

陈振斌 李开绵 何金戈 肖明伟 编著

车用生物质燃料

VEHICLE
BIOMASS FUEL



化学工业出版社

陈振斌 李开绵 何金戈 肖明伟 编著

车用生物质燃料

VEHICLE BIOMASS FUEL



化学工业出版社

·北京·

本书全面系统地论述了醇燃料、生物柴油、二甲醚等生物质燃料的制备及其在汽车（发动机）上的应用研究，以及车用生物质燃料生命周期评价；重点论述了掺醇汽油、掺醇柴油、生物柴油、二甲醚的发动机燃烧特性、动力性、燃油经济性和排放性能等。本书共分7章，主要内容包括：生物质燃料概论、醇燃料、掺醇汽油、掺醇柴油、生物柴油、二甲醚、车用生物质燃料生命周期评价。

本书可供能源技术、动力机械工程、车辆工程等领域的科研院所的相关科技人员参考，也可供高等院校相关专业师生，以及对车用生物质燃料有兴趣的技术和管理人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

车用生物质燃料/陈振斌等编著. —北京：化学工业出版社，2012.11

ISBN 978-7-122-15512-2

I. ①车… II. ①陈… III. ①汽车燃料-生物燃料
IV. ①U473

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 237700 号

责任编辑：韩庆利

装帧设计：张 辉

责任校对：宋 夏

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：北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13¼ 字数 334 千字 2013 年 1 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

目前人类通过化学反应获得的能量大多来自于煤炭、石油、天然气等化石燃料。化石燃料的使用,给人们生活带来很多方便的同时也对环境造成了不良影响。世界范围的石油资源短缺和环境问题的日趋严重,促使人们越来越认识到研发车用替代燃料重要性和迫切性。特别在中国,由于经济建设突飞猛进,人民生活不断改善,近年来汽车工业发展迅猛。据中国汽车工业协会统计,2009年中国汽车产销量达到1360万辆,居世界第一;2010年中国汽车产销量双双突破1800万辆,不仅蝉联世界第一,而且创全球历史新高;2011年中国汽车产销量再度超过1800万辆,再创全球历史新高。然而,中国石油产量增长缓慢,无法跟上工业的发展速度,中国原油对外依存度一路攀升,2009年、2010年、2011年分别达到了52%、53.7%、56.5%。此外,汽车尾气污染空气的情况依然严重,又面临要降低温室气体CO₂排放的要求。这些都将严重影响中国的能源安全和国民经济可持续发展,因此研发和应用清洁的替代燃料和车用燃料多元化势在必行。研发和应用生物质燃料符合动力机械和车用燃料发展趋势,以及降低温室气体CO₂排放的要求,同时也符合中国国情,是解决“三农”问题的重要途径之一。

本书是在作者长期从事生物质燃料技术开发与应用研究(国家木薯产业技术体系 No. CARS-12、公益性(农业)科研专项 No. 3-57、国家自然科学基金资助项目 No. 51166002)的基础上编写而成的。同时,本书还借鉴了国内外该领域有关研究成果,作者在此对本书参考的有关文献著作者深表谢意。作者期望本书能为后续的研究提供借鉴,可供能源技术、动力机械工程、车辆工程等领域的科研院所的相关科技人员参考,也可供高等院校相关专业师生,以及对车用生物质燃料有兴趣的技术和管理人员参考。

李开锦(中国热带农业科学院研究员、国家木薯产业技术体系首席科学家)指导全书的编写,并且编著了本书的第1章;陈振斌(海南大学副教授、同济大学博士生)负责编写本书大纲,并且编著了本书的第4、7章;何金戈(海南大学副教授)编著了本书的第5、6章;肖明伟(海南大学讲师)编著了本书的第2、3章。

研究生孙瑞、张承亮、刘军和申辉等,或者协助查阅资料,或者协助校对等,为编著者提供了一些帮助;化学工业出版社提供了良好的编著条件,使本书得以如期出版。编著者在此一并表示衷心感谢!

由于编著者水平有限,本书有疏漏和不妥之处,谨请专家与读者不吝指正。

编著者
2012年9月

目 录

第 1 章 生物质燃料概论

1.1 能源与环境保护	1
1.1.1 能源	1
1.1.2 环境保护	2
1.2 生物质和生物质能	2
1.2.1 生物质	2
1.2.2 生物质能	3
1.3 发动机替代燃料	5
1.3.1 发动机替代燃料的分类	6
1.3.2 各种替代燃料的特点	6
本章参考文献	8

第 2 章 醇类燃料

2.1 概述	9
2.2 醇的生产	11
2.2.1 甲醇的生产	11
2.2.2 乙醇的生产	16
2.3 醇燃料的性质	18
2.3.1 醇燃料的理化性质	18
2.3.2 醇燃料的热物性	19
2.4 纯醇燃料的燃烧和排放特性	20
2.4.1 甲醇燃料发动机的燃烧和排放特性	20
2.4.2 乙醇燃料发动机的燃烧和排放特性	22
2.5 纯醇燃料在汽车上的应用	24
2.5.1 甲醇燃料在汽车上的应用	24
2.5.2 乙醇燃料在汽车上的应用	26
本章参考文献	27

