



新 能 源  
New Energy  
应用丛书

# 燃料乙醇生产技术 与工程建设

Fuel Ethanol Production Technology  
and Construction Engineering

肖明松 王孟杰 编著



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

新能源应用丛书

# 燃料乙醇生产技术与 工程建设

肖明松  
王孟杰 编著

人民邮电出版社  
北 京

## 图书在版编目(CIP)数据

燃料乙醇生产技术与工程建设 / 肖明松, 王孟杰编  
著. — 北京: 人民邮电出版社, 2010. 11  
(新能源应用丛书)  
ISBN 978-7-115-23518-3

I. ①燃… II. ①肖… ②王… III. ①乙醇—液体燃料—生产工艺 IV. ①TQ517.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第137752号

## 内 容 提 要

本书介绍了燃料乙醇的生产原料、工艺流程、菌种培育、发酵和蒸馏、工程施工以及运行管理的相关内容, 并从鼓励使用非粮原料生产乙醇的产业政策出发, 重点介绍了用甜高粱茎秆、木质纤维素等非粮食物质原料制取燃料乙醇的生产加工技术, 同时还增加了典型项目的技术经济环境评价, 适合从事燃料乙醇研制和应用的工程技术人员使用。

新能源应用丛书

### 燃料乙醇生产技术与工程建设

- ◆ 编 著 肖明松 王孟杰  
责任编辑 毕 颖
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京铭成印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 14  
字数: 317 千字 2010 年 11 月第 1 版  
印数: 1—4 000 册 2010 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-23518-3

定价: 38.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号



## 序

进入 21 世纪后,由于全球经济快速发展和人口不断增长,世界一次能源消费量不断增加,而化石能源仍是能源消费的主体,使得温室气体及各种有害物质大量排放,生态环境不断受到威胁。1997 年的《京都议定书》要求国际社会采取行动,消除人为对气候系统的破坏;2009 年的哥本哈根会议进一步推动了各国在应对气候变化的行动中形成共识,温家宝总理也在大会上作出庄严承诺。在此背景下,世界各国都在积极研究并开发利用新能源特别是可再生能源,约束和减少全球温室气体的排放,中国政府已经把大力推动新能源与可再生能源发展作为国家的一项重大战略任务。

新能源的各种形式都是直接或者间接地来自于太阳或地球内部所产生的热能,包括了水能、太阳能、风能、生物质能、地热能、核聚变能、海洋能以及氢能等。新能源普遍具有污染少、储量大的特点,对于解决当今全球气候变化和环境污染问题,解决化石能源日趋枯竭以及保障能源安全供应等问题具有重要意义。从长远看,我们正处在以化石能源应用为主向新能源应用转变的过渡阶段,应抓住这次能源变革的机遇,加强对能源战略、能源结构、能源布局、能源政策、能源科技、能源价格以及能源合作等一系列重大问题的研究,明确发展目标,理清发展思路和工作方向。

在缓解能源、环境危机的双重压力下,太阳能热利用、沼气、农作物秸秆和生物制液体燃料等由于出色的节能减排效果和经济实用性,多年来已成为国家能源建设,特别是社会主义新农村建设中优先发展的重点领域。

人民邮电出版社顺应时代的需要,出版了这套“新能源应用丛书”。本套丛书包括已具规模效益的太阳能热利用工程和沼气工程,以及前景广阔的燃料乙醇工程和秸秆能源工程等项目,其作者均是相关领域有着丰富实践经验和理论水平的工程技术专家,各册书稿贯穿了实用有效的编写方针,对于新能源工程建设,有很好的指导性、可操作性和成果连续性。

相信“新能源应用丛书”的出版发行,可以为新能源领域的工程技术人员提供一个实用而有效的智力支撑,也可以成为面向广大干部群众的科普读物。

国务院参事、中国可再生能源学会理事长

石定寰

2010 年 9 月 27 日



燃料乙醇又称为汽油醇，是基于石油危机和控制大气污染所产生的新兴产物。燃料乙醇是以薯类（甘薯、木薯、马铃薯等）、糖类（废糖蜜、甜菜、甘蔗等）或纤维类（农作物秸秆、废木材、废纸浆等）等为原料，经发酵、蒸馏制得的 99.5% 的乙醇，将脱水后的乙醇加入变性剂，形成变性燃料乙醇。

燃料乙醇是一种绿色并且可再生的能源，伴随着科学技术日新月异的发展，淀粉类、糖类和各类食物纤维都将成为其丰富的原料来源，它可以部分代替不可再生的石油能源。这在一定程度上是国家能源的一种有效的生产储备，同时，燃料乙醇的开发与应用有利于国家能源安全。

