

王 爽 刘馨琳 冯永强 著

藻类生物质的 热化学转化利用技术



THERMOCHEMICAL CONVERSION TECHNOLOGY OF
ALGAE BIOMASS



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

国家自然科学基金面上项目资助 (51676091)

江苏高校品牌专业建设工程项目资助

江苏省高校优秀中青年教师和校长境外研修项目资助

江苏大学青年骨干教师培养工程资助

王 爽 刘馨琳 冯永强 著

藻类生物质的 热化学转化利用技术

THERMOCHEMICAL CONVERSION TECHNOLOGY OF
ALGAE BIOMASS

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

图书在版编目(CIP)数据

藻类生物质的热化学转化利用技术 / 王爽, 刘馨琳,
冯永强著. —镇江: 江苏大学出版社, 2017. 12
ISBN 978-7-5684-0652-9

I. ①藻… II. ①王… ②刘… ③冯… III. ①藻类—
生物质—热化学—转化 IV. ①TK62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 306469 号

藻类生物质的热化学转化利用技术

Zaolei Shengwuzhi De Rehuaxue Zhuanhua Liyong Jishu

著 者/王 爽 刘馨琳 冯永强

责任编辑/郑晨晖

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/<http://press.ujs.edu.cn>

排 版/镇江华翔票证印务有限公司

印 刷/虎彩印艺股份有限公司

开 本/718 mm×1 000 mm 1/16

印 张/19.5

字 数/340 千字

版 次/2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5684-0652-9

定 价/45.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

目前能源和环境问题已经成为全球关注的焦点。随着化石能源的日益枯竭和环境恶化问题的日趋严重,开发洁净的可再生能源已经成为 21 世纪全球紧迫的问题。自然界蕴藏着一种“绿色”可再生能源——生物质能源,占世界能源总消耗的 14%,仅次于石油、煤炭和天然气。同时,生物质能也是唯一一种具有可再生碳源,可直接用于生产气液固燃料,能够代替成品油、天然气的清洁能源。全球在实现可持续生产后,使用生物燃料每年可避免 2.1 亿 t 二氧化碳排放。但实际上在某些情况下,用粮食作物等制造生物燃料不仅达不到减缓气候变化的目的,反而有可能增加温室气体排放。可见,大力发展生物质能的同时也需要处理好能源与粮食的关系。因此,开发新型的能源植物是解决能源短缺和环境污染双重危机的重要手段之一。

目前,许多国家对生物质能的研究投入了巨资,但研发主要集中于木材、农作物等陆生生物质,对水生生物质尤其藻类的利用还相对较少。全球藻类植物有一万多种,我国海岸就生长着几千种海藻,部分产量居世界首位。藻类是一种生长周期短,且不与粮食作物争地的生物质。它在生长期会净吸收碳,死亡后碳又回到大气中,保证了较短时间内的“碳中和”,相比陆生植物有很大的优势。同时,各类藻种生长季节不同,解决了生物质资源分散和受季节限制等而无法大规模应用的瓶颈问题。可见藻类生物质的利用潜力巨大,是对目前陆生生物质的一个重要补充。因此,世界各国非常重视开发研究藻类生物质,我国政府也做出了藻类能源发展的重要战略部署。2014 年 11 月 19 日,我国国务院办公厅发布了关于印发《能源发展战略行动计划(2014—2020)》的通知。计划中强调必须“积极发展能源替代”,加强先进生物质能技术攻关和示范,重点发展新一代非粮燃料乙醇和生物柴油,超前部署微藻制油技术研发和示范。由此可见,开发藻类生物质也将对生物

