



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书
出版规划项目

Technology and Engineering for Gaseous Biofuels



《新能源出版工程》丛书共 23 分册，分别论述太阳能、风能、生物质能、海洋能、核能、新能源汽车、智能电网和煤制油等新能源相关领域的理论研究和关键技术

气体生物燃料 技术与工程

杨世关 李继红 李 刚 编著

上海科学技术出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书
出版规划项目



气体生物燃料技术与工程

Technology and
Engineering for Gaseous Biofuels

杨世关 李继红 李 刚 编著

图书在版编目(CIP)数据

气体生物燃料技术与工程/杨世关,李继红,李刚
编著. —上海:上海科学技术出版社,2013.1

(新能源出版工程)

ISBN 978-7-5478-1542-7

I. ①气… II. ①杨… ②李… ③李… III. ①气体燃
料—生物燃料—研究 IV. ①TK16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 263524 号

上海世纪出版股份有限公司
上海科学技术出版社 出版、发行

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

浙江新华印刷技术有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张: 15.25 插页: 4

字数: 350 千字

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-1542-7/TK·6

定价: 60.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向工厂联系调换

内容提要

以木质纤维素为原料的第二代生物燃料是生物燃料发展的重要方向,本书重点介绍了与此相关的关键技术,包括原料的预处理技术、高效厌氧生物转化技术等内容。

本书主要包含三方面的内容,一是生产气体生物燃料的原料,二是气体生物燃料制取技术,三是基于气体燃料的分布式发电技术。气体生物燃料技术重点阐述三种技术,即厌氧发酵产沼气技术、生物质气化制取生物质煤气技术、生物质产氢技术。每项气体燃料技术分别按基础理论、生产技术与工艺、关键设备及应用四个层次来详细阐述。应用部分重点介绍最新的应用,如利用沼气制取生物天然气技术及其在天然气汽车领域的应用。分布式发电技术重点介绍内燃机发电技术、微型燃气轮机发电技术、燃料电池技术等内容。

本书主要面向生物能源工程和热能工程相关的人员,以及从事生物质资源利用的企事业单位、相关政府部门和行业协会等,也可作为新能源科学与工程专业的教学参考书。

《新能源出版工程》

学术顾问 (以姓氏笔画为序)

.....

阮可强	中国工程院院士
严陆光	中国科学院院士
杨裕生	中国工程院院士
林宗虎	中国工程院院士
倪维斗	中国工程院院士
徐大懋	中国工程院院士
翁史烈	中国工程院院士
黄其励	中国工程院院士
潘 垣	中国工程院院士

《新能源出版工程》

编委会

主 任

倪维斗

委 员(以姓氏笔画为序)

毛宗强 朱 军 贡 俊 李 春

张家倍 张德祥 周凤翱 徐洪杰

殷承良 閻耀保 喜文华 董长青

董亲翔 鲍 杰 戴松元

前 言

享誉全球的未来预测大师、著名经济学家杰里米·里夫金(Jeremy Rifkin)在其所著《第三次工业革命》中将互联网和可再生能源联系在一起,提出了第三次工业革命的五个支柱:① 向可再生能源转型;② 将每一大洲的建筑转化为微型发电厂,以便就地收集可再生能源;③ 在每一栋建筑物以及基础设施中使用氢和其他存储技术,以存储间歇式能源;④ 利用互联网技术将每一大洲的电力网转化为能源共享网络,这一共享网络的工作原理类似于互联网(成千上万的建筑物能够就地生产出少量的能源,这些能源多余的部分既可以被电网回收,也可以被各大洲之间通过联网而共享);⑤ 运输工具转向插电式以及燃料电池动力车,这种电动车所需要的电可以通过洲与洲之间共享的电网平台进行买卖。在杰里米·里夫金给我们所描绘的这幅宏伟蓝图中,基于可再生能源的分布式能源技术居于核心地位。