按照国家标准要求，乙醇汽油是用 90% 的普通汽油与 10% 的燃料乙醇调和而成。在汽油标号前用字母“E”作为车用乙醇汽油的标识，乙醇汽油有四种标号，即 E90#、E93#、E95#、E97#，逐步将乙醇汽油推广使用。使用燃料乙醇可以有效地降低汽车尾气带来的严重大气污染，适应了世界上由“黑色能源”向“绿色能源”转化的总趋势。

随着工业的发展和人口的增加，环保越来越成为迫切需要解决的问题，而燃料乙醇不仅不会对环境造成污染，相反可以改善大气环境。我国目前的燃料乙醇，都是以粮食为主要原料，未来会以粮食以及各类植物纤维为主。燃料在其整个生产使用循环中，可以实现二氧化碳的自然平衡。

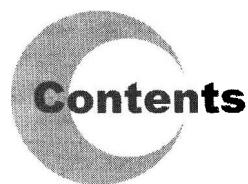
开发替代粮食资源及其相应的燃料乙醇生产技术，如以能源作物甜高粱及农作物秸秆为代表的各类木质纤维类生物质，被专家们认为是未来解决燃料乙醇原料成本高、原料有限的根本出路。除粮食外，我国其他可用于生物燃料生产的植物和原料还有很多，如甘蔗、甜菜、薯类等。

有关专家指出，根据能源作物生产条件以及不同作物的用途和社会需求，估计我国未来可以种植甜高粱的宜农荒地资源约有 1 300 万公顷，种植木薯的土地资源约有 500 万公顷，种植甘蔗的土地资源约有 1 500 万公顷。如果其中 20%~30% 的宜农荒地可以用来种植上述能源作物，那么充分利用我国现有土地与技术生产的生物质可转化 5 000 万吨乙醇，前景十分可观。

本书重点介绍了我国燃料乙醇生产原料、工艺技术、工程建设以及运行管理等方面的内容，可作为从事燃料乙醇生产、开发和施工的人员的参考资料。

本书的主要作者是肖明松、王孟杰，农业部规划设计研究院的孙宏、中国农业科学院的李桂英也参与了本书的编写。本书在编写过程中，参考了大量国内外有关资料，在此谨向相关人员表示深深的谢意。书中内容涉及面广，而编者水平有限，书中难免存在不足之处，欢迎读者批评指正。

