



可再生能源丛书

燃料乙醇 生产与应用技术

马晓建 李洪亮 刘利平 等编著



化学工业出版社

可再生能源丛书

燃料乙醇生产与应用技术

马晓建 李洪亮 刘利平 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是《可再生能源丛书》之一。本书介绍了合成法乙醇生产、发酵法乙醇生产、乙醇脱水成无水乙醇、乙醇发酵的清洁生产与综合利用、燃料乙醇变性及储运、车用乙醇汽油的混配及应用、燃料乙醇生产分析、乙醇柴油研究等方面的内容。本书供从事生物质燃料特别是从事燃料乙醇研究与开发、生产与应用等方面的技术与管理人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃料乙醇生产与应用技术/马晓建, 李洪亮, 刘利平等编
著. —北京: 化学工业出版社, 2007. 7

(可再生能源丛书)

ISBN 978-7-122-00646-2

I. 燃… II. ①马…②李…③刘… III. 乙醇-液体燃料-生产工艺 IV. TQ517.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 091148 号

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 向 东

责任校对: 李 林

装帧设计: 关 飞

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 19¼ 字数 371 千字 2007 年 7 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: 38.00 元

版权所有 违者必究

序

可再生能源，包括太阳能、风能、生物质能、水能、地热能、海洋能，是广泛存在、用之不竭、可以自由索取、最终可依赖的初级能源。直至近二三百化石能源得以大规模开发使用以前，它一直是人类赖以生存与发展的主要能源来源。当前，化石能源与核裂变能已成为最主要的商品能源，可再生能源中只有水能在商品能源中占有明显的份额。自 20 世纪 70 年代开始，人们认识到根据当今化石能源的开发使用力度，它将在几十至一百多年间衰竭，对于人类未来能源可持续供应来说，我们又将重新进入可再生能源为主的新时期。

与化石能源相比，可再生能源具有能量密度低；随着季节、昼夜与气候条件的变化而变化，不连续；难于携带和运输等特点。若要取代化石能源则需解决一系列科学技术问题和经济性能问题，整个过程需要长时间的持续努力。可喜的是，近年来，可再生能源的开发利用得到了日益增强的重视与支持，取得了一些重要的进展，大大增强了人类在化石能源衰竭后仍能依赖可再生能源可持续发展的信心。

化学工业出版社组织出版的《可再生能源丛书》，由各领域的知名专家编写，将为广大读者提供有关知识、进展情况和今后工作的方向，动员大家来更好地参与和支持开发利用可再生能源的伟大事业。相信定会受到大家的欢迎，取得预期的效果。

中国科学院院士、中国太阳能学会名誉理事长

严陆光

2004 年 10 月

于北京

前 言

世界工业经济迅速发展的同时,也面临着诸多问题,如汽车工业的能源紧张、尾气污染、环境保护及交通安全等。在能源方面,自20世纪70年代出现石油危机以来,一些国家就开始重视汽车代用燃料的研究与开发。汽车代用燃料较多,如醇燃料、二甲基醚、天然气、氢气等,其中,燃料乙醇是研究开发的重点,10%乙醇90%汽油的混合燃料——乙醇汽油(汽油醇)E10,是目前应用比较广泛的汽车清洁燃料。燃料乙醇是经过变性处理的无水乙醇。在汽油中添加高辛烷值的变性燃料乙醇,可降低汽车尾气的有害物排放。

巴西是发展乙醇汽油工业最早的国家之一,并已在全国普遍使用。美国是世界排名第二位的乙醇生产国,当前销售的汽车燃料,70%以上是乙醇汽油。我国利用陈化粮或玉米生产燃料乙醇,进行乙醇汽油的推广与应用,已被列入国民经济发展计划,目前获得了重大进展,并且还有很大的发展空间。

根据国家《变性燃料乙醇及车用乙醇汽油“十一五”发展专项规划》,发展我国燃料乙醇产业,有利于推动农业产业化,改善国民经济二元结构,保护环境,促进我国可再生能源工业的发展,提升乙醇工业的技术水平,实现产业换代升级,建立与发展高水平的产业集群,促进地方与国家经济发展。

