

● 崔心存 编著

内燃机的 代用燃料



机械工业出版社

本书较全面地介绍了石油燃料及代用燃料的生产过程、理化性质、燃烧特性及应用技术等。收集介绍了国内部分科研成果，广泛分析了国外的最新资料，重点论述了可以从我国储藏极其丰富的煤中提炼的甲醇的应用与研究。

全书共八章，主要内容有：燃料的基础知识（除了用于比较的石油燃料外，还包括代用燃料及燃料乳化、增溶等方面的基础理论）；醇燃料、生物燃料以及氢等气体燃料的燃烧技术、排放特性等；还介绍了醇内燃机的有关问题。

本书可供内燃机、交通运输及农机部门的工程技术人员、科研人员及高等院校的师生使用，也可供石油化工及能源有关部门的同志参考。

内燃机的代用燃料

崔心存 编著

*

责任编辑：钱既佳 贾玉兰 版式设计：吴静霞

封面设计：姚毅 责任校对：熊天荣

责任印制：王国光

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $11 \frac{1}{8}$ · 字数 247 千字

1990年8月北京第一版·1990年8月北京第一次印刷

印数 0,001—1,170 · 定价：9.30 元

*

ISBN 7-111-02191-6/TK · 84

前 言

石油燃料是实现四个现代化的必不可少的重要能源之一。石油燃料的储量总是要日益减少的,因而寻找和研究代用燃料,了解燃料的理化性质、燃烧特性,更好地利用燃料、节约能源,保护环境已成为当务之急。为此我对多年来从事科研实践工作进行了总结,并广泛分析了国内外有关科研成果及文献资料,写成此书。以期对我国代用燃料的研究及应用、合理利用燃料、提高热效率、改善排放等研究有所裨益,也为有关专业的师生提供一本代用燃料的教材。

武汉水运工程学院院长朱国伟教授及高孝洪教授对本书进行了审阅,提出了许多宝贵的意见。崔少秋同志对书稿的文字进行了修改及缮写。潘恩滇及夏冬明同志描了本书的部分插图。本书的出版得到国家科委领导及工业科技司能源处的支持。在此一并表示衷心的感谢。

由于醇等代用燃料仍处于研究开发阶段以及作者水平所限,不足之处在所难免,敬请各方面的同读者不吝指教。

编著者

目 录

第一章 能源问题与内燃机的未来燃料	1
1.1 未来石油燃料的短缺	1
1.2 内燃机的未来燃料问题	5
1.3 代用燃料的分类及选择	7
1.4 代用燃料的研究与应用概况	14
第二章 内燃机的燃料	21
2.1 石油的组成	21
2.2 石油的加工	28
2.3 常用燃料的种类	32
2.4 燃料的特性	39
第三章 燃料的乳化	63
3.1 表面活性剂的作用	63
3.2 乳化液的稳定性及表面活性剂的 <i>HLB</i> 值	67
3.3 醇类燃料与汽油的混溶	75
3.4 醇类燃料与柴油的乳化	83
第四章 醇燃料的生产及性质	89
4.1 醇燃料的生产	89
4.2 醇燃料的理化性质	100
4.3 混合燃料的性质	112
4.4 燃料规范	124
4.5 醇燃料内燃机的燃烧特性	131
第五章 在内燃机中掺烧醇燃料	152
5.1 概述	152
5.2 在汽油机中掺烧醇	154
5.3 在柴油机中掺烧醇	176

5.4 在涡轮增压内燃机中燃用醇	196
第六章 醇燃料内燃机	205
6.1 实现醇燃料燃烧过程的技术	205
6.2 醇奥托循环内燃机	227
6.3 醇狄塞尔循环内燃机	232
6.4 醇燃料内燃机的冷起动	237
6.5 醇燃料内燃机的磨损、润滑及材料相容性	247
6.6 醇燃料的毒性及安全问题	256
第七章 生物代用燃料	265
7.1 研究和应用生物燃料的意义及其范围	265
7.2 “绿色石油”及能源植物	269
7.3 植物油类燃料	276
7.4 单酯类	291
第八章 氢气等其他代用燃料	297
8.1 氢	297
8.2 气体代用燃料	322
8.3 煤—油混合燃料及溶剂精炼煤基油	336

