



华夏英才基金学术文库

常建民 等 编著

林木生物质资源 与能源化利用技术



科学出版社

www.sciencep.com



华夏英才基金学术文库

林木生物质资源与能源化 利用技术

常建民等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以林木生物质资源与能源化利用技术为主线,系统介绍了林木生物质的种类、特征、资源状况、组成及物化性质,论述了国内外林木生物质能资源转化利用技术的现状及发展趋势,重点阐述了林木生物质快速热解、直接液化、气化、压缩成型、液体燃料制备、生物质胶黏剂制备、发电等现代化利用技术,并对林木生物质能源化进行了系统评价,以期为我国林木生物质能的开发利用提供有益的借鉴。

本书可供从事和关心林木生物质能领域研究的工程技术人员、科研人员、管理人员以及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

林木生物质资源与能源化利用技术/常建民等编著. —北京:科学出版社,2010

(华夏英才基金学术文库)

ISBN 978-7-03-026705-4

I. ①林… II. ①常… III. ①林木-生物资源 ②林木-生物能源-利用
IV. ①S718.4 ②TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 019478 号

责任编辑:夏 梁/责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 2 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010 年 2 月第一次印刷 印张:21

印数:1—2 000 字数:413 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

纵观历史长河，生物质能，特别是林木生物质能曾经是（对于某些地区现在仍然是）人类赖以生存的主要能源。只是在 19 世纪末 20 世纪初，随着化石能源的崛起，生物质能源在能源的舞台上由主角逐步演变为配角。1973 年世界石油危机的出现，又重新唤醒了人们对生物质能源的美好回忆，从仿佛被遗忘的角落再次成为世界关注的热点。三十多年来，林木生物质能源的开发利用蓬勃发展、方兴未艾，取得了前所未有的显著成绩，与其他可再生能源（主要是风能、太阳能等）携手，成为化石能源必不可少的补充和伙伴。

与传统的靠天赐予、简单粗放的生物质能源利用模式相比，当今林木生物质能的利用，无论从育种、种植、经营和开发，还是高效合理的利用方式，无不体现着高科技、大规模、集约化的现代化烙印。与其他生物质相比，林木生物质具有资源丰富、品种繁多、能量密度大、易于运输储存以及可定向培育等特点，开发潜力巨大。

本书以林木生物质资源与能源化利用为主线，在全面综合国内外相关研究资料基础上，根据编著者多年的研究成果和实践经验，系统介绍了林木生物质的种类、特征、资源状况、组成及物化性质，论述了国内外林木生物质能源化的现状及发展趋势，重点阐述了林木生物质快速热解、直接液化、气化、压缩成型、液体燃料制备、生物质胶黏剂制备、发电等现代化利用技术，并介绍了林木生物质能源化技术经济评价方法。需要说明的是，对于应用历史较长、比较成熟的利用技术（如林木生物质直接燃烧技术和沼气技术等）本书未有过多涉及。

本书取材新颖、特色鲜明、重点突出、深浅适度，对林木生物质资源和转化利用技术进行了比较完整和深入的讨论，反映了国内外最新的研究进展。希望可为从事和关心林木生物质能领域研究的工程技术人员、科研人员、管理人员以及高等院校相关专业师生提供一些有益的帮助和参考。

本书由北京林业大学常建民教授等编著。其中常建民、陈天全、司慧负责第一章、第二章、第三章、第四章，任学勇负责第五章，王鹏起、常建民负责第六章，王鹏起负责第七章、第八章，张立塔负责第九章，范东斌负责第十章、第十一章，苟进胜、常建民负责第十二章，全书由常建民教授润色和统稿，部分章节由任学勇进行文字编辑。

特别感谢华夏英才基金对本书出版的大力支持。本书中的部分内容来源于国家引进国际先进农业（含农、林、水）科学技术计划项目（“948”项目）“木材剩余物真空快速热解及热解油制胶技术”、国家林业局重点项目“木材快速热解

产物高效利用研究”、国家“十一五”科技支撑项目“农林剩余物快速热解油制备刨花板用酚醛树脂胶技术”、教育部高等学校博士学科点专项科研基金“木材快速热解过程热解气组分分布与释放规律研究”、国家自然科学基金“木材快速热裂解液化酚类物质形成机制与调控”，以及北京市哲学社会科学规划项目“北京市废弃木质材料能源化利用技术经济分析与管理政策研究”等的研究成果，感谢对上述课题研究提供资助的各政府部门以及参与课题研究的相关人员。