乙醇生产方法有合成法与发酵法,目前普遍采用的方法为发酵法。本书介绍了合成法乙醇生产、发酵法乙醇生产、乙醇脱水、乙醇发酵的清洁生产与综合利用、燃料乙醇的变性及储运、车用乙醇汽油的混配及应用、燃料乙醇生产分析等方面的技术问题。本书力求深入浅出,系统全面,内容新颖且实用,以促进我国燃料乙醇工业发展及应用技术水平的提高。本书可供从事燃料乙醇生产、新能源开发、乙醇汽油的使用及管理等方面人员及相关专业学生阅读。

本书由郑州大学马晓建、李洪亮、刘利平等编著。参加编写工作的有:马晓建教授(编写第1章、第9章),韩秀丽(编写第2、第10章),常春(编写第3章的第3.1、第3.2节),李洪亮(编写第3章的第3.3节),陈俊英(编写第4章),陈华伟(编写第5章),刘利平(编写第6、第7、第8章)。全书由李洪亮副教授、刘利平副教授统稿。

本书在整个编写出版过程中,得到了化学工业出版社的大力支持及指导,在

此表示真诚的感谢。同时也对书中参考的有关资料的作者，致以崇高的敬意与感谢。

由于本书涉及的内容面广，编者的资料及水平有限，难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编者
2007 年 3 月

目 录

1 总论	1
1.1 概述	1
1.2 燃料乙醇的特性	2
1.3 燃料乙醇工业的发展	3
1.3.1 国外发展概况	4
1.3.2 国内发展概况	7
1.4 燃料乙醇技术展望	8
1.4.1 燃料乙醇生产技术	8
1.4.2 燃料乙醇应用技术	12
1.4.3 展望	16
参考文献	16
2 合成法生产乙醇	19
2.1 乙烯直接水合法	19
2.1.1 乙烯直接水合法的理论基础	20
2.1.2 乙烯直接水合法的催化剂	23
2.1.3 乙烯直接水合法的生产工艺	25
2.1.4 乙醇精制工艺	29
2.1.5 合成乙醇生产分析	31
2.2 乙烯间接水合法	33
2.2.1 乙烯气的吸收	34
2.2.2 吸收液的水解	34
2.2.3 乙醇的精馏	34
2.2.4 稀硫酸的处理	35
2.3 其他合成方法	35
2.3.1 乙醛加氢法	35
2.3.2 CO-H_2 合成乙醇	36
2.4 合成生产关键设备	37
参考文献	39
3 发酵法生产乙醇	40
3.1 原料种类和原料处理	40

3.1.1	淀粉质原料及原料处理	40
3.1.2	糖蜜原料和处理	45
3.1.3	纤维质原料和处理	48
3.2	乙醇的发酵	57
3.2.1	乙醇发酵常用的微生物	57
3.2.2	酒母的培养	61
3.2.3	乙醇的发酵工艺	75
3.3	乙醇的蒸馏	91
3.3.1	蒸馏原理	91
3.3.2	精馏原理	92
3.3.3	蒸馏与精馏工艺	96
3.3.4	蒸馏节能技术	99
	参考文献	107
4	乙醇脱水	109
4.1	精馏脱水	110
4.1.1	恒(共)沸精馏	110
4.1.2	萃取精馏	113
4.2	吸附及离子交换技术	116
4.2.1	吸附技术	116
4.2.2	离子交换技术	124
4.3	膜分离技术	127
4.3.1	概述	127
4.3.2	膜分离过程的类型	128
4.3.3	膜及膜组件	131
4.3.4	膜分离在乙醇脱水中的应用	136
4.4	超临界流体萃取技术	142
4.4.1	超临界流体萃取技术的原理	142
4.4.2	超临界流体萃取技术的特点	144
4.4.3	超临界流体萃取技术在乙醇生产中的应用	145
	参考文献	149
5	发酵清洁生产与综合利用	151
5.1	二氧化碳回收生产	151
5.1.1	乙醇发酵气体组成	151
5.1.2	二氧化碳回收生产工艺及质量标准	152
5.1.3	固体二氧化碳(干冰)生产	155

