

生物质气化技术 及其应用

● 马隆龙 吴创之 孙 立 编著



化学工业出版社

生物质气化技术及其应用

马隆龙 吴创之 孙立 编著

化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

生物质气化技术及其应用/马隆龙, 吴创之, 孙立
编著. —北京: 化学工业出版社, 2003. 4
ISBN 7-5025-4434-8

I. 生… II. ①马… ②吴… ③孙… III. 生物能
源-气化-技术 IV. TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 029488 号

生物质气化技术及其应用

马隆龙 吴创之 孙立 编著

责任编辑: 戴燕红

文字编辑: 李瑾

责任校对: 洪雅姝 崔世芳

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 8 字数 171 千字

2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4434-8/TQ·1716

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

生物质能源是人类利用最早、最多、最直接的能源，在 18 世纪大规模地利用煤燃料以前，人类主要依靠木材做燃料。至今，世界上仍有 15 亿以上的人口以生物质作为生活能源。生物质能包括植物、动物排泄物、垃圾及有机废水等。从广义上讲，生物质能是植物通过光合作用生成的有机物，它的最初来源是太阳能，所以它是太阳能的一种，同时也是可再生的。由于生物质能的载体是有机物，所以这种能源是以实物的形式存在的，是惟一一种可储存和可运输的可再生能源。同时，从化学角度来看，生物质的组成是 C—H 化合物，它与常规的矿物能源如石油、煤等是同类（煤和石油都是生物质经过长期转换而来的），所以它的特性和利用方式与矿物燃料有很大的相似性，可以充分利用已经发展起来的常规能源技术来开发利用生物质能。

生物质所蕴藏的能量是相当惊人的，根据生物学家估算，地球上每年生长的生物质能总量约 1400~1800 亿吨（干重），相当于目前世界总能耗的 10 倍。我国的生物质能也极为丰富，例如现在每年的秸秆量约 6.5 亿吨，到 2010 年将达到 7.26 亿吨，相当于 5 亿吨标煤。柴薪和林业废弃物数量也很大，林业废弃物（不包括炭薪林），每年约达 3700m^3 ，相当于 2000 万吨标煤。如果考虑日益增多的城市垃圾和生活污水，禽畜粪便等其他生物质资源，我国每年的生物质资源达 6 亿吨标煤以

上，扣除了一部分做饲料和其他原料，可开发为能源的生物质资源达 3 亿多吨标煤，而随着农业和林业的发展，特别是随着速生炭薪林的开发推广，我国的生物质资源将越来越多，有非常大的开发和利用潜力。

从环境效益上看，利用生物质可以实现 CO_2 的零排放，从根本上解决能源消耗带来的温室效应问题。随着全球环境问题的日益严重，发达国家主要关心的是生物质能对减少 CO_2 排放上的作用，加上发展速生能源作物有利于改善生态环境，不会遗留有害物质或改变自然界的生态平衡，对今后人类的长远发展和生存环境有重要意义，所以国际上先进国家大都把生物质能利用技术作为一种重要的能源技术来发展，对生物质能的研究越来越重视。

生物质燃烧是传统的利用方式，但是热效率低下，而且劳动强度大，污染严重。通过生物质能转换技术可以高效地利用生物质能源，生产各种清洁燃料，替代煤炭、石油和天然气等燃料；还可用来生产电力，减少对矿物能源的依赖，保护国家能源资源，减轻能源消费给环境造成的污染。专家认为，生物质能源将成为未来持续能源的重要组成部分，到 2015 年，全球总能耗将有 40% 来自生物质能源。目前，世界各国在调整本国能源发展战略中，已把高效利用生物质能摆在技术开发的一个重要地位，作为能源利用中的重要课题。目前欧洲生物质能约占总能源消费量的 2%，预计 15 年后将达到 15%。现在制定的计划要求到 2020 年，生物质燃料将代替 20% 的化石燃料。美国在此方面发展较快，目前已装机 9000MW，2002 年可再生能源研究投入占其能源领域 R&D 总投入的 1/3，预计 2015 年生物质乙醇产量为 44 亿加仑，2020 年发电将达

