.5	炉具的实施方案与测试结果	208
3.2.6	小结	209
3.3	多燃料油炉	209
3.3.1	新型多燃料油炉的结构组成	210
3.3.2	新型多燃料油炉的性能分析	212
3.3.3	多燃料油炉预定指标和实现指标	214
3.3.4	小结	215
第4章	野外燃烧器的设计	216
4.1	设计基础	216
4.1.1	喷油嘴设计	216
4.1.2	雾化燃油灶热负荷/热效率测试技术	231
4.2	勤务要求	233
第5章	野外燃烧器的使用	235
5.1	专用汽油炉	235
5.2	柴油炉	236
5.2.1	专用柴油炉	236
5.2.2	新型研发炊事柴油炉系列	236
参考文献		253

第 1 章 燃 料

1.1 燃料的种类

燃料通常是指能与氧发生剧烈的氧化反应,放出大量热的物质的总称。作为燃料必须具备下列基本条件:

- (1) 是可燃物。
- (2) 易于获取。
- (3) 容易燃烧,发热量高,且燃烧后所获得的热量在经济上必须合算。
- (4) 储备、运输、处理都比较简便。
- (5) 使用过程中没有危险性。
- (6) 燃烧产物对大气、水质等环境不会造成严重污染。

燃料按其物态可分为气体燃料、液体燃料和固体燃料,按燃料获得方法可分为天然燃料与人造燃料。

1.1.1 气体燃料

1.1.1.1 气体燃料的种类与组成

气体燃料按照其来源可分为天然气燃料和人造气体燃料。天然气燃料是在自然界直接开采和收集的、不需加工及可燃用的气体燃料,称为天然气,包括气田气、油田气和煤田气三种。人造气体燃料是以煤、石油或各种有机物为原料,经过各种加工而得到的气体燃料,包括高炉煤气、焦炉煤气、发生炉煤气、油制气、液化石油气等。

气体燃料可直接用作内燃机、锅炉及工业炉等的燃料,也可用作合成氨、人造石油和有机合成等工业的原料。

由于气体燃料的来源不同,各种气体燃料的组成也不相同。它主要由低级烃(甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、乙烯、丙烯、丁烯)、氢气和一氧化碳等可燃组分,氮气、二氧化碳等不可燃组分,以及氨、硫化物、水蒸气、焦油、萘和灰尘等杂质组成。任何气体燃料都是由一些单一气体混合而成的。其中,可燃气体成分有 CO 、 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 等碳氢化合物以及 H_2S 。不可燃的气体成分有 CO_2 、 SO_2 、 N_2 以及少量的 O_2 。除此之外,气体燃料中还可能含有水蒸气、焦油蒸汽以及粉尘等固体颗粒。

气体燃料具有下列优点:①可用管道进行远距离输送;②不含灰分;③着火温

度较低,燃烧容易控制;④燃烧炉内气体可根据需要进行调节成为氧化气氛或还原气氛等;⑤可经过预热以提高燃烧温度;⑥可利用低级固体燃料制得。缺点是所用的储气柜和管道要比相等热量的液体燃料所用的大得多。

1.1.1.2 常用气体燃料

1. 天然气

天然气是在自然界以气体形式存在的唯一的化石燃料。它的组成随着产地和时期有所不同,但其主要成分是甲烷(CH_4),发热量较高。此外,还有液化天然气,它是采用特殊设备将天然气加以 $46.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 的压力进行压缩,同时冷却,使其降低到临界温度(-82.5°C)以下,液化成液体而制成的,通常作为城市民用或发电用,并且可以用船舶进行远距离输送,作为气体燃料使用。