感谢李瑞副教授和我的研究生何明明、许守强、夏碧华、韩彦雪、王雨、孙鑫等在资料收集、整理及绘图方面的帮助。

感谢科学出版社生物分社夏梁编辑的支持和帮助。

在本书的编写过程中，参考了许多国内外相关资料，在参考文献中已经尽力列出，如有遗漏，衷心地希望读者能够予以指出。这里特别要说明，引用的个别树木图片由网上下载，难以找到原出处。在此一并向被引用参考资料的各位作者表示诚挚的谢意。

由于编著者水平所限，书中难免存在不足之处，一些观点和提法不一定准确，可能出现“挂一漏万”的现象，敬请读者谅解并批评指正。

编著者

2009年12月

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 生物质能定义、特征及种类	1
第二节 林木生物质能资源的种类、特征和开发潜力	4
第三节 林木生物质资源能源化利用技术简介	9
第二章 中国林木生物质能资源	14
第一节 林木废弃物	16
第二节 木质能源林	20
第三节 油料能源林	62
第三章 林木生物质的组成与性质	76
第一节 林木生物质的化学组成	76
第二节 林木生物质元素分析	90
第三节 林木生物质工业分析	93
第四节 林木生物质的物理性质	99
第五节 林木生物质的热化学性质	102
第四章 林木生物质能源化利用状况及发展趋势	109
第一节 概述	109
第二节 国外生物质能源发展目标和促进政策	111
第三节 国外林木生物质能源化利用状况及趋势	123
第四节 中国林木生物质能源化利用状况	134
第五节 国际能源利用公约中有关林木生物质能利用的设想规划简介	158
第五章 林木生物质直接液化技术	161
第一节 概述	161
第二节 直接液化机理	167
第三节 直接液化的影响因素	170
第四节 林木生物质直接液化典型技术	173
第五节 液化产物的应用	176
第六章 林木生物质快速热解技术	180
第一节 概述	180
第二节 林木生物质快速热解研究现状及发展趋势	185
第三节 快速热解反应机理及动力学	188

第四节	林木生物质快速热解的影响因素·····	192
第五节	林木生物质快速热解典型设备简介·····	194
第六节	快速热解评价指标·····	202
第七节	快速热解产物应用·····	203
第七章	林木生物质气化技术·····	207
第一节	概述·····	207
第二节	林木生物质气化原理·····	209
第三节	林木生物质气化类型、气化设备与工作原理·····	212
第四节	林木生物质气化评价指标和影响因素·····	218
第五节	林木生物质气化的应用·····	222
第八章	林木生物质压缩成型技术·····	224
第一节	概述·····	224
第二节	林木生物质压缩成型原理及影响因素·····	225
第三节	林木生物质压缩成型工艺和技术·····	229
第四节	林木生物质压缩成型燃料的理化特性·····	234
第五节	林木生物质压缩成型燃料的燃烧特性·····	236
第九章	林木生物质液体燃料制备技术·····	239
第一节	油料林木制备生物柴油技术·····	239
第二节	木质纤维制备燃料乙醇技术·····	251
第三节	快速热解生物油精制制备液体燃料技术·····	262
第十章	林木生物质发电技术·····	268
第一节	直接燃烧发电·····	268
第二节	气化发电·····	271
第十一章	林木生物质胶黏剂制备技术·····	280
第一节	人造板用林木生物质胶黏剂国内外研究概况·····	280
第二节	单宁胶黏剂·····	284
第三节	木质素-酚醛树脂胶黏剂·····	288
第四节	林木生物质苯酚液化产物胶黏剂·····	290
第五节	林木生物质快速热解生物油-酚醛树脂胶黏剂·····	293
第十二章	林木生物质能源系统评价·····	300
第一节	林木生物质能源系统评价内容和方法·····	300
第二节	林木生物质能源系统评价实例·····	310
第三节	林木生物质能源系统综合评价·····	321
参考文献	·····	323

第一章 概 论

第一节 生物质能定义、特征及种类

一、生物质能定义

生物质 (biomass) 是指由光合作用所产生的各种生物有机体的总称, 它包括水生、陆生生物中的动植物和微生物以及由其派生、排泄和代谢的多种有机质, 如农作物、林产物、海产物、农林剩余物、牲畜粪便、纸浆废物、可生物降解的城市垃圾和污水等。