第一章 能源问题与内燃机的 未来燃料

任何国家的经济发展都与能源问题密切相关，而内燃机对燃料的需求，在能源总消耗量中占很大比例，能源的短缺将在内燃机燃料供需矛盾上突出地表现出来。未来石油燃料的产量终将日趋减少，研究与开发代用燃料势在必行，以保证未来交通运输及国民经济的发展。

1.1 未来石油燃料的短缺

18世纪煤炭的利用，随后瓦特发明蒸气机，引起了资本主义工业革命，改变了以人力、生物能及畜力为主要能源的局面。接着以电力代替蒸气机，促进了资本主义工业化及经济的发展。20世纪大量开采石油，以煤为主的能源结构转变为以价格低廉、效益高的石油为主，更促进了世界范围内的经济发展及繁荣。1973年的石油危机，使发达国家的经济受到很大的影响，使生产总值年平均增长率有所下降，结束了廉价石油的时代。然而，能源的科学技术及新能源也有了很大的发展，世界发展的进程充分说明了：能源是发展经济、促进物质文明的很重要因素。

图 1-1 表明了 1968~1978 年期间世界石油储存量及消耗量的变化情况。1972 年以前，世界已查明的石油储存量逐年增加（见曲线 A）。到出现石油危机的 1973 年，石油储存量首次出现了下降的情况。以后虽然有过回升，但 1974

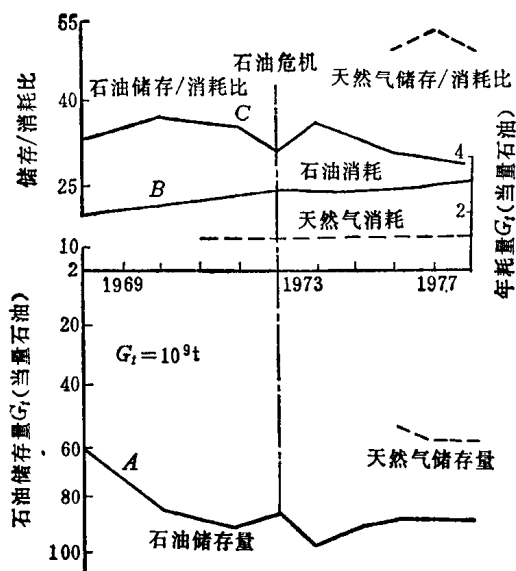


图1-1 世界石油储存量及消耗量的变化情况^{〔1〕}

年石油储存量达到最大值以后就逐步减少。

曲线B表明世界石油消耗量在1973年以后的两年中虽有些下降，但随后又继续明显增加。曲线C表明世界石油储存量与消耗量的比例在1974年以后每年逐步下降，这也表明可以利用石油的年代已经是屈指可数了。图中虚线表示了有关天然气的储存及消耗的情况，其储耗比也达到了最大值。

世界能源的储存、消耗及可使用的年代的预估值见表1-1。

能源的可开采量、消耗量及可使用的寿命受到很多因素的影响，表1-1中所列的数值是很粗略的估计。尽管有一些能源专家认为石油的利用可维持较长的时间，但较多的世界能源机构及权威人士认为^{〔1〕~〔4〕}，现已查明易开采的石油

表1-1 世界能源、消耗及可使用的年代的预估值①

能 源 类 型	储 存 量 (EJ)②		每年消耗量 (EJ)③		可以再使用 的时间(年)	
	已查明的	最 大 的	1979年(%)	2000年(%)		
天 然 气	3000	8000	50 (16)	80 (13)	60	
石 油	4000	20000	140 (43)	190 (31)	30	60
油 页 岩	2000	23000	—		—	
沥 青 沙	3000	10000	—		—	
煤	20000	300000	70 (22)	150 (25)	280	
铀	11000	3×10^8	10 (3)	100 (16)	1100	
增殖反应堆	$>10^{12}$	$>10^{17}$	—	—	—	
可再生能源	—	—	50 (16)	90 (15)	—	
世界总量	—	—	320(100)	610(100)	—	

