

生物质能利用技术的研究及发展

马隆龙

(中国科学院广州能源研究所, 广州 510000)



专家简介:

马隆龙, 中国科学院广州能源研究所, 副所长, 研究员, 博导。长期从事热能利用和生物质能的研究和开发工作。主持和参加了多项国家“八五”、“九五”、“十五”攻关和 863 课题的研究和开发, 取得了水平较高的科研成果和较大的经济效益。在专业技术方面, 主要研究方向是生物质热利用, 包括燃烧、热解和气化过程与机理研究, 供热与发电研究, 生物质液体燃料研究等。

摘 要: 我国的生物质能资源主要是农业废弃物、禽畜粪便和林业废弃物。生物质能的利用方式有: 直接燃烧、产生沼气等可燃气体、发电、转化为液体燃料和加工成高密度的固体燃料。文中对几种利用方式进行了讨论。

关键词: 能源政策; 资源开发; 生物能源; 农林副产品; 规划

文章编号: 1673-9647 (2007) 8-0009-06

中图分类号: TE667

文献标识码: A

1 生物质能及其利用过程

1.1 生物质能资源

全世界每年通过光合作用生成的生物质大约有 1 200 亿 t, 其中仅 1% 用作能源, 但它已为全世界提供了 14% 的能源, 并成为世界上 15 亿人口赖以生存的主要能源。在我国, 生物质在能源消耗中占有举足轻重的地位, 它仅次于煤而成为第二大能源, 在全部能源消耗中约占 20%, 特别是在农村能源消费中, 生物质能约占生活用能的 70%, 占整个用能的 50%, 总量约有 6 亿 t 用作能源。

我国的生物质能资源主要来源于以下几个方面:

(1) 农业废弃物, 如各类秸秆、稻壳、蔗渣等;

(2) 林业废弃物, 如废木材、枝桠材、树皮、木屑等;

(3) 工业废弃物, 如造纸厂、家具厂、碾米厂等废料;

(4) 生活垃圾, 如城市生活垃圾等;

(5) 有机废水, 如人畜粪便、城市污水、工业有机废水等;

(6) 能源作物, 如甘蔗、木薯、油菜、甜高粱等;

(7) 能源植物, 如速生林、芒草等。

我国理论生物质能资源量每年 4.87 亿 t 油当量, 其中有约 3.7 亿 t 可用于发电和供热, 占总量的 76%。目前可供利用开发的资源主要为生物质废弃物, 包括农作物秸秆、薪柴、禽畜粪便、工业有机废弃物和城市固体有机垃圾等。

图 1 标出了我国生物质资源的结构。从图 1 可以看出, 我国生物质能源中一大半是农业废弃物; 其次是禽畜排泄物; 再其次是林业废弃物等。

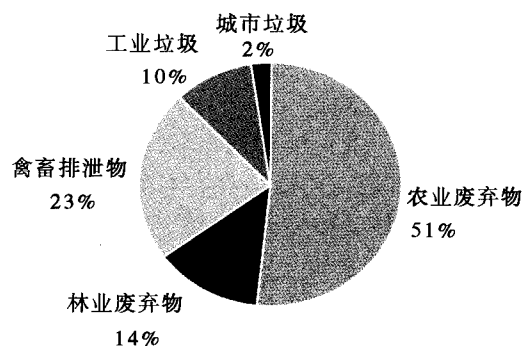


图 1 2001 年我国生物质能资源量

1.1.1 农业废弃物

我国每年产生农业废弃物约 7.15 亿 t, 折合能源约 2.5 亿 t 油当量。其中, 农作物秸秆占 70%。秸秆中有 40% 作为饲料、肥料和工业原料, 尚有 60% 可用于能源用途 (图 2)。

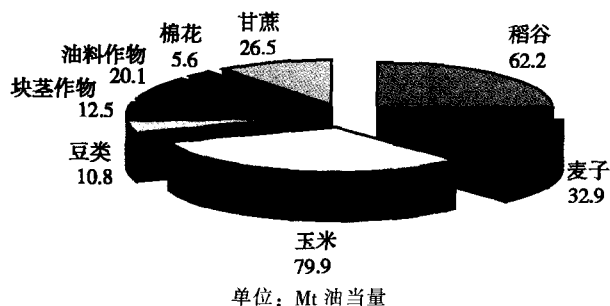


图2 农业废弃物产量及能源潜力

1.1.2 林业废弃物

我国林区主要分布在东北、西南、西北和南部丘陵地区。据2000年完成的第5次全国森林资源调查(1994—1998年),木材存量为1249亿 m^3 ,比第4次调查时增长了4%。木材的消耗主要为三部分:44.2%用于制造木制品,32.1%由木材厂和农场自身消耗,其余用于生活燃料。1998年,薪柴及木材废弃物估计约1.57亿t,折合0.67亿t油当量。然而,由于过度采伐,实际消费量要大得多。