林木生物质 (forestry biomass) 是指直接来源于森林的能源林木材、果实或液体和间接来源于森林的林木废弃物。包括利用自身木质成分直接作为燃料或通过转化 (化学转化和物理转化) 获得高品质燃料的木质燃料能源林 (乔木林和灌木林), 利用其果实加工或自身直接产生生物油的木本油料林, 经济林、生态林、绿化林和用材林的抚育间伐材, 林业 “三剩物” (森林采伐剩余物、制材剩余物和木材加工剩余物), 林副产品废弃物 (果壳、果核等), 木制品废弃物等。

生物质能 (biomass energy) 是太阳能以化学能形式储存在生物中的一种能量形式, 一种以生物质为载体的能量, 它直接或间接地来源于植物的光合作用。

生物质能源 (biomass energy resource) 是指直接或间接来源于生物质的能源。在三大可再生自然能源中, 生物质能源是唯一可替代化石能源转化成燃料和化工原料、产品的碳资源。

地球上从森林到海洋存在着数量巨大的生物质, 陆地地面以上总的生物质量约为 1.8 兆 t, 海洋中约 40 亿 t, 土壤中存在的生物质量基本与陆地地面以上的相当。陆地地面以上总的生物质量换算成能量约为 33 000 EJ (即 3.3×10^{22} J), 是世界能源年消耗量的 80 倍以上。此外, 在光合作用下新的生物质还在不断产生。生物质的年净生产量, 陆地地面以上约为 1150 亿 t, 海洋为 550 亿 t, 其总量换算成能量接近世界能源年消耗量的 10 倍。可见, 生物质能是仅次于煤炭、石油、天然气的第四大能源, 是巨大的能源宝库。

生物质能是人类最古老的能源, 它一直是人类赖以生存的重要能源之一, 在世界能源消耗中, 生物质能约占总能耗的 14%, 但在一些发展中国家占 40% 以上。19 世纪以前, 人类主要以生物质, 特别是林木生物质作为能源。进入 20 世纪, 煤炭和石油成为能源的主角。21 世纪的今天, 在石化能源逐渐短缺和环境污染的双重压力下, 生物质能的利用重新引起人类社会的高度关注。

二、生物质能特征

(1) 可再生性 (renewable): 它是在光和水作用下可以再生的唯一有机资源。但是, 如果利用量超过其再生量 (生长量、固定量), 就会造成资源枯竭, 所以可再生的前提是通过种植林木等措施填补消耗的部分。

(2) 可储存性与替代性 (storable and substitutive): 因为它是有机资源, 所以对于原料本身或其液体或气体燃料产品进行储存是可能的, 可运用于已有的石油、煤炭动力系统之中。

(3) 储量巨大 (abundant): 由于生物质资源的年生长量十分巨大, 相当于全世界一次性能源的 7~8 倍, 实际可以利用的量按该数据的 10% 推算, 可以满足能量供给的要求。

(4) 碳平衡 (carbon neutral): 生物质燃烧释放出来的 CO_2 可以在再生时重新被固定和吸收, 所以不会破坏地球的 CO_2 平衡。由于生物质的生命周期是一个封闭的碳循环, 其用作原料和能源有助于减轻温室效应, 缓解全球性气候变暖。因此, 作为减轻气候变暖的对策, 近年来, 政府间气候变化委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)、联合国气候变化框架公约缔约国大会 (Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC-COP, 简称 COP) 提倡大量利用生物质能源。

另外, 生物质是石化原料良好的替代品。生物质可被分解成多种结构的材料, 所提供的具有多种结构特性的新材料可用于开发新的合成过程。与传统石油原料相比, 生物质导出的结构单元具有更复杂的结构。将该结构复杂性转换至最终产品, 则可减少副产品的生成及废物的产生。化学工业若大量地使用生物质作原料, 可减少其对石油等不可再生资源的依赖, 从而降低因石油供给等带来的影响。

但是, 生物质作为化工原料与能源亦有一定的限制。

(1) 生物质的生长需要大量的土地与空间。如果大规模利用生物质作燃料或化工原料, 将需要更多的土地和生长空间, 这为生物质的利用带来了一定的限制。

(2) 生物质的季节生长性。生物质的生长具有季节性, 而能源需求和化工生产则是连续的、天天进行的过程。因此, 是否能在一年四季里获得足够的、相同质量的生物质成为生物质利用的又一限制。

