



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新编酒精工艺学

第二版

贾树彪 李盛贤 吴国峰 编著
岳国君 审定



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新编酒精工艺学

第二版

贾树彪 李盛贤 吴国峰 编著
岳国君 审定



化学工业出版社

·北京·

本书综合收集整理美国、巴西等发酵酒精起步较早的国家近 15 年来大型酒精生产企业的主要设备、工艺技术思想和经验,资料内容翔实可靠,全面反映了酒精生产的最新动态和发展方向。

具体内容包括:世界发酵酒精生产概况,发酵酒精的主要原料、辅助原料和设备,大型酒精发酵罐和相关设备,酒精的蒸馏理论及工艺,食用酒精和燃料乙醇工艺的具体差异,著名蒸馏酒生产工艺,中外酒精国家标准及检测方法,副产品的综合利用,附录部分给出了相关技术参数和酒精工业关键词中英文对照。强调 95% 的中国蒸馏酒来源于食用酒精,这是中国蒸馏酒的极大进步并有效地保障了饮用者的健康。

本书可供生物工程、生物技术、食品科学与工程等专业师生使用,也可供酒精和蒸馏酒生产和研究开发的专业人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

新编酒精工艺学/贾树彪,李盛贤,吴国峰编著. —2 版.
北京:化学工业出版社,2009.8
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-122-06014-3

I. 新… II. ①贾…②李…③吴… III. 乙醇-生产工艺-
高等学校-教材 IV. TQ223.12 TS262.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 105869 号

责任编辑:赵玉清
责任校对:吴静

文字编辑:张春娥
装帧设计:韩飞

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:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18¼ 彩插 1 字数 472 千字 2009 年 8 月北京第 2 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: 32.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

《新编酒精工艺学》第一版于2004年7月出版发行后，受到读者的欢迎。很多相关专业的高校将其选做教材，一些生产酒精和蒸馏酒的企业把它作为重要参考书使用。另外，也有读者提出了有益的建议。至2007年5月该书已印刷3次。

作为21世纪的高新技术之一，生物技术及其应用在近几年又有了许多新的发展。结合该书使用过程中反馈的意见和建议，我们对第一版教材内容进行了修订再版。新版保留了第一版教材的主要内容以及基本结构，删改了第一版中相对陈旧的内容，同时更新补充了新的知识与技术，使其更符合生产实际的需要，同时也可以指导实际向更加科学的方向发展。

燃料乙醇仍是该书关注的重点。我国对石油能源的依赖度已超过50%。但是能源增长的幅度跟不上经济发展的速度。玉米燃料乙醇可起到一定的缓解作用，并且可以减轻环境污染，但它与人畜争粮，所以现在大力提倡非粮燃料乙醇。在非粮原料中，木薯、红薯、甜高粱都是过渡性的替代原料，纤维素原料应是最终的选择。蒸馏酒的工艺也是编者非常关注的。国内95%的蒸馏酒来源于食用酒精，这是我国蒸馏酒的极大进步，并有效地保障了饮用者的健康。

黑龙江大学的吴国峰老师承担了本次修订中的绝大部分工作，中粮生化能源事业部的陈世忠和中粮生化能源（肇东）有限公司的姜开荣提供了宝贵资料，化学工业出版社和黑龙江大学生命科学学院给予了大力支持，在此一并表示感谢。

第二版教材没有改变旧版的主体框架结构，但内容更加精炼，会使教学效率更高。我们的希望依然是，该书的读者能从中得到一些帮助。

由于编者水平有限，错漏之处一定存在，恳请读者不吝赐教。

贾树彪
2009年6月

序 一

我国工业化生产酒精始于1900年俄国人在哈尔滨建的酒精厂，至1949年全国酒精生产尚不足1万吨，1950年后逐渐建立起来的专业酒精厂的年生产规模很长时期也只处在千吨级。但近20年来我国酒精生产能力和质量水平有了显著提高，年产5万吨、20万吨、30万吨、50万吨大型酒精企业相继投产。这说明我国综合国力大幅度提高，才能形成这样一个酒精企业生产、工程设计、科学研究、人才培养、设备制造、综合利用、环境保护、标准制定、检验检测、成品运输、产品销售等一个完整的工业体系。

黑龙江省由于酒精工业起步早，在近百年酒精工业的发展过程中形成了我国酒精产业的基础，年生产酒精能力达24万吨的华润酒精有限公司的出现和具有百年历史年产5万吨优质酒精的哈尔滨酿酒总厂的发展，带动了我国酒精企业的整体发展。

黑龙江大学贾树彪等几位教师以其多年在发酵工程方面教学及科研的经验积累，与酒精企业专家密切合作，共同编写了《新编酒精工艺学》，在此我深表祝贺。酒精产业的快速发展，急需一部既有理论深度又能指导生产实践的参考书，《新编酒精工艺学》较全面地反映了国内外大型酒精生产设备、生产工艺、酒精标准、检测分析等方面的内容。

我国食用酒精产业在质量和数量上已能满足蒸馏酒、医用及化工等方面的需求，但将来需求量最大的燃料乙醇，其生产才是刚刚开始。能源是人类社会发展之本。化石燃料是太阳能以化学能的形式储存于矿物中经几百万年的演变而成，但在短短的近200多年的大规模开采和应用中，化石燃料储量日益减少并对地球环境造成严重的污染与威胁。据有关专家预测：现在全球已探明的一次能源石油储量在今后50年内将消耗殆尽。发酵燃料乙醇作为可再生能源在巴西、美国探索30多年的实践充分证明，在我国大规模开发时机已经成熟。我国政府已于2001年将开发燃料乙醇列入政府长远规划，确立了燃料乙醇将在车用燃料中占10%的战略地位。达到这一目标我国的酒精需求量将是现在酒精生产能力的3~4倍，这预示我国酒精特别是燃料酒精产业将进入一个快速发展时期。我们相信《新编酒精工艺学》的出版将有助于推动我国酒精产业的创新发展。