质能的开发和利用产生有力的推进作用。

藻类生物质的能源利用方法较多,主要有两大类:热化学转化利用和生物转化法。而热化学转化利用可以进一步分为直接燃烧、热解气化和热解液化、直接液化等。热化学转化法技术完善,控制工艺过程容易,但必须掌握生物质热化学转化机理才能针对性地采用适合的物料、工况、条件、步骤等,从而得到最佳热利用效率和高品质产品。目前研究者对木料、农作物和油料植物等生物质的热转化机理研究比较深入,而对藻类生物质的研究相对较少。因此,本书着重介绍和讲解藻类生物质的热化学转化技术方面的知识。生物生存环境的不同,导致藻类与陆上木质类生物质的成分具有很大差异。陆上生物质以木质素、纤维素等难热解成分为主,因此所需的热解条件(如温度和升温速率等)较高。而藻类含有较多的脂类、水溶性多糖和蛋白质等易热解化学组分,故热解条件更容易满足。同时藻类中不含木质素,对于制取生物油有一定优势。藻类生活环境导致其体内含氧量明显少于陆上植物,因而藻类生物油也具有含氧量少的优点。但藻类水分含量较高,同时部分藻类尤其海藻的灰分含量较高,这对于其燃烧利用提出了更高的要求。

笔者从事藻类生物质能源转化利用研究十余年,希望能够借此书与国内外同行进行交流,更希望能够为我国的生物质事业尤其是藻类生物质的发展尽微薄之力。本书共分8章,从多种热化学转化的不同角度与方式,分章节讲述了藻类生物质热转化利用方面的系统理论知识。第1章简要介绍了生物质能的特点及利用技术;第2章介绍了藻类生物质作为燃料的基本性质、工业分析、灰熔融特性分析及典型物性参数;第3章利用热分析方法系统解析了藻类生物质热解与燃烧的特征;第4章讲述了藻类生物质的燃烧与气化方面的研究进展与机理;第5章重点分析了藻类生物质的快速热裂解制取生物油的实验与产油机理;第6章介绍了水热反应技术,尤其是低脂微藻生物质的水热制取生物油的方法;第7章特别针对藻类生物质主要组分进行了快速热解研究,由组分来探究整体的热解机理;第8章结合研究热点,对目前两种主要热解生物油提质的方法——催化与共热解进行了综述与分析。刘馨琳副教授负责本书的第1章的撰写,冯永强博士负责第2章的撰写,王爽副教授负责本书其他章节的撰写及全书的统稿。

本书以笔者多年对海藻类生物质的研究成果为基础,并结合更多藻类生物质的热化学利用研究,以宽泛的视角介绍了藻类生物质热化学转化利用的诸多方面,起到了抛砖引玉、启发思维的作用,引起读者的科研兴趣,也可以为后续的研究提供思路与方法。同时本书也可以作为相关专业研究生和本科生的选修课教材和参考书。

书稿的出版离不开上海交通大学热能所与江苏大学能源与动力工程学院的诸多老师、同事和同学的支持与帮助,尤其感谢江苏大学王谦教授、何志霞教授和吉恒松副教授对研究工作与本书撰写的指导与帮助,感谢中国水产科学研究院南海水产研究所徐姍楠副研究员为研究工作提供藻样及帮助,同时也非常感谢国家自然科学基金委所提供的项目资助,部分研究成果反映在本书的相关章节中。最后诚挚感谢胡亚敏、林骁驰、纪长浩、孙超群、夏慎、曹斌、商昊、袁川和陈磊等对文献资料收集编排、文字撰写校对等工作提供的帮助。

虽然笔者力求准确地表达与反映藻类生物质热化学转化利用方面的现状与研究成果,但书中难免有不当之处,诚请相关专家批评与指正,多提宝贵意见,以便后续的改进与完善。

目 录

第1章 绪 论 / 1

- 1.1 生物质的基本定义和特点 / 2
 - 1.1.1 生物质、生物质能的定义 / 2
 - 1.1.2 陆生生物质的特点 / 3
 - 1.1.3 藻类生物质的分类与特征 / 3
- 1.2 生物质能源的特点 / 5
- 1.3 生物质利用技术及现状 / 6
 - 1.3.1 物理转化技术 / 6
 - 1.3.2 热化学转化技术 / 7
 - 1.3.3 生物化学转化技术 / 12