编者



# 目录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第1章 绪论                    | 1  |
| 1.1 国内外燃料乙醇产业发展现状         | 1  |
| 1.1.1 巴西                  | 1  |
| 1.1.2 美国                  | 2  |
| 1.1.3 欧盟                  | 4  |
| 1.1.4 中国                  | 4  |
| 1.2 燃料乙醇的应用               | 6  |
| 1.2.1 我国生物燃料乙醇的应用特点       | 6  |
| 1.2.2 我国生物燃料乙醇发展现状        | 7  |
| 第2章 燃料乙醇的生产               | 10 |
| 2.1 燃料乙醇的特性               | 10 |
| 2.1.1 一般概念                | 10 |
| 2.1.2 乙醇特性                | 10 |
| 2.2 生产原料种类                | 12 |
| 2.2.1 常见原料                | 12 |
| 2.2.2 乙醇生产原料的选择依据         | 17 |
| 2.2.3 碳水化合物和可发酵性糖         | 18 |
| 2.2.4 纤维乙醇原料              | 20 |
| 2.2.5 生产中常用辅料             | 20 |
| 2.3 生产工艺简介                | 21 |
| 2.3.1 发酵法                 | 22 |
| 2.3.2 化学合成法               | 22 |
| 2.4 工艺流程                  | 23 |
| 2.4.1 糖蜜原料生产乙醇的工艺流程和工艺参数  | 23 |
| 2.4.2 淀粉类原料生产乙醇的工艺流程和工艺参数 | 25 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第3章 原料处理 .....             | 27 |
| 3.1 不同原料处理工艺技术 .....       | 27 |
| 3.2 原料储存及运输 .....          | 28 |
| 3.2.1 原料储运 .....           | 28 |
| 3.2.2 原料供应与储存风险 .....      | 29 |
| 3.3 原料预处理工艺 .....          | 30 |
| 3.3.1 淀粉类原料处理 .....        | 30 |
| 3.3.2 生料直接发酵法 .....        | 31 |
| 3.3.3 糖蜜类原料预处理 .....       | 33 |
| 3.3.4 纤维类原料预处理 .....       | 33 |
| 3.4 原料处理技术要求 .....         | 34 |
| 3.4.1 淀粉类原料处理技术要求 .....    | 34 |
| 3.4.2 糖蜜类原料处理技术要求 .....    | 35 |
| 3.4.3 纤维类原料处理技术要求 .....    | 37 |
| 3.5 原料处理设备和工艺 .....        | 39 |
| 3.5.1 淀粉类原料处理设备 .....      | 39 |
| 3.5.2 糖蜜类原料处理设备 .....      | 56 |
| 3.5.3 纤维类原料处理工艺设备 .....    | 61 |
| 3.6 原料处理对发酵过程的影响 .....     | 68 |
| 3.6.1 淀粉原料处理对发酵效果的影响 ..... | 68 |
| 3.6.2 糖蜜原料处理对发酵效果的影响 ..... | 70 |
| 3.6.3 纤维原料处理对发酵效果的影响 ..... | 72 |
| 第4章 酒母菌种培育 .....           | 75 |
| 4.1 乙醇生产对酒母菌的要求 .....      | 75 |
| 4.2 生产中常用酒母菌及其特性 .....     | 76 |
| 4.2.1 淀粉类酒母菌 .....         | 77 |
| 4.2.2 糖蜜类菌种 .....          | 78 |
| 4.3 酒母菌所需营养物质及数量 .....     | 79 |
| 4.3.1 酒母菌所需营养物质 .....      | 79 |
| 4.3.2 酒母菌所需营养物质数量 .....    | 80 |
| 4.4 酒母菌种培育工艺及技术流程 .....    | 81 |
| 4.4.1 酒母培养基的制备 .....       | 81 |
| 4.4.2 酒母的扩大培养 .....        | 84 |
| 4.4.3 酒母菌培养设备 .....        | 86 |
| 4.4.4 菌种的纯培养流程 .....       | 87 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 4.5 影响酒母质量的主要因素 .....         | 89         |
| <b>第5章 发酵工艺 .....</b>         | <b>92</b>  |
| 5.1 发酵要求及设备特点 .....           | 92         |
| 5.1.1 发酵要求 .....              | 92         |
| 5.1.2 发酵设备 .....              | 92         |
| 5.2 发酵机理 .....                | 93         |
| 5.2.1 乙醇发酵动态 .....            | 93         |
| 5.2.2 乙醇发酵中酵母菌的酶 .....        | 94         |
| 5.2.3 乙醇发酵机制 .....            | 95         |
| 5.2.4 乙醇发酵中副产物的生成 .....       | 97         |
| 5.3 发酵工艺流程 .....              | 101        |
| 5.3.1 淀粉类原料发酵工艺流程 .....       | 101        |
| 5.3.2 糖蜜类原料发酵工艺流程 .....       | 109        |
| 5.4 发酵过程技术分析 .....            | 115        |
| 5.5 影响乙醇发酵的因素及防治办法 .....      | 117        |
| <b>第6章 蒸馏工艺 .....</b>         | <b>120</b> |
| 6.1 蒸馏原理 .....                | 120        |
| 6.2 蒸馏设备 .....                | 122        |
| 6.3 回流问题 .....                | 125        |
| 6.4 乙醇精馏 .....                | 126        |
| 6.4.1 从粗乙醇中分离酯醛类杂质的基本理论 ..... | 128        |
| 6.4.2 从粗乙醇中分离杂醇油的理论基础 .....   | 130        |
| 6.4.3 从粗乙醇中分离甲醇的理论基础 .....    | 131        |
| 6.4.4 粗馏乙醇的化学处理 .....         | 134        |
| 6.5 蒸馏工艺流程 .....              | 135        |
| 6.5.1 两塔蒸馏 .....              | 135        |
| 6.5.2 三塔蒸馏 .....              | 137        |
| 6.6 蒸馏常见故障及排除 .....           | 139        |
| 6.6.1 影响精馏效率的因素 .....         | 139        |
| 6.6.2 蒸馏故障排除 .....            | 140        |
| 6.6.3 蒸馏的开塔与停塔 .....          | 141        |
| 6.7 渗透汽化 .....                | 142        |
| <b>第7章 项目建设及工程施工 .....</b>    | <b>144</b> |
| 7.1 资源可供应性评价 .....            | 144        |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| 7.1.1 资源利用要求         | 144        |
| 7.1.2 原料可供量评价        | 146        |
| 7.2 建设地点选择           | 147        |
| 7.3 技术方案选择           | 149        |
| 7.4 主要设备方案选择         | 150        |
| 7.5 环境影响评价           | 151        |
| 7.6 工程施工             | 152        |
| 7.6.1 工程施工要求         | 152        |
| 7.6.2 工程验收           | 153        |
| <b>第 8 章 运行管理</b>    | <b>154</b> |
| 8.1 生产过程控制           | 154        |
| 8.2 生产设备控制           | 157        |
| 8.2.1 精馏塔的控制         | 157        |
| 8.2.2 精馏段指标的控制方案     | 160        |
| 8.2.3 提馏段指标的控制方案     | 161        |
| 8.3 发酵过程控制           | 164        |
| 8.3.1 釜式反应器的控制       | 164        |
| 8.3.2 固定床反应器的控制      | 165        |
| 8.3.3 流化床反应器的控制      | 166        |
| 8.3.4 新建厂的稳定运行       | 166        |
| <b>第 9 章 技术经济分析</b>  | <b>168</b> |
| 9.1 乙醇转化技术指标         | 168        |
| 9.1.1 成熟醪指标          | 168        |
| 9.1.2 影响乙醇发酵的因素      | 169        |
| 9.1.3 影响酒母质量的因素      | 170        |
| 9.1.4 成熟酒母的质量标准      | 170        |
| 9.1.5 能源转化指标         | 171        |
| 9.2 乙醇生产污染物的处理       | 172        |
| 9.2.1 玉米乙醇糟液处理技术     | 173        |
| 9.2.2 薯类乙醇糟液废水处理     | 173        |
| <b>第 10 章 实用案例分析</b> | <b>175</b> |
| 10.1 粮食乙醇工程          | 175        |
| 10.2 木薯燃料乙醇工程        | 176        |
| 10.3 甜高粱燃料乙醇工程       | 182        |