耿兆林

序 二

古老的酒精工业近年来由于拥有可再生的绿色能源的桂冠而备受青睐。在矿物能源日益枯竭和世界性能源危机的刺激下，发酵酒精在能源领域找到了自己的位置，大规模的市场需求给酒精工业提供了空前的发展机会。在酒精产量迅猛增长的同时，经典传统的酒精生产技术也以空前的速度向现代化迈进。生物工程、节能技术和电脑等高新技术在酒精工业上的应用，已使酒精工业的面貌发生了根本变化。现在，无论是产品质量、生产工艺、环境保护，还是自控水平和各项消耗，都有了重大的进步，使得原来生存发展空间狭小的酒精工业摇身一变，成了各国政府极为关注的蓬勃发展的产业。

贾树彪、岳国君等将国内外高新技术和发展动态收集、分析、整理、汇编成册无疑是一件有利于行业技术进步的大好事。

笔者作为一名已经在酒精行业服务半个世纪的老兵，承蒙该书作者的信赖，有幸优先见到书稿。作为大专院校的教材，该书的内容并不偏重于基础理论，而是在概要的基本理论阐述后，用深入浅出的语言对酒精生产的原理进行通俗易懂的说明。为了理论联系实际，本书着重对国内外酒精行业的技术进步动态作了比较深入地分析和评论，尤其可贵的是对一些国内外工厂的实例（如特大型厂华润酒精有限公司）会给读者提供具体范例。

鉴于学专业课的学生肯定已经学过生物化学、化工原理等课程，所以本书对这些基础理论做适当的简化是可以的。由于科技进步日新月异，如果不掌握行业的发展动态，可能学生一毕业知识就已老化。因此，本书中用发展的眼光增加科技进步动态篇幅的做法也应予以肯定。

一些最新参考文献的引用，如美国的奥特奇的酒精技术教本和俄罗斯 2002 年出版的酒精工艺学，使本书的某些内容更具新意。其中特别值得一提的是：十多年来曾无数次被我国学者反复引用的粗酒精中杂质的精馏系数，都无一例外地引用克里莫夫斯基酒精工艺学的一共只有 9 种杂质的数据，而本书引用的是 23 种杂质的曲线图，应该说这是一个重大的进步。

由于书中涉及的浓醪发酵、液化喷射器、差压蒸馏、DDGS、分子筛脱水等新技术以及燃料乙醇生产等都代表了酒精行业的发展方向，所以本书对发展中的燃料酒精企业和科研单位也有参考价值。

一切事物都有两面性，本书也不例外。对本书的不足之处笔者曾提过改进建议，但却无法使本书完美无缺，相信本书的质量在再版时能够锦上添花。

第一版前言

发酵法生产酒精，是当代世界生物技术产品中数量最大、对人类益处最大的产品。除了满足人类对蒸馏酒和化工产品等需要，在 21 世纪它还将是人类可再生能源的主要组成部分。据有关专家预测，在 21 世纪未来的一百年中生物质能源约占总能源组成的 20%。如果我们国家像巴西、美国那样，经过 20 年的努力解决酒精占中国 8%~10% 的能源比例，其意义是非常重大的，这也是我们努力编好这本书的一个动力。

我国已成为世界酒精生产大国，酒精已成为世界各国政府首先考虑的可再生能源，因为巴西、美国近 30 多年的成功实践，给我国充分利用燃料乙醇以解决 1/10 的汽油、柴油补充增强了信心，这是关系国家能源安全的战略选择。我国大型燃料乙醇试验生产企业吉林燃料乙醇有限责任公司、华润酒精有限公司、河南天冠集团公司、山东九九集团已全面完成燃料酒精生产初试准备，我们相信 2008 年北京奥运会前后将会极大推动我国燃料乙醇的进一步发展。

本书内容共分 12 章。第 1 章介绍世界发酵酒精生产概况，提出 21 世纪发酵酒精这一可再生环保型能源的主要应用方向。第 2 章介绍用于发酵酒精主要原料的粉碎设备、工艺及相关发酵酒精生产中所需的辅助原料。第 3 章重点讲述淀粉质原料液化糖化过程中所采用的目前最先进的液化喷射设备、技术及工艺。第 4 章酒精酵母扩培工艺，以较大篇幅介绍活性干酵母及固定化酵母的应用技术。第 5 章发酵罐和相关设备，是发酵生产的核心，分析了国内外大型酒精连续发酵系统的设备、工艺。第 6 章阐述糖化醪发酵动力学和浓醪连续发酵工艺以及如何实现连续发酵过程的优化控制。第 7 章系统介绍目前国内外实际运行的大型主流蒸馏系统，详细论述蒸馏系统中各蒸馏塔的主要功能，对近 20 个蒸馏系统进行了分析。第 8 章介绍中国和世界其他主要酒精生产国酒精国家标准及标准检测方法。第 9 章全面介绍已发展为自成体系的燃料乙醇生产中发酵、蒸馏、分子筛脱水的先进设备和工艺。第 10 章介绍世界主要著名蒸馏酒和中国白酒的生产工艺。第 11 章介绍发酵酒精生产副产品的综合利用，着重于发酵酒精生产与饲料结合方面。第 12 章介绍糖质原料生产酒精新工艺。