第2章 藻类生物质的燃料特性 / 18

- 2.1 藻类生物质的组分与元素分析 / 18
- 2.2 藻类生物质的工业分析 / 21
 - 2.2.1 工业分析概述 / 21
 - 2.2.2 固体生物质燃料工业分析 / 22
- 2.3 大型海藻的灰熔融特性分析 / 25
 - 2.3.1 灰熔融的特征温度 / 25
 - 2.3.2 固体生物质燃料灰样的制备过程 / 26
 - 2.3.3 海藻灰的熔融特性分析 / 30
 - 2.3.4 低温制灰及熔融特性分析 / 34
- 2.4 大型海藻与微藻的物性参数分析 / 36
 - 2.4.1 比热容 / 37
 - 2.4.2 发热量 / 42

第3章 藻类生物质热解与燃烧特性分析 / 48

3.1 热力学分析简介 / 48

3.1.1 热重分析 / 48

3.1.2 差示扫描量热 / 51

3.1.3 差热分析 / 52

3.2 大型海藻与微藻热解特性分析 / 53

3.2.1 大型海藻热解热重分析 / 53

3.2.2 微藻类生物质的热解特性 / 63

3.2.3 藻类生物质与陆生生物质共热解热重分析 / 65

3.3 大型海藻与微藻燃烧特性分析 / 69

3.3.1 大型海藻的燃烧热重试验 / 69

3.3.2 微藻的燃烧试验 / 79

3.3.3 藻类生物质与陆生生物质混烧过程 / 80

第4章 藻类生物质的燃烧与气化 / 91

4.1 藻类生物质燃烧特性与实验机理 / 91

4.1.1 生物质燃烧技术 / 91

4.1.2 海藻生物质燃烧 / 95

4.1.3 海藻生物质流化床燃烧的实验研究 / 95

4.1.4 海藻生物质单颗粒流化床燃烧研究 / 109

4.2 藻类生物质的气化 / 128

4.2.1 气化技术 / 128

4.2.2 海藻生物质的气化 / 129

4.2.3 气化的建模与计算 / 132

第5章 大型海藻与微藻快速热裂解制取生物油 / 141

5.1 热解制取生物油定义 / 141

5.2 热解设备 / 142

5.2.1 固定床 / 142

5.2.2 旋转锥 / 143

5.2.3 流化床 / 144

5.3 大型海藻、微藻固定床热解制油 / 144

5.3.1	热解制油的影响因素	/ 145
5.3.2	焦炭产物分析	/ 150
5.4	大型海藻、微藻快速热解生物油分析	/ 155
5.4.1	海藻生物油的元素分析	/ 157
5.4.2	海藻生物油的 GC - MS 分析	/ 159
第 6 章	藻类生物质水热制取生物油	/ 179
6.1	生物质水热转化技术	/ 179
6.1.1	水热转化技术简介	/ 179
6.1.2	水热条件下生物质转化反应	/ 180
6.2	藻类生物质的水热法液化概述	/ 183
6.2.1	藻类生物质的非催化水热液化	/ 183
6.2.2	藻类生物质催化水热液化	/ 184
6.2.3	藻类生物质水热液化溶剂的选择	/ 186
6.3	典型低脂微藻水热制油研究	/ 188
6.3.1	螺旋藻在共溶剂中直接液化	/ 190
6.3.2	反应条件对螺旋藻共溶剂液化的影响研究	/ 190
6.3.3	螺旋藻共溶剂直接液化产物分析	/ 197
6.4	条浒苔水热及热解制取生物油的比较	/ 205
6.4.1	条浒苔水热及热解三相产物的产率分析	/ 205
6.4.2	条浒苔水热及热解生物油的特性分析	/ 205
6.4.3	条浒苔水热及热解生物焦炭的特性分析	/ 208
第 7 章	基于藻类生物质主要组分的热解特性	/ 214
7.1	海藻多糖的热解特性	/ 215
7.1.1	大型海藻生物质多糖的理化特性	/ 215
7.1.2	大型海藻生物质多糖的基础热解特性	/ 219
7.1.3	大型海藻生物质多糖的 Py - GC/MS 分析	/ 224
7.1.4	海藻多糖的固定床热解研究	/ 230
7.1.5	海藻多糖的高斯量化理论计算	/ 231
7.2	脱灰预处理海藻的热解特性	/ 235
7.2.1	脱灰海藻的理化特性	/ 235