天然气是由地下开采出来的可燃气体。根据其来源又可分为气田气、油田气和煤田气。

气田气是指从天然气井直接开采出来的气体。未与石油伴生的气田气主要成分是甲烷和少量的乙烷,不容易液化,所以又称为干天然气。

油田气亦称油田伴生气,是指在开采石油的同时所采出的天然气。石油伴生气的产量很大,每采出一吨石油就伴生几十立方米到几百立方米的油田气。新开采的油田,油田气的产量更多。油田气含有石油蒸气,亦称油性天然气。油田气中主要成分是甲烷,并含有少量的乙烷、丙烷、丁烷、戊烷和己烷。

煤田气亦称煤成气或矿井气,即生成煤炭过程中逸出的天然气,一部分吸附在煤层上,俗称煤矿瓦斯气;一部分经地层裂隙转移到空隙处被岩石盖住,聚储起来,称为聚煤气;一部分则经过地层缝隙抛出地面失散。煤田气的主要成分也是甲烷,是三种天然气中含量波动最大的,最高体积分数可达 80% ,最低仅有百分之几,其余成分为氢、氧和二氧化碳等,其热值约为 $1300\sim 19000\text{kJ}/\text{m}^3$ 。值得一提的是,煤田气不仅对人有窒息作用,更严重的是存在极大的爆炸危险性,所以在煤矿开采过程中要有完善、可靠的通风措施。

2. 人工煤气

主要是由液体燃料或固体燃料经过某种加工而得到的主产物或副产物。由固体燃料特地制成气体燃料来使用,一般来说是不经济的,所以除特殊场合外,通常不使用这种方法,但作为其他副产物而得到的气体燃料,应用在工业上则是颇为有利的,这种人工煤气按产生的途径和方法,大体有下列几种:

1) 高炉煤气(B 煤气)

高炉煤气是高炉炼铁时的副产品。在高炉中,通常每消耗 1t 焦炭约可产生 $3800\sim 4000\text{Nm}^3$ 干高炉煤气。由高炉直接引出的高炉煤气含有大量粉尘(达 $60\sim 80\text{g}/\text{Nm}^3$),必须经过沉沉后才能使用。各种设备对含尘量的限制为:蒸

汽锅炉 $500\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下;燃气轮机 $1\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下;平炉、热风炉、加热炉 $20\sim 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下;炼焦炉 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下。

高炉是钢铁联合企业中燃料的巨大消费者,其燃料的热量约有 60% 转移到高炉煤气中,因此,充分有效地利用高炉煤气对冶金工业节能有重要意义。

高炉煤气中由于含有大量不可燃气体(达 70%),因此燃烧放热($Q_{\text{低}}$)很低,仅为 $4000\sim 4800\text{kJ}/\text{Nm}^3$,其主要可燃成分为一氧化碳(CO),故燃烧速率较低。由于高炉煤气是一种燃烧温升较低且难于燃烧的气体,需采用预热手段才能使其达到较高的燃烧温度;将它与其他燃烧性能较好的气体,如焦炉煤气掺混使用也是一种常用的技术措施。另因高炉煤气的主要成分是容易引起中毒的气体,使用时必须注意安全。

2) 焦炉煤气(C 煤气)

焦炉煤气是焦炉炼焦时的副产物。1t 煤在炼焦过程大约可得到 $730\sim 780\text{kg}$ 焦炭、 $25\sim 45\text{kg}$ 焦油及 $300\sim 350\text{Nm}^3$ 焦炉煤气。刚由炼焦炉出来的煤气尚含有水蒸气、焦油蒸气等气态化合物,称为荒焦炉煤气。通常 1Nm^3 的荒焦炉煤气中含有 $300\sim 500\text{g}$ 水、 $100\sim 125\text{g}$ 焦油及其他可作为化工原理按的气态化合物。将焦油蒸气和作为化工原料的成分回收后,并将水分去除,即得作为燃料的焦炉煤气。