① 假定2000年以前每年增长2.9%。

② $EJ = 10^{18} J$ 。

③ 括弧中数字为该种燃料年消耗量占总的燃料年消耗量的百分比。

可维持50年左右,1990年左右世界石油产量将达到最高峰,而后逐步下降,下世纪初将出现石油短缺的现象。到2030年液体燃料中的40%左右要由煤的合成燃料来满足。未来将充分研究利用太阳能及核能等,可再生能源也将占有一定的地位。

我国能源资源丰富,已查明的尚多未被开采利用,未探明的预计还很多。但是就目前状况看,能源资源分布不均,利用率不高,人均能源产量很低。已查明的石油储量及年开采量还不能满足国民经济发展的需求,储采比低。石油年产量人均数很低,只有世界平均水平的13%,为主要工业国的3~7%〔5〕。我国煤炭储量极其丰富,充分开发利用

煤炭资源，是满足国民经济发展需要的一个重要方面。

随着国民经济的发展，能源消费量也必然要有相应的增长，它们之间的关系可用能源弹性系数 ϵ 表示。

$$\text{能源弹性系数 } \epsilon = \frac{\text{能源消费量与前一年相比的增长率}}{\text{国民经济总产值与前一年相比的增长率}}$$

我国自 1949~1979 年的 30 年中，在不同阶段能源弹性系数 ϵ 的变化范围为 0.59~1.69^[5]。石油是能源的主要组成部分，未来的消费量的增长速度与国民经济发展的速度，大体上也要遵循过去 30 年中 ϵ 变化的规律。因此，为了使本世纪末工农业总产值翻两番，如 ϵ 按 0.59 计算，则石油的总产量要增加 1.36 倍， ϵ 按 1.69 计算，则石油总产量应增加 5.8 倍。实际上据有关部门的预测，到本世纪末，经过挖潜努力后，石油总产量只能翻一番，所以未来我国要出现石油短缺的现象。

当前内燃机主要用石油作为燃料，一般工业发达国家消耗在内燃机上的燃料约占整个石油消耗量的 60% 左右，我国则不到 1/3。目前我国石油燃料的局部供需关系已显得紧张。虽然改善现有石油的利用情况，如尽量在锅炉上少用石油以及进一步采用节能技术，可以改善目前石油产品供应的紧张状态，但是我国目前汽车年产量只 30 多万辆，汽车保有量约 300 多万辆，与工业发达国家相比差距很大。世界各国交通运输结构变化的趋势是提高汽车运输的比重和地位，在整个交通运输量中，汽车所占的比重已超过了铁路运输。为了实现四个现代化，我国汽车工业及交通运输业必然要有一个很大的发展，农业机械化及海洋内河运输也要有相当大的发展，这样未来石油燃料的短缺现象也必然很突出。这就需要研究推广使用内燃机的代用燃料及开发新能源。

1.2 内燃机的未来燃料问题

世界的石油资源终将日趋减少，石油燃料的短缺现象也必然会出现，而且会日益严重，因此70年代初各国就纷纷研究对策。一方面深入研究内燃机的节能，降低比油耗；一方面挖掘潜力，改变燃料的使用方式，研究内燃机的代用燃料。能源问题将对内燃机的未来燃料产生如下影响。

一、使用品质更劣的燃料

未来船用柴油机将要用品质更差的劣质重油和残渣油。预测这种劣质燃油的品质见表1-2。

表1-2 未来船用燃油品质的预测

粘度(50°C)(cSt)①	460~490
[Red No 1 s 100°F]	[4500~6000]
比重 (15°C)	0.99
残炭 (重量比) (%)	15~18
沥青 (重量比) (%)	10~15
硫分 (重量比) (%)	5