毋庸置疑,气体生物燃料技术在基于可再生能源的分布式能源系统中将会扮演重要角色。其一,发展气体生物燃料所依赖的原料多是人类生产或生活过程中所产生的“废弃物”,将这些废弃资源通过不同的技术途径转化为清洁的气体燃料,可以减少有机废弃物的排放、降低温室气体的释放、增加清洁能源的供给,可谓一石三鸟;其二,在由第二次工业革命时代向第三次工业革命时代过渡的时期,气体生物燃料具有其独特的作用,很多情况下气体生物燃料可以和石化气体燃料实现无缝对接,比如生物甲烷气可以在消耗天然气的各类能源设施上直接使用,极大地降低能源替代的成本;其三,气体生物燃料可以为支撑第三次工业革命的燃料电池的发展解决燃料来源问题,气体生物燃料中的氢气和甲烷气是燃料电池最主要的燃料;其四,气体生物燃料所具有的可存储性特点,可以为采用这类燃料的分布式发电装置的稳定运行提供保证。总之,我们有理由相信,在第三次工业革命时代,气体生物燃料将会发挥其独特的作用。

将生物质转化为气体生物燃料主要通过两个途径实现,即生物转化和热化学转化,产生的气体燃料有沼气(包括由其提纯制取的生物甲烷气)、生物质气化气(又称生物质煤气)以及氢气。国内外已有众多气体生物燃料方面的论著,但多侧重于其中的某项技术,因此,从2006年起作者就有将这些技

术汇集成册的想法,并开始广泛查阅和收集文献,然后结合自己的一些研究成果,自 2009 年起开始了撰写工作,当时的初衷就是想整理一套能全面反映气体生物燃料技术的资料。

本书内容涉及生物质厌氧发酵产沼气、热化学转化制生物质煤气、生物制氢、气体生物燃料原料,以及气体生物燃料分布式发电技术等内容。本书力求反映气体生物燃料技术的全貌和发展趋势,但由于每项技术都可独立成册,因此,在撰写过程中亦未苛求面面俱到,比如,气体生物燃料原料一章的重点是对木质纤维素类原料的物理、化学和生物特性的介绍,及对其生物转化面临的降解抗性结构的深入分析;第三章生物质厌氧发酵产沼气部分,则在系统介绍厌氧发酵理论的基础上,从厌氧发酵技术的能源化利用角度考虑,重点介绍了木质纤维素、粪便等高固含率原料的厌氧发酵工艺和厌氧反应器,并从沼气高值化、产业化利用的角度出发,全面系统地介绍了沼气提纯技术和各国生物天然气标准的发展状况。本书第 1 章绪论、第 2 章气体生物燃料的原料、第 4 章生物质热化学气化技术由杨世关撰写;第 3 章生物质厌氧发酵产沼气技术由杨世关和李继红撰写;第 5 章生物制氢技术由李刚撰写。全书由杨世关统稿。

鉴于气体生物燃料技术的发展日新月异,加之写作时间跨度比较长,因此对气体生物燃料最新技术进展的总结和概括,难免有疏漏之处。同时,由于作者水平有限,书中难免有欠妥之处,敬请广大读者批评指正。

在本书即将付梓出版之际,向将我引领到生物燃料研究道路上,并一直给予我帮助和鼓励的恩师张百良教授表达由衷的感谢!向支持我在生物燃料研究道路上坚持下来的博士后合作导师郑正教授和促成本书出版的董长青教授表达诚挚的感谢!

杨世关

目 录

第 1 章 绪论 / 1

- 1.1 气体生物燃料发展背景 / 1
- 1.2 气体生物燃料技术发展状况 / 2
 - 1.2.1 厌氧发酵产沼气技术 / 3
 - 1.2.2 气化技术 / 5
 - 1.2.3 生物产氢技术 / 6
- 1.3 基于气体生物燃料的分布式能源技术 / 7
 - 1.3.1 分布式能源 / 7
 - 1.3.2 气体生物燃料分布式发电技术 / 11
- 参考文献 / 16

第 2 章 气体生物燃料的原料 / 18

- 2.1 木质纤维素原料 / 18
 - 2.1.1 木质纤维素原料的化学结构 / 18
 - 2.1.2 木质纤维素原料的生物结构 / 25
 - 2.1.3 木质纤维素原料的元素组成、灰分含量及热值 / 28
- 2.2 畜禽粪便和养殖废水 / 29
 - 2.2.1 畜禽粪尿排泄量 / 29
 - 2.2.2 畜禽粪便的化学特性 / 30
 - 2.2.3 畜禽养殖废水 / 31
- 2.3 发酵工业废水 / 33
 - 2.3.1 酒精工业废水 / 33
 - 2.3.2 啤酒工业废水 / 34
 - 2.3.3 制糖工业废水 / 34
 - 2.3.4 味精工业废水 / 35
 - 2.3.5 柠檬酸工业废水 / 36
- 参考文献 / 36