第3章 掺醇汽油

3.1 概述	29
3.2 掺醇汽油的制备	29
3.2.1 甲醇汽油的制备	29
3.2.2 乙醇汽油的制备	32
3.3 掺醇汽油的性质	34
3.3.1 甲醇汽油的性质	34
3.3.2 乙醇汽油的性质	38
3.4 掺醇汽油的燃烧和排放特性	40
3.4.1 甲醇汽油的燃烧和排放特性	40
3.4.2 乙醇汽油的燃烧和排放特性	45
3.5 掺醇汽油在汽车上的应用	49
3.5.1 甲醇汽油在汽车上的应用	49
3.5.2 乙醇汽油在汽车上的应用	53
本章参考文献	54

第4章 掺醇柴油

4.1 掺醇柴油概述	56
4.1.1 掺醇柴油作为柴油机燃料的必要性和可行性	56
4.1.2 发动机掺烧醇类燃料的方式	57
4.2 掺醇柴油的制备及稳定性	58
4.2.1 助溶剂	58
4.2.2 乳化剂	60
4.2.3 一种复合添加剂	62
4.2.4 掺醇柴油的制备及稳定性试验	62
4.3 掺醇柴油的性质	67
4.3.1 醇类燃料的性质	67
4.3.2 掺醇柴油的主要性质	69
4.3.3 掺醇柴油的主要性质检测结果实例	72
4.4 掺醇柴油的燃烧特性、动力性和经济性	75
4.4.1 掺醇柴油的喷雾、燃烧和冷启动性能	75
4.4.2 发动机燃用掺醇柴油的动力性	95
4.4.3 发动机燃用掺醇柴油的经济性	97
4.5 掺醇柴油的排放特性	105
4.5.1 发动机燃用掺醇柴油的常规排放特性	105
4.5.2 掺醇柴油的非常规排放特性	118
4.6 掺醇柴油在汽车上的应用	126
4.6.1 柴油/甲醇组合燃烧整车的道路试验	126
4.6.2 柴油机汽车使用甲醇燃料的性能	127
4.6.3 柴油机汽车使用乙醇-柴油混合燃料的性能	129

本章参考文献 133

第 5 章 生物柴油

5.1 生物柴油概述 136

5.1.1 生物柴油的定义 136

5.1.2 生物柴油的原料来源 136

5.1.3 生物柴油的优点 136

5.1.4 生物柴油的缺点 138

5.1.5 发展生物柴油的意义 138

5.1.6 世界各国生物柴油的应用和发展 139

5.1.7 中国生物柴油的应用和发展 140

5.2 生物柴油制备方法 142

5.2.1 第一代生物柴油的工艺类型 142

5.2.2 第二代生物柴油的工艺类型 144

5.2.3 第三代生物柴油的工艺类型 145

5.3 生物柴油的理化性质 146

5.4 生物柴油在发动机上的应用 148

5.4.1 供油、喷油特性 148

5.4.2 喷雾特性 149

5.4.3 燃烧特性 149

5.4.4 动力性 155

5.4.5 经济性 156

5.4.6 排放性 156

5.4.7 排温性 160

5.5 生物柴油在汽车上的应用 161

5.5.1 启动性能 161

5.5.2 经济性 161

5.5.3 动力性 162

5.5.4 环保性 162

5.5.5 可靠性 162

5.5.6 橡胶制品的密封性 163

5.5.7 耐久性 164

本章参考文献 164

第 6 章 二甲醚燃料

6.1 二甲醚概述 165

6.2 二甲醚的历史和应用现状 167

6.3 二甲醚制备 168

6.3.1 制备二甲醚的原料和原料气的制备 168

6.3.2 二甲醚生产工艺 169

6.4	二甲醚燃料在汽车发动机上的应用	173
6.4.1	发动机供油系统的改进	173
6.4.2	供喷油特性	175
6.4.3	燃烧特性	176
6.5	二甲醚及二甲醚-柴油混合燃料的动力性、经济型和排放性	180
6.5.1	外特性下二甲醚发动机和柴油机的扭矩和功率对比	180
6.5.2	外特性下燃油消耗率的对比	181
6.5.3	排放性	181
6.5.4	运行稳定性	185
6.6	二甲醚燃料在汽车上的应用	186
6.6.1	动力性和启动性	186
6.6.2	经济性	186
6.6.3	排放性能	186
6.6.4	噪声分析	187
6.6.5	润滑性	187
本章参考文献		187

第7章 车用生物质燃料生命周期评价

7.1	生命周期评价概述	189
7.1.1	生命周期评价的概念	189
7.1.2	生命周期评价方法的发展	189
7.1.3	生命周期评价框架	190
7.2	车用生物质燃料生命周期评价	192
7.2.1	目的意义	192
7.2.2	评价方法	193
7.3	车用生物质燃料生命周期评价的实例	197
7.3.1	木薯燃料乙醇生命周期能源效率评价	197
7.3.2	木薯燃料乙醇新、旧生产工艺的能耗分析	198
7.3.3	木薯乙醇汽油生命周期评价	201
7.3.4	生物柴油生命周期评价	202
本章参考文献		204