本书综合收集整理国内外近 20 年大型酒精企业生产工艺的主要设备、技术思想和经验，资料内容翔实可靠，可较全面地反映酒精生产最新动态和发展方向。

本书作者有在高校从事发酵工程特别是有关酒精生产工艺及检测教学科研多年的教师，有在大型酒精生产企业从事生产、研究并多次考察美国、巴西、法国等酒精主产国的专家，还有从事生物工程教学和科研的教授等。

本书编写分工：贾树彪（第 1 章、第 7 章、第 10 章）；李盛贤（第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章、关键词中西文对照）；吴国峰（第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 12 章、附表、关键词中西文对照）；赵辉（第 10 章、第 11 章、关键词中西文对照）；葛菁萍（第 4 章）；孙东方（第 2 章）；王常楠（第 11 章）；陈世忠（第 7 章）。其中，贾树彪和岳国君负责全书内容的策划、组稿，李盛贤审阅各章的初成稿，吴国峰完成全书微机整体编排、全书文字定稿、书稿体例统一规范，付出了大量时间和精力。

本书编写得到中国酿酒工业协会理事长耿兆林的特别支持以及中国酒精行业资深研究员沈之申的大力帮助，沈之申先生以他 50 余年的酒精生产实践中所积累的宝贵经验指导本书编写，使得本书理论与生产实际联系更加紧密；华润酒精有限公司董事长岳国君提供本书中

相关企业的最新资料；化学工业出版社对本书的出版给予支持，并提出修改意见和建议。生命科学学院和校教材建设指导委员会对编写本书的申请和立项给予帮助和支持，平文祥教授、李海英教授给予大力支持，孙俊岭、顾乃达、杨勇、张世骏、刘玉华、宋刚、郭玉恒、王思佳、曹磊、张洪海、杨宇等同志也给予很多的帮助，在此一并表示真诚的感谢。

希望本书能满足生物工程、生物技术、食品科学与工程等专业师生的需要，同时能对酒精和蒸馏酒生产和研究开发的专业人员有所裨益。

本书编写出版过程中对书稿作了多次修改，限于时间和编者水平，错漏在所难免，恳请读者专家批评指正。

编者

于黑龙江大学

2004年5月

目 录

1 绪论	1	3.4.1 液化喷射器的结构.....	23
1.1 酒精的主要性质.....	1	3.4.2 液化喷射器工作原理.....	23
1.2 酒精的主要用途.....	1	3.4.3 液化喷射器工作过程.....	24
1.2.1 燃料酒精.....	1	3.4.4 液化喷射器的优点.....	24
1.2.2 调制蒸馏酒.....	2	3.4.5 液化喷射器安装和使用要点.....	24
1.2.3 医药、化工等方面的用途.....	2	3.5 淀粉糖化原料处理工艺.....	25
1.2.4 酒精工业的副产品.....	3	3.6 美国4家酒精企业糖化工艺分析.....	26
1.3 世界酒精生产概况.....	3	3.7 中粮生化能源(肇东)有限公司糖化	
1.4 我国酒精行业的基本状况.....	3	工艺.....	27
1.5 酒精国家标准.....	6	3.7.1 玉米粉供应工序.....	27
2 原料、水和辅助原料	7	3.7.2 液化工序.....	28
2.1 酒精生产原料.....	7	3.7.3 糖化工序.....	29
2.2 淀粉质原料.....	7	3.8 酒糟清液回用.....	30
2.2.1 玉米.....	7	3.8.1 酒糟清液全部回用实例.....	30
2.2.2 水稻.....	9	3.8.2 工艺过程评述.....	31
2.2.3 木薯.....	9	3.9 酶制剂工业发展简介.....	32
2.3 原料的除杂.....	9	4 酒精酵母扩培工艺	33
2.4 辅助原料.....	10	4.1 酒精酵母简介.....	33
2.4.1 酶制剂.....	10	4.1.1 细胞形态.....	33
2.4.2 活性干酵母.....	10	4.1.2 细胞大小.....	33
2.4.3 尿素.....	10	4.1.3 细胞结构.....	34
2.4.4 纯碱、氢氧化钠和漂白粉.....	10	4.1.4 酵母菌的繁殖方式.....	37
2.4.5 硫酸.....	11	4.2 酵母菌的生长条件.....	39
2.5 酒精生产用水.....	11	4.2.1 温度和pH.....	39
2.5.1 软化水概念和制备原理.....	12	4.2.2 培养基组成.....	39
2.5.2 去离子水的概念和制备.....	12	4.2.3 酵母生长的营养来源.....	41
2.5.3 节约用水.....	14	4.2.4 影响酵母生长的其他因素.....	42
3 淀粉质原料糖化工艺	16	4.2.5 生物合成和发酵产品的糖耗.....	42
3.1 淀粉分子的结构、理化性质.....	16	4.3 活性干酵母.....	43
3.1.1 淀粉的分子结构.....	16	4.3.1 活性干酵母的质量分析.....	44
3.1.2 淀粉颗粒的结构和理化性质.....	16	4.4 活性干酵母的使用方法.....	47
3.1.3 淀粉的膨胀和溶解.....	17	4.4.1 耐高温活性干酵母(TH-AADY)	
3.2 淀粉糖化原理.....	17	在酒精生产中的使用方法.....	47
3.2.1 淀粉的液化.....	18	4.4.2 活性干酵母合理使用要点分析.....	48
3.2.2 淀粉的糖化.....	19	4.5 固定化酵母技术和酵母扩培工艺	
3.3 酶制剂.....	20	实例.....	49
3.3.1 耐高温 α -淀粉酶.....	20	5 发酵罐和相关设备	52
3.3.2 糖化酶.....	21	5.1 发酵罐的发展.....	52
3.3.3 酸性蛋白酶.....	22	5.1.1 发酵罐制作材料、容积和形状.....	52
3.4 液化喷射设备.....	23	5.1.2 我国目前运行中的酒精发酵罐.....	52

