

燃料乙醇与

主 编 刘铁男
副主编 熊必琳

中

国

Fuel Ethanol
in China



经济科学出版社

燃料乙醇与

中

国

Fuel Ethanol
in China

中国轻工业出版社

燃料乙醇与

中

国

主 编 刘铁男
副主编 熊必琳



经济科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

燃料乙醇与中国 / 刘铁男主编. —北京: 经济科学出版社, 2004. 12

ISBN 7 - 5058 - 4478 - 4

I. 燃... II. 刘... III. ①乙醇 - 液体燃料 - 基本知识②乙醇 - 液体燃料 - 能源开发 - 中国
IV. ①TQ517.4②F206

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 114429 号

责任编辑: 纪晓津

责任校对: 王肖楠

版式设计: 代小卫

技术编辑: 董永亭

燃料乙醇与中国

主编 刘铁男 副主编 熊必琳

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100036

总编室电话: 88191217 发行部电话: 88191540

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

北京中科印刷有限公司印刷

河北三佳集团装订厂装订

787×1092 16 开 31.5 印张 580000 字

2004 年 12 月第一版 2005 年 10 月第二次印刷

印数: 1500 ~ 11500 册

ISBN 7 - 5058 - 4478 - 4/F · 3750 定价: 75.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

(版权所有 翻印必究)

作者简介



刘铁男

1954年生，工学博士、经济学硕士。1983年到国家计委工作，先后在原材料局、国民经济综合司、办公厅、产业发展司等部门工作，现任国家发展和改革委员会工业司司长。1996、1999年期间，就任中国驻日本国大使馆经济参赞。2000年开始参与我国燃料乙醇的试点工作，组织、编制《燃料乙醇及车用乙醇汽油“十五”发展专项规划》。针对我国粮食资源短缺的状况，提出了把乙醇生产作为农产品深加工的生物工程，综合利用、吃干榨尽，长产业链，高附加值，乙醇作为副产品，最大限度提高粮食资源使用效率的燃料乙醇的发展思路。

作者简介



熊必琳

1950年生，北京科技大学物理化学专业毕业，获中南工业大学MBA硕士学位。1968年参加工作，先后在冶金工业部、国家计委、国家发展计划委员会等单位工作。现任国家发展和改革委员会工业司副司长。多次组织参加了世界卫生组织《烟草控制框架公约》国际多边谈判。负责组织完成了《中国工业结构升级的研究》等重大课题的研究。合著《企业兼并指南》一书，担任了《烟草经济与烟草控制》和《中国稀土发展纪实》的副主编，兼任合肥工业大学博士生导师，并在经济管理、钢铁冶金等报刊上发表论文数十篇。

《燃料乙醇与中国》编委会

主 编：刘铁男

副主编：熊必琳

编 委：贺燕丽 王 伟 吴永和 乐有华

编著人员（按姓氏笔画为序）：

于随然	王学中	白凤武
石贵阳	乔映宾	牟永义
刘 群	张国生	张晓阳
李荣杰	莫湘筠	浦耿强
窦宝文	潘跃龙	

前 言

在我国发展以光合作用效率高的农作物产品为原料的变性燃料乙醇，推广使用车用乙醇汽油是一项战略性举措，有利于促进农业发展、缓解石油资源短缺、改善大气环境，对国民经济的可持续发展具有重要的战略意义。

车用乙醇汽油在美国、巴西早已成功推广使用。近年来，欧盟和东南亚一些国家也在积极推广乙醇汽油。根据国务院领导多次重要批示精神，我国车用乙醇汽油推广使用工作一直按照统一规划、试点先行、分步实施原则，积极稳妥地推进。在有关方面的共同努力下，推广使用试点工作如期结束，并达到预期目标。通过试点，使我们清醒地认识到在我国推广燃料乙醇还面临很多的难题，特别是在多元化解决原料供给、运用高新技术和循环经济理念，提高原料使用效率和经济效益方面还需要下大力气，使燃料乙醇的推广和使用建立在原料供应充足、技术先进、社会效益和经济效益显著，最大限度地提高粮食资源使用效率的基础之上。同时，要根据我国的国情，统筹能源、农业和环保政策来研究制定燃料乙醇的推广使用政策。