第 1 章 生物质燃料概论

1.1 能源与环境保护

发动机具有热效率高、结构紧凑、机动性强、运行维护方便等优点，常常作为汽车、船舶、机车、工程机械、农业机械和发电装置的动力源。但发动机的广泛应用也带来了严重的能源消耗和排放污染等问题。

1.1.1 能源

能源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础。纵观人类社会发展的历史，人类文明的每一次重大进步都伴随着能源技术的改进与更替。能源的开发利用极大地推进了世界经济和人类社会的发展。一百多年来，发达国家先后完成了工业化，消耗了大量的自然资源，特别是能源资源。随着世界经济的高速发展，能源消耗也逐年递增。特别是从 2002 年开始，世界经济进入了快速增长通道，全球石油需求旺盛。

十九世纪前，人类主要使用煤炭和木柴等固体燃料；二十世纪以来，石油和天然气逐步得到广泛地开发和利用，以石油为主的液体燃料逐渐取代了煤炭而成为世界发达国家的主要能源。研究表明，1977 年世界能源消费组成中石油占 44.4%，天然气、石油气占 17.5%，煤炭占 30.4%，水力发电占 5.8%，核能发电占 1.9%。预计到 2020 年，全世界的能源结构中，石油将占 27%，天然气、石油气占 29%~30%，煤炭占 24%，水力发电和核电各占 8%，其他能源占 4%。目前仍然保持以化石燃料为主，可再生能源和新能源为辅且快速增长的能源结构^[1]。

石油和煤炭等化石能源有如下两大致命之处：①化石能源是不可再生能源，地球储量有限，快速的经济增长使地球上可供使用的能源日趋枯竭；②在使用化石能源的过程中产生大量的污染物，造成环境恶化和急剧的全球气候变化，从而影响人类生存环境。从世界能源的发展趋势看，由于石油资源的逐渐枯竭，石油所占能源的比例将逐步减少，取而代之的将是非化石燃料。

近年来中国汽车工业发展迅猛。据中国汽车工业协会统计，2009 年中国汽车产销量达到 1360 万辆，居世界第一；2010 年中国汽车产销量双双突破 1800 万辆，不仅蝉联世界第一，而且创全球历史新高。然而，中国石油产量增长缓慢，无法跟上工业的发展速度，自从 1993 年首度成为石油净进口国以来，原油对外依存度由当年的 6% 一路攀升，到 2006 年突破 45%，其后每年以 2 个百分点左右的速度向上攀升，2009 年突破 50% 警戒线达到 52%，2010 为 53.7%，2011 年达到 56.5%。据 2009 年发布的《能源蓝皮书》预测，10 年后中国

的原油对外依存度将达到 64.5%，这些都将严重影响中国的能源安全和国民经济可持续发展。

1.1.2 环境保护

1.1.2.1 汽车尾气污染

世界汽车的年生产量和保有量急剧增加，使汽车尾气污染已成为大气污染的主要根源，严重危害了人类的健康。研究表明，大气中 38.5% 的一氧化碳 (CO)、21.7% 的碳氢化合物 (HC)、87.6% 的氮氧化合物 (NO_x)、11.7% 的二氧化碳 (CO_2)、6.2% 的二氧化硫 (SO_2) 和 32% 的微粒 (PM) 都来自汽车尾气排放^[1]。在城市空气污染中，60% 的污染来源于汽车尾气。统计数据显示，在美国，汽车排出的 CO 占大气污染的 66%， NO_x 占大气污染的 43%；在北京，汽车尾气对城市空气污染中，CO 占 63%、 NO_x 占 37%、HC 占 74%；在上海，这些数据分别达到 86%、56%、96%^[2]。

1.1.2.2 温室效应与二氧化碳排放

太阳能是人类生存与发展不可缺少的能源，主要是以可见光的形式射向地球。其中 30% 左右的太阳能量散射返回太空，70% 左右穿过大气被地球表面吸收，使地球气候变暖，万物得以生长。为了达到能量平衡，地球接受的太阳能以及人类活动所产生的热能，以红外辐射的形式将能量返射回太空。但由地面射向太空的红外辐射不能像可见光那样直接穿过大气辐射出去，会被大气中的 CO_2 及其他一些气体阻挡。地球就像被一层厚厚的塑料大棚罩着，于是地球表面温度逐渐升高，这种现象称作温室效应。所以说地球变暖是 CO_2 和 CH_4 等气体的温室效应，大气中 CO_2 等温室气体浓度愈增，温室效应引起的温度上升愈明显。