5.2	酒精发酵罐的径高比分析	53	6.9.2	常见的细菌污染	87
5.3	酒精大型连续发酵罐组的优点	53	6.9.3	污染细菌的分离与鉴别	93
5.4	美国大型斜底发酵罐的基本结构	54	6.9.4	染菌的处理	95
5.5	发酵罐间的连接	54	7	蒸馏和精馏的理论及工艺	96
5.5.1	水平连接	54	7.1	发酵成熟醪的化学组成	96
5.5.2	势能梯度连接	55	7.1.1	不挥发性杂质	96
5.6	新型大容积酒精发酵系统的设计	57	7.1.2	挥发性杂质	96
5.7	换热器	57	7.2	酒精蒸馏原理	97
6	糖化醪发酵	63	7.2.1	酒精的挥发系数	97
6.1	酒精发酵机理	63	7.2.2	乙醇-水系统的恒沸混合物	98
6.1.1	酒精发酵的基本情况	63	7.2.3	负压蒸馏	98
6.1.2	酒精发酵动力学	63	7.2.4	蒸馏塔工作原理	99
6.2	酒精发酵的酵母菌酶系	64	7.3	酒精精馏原理	99
6.3	酵母菌酒精发酵的生物化学	65	7.3.1	挥发性杂质的分类	99
6.3.1	酵母酒精发酵的4个阶段	66	7.3.2	杂质的挥发系数和精馏系数	100
6.3.2	酵母酒精发酵全过程的12步 反应	66	7.3.3	杂醇油的分离理论	102
6.4	酒精发酵过程中的主要副产物	70	7.3.4	甲醇的分离理论	106
6.4.1	甘油的生成	70	7.4	蒸馏工艺	107
6.4.2	琥珀酸的生成	71	7.4.1	蒸馏塔	107
6.4.3	乳酸、乙酸、丁酸的生成	71	7.4.2	蒸馏系统各塔功能分析	114
6.4.4	杂醇油性质及生成机理	72	7.4.3	多塔差压蒸馏	117
6.5	发酵工艺	74	7.4.4	国内外蒸馏系统分析	118
6.5.1	间歇发酵	74	7.4.5	蒸馏工艺分析	137
6.5.2	连续发酵	75	7.4.6	中粮生化能源(肇东)有限公司 蒸馏系统运行操作基本程序	138
6.5.3	酒精发酵过程中的控制与管理	75	7.4.7	醪塔排放高温废醪闪蒸节能与 回收酒精技术	144
6.6	酒精浓醪发酵的计算与分析	76	7.4.8	酒精分离提纯技术的进展	145
6.6.1	酒精浓醪发酵的含义	77	8	酒精国家标准及检测方法	147
6.6.2	浓醪发酵玉米粉浓度的计算	77	8.1	我国酒精质量标准发展简介	147
6.6.3	实现浓醪高酒精浓度发酵的基本 措施	78	8.2	食用酒精国家标准及比较	148
6.6.4	整个工艺过程的计算与分析	82	8.3	变性燃料乙醇国家标准及比较	148
6.7	发酵强度的计算与分析	82	8.4	工业酒精国家标准 GB/T 394.1—2008	150
6.7.1	发酵强度的含义	82	8.5	化学试剂乙醇(无水乙醇)国家 标准 GB/T 678—2002	151
6.7.2	两个发酵系统发酵强度的估算	82	8.6	化学试剂乙醇(95%)国家标准 GB/T 679—2002	151
6.7.3	比较与分析	83	8.7	欧盟以及巴西、墨西哥等国家中性 酒精标准比较	152
6.7.4	蒸馏速度与发酵周期	83	8.8	俄罗斯联邦小麦酒精国家标准 ГОСТ P 51652—2000	153
6.7.5	发酵罐容积比较	83	8.9	酒精国家标准中几个重要检测指标的 意义及标准检测要点	154
6.7.6	罐容能力再比较	83	8.9.1	色度	154
6.7.7	酒精发酵产生热量的计算	84	8.9.2	硫酸试验	155
6.7.8	中粮生化能源(肇东)有限公司 发酵工序主要操作规程	84			
6.8	淀粉质原料理论酒精产率和实际 酒精产率	86			
6.9	细菌污染对酒精生产的影响及防治	87			
6.9.1	主要的污染来源	87			