车用乙醇汽油的推广使用在我国是一项全新的工作，涉及面广，难度大。为了适应我国车用乙醇汽油推广使用工作的需要，我们组织了近年来在我国车用乙醇汽油推广使用中做了大量具体研究、实践工作的有关人员，编著了《燃料乙醇与中国》一书，以期向读者全面介绍燃料乙醇的历史与发展、生产技术、车用乙醇汽油推广使用技术、燃料乙醇与中国可持续发展的关系，以及我国燃料乙醇的发展与管理需要重点探索和解决的课题。

《燃料乙醇与中国》一书主要供从事变性燃料乙醇生产和车用乙醇汽油推广使用研究工作的专业人员，从事变性燃料乙醇生产和车用乙醇汽油混配、运输、储存、销售的技术人员，以及政府、企业等各类投资主体、投资决策和咨询机构的有关人员使用。也可供相关专业的大学生、研究生以及研究中国能源、粮食、大气污染问题的研究人员作为参考工具书使用。

《燃料乙醇与中国》是一本全面介绍与燃料乙醇相关的各个方面的书籍，由于水平所限，加上其中许多问题尚在研究探索之中，书中难免存在缺点与不足，欢迎广大读者批评指正。

刘铁男

2004年7月于北京

绪 论

我国是乙醇生产和消费大国，乙醇在酿酒行业、化工行业、橡胶工业、油漆涂料工业、电子工业、照相胶片及纸浆生产行业、医药行业、化妆品行业等都发挥着重要的作用。乙醇生产以发酵法为主，以薯干、玉米、糖蜜等为原料，部分地区以糖蜜发酵生产。

以发酵法生产的燃料乙醇，由于具有和矿物燃料相似的燃烧特性，其生产原料为植物，是一种可再生能源，因此可以成为其他能源的替代物。同时，由于发酵工业的迅速发展，乙醇的工业化生产体系迅速在全球建立起来，为利用乙醇作为再生能源提供了物质基础。20 世纪初，燃料乙醇就在少数国家面市，后因石油的大规模、低成本开采，在经济上燃料乙醇无法与廉价的石油制品相竞争。随着一些发达的农业国家劳动生产率和农作物产量的提高，以及 20 世纪 70 年代以来四次较大的“石油危机”，促使了世界上许多国家重新推出燃料乙醇的计划，使燃料乙醇的生产和使用得到了迅速的发展。

一、燃料乙醇发展的起因及其过程

（一）石油资源的短缺

乙醇是重要的工业原料，也是一种含氧燃料。世界经济的发展，原油需求量大幅度增加，从总的形势看，石油资源必将逐步减少，而最终枯竭。各国为了长远战略考虑，保证车用能源供应安全和节省外汇支出，有必要减少对进口原油的过分依赖，寻找替代能源，采用多种能源，以确保社会经济的发展。

农业生产可持续发展受到挑战：燃料乙醇作为可再生能源，其发展的背景和动力都源于缓解能源危机的压力，稳定粮食生产，增加农民收入，增加就业，减少环境污染等。无论是生产和使用燃料乙醇最多的巴西还是美国，在推广使用燃料乙醇的过程中，都将发展农业、转化过剩的农产品作为主要因素之一。美国玉米产量占全世界产量的 45% 左右，利用国内丰富而廉价的玉米资

源,使农业快速、持续地发展,燃料乙醇无疑是一条好路子;巴西政府实施的燃料乙醇计划促进了甘蔗生产、蔗糖加工、乙醇生产、乙醇和乙醇汽车生产的成套设备和技术的发展,同时形成了制糖、乙醇生产以及乙醇汽车生产研究的工业体系。

