

食品工业 节能减排和清洁生产

秦人伟 程言君 简玉平
主 编



ENERGY SAVING,
EMISSION REDUCTION
AND CLEANER PRODUCTION
IN FOOD INDUSTRY



中国轻工业出版社 | 全国百佳图书出版单位

食品工业节能减排和清洁生产

秦人伟 程言君 简玉平

主 编

图书在版编目 (CIP) 数据

食品工业节能减排和清洁生产/秦人伟, 程言君, 简玉平主编.
—北京: 中国轻工业出版社, 2018.7
ISBN 978-7-5184-1907-4

I. ①食… II. ①秦… ②程… ③简… III. ①食品工业—节能减排
②食品工业—无污染工艺 IV. ①TS2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 050940 号

责任编辑: 江 娟 车向前 责任终审: 滕炎福 整体设计: 锋尚设计
策划编辑: 江 娟 责任校对: 晋 洁 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2018 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 13.25

字 数: 230 千字

书 号: ISBN 978-7-5184-1907-4 定价: 65.00 元

邮购电话: 010-65241695

发行电话: 010-85119835 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请与我社邮购联系调换

171397K1X101ZBW

食品工业是以粮食和农副产品为主要原料的加工工业，由农副食品加工工业、食品制造业、酒与饮料制造业三大类的 56 个小类行业组成，生产几千种产品。从该工业年生产总值和利税、小类行业总数、生产企业总数和工作人员数量分析，它是我国最大的工业部门之一。

改革开放以来，食品工业经不断发展，已成为国家的主要支柱产业，对国民经济的发展起到重要的推动作用，并已成为具有潜力的增长点。未来，食品工业仍将以较高年平均增长速度发展，并且在我国消费中的比重还会大幅提升。

长期以来，食品工业的节能减排和清洁生产及其审核，以节水及减少污染物的排放为主，但尚不能完全反映该工业的发展规律。从国家发展改革委员会、工业和信息化部、环境保护部分别发布的《发酵（酒精、味精、柠檬酸）行业清洁生产评价指标体系（试行）》《轻工（啤酒、酒精、味精、柠檬酸、制糖、制盐）行业节能减排先进适用技术指南》《啤酒制造业、食用植物油工业、甘蔗制糖业、纯牛乳业、全脂奶粉业、白酒制造业、味精工业、淀粉（玉米）行业、葡萄酒制造业、酒精制造业清洁生产标准》，以及中国饮料工业协会制定的《饮料制造综合能耗限额》，并纵观食品工业 56 个行业的生产工艺，可以发现除谷物磨制、饲料等少数行业外，从总体上讲食品生产的主要能耗应来自蒸汽消耗。

食品工业发展迅速，但发展中存在的问题不容忽视，主要是该工业各行业平均规模小，大中型企业偏少，市场竞争结构分散，集约化进程缓慢，全国 1180 万家获得许可证的食品生产经营企业中，绝大部分在数十人以下，“小、弱、散”格局没有得到根本改变。大量中小微型企业技术和管理水平不高，产品质量得不到可靠保障，同时，原料加工程度

低，生产能耗高，综合利用程度低，一般性、资源性的传统产品多，高技术、高附加值的产品少，环境污染和废水排放不达标状况不容忽视。

本书面向从事食品工业生产的各类工作人员，介绍行业节能减排概况，提供节能减排和清洁生产的基本理论、工艺设备、工程技术、评估方法，以及能源原始实物量综合能耗与生产消耗能源综合能耗的衡算，加热蒸汽潜热与单元操作消耗热焓（包括二次蒸汽热焓）的衡算。同时，介绍近十年以来食品工业的节能减排和清洁生产的新工艺与新技术。

本书由秦人伟、程言君、简玉平、张露、杨侯剑、刘春红、王洁、王晓龙、王异静、薛洁、刁晓华、何旭丹、高明晓等 13 人编写。本书可供节能节水部门、食品生产企业、科研院校、环境工程公司、清洁生产中心的有关科技人员、研究人员以及工作人员参阅。