(3) 生物质的分布分散, 能量密度低, 收集运输和预处理过程 (如粉碎和干燥等) 费用高。

(4) 生物质的水分含量大, 直接燃烧时水分的大量存在影响着火和燃烧的稳定性, 同时造成大量的能量损失。另外在转化为燃料时可能导致产品中含水率

高，引起燃料储存问题。

(5) 单位质量生物质的热值低，要求能量转化设备有足够的空间投入原料。

三、生物质能资源种类

自然界生物质种类繁多，资源极其丰富，但只有能够适于作为能源的生物质才属于生物质能资源。其基本条件是资源的可获得性和可利用性，主要包括能量密度、集中利用的难易、转化效率等。在一些国家，将适于作为能源的生物质资源分为一次生物质（primary biomass）和二次生物质（secondary biomass）。一次生物质是指可以直接或经转化产生能量的速生植物的生物质。二次生物质是指产生纤维、食品和其他农副产品后剩下的生物质残渣，或畜牧业和食品加工业经机械加工而不是化学处理产生的生物质副产品。按照来源可分为五大类：林木生物质资源、农业生物质资源、生活污水和工业有机废水、城市有机固体废物和畜禽粪便。

林木生物质资源：包括各种油料能源林（如油桐、麻疯树、乌桕、油翅果、文冠果、黄连木、棕榈等油料树种）、薪炭林、灌木林、经济林、用材林、森林抚育、间伐和采运过程中的枝丫、树根等；木材加工过程中的锯末、木屑、梢头、板皮和截头等；废弃木质材料、木质家具和人造板；林业副产品的废弃物，如果壳和果核等。

农业生物质资源：是指农业作物（包括能源作物）；农业生产过程中的废弃物，如农作物秸秆（玉米秸、高粱秸、麦秸、稻草、豆秸和棉秆等）；农业加工业的废弃物，如农业生产过程中剩余的稻壳等。

生活污水和工业有机废水：生活污水主要由城镇居民生活、商业和服务业的各种排水组成，如冷却水、洗浴排水、盥洗排水、洗衣排水、厨房排水、粪便污水等。工业有机废水主要是酒精、酿酒、制糖、食品、制药、造纸及屠宰等行业生产过程中排出的废水等，其中都富含有机物。

城市有机固体废物：主要是由城镇居民生活垃圾，商业、服务业垃圾和少量建筑业垃圾等固体废物构成。其组成成分比较复杂，受当地居民的平均生活水平、能源消费结构、城镇建设、自然条件、传统习惯以及季节变化等因素影响。

畜禽粪便：是畜禽排泄物的总称，包括畜禽排出的粪便、尿液及其与垫草的混合物，它是其他形态生物质（主要是粮食、农作物秸秆和牧草等）的转化产物。

我国具有丰富的生物质能资源，主要来自于农林资源。根据资料介绍，目前我国年可获得生物质资源量达到 3.14 亿 tce，其中秸秆和薪材分别占 54% 和 36%，见表 1.1。

表 1.1 我国主要生物质能资源

品种	资源总量/亿 t	可获得量	可获得量/万 tce	比例/%
工业有机废水、废渣	25.94	107.5 亿 m ³ (工业沼气)	920	3
禽畜粪便	14.70	130 亿 m ³ (农业沼气)	930	3
秸秆及农业加工剩余物	7.20	3.6 亿 t	17 000	54
薪材及林业加工剩余物	2.00	2.0 亿 t	11 400	36
城市生活垃圾	1.49	0.6 亿 t	800	3
能源植物	0.56(甜高粱秆)	0.035(乙醇)亿 t	300	1
合计			31 350	100

第二节 林木生物质能资源的种类、特征和开发潜力

一、林木生物质能资源的种类

林木生物质能资源的种类较多。按照其可利用的物质可分为两大类：木质纤维生物质资源和油料生物质资源。木质纤维生物质资源包括：薪炭林、经济林、用材林、灌木林、森林抚育、间伐和采运过程中的枝叶、树叶等；木材加工过程中的锯末、木屑、梢头、板皮和截头等；废弃木质建筑材料、木质家具和人造板；林业副产品的废弃物，如果壳和果核等。油料生物质资源包括：油桐、麻疯树、乌桕、油翅果、文冠果、黄连木、棕榈等油料树种。