焦炉煤气中所含惰性气体成分较低(仅占 8%~16%),因此,它是一种发热量很高的优质燃料,其 $Q_{\text{低}}$ 可达 $13200\sim 19200\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 。焦炉煤气是冶金联合企业的重要燃料之一,通常是将它与燃烧性能较差、发热量较低的高炉煤气或发生炉煤气混合,配制成发热量为 $8400\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 的混合煤气,用于加热炉和平炉等工业炉,有特殊工艺要求的热处理等工业炉则通常单独使用焦炉煤气。由于从焦炉煤气尚可提炼出苯、萘、氨等重要化工产品,因此它也是一种化工原料。

3) 转炉煤气

用纯氧顶吹转炉炼钢是目前钢铁工业中广泛采用的炼钢方法,在炼钢过程中会产生大量的转炉煤气(每冶炼 1t 钢约产生 70Nm^3 的转炉煤气)。转炉煤气主要成分为 CO,含量达 45%~65%,其 $Q_{\text{低}}=6300\sim 7500\text{kJ}/\text{Nm}^3$,所以是一种较好的燃料。在冶金工业中常作为混铁炉、热风炉、钢包烘烤设备的燃料,它也可以作为化工原料用于生产染料、草酸、甲酸等产品。

4) 发生炉煤气

在高温下籍气化剂与煤的化学反应,可使煤转化为可燃气体,这一过程称为煤的气化。目前常用的气化剂有空气、水蒸气、空气加水蒸气三种,由此而产生的煤气称为空气发生炉煤气、水煤气以及混合发生炉煤气。

5) 地下气化煤气

对某些不宜开采的薄煤层及混杂大量硫和矿物杂质的煤矿,可利用地下气化法使其转化为可燃气体——地下气化煤气。这是一种合理利用煤矿资源的方法。

地下气化煤气组成变化范围较大,其 $Q_{\text{dw}}^{\text{f}} = 3300 \sim 4200 \text{ kJ/Nm}^3$,属于低发热量煤气。

6) 人工沼气

利用人畜粪便、植物秸秆、野草、城市垃圾和某些工业有机废物等,经过厌氧菌发酵,在菌酵解下获一种可燃气体——人工沼气。人工沼气原料来源广泛、价廉、在农村中可使有机肥料先制气,后肥田。人工沼气主要成分为 CH_4 (约占 60%) 及少量的 CO 、 H_2 及 H_2S 等,其 $Q_{\text{dw}}^{\text{f}} = 20900 \text{ kJ/Nm}^3$,高于一般城市煤气,属中等发热量煤气。

7) 氢

氢是一种很有应用前景的气体燃料,可以生产氢的水资源极其丰富,而且可以利用氢作为“能”的载体,将不能储存运输的太阳能、风能、水能及核能等能量转换成氢能,储存并输送到用户。

氢的单位质量发热量比汽油和柴油约高 3 倍,但单位体积的发热量只有汽油和柴油的 $1/3 \sim 1/4$ 。氢的可燃界限比汽油宽,最低点火能量只有汽油的 $1/10$ 。氢的自燃温度为 580°C ,比汽油高。氢燃烧产物是水及少量氮氧化物,对空气污染小,故可视为一种清洁燃料。氢的火焰传播速度很高,这对于提高燃烧强化程度是有利的。

早在 20 世纪 20 年代就已有人在研究将氢应用于内燃机,到 70 年代,对氢的研究更为广泛,目前液态氢已成为火箭发动机的燃料。氢被认为是一种良好的燃料,但目前生产成本高,在运输及使用中尚有一些技术难题未解决,这就阻碍了氢作为一种商品燃料的应用。

8) 裂化石油气

裂化石油气是用水蒸气、空气或氧等气体作为气化剂,将石油等油类裂化而得到的可燃性气体。制取方法有直接裂化法、部分燃烧法和接触裂化法等。因制取方法不同,其性质有很大区别。这种石油气通常作为城市民用或与城市煤气混合起来使用。