① $1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

二、改变使用燃料的方式

为了使燃料燃烧完善，得到充分的利用，将会进一步研究改变使用燃料的方式。如上述的劣质重油及残渣油含有较多的沥青及固体残渣，粘度高，如用过滤器或离心分离法进行处理，则要提高成本，损失掉一部分有用的能。另一种使用方式就是将这种劣质油在筒中研磨，或在一定的压力下经细小的喷嘴喷出，使其中的颗粒变成 $1\sim 5\mu\text{m}$ 的微粒，然后再和水形成乳化液使用。这样就可使用通常的燃油设备使其

雾化，并可收到燃烧时乳化油微爆效应、二次气化混合改善燃烧的效果。

将煤炭粉碎成煤粉，然后形成油、煤混合浆或油、水、煤混合浆后再使用。还有煤的液化、气化，使燃料由固态变成液态或气态后再使用等。再如一般柴油掺水、汽油掺水，都是改变燃料使用方式的例子。从广义上讲，也都是代用燃料的一个方面。

三、使燃料适用于多种动力装置

柴油机的热效率较高，在柴油机中掺燃汽油或宽馏分燃料，可以提高燃料的使用效率。在原来使用液体燃料的发动机中，改用沼气、天然气或液化石油气等气体燃料，使重油甚至于煤粉能用于燃气轮机等。上述这些研究方向都是为了使燃料能有多种用途，使发动机有燃烧多种燃料的性能。这不仅可以提高燃料的利用率，扩大其灵活性，能应付某种燃料突然短缺的紧急情况；而且可以经过发动机多种燃料性能的研究，使汽油机和柴油机“杂交”，获得新的更完善的工作过程。

四、使用掺合燃料及改质燃料

在由传统的石油燃料改用代用燃料或完全新型燃料时，一方面由于代用燃料在数量上还不能满足要求，各国之间的发展情况也不平衡；另一方面一些代用燃料在某些性质方面还有不足之处。因此，在内燃机中将会同时使用两种燃料或两种以上燃料掺合在一起的混合燃料，如醇类燃料与柴油或汽油掺合使用。在燃料中加入多种添加剂，使燃料具有良好的着火性、抗爆性、无腐蚀性等全面较优的性能。

五、完全使用新的代用燃料

在石油燃料严重缺乏时，或某种代用燃料从能源利用效

率、使用效果及总的经济价值比石油燃料更优越时，内燃机将完全使用非石油燃料，如使用单一的甲醇、乙醇或氢气等。

1.3 代用燃料的分类及选择

内燃机燃料的演变发展过程大致如图1-2所示。早在1892年R. 狄赛尔就曾试图以煤粉作为柴油机的燃料，但未成功。长期以来，内燃机是以液体的碳氢化合物 C_mH_n 系燃料为主的。当燃料中C含量减少，H含量增加时，燃料为轻质的，并演变为气体燃料。在极限情况下， $m = 0$ 、 $n = 2$ 时，就成为氢气。反之，当C含量增加，H含量减少，就成为重质燃料，当 n 值近似等于零，就成为煤炭。一般来说，接近氢的燃料是低污染型燃料，而靠近煤炭的是高污染型燃料。