|          |                                 |     |
|----------|---------------------------------|-----|
| 10.3.1   | 固态发酵工艺 .....                    | 182 |
| 10.3.2   | 液态发酵工艺 .....                    | 187 |
| 10.3.3   | 甜高粱茎秆固态发酵工艺产业经济效益 .....         | 190 |
| 10.4     | 纤维燃料乙醇工程 .....                  | 192 |
| 10.4.1   | 吉林年产 3 000 吨燃料乙醇示范项目 .....      | 193 |
| 10.4.2   | 中粮生化能源有限公司年产 1 万吨纤维乙醇示范项目 ..... | 196 |
| 10.4.3   | 山东雪菱淀粉有限公司 .....                | 198 |
| 10.4.4   | 纤维乙醇产业试验结果与建议 .....             | 201 |
| 附录 ..... |                                 | 202 |

## 1.1 国内外燃料乙醇产业发展现状

### 1.1.1 巴西

燃料乙醇实现工业化生产始于巴西，其燃料乙醇产量和利用量居世界第一位。图 1-1 为巴西的甘蔗乙醇生产厂区图。巴西发展燃料乙醇是基于两方面的考虑，一方面国内石油资源匮乏，另一方面盛产甘蔗，农业资源丰富。为了有效促进本国经济发展，减少能源的对外依赖程度，巴西通过立法确立了用燃料乙醇替代汽油的发展方向。经过 20 多年的发展，巴西已经成为燃料乙醇生产能力最大的国家，目前巴西也是世界上燃料乙醇生产成本最低的国家，约合 0.2 美元/升，同期汽油的价格为 0.6~0.7 美元/升。燃料乙醇已经具备了相当的市场竞争力，从 2001 年开始巴西政府取消了对燃料乙醇的补贴，由市场供求直接调节。



图 1-1 巴西甘蔗乙醇生产厂

根据 2009 年 Conab 公司发布的巴西第二轮作物调查结果，巴西糖类和乙醇在 2009 年将突破甘蔗生产量的新记录。调查结果显示，总的甘蔗收获量预期将达到 6.290 2 亿吨，比 2008 年高出 10%。这一增长缘于降雨分布较为均匀以及扩大了种植面积。

现在的甘蔗生产指数（约  $81\text{t}/\text{hm}^2$ ）将继续保持，较多的产量将用于生产糖类，糖类生产占总作物生产量的 45% 左右，比 2008 年高出 2% 以上。其余的作物（55%），即 3.5 亿吨用于

生产乙醇，具体为 91.3 亿升无水燃料和 186.8 亿升含水乙醇，均销售用作燃料。与上年相比，这些数量分别减少 9.30% 和增长 12.41%。总体来看，乙醇总产量约为 3 653 万吨，比上一年度生产的 3 487 万吨增长 4.5%。据 Conab 公司分析，巴西大多数工厂均可同时生产乙醇和糖类，糖和乙醇的生产比例是通过市场调研决定的，这种灵活的生产方式为巴西的燃料乙醇生产企业增加了活力。该项调查涉及巴西各个州的 389 座工厂。

### 1.1.2 美国

美国是世界上玉米资源最丰富的国家之一，是玉米生产大国、供应大国，也是玉米库存量雄厚的国家。世界玉米总产量约为 700 亿吨，美国玉米产量约为 280 亿吨，占世界玉米总产量的 40% 左右。美国的玉米资源在世界市场上具有举足轻重的地位。

美国是乙醇第二大生产国，据美国再生燃料协会 2009 年 9 月 24 日发布的报告表示，2009 年美国乙醇行业的产量达到 3 192 万吨，占世界总产量的 35%。美国主要是以玉米为原料生产乙醇，当前用于生产乙醇的玉米超过玉米总产量的 12%。