5.1.4	回收生产注意问题	155
5.2	乙醇酵母回收利用	156
5.2.1	生产饲料酵母或面包酵母	156
5.2.2	生产核糖核酸与核苷酸	157
5.3	杂醇油及醛酯馏分回收利用	158
5.3.1	杂醇油的回收利用	158
5.3.2	醛酯馏分的回收利用	158
5.4	酒糟废液回收利用	159
5.4.1	酒糟废液处理概述	159
5.4.2	生物处理法	160
5.4.3	废液烧却法	161
5.4.4	回流法	162
5.5	酒糟饲料生产	163
5.5.1	淀粉原料的酒糟组成	163
5.5.2	利用酒糟生产饲料	164
5.5.3	利用酒糟生产饲料酵母	166
	参考文献	167
6	燃料乙醇的储运	168
6.1	变性燃料乙醇调和及标准	168
6.1.1	变性燃料乙醇调和	168
6.1.2	《变性燃料乙醇》标准	169
6.2	燃料乙醇储运	170
6.2.1	储存系统	170
6.2.2	运输系统	171
6.2.3	储运损耗	171
6.3	储存设备	175
6.3.1	储罐容量的确定	175
6.3.2	储罐选型	176
6.4	运输系统设施	178
6.4.1	铁路运输设施	178
6.4.2	公路运输设施	179
6.5	燃料乙醇储运设备特殊附件	179
6.5.1	带干燥装置的呼吸阀系统	179
6.5.2	呼吸阀	180
	参考文献	181

7 乙醇汽油混配	182
7.1 燃料清洁化发展总论	182
7.1.1 汽油燃料的清洁化发展	182
7.1.2 汽车代用燃料及其应用技术范围	188
7.1.3 醇类燃料及燃料乙醇应用意义	191
7.2 乙醇汽油的混合燃料特性及燃用方式	194
7.2.1 乙醇燃料特性	194
7.2.2 乙醇汽油混合燃料的特性	200
7.2.3 内燃机掺烧燃料乙醇的燃用方式	209
7.2.4 燃料乙醇燃用特点及改善措施	213
7.3 乙醇汽油的混配及加油	216
7.3.1 《车用乙醇汽油》标准	216
7.3.2 车用乙醇汽油调和组分油的生产及储运	218
7.3.3 乙醇汽油的混配	223
7.3.4 加油站乙醇汽油储存	227
7.3.5 乙醇汽油加油站	228
参考文献	231
8 乙醇汽油应用	233
8.1 乙醇汽油发动机的适应性	233
8.1.1 乙醇汽油标号的合理选用	233
8.1.2 汽油发动机的适应性调整与清洗	234
8.1.3 乙醇汽油使用问题的排除	236
8.2 乙醇汽油汽车发动机特性	237
8.2.1 汽车启动性能	238
8.2.2 汽车动力性能及燃油经济性	245
8.2.3 汽车排放性能	250
8.3 乙醇汽油安全消防与事故处理	253
8.3.1 乙醇汽油安全消防	253
8.3.2 乙醇汽油分层及中毒事故处理	255
参考文献	257
9 燃料乙醇发展前景	258
9.1 乙醇柴油	258
9.1.1 概述	258
9.1.2 调和特性	259
9.1.3 燃烧特性	265

9.1.4 发动机的耐久性	266
9.1.5 尾气排放	267
9.1.6 发展前景	268
9.2 含水乙醇的应用	269
9.3 燃料电池	269
9.4 燃料乙醇产业的发展机遇与挑战	271
9.4.1 燃料乙醇产业发展中的问题	271
9.4.2 燃料乙醇的发展机遇及前景	272
参考文献	272
10 燃料乙醇生产分析	274
10.1 生产原料、中间品的分析	274
10.1.1 淀粉原料分析	274
10.1.2 淀粉原料中间品的分析	282
10.1.3 糖蜜原料分析	290
10.1.4 糖蜜原料中间品的分析	295
10.1.5 纤维素原料分析	298
10.2 变性燃料乙醇成分分析	299
10.3 车用乙醇汽油分析	300
参考文献	300
附表1 二倍稀释法测定糖蜜锤度更正表	301
附表2 糖度温度更正表	302

1 总 论

1.1 概 述

地球上能源种类很多,总体上可分为可再生能源和不可再生能源。可再生能源包括太阳能、风能、生物质能、水能及由可再生资源衍生出来的生物燃料等;不可再生能源包括石油、天然气、煤炭、核能等。目前消耗量最大的是石油、煤炭和天然气这些不可再生能源,由于其储量有限并且已经逐渐枯竭,造成世界各国普遍存在能源问题。