9) 液化石油气

液化石油气是将炼油厂在常压蒸馏、裂化和改质等过程中产生的气体进行分离之后,在常温下加以 10 kg/cm^2 左右的压力,使其成为液体的碳氢化合物,主要成分为丙烷、丙烯、丁烷等轻烃类。它的特点是以液体状态输送和储藏,而在燃烧时又可以以气体状态使用,在气态时, $Q_{\text{dw}}^{\text{f}} = 88000 \sim 109000 \text{ kJ/Nm}^3$,液化后, $Q_{\text{dw}}^{\text{f}} = 45000 \sim 46000 \text{ kJ/kg}$,属高发热量燃料,而且含硫量非常低。液化石油气是一种优质工业及民用燃料,也是一种重要化工原料。

此外,在开采石油和天然气时,经过分离与净化也可获得一定量液化石油气。

10) 富气(林德气)

富气是石油精制过程中产生的气体经石化等工业使用了必要成分之后,将其残余气体经过还原而得到的燃气。它与液化石油气大体相同。

11) 城市煤气

由裂化石油气、天然气等与煤气相混合来制取,过去主要是民用,近年来在工业及城市区域性采暖设备上也开始使用。

一般在工业上使用的天然气和人工煤气等气体燃料的组成,如表 1-1 所示。

表 1-1 工业用各种气体燃料的组成

种类	密度/ (kg/Nm ³)	高热热量/ (kJ/Nm ³)	组成/%									
			CO ₂	C _n H _m	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	N ₂
高炉煤气	1.34	750~900	11.2~18.8	—	—	23.2~27.0	2.0~2.4	0~0.1	—	—	—	55.5~59.8
焦炉煤气	0.45~0.50	4500~5000	2.5~2.8	3.0~3.8	0.2~0.7	6.0~9.7	52.1~52.7	27.0~32.1	—	—	—	2.4~4.5
裂化石油气	1.20	12500	6.3	16.4	—	4.0	31.0	33.5	(C _n H _{2n+2}) 8.8			—
	2.35	29690	—	—	—	—	—	(C _n H _{2n+2}) 10.0	—	21.5	68.5	—
液化石油气	1.90	23300	—	—	—	—	—	—	—	60~80	20~40	—
富气 (空气稀释)	1.71	10000	—	—	13.7	—	—	(C ₄ H ₈) 25.0		0.7	9.1	51.5
液化天然气	0.71	9600	—	—	—	—	—	97.6	1.4	0.78	0.26	—
城市煤气	0.71	5000	10.1	n≥4 0.5	2.1	4.6	37.2	26.7	$\left. \begin{array}{l} \text{C}_2\text{H}_4 \\ \text{C}_2\text{H}_6 \end{array} \right\} 4.8$ $\left. \begin{array}{l} \text{C}_2\text{H}_6 \\ \text{C}_3\text{H}_8 \end{array} \right\} 1.3$			12.7

1.1.2 液体燃料

天然液体燃料为石油。石油是古代动植物有机残骸,被砂石泥土覆盖,在与外界空气隔绝的条件下,长期受地质与细菌的作用逐渐形成的。从合理利用资源角度考虑,将石油直接作为燃料是不合理的。目前所使用的液体燃料主要是由石油炼制的各种产品。此外,从油页岩和煤种也可生产出人造液体燃料。近年来许多国家还在积极研究各种生物代用液体燃料,如甲醇、乙醇、酯化动植物油等,并取得重大进展,目前已成功地应用于汽车发动机和农业动力机械。生物代用液体燃料

是一种来源广泛且可再生的能源,因此具有十分广阔的前景。

近年来,液体燃料在工业上的应用有了显著的增加,成为内燃机、锅炉以及工业炉等热工设备极为重要的燃料。从油井开采出来保持原有状态的石油称为原油,原油通常呈绿色、褐色或黑色,带有荧光,比重为 0.78~0.95,主要成分是各种碳氢化合物,此外也含有少量的氧、硫及氮化物。原油经过蒸馏分离出煤油、汽油、轻油、重油及沥青等,各有不同用途。除上述以外,液体燃料还有焦油和酒精等,主要液体燃料的性质如表 1-2 所示。