1.1.3 禽畜排泄物

2000年,我国禽畜的组成为:1.515亿头大型动物,如马、牛、驴、骡和骆驼等,4.47亿头猪,2.9亿头羊,52.8亿头家禽。由此产生的排泄物总量干重达3.2亿t,折合1.1亿t油当量(见图3)。

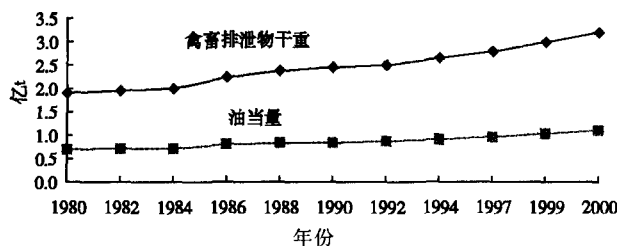


图3 禽畜排泄物生物质能量增长趋势

1.1.4 城市生活垃圾

我国城市生活垃圾年产出量约1.5亿t,约合1500万t油当量,并以10%左右的增长率递增。垃圾成分和产量受很多因素的影响,如城市人口、居民收入、燃料结构、饮食习惯、城市建设以及季节变化等。发达城市的垃圾有机成分高,南方城市的垃圾有机成分普遍高于北方城市。北京、广州、上海、深圳等发达城市城市生活垃圾热值为4500 kJ/kg以上,其他多数地区为3400 kJ/kg左右。

1.1.5 工业废弃物

工业废弃物包括粮食加工厂、造纸厂、木材厂、酿酒厂、糖厂和食品厂等的工业生产过程中产

生的固体废弃物。每年估计达4800万t油当量。

(1) 农作物谷壳。我国大米和小麦加工中大约可产生8100万t谷壳。可作为能源利用的约5500万t,相当于1800万t油当量。

(2) 造纸废弃物。我国造纸废弃物产生的生物质估计为320万t,折合110万t油当量(其中有103万t生物质由木材纸浆产生,折合30万t油当量)。

(3) 木材废弃物。1999年,我国木材厂废弃物产量为0.37亿 m^3 ,折合600万t油当量。

我国的生物质资源主要分布在东部地区和华南地区。西部生物质资源量相对比较少。稻草产量主要分布在长江流域及其以南的大部分地区,约占全国的77%;黄河中下游地区的河北、河南、山东三省麦秆产量约占全国的54%;玉米秆主要分布在北方春播玉米区的东北三省和内蒙古,占全国的35%,以及黄淮海平原夏播玉米区的河北、河南和山东,占全国的30%;木材(含薪材)分布在东中部地区。

1.2 生物质能利用方式

生物质利用方式有5种:一是热利用,主要是用于农村柴灶提供生活能源和生物质工业锅炉提供蒸汽;二是燃气利用,主要是利用生物质能源产生沼气、生物质气化集中供气,主要是农村用,进一步的发展方向是生物质制氢;三是生物质发电,主要包括沼气发电、生物质气化发电和直接燃烧发电;四是液体燃料,主要包括燃料乙醇、生物柴油,进一步的发展方向是通过热化学的方式气化生产合成气,再用合成气合成柴油或含氧燃料(甲醇和DME等);五是固体燃料,因为生物质能的能量密度比较低,不便于运输。提高其密度具有现实意义。作生物质固体燃料、生物质固化、燃料炭也是一个发展的方向。

1.3 生物质能利用技术

1.3.1 生物质燃气利用

生物质燃气利用的主要方式是沼气、燃气,图4中的合成气也是燃气的一种。今后发展的方向是氢气。氢气可以通过生物转化和化学转化两种方式制成。

(1) 沼气技术。其基本原理是利用微生物厌氧消化过程,将污水和禽畜粪便中的有机质转化为 CO_2 和 CH_4 气体。其主要利用形式是农村沼气。另外,我国也将进一步支持大规模的工业沼气的推广利用。沼气技术比较成熟,综合效益较好,