第3章 生物质厌氧发酵产沼气技术 / 38

- 3.1 生物质厌氧发酵产沼气理论基础 / 38
 - 3.1.1 生物质厌氧发酵产沼气的生物化学过程 / 38
 - 3.1.2 沼气发酵微生物 / 43
 - 3.1.3 影响生物质沼气发酵过程的因素 / 51
- 3.2 木质纤维素原料厌氧发酵产沼气 / 61
 - 3.2.1 木质纤维素原料的预处理技术 / 61
 - 3.2.2 汽爆预处理对木质纤维素厌氧发酵产沼气的影响 / 67
- 3.3 高固含率原料厌氧发酵工艺 / 73
 - 3.3.1 混合厌氧发酵工艺 / 73
 - 3.3.2 厌氧干发酵工艺 / 95
- 3.4 适用于高固含率原料湿发酵的厌氧反应器 / 102
 - 3.4.1 全混合厌氧消化器 / 102
 - 3.4.2 升流式固体反应器 / 106
 - 3.4.3 厌氧塘 / 106
- 3.5 沼气提纯生产生物天然气 / 107
 - 3.5.1 吸收法 / 108
 - 3.5.2 变压吸附法 / 113
 - 3.5.3 膜分离法 / 119
 - 3.5.4 低温分离法 / 124
 - 3.5.5 沼气提纯方法的对比 / 126
 - 3.5.6 沼气提纯技术及生物甲烷气的应用 / 128

参考文献 / 133

第4章 生物质热化学气化技术 / 136

- 4.1 生物质气化原理 / 136
 - 4.1.1 生物质气化的基本概念 / 136
 - 4.1.2 生物质气化的基本反应 / 137
 - 4.1.3 生物质气化的化学平衡 / 139
- 4.2 生物质气化反应动力学 / 143
 - 4.2.1 生物质气化反应动力学研究 / 143
 - 4.2.2 生物质气化反应动力学模型 / 146
- 4.3 生物质气化工艺 / 149
 - 4.3.1 空气气化 / 149
 - 4.3.2 氧气气化 / 151
 - 4.3.3 水蒸气气化 / 153

- 4.3.4 超临界水气化 / 155
- 4.3.5 热解气化 / 157
- 4.4 气化过程评价指标及其影响因素 / 158
 - 4.4.1 气化剂比消耗量 / 158
 - 4.4.2 气化强度 / 159
 - 4.4.3 生物质燃气的质量 / 160
 - 4.4.4 生物质燃气产率 / 161
 - 4.4.5 气化效率 / 161
- 4.5 生物质气化炉 / 162
 - 4.5.1 固定床气化炉 / 162
 - 4.5.2 流化床气化炉 / 166
- 4.6 生物质燃气净化 / 170
 - 4.6.1 燃气所含杂质 / 170
 - 4.6.2 燃气净化技术 / 173
- 4.7 生物质燃气应用案例——生物质气化烤烟系统 / 179
 - 4.7.1 系统组成及说明 / 179
 - 4.7.2 系统运行效果 / 181
- 参考文献 / 182

第5章 生物制氢技术 / 185

- 5.1 生物制氢的基础理论 / 185
 - 5.1.1 氢及氢燃料特性 / 185
 - 5.1.2 氢能生产 / 186
 - 5.1.3 生物制氢途径及原理 / 188
- 5.2 生物产氢技术与工艺 / 196
 - 5.2.1 光解水产氢技术与工艺 / 196
 - 5.2.2 暗发酵产氢技术与工艺 / 199
 - 5.2.3 光合产氢技术与工艺 / 202
- 5.3 氢气提纯与存储 / 209
 - 5.3.1 生物产氢气体产物中主要杂质 / 210
 - 5.3.2 氢气的提纯方法及工艺 / 211
 - 5.3.3 氢气的存储 / 212
- 5.4 生物产氢技术发展前景及趋势 / 217
- 参考文献 / 220