表 1-2 主要液体燃料的性质

液体燃料		比重	高发热量/(kJ/kg)	闪点/℃	含硫量/%	用途
煤油		0.78~0.83	10500~11000	45~60	(白)0.001~0.04 (茶)0.05~0.4	厨房、采暖 发动机和工业
轻油		0.81~0.84	10000~11000	55~100	0.05~0.9	柴油机、厨房采暖
重油	A	0.83~0.89	10000~11000	60~110	0.1~1.3	工业用
	B	0.90~0.93	10000~10600	80~120	0.2~2.8	
	C	0.93~1.00	9800~10500	80~150	0.6~4.0	

液体燃料具有发热量高,使用方便,燃烧污染较低等优点,但其使用受到各国具体资源条件限制。我国按人口平均的石油储量较低,因此,石油类液体燃料的使用限制于必须使用的场合,如交通运输动力装置、移动式动力装置及某些由于生产工艺有特殊要求的工业炉窑等场合。石油不仅是重要的能源,也是宝贵的化工原料。从石油中不仅可炼制出各种液体燃料和润滑油脂,并且可以生产出许多重要工业产品,如合成纤维、塑料、染料、医药用品、橡胶、炸药等。因此,石油在国民经济建设和国防建设中都起着十分重要的作用。

1.1.2.1 石油产品概述

油底层开采出的原油经过炼制可得到各种石油产品。炼制石油的原理是利用石油中各种不同成分具有不同沸点的特点,将原油加热,从而在不同温度范围内(称为馏程)可获得不同的石油产品。在接近大气压力条件下,于 40~180℃ 馏出者为汽油,于 150~300℃ 馏出者为煤油,于 200~350℃ 馏出者为直馏柴油,余下者为高沸点的重质油,称为常压重油。采用降低压力的方法可以降低液体的沸点。例如在压力为 0.01MPa 时,在 400℃ 左右可以从常压中分馏出在常压下沸点为 700℃ 以下的石油产品。降压分馏的产品有重柴油及沸点较高的腊油(可作为生产润滑油的原料),余下者称减压重油,其初沸点大于 340~370℃。通常将常压重油与减压重油统称为直馏重油。还可以采用裂化的方法使分子较大的烃类裂解为分子较小的烃类,用以增产轻质油产品。裂化方法又可分为热裂化和催化裂化。经过上述加工方法可获得可燃气体、汽油和润滑油等产品,残留的高沸点重质油称裂化

重油,其初沸点大于 $500\sim 550^{\circ}\text{C}$,与直馏重油相比,其密度、黏度及所含杂质均较高,燃料稳定性差,易沉淀堵塞油管,燃烧性能亦较差。近年来还采用加氢等工艺来增加轻质油产品。

汽油、煤油、轻柴油主要作为内燃机、燃气轮机的燃料。重柴油除作为中、低速柴油机和重型固定式燃气轮机的燃料外,有时亦作为锅炉及工业炉窑的燃料。用于锅炉和工业炉窑的燃料油主要是重油和渣油。前者是将常压重油、减压重油、裂化重油等油种按适当的比例调和,以达到一定的质量控制指标的一种燃油。如以炼油过程的残余油(它可以是常压重油、减压重油、裂化重油等),不经处理就直接作为燃油,则称为渣油。重油、渣油是原油提取轻质馏分后的残余油,其密度、黏度、沸点均较高,分子结构复杂,且含有较多的固体杂质和水分,故须采取较多的技术措施方能正常燃烧,但价格较低。