(二) 自然环境的恶化

乙醇是良好的车用燃料,除了它的燃烧性能可与汽油相比外,汽车的压缩比可以提高,燃烧也更加完全。燃料乙醇的使用,对大气污染日益严重的趋势可起到缓解的作用。

燃料乙醇的发展从历史上大致可分为四个阶段:

第一阶段:20世纪70年代,主要是解决对石油的过度依赖;

第二阶段:20世纪80年代,主要是为了解决农产品过剩所带来的农业发展以及由此造成的农民收入问题;

第三阶段:20世纪90年代,主要是为了解决汽油增氧剂,减少汽车尾气中有害气体对环境的污染问题;

第四阶段:21世纪来,除了解决上述问题外,还要解决甲基叔丁基醚(MTBE)对水资源的污染问题,实现社会经济可持续发展。

二、燃料乙醇与中国可持续发展

(一) 发展燃料乙醇对巩固农业基础地位,稳定农业生产,保护农民利益有重要意义

中国是农产品生产和消费大国,中国政府始终高度重视农业问题。“九五”时期,中国粮食供求关系发生了重大变化,农产品供给初步实现了由长期短缺到总量基本平衡、丰年有余的历史性转变,部分粮食主产区出现粮食生产地区性相对过剩。其结果造成了主要粮食品种价格连年下滑,农民增产不增收的矛盾十分突出。从1997年起,为防止粮食价格下滑,保护粮农的积极性,国家出台了在高价位基础上的保护价敞开收购的粮食政策,部分地缓冲了粮价下滑的幅度,但仍未从根本上遏制粮食生产下滑的趋势。造成这种问题除了粮食种植面积递减、粮食单产低、高产作物面积减少等原因外,农业产业化不够发达、深加工的整体技术水平不高也是其中的重要原因。

农业产业化的基本内涵是以市场为导向,以效益为中心,依靠龙头带动和



科技进步,对农业和农村经济实行区域化布局、专业化生产、一体化经营、社会化服务和企业化管理,形成贸工农一体化、产供销一条龙的农村经济的经营方式和产业组成形式。

现阶段我国发展燃料乙醇能够开辟新的粮食消费渠道,平衡农产品的生产与消费,稳定农产品价格,相对提高农民收入,促进农业生产的良性循环,最终有效促进农业产业化。在燃料乙醇工业的带动下,农村将出现一个新的大分工的局面。相当一部分劳动力、生产资料将从传统农业中分离出来,进入新的“能源农业”领域。如以谷物为原料生产燃料乙醇可以在粮食相对过剩、出现严重积压时调节粮食主产区市场供求;在相应粮食主产区建立起粮食供应链;可有效鼓励并配套发展养殖业;可以通过种植、加工,以及燃料乙醇生产、运输等环节增加就业机会,带动当地经济发展。发展燃料乙醇产业会带动发展一系列相关产业,逐渐建立一个新的农产品转化市场,刺激粮食生产,调整产粮结构,从而推进农业产业化经营。

(二) 发展燃料乙醇对调整能源结构,推广使用可再生能源有重要意义

石油资源是不可再生的能源和原材料,合理利用石油资源,正确引导消费和提高能源效率具有重要意义。

世界石油产量一多半来自中东国家,从20世纪70年代后,曾多次爆发世界石油危机,迫使人们关心能源安全问题,全球各国都在考虑开发替代燃料,使运输燃料结构多元化,以减少对石油资源的依赖。

我国石油资源紧张,国内生产量已经不能满足国民经济发展对油品的需要。2001年,中国原油总供应量为21 650万吨,其中国内原油产量16 380万吨,进口原油6 025万吨,原油出口量755万吨。考虑到原油库存变化后,2001年中国原油表观消费量为21 581万吨。由于我国原油资源不足,原油资源对我国经济发展影响很大,加大替代能源的发展,减少对石油资源的依赖至关重要。