第 1 章

绪 论

1.1 气体生物燃料发展背景

“我们也许已经忘记了发生在 20 世纪 70 年代的石油危机,抑或忘记了卡特里娜飓风过后所产生的能源恐慌,不过这些都仅仅是人类过度的能源需求和逐渐枯竭的化石能源之间矛盾不断加剧的先兆。在还没有被冻僵于黑暗中之前,我们人类必须实现由不可再生的碳基资源向可再生的生物基资源的转变。”这是由 Ragauskas 等(2006)英、美两国的 14 位科学家通过联合在《Science》上发表论文所发出的倡议。作为一种影响人类未来发展的重要能源资源,生物质能的开发利用正受到前所未有的重视。化石能源支撑了近 200 年来人类的文明进步和经济社会发展,但对其持续增长的过度消耗,不仅使人类面临能源资源枯竭的危机,同时还面临着环境污染的严重威胁。面对能源和环境问题,国际社会采取了积极的应对措施,特别是 1992 年召开的联合国环境与发展大会和 2002 年召开的可持续发展世界首脑会议,使可持续发展思想逐渐成为国际社会的共识。在此背景下,开发利用生物质能已成为国际社会的共同行动。

自人类掌握了制取和使用火的技能的远古时代起,生物质能便承担了推动人类文明历史进程的重要功能,成为人类摆脱蛮荒和蒙昧的最强有力的武器。无论是我国“燧人氏钻木取火”的传说,或者是古希腊“普罗米修斯盗取天火”的神话,都是对此最好的注解。据《韩非子·五蠹》记载:“上古之世……民食果蓏蚌蛤,腥臊恶臭而伤害腹胃,民多疾病。有圣人作,钻燧取火,以化腥臊,而民说之,使王天下,号之曰燧人氏。”由于发明了钻木取火,燧人氏被后世尊为三皇之首,奉为“火祖”。在希腊神话中,普罗米修斯为了人类的利益触犯了最高的天神领袖宙斯。作为对他的惩罚,宙斯拒绝给予人类为了完成他们的文明所需要的最后的物品——火。但普罗米修斯用一根长长的茴香枝,在烈焰熊熊的太阳车经过时,偷到了火种并带给了人类。普罗米修斯因此激怒了宙斯而被用锁链缚在高加索山脉的一块岩石上。一只饥饿的神鹰天天来啄食他的肝脏,而他的肝脏又总是重新长出来。他的痛苦要持续 3 万年,而他坚定地面对苦难,从来不在宙斯面前丧失勇气。

无论是我们对“火祖”燧人氏的敬仰,或者是西方对普罗米修斯的崇拜,其中均包含了

我们人类对“火”的无限感激崇敬之情。远古时代,对火的应用离不开“生物质”这一载体,因此,也可以说是生物质能的应用开启了人类文明的进程。

随着化石能源的大规模开发利用,生物质能曾逐渐淡出我们日益现代化的生活,然而,当人类跨入文明高度发达的 21 世纪,在对可持续发展的迫切需求下,生物质能的开发利用又被重新提上了重要议程。与历史上的生物质粗放燃烧利用方式所不同的是,今天的开发利用是基于将生物质转化为气体生物燃料、液体生物燃料及电能等高品质能源的现代化利用,是一次与人类经济和能源发展趋势相适应的回归。

首先,这种转变与经济活动的发展相一致。纵观人类开发利用能源的整个历史可以发现,人类所使用的能源在形式上经历了由“重”到“轻”,从物质形态“较明显”到物质形态“不明显”的渐变过程,即从固体煤炭,到液体石油,再到现在的天然气、氢气、沼气等气体燃料。这种转变提高了能源生产的速度和效率,通过管道输送石油比通过铁路运输煤炭快,而通过管道输送气体燃料比输送石油更快。与此相对应的是,人类的工业形式也已从早期资本主义时期的重蒸汽时代,发展到了 21 世纪的轻质、虚拟的信息时代。由此可以看出,能源丧失物质形态和经济活动丧失物质形态一直在同步进行。