30000MW。同时，其他许多国家也制定了相应的生物质能开发研究计划，如日本的新阳光计划、巴西的乙醇能源计划等。

我国基本上是一个农业国家，农村人口占总人口的 70% 以上，生物质一直是农村的主要能源之一，在国家能源构成中也占有重要地位。我国拥有丰富的生物质能资源，一般说，实际可开发的生物质能资源主要指各种农业废弃物（秸秆和谷壳等）、森林能源（薪柴和林业废弃物）、有机废水（生活和工业）、有机垃圾（生活和工业）和人畜粪便等。据统计，我国秸秆、薪柴、粪便和垃圾四项资源的年产量分别为 3.08 亿吨、1.3 亿吨、0.77 亿吨和 1.43 亿吨标煤，总计约 6.56 亿吨标煤^[1]。但是长期以来，这些生物质并未得到充分合理的利用，目前利用率估计只有 30% 左右，而且其能源利用方式极为原始，大多生物质以直接燃烧为主，燃烧效率低于 10%。如此，对社会、经济、环境和生态等都造成了严重的不良影响。今后我国必须调整能源结构，大力发展可再生能源和其他非常规能源，以减少能源消耗给环境造成的压力，同时提高能源的稳定性和安全性。

生物质气化技术是通过热化学反应将固态生物质转换为气体燃料的过程。生物质气化技术已有一百多年的历史。最初的气化反应器产生于 1883 年，它以木炭为原料，气化后的燃气驱动内燃机，推动早期的汽车或农业排灌机械。在 20 世纪 20 年代大规模开发使用石油以前，气化器与内燃机的结合一直是人们获取动力的有效方法。生物质气化技术的鼎盛时期出现在第二次世界大战期间，当时几乎所有的燃油都被用于战争，民用燃料匮乏，因此德国大力发展了用于民用汽车的车载气化器，并形成了与汽车发动机配套的完整技术。以 Imbert 型及

其改进型为代表的车载气化器装备了至少一百万部汽车，主要的燃料是木炭，当木炭缺乏时也可使用优质的硬木。我国在能源困难的 20 世纪 50 年代，也曾使用这种方法驱动汽车和农村排灌设备。当时固定床气化反应器的技术水平达到相当完善的程度。

第二次世界大战后，中东地区油田的大规模开发使世界经济的发展获得了廉价优质的能源。几乎所有发达国家的能源结构都转向以石油为主，生物质气化技术在较长时期内陷于停顿状态。1973 年秋季发生的石油危机深刻地影响了世界经济乃至政治的格局，使发达国家正在高速增长的经济急转直下。西方各主要工业国家认识到常规能源的不可再生性和分布不均匀性，出于能源和环境战略的考虑，纷纷投入大量人力物力，进行可再生能源的研究。作为一种重要的新能源技术，生物质气化的研究重新活跃起来，各学科技术的渗透使这一技术发展到新的高度。主要的技术为固定床气化器和流化床气化器，一般情况已不再使用木炭，而是使用各种木材、林业残余物和稻壳，产生出主要用于发电的可燃气体。小型系统采用固定床气化器和内燃机，大型系统采用流化床气化器和燃气轮机组成联合循环气化发电系统，已经出现了 18MW 的实验电站。

国内生物质气化技术也在 20 世纪 80 年代以后得到了较快发展。20 世纪 80 年代初期，我国研制了由固定床气化器和内燃机组成的稻壳发电机组，形成了 200kW 稻壳气化发电机组的产品并得到推广。同期中国农业机械研究院、中国林业科学院进行了用固定床木材气化器烘干茶叶、为采暖锅炉供应燃气等尝试，中国农业机械研究院研制了用固定床气化器进行木材烘干技术并得到一定程度的推广。20 世纪 90 年代中期，中国