1.1.2.2 生物质燃料

汽油、柴油是目前广泛使用的汽车发动机燃料,它们都是由石油制得的产品。但是近年来石油资源日益紧张,已无法满足全球的能耗需求,从而导致了石油价格的暴涨。市场因素促使世界各国开始致力于研究开发经济实用的新型代用能源。我国政府倡导建立节约型和谐社会,以应对能源紧张对我国的经济增长的影响,同时人们越来越注重生存质量和环境保护等问题,因此要求新型的代用能源必须满足可再生及对人类健康、环境保护无危害的条件,正是由于这些原因使得经济环保的可再生能源生物燃料的研发得到了迅速发展。

1. 生物燃料的种类

生物燃料是以生物质为原料生产的能源物质,种类多样,主要包括燃料酒精、生物柴油、生物氢能和生物电池等种类,其中燃料酒精和生物柴油这两种能源最具有可行性和实用性,可以替代由石油制取的汽油和柴油,是可再生能源开发利用的重要研究方向。

2. 燃料酒精

1) 概述

燃料酒精或称燃料乙醇,可用作车用替代燃料。目前世界上普遍使用的燃料乙醇有两大类,分别是变性乙醇和含水乙醇。含水乙醇是纯度为 93.2% 左右的乙醇,可直接用作车用燃料,但必须使用专门设计的发动机;变性乙醇是无水乙醇($>99.3\%$)和汽油或柴油以一定比例混合掺烧的乙醇燃料,当乙醇在混合燃料中的比例不超过 25% 时,可采用原有发动机。根据乙醇在混合燃料中的含量多少可将变性燃料乙醇分为替代燃料(含量较高)和燃料添加剂两种。

2) 生产方法

燃料乙醇的生产方法可分为化学合成法和生物发酵法两大类。化学合成法是

以乙烯为原料加水合成,产品杂质含量高,原料不可再生;而生物发酵法是以玉米、大豆、谷物等物质为原料,经水解作用转化为可被微生物利用的糖类物质,再经微生物发酵将糖转化为乙醇。此法生产的产品纯度较高,且原料可再生,因此世界上约 95% 的乙醇生产都是采用发酵法。发酵法生产乙醇的原料按其被利用的难易程度可分为三大类:糖类、淀粉类和纤维素类。其中糖类最易被利用,可由微生物直接发酵转化为乙醇;淀粉类次之,需先经水解作用转化为糖类再被微生物利用发酵制得乙醇。以这两类物质为原料的发酵工艺成熟,但存在与人争粮的问题,生产成本较高,应用前景不容乐观;最难被利用的是纤维素,这种原料如农副产品秸秆易得且量大,不能被人 and 动物直接利用但可被某些微生物分解利用。因此许多研究者都致力于纤维素生物转化的研究工作,并取得了一定成果,构建了可使纤维素类生物质高效转化为乙醇的基因工程菌。

3) 燃料乙醇国内外生产应用概况

由于燃料乙醇具有成本低、原料易得、对环境友好等特点,其研发工作日益受到重视。国内外大量试验结果表明,低比例(容积比不大于 15%)掺烧乙醇燃料不需要改动发动机,汽车的动力、启动、加速及爬坡等性能都与原来基本一致。

美国是世界上最大的以谷物(主要是玉米)为原料生产燃料乙醇的国家,到 2005 年其燃料乙醇的产量已突破 1400 多万 t。2005 年 8 月美国总统布什签署了新的能源安全法案,其中有关再生能源标准的政策要求机动车燃料必须使用一定比例的再生能源,这将极大地促进燃料乙醇的生产与应用,预计到 2012 年,每年至少消耗燃料乙醇 3000 万 t,可使美国少进口 21.3 亿桶原油,减少 641 亿美元的外汇支出。另一个燃料乙醇的生产大国是巴西,所用的主要原料是甘蔗,根据最近发布的计划,其要求在今后的 10 年内有 50% 的汽车使用燃料乙醇,年消费量也将增加到 2400 多万 t。此外,欧洲各国的燃料乙醇消耗量也在逐年增加。我国近年来也开始大力发展燃料乙醇,国家质量监督检验检疫总局已制定实施《变性燃料乙醇》和《车用乙醇汽油》两项国家标准,河南省、吉林省、黑龙江省和安徽省被列为首批推广乙醇汽油的试点省份,分别建设完成年产 10 万 t 至 60 万 t 不等的燃料乙醇生产项目,并于 2005 年起向全国推广车用乙醇汽油。