8.9.3	氧化时间	156	10.5.1	调香蒸馏酒	208
8.9.4	乙醇浓度(酒精度)	157	10.5.2	金酒的分类	209
8.9.5	杂醇油(正丙醇、异戊醇、 异丁醇)、甲醇、醛	159	10.5.3	金酒的传统工艺分析	210
8.9.6	气相色谱法测定乙醛、甲醇和 高级醇	161	10.6	白兰地	211
8.10	美国、加拿大氨基甲酸乙酯检测的 标准方法	163	10.6.1	白兰地的起源与发展	211
9	燃料乙醇的生产与应用	165	10.6.2	白兰地的传统工艺	211
9.1	概述	165	10.6.3	白兰地在中国的发展	214
9.1.1	发展燃料乙醇的意义	165	10.7	新型白酒	216
9.1.2	世界汽油醇的发展及使用状况	166	10.8	山西汾酒	218
9.2	生产燃料乙醇的发酵工艺	169	10.8.1	山西汾酒传统工艺特点	218
9.3	燃料乙醇的蒸馏工艺	172	10.8.2	山西汾酒大曲传统制备工艺 要点	218
9.4	燃料乙醇生产中的脱水技术	173	10.8.3	山西汾酒传统发酵工艺	219
9.4.1	分子筛脱水技术	173	10.8.4	工艺流程评述	219
9.4.2	玉米粉吸附脱水技术及应用	177	10.9	五粮液酒	223
9.4.3	渗透气化膜吸附分离技术	178	10.10	茅台酒	224
9.5	乙醇汽油	179	10.10.1	茅台酒传统工艺特点	224
9.6	乙醇柴油	180	10.10.2	茅台酒大曲的制备	224
9.7	燃料乙醇电池	184	10.10.3	茅台酒传统发酵工艺流程	225
9.8	推广使用乙醇汽油尚需解决的问题	184	10.10.4	茅台酒厂发展简史和历年产量 简表	228
9.9	燃料乙醇的发展及展望	187	10.11	白酒勾调	231
10	现代蒸馏酒	189	11	副产品的综合利用	234
10.1	现代蒸馏酒概述	189	11.1	玉米原料酒精糟液的综合利用	234
10.2	俄罗斯伏特加工艺	191	11.1.1	玉米原料酒精糟液的组成	234
10.2.1	俄罗斯伏特加的起源及流行	191	11.1.2	玉米原料酒精糟液的利用	235
10.2.2	伏特加的工艺和风格	192	11.1.3	玉米原料酒精糟液综合利用 工艺	237
10.2.3	伏特加的品种分类	195	11.2	二氧化碳的回收与利用	248
10.2.4	俄罗斯伏特加国家品评标准	197	11.2.1	二氧化碳的回收	249
10.2.5	伏特加在世界上的流行	198	11.2.2	二氧化碳产业化应用	251
10.2.6	几个问题的思考	198	11.3	玉米提胚制油	256
10.3	威士忌	199	11.3.1	玉米提胚的原理	256
10.3.1	威士忌的分类	199	11.3.2	玉米提胚技术	257
10.3.2	威士忌酿制设备和工艺要点	201	11.3.3	玉米胚制油	257
10.3.3	黑麦威士忌和乳酸酸化威 士忌	202	附录		260
10.3.4	威士忌发展简史	202	1	酒精体积分数、质量分数、密度对 照表	260
10.4	老姆酒	203	2	玉米淀粉乳波美度与浓度、相对密度 的关系	267
10.4.1	原料及其处理	204	3	酒精计示值换算成20℃时的乙醇浓度 (酒精度)	270
10.4.2	酵母菌	205	4	粗酒精中挥发性杂质的精馏系数简介	271
10.4.3	发酵	205	5	酒精工业关键词中英文对照	273
10.4.4	老姆酒的蒸馏	206	参考文献		279
10.4.5	后熟	207			
10.4.6	勾兑	208			
10.5	金酒	208			

1 绪 论

1.1 酒精的主要性质

酒精的化学名称是乙醇，分子式为 C_2H_5OH ；相对分子质量 46.07。

分析纯级的无水乙醇是无色透明、易挥发、具有特殊芳香和刺激性气味的易燃液体。相对密度 0.7893 (d_{20}^{20})、沸点 78.3℃、凝固点 -117.3℃、闪点 12℃，乙醇蒸气与空气可形成爆炸性混合物，爆炸极限为 3.3%~19% (体积分数)。

1.2 酒精的主要用途

酒精的用途按需求量多少可分为三方面：作为可再生能源的燃料酒精，调制酒精饮料用的食用酒精，以及化工、医药用酒精。

1.2.1 燃料酒精

燃料酒精是一种新能源，其优势在于发酵酒精属于可再生能源。目前世界上发酵法生产酒精的主要原料有：谷物作物中的玉米、小麦、陈化粮水稻等；薯类作物中的木薯等；以及糖料作物中的甘蔗、甜高粱等。随着粮食作物产量的提高，对以玉米为代表的新能源植物的利用已经进入良性循环状态，即用玉米先发酵制备酒精作为燃料；其副产品（酒精酒糟）再加工成高蛋白饲料（DDGS），作为喂养猪、牛、马、鸡等的优质饲料。因此其经济效益与社会效益将明显提高。

我国现在是石油净进口国，解决好燃料酒精问题是重要国策之一。目前国家已在吉林燃料乙醇有限责任公司、河南天冠企业集团公司、中粮生化能源（肇东）有限公司进行试点优先扶持发展，这对全国酒精产业的发展是一个极大的推动。据统计，我国每年大约需要燃料酒精（燃料乙醇试点初期）400万吨，食用酒精（调制酒精性饮料）200万吨，化工、医药用酒精100万吨，而实际我国酒精生产的总装备能力只达到上述需求量的45%。可见发展可再生能源——燃料酒精的潜力相当大。再经过5~10年，如果酒精总产量达到1200万吨以上，则可代替大约20%的汽油，届时我国的绿色能源、绿色环保、酒精产业才可以说是有一个真正的开始，这对解决国家能源安全、顺畅更新陈化粮和建设优质饲料工程将起到重要作用，但对农业来说是一个极大的压力，因为这至少需要0.36亿吨玉米才可能实现。

乙醇不仅是优良的燃料，它还是优良的燃油品质改善剂。其优良特性表现为：乙醇是燃油的增氧剂，使汽油增加内氧，燃烧充分，达到节能和环保的目的；乙醇有极好的抗爆性能，调和辛烷值在120以上，可有效提高汽油的抗爆指数（辛烷值）；乙醇还可以经济有效地降低芳烃、烯烃含量，即降低炼油厂的改造费用，达到新汽油标准；另外，乙醇还是源于太阳能的一种生物质转化能源，是可再生资源。