书中难免有不当之处，敬请读者给予指正。

编者
2017 年 12 月

目 录

绪 论	中国食品工业节能减排与清洁生产概况	001
	第一节 食品工业的行业管理	002
	第二节 食品工业节能减排的主要指标及潜力	003
	第三节 节能减排和清洁生产的管理和问题	004
第一章	食品工业生产的耗能点与污染源	007
	第一节 淀粉质与糖质生产发酵产品耗能点和污染源	008
	第二节 农副产品原料生产食品产品耗能点和污染源	026
	第三节 食品工业生产耗能点与污染源的确定原则	044
第二章	食品工业节能理论与潜力	045
	第一节 食品工业生产耗能概况	046
	第二节 食品工业生产能耗标准与估算	048
	第三节 食品工业生产节能审核原则与评估	053
	第四节 食品工业生产节能节汽衡算与计算	057
	第五节 食品工业的能耗定额	067
	第六节 食品工业节能潜力	072
第三章	食品工业的废水处理和减排	079
	第一节 食品工业固体废弃物的减排	080
	第二节 食品工业废水与大气固废的污染和减排	082

	第三节 食品工业高浓度废水与综合废水的处理工艺	090
	第四节 酒精糟的综合利用与综合废水治理	095
	第五节 食品工业综合废水处理工艺与技术的校核	099
第四章	食品工业节能减排技术	103
	第一节 节能减排的措施	104
	第二节 节能减排的生产工艺	118
	第三节 节能减排的设备与装置	124
	第四节 食品生产工艺节能减排技术改造	137
	第五节 食品工业节能减排的社会环境效益与经济效益	145
第五章	食品工业的清洁生产与审核	149
	第一节 食品工业清洁生产概况	150
	第二节 清洁生产审核过程	151
	第三节 食品生产清洁原料的同位素检测	155
	第四节 酒精企业清洁生产与审核	158
	第五节 白酒企业清洁生产与审核	164
	第六节 啤酒企业清洁生产与审核	169
	第七节 味精企业清洁生产与审核	173
	第八节 柠檬酸企业清洁生产与审核	177
	第九节 酵母企业清洁生产与审核	181
	第十节 淀粉企业清洁生产与审核	183
	第十一节 制糖企业清洁生产与审核	187
	第十二节 饮料企业清洁生产与审核	193
	第十三节 井矿制盐企业清洁生产与审核	199
附录一	名词解释	203
附录二	节能减排评估和清洁生产审核	205
参考文献		206

绪 论

中国食品工业节能减排与清洁生产概况

20 世纪 90 年代以来,中国食品工业年均增长速度超过 8%,食品工业占全国工业总产值比重达 8% 以上,食品工业总产值与农业总产值之比超过 1.1:1,成为国民经济第一大支柱产业,对国民经济的发展有很大的推动作用,并已成为极具潜力的新的增长点,2015 年全国食品工业总产值完成了“食品工业‘十二五’发展规划”提出的 2015 年目标。2016 年全国食品工业总产值为 11.1 万亿元,占全国工业总产值的 11% 左右,该值高于计算机和通讯及其他电子设备制造业、化学原料和化学制品制造业、汽车制造业等新兴产业。

今后,食品工业仍将以 8% 的年平均增长速度发展,它在全国消费中的比重还会提升,特别是我国农副产品加工率不到 55%,而先进国家已达到 80%;发达国家食品工业总产值与农业总产值之比已超过 3:1。估计到 2020 年食品工业总产值将会达到 16 万亿元,利税达到 1.9 万亿元。