美国联邦政府通过发布《能源法案》，出台生物燃料政策、补贴政策，制订乙醇发展计划，启动能源减税计划、生物柴油教育计划和设立国家生物燃料委员会等措施，大力推广以高产、高淀粉含量的玉米为原料生产燃料乙醇，使用掺混乙醇的混合燃料替代石油汽油；致力于以大豆油为原料发展生物柴油产业，逐步扩大以油菜籽为原料的生物柴油在可再生燃料中所占的比例；同时，积极发展纤维素制取燃料乙醇技术。美国要求燃料制造商到 2012 年，每年必须在汽油中加入 2 250 万吨生物燃料。生物柴油享受与乙醇燃料同样的减税政策，目前年生产能力达到约 30 万吨，计划 2011 年生产 115 万吨，2016 年达到 330 万吨。

自 20 世纪 70 年代开始，世界上兴起玉米深加工工业热潮，美国一马当先，成为现代玉米资源深度开发利用的开拓者和发展最快的国家。图 1-2 所示为美国玉米燃料乙醇生产加工厂。尽管目前燃料乙醇在美国还是一个正在兴起的行业，但是，用玉米为原料生产的乙醇，已占全美燃料乙醇总量的 90% 左右。每年约有 3 200 万吨玉米用于生产燃料乙醇，相当于美国玉米总产量的 11% 左右。

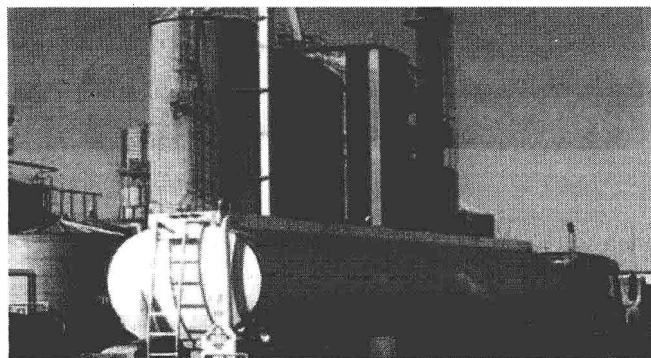


图 1-2 美国玉米燃料乙醇生产加工厂

美国利用现代的玉米深加工技术，在短短的时间里一跃而高居世界榜首，成为玉米产业加工发达的国家，这是因为它具有多种优势条件：一是美国玉米总产量高居世界榜首，而且还有巨大潜力。二是美国拥有巨大的市场，能源、特别是燃料能源的消费量高居世界之首。三是美国遇到难得的发展机遇。在美国发明汽车的初期，T型汽车使用的动力就是乙醇，后来才被石油所替代。第二次世界大战和20世纪70年代的石油危机使燃料乙醇工业再现生机。到20世纪80年代，美国环境保护署要求在汽油中添加氧化剂，以减少汽车尾气的排放。美国东西海岸开放了乙醇汽油市场，促使美国燃料乙醇工业迅猛发展。四是美国具有雄厚的科学技术实力。美国具有深度开发利用玉米资源的科学技术手段，迄今已开发利用玉米生产出3500多种产品，使玉米的科技附加值大大提高。这些优势强有力地推进了美国用玉米生产燃料乙醇的工艺技术。

在玉米综合化开发利用路线下，传统的直线开放型短产业链，即只能生产一种或两种产品的玉米加工业被淘汰了，取而代之的是现代封闭型长产业链玉米加工业。所谓“直线开放型”是对玉米资源的一次性开发利用，初加工后的副产品大多被当作废弃物扔掉了，造成资源的浪费和环境的污染。与“直线开放型”对应的是“曲线封闭型”，即对玉米资源进行多次开发利用，初加工后的副产物经过无害化处理又作为资源二次、三次乃至更多次被利用了。这就是“循环经济发展模式”中的“3R原则”，即对资源的“减量化使用、无害化再使用和循环化使用”。现在美国采用的玉米乙醇转化工艺分干磨和湿磨两种，见图1-3和图1-4。

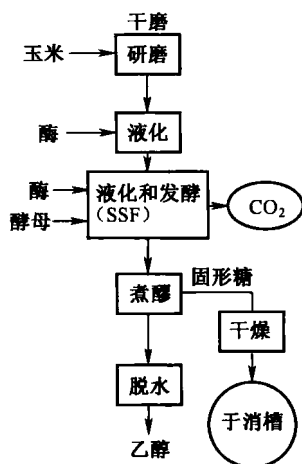


图 1-3 玉米干磨乙醇生产工艺

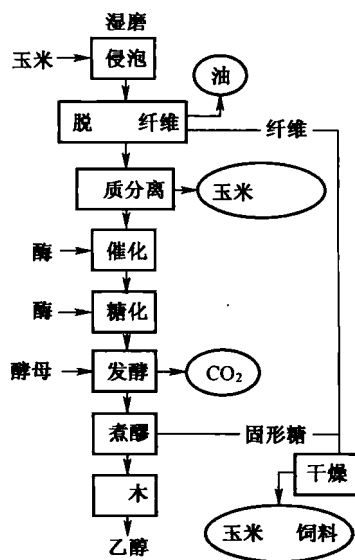


图 1-4 玉米湿磨乙醇生产工艺

干磨工艺投资成本相对较低，除生产乙醇外，其余产品都加工为动物饲料。湿磨工艺则是把玉米籽粒分解成淀粉、麸质、胚芽和纤维。与干磨相比，湿磨具有延长产业链的优点：一方面，利用玉米的多价值属性分别加工出多种产品。诸如利用玉米胚芽生产高营养玉米油，利用玉米糠麸生产高蛋白饲料，纤维和液流混合干燥后也可当作低蛋白动物饲料出售。另一方面，利用湿磨工艺生产的纯淀粉，通过延长产业链进一步加工出多种下游产品。玉米淀粉