巴西、美国等国推行燃料乙醇的经验证明，燃料乙醇能给国家带来巨大的综合效益，如推动农业发展、维持粮价相对稳定、减少对一次能源的依赖、完善能源安全体系、节约外汇、增加就业、增加财政收入、改善燃油品质及大气环境质量等。继巴西、美国推广燃料乙

醇成功之后,农业资源丰富的国家如英国、荷兰、德国、奥地利、泰国、南非等国政府均已制定规划,积极发展燃料乙醇工业。但由于这些国家的国土面积相对较小,生产燃料乙醇的能力有限。

1.2.2 调制蒸馏酒

我国著名白酒专家周恒刚先生(1918.9.28—2004.6.16)在半个多世纪的中国白酒科研与实践中,对中国白酒、世界流行很广的著名蒸馏酒及酒精生产均有深刻见解。他在《酒精和新型白酒》中指出:以优质酒精为基础,以固态发酵白酒及其调香酒进行调配;或以酒精串香,使固态酒醅中香味成分在加热蒸馏过程中(气相中)充分混合溶解,或有效地提取酒糟中残留的香味成分的方法生产新型白酒。

如酒精质量差,含杂醇油及其他杂质多,勾兑时会影响白酒质量,甚至饮后上头。1949年前哈尔滨市的白酒厂就向白酒中勾兑酒精,但没有一定规律,旺季多用酒精,淡季不用或少用。1949年后,山东省大力推广“三合一”白酒,即白酒一份、酒精一份、水一份,并延续几年。

在新型白酒生产的初期阶段,由于经验不足,确也存在一些问题。而从20世纪70年代开始,新型白酒迅速发展,同时也促进了酒精工业的发展。例如,1978年全国发酵酒精年产量40.6万吨,1995年增加到227.5万吨,这与新型白酒的发展是分不开的。据估计,现在销售的酒精总量中有90%~95%用于新型白酒,说明酒精厂与白酒厂已成为“相濡以沫”、“休戚与共”的关系了。

多年来白酒厂依靠酒精渡过难关和获得效益,合理地利用优质酒精是提高白酒质量的一种有效手段,而不是降低质量,更不是代用和偷工减料。所以应提倡酒精勾兑,宣传酒精勾兑的合理性。酒精是酒精饮料酒的母体,然而饮料酒又与酒精不同,饮料酒要含有芳香成分及其独特风格,使饮者有爽快感,这也是它成为嗜好品的魅力所在,同时也说明了固液勾兑、优势互补的合理性。

白酒质量讲究色、香、味、体,但最重要的是“净”。色、香、味是技术问题,也是管理问题。净主要是管理问题。就难度而言,解决净的难度大于提高色、香、味的难度。因为从原料、工艺到包装,每个细微环节管理不到位都会出现质量事故。充分利用酒精提高白酒质量主要体现在以下两个方面。

① 降低邪杂味。白酒固态发酵需要大量稻壳等填充料,由于开放式生产,长期发酵易侵入大量杂菌,使酒中带有不同程度的邪杂味,干扰白酒的香味及风格。酒的香味虽好,但如有杂味混淆,亦会使酒的质量下降。适量调配优质酒精,借以冲淡杂质,可使酒味纯正、香味突出。所以白酒生产合理利用酒精,不是降低质量而是提高质量,尤其是对中低档白酒效果尤为显著。

② 降低浑浊度。勾兑白酒酒体纯净,既卫生又安全,并且透明度高,冷冻、加冰、加水均不浑浊。

1.2.3 医药、化工等方面的用途

① 酒精燃烧时呈淡蓝色的无烟火焰,并释放大量热量(29726kJ/kg)。利用这一点,大专院校及科研院所等的实验室以及餐饮业常用酒精灯、酒精喷灯、固体酒精块进行加热。酒精燃烧后对环境无不良影响,属于绿色燃料。

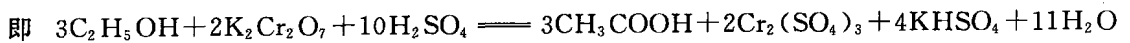
② 酒精可与水以任意比例互溶,并释放热量。互溶后由于分子缔合,分子间形成氢键,使其体积呈收缩变化,收缩最大的互溶比例是 $\text{H}_2\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 52mL:48mL,充分混合后体积变为96.3mL。

用食用酒精调制蒸馏酒（如伏特加、新型白酒等），在预调制过程中，作为贮存酒基可参考这个比例。

③ 高浓度酒精吸水性很强，是供细胞生物学实验和研究使用的优良固定剂和脱水剂；70%（体积分数）的酒精是对微生物菌体蛋白作用最强的凝固变性剂，是常用的理想的消毒、防腐、灭菌试剂。与碘制成碘酊，是外伤、手术常用的抑制有害微生物繁殖的消毒剂。

④ 酒精是生化制药中提纯酶制剂、DNA 和 RNA 的有效沉淀剂。

⑤ 酒精在重铬酸钾（ $K_2Cr_2O_7$ ）及浓硫酸（ H_2SO_4 ）作用下，氧化生成乙酸（ CH_3COOH ），反应式如下：



酒精企业化验室常根据这一原理检测蒸馏塔排出的废糟液中残存的酒精含量。有残留反应呈绿色，残留越多颜色越深。检测时用比色法较快速、准确。

⑥ 酒精是优良的防冻、降温介质，乙醇与水质量比为 105 : 100 时，混合液温度降至 $-30^\circ C$ 不结冰；以此低温给发酵罐夹层降温效果特别理想，如微型啤酒发酵中的降温即用此法。