第一节 食品工业的行业管理

食品工业按《国民经济行业分类》(GB/T 4754—2017)规定,应由农副食品加工业,食品制造业,酒、饮料和精制茶制造业三大类组成。农副食品加工业包括谷物磨制、饲料加工、食用植物油加工、非食用植物油加工、制糖、畜禽屠宰、肉制品及副产品加工、水产品冷冻加工、鱼糜制品及水产品干腌制加工、水产饲料制造、其他水产饲料制造、蔬菜与水果和坚果加工、淀粉及淀粉制品的制造、豆制品制造、蛋品加工;食品制造业包括糕点与面包制造、饼干及其他焙烤食品制造、糖果与巧克力制造、蜜饯制造、米与面制造、速冻食品制造、方便面及其他方便食品制造、液体乳及乳制品制造、肉与禽类罐头制造、水产品罐头制造、蔬菜与水果罐头制造、味精制造、氨基酸制造、柠檬酸制造、酶制剂制造、酵母制造、酱油与食醋制品制造、其他调味品与发酵制品制造、冷冻饮品及食用冰制造、盐加工、食品及饲料添加剂制造;酒、饮料和精制茶制造业包括酒精制造、白酒制造、啤酒制造、黄酒制造、葡萄酒制造、果酒制造、碳酸饮料制造、果蔬汁与果蔬汁饮料制造、含乳饮料和植物蛋白饮料制造、固体饮料制造、茶饮料及其他饮料制造、精制茶。三大类由 56 种小类行业组成。

56 个行业由中国酒业协会、中国生物发酵产业协会、中国食品工业协会、中国饮料工业协会、中国糖业协会、中国焙烤食品糖制品工业协会、中国食品添加剂与配料协会、中国淀粉工业协会、中国罐头工业协会、中国饲料工业协会、中国乳制品工业协

会、中国肉类协会、中国水产流通和加工协会、中国粮油工业协会、中国调味品协会、中国食品科学技术协会等分别进行管理。

第二节 食品工业节能减排的主要指标及潜力

目前,食品生产企业 45.5 万家,规模以上食品企业 7.6 万家(年销售收入 2000 万元以上),需指出的是年销售收入超过 1 亿元的 2 万家企业,以及超过 100 亿元的 70 家龙头企业应是食品工业的主要力量。2016 年,食品工业采用 450 种粮食与农副产品原料、几百个生产工艺、生产几千种产品,总产量达到 12 亿 t,同时,年用水量 100 亿 m^3 、耗电 1800 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 、消耗 1.5 亿 t 原煤,生产能耗(水电煤)折合标准煤 1.3 亿 tce,用水量、耗电量、原煤量分别占生产总能耗的 0.66%、17.0%、82.3%。该工业年排放废水总量为 50 亿 m^3 、排放有机物 2000 万 t,产生食品加工废弃物 5 亿 t。

由上可见,原煤消耗量占总综合能耗的八成以上,应着重指出的是,该工业原煤生产加热蒸汽的潜热的 14% 以上是可以回收利用的二次蒸汽热焓,但是,目前二次蒸汽热焓利用率尚不到 1%。可以预料,食品生产企业如能推进节能减排和清洁生产,采用国家和行业推荐的新工艺、新设备与新技术,特别是能将二次蒸汽热焓采用再压缩工艺和热交换技术予以全部回收,以及引进节能的电气设备与变频技术,则可年节约标煤 3250 万 tce(占 2016 年食品生产能耗的 25%),即达到年节水 20 亿 m^3 、节电 450 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 、节约原煤 3750 亿 t;同比不回收能量的工艺,可减少综合废水排放 10 亿 t、减排有机物 400 万 t,减少燃煤粉尘排放 375 万 t、二氧化硫排放 37.5 万 t;再将部分有机物生产饲料、沼气、燃料,则节能减排总的经济价值可达 2500 亿元以上。

中国食品工业发展较为迅速,但发展中存在的问题不容忽视,主要是该工业各行业平均规模小,大中型企业偏少,规模化、集约化水平低,“小、散、乱、低”的格局普遍,小、微型企业和小作坊数量占全工业的 80%;食品生产的原料与固体废弃物综合利用程度低;生产粗放,工艺并不先进,产品收得率不高,能耗高;食品装备普遍存在能耗较高与自动化程度低;废水排放量大,污染负荷较高,环境污染治理难度较大。2017 年 12 月,中国食品工业协会发布的《中国食品产业发展报告(2012—2017)》指出,“近几年,食品制造业和酒、饮料、精制茶制造业的能源消费总量呈下降趋势,整个食品工业能源消费虽然呈上升趋势,但增长幅度越来越小。2015 年,食品工业能源消费增幅为 0.2%,低于能源消费总量 0.8 个百分点。”“食品清洁生产发展滞后,能耗