根据世界气象组织 (IPCC) 2000 年发表的研究结果表明，1775 年~1998 年大约有 (4060±600) 亿吨的 C 以 CO_2 的形式进入大气中。其中由化石燃料燃烧及生产水泥等工业部门排放的 CO_2 约占 67%。而排放到大气中的 CO_2 有 43% (总排放量) 停留在大气中，使大气中 CO_2 浓度增加，导致地球气温上升，在近 100 年来气温上升约 0.3~0.8℃。如果不采取有效措施降低 CO_2 排放，到 2100 年全球平均气温将上升 1.4~5.8℃，将会使南、北极冰川融化，海平面年均上升 0.39mm，飓风的能量增加，气候失调，导致干旱、洪涝、风暴、热浪等自然灾害频繁发生，带来严重的环境问题、巨大的经济损失和人员伤亡^[3]。

1.2 生物质和生物质能

除形成之初集聚的核能与地热外，与人类关系最密切的能量来源是来自太阳的辐射能。绿色植物利用日光能将吸收的二氧化碳和水合成有机物和碳水化合物，把光能转化为化学能并储存下来。绿色植物是地球上最重要的光能转换器，碳水化合物是光能储藏库，生物质是光能循环转化的载体。

1.2.1 生物质

1.2.1.1 生物质的定义

长期以来学术界对生物质没有一个严密的定义，美国可再生能源实验室 (NREL) 把地球上人工栽培及野生繁殖的植物，称为生物质；中国把所有来源于植物、动物和微生物的可再生的有机物，称为生物质；日本能源学会把生物质定义为“生物质是储有太阳能的各种生

物体的总称”；最近 EU（欧盟）所属的产业委员会对生物质作了定义：“以可被微生物降解的物质作为原料而形成的物质称生物质”^[4]。

生物质直接或间接来自于植物。广义地讲，生物质是一切直接或间接利用绿色植物进行光合作用而形成的有机物质，它包括世界上所有的动物、植物和微生物，以及由这些生物产生的排泄物和代谢物。而生物质能是地球上唯一的一种可以储存和运输的可再生资源，是太阳能的一种廉价储存方式；狭义地说，生物质是指来源于草本植物、藻类、树木和农作物的有机物质。作为一种可再生资源，它可以在较短的时间周期内重新生成。从生物学的角度来看，木质纤维生物质的构成是木质素、纤维素和半纤维素；从物理和化学角度来看，生物质是由可燃质、无机物和水组成，主要含有 C、H、O 及极少量的 N、S 等元素，并含有灰分和水分^[5]。

1.2.1.2 生物质资源

地球上生物质资源丰富，据估算，地球上蕴藏的生物质达 18000 亿吨，而植物每年经太阳的光合作用生成的生物质总量约为 1440 亿~1800 亿吨（干重）。生物质能源的年生产量远超过全世界总能源需求量，大约相当于现在世界能源消费总量的 10 倍。据估计，到 21 世纪中叶，采用新技术生产的各种生物质替代燃料将占全球总能耗的 40% 以上。在以生物质作载体的能量循环中也考虑到植物的生长的话，这是一种清洁无污染的利用方式。生物质在生长过程中吸收的 CO_2 ，在进一步转化利用过程中， CO_2 重新释放到大气中，构成了 CO_2 的不断循环，因而不会因为 CO_2 的大量释放而引起温室效应^[5]。

世界上生物质资源不仅数量庞大，而且种类繁多，形态多样。它包括所有的陆生、水生植物，人类和动物的排泄物以及工业有机废物等。通常可以将生物质资源分为以下几大类。

(1) 农作物类 主要包括含有淀粉的甘薯、木薯、玉米等，含有糖分的甘蔗、甜菜果实等。

(2) 林作物类 主要包括白杨、桦树等树木类及苜蓿、芦苇等草木类。

(3) 水生藻类 主要包括海洋生的马尾藻、海带等，淡水生的浮萍等。

(4) 其他 主要包括农产品的废弃物（如稻秸、谷壳等）、林业废弃物、畜业废弃物、城市垃圾等。

中国生物质的年生产量可达 60 亿吨干物质，相当于年耗能量的 2.5 倍。其中农作物秸秆达 6 亿吨，约折合标准煤 2.15 亿吨。目前生物质的利用主要是采用直接燃烧的方式，燃烧效率低，浪费了大量能源，而且造成了严重的大气污染^[5]。

1.2.2 生物质能

1.2.2.1 生物质能的定义

在《科学技术百科全书》中，能源被定义为“能源是指可以从其中获得热、光、核动力之类能量的资源”；《大英百科全书》认为，能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语，人类用适当的转换手段便可得到需要的能量；中国《能源百科全书》把能源定义为可以直接或经转换提供人类所需的光、热、核动力等任意形式能量的载能体资源。简单讲，能源是自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源。生物能源则是指蕴藏在生物质中的能量，是直接或间接地通过绿色植物的光合作用把太阳能转化为化学能后固定和储藏在生物体内的能量，是唯一可再生的碳源，可转化成常规的固态、液态和气态燃料^[6]。