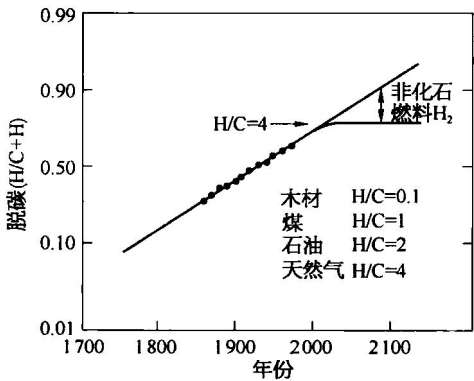


图 1-1 全球能源消费的脱碳趋势

其次,这种转变与人类能源利用的“脱碳”(Decarbonization)趋势是相一致的。脱碳是指世界上每一种先后出现的能源分子中氢和碳原子的比率的变化。图 1-1 表明了这种脱碳趋势。

木材的氢碳原子比率最低,1 个氢原子对 10 个碳原子,在化石燃料中,煤炭的氢碳原子比率最低,大约是 1 个氢原子对 1 个或者 2 个碳原子,石油是 2 个氢原子比 1 个碳原子,而天然气则是 4 个氢原子比 1 个碳原子,至于氢气则完全脱碳。这意味着每一种后续的能源应用过程中所释放的 CO₂ 都少于前一种。从这个角度分析,通过将生物质转化成 CH₄ 和 H₂ 的利用方式恰恰顺应了这种发展趋势。再者,由于植物在生长过程中通过光合作用吸收 CO₂,从碳在自然界循环的角度分析,生物质能的开发利用其实是 CO₂ 零排放过程。

木材的氢碳原子比率最低,1 个氢原子对 10 个碳原子,在化石燃料中,煤炭的氢碳原子比率最低,大约是 1 个氢原子对 1 个或者 2 个碳原子,石油是 2 个氢原子比 1 个碳原子,而天然气则是 4 个氢原子比 1 个碳原子,至于氢气则完全脱碳。这意味着每一种后续的能源应用过程中所释放的 CO₂ 都少于前一种。从这个角度分析,通过将生物质转化成 CH₄ 和 H₂ 的利用方式恰恰顺应了这种发展趋势。再者,由于植物在生长过程中通过光合作用吸收 CO₂,从碳在自然界循环的角度分析,生物质能的开发利用其实是 CO₂ 零排放过程。

1.2 气体生物燃料技术发展状况

气体生物燃料主要包括沼气(主要可燃成分为甲烷)、气化气(主要可燃成分为一氧化碳)和氢气。将以固体形态存在的生物质转化为这些可燃性气体主要通过三种技术途径:厌氧发酵产沼气技术,气化技术以及生物产氢技术。这些气体燃料又可以进一步通过内

燃机、燃气轮机、燃料电池等转化为电能(图 1-2)。

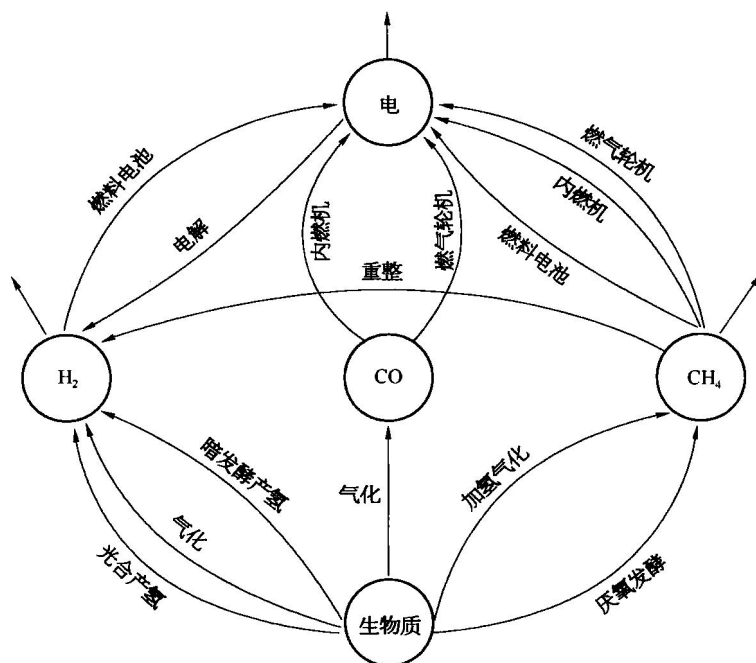


图 1-2 生气体物燃料制取及其发电技术途径

1.2.1 厌氧发酵产沼气技术

生物质厌氧发酵是一个由多种类群细菌在厌氧环境中参与完成的,通过分解有机物并产生以 CH_4 和 CO_2 为主要产物的复杂的微生物学过程。厌氧发酵产生的沼气是一种中热值的气体,其热值在 20 MJ/m^3 左右。人类利用厌氧生物技术处理有机废弃物起源于 19 世纪末期。1881 年法国《Cosmos》杂志报道了应用厌氧生物技术处理从城市污水中去除的大量易腐败的有机物。1896 年英国出现了第一座用于处理生活污水的厌氧消化池,且产生的沼气被用于街道照明。