我国是能源消耗的大国,占世界一次能源(以石油、天然气、核电和煤炭等优质能源为主)需求总量的 10% 以上。而能源以煤炭消费(约占 75%)为主,石油约占 17%。能源结构中低效、高污染能源占相当比重,高效清洁能源所占比例很小,这样的结构不仅造成能源的大量浪费,而且对环境造成很大污染,偏离了世界能源结构发展趋势的主流。今后我国应加速优化能源结构,增加清洁能源和新能源的比重。

由于受油气资源短缺的影响,我国石油对外依存度增加。自 1993 年以来,已经连续多年成为石油净进口国,进口量急剧上升。特别是近期经济一直强劲增长,按照目前的增长速度计算,对进口石油的依赖程度将越来越大,石油产品总体供应形势日趋紧张。如果不及时发展可代替能源,我国将面临石油供应问题而导致的各种危机,影响国民经济的可持续发展。为了减少对化石能源供应的依赖性,我们需要大力发展新能源和可再生能源,以保障我国能源安全。

我国是农业大国,所生产的粮食相对过剩,但缺乏有效的转化手段,严重影响了粮食生产的可持续发展。推广使用车用乙醇汽油可以有效解决粮食转化问题,稳定粮食价格和增加农民收入,也使国家拥有一个可靠的粮食转化和调控手段,促进农业生产和消费的良性循环。

我国每年有大量的粮食(玉米和早籼稻)直接作为饲料用于生产肉、蛋、奶。如果先将它们中的 4800 万吨用来生产燃料乙醇,除了可生产 1200 万吨燃料乙醇外,还可生产出 1200 万吨高蛋白饲料。用这些饲料加上适量的稻草,生产出的肉、蛋、奶的数量高于 4800 万吨粮食饲料所得。因此,用这些饲料用粮生产燃料乙醇是一项利国利民的好事,既不影响口粮安全,又可部分缓解能源紧张的问题,实为一举两得。

广泛推广使用变性燃料乙醇是我国政府“十五”期间确定的一项重要战略举措。九届人大四次会议通过的《国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》对乙醇汽油的开发应用做出了明确要求，原国家计委和原国家经贸委将此作为调整和优化产业结构的重点来抓。《变性燃料乙醇》和《车用乙醇汽油》两项强制性国家标准已于2001年4月2日正式颁布，4月15日开始实施，这将为我国积极稳妥地推广使用车用乙醇汽油起到技术保证作用，它标志着我国替代能源工作迈出了新的步伐，有人称之为“一次能源的革命”。在国家“十一五”规划中明确表示要加快发展风能、太阳能、生物质能等可再生能源。在“十一五”国家高技术研究发展计划（863计划）中，将再生能源技术作为其中的一个专题，着重发展以纤维素、木质素为原料制备乙醇等液体燃料新技术。

我国率先在河南郑州、南阳、洛阳和黑龙江的哈尔滨、肇东5个城市进行了燃料乙醇的试点工作获得成功。国家发改委继续扩大试点，在河南、黑龙江、辽宁、吉林、安徽五省全省范围内试用，湖北、山东、河北、江苏等省部分地区进行推广。到2005年底，我国已有9省上百个地市基本实现使用车用乙醇汽油，并逐渐在全国推广。

1.2 燃料乙醇的特性

燃料乙醇作为一种清洁能源，是指向汽油或柴油中加入一定比例的无水乙醇作为燃料使用。乙醇又名酒精，是由碳、氢、氧3种元素组成的有机化合物，结构式是 C_2H_5OH ，相对分子质量为46，是一种无色透明、易挥发、易燃烧的液体。

燃料乙醇具有良好的互溶性，燃烧性能与矿物燃料相似，能够完全燃烧，不会产生对人体有害的物质，可直接用作液体燃料或与其他液体燃料混合使用，减少对不可再生资源的消耗。

燃料乙醇的理化性质接近于汽油，易与汽油以一定比例混溶形成混合燃料。燃料乙醇辛烷值高，通常炼油厂所产汽油的辛烷值为88~90，而车用汽油的辛烷值一般要求为90或93，向汽油中添加燃料乙醇，由于其辛烷值为112.5，可提高汽油的抗爆性能，清洁汽车引擎，减少机油替换。少量加入可代替四乙基铅。目前我国已禁止使用含铅汽油，一般通过添加MTBE（甲基叔丁基醚）来提高汽油辛烷值，而乙醇的辛烷值也高于MTBE，所以添加乙醇，会明显提高汽油的辛烷值。用燃料乙醇替代MTBE、ETBE（乙基叔丁基醚），可避免对地下水造成污染。另外燃料乙醇价格低，经济性好。在新标准汽油中，乙醇还可以有效降低烯烃、芳烃含量，降低炼油厂的改造费用。