生物质能的载体是以实物形式存在的，它与风能、水能、太阳能、潮汐能等不同，这是

生物质能的最鲜明特点。生物质能是唯一可以储存和运输的可再生能源，它的组织结构与常规化石燃料相似，利用方式也有很多近似的地方。“生物能”和“生物质能”二者之间无原则性的区分，但有学术上的差异。我们通常讲的生物质能是指含在生物质中的能量，主要是动物和植物。微生物是生物质，但不能简单称微生物是生物质能，而通过微生物的降解作用形成的含有能量的物质可称为生物能源，但称其为生物质能源就不太合适。联合国粮农组织(FAO)现在已经做出决定，用“生物能”代替“生物质能”^[6]。

1.2.2.2 生物质能源的特点

生物质能源是通过植物的光合作用将光能转变为化学能的一种储存方式，是太阳能以化学能形式蕴藏在生物质中的一种能量形式，是以生物质为载体的能量，其作用过程如下：



煤炭、石油和天然气等化石能源也是通过地质作用影响下由生物质能转变而来的。相比化石燃料而言，生物质能源具有以下特点：

① 生物质利用过程中具有二氧化碳(CO₂)零排放特性。由于生物质生长所需要的CO₂量相当于其排放的CO₂量，因而它对大气的CO₂净排放量近似于零。

② 生物质含硫量、含氮量都较低，灰分含量也很低，燃烧后SO_x、NO_x和灰尘排放量都比化石燃料小得多，是一种清洁的燃料。

③ 生物质资源分布广、产量大、转化方式多种多样。

④ 生物质单位质量热值较低，一般生物质中水分含量高，从而影响生物质的燃烧和热裂解特性。

⑤ 生物质的分布比较分散，收集、运输和预处理的成本较高。

⑥ 可再生性。生物质通过植物的光合作用将光能转变为化学能，与风能、太阳能同属可再生能源。

生物质能源在世界能源消耗中约占14%，在不发达地区占60%以上。生物质能源的优点是易燃烧，污染少，灰分较低；缺点是热值及热效率低，体积大而不易运输，生物质直接燃烧的热效率仅为10%~30%。可通过对农作物和树木等植物及其残体、畜禽粪便、有机废弃物以及边缘性土地种植能源植物的加工，开发燃料乙醇、生物柴油等清洁燃料，提高生物质的能源利用效率。生物质能源既是可再生能源，又是无污染或低污染的清洁能源，因此，开发利用生物质能已成为解决全球能源问题和改善生态环境不可缺少的重要途径^[5]。

1.2.2.3 生物质能源的重要性

由于人类的大量开采，化石能源终将枯竭，而且化石能源的使用会造成严重的环境污染，因此近年来世界能源、环境和气候变化等问题日益突出。为了减少化石能源消耗，保护生态环境，减缓全球气候变暖，共同推进人类社会的可持续发展，必须寻找出化石能源的替代品或补充品，大力开发利用可再生能源资源。

目前，生物质能源仅次于煤炭、石油和天然气而居于世界能源消费的第四位，在整个能源系统中占有重要地位。生物质能源被普遍认为将会部分替代或补充化石能源。一方面，生物质是可再生资源，所含能量源自太阳能，可以持续利用，不会像化石能源那样枯竭。在各种可再生能源中，生物质是唯一可再生的碳资源，可以转化成常规的固态、液态和气态燃料以及其他化工原料或产品。生物质能潜力巨大，世界上约有25万种生物，在理想的环境条件下，光合作用的最高效率可以达到8%~15%，但在一般情况下只有0.5%左右。据预测，在理想的环境条件下，地球上生物质的生产潜力可以达到现实能源消费的180~200倍。全

球生物质能蕴藏量极大，仅地球上植物每年的生物质能生产量就相当于目前人类消耗矿物能的 10~20 倍。因此开发利用生物质能具有取之不竭，用之不尽的物质基础。另一方面，生物质的使用不会造成地球大气中 CO₂ 的增加，这是因为生物质中的碳原本就来自于大气中的 CO₂（通过植物光合作用转化）。随着人们对生物质利用技术研究与开发的不断深入，生物质能源将对人类社会的发展起着越来越重要的作用^[5]。

自 20 世纪西方发达国家着手进行生物质能源技术研究与开发，经过多年来的发展，生物质能源技术已取得了初步的应用和推广，美国、巴西、德国等国将生物质能源技术和本国特色相结合，走出了发展特色生物质能源的道路。2010 年中国已成为全球第一能源消费大国，在经济仍持续保持适当增速的情况下，当前能源困境亟待破局。中国国土广阔、气候条件适宜、植物资源丰富，具有发展生物质能源的潜力和迫切的愿望。未来的世界能源结构将发生改变，多种能源并存的能源体系将成为未来能源结构的特征。中国在能源战略调整中也将优先发展可再生能源，其中生物质能由于其多样性，易获得性，年产量大，利用成本低廉，技术上不存在重大障碍等优势已经成为可再生能源中发展前景最明朗的能源。预计到 2020 年，中国生物燃料消费量将占到全部交通燃料的 15% 左右，将建立起具有国际竞争力的生物燃料产业^[7]。

生物质能源的开发利用主要包括生物质能源发电、气体生物燃料（生物制氢、制沼气）、制备生物质液体燃料（燃料甲醇、燃料乙醇、生物柴油、生物丁醇等），其中以生物质液体燃料发展最为迅猛^[8]。