- 7.2.2 脱灰海藻的热重 - 质谱分析 / 240
- 7.3 藻类生物物质中蛋白质的热解特性分析 / 243
- 7.4 藻类生物物质中脂类物质的热解特性 / 246
- 第8章 藻类生物物质的催化热解提质与共热解 / 252
 - 8.1 分子筛类催化剂对热解产物的影响 / 252
 - 8.1.1 不同分子筛类催化剂对藻类热解产物的影响 / 253
 - 8.1.2 催化剂添加比例对热解产物的影响 / 258
 - 8.2 金属氧化物类催化藻类生物物质 / 261
 - 8.2.1 金属氧化物类催化生物物质概述 / 261
 - 8.2.2 水合 CaO 催化热解藻类生物物质 / 261
 - 8.3 共热解技术用于藻类生物物质热解 / 263
 - 8.3.1 藻类与煤的共热解 / 263
 - 8.3.2 藻类与塑料的共热解 / 265
 - 8.3.3 藻类与其他生物物质的共热解 / 267
- 附录 作者在该领域发表的代表性学术论文 / 299

绪 论

当今世界石油资源已经变得非常有限。同时,过度地使用化石燃料产生大量的二氧化碳等温室气体导致全球变暖和产生酸雨等,对地球的气候带来不可挽回的破坏。由于化石燃料的燃烧,过去 20 年全球二氧化碳排放量增加了 51%。继续使用化石燃料作为主要能源,违背了目前我国的可持续发展战略目标,因此,现在的首要任务就是必须采用其他可再生能源清洁能源来代替化石燃料。

在中国,备受关注的 3 种可再生能源(风能、太阳能和生物质能)中,风能和太阳能同样作为清洁能源,但它们在发电过程中都存在着因为间歇性而导致不能够稳定供电,而且风能和太阳能电站的运行还需要依赖生物质能作为备用能源^[1]。因此,对比以上 3 种可再生能源,生物质能具有供能更加稳定、地域条件不受限、发电量较大等优点,选择生物质能作为主要能源更加合适。

中国的生物质资源比较丰富,在这种大背景下,大力发展生物质对国家能源安全和环境改善等具有重要的战略意义。目前国内主要还是以化石能源为主,改用生物质能源不仅可以弥补化石能源短缺的问题,而且可以完善供能方式和增强能源利用安全。同时,利用生物质能还可以在很大程度上减少利用化石能源带来的大气污染等环境问题^[2]。

我国拥有非常丰富的生物质能源,合理地利用和完善生物质能资源,一方面从根本上缓解目前国内的能源紧张问题,进而改变我国的能源结构;另一方面从一定程度上提高环境质量,绿化环境。此外,大力发展生物质能还可以减少能源开支,增加能源效益等^[3]。

1.1 生物质的基本定义和特点

1.1.1 生物质、生物质能的定义

生物质指的是利用大气、水、土地等通过光合作用而产生的各种有机体。广义上生物质包括所有的植物、微生物及以植物、微生物为食物的动物及其生产的废弃物。生物质能是存在于生物质中的能量。这种能量是太阳能以化学能的形式储存在生物质中^[4]。生物质能源是仅次于煤炭、石油和天然气以外的全球第四大能源。据统计,每年生物质储存的能量为人类每年消耗石油、煤等矿物能的 20 倍以上。2009 年,瑞典就以各种形式的生物质作为能源,其总量已经超过了石油,在整体的能源使用量中,生物质能占 31.7%,而石油能仅占 30.8%^[5]。与传统化石燃料相比,生物质能主要有以下特点^[6,7]:① 储量丰富,种类繁多。生物质能广义上就是太阳能的一种表现形式,因为其最原始的能量是植物利用太阳能进行光合作用获得的。也就是说,只要有太阳光照,再经过光合作用,生物质能便可不断累积,而且存在形式多种多样,例如,农村中的秸秆、城市中的餐厨垃圾、海洋中的海藻、木材加工废弃物、动物粪便、工业废弃物、油料植物及水生植物等。② 可再生,储量巨大。根据能源机构的统计,我国理论生物质能源储量丰富,大约有 50 亿 t 标准煤,是中国目前总耗能的 4 倍左右^[8]。③ 含硫、含氮量低,对环境污染小。一般的生物质中氮和硫的含量都非常低,因此使用生物质能源可以有效降低 NO_x 和 SO_x 的排放。同时,生物质生长过程中也会吸收大量的 CO_2 ,所以又可以大大减少 CO_2 的排放^[9]。④ 容易获取。生物质能源在全球任何地区和国家容易获取,价格低廉,并且生产过程也非常简单。⑤ 利用技术门槛低。太阳能、风能、潮汐能和地热能等可再生能源的开发利用在技术上都比较复杂。但是,生物质能源的开发利用层次性比较明显,技术层面上难度比较小。除此之外,我们不但可以利用生物质能中的热能效应,比如将生物质直接燃烧^[10],而且还可将热能轻易转化成电能、化学能等高品位能源,比如将生物质气化成沼气发电等。因此,大力发展生物质能不但可以缓解当前传统石化能源紧缺的局面,还是一个变废为宝的过程,有利于改善