除经过发酵制取乙醇外，还可制作变性淀粉用于食品业、纺织业、造纸业及黏合剂等。像用于食品业的麦芽糊精和甜味剂（玉米高果糖浆）等都是玉米淀粉经过酶法制取的。现在的玉米加工科技已达到很高的水平，用酶法可以把淀粉转化为一系列高纯度的葡萄糖下游产品，然后再通过发酵制成各种不同的终端产品。除乙醇外，还可以制成氨基酸、维生素、人造甜味剂、柠檬酸和乳酸等多种多样的产品。尽管目前还不是所有采用湿磨工艺的玉米加工企业都生产上述全部产品，但是，加工制作多种淀粉产品是常见的。总之，玉米湿磨企业比干磨企业延长了产业链，至少能多制取两三个高附加值的产品。

### 1.1.3 欧盟

据欧洲生物乙醇燃料协会（eBIO）称，欧盟 2008 年燃料乙醇产量为 359 万吨，比 2007 年的 230 万吨增长了 56%。2006 年欧盟乙醇燃料产量为 205 万吨。

eBIO 称，2008 年法国燃料乙醇产量为 128 万吨，相比之下，前两年分别为 70 万吨和 38 万吨。德国 73 万吨，相比之下，前两年分别为 69 万吨和 55 万吨。西班牙 40.6 万吨，相比之下，前两年分别为 45 万吨和 51.5 万吨。2008 年波兰燃料乙醇产量为 25.6 万吨，相比之下，前两个年度分别为 20 万吨和 15.4 万吨。匈牙利 19.2 万吨，相比之下，前两年分别为 3.8 万吨和 4.4 万吨。斯洛伐克 12 万吨。

与巴西、美国相比，欧盟燃料乙醇的生产成本最高，以小麦为原料生产燃料乙醇的成本为 0.48 美元/升，以甜菜为原料的生产成本为 0.52 美元/升。

世界范围内生物燃料的总体需求逐年增加，燃料乙醇的需求增长促进了产能的上升，增长的动力和幅度与原油价格的涨落直接密切相关。燃料乙醇主要消费地区有巴西、美国、印度、加拿大、欧盟、日本。

### 1.1.4 中国

20 世纪 60 年代，由于备战和石油短缺，乙醇也一度在我国部分地区作为汽油的替代品使用，但由政府组织研究开发推广应用是在 20 世纪末期。20 世纪 90 年代中期，我国已从石油净出口变为净进口国，且进口数量保持较高的增长速度，石油资源匮乏和能源安全问题已引起国家的高度重视。随着技术进步和农业生产的快速发展，粮食产品相对过剩，库存增高，国家在粮食生产和储备方面的负担日益加重，粮食价格逐年下滑，农民收入增幅趋缓。随着交通基础设施的完善，我国汽车工业快速发展，汽车保有量逐年增多，尾气污染也日益严重，环境保护压力日渐加大。为了统筹解决我国经济社会发展中存在的上述问题，中国借鉴欧美等发达国家的成功经验，有组织地进行了燃料乙醇和车用乙醇汽油的研究和应用。政府各部门携手联动，推动车用乙醇汽油在我国的研究开发应用工作。为了统筹燃料乙醇和车用乙醇汽油的发展和推广应用，国家发展和改革委员会制定了《车用乙醇汽油“十五”专项规划》和《燃料乙醇及车用乙醇汽油“十五”发展专项规划》。

2002 年 3 月八部委下发《车用乙醇汽油使用试点方案》和《车用乙醇汽油使用试点工作实施细则》，并于 2002 年 6 月 30 日开始在河南省郑州、洛阳、南阳以及黑龙江省哈尔滨、肇东五个城市进行车用乙醇汽油使用试点工作，试点取得成功经验后，在全国有条件的地区进

行推广应用。经过一年多的试点,证明了车用乙醇汽油无论在技术上还是管理上都是可行的,且环境效应良好,社会经济效益显著。试点的结论是“车用乙醇有较好的社会效益和环境效益,对整个经济的可持续发展、社会的进步及环境质量的改善有很大的促进作用”。