物耗高，水耗和污染物排放仍然较高，节能减排压力较大。我国干制食品吨产品耗电量是发达国家的2~3倍，甜菜糖吨耗水量是发达国家5~10倍，罐头食品吨耗水量为日本的3倍。发酵工业的废水排放量占全国总量的2.3%，是轻工业重点污染行业之一。2014/2015制糖期，全国糖厂综合能耗和COD排放分别是国外先进水平的2倍和9倍。农副食品加工能源消费2015年的增幅达2%，仍占能源消费总量较高比例。”这些问题充分说明食品工业的节能减排和清洁生产任务艰巨、困难多，但是潜力也大。

第三节 节能减排和清洁生产的管理和问题

食品工业、行业、企业节能减排和清洁生产拟应包括以下的管理内容：

一、食品工业与行业应引领、组织、管理、培训行业和企业节能减排和清洁生产，评定科学技术奖项，并向政府部门反映有关困难和问题。

二、组织制订行业的节能减排和清洁生产的标准、规范、政策、规划，以及污染物排放标准。

三、企业需研究、研发，并使用本行业的节能减排和清洁生产新工艺、新技术、新设备。

四、企业对实物的资源、能源与消耗进行衡算，并计算回收利用率。特别是对热过程（传热、加热、冷却、冷凝、蒸发、蒸馏、结晶、干燥、蒸汽灭菌）的潜热与热焓进行衡算。

五、企业尚需撰写申报资源节约和环境保护项目材料、节能评估报告、清洁生产审核报告与申报高中费项目报告、筹建新项目的环境影响报告书等。

六、食品工业、行业、企业需了解本工业和行业的节能减排与清洁生产进展。

七、确定本行业、企业研究和研发的节能减排与清洁生产项目。

目前，食品工业尚未有管理节能减排和清洁生产的统一机构，因此，难以承担属于整个工业的大项目，及解决工业共性难题。2008年，国家环境保护部主持的“第一次全国污染源普查（食品工业部分）”，食品工业有10个有关行业协会、研究院、高校（分属三个大部门）参与50个行业普查，正在进行的“第二次全国污染源普查食品工业部分”基本也是如此，而大部分工业则是由一个协会、研究所、公司、研究设计院就可以全部承担。

从技术层面来讲，食品工业和节能减排清洁生产两大领域所辖专业有很大的不同。

食品工业节能减排的生产、研究、攻关、标准项目，理应有熟悉食品加工、发酵生产、设备、节能、公用工程、环境、工业经济的专业人员密切配合共同承担完成。但是，目前该领域的状况是精通生产工艺的食品行业、企业不太了解节能减排和清洁生产，而从事节能减排与清洁生产的有关单位又不太熟悉生产工艺，同时，由于种种的原因，这几部分人员又较难形成强有力的核心，共同完成项目。

食品工业的节能减排和清洁生产的管理存在的具体问题，大大影响了该方面工作的进展与完成。如：某些单位不熟悉生产工艺、耗能点、污染源，面对企业上报的成百上千能耗与环境污染数据难以辨别正确与否，因而制订的节能减排标准与规范，与企业生产有较大差距，特别是生产每吨产品的能耗与环境指标在不同标准有不同值；部分单位不了解食品生产的节能减排基本原理，难以进行企业能源与消耗的衡算，及计算余热余压回收利用率，不能精确提出技术改造项目和清洁生产高中费项目，以产生较高的经济环境效益。

第一章

食品工业生产的耗能点与污染源

食品工业，一类是以淀粉质、糖质、纤维质为主要原料，经生物发酵生产各种发酵食品；另一类是以农副产品为主要原料，不经生物发酵，加工生产各种食品。两大类生产有不少相同之处，但发酵生产与食品加工不同的是，尚需在一定温度下不断扩大培养微生物，增加加热（包括配料、液化、糖化、发酵、灭菌等）单元操作生产，且发酵生产尚需排放高浓度有机废液（即发酵的代谢产物）。因此，发酵生产相比农副产品原料生产食品能耗高，污染大。