能源结构,减轻环境压力,促进农业经济的快速发展^[11]。所以说,生物质能不同于传统化石能源,是一种可再生、环境友好和可持续发展的新型能源。

1.1.2 陆生生物质的特点

陆生植物主要是由纤维素、半纤维素和木质素组成,其中典型的生物质为稻壳。我国是一个农业大国,据统计,2013年我国的水稻总产量就已经突破了2亿t,同时产生了另一种附属产品——稻壳。水稻的基数庞大,而稻壳要占稻谷质量的20%左右,这就导致了稻壳的质量特别大。据此计算,全国每年生产出的稻壳质量大约有4000万t,如果不合理地加以利用,这些宝贵的资源就会被直接丢弃或者燃烧,还会对环境造成二次污染。稻壳中不仅含有纤维素、半纤维素和木质素,还含有大量的二氧化硅和少量的粗蛋白、粗脂肪等,因此它的应用前景非常广泛。目前,国内部分学者对稻壳进行了大量的研究。贤建伟等^[12]在研究床料对气化过程的影响时,将石英砂和稻壳按照1:1的比例进行混合,结果表明石英砂可以提高稻壳的流化性能,加剧了焦油的裂解反应;Zhou等^[13]研究了稻壳的热解温度、升温的速度和催化剂对生物油产率的影响,结果发现在温度设为550℃时,生物油的产率最高,达到了49.91%^[14]。

此外,作为陆生生物质的秸秆也吸引了诸多学者的关注。秸秆有很多用途,既可以作为饲料、肥料,也可以作为燃料、生物基料和工业原料等。在国外,秸秆的利用技术已经非常成熟。丹麦是世界上第一个利用秸秆发电的国家,位于其首都哥本哈根以南的阿维多发电厂,每年燃烧接近15万t秸秆,满足了几十万用户的供电需求。在日本,秸秆除了可以被埋入土中作肥料外,还能够从秸秆纤维素中提取酒精燃料,并且开始向实用化方向发展。在国内,秸秆在交通能源上的利用起步较晚,但是现在也已逐渐成熟,部分企业已经成功建立小型商业化示范工程^[15]。

1.1.3 藻类生物质的分类与特征

藻类作为典型的水生生物质资源,组成成分主要有蛋白质、脂质和多糖等,其与陆生生物质差异巨大,由于它们的生长环境的不一样,藻类含水量和碱金属含量明显高于陆生生物质。除此之外,高分子物质因为在生物质

中的排布方式不同,导致生物质之间存在很大的差异。因此了解生物质的化学组成及各成分的性质是研究和开发生物质热化学转化技术和工艺的基础理论依据^[16]。

藻类是在形态和生理特征上相似的一组生物群体,主要存活在水中,并且有通过光自养代谢的能力^[17,18]。藻类的种类很多,比较常见的有红藻、绿藻、褐藻、硅藻、蓝藻等^[19]。不同的藻类具有不同比例的蛋白质、碳水化合物和脂肪等。例如,螺旋藻含有 60% ~ 71% 的蛋白质,紫球藻含有 40% ~ 57% 的碳水化合物,二形栅藻含有高达 40% 的脂质^[18]。其他一些种类的绿藻,如布鲁氏菌(*brucella melitensis*)和小球藻(*chlorella*)也有高含量的萜类化合物和甘油酯,可以作为原油转化中碳氢化合物的主要来源^[20]。藻类生物质的成分决定其可以作为生产生物柴油或生物醇的良好原料^[21]。