## 1. 国家关于燃料乙醇的相关配套政策

由于我国的燃料乙醇生产成本较高,因此企业不能完全通过生产燃料乙醇来盈利,更多的要靠国家各环节的补贴。为鼓励燃料乙醇的推广,国家对于批准生产燃料乙醇的企业给予如下优惠:免征用于调配车用乙醇汽油的变性燃料乙醇 5%的消费税;企业生产调配车用乙醇汽油用变性燃料乙醇的增值税实行先征后返;企业生产调配车用乙醇汽油用变性燃料乙醇所使用的陈化粮享受陈化粮补贴政策;对于变性燃料乙醇生产和变性燃料乙醇在调配、销售过程中发生的亏损,实行定额补贴。2004 年 6 月,《财政部关于燃料乙醇亏损补贴政策的通知》分年度明确了补贴标准,企业生产和销售变性燃料乙醇发生的亏损,依据保本微利的原则,由中央财政给予定额补贴。从 2004 年到 2008 年每吨补贴分别为 2 736 元、2 395 元、2 054 元、1 373 元和 1 373 元。

2005 年 2 月,我国颁布了《可再生能源法》,国家以立法的形式鼓励包括燃料乙醇在内的生物液体燃料的发展。

## 2. 应用现状

由于燃料乙醇在我国的推广使用还处在初级阶段,燃料乙醇与汽油的混合比例为 10%,故而产销的各个环节政府行为色彩比较浓,与巴西相比,离真正的市场化运行管理还有很大距离。为了合理地利用资源,国家对燃料乙醇的立项非常谨慎、严格控制,采取核准制,未经核准的项目不能享受国家相应的补贴优惠政策。

“十五”期间,国内经过审批认可的生产企业有四家:河南天冠燃料乙醇有限公司、吉林燃料乙醇股份有限公司、安徽丰原生物化工有限公司、黑龙江华润乙醇有限公司,见图 1-5。根据《车用乙醇汽油扩大试点工作的实施细则》的要求,黑龙江、吉林、河南和安徽四省首先在全省范围内推广使用车用乙醇汽油。其中黑龙江华润乙醇有限公司的 10 万吨变性燃料乙醇全部在本省使用;吉林 30 万吨变性燃料乙醇在本省销售 10 万吨,其余 20 万吨调往辽宁销售;河南 30 万吨变性燃料乙醇在本省销售 13 万吨,其余 17 万吨调往湖北襄樊、荆门、随州、孝感、十堰、武汉、宜昌、黄石、随州、鄂州和河北石家庄、保定、邢台、邯郸等 13 个城市销售;安徽 32 万吨变性燃料乙醇在本省销售 10 万吨,其余 22 万吨调往山东济南、菏泽、枣庄、莱芜、临沂、聊城、济宁、泰安、日照、东营、滨州、德州、淄博和河北沧州、衡水等 15 个城市销售。

2001 年国内乙醇原料中玉米占原料总量的比重为 59%,到 2006 年,这一比重已经上升到 79%,近几年这一比例基本维持不变。目前我国甘蔗年产量在 8 500 万吨左右,仅产食用乙醇 50 多万吨。若技术攻关成功,成本控制得当,用甘蔗生产燃料乙醇,将会有很好的发展前景。但问题在于,我国甘蔗种植面积十分有限,主要集中在广西、云南等少数几个省份,而且随着国内食糖消费量大幅增加,价格也将一路上扬,生产成本将可能大大高于用玉米制

造燃料乙醇。国家政府部门明确表示,继续推广乙醇汽油是大势所趋,非粮生物能源如红薯、木薯、甜高粱、纤维质乙醇是今后发展的重点,将加大这方面的科研投入力度。而另一方面,相关部委紧急叫停玉米加工乙醇后,政府仍会继续“适度”发展燃料乙醇行业,坚持能源与粮食双赢。在确保粮食安全的前提下,国家会采取一些财税扶持政策,支持燃料乙醇的生产和使用。

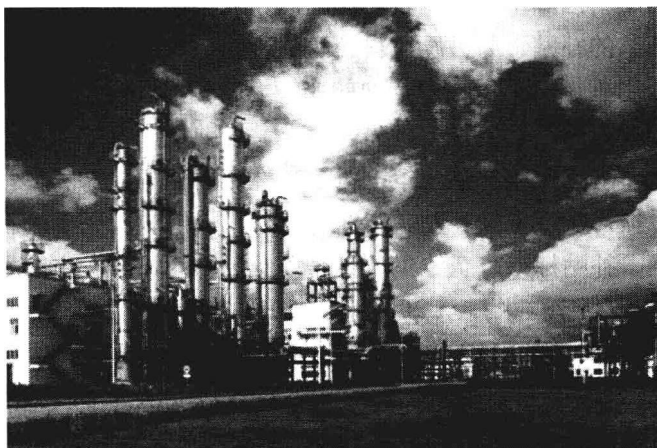


图 1-5 我国四大乙醇厂之一——吉林燃料乙醇有限公司

我国 2008 年乙醇产量为 146 万吨。其中约 80% 的产量由玉米生产,约 20% 的产量由小麦、大米和木薯生产。根据美国农业部海外农业服务中心发布的最新参赞报告显示,中国 2009 年燃料乙醇产量约为 170 万吨,比 2008 年增长 8%。