3. 生物柴油

1) 概述

生物柴油是由植物油或动物脂肪加工而得到的液体燃料,早在 1900 年 Rudolf Diesel 就用花生油开动过机器。制取生物柴油的原料来源广泛,植物油原料主要包括油菜籽、葵花籽、大豆等,动物脂肪原料主要有牛油脂和猪油脂等。各国生产生物柴油所采用的原料不尽相同,欧洲多以油菜籽作为原料,美国多以大豆作为原料,而畜牧业发达的澳大利亚和新西兰则利用牛羊肉食加工中产生的动物脂肪副料进行生物柴油生产。除此之外,一些国家还根据自身的生物资源条件尝试

采用其他的植物油作原料,如巴西采用蓖麻油,菲律宾采用椰子油,而日本由于本国生物资源条件有限主要着力于研究使用餐饮废油(地沟油)来生产生物柴油。美国可再生能源国家实验室(NREL)还通过现代生物技术构建“工程微藻”来生产生物柴油。

(1) 我国燃料油植物资源的种类及分布。

燃料油植物主要包括油脂植物和具有制成较高还原形式烃的能力、接近石油成分、可以代替石油使用的植物(或称“石油树”,大多含乳汁的植物为这一类型)。

我国土地面积辽阔,地域跨度大,植物资源丰富,有丰富的油料植物资源,产油植物有 400 余种,主要包括大戟科、蓼科、夹竹桃科、桑科、菊科、桃金娘科和豆科等植物,如花生、油菜、芝麻、向日葵、芥籽、棉、大豆、蓖麻等草本油料植物以及油茶、油桐、乌桕、油棕、小桐子(学名:麻风树)、光皮树、绿玉树、黄连木等木本油料植物,可用作建立规模化生物质燃料油原料基地的乔灌木树种有近 30 种,其中分布集中,并能利用荒山、沙地等宜林地进行造林,建立良种供应基地的油料植物有 10 种左右。有的产油量大,所产油在燃烧性能方面接近普通柴油,如油桐、小桐子、光皮树、油楠树等;有的繁殖能力强,生长周期短,生长量大,对环境的适应性强,如续随子、蓄蕾巴树、蒲公英、油莎草等。这些都是有前途的燃料油植物。我国现有的野生油料植物中含油量在 15% 以上的约 1000 种,含油量 20% 以上的约 300 种。已用于生产的植物燃料油种类有按叶油类、黑皂油类、烃类、单脂类和醇类。我国现已查明的能源油料植物种类有 151 科 697 属 1553 种,占全国种子植物的 5%,其中油脂植物有 138 科 1174 种,芳香油植物有 83 科 449 种。

油料植物种数在科属中分布很不均匀,在地区分布上差异亦很大。在我国,油料植物从南到北、从东到西、从低海拔到高海拔逐渐减少,其集中分布区域为亚热带至热带区域,在山区往往与常绿阔叶林或落叶阔叶林相伴生,而且以野生为主(野生种占总数的 75.4%),栽培植物种很少。