燃料乙醇可作为基础增氧剂，改善燃烧，降低有害物质的生成，能有效降低

汽车尾气的排放。从乙醇的结构式可以看出，乙醇含有 2 个碳原子，含有 1 个氧原子，在燃烧时，有自供氧作用，与不含氧原子而碳原子又多得多石化燃料相比，燃烧充分，排放物中有害物质较少，能减少机动车对空气的污染，达到节能和环保的目的。根据美国和加拿大等国的检测，在汽车中使用添加乙醇的汽油，所排放的臭氧会大大减少，减少了臭氧所造成的危害，对大气的污染会明显减轻，汽车尾气的成分变化如表 1-1 所示。

表 1-1 车用汽油添加一定量乙醇后得到的检测结果

汽油添加乙醇 E10 后检测结果	%
CO 含量	减少 20~50
碳氢化合物	减少 15~40
CO ₂	基本无区别
SO ₂	无
NO _x	减少 0~15

更重要的是燃料乙醇是太阳能的一种表现形式，在自然界系统中，燃料乙醇的整个生产和消费过程可形成 CO₂ 的闭合循环过程。对维持地球温室气体的平衡，将会起到积极作用。

燃料乙醇也存在不利方面。燃料乙醇热值低，燃油消耗略有增加，对有的汽车金属部件容易产生腐蚀，对一些汽车橡胶件容易产生溶胀，车用乙醇汽油在储运和销售过程中易吸水产生相分离。

1.3 燃料乙醇工业的发展

乙醇的生产方法，有以生物质为原料的发酵法和以石化产品为原料的化学合成法。20 世纪 50 年代以前，乙醇主要依靠生物发酵法生产，所用原料可以是淀粉质、糖蜜、纤维原料等。普通乙醇生产在我国古代就已开始，是迄今为止生产最成熟、经验最丰富、历史最悠久的可再生能源。50 年代以后，随着世界石油化工的迅速发展，乙烯经加温加压水合就能生成乙醇，这种方法在石化工业发达的国家发展很快。化学合成法的生产过程虽然简单，但受原料来源的限制，随着 1976 年第一次世界范围内“石油危机”的发生，使合成乙醇的发展受挫。世界上除美国有少量合成乙醇生产外，其他国家都没有大规模的工业化生产。

燃料乙醇作为一种工业化大规模生产的能源，和以往小规模、食用型的乙醇生产并不完全相同。燃料乙醇产生于 20 世纪初叶，后因石油的大规模、低成本开发以及其经济性较差而被淘汰。如今，为了减轻对石油的依赖，人们都在寻找可再生能源。由于乙醇进入燃料市场有重大的发展潜势，引起了世界性的重视，

因此发酵法生产燃料乙醇的发展动力大大加强。同时农业的快速发展,造成粮食相对过剩,这一切都使燃料乙醇产业的重新崛起、迅速发展成为必然。

1.3.1 国外发展概况

燃料乙醇被认为是替代和节约汽油的最佳燃料之一,能和汽油以一定比例混配成一种车用燃料。这项技术在国外已十分成熟,具有价廉、清洁、安全、环保、可再生等优点。燃料乙醇的发展与国际原油供应情况息息相关。

由于汽油缺乏,第一次世界大战中,就把乙醇和汽油混合作为燃料使用。20世纪50年代,每桶原油的价格只有1~2美元,炼油工业得到了长足发展,同时也促进了汽车工业的发展。蓬勃发展的石化工业使石化副产品乙烯的价格降低,从而促使乙醇生产的化学合成法有很大发展,导致西方国家许多发酵工厂转产或倒闭。60年代,随着西方国家合成乙醇技术的发展,乙烯气相催化氢化工艺的出现,进一步增强了合成法生产的竞争能力,致使在70年代初,西方发达国家合成乙醇产量占总产量的80%以上,发酵乙醇生产严重萎缩。这一段时间是乙醇生产发展的低谷期。