(三) 发展燃料乙醇对于减少汽车尾气排放造成的污染,改善生态环境有重要意义

燃料乙醇及乙醇汽油的使用,除与国家能源安全政策以及农业政策密切相关外,从环境保护的角度来看也不可忽视的。

伴随着我国经济的飞速增长和人民生活水平的提高,我国机动车生产量和

保有量急剧增加。汽车年产量增长平均保持在 13% 左右。据统计, 2003 年我国汽车总产量达到 325 万辆。随着我国汽车拥有量的急剧上升, 大量的燃料油被消耗。据有关资料介绍, 平均消耗 1 吨油料, 所产生的有害物为 40 ~ 60 公斤。目前, 我国的一些大中城市, 机动车排放的污染物已成为城市大气污染的主要来源之一。

为了改善大气质量, 国务院及国家环保部门制定了严格的排放标准, 同时采取一系列措施以减少机动车的排放污染, 如强制淘汰过期车辆、强制推广无铅汽油、大力推广发动机改造、推荐使用先进的发动机、强制安装三元净化器及替代燃料的使用等等。1999 年国家环保局颁布了《车用汽油有害物质控制标准》, 这一标准在限制车用汽油中有害物的同时, 也限制了国内炼厂现有汽油中高辛烷值组分的含量, 迫使炼厂必须通过其他加工工艺生产高辛烷值汽油调和组分, 提高了车用汽油的生产成本。同时, 机动车排气净化技术也作为国家科技攻关的主要内容加以深入研究。在此背景下, 作为传统汽油的部分替代品, 变性燃料乙醇引起了人们广泛的注意。

变性燃料乙醇的使用是有效降低机动车排气污染的一个有效途径。从化学组分上看, 乙醇中含有 35% 的氧, 作为氧促进剂添加到汽油中能促进更有效的燃烧, 可显著降低尾气中一氧化碳及碳烃类化合物排放, 有效降低温室气体二氧化碳及臭氧的排放。研究表明, 添加 10% 的乙醇可减少一氧化碳排放 25% ~ 30%, 减少可挥发性物质排放约 10%, 减少二氧化碳排放约 10%。

三、变性燃料乙醇的生产、试点、推广与政策管理

乙醇的工业生产方法可以归纳为发酵法和水合法两大类。发酵法有含有淀粉质原料和糖蜜发酵法、木材水解发酵法、亚硫酸盐废液发酵法; 水合法有乙烯间接水合法和乙烯直接水合法。此外, 还有乙醛加氢法、一氧化碳和氢气羰基合成法等。

乙烯水合法生产乙醇就是用化学方法使石油化工的产品乙烯与水结合而制成乙醇。一般称这种产物为合成乙醇, 以便有别于发酵法制得的乙醇。由于化学合成法生产乙醇是利用裂解石油、炼焦炭的产物为原料, 经化学合成反应而制成乙醇, 这种方法在工艺上有所倒置, 也不符合用来替代石油原料的初衷。

用淀粉质原料发酵生产乙醇是我国当前生产乙醇的主要方法, 它利用薯类、谷物及野生植物等含淀粉的原料, 在微生物的作用下将淀粉水解为葡萄糖, 再进一步发酵生成乙醇。整个生产过程包括原料蒸煮、糖化剂制备、糖



化、酵母制备、发酵及蒸馏等工序。

为了使燃料乙醇推广使用有序进行,必须做好试点工作。国家已经批准建设吉林、河南天冠、安徽丰原及黑龙江肇东等项目,同时选定地区进行行驶实验。

燃料乙醇的生产成本高,其价格会高于汽油价格。含乙醇的燃料如以汽油相同的价格销售,需要政府财政补贴和税收优惠。世界各国政府对乙醇燃料都有一定的补贴,如在美国中西部盛产粮食的地区,用玉米生产燃料乙醇,每加仑政府补贴 53 美分。巴西生产甘蔗,在石油危机期间,国际市场上石油价格高,糖价格低。为减少对石油进口的依赖,巴西政府推广甘蔗原料生产乙醇,替代汽油。近些年来,巴西政府又重新启动了燃料乙醇计划,20 多年来,巴西政府为推广甘蔗制造燃料乙醇共投资 100 多亿美元。