按照生长型和非生长型可分为木质类能源林、油料类能源林和木质废弃物三类，见图 1.1。

二、林木生物质能资源的特征

与其他生物质能资源相比，林木生物质能资源有着更加突出的优点，如分布广、产量高、易生产、易储藏、使用安全等。

(一) 能量密度高、收集和运输方便

林木含能密度高，是实现大规模能源化的理想生物资源。

与秸秆相比，其具有“三高一低”的特性（高热值、高灰熔点、高集合度、低有害物），显示了在生物质能源领域独特的竞争优势和发展潜力。虽然秸秆可以通过液化、气化技术提高其能量品质，但是由于秸秆能量密度低（如稻麦秸秆的能量密度和单位土地面积的产能量分别只有杨木的 80% 和 50%）、收集和运输困难，并且秸秆的大规模能源化有可能会使其价格提高，这些都有可能造成秸秆高品质能源化生产成本过高，难以取得理想的经济效益。而林木能量密度远高于秸秆，特别是通过定向培育还可只进一步增加其能量密度，使其更加有利于大规

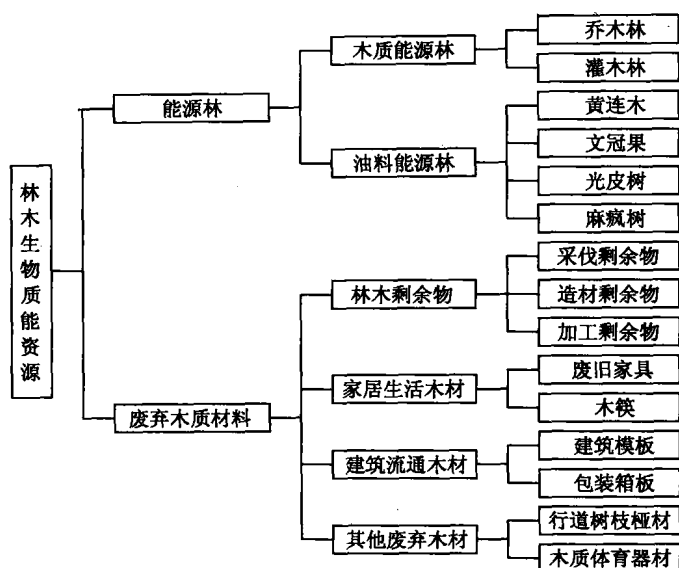


图 1.1 林木生物质能资源的种类

模能源化利用。

(二) 可以定向培育

可以定向培育能源树种，使其具有如下特点：①高抗胁迫性，可种植于非农业用地，包括边际土壤和盐碱荒地；②广适应性，可在大范围不同生态气候环境下形成规模生产；③高产能蓄能，单位面积能源生产效率高，尤其是在极限土壤和恶劣生态气候环境下继续保持高的产能蓄能；④高液体燃料转化率，以减少加工步骤，降低加工成本。

(三) 不与人争粮，不与粮争地

从世界目前粮食生产和供给现状来看，任何一个国家发展生物质能源都应当坚持“不与粮争地、不与人争粮、不与畜争料”的原则。可以利用不宜于农田的荒山荒地、沙漠种植能源植物。

目前，我国尚有 5400 多万公顷宜林荒山荒地，可拿出一部分发展能源林，可以种植油桐、麻疯树、黄连木、乌桕等木本油料植物，也可以种植甜高粱、甘蔗等非粮食作物作为生物质能源的原料；此外还有大量的盐碱地、沙地、矿山、油田复垦地，初步估计有近 1 亿 hm^2 ，这些不适宜农业生产的边缘土地大都适宜种植特定能源树种；如在盐碱地上可种植沙柳，在沙地上可栽植能多次平茬利用的柠条、沙柳、沙棘等灌木。这些边缘的土地资源，经过开发和改良，可以变成发展林木生物质能源的绿色“大油田”、“大煤矿”，满足我国未来经济发展对能

源的需要。

(四) 原料成本低, 可持续利用

林业生物质能资源大多利用林木果实和平茬(采伐)林木生物量, 一次种植后可持续利用数十年, 期间生长着的林木还正常发挥着生态功能, 保护着生态环境。同时, 林业生物质资源培育成林后, 不用每年重新种植, 可降低原料成本, 从发展的角度看, 能够有效提高林业生物质能源开发利用的经济性。