1.3 发动机替代燃料

图 1-1 给出了发动机燃料及其来源。由图可见，左侧部分是汽油机和柴油机，主要使用来源于石油的汽油和柴油燃料；中间部分是含氧燃料发动机和非含氧燃气发动机，主要是应用和发展多元化燃料，这些燃料既可以从煤和天然气中制取，也可以从生物质能中获得。从中长期来看应开发和应用生物质能及生物质燃料；右侧部分是远期着重开发试验的氢燃料，即燃料电池和混合动力系统。以当前的技术水平改进传统发动机，可以大大降低能源与环境成本。燃料电池和混合动力虽然可以降低更多的能源与环境成本，但还不能弥补车辆制造所增加的成本。当然，从排放的角度来看，氢气是最理想的气体，但是氢气的来源、储存以及汽车本身成本高等问题在短时间内不易解决。因此在传统的发动机上开发和应用替代燃料依然是目前研究的重点^[9]。

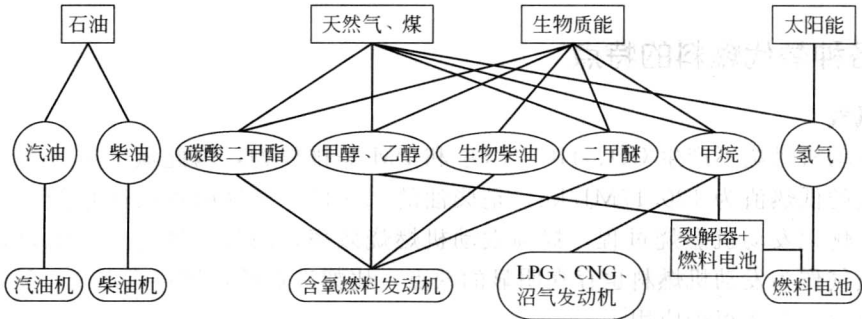


图 1-1 发动机燃料及其来源

发动机替代燃料是指有别于传统的汽油、柴油等石油燃料的所有发动机燃料。作为发动

机替代燃料，必须具备下列条件^[10]：

① 必须具有一定的热值。理论混合气热值不低于 2.60MJ/kg，即接近于柴油或汽油的理论混合气热值（柴油：2.753MJ/kg，汽油：2.778MJ/kg）。

② 必须在一定的温度和压力下以及一定的时间内基本燃烧完毕，过后燃烧不可拖得过长，即必须在活塞处于上止点附近及上止点以后约 60°CA（曲轴转角）的时间内基本放出全部热量。

③ 必须在发动机运转的一定时间内汽化或雾化，以便能与空气迅速混合形成可燃的混合气，并且及时参与燃烧。

④ 燃烧后的排气污染程度必须在国家标准规定的限度内。

⑤ 与柴油或汽油相比，其单位质量和热量的价格不能太高，特别在普遍推广应用时更应如此。

⑥ 所有的发动机替代燃料必须具有节能（节省石油燃料）、再生或应急性质。

大力发展发动机替代燃料是目前汽车能源结构调整最为现实的选择。在选择替代燃料时应考虑：生产替代燃料的国家资源情况，工业发展水平，替代燃料的生产技术和效益，发动机的适应性和发展趋势，环境保护等。不同类型的发动机对燃料有不同的要求，燃料的品质与发动机对燃料的要求往往有矛盾。因此在选择替代燃料时应制定合理的燃料规范，以便充分发挥替代燃料的优势和提高发动机的性能。

1.3.1 发动机替代燃料的分类

目前应用和研究的发动机替代燃料主要分为气体燃料、液体燃料和固体燃料三大类，具体分类情况如表 1-1 所示。表中列出的天然气、液化石油气、醇类燃料等目前已经实现商品化应用。从应用方式上看，既有完全应用替代燃料的，如天然气、液化石油气等；也有应用混合燃料的，如甲醇汽油、乙醇汽油等，这些混合燃料属于广义的发动机替代燃料范畴。

表 1-1 发动机替代燃料的分类

类型	种 类
气体	氢气、沼气；天然气(CNG,LNG)；液化石油气(LPG)；发生炉煤气
液体	醇类：甲醇、乙醇、丁醇等；醚类：二甲醚、甲基叔丁基醚等； 植物油：桐籽油、菜油等；动物油：经加工的牛油、猪油等； 其他化工副产品的可燃液体
固体	煤粉、水煤浆、煤-油混合燃料

1.3.2 各种替代燃料的特点

(1) 氢气

氢气发动机燃烧不产生 CO、HC、CO₂ 和 PM 等排放物，因此氢气被认为是最清洁的燃料。氢气的低热值为 120.17MJ/kg，是柴油的 2.8 倍，氢气的点火能量低，火焰传播速度快，能够优化发动机燃烧过程，提高发动机燃烧效率。而且，氢气的来源和储量非常丰富。但是氢气作为发动机燃料也存在明显的缺点，比如沸点低，储存成本高，易爆炸，易早燃，因此在汽车上还很少应用^[11]。