微藻中含有大量的蛋白质、脂质和多糖等化学成分,导致微藻易于热解,因此大部分研究都选用微藻作为生物燃料的原材料,特别是在杜氏盐藻细胞中,因为其没有细胞壁和细胞器,所以它的纤维素含量相比其他微藻更少,更易于实现热解。总的来说,相比较于木质-纤维素材料(木材),藻类作为热解原材料的优势在于以下几方面:

① 相较于树木,藻类的光合作用效率要高得多,因此藻类的生长周期较短(高等植物所需要的生长周期一般为几个月甚至更长,而藻类只需要 2 ~ 5 天就可以完成繁殖)。

② 藻类在比较恶劣的水质中也可以生长,对环境的适应能力极强,并且通过其生长前后的水质对比,发现藻类对污水起到一定的净化作用。

③ 藻类生长在水中,不占用农作物耕地面积,有利于藻类生长过程自动化控制的实现。

④ 因为藻类的主要组成部分都是容易热解的化学组分,而木材中的木质素、纤维素等组分相对于藻类来说,热解较难,因此藻类所需要的热解条件相对较低,可降低经济成本。

⑤ 某些藻类,例如小球藻、葡萄球藻和盐藻等,经过适当的繁殖后,得到的藻粉具有很高的产烃能力。

⑥ 藻类热解后所获得的生物质燃油热值比木材的热值高得多,平均热值接近 33 MJ/kg,是木材或农作物秸秆的 1.6 倍左右^[22]。

1.2 生物质能源的特点

生物质自身的组成成分和形成过程的不同使生物质能相比于普通化石燃料具有如下特点:

1. 生物质能源是可再生资源

由于生物质尤其是藻类可以用来生产可再生能源及其潜在的 CO_2 捕获潜力,因此受到越来越多的关注。藻类的培育价值也变得越来越高的,因为:① 藻类可以在非农业土地上种植,并且可以净化废水;② 藻类单位光照射面积产量较高;③ 藻类生长需要的 CO_2 和营养物质可以从废水和化石燃料燃烧中获得;④ 藻类含有高油和淀粉,可能生产高品质的生物柴油。因此,藻类的培养有助于 CO_2 固定,废水处理,还可以提供生物能源^[23]。

2. 生物质能源可以减少对环境的影响

生物质能源作为可再生资源,最大的优势就是它利用的是天然的生物资源,而生物资源在地理分布上要比化石燃料更加均匀,因此生物质能源拥有很大的独立性和安全性。利用农用残留物和废弃物作为原材料,可以最大限度地减少食物和燃料之间存在的潜在冲突,同时还可以生产生物燃料和生物农药。海藻类生物质还能进行生态修复,维护生态平衡。由木质纤维素材料生产的生物燃料产生的 SO_2 与 NO_x 也相对较低,因此还可以减少对环境的有害影响^[18]。

除此之外,在生物质能量转化的过程中,释放的二氧化碳量等于生物质在生长中固定的二氧化碳的数量,因此,在利用生物质能源过程中,没有向大气中排放二氧化碳,也就不会增加现有的温室气体的负担。用生物质能源代替工业原料和工业能源,可以减少化石燃料的使用,减少二氧化碳的净排放量,从某种程度上还能缓解全球性气候变暖^[24]。

3. 生物质能的兼容性

与其他可再生能源相比,生物质能源是唯一一种可以用来运输并且能够储存的可再生能源。它既可作为传统的一次能源直接使用,也可以在经过特定的加工转化工艺后作为二次能源使用。为了便于运输和利用,它可以转变其原有的形态,转化形式一般包括化学、物理、生物等方式^[23]。