第一节 淀粉质与糖质生产发酵产品耗能点和污染源

淀粉质与糖质，包括玉米、薯干、木薯、高粱、小麦、大麦、大米、糖蜜、葡萄、水果等，它们是生产酒精、白酒、啤酒、黄酒、葡萄酒、果酒、淀粉糖、味精、柠檬酸、氨基酸、有机酸、酵母、酶制剂等发酵产品的主要原料。由于可发酵性物质是淀粉，而微生物不能直接利用淀粉发酵生产产品，因此淀粉质原料生产发酵产品需经原料粉碎，以破坏植物细胞组织，便于淀粉游离，再经蒸煮使淀粉糊化，并进一步破坏细胞，形成均一的液化液，使其能更好地接受糖化酶的作用转化为可发酵性糖后，才能被微生物发酵生产各种产品。当然，如果发酵产品的原料是糖蜜、水果，则微生物可以直接利用原料中的糖进行发酵。

一、发酵产品的基本生产工艺

发酵生产的基本工艺为：原料—粉碎—配料—加热—液化—冷却—糖化—冷却—发酵（保持温度）—浓缩、分离、提取—干燥（有些产品不需要）—产品。由此可见，生产发酵产品的主要设备是配料罐、液化罐、糖化罐、发酵罐、分离与提取设备（如，蒸馏塔、多效蒸发器、结晶罐、离子交换柱、膜分离器）、干燥装置。同时，从液化醪冷却到糖化醪，从糖化醪冷却到发酵醪，保持发酵温度，以及蒸馏、蒸汽浓缩、结晶分离与提取产品，均需大量的冷却水，因而需要配备各种换热设备（列管式热交换器、螺旋板式换热器、蛇管式热交换器、套管式热交换器、喷淋式冷却器等）和冷却水处理装置。

该生产主要耗能工艺为：①淀粉质原料的处理（浸泡）和配料（试剂）用水，糖蜜原料的稀释用水；酵母（菌种）扩大培养用水；液化、糖化、发酵、蒸馏、浓缩、结晶工艺的冷却与冷凝用水；离子交换柱与膜分离设备处理与洗涤用水；各种设备与包

装容器洗涤水；车间冲洗水；锅炉房、冷冻机房用水；制纯水设备用水。②各种热能设备的耗汽，包括加热、蒸馏、蒸汽浓缩、结晶、干燥、发酵、灭菌等单元操作。③所有电气装置的耗电，包括粉碎、输送、搅拌、压缩、冷冻、加热单元操作。

发酵生产的污染主要是废水污染，高浓度废水主要是发酵液提取产品后的废醪液、废母液、甑锅底水，及原料浸泡水；中低浓度废水是原料冲洗水，中间产品洗涤水，各种设备、罐、池、反应器、管道、容器、瓶的洗涤水，车间冲洗水，多效蒸发器与结晶器的二次蒸汽冷却水。

二、 酒类与发酵产品的生产工艺

酒精、白酒、啤酒、葡萄酒、黄酒、味精、柠檬酸、淀粉糖、酵母、酶制剂等发酵产品和综合利用生产工艺，及其主要耗能点与污染源，可见图 1-1 至图 1-31。

1. 酒精生产

酒精生产主要是指发酵酒精生产，以淀粉质、糖蜜或纤维质为原料，经发酵、蒸馏制备食用酒精、医用酒精、工业酒精、变性燃料酒精（不是食品但生产工艺同食用酒精并属中国酒业协会管辖）的行业。淀粉质（玉米、薯干、木薯），糖蜜，秸秆生产酒精工艺分别可见图 1-1、图 1-2、图 1-3。目前，秸秆纤维质原料生产酒精只是处于生产试验阶段。

环境保护部制定的《环境保护综合名录（2015—2017 年版）》均将发酵酒精列入“高污染、高环境风险”目录，“双高”产品的生产将受一系列限制，因而对其发展带来很大影响。