未来内燃机燃料将向两极演变，即氢气和煤炭以及由煤

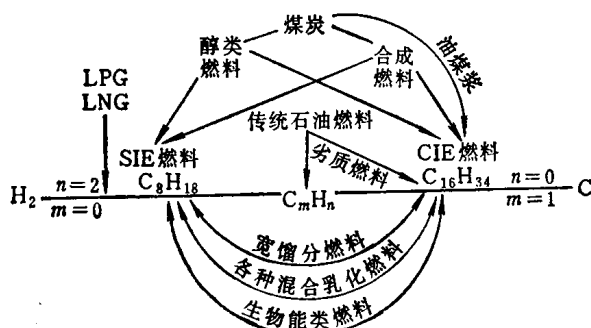


图1-2 内燃机燃料的演变及发展

SIE—火花点火发动机 CIE—压燃式发动机 LPG—液化石油气

LNG—液化天然气

注：外文缩写字，参看本书的附录。

炭派生出来的燃料，后者将主要是醇类燃料及人工合成的汽油等。在这种演变过程中，各种混合、乳化燃料，生物能类燃料及宽馏分燃料将在内燃机中得到不同程度的应用。

1. 代用燃料的分类

由于代用燃料刚处于研究发展阶段，还难以提出完善的分类。从代用燃料的广泛含义来说，应包括：

(1) 品质更低劣的传统石油燃料，如过去一般不使用的劣质重油、残渣油；

(2) 使用形式变化了的燃料，如各种掺水的乳化燃料、固体粉末和液体混合的燃料；

(3) 人工模拟燃料，如将石油气和空气混合模拟成天然气使用；

(4) 人工合成燃料，将两种以上元素或生产企业的副产品人工合成可燃的燃料。

从狭义的代用燃料来说，除了传统的柴油、汽油及上述几种形式的燃料以外，对目前使用和研究的代用燃料分类如下：

表1-3 内燃机代用燃料一览表

气态	氢气、沼气
	液化石油气LPG、液化天然气LNG 发生炉煤气等
液态	醇类：甲醇、乙醇等
	植物油类 { 桉树油、蓖麻油等 菜油、花生油等
	动物油：如鱼油、鲛油等
	其他化工副产品的可燃液体
固态	煤粉及煤、油浆等

2. 高能燃料及氮化氢燃料

除了较熟悉的石油燃料及代用燃料外，还有高能燃料及氮化氢燃料也引起人们注意。碳元素的比能只是氢的27%，而硼的比能大约是碳的二倍。因此，如在碳氢化合物中以别的比能高的元素（例如硼）代替碳元素，则可得到高能燃料。例如对 B_2O_3 进行氢化处理则可得到 B_2H_6 。

硼化合物的热值很高，燃烧反应快，火焰速度高，几乎是碳氢化合物的100倍。硼与碳化合成为 BCH ，其蒸气很易爆炸，与水起反应，容易引起腐蚀。目前有些高能燃料只用于军事方面。几种高能燃料的简要情况见表1-4。

表1-4 几种高能燃料的简要情况

名 称	分子式	分子量	热 值 (MJ/kg)	密 度 (g/cm ³)	状态	熔点 (°C)	沸点 (°C)
氢	H ₂	2.016	120	8.6×10^{-5}	气体	—	—
铍	Be	9.01	67.7	1.795	固体	1280	2770
硼	B	10.82	59	2.003	固体	2100	2550
乙硼烷(气体)	B ₂ H ₆	27.69	72.8	1.2×10^{-3}	气体	-166	-93
乙硼烷(液体)	B ₂ H ₆	27.69	72.3	0.43	液体	—	—
戊 硼 烷	B ₅ H ₉	63.17	67.7	0.63	液体	-47	58
癸 硼 烷	B ₁₀ H ₁₄	222.31	65.1	0.94	固体	99	213
烷 基 硼	BCH	—	58.15	0.82	液体	—	—

氮化氢燃料是指氨 (NH_3) 及联氨 (N_2H_4)，在常温下氨是气体，而联氨（胂）是液体。工业上可利用核能使氮及氢直接合成氨。

3. 良好的代用燃料的标准

良好的代用燃料应能满足下列要求：

- (1) 资源丰富，价格适宜；
- (2) 燃料的热值，尤其混合气热值能满足内燃机动力性能的要求；

(3) 能满足车辆起动性能、行驶性能及加速性能等方面的要求;

(4) 能量密度较高、储存运输方便;

(5) 发动机的结构变动较小, 技术上可行;

(6) 现有的燃料, 储运分配系统能用得上;

(7) 对人类健康、环境保护及安全防火等无有害的影响;