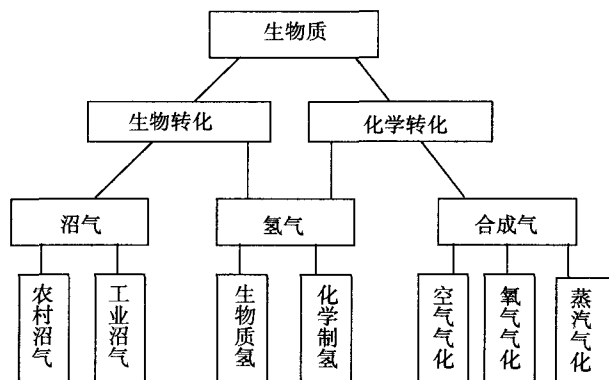


图 4 生物质燃气利用

但是单位投资较高，能源效益较差，它主要的效益是环境效益和社会效益。

(2) 气化供气。将固体的生物质利用固定床、流化床气化装置气化成燃气，通过管道输送到分散的最终用户。气化供气技术已基本成熟，但投资较大，经济效益较差，推广困难。我国建立的数百个农用沼气站气化供气的装置中，正常运转的并不多。

(3) 生物质制氢。这是一个高效和高附加值利用的方向。该技术主要是利用生物或化学过程，将生物质转化为氢气；主要形式是生物制氢、气化制氢。生物质制氢技术尚未成熟，还处于探索性阶段，其发展前景决定于氢能的发展情况。

1.3.2 生物质发电

生物质发电主要有气化发电、混燃发电和直燃发电三种类型（图 5）。这三种技术针对不同的情况，具有各自的优势。例如，我国生物质资源的总量是非常大的，但是非常分散。如果把把这些分散的资源大规模的集中起来运用，运输成本可能非常高，经济效益不会很好。中小型的生物质发电项目会比较有前途。中小型的发电项目主要是利用气化发电为主。气化发电比较小型化，配置比较灵活，投资也比较低。

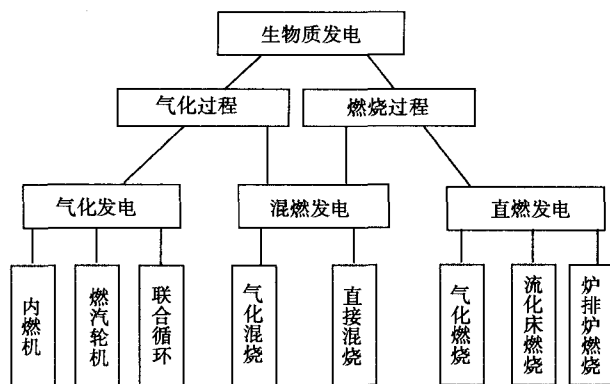


图 5 生物质发电

直燃发电就比较适合原料容易收集的地区或者集中的大规模的生物质能利用，它的经济的规模通常都在 20 MW 以上。

混燃发电是一种更灵活的生物质能的利用方式，它可以利用现有的燃煤锅炉系统，进行简单改造就可以大规模生产生物质能源。它的投资最省、效益最好，适用于原有燃煤电站改造使用。现在存在国家政策的问题。虽然只是一个添加比例的问题，但这个比例非常难确定，所以国家为企业提供怎样的优惠条件比较难确定。

生物质发电中还有一部分是利用沼气发电。沼气发电的主要原理是把生物质转化为沼气，再利用改装的柴油机技术发电。主要形式有工业沼气发电和垃圾填埋气发电两种形式。其特点就是技术比较成熟，投资较小（不包括沼气工程投资）。

生物质直接燃烧发电的主要原理是通过生物质燃烧锅炉产生蒸汽，利用传统的蒸汽轮机发电；其主要形式有震动炉排、流化床燃烧，气化后二次燃烧；它的主要特点是技术较成熟，比较适合于大规模发电（>25 MW）。生物质直接燃烧发电是国外利用生物质能发电最主要的一个方式。我国目前有几个 20 MW 的项目，但还没有正常运营。

生物质气化发电的原理主要是把固体生物质气化为燃气，利用改装的内燃机或燃气轮机发电；其主要形式是简单系统、联合循环发电系统。简单系统技术基本成熟，投资较低，比较适合于中小规模发电（1~10 MW）。气化联合循环发电系统技术复杂，效率较高，投资较大。