(五) 可加速造林绿化进程, 提高森林质量

在荒山荒地、沙区、盐碱地等立地较差地区, 培育具有较好外部经济性的能源林, 增强这些地区造林绿化的原动力, 可以有效促进植被恢复, 加快荒山荒沙绿化, 提高森林覆盖率; 同时, 通过利用林业“三剩”物和森林抚育间伐物发展林业生物质能源, 可以有效拉动中幼龄林抚育, 提高森林资源利用效率和森林质量。

(六) 二氧化碳吸收与减排的有效途径

开发利用林业生物质能源具有很好的减少碳排放的功能, 是降低碳排放的重要渠道。《京都议定书》中充分肯定了林业造林再造林的贮碳增汇作用。

(七) 森林蓄能量大

森林是最大的太阳能“接收器”, 只要有太阳存在, 它就永远可以再生, 森林能源的潜力是巨大的。据研究, 现在全世界年能耗量仅相当于年光合作用固化太阳能的 1/10。地球表面生物质现存量相当于已探明的矿物能源埋藏量。

三、我国林木生物质能资源的开发潜力

我国开发林木生物质能资源优势显著, 潜力巨大。

(一) 资源丰富

林业生物质能的种类和可获得资源量, 根据调查和分析测算列于表 1.2。

表 1.2 中国森林资源类型以及生物量测算表

林木质资源类型	蓄积/面积	总生物量/亿 t	可获得生物量/(亿 t·a ⁻¹)
森林	124.6 亿 m ³ /14 200 万 hm ²	153~166	6~7(用材、防护、特有和能源林)
成熟、过熟林	27.4 亿 m ³ /1470 万 hm ²	36~40	3~3.5(采伐剩物和死木清理)
近成熟林	50 亿 m ³ /3540 万 hm ²	62~66	1.8~2(抚育修枝)
中龄林	34.3 亿 m ³ /4430 万 hm ²	40~42	1~1.2(抚育间伐)
幼龄	12.9 亿 m ³ /4760 万 hm ²	15~18	0.2~0.3(抚育)

续表

林木质资源类型	蓄积/面积	总生物量/亿 t	可获得生物量/(亿 t·a ⁻¹)
各种林地	3300 万 hm ²	9~12	0.4~0.8
经济林	2140 万 hm ²	6~7	0.1~0.2(修剪)
竹林	500 万 hm ²	1~2	0.1~0.2(剩余物)
四旁、散生、疏林	660 万 hm ²	2~3	0.2~0.4(抚育修枝等)
灌木林	4530 万 hm ²	3~4	0.8~1(隔年轮平茬)
其他		15~18	0.8~1.2
林下灌丛		8~9	0.4~0.5
苗圃苗木		3~4	0.2~0.3(秸秆)
城市绿化、绿篱		4~5	0.2~0.3(抚育修剪等)

根据第六次全国森林资源清查结果,结合应用陆地生态系统生物量计算模式推算和样点实地调研验证的多种方式测算表明:目前我国林木生物质资源总量(地上部分)在 180 亿 t 以上。根据测算,可获得的林木生物质资源种类为:薪炭林、森林抚育间伐、灌木林平茬复壮、苗木秸秆、经济林和城市绿化修枝、油料树种果实和林木剩余物(采伐剩余物、造材剩余物和加工剩余物)等,总量约 8 亿~10 亿 t。其中,可作为能源利用的生物量为 3 亿 t 以上,可替代 2 亿 t 标准煤。目前,全国还有 5700 万 hm² 宜林地和荒沙荒地,还有 1 亿 hm² 不适宜发展农业的边际土地资源,发展林木生物质能源潜力巨大。

1. 薪炭林原料资源丰富

中国现有 300 多万公顷薪炭林,每年可获得约 0.8 亿~1 亿 t 高燃烧值的生物量;全国灌木林地总面积 4500 多万公顷。灌木都有平茬特点,3~5 年就需要收割一次,收割下来的生物量是很好的木质燃料。目前,中国北方有大面积的灌木林亟待利用。此外,由于这些年来造林绿化的快速发展,全国已形成大约 7000 多万公顷的中幼龄林,如正常抚育间伐,按照每公顷抚育出材量 1.5m³ 计算,可提供相当数量的生物质能源原料;同时,林区木材采伐、加工剩余物、城市街道绿化修枝也能提供可观的生物质能源原料。

2. 木本油料林种类繁多

中国现有木本油料林总面积超过 600 多万公顷,油料树种的果实年产量在 200 多万吨以上,不少是开发生物柴油等林木生物质能源的原料。如麻疯树(*Jatropha curcas* L.),分布在我国四川、云南、贵州、广西等地,其果实平均含油率 40% 以上,5 年生每亩^①果实产量达 500kg,可产生生物柴油 150kg 以上,