(2) 沼气

沼气是可再生的绿色燃料。能够产生沼气的原料来源极其广泛，包括各种工农业有机废

水、废弃物，甚至能源作物等。但沼气中所含的甲烷水平不稳定，需要净化纯化后才能作为车用发动机燃料。因此在汽车上的应用沼气还需作进一步的研究工作。

(3) 天然气及液化石油气

天然气 (Natural Gas, NG) 是理想的汽油替代燃料之一，有压缩天然气燃料 (Compress Natural Gas, CNG) 和液化天然气燃料 (Liquefied Natural Gas, LNG) 两种。天然气的主要成分为甲烷，蕴藏量比石油大，可开采的年限比石油长，分布面积比石油广。而且发动机燃用天然气的燃烧完善度、定容度和热效率都比燃用石油燃料好。但是天然气作为车用燃料需要建设加气站网络，加气站的建设需要大量投资。目前，以压缩天然气作为汽油替代燃料的清洁环保型公交车已在大中城市广泛应用。

(4) 液化石油气 (Liquefied Petroleum Gas, LPG)

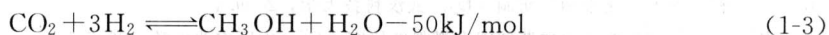
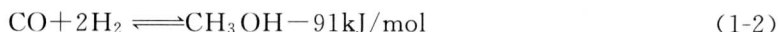
液化石油气燃料是一种性能优良的汽油替代燃料。液化石油气的主要成分是丙烷、丁烷、丙烯、丁烯等。作为炼油厂副产品的液化石油气比汽油价廉，但车用燃料是液化石油气还需要再加工。液化石油气的能量密度比天然气的大，蒸气压力较低，易于储存运输。其运行成本和排放都优于汽油。在一些国家已被广泛应用为城市公交车和出租车燃料。

(5) 醇类燃料

醇类燃料是很好的汽车替代能源之一。它不仅可以用作汽车替代燃料，而且可以用作汽车替代能源——燃料电池的原料。

① 甲醇

甲醇可以从煤、木材 (包括木材碎料、木屑)、天然气、石油伴生气、植物秸秆，甚至城市可燃垃圾等物质中提炼或合成。我国是世界产煤第一大国，煤田分布很广，南北林区也相当广阔，利用煤或木材边料、树枝、木柴、木屑等，用工业化方法生产甲醇是可行的，可以因地制宜进行，从而降低生产成本。凡是可以用低成本方法同时得到 H_2 和 C 或 CO 的地方，都可以用合成法获得甲醇。它们具有代表性的反应式为^[5]



甲醇也可以从可再生物质中制取，属于可再生能源。甲醇与汽油、柴油同属于液态燃料，使用、储存和运输方便。

② 乙醇

乙醇可以通过淀粉、含糖物质发酵生产或者由生物质经过水解、酶解及发酵过程获得，是可再生的绿色能源之一。它的原料来源丰富，包括甘蔗、玉米、薯类等农作物及木质纤维素等，生产工艺成熟。乙醇燃料是目前在世界上进行大面积商业推广的车用生物质燃料之一，它的使用方式主要有汽油的含氧添加剂 (乙醇添加量为 5%~22%)、灵活燃料汽车 (乙醇与汽油的混合比在 0~85% 之间变化) 和乙醇燃料汽车 (使用纯乙醇的内燃发动机) 3 种，另外，乙醇燃料电池和乙醇-柴油混合燃料还处于试验阶段。

(6) 二甲醚 (DME)

二甲醚 (dimethylether, DME) 是一种可再生的能源，不仅可从石油及天然气中直接提取合成，也能从煤、植物、生活垃圾中提取合成。凡是可以用低成本方法同时得到 CO 和 H_2 的地方，都可以直接或间接获得二甲醚。二甲醚生成反应式为



通过甲醇的脱水反应也可以间接获得二甲醚，甲醇的脱水反应式为^[5]



二甲醚可显著降低柴油机的排放,使柴油机的排放达到完全无烟的水平。采用二甲醚作为柴油的替代燃料具有广阔的前景。

(7) 生物柴油

生物柴油即脂肪酸甲酯,主要以植物油(大豆油、菜籽油等)和动物油为原料制成。它燃烧完全、无毒、可生物降解,是环境友好的可再生能源之一^[11]。目前,欧洲和北美主要以植物油为原料制备生物柴油,而日本则通过回收废食用油来制备生物柴油。生物柴油与柴油有很多相似之处,它可以单独使用,也可以以一定的比例与柴油混合使用,除了为公共汽车、卡车等柴油机车辆提供替代燃料外,还可为航空运输和海洋运输等交通运输工具提供燃料。