20世纪70年代世界石油价格猛涨,每桶原油从原来的2.59美元暴涨到11.65美元,导致第一次石油危机。在此情况下,乙烯价格也相应上涨,使乙醇发酵法的竞争力增加。同时各国政府为了避免石油短缺,都大力提倡和资助开发新能源,其中乙醇作为一种可再生的生物能源,被认为是一种适合的新能源。用乙醇部分或全部代替汽油作为汽车燃料的计划得到了各国政府的支持和鼓励,发酵乙醇再次进入大发展阶段。

1980年原油价格又提高到每桶32美元,到1981年10月上涨到顶点,每桶为34美元。市场价最高到每桶41美元,形成了第二次石油危机,又一次推动了各国对乙醇燃料的研究与应用。20世纪80年代中后期,市场原油价常在每桶15~20美元之间变化,乙醇燃料的发展又被淡化了。1999年2月国际石油市场价格最低降到每桶10美元,创近20多年的最低。2000年油价再次猛升,10月每桶涨至38美元。从2001年直到现在,国际原油市场一直高烧不退,近期更是达到每桶70美元。各国又一次掀起了开发利用可再生能源的热潮。

燃料乙醇的产量近些年一直在逐渐增加。20世纪70年代,世界乙醇总产量仅为158万吨,而燃料乙醇只占总产量的2/9,到2000年,总产量增加了10倍,为1580万吨,而燃料乙醇的产量也增加到总产量的5/8。2002年,世界乙醇总产量约2534万吨,两年时间乙醇产量增加了近千万吨,燃料乙醇所占份量也越来越大。在燃料乙醇的生产、推广和使用方面,美国和巴西走在了世界的前列,两国产量的总和占全球总量的66%。我国2002年乙醇产量为213万吨,仅次于美国及巴西。燃料乙醇的成本随着生产规模的扩大、生产技术和综合利用能力的提高而不断下降。目前使用车用乙醇汽油的国家主要是美国和巴西,欧盟自

20 世纪 90 年代初也开始生产、使用车用乙醇汽油。

1.3.1.1 美国

美国是世界上燃料乙醇的主要生产国。主要以玉米为原料生产燃料乙醇，所耗玉米占全美玉米总产量的 7%~8%。早在 20 世纪 30 年代，美国就已开展了燃料乙醇的研究及应用工作，1930 年，乙醇汽油混合燃料在美国内布拉斯加州地区首次面市。20 世纪 70 年代的世界石油危机和 1990 年美国国会通过的空气净化法修正案后，是美国燃料乙醇产业蓬勃发展的两个主要时期。

1978 年，含 10%乙醇的混合汽油在内布拉斯加州大规模使用。1979 年，美国国会为减少对进口原油的依赖，从寻找替代能源的角度出发，建立了联邦政府的“乙醇发展计划”，该计划的实施使美国的乙醇工业得到迅速发展，发酵乙醇产量从 1979 年的 3 万吨迅速增加到 1990 年的 263 万吨。

1990 年，美国国会通过空气净化法修正案，要求美国 39 个 CO 排放超标地区必须使用含氧量 2.7%的含氧汽油（相当于添加 7.7%乙醇），这些地区约占全美汽油市场的 20%。此修正案还要求美国 9 个臭氧超标地区使用新配方汽油，其消耗量约占全美汽油总消耗量的 1/3，其中大约有 8%的新配方汽油使用无水乙醇。2000 年美国燃料乙醇产量约为 559 万吨，2001 年约为 630 万吨。

1998 年 10 月，美国成立了一个专门研究 MTBE 的政府工作小组，该小组于 1999 年 7 月 27 日在国际互联网上公布了他们的研究报告，他们认为，MTBE 可以有效减少空气污染，但同时也会对地下水及饮用水源造成严重污染。而且，MTBE 污染地下水构成的危害要大于其清洁空气的作用。