## 1.2 燃料乙醇的应用

### 1.2.1 我国生物燃料乙醇的应用特点

燃料乙醇有两种使用方法。一是按照一定比例与汽油混合使用(称为车用乙醇汽油),在我国,乙醇的体积混合量一般为 10.0%,称为 E10;二是使用纯乙醇代替汽油,国际上称为 E100。燃料乙醇的热值比汽油的热值低,车用乙醇汽油加入 10% 的乙醇,其热值理论上降低了 3%,会使汽车的动力性能下降;但乙醇中含氧,使汽油中的含氧量增加 3.5%,将汽油中原来不能完全燃烧的部分充分燃烧,提高了燃烧效率,提高了动力性能,从而减少了油耗,两者相抵,总体油耗持平或略有下降。

燃料乙醇主要是与汽油混合使用,汽油掺乙醇有两个作用:一是乙醇辛烷值高达 115,可以取代污染环境的含铅添加剂来改善汽油的防爆性能;二是乙醇含氧量高,可以改善燃烧效率,减少发动机内的碳沉淀和一氧化碳等不完全燃烧污染物的排放。同体积的生物乙醇和汽油相比,燃烧热能减少不显著,而且不需要改造发动机就可以使用,使用更加方便,在技

术上可以形成无障碍推广。

目前我国执行的燃料乙醇标准就是 E10, 其优势是不需要对发动机做任何改动, 更换燃料的时候, 只需要清洗油路, 防止油管内的杂质等堵塞油路即可。和 E10 相仿的 M15 国家标准还没有颁布, M15 和 E10 一样不需要改动发动机就可以直接使用。添加 10% 的燃料乙醇, 可以减少汽车尾气 CO 排放量的 30%, 烃类排放量的 40%, 同时减少 CO<sub>2</sub> 和氮氧化合物的排放。

## 1.2.2 我国生物燃料乙醇发展现状

### 1.2.2.1 粮食基燃料乙醇

目前, 我国燃料乙醇的实际年生产能力已经达到 170 万吨。我国以小麦、玉米等陈化粮进行燃料乙醇试点, 生产成本较高, 受汽油销售价格的影响, 燃料乙醇的销售价格偏低, 必须依靠政府的补贴才能够保本/盈利。目前, 由于陈化粮消耗殆尽, 我国批准的四家定点燃料乙醇企业, 主要靠收购新粮维持生产。近几年, 以粮食为原料的燃料乙醇产业的规模化运行, 推动了国内玉米主产区收购价格的持续攀升, 反过来也导致了燃料乙醇生产成本的进一步上扬, 国家玉米储备数量逐年下降。这种“以缺代缺”的产业模式造成粮食的紧缺, 这种恶性循环不仅阻碍了燃料乙醇的发展进程, 还有可能引发国家粮食安全问题。2006 年 12 月 18 日, 国家发展和改革委员会下发了《关于加强玉米加工项目建设管理的紧急通知》, 明确提出我国将“坚持非粮为主, 积极稳妥推动生物燃料乙醇产业发展”。国家《可再生能源中长期发展规划》也明确提出, 我国将不再增加以粮食为原料的燃料乙醇生产能力, 而是合理利用非粮生物质原料生产燃料乙醇。

2007 年, 作为生物燃料乙醇向“非粮”发展的转折点, 国家有关部门批准中粮与中国石化合资在广西北海建设年产 20 万吨木薯燃料乙醇的示范工程, 并配套建设相应的木薯原料种植基地。

### 1.2.2.2 非粮燃料乙醇

我国粮食和土地都处于“紧平衡”状态, 目前国内重点发展的“非粮”燃料乙醇主要以木薯、甜高粱、甘薯、甘蔗糖蜜等为原料。

#### 1. 木薯燃料乙醇

木薯是热带和亚热带多年生、温带一年生薯属灌木, 原产于南美洲, 根粗而长, 呈柱形或纺锤形, 块根是其主要利用部位, 适宜在年均气温 25~29℃、无霜期 8 个月以上、年均降水量 1 000~1 500mm 的低纬度热带地区种植。鲜木薯淀粉含量达到 25%~30%, 原料的乙醇得率为 15.2%, 在谷物类和块根类作物中, 木薯是碳水化合物产量最高的作物。木薯耐旱、耐贫瘠、病虫害少、易栽培, 可以在酸性和贫瘠土地里种植, 而不必占用粮食生产土地。木薯加工性能好, 易粉碎, 蒸煮时间短, 糊化温度低, 因而能耗较低, 已被世界公认为是一种很有发展潜力的燃料乙醇原料资源。