① 1 亩≈666.7m²

四川省已有少量开发利用。目前,麻疯树除野生分布外,四川、云南已人工栽培 30 多万亩。黄连木 (*Pistacia chinensis*), 野生分布范围很广, 面积约 100 多万亩, 其果实平均含油率 25% (种子达 40%) 以上, 2.5t 黄连木种子可生产 1t 燃油; 油桐 (*Vernicia fordii*), 现在中国约有 1450 万亩, 但利用率尚不到 1/5。

(二) 资源集中

根据我国各地的自然、经济、人口和社会发展因素综合分析, 东北及内蒙古林区、华北和中原地区、南方林区和华南热带地区是林木生物质能源集中分布区和可利用的优先区域。比如在内蒙古兴安盟和浙江宁波市林区, 若建立一个 5 万 kW 林木生物质能源热电厂, 每年需林木生物质资源 30 万 t, 其周边半径 20~30km 范围内的林木生物质原料便能满足供给量。在内蒙古通辽市和吉林白城地区, 其电厂周边半径 40~50km 范围内的林木生物质原料便能满足供给量。

(三) 投资小, 符合我国国情

研究表明, 由于林木生物质能源产业从资源培育、资源收集、成型产品加工到燃烧利用的各个环节资金密集度不高, 基本上属于劳动密集型产业, 资本有机构成较低, 初期投资不大, 而成本的比重较大, 符合我国劳动力丰富但资本不足的基本国情, 有利于吸引社会资本向林木生物质产业流动。就目前而言, 化石能源特别是我国煤炭的价格及其走势直接影响着林木生物质能源产业资源积聚能力, 其互动关系及影响强弱的变化是非线性的。但总的来说, 林木生物质能源产业资源积聚能力与化石能源价格成正向变化关系, 总的趋势是化石能源价格必然越来越高, 使林木生物质能源产业资源积聚能力越来越强, 从而推动林木生物质能源产业规模日益增长。

(四) 能源林培育基地广阔

按林业区划类型区的自然、经济、人口和社会发展因素分析, 东北及内蒙古林区、华北和中原地区、南方林区和华南热带地区是木质和油料能源林培育的优先区域, 可以营造相思、铁刀木、桉木、大叶栎、枫香、柳树、杨树、丛桦、胡枝子、沙柳、柽柳、沙棘、柠条等乔灌木树种, 发展乔灌木混交的木质能源林, 或营造油桐、麻疯树、乌桕、油翅果、文冠果、黄连木、棕榈等油料树种能源林。北方和西北干旱、半干旱地区水分条件好的地区是培育灌木能源林的主要区域, 可营造沙柳、柽柳、沙棘、柠条等灌木树种, 发展以灌木为主的木质能源林。

我国林木生物质能源资源培育的宏观条件优越, 各地有比较成熟的能源林培育模式和方法, 能源林树种类型多、生物量大, 可利用量将成倍增长。

第三节 林木生物质资源能源化利用技术简介

一、林木生物质能转化方法

新鲜生物质含有大量的水分与氧元素，体积大、热值低，不适于作为燃料或化工原料使用，因此需要将其转化成含氧少、热值高、多用途的生物质燃料及化工原料，如燃气、成型固体燃料、快速热解生物油、生物柴油等。由于不同生物质能资源在物理化学方面存在差异，因此转化途径各不相同，除人畜粪便的厌氧处理以及油料与含糖作物的直接提取外，多数生物质能的转化可概括为物理、化学和生物三大类转换技术，生物质能转换技术、产品及用途见图 1.2。