2001 年 1 月，美国参议院审议并通过了在 2004 年禁止使用 MTBE 的决议。此举必定对美国乃至全世界的炼油及 MTBE、乙醇的生产和使用产生深远的影响。据美国可再生能源协会预测，全面禁止 MTBE 使用，将极大地刺激车用乙醇汽油的需求增长。目前，作为汽油的氧化添加剂，美国每年至少需要 440 万吨的乙醇和 1263 万吨的 MTBE。若全部取代 MTBE，则每年需要 664 万吨的乙醇，这无疑是一个巨大的乙醇市场。

按照最近美国国会提议的立法，要求大力发展乙醇工业，今后 15 年乙醇的使用将翻三番。为了进一步降低生产成本，美国能源部大力支持纤维素乙醇中试及产业化攻关项目，目的是利用木材、稻草、玉米秆等纤维素废料生产燃料乙醇。美国政府实施燃料乙醇政策以来，给国家经济、农业生产、贸易、人民生活等多方面带来了极大的益处，促进了美国农业的发展，改善了环境，减少了原油进口，为社会提供了大量的就业机会。

1.3.1.2 巴西

巴西政府大力发展燃料乙醇行动计划始于 1975 年，原因有三：第一从国家能源安全和经济发展考虑，当时巴西 80%的燃料依赖进口，国家的能源安全不

能保证；第二是为了促进国内农业、种植业的发展和保护农民利益，巴西是一个农业大国，拥有全世界最大的甘蔗种植区；第三是为本国发展绿色可再生能源创出新路和保护环境。

1977年，巴西正式以20%乙醇与汽油混配，推向市场；20世纪80年代乙醇与汽油混配比提高到22%；1979年，纯乙醇也被推向市场。20世纪70年代的后五年内乙醇产量由每年45万吨猛增至268万吨，年增长率为42.9%。与美国不同的是，巴西是以甘蔗、糖蜜、砂糖为主要原料生产燃料乙醇。甘蔗为巴西主要经济作物，巴西有324个乙醇生产厂，种植的甘蔗有65%用于乙醇生产，而97%的乙醇用于燃料。产品分为普通乙醇（含水5%）和无水乙醇两种。普通乙醇可以单独作为汽车燃料，但需要特别设计的发动机。无水乙醇则作为添加剂加入汽油中，最高混入量可达24%，不需改变发动机和汽化器的结构。目前巴西的乙醇产品中普通乙醇占2/3，无水乙醇占1/3。

目前，巴西年产乙醇1200万吨左右，高居世界首位，是世界上最大的燃料乙醇生产和消费国。巴西每年消耗燃料乙醇的数量已占到每年消耗车用汽油的33%，约40%的小汽车完全以乙醇做燃料，其余则以22%的燃料乙醇和78%的车用汽油的混合物作为燃料。每年有470万吨无水乙醇、480万吨含水乙醇用于车中，在全巴西2.6万个加油站有燃料乙醇销售。

巴西是世界上唯一不使用纯汽油作为汽车燃料的国家。汽油发动机车辆均使用乙醇汽油。现在，巴西共有约370万辆以乙醇为燃料的专用汽车。燃料乙醇计划的实施，给巴西带来了三大收益：一是形成了独立的经济能源运行系统；二是刺激了农业和乙醇相关行业的发展；三是大气质量和生态环境显著改善。

1.3.1.3 其他国家或地区

在欧洲，乙醇作为燃料使用尚未全面展开，1997年只有5.6%乙醇用于燃料。1994年欧盟通过决议，给予生物燃料的中试工厂免税政策。目前，欧盟乙醇产量在176万吨/年左右，乙醇汽油的使用量大约在100万吨。欧盟的目标是到2010年可替代能源将占12%的份额。因此一些后续的国家如荷兰、瑞典和西班牙也出台了生物能源计划。欧盟积极发展车用乙醇汽油最直接的原因是解决农产品过剩问题。目前，在税收优惠政策的支持下，车用乙醇汽油在欧盟的使用呈上升趋势。

日本从1983年开始实施燃料乙醇的开发计划，重点开发用农、林产废物等未利用资源直接发酵生产乙醇的技术。

泰国是亚洲第一个由政府开展全国生物燃料项目的国家。在短短的两年时间内，泰国成功地开展了乙醇和燃料乙醇项目，这些项目提供了利用过剩农产品的途径，对提高泰国农村几百万农民的生活水平起到了积极的作用。由于泰国发展燃料乙醇产业的成功，亚太地区的其他国家，如印度、越南、马来西亚、韩国、