(2) 国外燃料油植物资源的开发利用概况。

开发利用能源植物,生产可再生的生物液体能源,已受到世界各国的广泛关注。现代燃料油植物的研究工作始于 20 世纪 60 年代。1962 年,MacLay 率先进行了植物种子油改性及工业应用的研究。1963 年,Scott 开始了新的工业用油作物的调研。1966 年 Knowles 研究了在土耳其、印度和埃及提取植物油的传统工艺及大规模生产的可能性。但当时生产的植物油及其工业应用价值难与价格较低廉的矿物燃料油相竞争。70 年代主要进行的是能源植物的普查和筛选工作。美国北部区研究中心和北方农业能源中心进行了一系列的燃料油植物的筛选。1970 年 White 评价和测定了 162 种植物作为新能源的前景。随后,Back 分析了 1253 种植物的含油量,Morkley 也报道了巴西油棕的开发现状。自 1973 年石油危机以来,国际上日益重视能源植物及其燃料的研究。80 年代欧共体和美国在布莱顿召

开国际生物质能会议,使包括植物燃料油在内的生物质能研究空前高涨,从此进入了能源植物的蓬勃发展阶段。其中美国在生物质能源的开发利用方面一直处于世界领先地位。

在燃料油植物研究领域作出最杰出贡献的是美国加州大学化学家、诺贝尔奖金获得者 Calvin 博士。以他为代表的研究小组集中研究了燃料油植物资源,并作了引种筛选和工业应用的初试研究。Calvin 倡导“柴油林”(也称“石油人工林”)的研究,以生产可再生的光合作用产品。他通过广泛分析一些植物的成分,选定了能生产 12 种烃类物质的续随子和绿玉树进行栽培试验,建立了种植续随子的“柴油林场”。随后,他还发现一种古巴香胶树、银胶菊、西谷椰子等,都具有广阔的生物能源开发价值。近几年,美国能源部筛选考察了很多一年生和多年生的植物品种,得到了 34 种草本植物和 125 种木本植物作为有极大开发潜力的能源植物,近些年他们的研究集中于柳枝樱(美国牧场的一种多年生草)和一些速生树木:杨树、柳树和枫树等。菲律宾山区的一种“柴油树”——汉加树,果实含酒精,可直接用于内燃机。坦桑尼亚积极开发棕榈籽生产生物柴油,目前已在西北的基戈马省动工修建一座利用现代科技把棕榈籽转变成成为柴油的工厂。另外,油楠、乌桕、亚麻、椰子等油料树种生产生物柴油也正引起人们的极大关注。至今,燃料油的研究在国际上已经进入了实质性研究阶段,引种栽培、遗传育种和植物油的改性配套研究正在全面展开。

(3) 国内燃料油植物资源的开发利用现状。

我国燃料油植物的研究起步较晚。从 20 世纪 80 年代以来,我国生物质能的应用技术研究一直受到政府和科技人员的重视。1982 年,我国的科研工作者对 1581 份植物样品进行了分析,收集了 974 种油料植物,编写了《中国油脂植物》等书,还选择出了一些高含油量的植物,如乌桕、小桐子(麻风树)、油楠、四合木、五角枫等。系统的研究工作始于中国科学院的“八五”重点科研项目:“燃料油植物的研究与应用技术”,完成了金沙江流域燃料油植物资源的调查及栽培技术研究,并选择出了干热河谷适生种的小桐子,建立了 30ha 的小桐子栽培示范林地,还做了植物油代替燃料油的相应试验。自 20 世纪 90 年代初开始,长沙市新技术研究所与湖南省林业科学院对能源植物和生物柴油进行了长达 10 年的合作研究,“八五”期间完成了光皮树油制取甲酯燃料油的工艺及其燃烧特性的研究;“九五”期间完成了国家重点科技攻关项目“植物油能源利用技术”。1999~2002 年,湖南省林业科学院承担并主持了国家林业局引进国外先进林业技术(948 项目)——能源树种绿玉树及其利用技术的引进,从南非、美国和巴西引进了能源树种绿玉树优良无性系;研制完成了绿玉树乳汁榨取设备;进行了绿玉树乳汁成分和燃料特性的研究;绿玉树乳汁催化裂解研究取得了阶段性成果。

2004 年科技部高新技术和产业化司启动了“十五”国家科技攻关计划生物燃