厌氧发酵产沼气技术被认为可以处理几乎所有的有机物,但是长期以来,人们对厌氧发酵技术的研究、开发和应用主要集中在污水、污泥及粪便等高含水率的原料的处理方面。目前市场上广泛应用的高效厌氧发酵设备也均是基于处理此类原料而研究开发的,如上流式厌氧污泥床反应器(Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)、内循环厌氧反应器(Internal Circulation, IC)、膨胀颗粒污泥床反应器(Expanded Granular Sludge Bed, EGSB),以及厌氧滤器(Anaerobic Filter, AF)等。而且,厌氧发酵技术的应用更多的是出于环保的需要,其能源价值则处于次要地位。然而,随着人类对生物质能开发应用的日益重视,厌氧发酵技术在能源开发方面的价值也得到了应有的重视。因此,利用秸秆、水生植物、动物粪便等高固含率物质作为发酵原料,以产出能源为主要目的的厌氧发酵技术

已成为生物能源领域的一个重要研究方向和产业化开发重点。虽然从理论角度分析,厌氧发酵技术可以处理各种秸秆和水生植物等木质纤维原料,但从技术经济角度考虑,厌氧发酵技术不适合处理高木质素含量的原料,如棉花秆、木材加工废弃物等。

在处理秸秆和粪便等高固含率原料方面,目前采用最多的是全混合厌氧反应器(Continuous Stirred Tank Reactor, CSTR)以及升流式固体反应器(Upflow Solid Reactor, USR)。此外,干发酵工艺和两相发酵工艺也较适合用来处理此类原料。该领域的另一个发展趋势就是混合厌氧发酵技术。所谓混合厌氧发酵是指将发酵特性存在互补性的两种或两种以上原料一起作为发酵的基质进行的生物降解过程。无论从营养成分组成,还是从发酵特性角度分析,秸秆和粪便均具有互补性,因此将秸秆和粪便混合发酵是一个很好的选择。图 1-3 是德国一农场采用的混合发酵工艺流程。

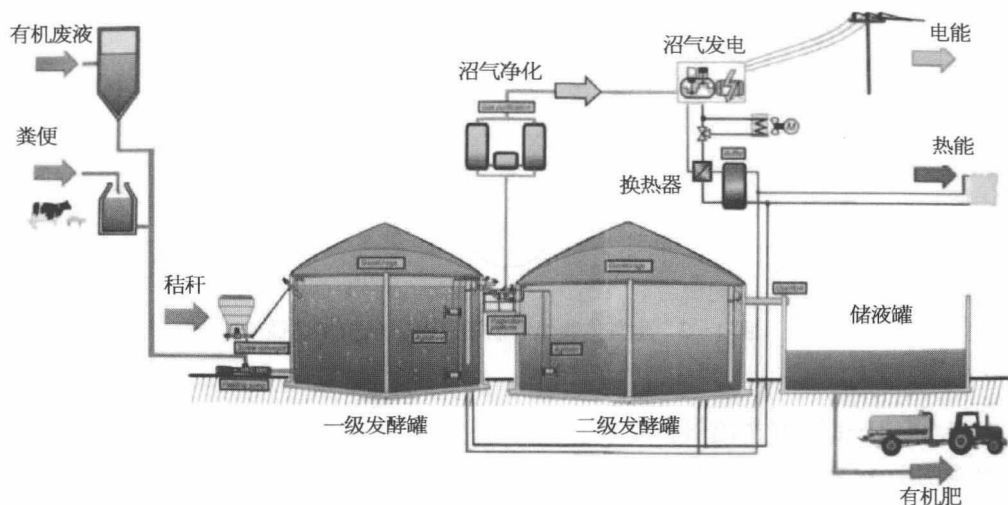


图 1-3 秸秆和粪便混合厌氧发酵工程工艺流程

生物质厌氧发酵技术的另一个发展方向是制取生物天然气。生物天然气,是指由可再生的生物质资源转化而来的以甲烷为主要成分的燃气,目前主要指通过沼气提纯净化得到的甲烷气,因此又称为生物甲烷气。目前国外商业化应用的沼气提纯制取生物天然气的方法主要有变压吸附法(PSA 法)、加压水洗法、吸收法和膜分离法等,其中工程上采用较多的方法主要是 PSA 法和加压水洗法。瑞典所使用的天然气中有超过 50% 是生物天然气。