科学院广州能源所进行了流化床气化器的研制，并与内燃机结合组成了流化床气化发电系统，使用木屑的 1MW 流化床发电系统已经投入商业运行，并取得了较好的效益。在借鉴国外生物质气化技术的基础上，山东省科学院能源研究所在“七五”期间提出了生物质气化集中供气技术的设想，通过“七五”、“八五”期间的研究和改进，研制成功了秸秆气化机组和集中供气系统中的关键设备，在燃气发生、输配及使用方面形成了配套完整的技术。1994 年建成第一个实际运行的集中供气的试点工程以后，迅速在全国推广，目前全国已经建设了约 500 个左右的生物质气化集中供气工程。生物质气化集中供气技术在高效利用农村剩余秸秆，减轻由于秸秆大量过剩引起的环境问题，为农村居民供应清洁的生活燃料方面已经开始发挥作用，逐渐成为以低品位生物质原料供应农村现代生活燃气的新事业。

因为生物质气化技术是一个崭新的学科，国内在该方面的出版物还很少，本书通过对生物质气化技术的介绍，可使读者较系统地了解该技术，在科研和应用中有所借鉴，从而能更有效地为经济建设服务。

本书从生物质的基本特性入手，阐述了生物质气化技术的基本原理和特点，描述了气化设备及净化设备的基本工作原理及使用条件，介绍了生物质气化技术的基本应用方式和条件，评估了该技术不同应用方式的经济性，并对典型应用案例进行了介绍和分析。

在本书撰写过程中，得到了中国科学院广州能源研究所领导的关心和支持，得到了袁振宏、肖艳京、顾树华、王孟杰、焦庆余、陈晓夫、孔晓英等同志的大力帮助。在此，我们深表

谢意。

由于作者的水平有限，本书可能存在这样或那样的问题，
敬请读者批评指正。

马隆龙 吴创之 孙 立

2003 年 4 月

内 容 提 要

本书从生物质的基本特性入手，全面系统地阐述了生物质的基本概念、特征，气化技术的基本原理，气化设备、净化设备的基本工作原理及使用条件，以及生物质气化技术的具体应用情况，还对典型案例进行了介绍和分析。另外又重点分析了生物质气化技术的经济性。全书内容翔实、丰富，将理论联系研究成果，突出实践性，具有较强的实用性。

本书可做生物质气化专业及相关专业教学参考用书，也可供从事生物质气化工作或相关工作的技术人员、研究人员参考用书。

目 录

第一章 生物质资源	1
第一节 生物质的基本概念.....	1
第二节 生物质物理化学特性	27
第三节 生物质能的利用状况	33
第二章 生物质气化基本原理	38
第一节 生物质气化的基本定义	38
第二节 生物质的燃烧	38
第三节 生物质气化基本原理	44
第四节 气化过程的热量平衡	47
第五节 气化反应的化学平衡	49
第六节 气化过程的反应动力学	53
第七节 气化过程的几个基本参数	62
第八节 气化过程中的综合影响因素	63
第九节 气化技术分类	65
第十节 生物质气化燃气的特点	68
第三章 生物质气化设备及工作原理	76
第一节 概述	76
第二节 固定床气化炉	78
第三节 流化床气化炉	95
第四章 生物质燃气的净化	108
第一节 燃气净化的目的意义.....	108

第二节	燃气净化方法和净化设备·····	110
第五章	生物质气化技术的应用·····	153
第一节	生物质气化供热技术·····	153
第二节	生物质气化供气技术·····	156
第三节	生物质气化发电技术·····	177
第四节	生物质气化合成化学品技术·····	195
第五节	生物质气化技术应用特点·····	198
第六章	生物质气化技术的经济性分析·····	202
第一节	生物质气化项目的技术经济评价模型·····	202
第二节	生物质气化集中供气系统的经济性分析·····	206
第三节	生物质气化发电系统的经济性分析·····	210
第四节	生物质气化技术的经济竞争力·····	221
第七章	生物质气化技术的典型应用实例·····	224
第一节	生物质气化集中供气系统·····	224
第二节	生物质气化发电系统·····	229
第三节	生物质气化供热系统·····	237
参考文献 ·····		243