(8) 对发动机的寿命及可靠性没有不良影响。

一种代用燃料要全面良好地满足上述要求是困难的, 但应满足主要要求, 并在采取技术措施的情况下, 能满足各方面的要求。

4. 代用燃料的选择

在选择代用燃料时要考虑: 可供生产代用燃料的国家资源情况, 工业发展水平, 生产代用燃料的技术及效益, 热机的适应性及发展趋势, 环境保护等。而交通运输车辆需要大量品质较优的燃料, 应优先考虑。图 1-3 表明可能的代用燃料及适应车辆动力系统的情况, 图 1-4 表明不同的热机及其燃料。热机与燃料是密切相关的, 燃料的范围在扩大, 热机的技术在发展, 而它们之间必须协调, 才能获得最大的综合效益。

生产醇类燃料的资源丰富, 尤其甲醇可从我国储藏量很大的煤炭及天然气中提炼, 生产工艺成熟。近几年的研究及应用表明, 在内燃机中使用醇燃料, 可以获得良好的动力性、燃油经济性及排放特性等。图 1-3 中所示由煤生产甲醇作为代用燃料是值得优先考虑的。

氢气虽然是良好的、清洁的内燃机燃料, 但一些生产技术问题, 如生产工艺、成本及储存运输等, 在短时间内难以得到完善的解决, 而且生产氢需要消耗较多的电能, 近期还

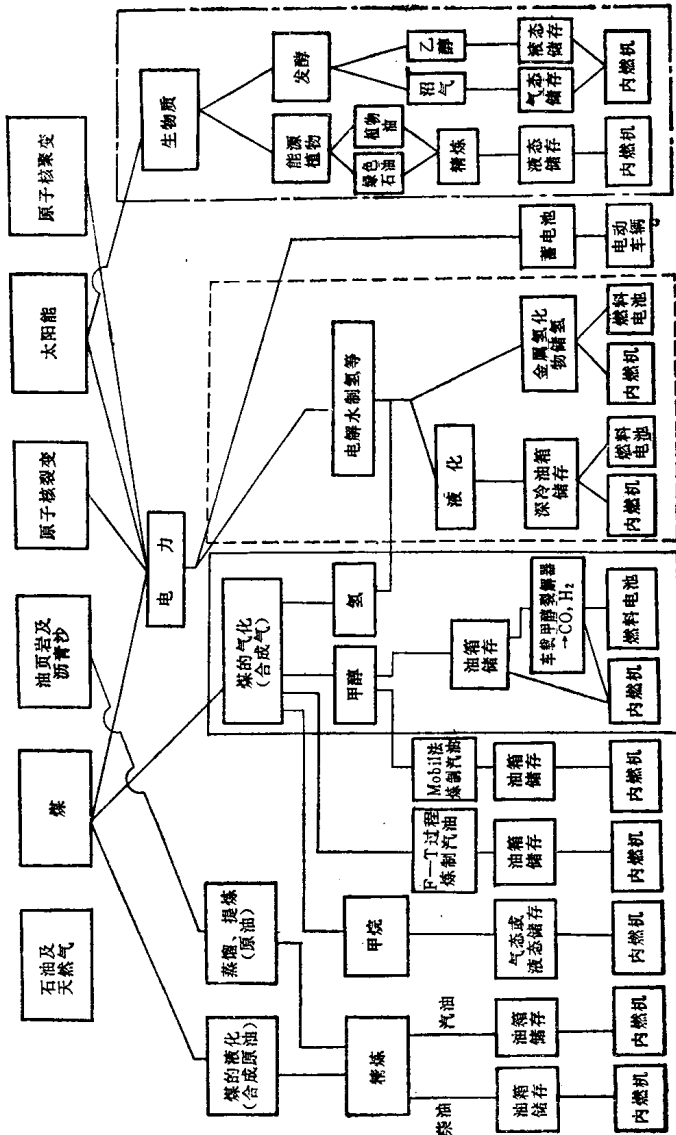


图 1-3 可能的代用燃料及车辆动力装置的图解说明