生物质厌氧发酵技术的一个突出特点就是特有的生态功能。生物质厌氧发酵过程是一个生物降解过程,在此过程中,生物质所含的 C 和 H 被转化为了 CH_4 ,与此同时,它所含的植物营养元素 N、P 和 K 则保留在了发酵后产生的残渣和废液中。发酵后产生的沼渣和沼液不但含有 N、P、K 等植物营养元素,还含有吲哚乙酸、赤霉素、细胞分裂素等植物激素,以及抗生素和腐殖酸等物质,对促进植物生长、杀灭或抑制植物病原菌,以及改善土壤结构都有很好的作用。厌氧发酵过程既产出了清洁能源,又产出了有机肥,因此,在很

多地方该技术已经成为当地发展生态农业的重要技术支撑,这也是该项技术被国内外广泛重视的一个重要原因。

1.2.2 气化技术

生物质气化是指生物质在高温环境中,通过发生热裂解和氧化还原反应转化为气体燃料的过程。在采用空气作为气化剂的条件下,气化所产生的生物质煤气的热值多在 5 MJ/m^3 以下,属于一种低热值气体。早在18世纪末期人们对生物质气化的原理就有了初步认识。到1850年,英国建立了以煤和生物质为原料的燃气生产工业,伦敦的大部分地区都有了“气灯”。到1920年,欧洲将气化产生的燃气用于驱动卡车和拖拉机,但之后生物质气化被大规模的石油开发利用所取代,20世纪70年代的石油危机使该技术重新受到重视。

生物质气化技术适合用于转化木材加工废弃物以及稻壳、棉花秆等硬质原料。通过与生物质厌氧发酵技术的原料适应性能相比可以发现,在原料的适应性方面生物质气化技术与生物质厌氧发酵技术具有明显的差异,不适合厌氧发酵处理的生物质恰好适合作为气化设备的原料。

生物质气化设备主要分为两类,固定床气化炉和流化床气化炉。前者包括上吸式、下吸式和平吸式3种结构的气化炉,后者主要包括鼓泡床、循环流化床、双床流化床,以及携带床气化炉等。小规模利用多选下吸式气化炉,大规模利用条件下应首选循环流化床气化炉,而鼓泡流化床气化炉在中等规模利用条件下更有竞争力。近年来,气化工艺也有了快速发展,出现了高温空气气化、超临界水气化等先进的气化工艺。

生物质气化技术主要用于集中供气、发电、供热,以及热电联产等。我国为解决日益严重的秸秆荒烧问题,全国各地陆续建设了一批“生物质气化集中供气系统”,即将秸秆等农林废弃物首先转化为生物质煤气,然后将燃气通过管道送到农户家中做炊事燃料。欧美等国则更多的将该技术用于发电、供热以及热电联产方面。这些国家研究开发的生物质气化系统一般规模较大,自动化程度高,工艺较复杂。图1-4为奥地利Güssing生物质发电厂的气化热电联产系统工艺流程,该工程装机容量为 $2\text{ MW}_{\text{el}}/8\text{ MW}_{\text{th}}$,主要由原料输送装置、气化炉、煤气冷凝、煤气过滤、煤气净化、煤气发电机、锅炉以及烟气处理装置等组成。

生物质气化技术面临的主要困扰是焦油问题。焦油是生物质气化过程中伴生的一种副产品,是一种包含多种有机成分的黏稠性液体。在生物质煤气输送和应用过程中,如果不对其加以脱除的话,会导致输气管道和燃烧器堵塞。而关于焦油的脱除也是一个艰难的过程,往往需要通过多种手段和多个步骤才能使气体质量满足应用要求,这也是导致生物质气化系统复杂的一个主要原因。目前,虽然有各种各样的焦油净化技术,但是总体上来看,工程上应用最多的还是采用水喷淋的湿式净化方法,这种方法虽然能较好地实行脱除焦油的目的,但是由此带来的水的污染问题却难以解决。因此,如何减少气化过程中焦油的生成一直是研究人员不懈追求的目标。