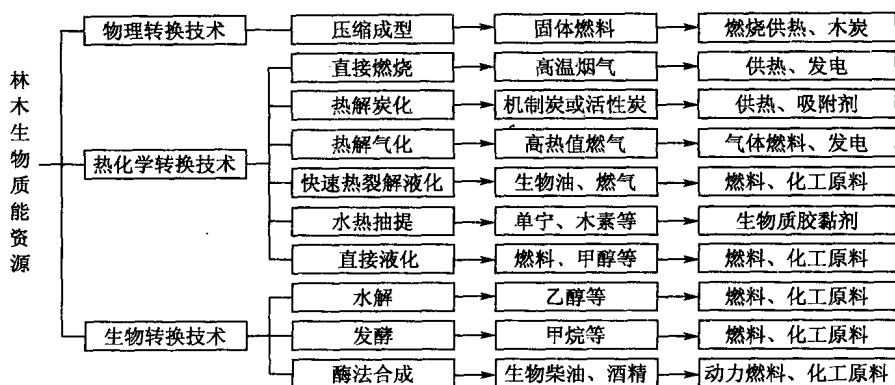


图 1.2 林木生物质能转化利用技术、产品、用途

(一) 物理转换技术

物理转换技术主要是指生物质原料压缩成型技术。将松散的林木剩余物进行粉碎烘干分级处理，放入成型挤压机，在一定的温度和压力下形成较高密度的固体燃料。与松散物料相比，木质固体燃料具有运输费用低、燃烧设备的有效容积燃烧强度高、转换利用的热效率高等优点。日本于 1948 年申报了利用木屑为原料生产棒状成型燃料的第一个专利，并且实现了棒状成型机的商品化；20 世纪 70 年代初，美国研究开发了内压滚筒式颗粒成型机，并在国内形成大量生产，年生产颗粒成型燃料达 80 万 t 以上。日本、瑞士、瑞典等发达国家也先后研究开发了颗粒压缩成型燃料技术，主要作为家用燃料和工业发电的原料。中国的成型燃料生产始于 20 世纪 80 年代，现在已经开发的技术主要是棒状和颗粒状成型燃料，比较成熟的技术是棒状及其炭化成型炭，产品出口到日本、韩国等地。颗粒成型燃料技术和设备的研究开发也已经引起了人们的重视，但是技术还需要进一步完善。

(二) 化学转换技术

林木生物质化学转换可分为化学溶剂转换和热化学转换。热化学转换法包括直接燃烧、干馏、高压液化、快速热解、高温气化等方法,可获得木炭、生物油和可燃气体等高品质的能源产品。

1. 直接燃烧技术

直接燃烧大致可分为炉灶燃烧、锅炉燃烧、垃圾焚烧和固型燃料燃烧四种情况。炉灶燃烧是最原始的利用方法,一般适用于农村或山区分散独立的家庭用炉,它的投资最省,但效率最低,燃烧效率在 15%~20% 左右。锅炉燃烧采用了现代化的锅炉技术,适用于大规模利用生物质,它的主要优点是效率高,并且可实现工业化生产;主要缺点是投资高,而且不适于分散的小规模利用,生物质必须相对比较集中才能采用此技术。垃圾焚烧也是采用锅炉技术处理垃圾,但由于要求技术更高,投资更大,从能量利用的角度,它也必须规模较大才比较合理。固型燃料燃烧是把生物质固化成型后再采用传统的燃煤设备燃用,主要优点是采用的热力设备是传统的定形产品,不必经过特殊的设计或处理;主要缺点是运行成本高,所以它比较适合企业对原有设备进行技术改造时,在不重复投资的前提下,以生物质代替煤,达到节能的目的,或应用于对污染要求特别严格的场所,如饭店烧烤等。

2. 热解

生物质热解是指生物质在没有氧化剂(空气、氧气等)存在或只提供有限氧的条件下,通过热化学反应将生物质大分子物质(木质素、纤维素和半纤维素)分解成较小分子的燃料物质(固态炭、可燃气体、生物油)的热化学转化技术方法。生物质热解的燃料能源转化率达 95.5%,可最大限度地 将生物质能转化为能源产品。

根据热解过程的温度变化和生成产物的情况等,热解反应基本过程可以分为干燥阶段、预热解阶段、固体分解阶段和煅烧阶段。干燥阶段(温度为 120~150℃)将生物质中的水分进行蒸发,物料的 化学组成几乎不变;预热解阶段(温度为 150~275℃)物料的热反应比较明显,化学组分开始变化,生物质中的不稳定成分如半纤维素分解成二氧化碳、一氧化碳和少量乙酸等物质;上述两个阶段均为吸热反应阶段。固体分解阶段(温度为 275~475℃)是热解的主要阶段,物料发生了各种复杂的物理、化学反应,产生大量的分解产物。生成的液体产物中含有乙酸、热解油,气体产物中有 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2 等,可燃成分含量增加,固体产物主要是固态炭,这个阶段要放出大量的热;煅烧阶段(温度为 450~500℃),生物质依靠外部供给的热量进行木炭的燃烧,使木炭中的挥发物