⑦ 酒精在化学工业上是生产乙醛、乙酸、乙醚、聚乙烯、乙二醇、合成橡胶、氯仿、染料、油漆、树脂及农药等的重要原料之一。

⑧ 食用酒精是大规模发酵生产优质食用乙酸的最好原料。

1.2.4 酒精工业的副产品

大型酒精企业除主要生产酒精外，还有如下副产物：优质颗粒饲料 DDGS（含可溶物的干酒精糟，distiller dried grains with soluble）；优质食用级 CO_2 ， CO_2 是发酵酒精相伴生成的数量最大的副产物，高纯度食用级 CO_2 除用于碳酸饮料外，还在保护焊接、药物萃取、制冷、温室生产等方面有广泛用途；玉米油，玉米胚芽油是优质保健食品；以玉米、小麦等为原料的大型酒精生产企业，还可生产玉米淀粉、葡萄糖浆、果葡糖浆、谷朊粉、玉米蛋白等；杂醇油是某些食用香料的主要原料。

1.3 世界酒精生产概况

美国、巴西、中国、俄罗斯是世界酒精生产大国。2001 年中国酒精总产量已居世界第三位。目前全球酒精年产量约 5500 万吨（ $6.9 \times 10^{10} L$ ），其中美国和巴西的酒精产量占全球总产量的 66%。据估计，到 2010 年全球总产量将增至 6100 万吨（ $7.7 \times 10^{10} L$ ），增长部分绝大部分来自燃料酒精。

1.4 我国酒精行业的基本状况

中国的酒精工业始于 1900 年黑龙江省哈尔滨市，虽经 1900~1949 年约 50 年的演变和设备技术的发展，但全国酒精总产量还不到 1 万吨。而自 1949~2000 年，我国的酒精产量增长到 300 万吨，跃居世界第三位。也就是自 1949 年后，历经 60 年的发展，我国初步形成了企业生产、工程设计、科学研究、人才培养、设备制造、综合利用、环境保护、标准制定、检验检测、成品运输、产品销售等完整的一个酒精工业体系。中国酒精产业有专业厂

200家。现有发酵法酒精生产能力已达500万吨,其中年产5万吨以上的企业有10家[最大的中粮生化能源(肇东)有限公司年产40万吨]、3万吨以上的企业有20家、万吨级的企业有70家。

自1989年8月安徽特级酒精厂从法国Speichim公司引进六塔差压蒸馏全套设备和技术并投产后,我国酒精质量上了一个新台阶。1996年中粮生化能源(肇东)有限公司年产20万吨优质食用酒精生产线的投产,标志着我国酒精行业初步完成了引进和消化现代国外大型酒精生产技术。因中粮生化能源(肇东)有限公司的全部技术思想、设备制造以及工艺运行主要是由国内专业人才和设备制造企业独立完成的。

我国政府在2000年决定将燃料酒精的开发生产、使用列入第十个五年规划。这是在能源开发与利用上进一步贯彻可持续发展,促进农业产业结构调整 and 加强环境保护的战略规划,必将产生巨大的社会效益和经济效益,极大地推动中国酒精工业的发展。我国酒精消费数量上的排序将变为燃料酒精、调制蒸馏酒用食用酒精和化工医药用酒精,总产量也将有大幅度提高,甚至成倍增长(约750万吨)。燃料酒精的发展必将促使中国酒精行业的技术水平、装备水平以及环保和综合利用水平更接近国际先进水平,而且酒精行业的科技人员在某些方面还有可能创造出超出国际先进水平的业绩。

2000年我国政府燃料酒精规划的实施,标志着我国酒精产业要上一个大台阶,2003年吉林(一期年产30万吨)大型燃料酒精企业投产,2007年成功改扩建为年产40万吨,说明我国酒精生产能力已接近世界先进水平。但有专家指出,目前中国玉米原料酒精生产企业需进一步提高的工艺环节尚有干法脱胚制油、双酶法糖化、浓醪连续发酵、多塔差压蒸馏、废热多效真空蒸发、清液回用、CIP清洗系统、冷却水循环使用、余馏水凝水利用以及热电联产等。2001年中国酿酒工业协会酒精分会创办专业刊物《酒精》,说明我国酒精产业又开始了一个科研与生产相结合的新阶段。

我国酒精生产的主要省(区)市有吉林省、黑龙江省、山东省、河南省、江苏省、广西壮族自治区及天津市等,表1-1列出了近年我国酒精主产省市和自治区的年产量。目前我国生产酒精主要用于调制蒸馏酒(表1-2)、燃料乙醇以及医药化工和化学试剂等。

2007年我国消耗汽油5100万吨、柴油12430万吨,生产燃料乙醇133.2万吨。若有20%的柴油是含有15%乙醇的柴油,每年将消耗373万吨乙醇,可转化粮食约1200万吨。如全部柴油均含15%乙醇,则每年消耗乙醇将达到1865万吨,需要粮食6000万吨,同时还有约2000万吨DDGS饲料的产出量。可见发展燃料乙醇产业对农业、酒精酿造业、酒精设备装备业、副产品加工业,特别是解决国家环保能源具有深远意义。

在发展酒精企业规模问题上,积近十几年我国大型酒精企业运行实践,业内人士认为燃料酒精企业规模控制在年产10万~20万吨比较适宜,考虑到原料供应半径、产品销售、副产品利用等综合因素,还要因地制宜考虑淀粉糖等相关产品,以适应市场变化。