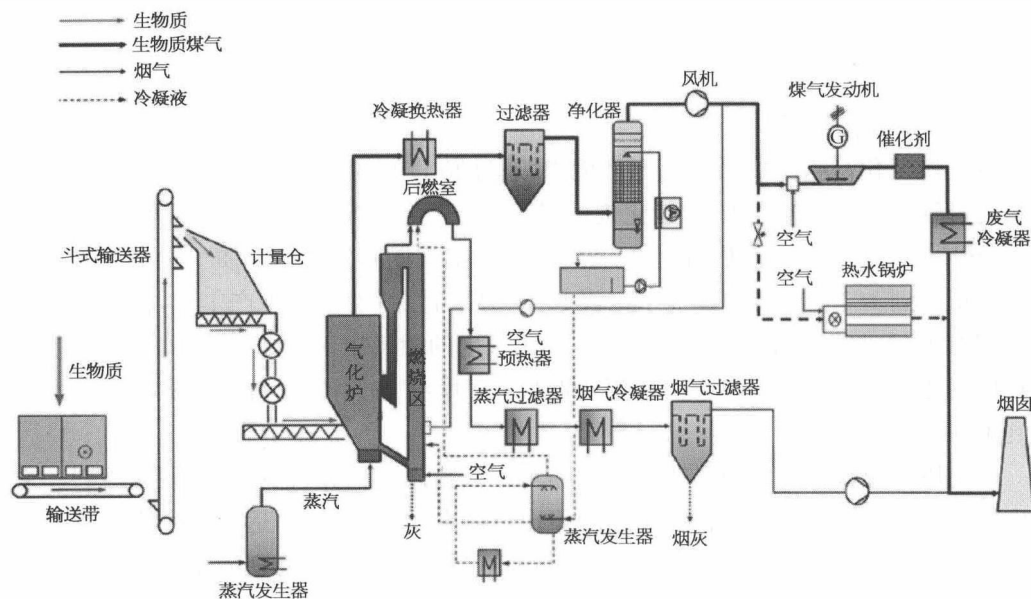


图 1-4 生物质气化热电联产系统工艺流程

1.2.3 生物产氢技术

氢能作为一种最为清洁的能源受到了人类特别的钟爱。人们已将未来世界经济的发展与氢能的开发利用联系在了一起,并据此提出了“氢经济”的概念。美国、欧盟等都加大了向这一目标迈进的步伐。2002年10月,欧洲委员会主席普罗迪宣布欧洲计划成为21世纪第一个完全以氢为基础的超级国家联合体。2004年11月,柏林新开了一家氢气加气站。这家世界上最大的氢气加气站象征着科学和文化上的深刻变化。

美国人 Refikin 在他的著作《氢经济》一书中,将氢能定义为一种“民主能源”。在该书中他为我们描述了这样一个美好的未来世界:一个个以氢为燃料的燃料电池在计算机技术、智能数字技术和互联网接入技术的支持下,互相联结起来,这样每个终端用户不仅能够用上自己生产的电,而且能与他人共享电力,从而从根本上改变现在世界上自上而下(即从大型发电厂通过大电网到用户)的单向能源系统。在这样的一个时代,汽车自身就会变成一个“轮子上的发电厂”,在汽车不行驶的绝大部分时间里,给它插上插头,就可为住宅、办公室和主要的交互式电网供电。联想到互联网技术的发展,我们有理由相信这样的时代能够到来。要实现这样一个目标,首先是能够大规模地获取氢能。因此,有关氢能的研究成为生物能源研究的又一热点。在诸多氢气制备方法中,生物制氢以其环境友好性和资源可再生性受到了越来越多的关注。

生物制氢思路于1966年提出,在20世纪90年代受到空前重视。迄今为止生物制氢一般采用的微生物有光合菌、蓝绿藻、细菌等,其主要方法有:利用蓝绿藻生物光解水;有机化合物光合细菌光分解法;厌氧细菌、兼性厌氧细菌、好氧细菌发酵法。其中,光合细菌