1.3 生物质利用技术及现状

目前,生物质能源在不同领域的利用效率存在着较大差异,直接燃烧木制品、稻草、粪便及其他肥料从而获得的能量品位较低且利用效率不高,一般只能用于烹饪、照明、取暖等,这种利用方式在发展中国家和地区的贫困人群采用得比较多。为了获得高品位能源、实现高效利用,通常将生物质转化为液体、气体等二次能源,用于供热、供电、热电联产和交通运输。同样,生物质能源的高效转化技术,在纸浆、造纸、林产品、食品及化工等相关行业都有着广泛的应用^[25-27]。

此外,生物质具有能量密度低的特点,利用生物质能的关键点就是如何将其转化为高品位的能源。目前成熟并广泛应用的生物质转化技术主要包括三大类:物理转化技术、热化学转化技术及生物转化技术。根据不同的目标产物和不同的适用条件,生物质能经过转化后就会得到易于存储运输的、方便利用的清洁燃料,产物可为气、液、固三相,完全可以作为化石燃料的替代物使用^[28]。

1.3.1 物理转化技术

物理转化技术又可称为固体成型技术,它是将原本松散的、无固定形态的生物质颗粒或废弃物在一定温度或压力下压制成紧密的、有一定形状的成型燃料的新型技术,提高了其能量密度。农作物和各种碎屑生物质体积密度小,直接焚烧利用不仅造成浪费还污染大气,而物理转化技术则以成熟的工艺和工业化的生产模式使生物质变得质密且容易运输和储存,缩小占用空间,提高生物质热能利用率,改善低品位生物质的燃烧特性,所得产品可以直接作为煤炭替代使用。同时相比普通煤炭,其具有清洁卫生、少灰、燃烧旺、黑烟少等优点。物理转化技术为原本被人们大量焚烧或直接浪费掉的农林生物质的有效利用提供了一条非常有效的途径。目前国内所开发使用的生物质颗粒燃料成型技术具有省时、方便操作等特点,因此可以在原料产地就近开展推广使用^[29]。

生物质物理转化技术可以实现木质纤维素的高效利用。秸秆、谷壳、木

材等的碎屑下脚料由于体积密度小,占用空间大,直接焚烧能量密度低,能量浪费严重且污染环境。通过生物质固体成型技术,就可以采用连续的工艺和工厂化的生产方式将这些能量密度低的低品位生物质转化为易储存、易运输、能量密度高的高品位生物质燃料,从而改善燃烧性能,提高热利用效率。结合高效锅炉和焚烧炉技术为高效再利用农林废弃物、农作物秸秆等提供了一条很好的新途径^[30]。

1.3.2 热化学转化技术

热化学转化技术主要包括生物质气化、生物质液化、生物质热裂解、酯交换和生物质直接燃烧等技术。其中,生物质气化和液化是应用最普遍的两种形式,与其他技术相比,具有工业化容易实现、可连续化操作、产品品位高等特点。因此利用热转化技术转化生物质具有广阔的研究发展前景^[31]。除了木质纤维类生物质广泛用于热化学转化利用外,众多科学家已详细研究开发针对于藻类生物质的热化学转化技术。本书后面各章节重点对其进行介绍。

1.3.2.1 生物质直接燃烧技术

生物质直接燃烧技术是将生物质直接作为燃烧的原料进行燃烧的一种技术形式。目前这种技术一般在农村地区和发展中国家运用得比较多,燃烧后产生的能量主要用于集中供热或者发电。作为最先开发利用的方式,其主要特点是:

① 生物质燃烧过后的产物用途十分广泛,尤其灰渣可以综合利用。

② 将生物质与化石燃料混合燃烧,既可以减少运行成本,还能提高燃烧效率,降低 SO_x 、 NO_x 等有害气体的排放量。

③ 采用生物质燃烧设备,不仅可以大规模利用好生物质资源,还可以实现生物质资源的无害化利用;同时,设备的成本相对较低,因此合理利用和开发生物质直接燃烧技术具有良好的经济效益和开发潜力。

生物质直接燃烧是生物质在充足氧气下充分燃烧将化学能转化为热能使用的过程,一般可以分为炉灶燃烧和锅炉燃烧两种燃烧方式。炉灶燃烧的操作比较简单,并且投资成本相对较低,但是会造成很多资源的浪费,因此效率并不是很高;而锅炉燃烧采用了先进的燃烧技术和设备,可将生物质