(1) 淀粉质原料酒精生产工艺 见图 1-1。



图 1-1 淀粉质原料酒精生产工艺

(2) 糖质原料酒精生产工艺 见图 1-2。

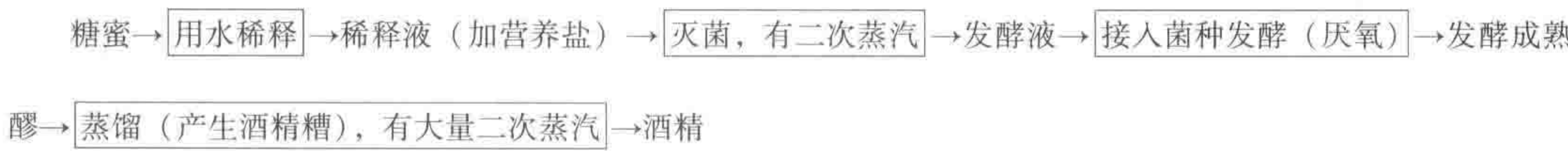


图 1-2 糖蜜原料酒精生产工艺

(3) 纤维质原料酒精生产工艺 见图 1-3。

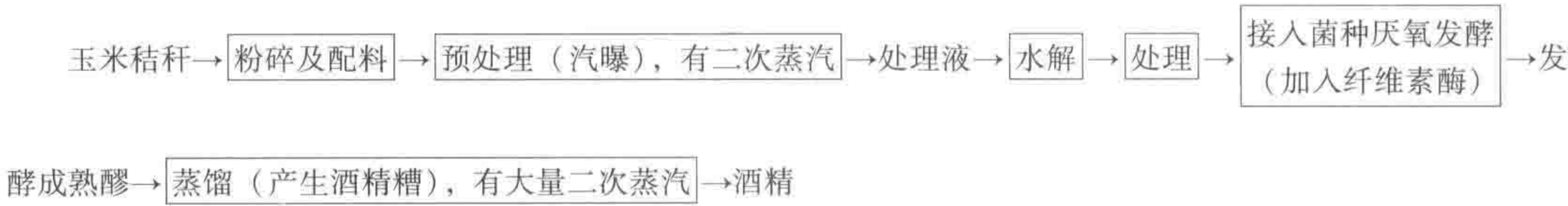


图 1-3 纤维质原料酒精生产工艺

从图 1-1、图 1-2、图 1-3 可知，酒精生产工艺的主要耗能为：玉米、薯类、秸秆原料耗电粉碎制备脱胚芽玉米粉、薯干粉、纤维质粉；粮薯与秸秆原料用水加热配制醪液，糖蜜稀释配制醪液；耗水、电、汽进行酵母扩大培养；耗大量蒸汽加压进行纤维质原料的预处理、耗蒸汽进行粮薯发酵醪的液化与糖化并耗水冷却醪液、从各原料发酵成熟醪蒸馏分离出酒精蒸汽，并大量耗水将酒精蒸汽冷凝成酒精；各种设备、装置、反应器、管道的蒸汽灭菌和洗涤水；动力车间的耗电和进行各种耗电单元操作；锅炉车间耗水生产软化水。

酒精生产高浓度废水综合利用工艺为：玉米酒精糟生产全糟蛋白饲料（生产工艺见图 1-4），酒精糟滤液浓缩工艺产生的二次蒸汽冷凝液和各种洗涤水进入综合废水处理系统；薯类酒精糟滤渣干燥生产饲料或燃料，纤维质酒精糟滤渣干燥生产燃料，薯类与纤维质酒精糟滤液和各种洗涤水进入综合废水处理系统（生产工艺见图 1-5）；糖蜜酒精糟生产肥料，浓缩工艺产生的二次蒸汽冷凝液和各种洗涤水进入综合废水处理系统（生产工艺见图 1-6）。各种原料的酒精发酵工艺排放的二氧化碳可生产食品级二氧化碳（生产工艺见图 1-7）。

(4) 玉米酒精糟生产全糟蛋白饲料 见图 1-4。



图 1-4 玉米酒精糟生产全糟蛋白饲料

(5) 薯类酒精糟生产饲料或燃料 见图 1-5。



图 1-5 薯类酒精糟生产滤渣饲料或燃料