第一章 生物质资源

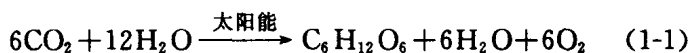
第一节 生物质的基本概念

一、生物质的基本概念

一切有生命的可以生长的有机物质统称为生物质。它包括植物、动物和微生物。各种生物质之间存在着相互依赖和相互作用的关系。生物质对人类有着广泛而重要的用途：①用作食物；②用作工业原料；③用作能源；④改善环境、调节气候、保持生态平衡。

生物质能是指蕴藏在生物质中的能量，生物质能是可再生资源，通常包括以下几个方面：①木材及森林工业废弃物；②农业废弃物；③水生植物；④油料植物；⑤城市生活垃圾及工业废弃物；⑥排泄物。

从广义上讲，生物质是植物通过光合作用生成的有机物，绿色植物的光合作用是地球上最重要、规模最大的太阳能利用和转换过程，正是依靠这种转换过程，地球上的 60 亿人类、约 200 多万种生物（其中动物 150 多万种、植物 30 多万种）的生命活动所需的食物和能量才能不断得到供应。这部分能量是太阳能的多种自然转换形式中惟一可被储存起来的。所以生物质能是太阳能的一种，它的生成过程如下：



绿色植物吸收地下水、无机盐和 CO_2 ，通过叶绿体把这些简单的无机物转化成以淀粉为主的复杂化合物，而这些有机物正是一切生物和人类生存所必须的食物（物质转化过程）。

通过光合作用，把太阳能转化为储存在有机物中的化学能。这些转化储藏的化学能正是一切生物和人类生存所必须的能量（能量转化过程）。

由此可见，正是在太阳辐射能的推动下，通过光合作用，生物界中能量的生产者（绿色植物）、消费者（包括食草动物、食肉动物和人类）和分解者（微生物）的功能被有机地联系起来，完成了自然界物质和能量的代谢和循环，使生物不断生长发育、自我更新、遗传变异、繁衍发展。

地球上的绿色植物包括森林、农作物、野生草类等陆生植物和水草、藻类等水生植物，它们以 0.25%~5% 的能量转换率，每年把太阳辐射到地球表面能量的 1% 左右，以碳的形式固定下来。碳是构成有机体的主要元素，占生命物质总量的 25%。绿色植物是碳的生产者，通过光合作用使非生物界的碳进入了生物界，在生物界中又通过食物链互相转移。植物的根、茎、叶、花、果的 90% 以上都是由光合作用产生的有机物组成的。它们中间有的可以直接供人类食用，如粮食、蔬菜、水果等；有的则转化为动物物质后再被人类食用，如肉类、蛋类、鱼虾等。地球上 30 多万种绿色植物是有机物的生产者，所有的食物链都是以绿色植物为基础的，其余的 150 万种动物均是消费者。