由于需要政府的补贴和税收优惠,国家应严格控制乙醇建设项目。普遍推广应逐步减少政府的补贴,依靠严格的科学管理和技术进步,把燃料乙醇的成本控制在市场可以接受的程度。在此之前的过渡期间,需要政府配套出台有关的行政和技术政策。

参照发达国家的经验,对燃料乙醇的生产应采取专管专营;推广先进技术,综合利用;统一财政和税收政策,对试点企业一视同仁,形成竞争的局面。

目 录

绪论	1
一、燃料乙醇发展的起因及其过程	1
二、燃料乙醇与中国可持续发展	2
三、变性燃料乙醇的生产、试点、推广与政策管理	4

第一篇 世界燃料乙醇的历史与发展

第一章 燃料乙醇的起源与发展	3
第一节 世界种植业概况	3
一、世界主要农业资源	3
二、世界主要国家农业概况	6
第二节 起源	14
一、概况	14
二、燃料乙醇发展的主要原因	15
第三节 发展过程	20
一、发展阶段	20
二、燃料乙醇应用领域的拓展过程	20
第四节 全球燃料乙醇生产现状与趋势	22
一、生产现状	22
二、发展趋势	24
第二章 各国燃料乙醇的发展与管理	27
第一节 美国	27
一、历史与背景	27
二、生产与使用现状	30
三、影响燃料乙醇发展的因素	35

四、管理制度	38
五、发展趋势	39
六、经验与教训	42
第二节 巴西	45
一、历史与背景	45
二、生产与使用现状	46
三、影响燃料乙醇发展的因素	47
四、管理制度	48
五、发展趋势	50
六、经验与教训	50
第三节 欧洲及其他国家燃料乙醇推广使用情况	51
一、欧盟国家	51
二、俄罗斯及其他东欧国家	53
三、南非共和国	54
四、印度	55
五、日本和韩国	55
六、加拿大	55
主要参考文献	56

第二篇 燃料乙醇生产技术

第三章 常用原料	59
第一节 原料种类	59
一、水合法生产乙醇与原料	59
二、发酵法生产乙醇与原料	60
第二节 原料选择	65
第三节 原料准备	66
一、糖质原料预处理	66
二、淀粉质原料预处理	69
第四章 液化与糖化	73
第一节 淀粉质原料的物理特征	73
第二节 淀粉结构及其糊化过程	75



一、淀粉的结构	75
二、淀粉的糊化	76
三、影响糊化率的主要因素	77
第三节 淀粉的液化与糖化	77
一、液化糖化过程各种酶的作用特点	78
二、糖化过程中物质的变化	79
三、液化糖化工艺	80
四、影响水解速度的因素	81
五、糖化过程的控制	82
 第五章 发酵	84
第一节 酵母扩大培养	84
一、酒精生产对酵母菌的要求	84
二、酒精生产中常用酵母菌及其特性	85
三、酵母所需营养物质及其数量	87
四、酵母培养所需要营养物质	87
五、酵母培养与扩大培养工艺	88
六、影响酒母质量主要因素的讨论	92
第二节 酒精发酵	94
一、酒精发酵设备	94
二、酒精发酵机理	95
三、酒精发酵工艺	102
四、影响酒精发酵的因素	106
五、酒精生产杂菌污染、异常发酵及防治办法	108
六、从 CO_2 中回收酒精	109
七、淀粉出酒率和淀粉利用率	109
 第六章 蒸馏	111
第一节 杂质分离的基本原理	112
一、乙醇精馏原理	112
二、乙醇精馏的节能技术	119
三、乙醇分离传质设备	125
第二节 粗馏工艺技术	135