如果现代大型酒精企业再与饲料产业充分结合,实现全部饲料粮食先发酵成酒精,其酒糟再加工成饲料,这样同样数量的粮食,做完酒精后的总饲料回报率要比全部饲料粮食直接作饲料高出很多。假设我国目前饲料用粮1亿吨,按照上述办法估计可得到3000万吨酒精和近3000万吨干高蛋白饲料(DDGS)。这3000万吨酒精在一定意义上是从同样数量的自然资源中多增加的收获,代替并节约了可观的一次能源——石油,同时提供了更多的劳动就业机会。

我国酒精工业面对加入WTO后需要解决的具体问题还很多,如产业结构和产品结构的调整、酒精新工艺思想和设备的大型化以及科技化的更新换代、酒精副产品的综合利用和“三废”治理、清洁生产工艺的落实、酒精行业营销与市场经济的融合等。中国酒精工业质

表 1-1 近年我国酒精主产省市和自治区酒精产量简表 单位:万吨、万千升

省 份	年 份							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
吉林省	13.58	14.12	13.00	20.36	26.73	61.48	93.76	124.99
安徽省	9.51	9.60	8.70	8.60	8.42	25.53	71.38	56.47
江苏省	17.27	19.98	22.00	22.82	19.82	41.65	61.40	70.29
山东省	31.94	32.62	45.70	66.31	41.46	47.00	56.60	48.62
河南省	17.14	15.89	14.00	14.08	24.21	43.38	50.78	64.55
广西壮族自治区	21.46	14.83	16.00	17.64	16.47	27.00	41.81	55.61
黑龙江省	29.81	29.82	29.80	32.37	26.22	34.91	40.76	50.87
四川省	12.90	14.03	13.50	13.17	9.08	16.93	27.23	21.90
天津市	12.18	12.84	14.50	18.62	15.38	21.97	24.37	28.08
内蒙古	—	—	—	—	—	6.05	23.50	46.74
云南省	14.51	11.12	13.00	14.74	14.10	14.92	14.34	20.00
广东省	5.94	7.45	5.87	6.30	6.47	9.33	12.67	15.32
河北省	4.86	4.62	4.36	4.33	5.09	6.36	10.04	11.02
山西省	—	—	—	—	—	3.36	5.97	6.78
辽宁省	2.26	1.79	1.29	2.95	2.15	1.39	2.97	4.54
湖北省	—	—	—	—	—	0.75	2.32	3.05
甘肃省	—	—	—	—	—	—	1.03	1.01
陕西省	—	—	—	—	—	1.10	1.01	1.05
海南省	1.54	2.26	1.28	0.47	1.62	0.70	0.69	0.55

注: 1. 2000年、2001年、2002年、2003年、2004年年产量单位为万吨; 2005年、2006年、2007年年产量单位为万千升^①。

2. —表示具体数据不详, 但产量非常低。

表 1-2 2000~2007年中国酒精产量与白酒产量相关表 单位:万吨、万千升

项 目	年 份							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
酒精产量	206	201	213	251	231	368	546	636
白酒产量	476	420	378	331	312	349	397	493

注: 1. 1998年以后国家对年产值500万元以下生产企业不再统计。

2. 2000年、2001年、2002年、2003年年产量单位为万吨; 2004年、2005年、2006年、2007年年产量单位为万千升。

量和价格体系与国际接轨, 将涉及我国大型酒精企业及相关院校、科研院所研发水平的提高与进步, 直接的目标就是食用酒精及燃料酒精成本的进一步降低以及产品质量的进一步提高。

全球的发酵酒精产业, 在生产规模和整体加工工艺方面已出现一场由生物工程技术指导下的跨越性进步, 如每吨原料的酒精产量的逐步提高, 每吨酒精能耗的大幅度降低; 过去认为的能量负平衡的情况, 现在生产燃料酒精的能耗已为正平衡1:3。这是由于发酵罐容积变大以及连续发酵的实现, 发酵成熟醪酒精浓度的大幅提高等多项设备、工艺、发酵分析进

① 1万千升=1万立方米。

步的结果。

1.5 酒精国家标准

目前中国酒精产品以食用酒精（GB 10343—2008）为主产品，此外还有一定数量的高纯度酒精、化学试剂用无水酒精、化学试剂用95%分析纯酒精和工业酒精等。中国发酵法生产酒精的原料主要有玉米、小麦、木薯、糖蜜等，陈化粮也有一定比例的使用。

中国酒精的快速发展是从20世纪90年代开始的近20年。2002年9月1日开始实施的食用酒精国家标准（GB 10343—2002）标志着我国酒精生产的质量水平已基本接近国际上发达国家的酒精标准（详见第8章）。

发酵法生产酒精的能力将成为一个国家经济实力的标志之一。因为作为可再生能源的酒精，在经历一个多世纪的发展中，始终与能源密切相关，特别是巴西从1975年就开始的以甘蔗、糖蜜为原料生产酒精的成功实践，提醒各国政府：10%以上的能源添加储备在自己的国土上。

一个国家，尤其是一次能源石油资源匮乏的国家如果能自主解决10%以上的能源添加，对发展本国经济、维持国家安定将起到极其重要的作用。由于垄断石油资源、争夺石油资源而造成的两次石油危机，两次伊拉克战争均与石油有直接关系。

现在可以说石油和用于乙醇发酵的谷物等原料均源于太阳能的储备。发酵法生产乙醇比石油更有优势在于发酵法效率高，其原料年年种、年年收，而不像开采石油那样投资巨大。根据当今农业、酒精生产能力、改造汽油发动机和柴油发动机的能力，相信不久的将来，一个良性循环的能源资源将更多地出现在世人面前。