生物界的碳重新回到非生物界的途径主要有三条：①动植物呼吸放出大量 CO_2 ；②动植物的尸体腐烂后，经微生物的分

解变成包括 CO_2 在内的简单无机物；③煤、石油和干物质燃烧时产生的 CO_2 。

上述三个过程的有机循环相结合就完成了自然界里碳的循环，如图 1-1 所示。

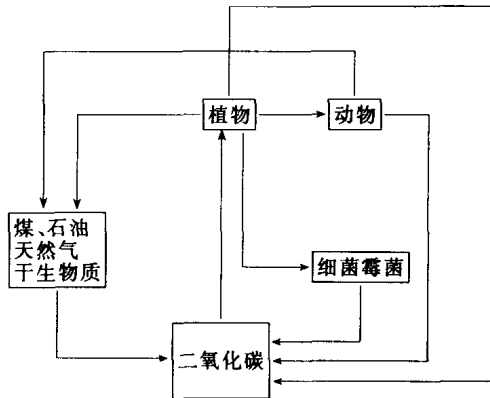


图 1-1 自然界里碳的循环

在碳的循环过程中，也进行着能量的循环。绿色植物通过光合作用制造有机物，也同时把太阳能以化学能的形式储藏在自己体内。动物以绿色植物为食物，能量也随着有机养料转移到动物体内。古代生物遗体埋藏在地下，有些形成了煤炭、石油、天然气等矿物燃料，能量随之转移到煤炭、石油、天然气中。生物体中含有的能量经过呼吸、体内有机物的分解放出能量，作为生命存在和生理活动的动力。煤炭、石油、天然气和干生物质的燃烧，生物尸体的分解都要放出能量，使能量重新回到自然界。

所谓生物质能，主要是把某些生物质作为一种能源（而不是食物），设法将蕴藏在其中的化学能尽量全部地、集中地释

放出来，以满足人类对能源（而不是食物）的需求。

基于这一独特的形成过程，生物质能既不同于常规的矿物能源，又有别于其他新能源，它兼有两者的特点和优势，是人类最主要的可再生能源之一。其特点如下。

① 生物质能资源的大量性和普遍性。生物质是一种到处都有的，普遍而廉价的能源，取材容易，生产过程简单。

② 生物质能是一种理想的可再生能源。只要太阳辐射能存在，绿色植物的光合作用就不会停止，生物质能就永远不会枯竭。

③ 生物质能的清洁性。在科学合理的使用下，生物质能不但不会污染环境，而且还有益于环境。生物质能在作为能源被利用的同时可实现二氧化碳的“零排放”。

二、生物质资源

生物质不但数量巨大，而且具体的种类也很多，植物类中最主要也是我们经常见到的有木材、农作物废弃物（秸秆、稻草、麦秸、豆秸、棉花秸、谷壳等）、杂草、藻类等，其资源量如表 1-1。非植物类中主要有动物粪便、动物尸体、废水中的有机成分、垃圾中的有机成分等。

表 1-1 地球上生物质能的现存量和年产量

生 态 系	面积/ 10^9 ha	现存量(干量) / $(10^9$ t/年)	年产量(干量) / $(10^9$ t/年)
热带多雨林	17.0	765	37.4
热带季节林	7.5	260	12.0
温带常绿林	5.0	175	6.5
温带落叶林	7.0	210	8.4
亚寒带林	12.0	240	9.6

第一章 生物质资源

续表

生 态 系	面积/10 ⁹ ha	现存量(干量) /(10 ⁹ t/年)	年产量(干量) /(10 ⁹ t/年)
疏林、低木林	8.5	50	6.0
热带稀树干草原	15.0	60	13.5
温带草原	9.0	14	5.4
苔原高地草林	8.0	5	1.1
沙漠、半沙漠低木林	18.0	13	1.6
沙漠	24.0	0.5	0.67
耕地	14.0	14	9.1
沼地、沼泽	2.0	30	6.0
湖泊、河流	2.0	0.05	8.8
陆地合计	149.0	1837	117.5
外洋	322.0	1.0	41.1
涌升流域	0.4	0.0	0.2
大陆架	26.6	0.3	9.0
藻类珊瑚礁	0.6	1.2	1.6
入江口	1.4	1.4	2.1
海洋合计	361.0	3.9	55.0
全球合计	510	1841	172.5

表 1-2 IEA 国家生物质能的本地产量——
按产品类别分类 (1994 年)/ktoe^②

国 家	木 材	木 屑	黑 液	动物产品和其他 非特定产品 ^①	沼 气
澳大利亚	2231.0	1916.6 ^②	197.6	0	0
奥地利	1940.0	0	520.8	516.5	0
比利时	0	6	26	0	0
加拿大	1921.9	2396.3	5192.8	0	0