在发动机替代燃料中,沼气、甲醇(由木材生产)、乙醇(由植物生产)、动植物油和氢气等都属于可再生资源,其他燃料直接或间接来自化石矿物,属于不可再生资源。沼气、甲醇(由木材生产)、乙醇(由植物生产)、动植物油、生物柴油(由可再生的油脂和甲醇或乙醇合成)等来自生物质,因此统称生物质燃料^[8]。迄今为止,经过世界上很多国家的长期大量的试验研究和实际应用,证实了低碳醇(低分子量醇)和面广量大的植物油及其酯化物基本上符合发动机替代燃料的必备条件,是最有希望的发动机替代燃料之一^[10]。

本章参考文献

- [1] 李方成. 醇类/柴油混合燃料羰基化合物排放特性及生成机理的研究 [D]. 天津大学, 2009. 11.
- [2] 黄钰. 柴油-甲醇组合燃烧发动机的控制策略及试验研究 [D]. 天津大学, 2008. 6.
- [3] 崔心存. 车用替代燃料与生物质能 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2007.
- [4] 日本能源协会编. 生物质和生物能源手册 [M]. 史仲平, 华兆哲译. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [5] 张建安, 刘德华. 生物质能源利用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [6] 张百良, 王吉庆, 徐桂转, 等. 中国生物能源利用的思考 [J]. 农业工程学报, 2009, 25 (9): 226-231.
- [7] 董丹丹, 赵黛青, 廖翠萍, 等. 木薯燃料乙醇生产的技术提升及全生命周期能耗分析 [J]. 农业工程学报, 2008, 24 (7): 160-164.
- [8] 焦向科. 含醇乳化柴油的研制 [D]. 武汉科技大学, 2009. 4.
- [9] 周庆辉. 柴油机燃用甲醇柴油混合燃料的研究 [D]. 中国农业大学, 2007. 5.
- [10] 何学良, 詹永厚, 李疏松. 内燃机燃料 [M]. 北京: 中国石化出版社, 1999.
- [11] 陈振斌, 蒋盛军, 肖明伟, 等. 生物柴油与石化柴油性能比较分析 [J]. 中国油脂, 2008, 33 (11): 1-4.

第 2 章 醇类燃料

醇是有机化合物的一大类，是脂肪烃、脂环烃或芳香烃侧链中的氢原子被羟基取代而成的化合物，醇的通式为 $R-OH$ 。醇类燃料主要是指甲醇、乙醇，但也包括丙醇、丁醇、戊醇等高碳醇。这些醇类，除了本身可以作为发动机的替代燃料外，有些还可以作为甲醇、乙醇与汽油或柴油的助溶剂。

醇类燃料具有辛烷值高、汽化潜热大、热值较低、着火极限宽等特点，同时醇类燃料的制造原料丰富，生产工艺成熟。醇类燃料自身含氧，作为车用燃料，在发动机中燃烧可提高含氧量，达到比汽油、柴油等烃类燃料低得多的排放，对减少大气污染有好处。本章所讲的醇类燃料主要是指甲醇和乙醇。

2.1 概述

醇类作为发动机燃料始于 20 世纪 30 年代，但是直至 20 世纪 70 年代，受到石油危机的冲击和对汽车尾气排放的限制，一些石油资源匮乏、人口密集、生物资源丰富的国家在立法和政策上才开始鼓励以醇类（主要为甲醇和乙醇）作为车用燃油调和组分，醇类燃料也因其原料资源丰富、燃烧干净，且其储运、分配、使用与传统的汽柴油相似，受到重视。

1975 年，瑞典首先提出甲醇可以成为汽车替代燃料，并随即成立了国家级的甲醇开发公司（SMAB）从事车用发动机燃用甲醇的研究工作。1976 年，在瑞典召开的第一次国际醇燃料会议，进一步推动了醇燃料的发展。1979 年，前联邦德国制定了“用于公路交通运输的醇类燃料”的研究规划，经过研究提出了 M15 汽油（即在汽油中掺入 15% 甲醇）作为汽油机的部分代用燃料。与此同时，大众汽车公司也加紧研制了使用纯甲醇的汽车并获得成功。1979 年秋，前联邦德国政府组织了多家汽车厂生产的一千多辆醇燃料汽车投入使用，该批汽车使用的燃料为 M15，同时政府在全国一系列大中城市建立 M15 汽油加油站，形成了全国的供醇汽油网络。低比例甲醇汽油逐渐在瑞典、德国、美国、法国、意大利、奥地利、新西兰等国家实现了商品化。美国在获得申办 1984 年洛杉矶奥运会时，加州的大气污染比较严重，急需治理，加州政府用天然气代替汽油作为车用燃料，大气的清洁程度有了改善，但空气中的 NO_x 仍居高不下，专家团经过两年的考察论证，提出了用甲醇作为车用发动机替代燃料，随后政府按照此建议，在全州推广甲醇燃料，要求政府公务车、公交车、奥运会用车都使用甲醇燃料，这样，在 1984 年洛杉矶奥运会召开前，加州的大气环境得到了有效的治理。当时德国大众公司生产了 400 辆甲醇灵活燃料轿车，赠送给洛杉矶奥运会。1987 年，美国福特公司生产了 6 万辆甲醇灵活燃料轿车，投入加州等地市场。美国的福特