生物质混燃发电的主要原理是通过块状生物质与煤混合后燃烧，或生物质气化后燃气在燃煤锅炉里与煤一起燃烧。混燃发电主要有两种形式，一种是将生物质原料和煤混合以后直接运送到燃煤锅炉进行燃烧，可以达到省煤的效果，这是直接混烧。另外一种形式是首先将生物质资源气化，生成燃气。然后再到燃煤锅炉的气干段进行燃烧。这是气化混烧。两者的主要特点是技术成熟，投资最省，效益最好，比较适合于原有燃煤电站改造使用。

1.3.3 生物质液化

生物质液化主要包括转化成燃料乙醇、生物柴油、合成燃料和生物质直接液化。

(1) 燃料乙醇。基本原理是利用生物质发酵

生产燃料酒精。利用的主要形式有糖与淀粉发酵制酒精和纤维素发酵制酒精。燃料乙醇技术的主要特点是糖与淀粉发酵制酒精技术已成熟，国内外已大量使用。但必须大规模才经济（投资较大），由于原料供应有问题，生产成本较高，大概在1300元/t以上，目前需要国家的补贴。纤维素发酵制酒精技术未成熟，目前成本仍然很高。

(2) 生物柴油。基本原理是利用菜籽油、黄豆油、棕榈油改性为汽车能用的生物柴油。主要有酸碱法和酶法两种工艺。这两种工艺都有应用的事例。其中酸碱法技术已成熟，国外已大量使用，但污染比较严重。酶法技术未成熟，成本也较高。由于原料紧张、生物柴油生产成本较高，如果作为燃料使用需要国家的补贴。

(3) 生物质直接液化技术。我国有很多单位也作了不少的研究，但目前还没有实现工业化。它的基本原理是利用快速加热、高温高压和催化、生物转化等方法把生物质直接转化为液体燃料。主要形式有热解液化、催化液化、加压加氢液化等。生物质液化的关键技术虽有所突破，但应用技术正在研究之中。由于系统技术未解决、产品质量不过关，目前还不能进入应用。

(4) 合成燃料。基本原理是将生物质气化为燃气后，通过高压催化，合成二甲醚、甲醇、柴油、汽油等液体燃料。主要形式为合成碳氢燃料或含氧燃料。合成燃料的单项技术已基本成熟，但系统集成存在一定问题，且由于投资较大、成本较高，国内外还未真正投入使用，需进一步验证示范。

2 未来重点发展方向

2.1 生物质资源供应

无论是哪种能源利用方式，原料供应都是首先要关注的问题。原料供应在生物质能利用方面已经出现了比较大的问题。我国能源的供应主要是靠农业能源植物的种植，才能保证大规模的生物质能的利用。其资源供应的发展目标是要开发多种多样的能源植物新品种，利用非农业土地，提供稳定的生物质资源；加强对野生油料植物、高产糖与淀粉植物、速生纤维素类能源植物、高转化效率藻类培育。生物质资源供应需要面对的关键问题包括：资源分布特点；生态影响研究；细胞学和繁殖生物学研究；基因改造技术；高效能源植物进行能源可用性评价等。

2.2 生物质发电

根据我国生物质资源的分布状况和特点，发展中小型的高效的发电技术是一个重要的发展方向。生物质发电主要是要发展高效分布式生物质发电技术，建立生物质分散发电应用模式。其发展趋势是发展高效中小型发电技术；高效洁净微型发电技术（气化燃料电池、斯特林循环发电技术等）；大规模B/IGCC系统。生物质发电需要解决的关键问题有：生物质洁净转化技术；高效小型发电装置；燃气净化及小型燃气轮机改造等。

2.3 燃料乙醇

我国已明确提出：在燃料乙醇方面，利用非粮食原料，生产经济上具有竞争力的燃料乙醇，部分代替汽油。主要是利用甘蔗、木薯、甜高粱生产酒精。北方适合种植甜高粱；南方可能适合种植甘蔗、木薯。其关键问题是：非粮食原料的稳定供应；高效低成本的发酵菌种；高效低无污染的生产工艺；纤维素的酶解及其综合利用等。

2.4 生物柴油

生物柴油将来的发展方向主要是野生油料（麻风树、黄连木、牛耳枫）利用、固体碱连续法脂化反应、生物酶法脂化反应。利用非食用油原料，生产具有竞争力的生物柴油，部分代替石油基柴油。其关键问题是：野生油料种植及收集；高效固体碱催化剂及生物酶开发；生产过程污染防治及副产物的综合利用等。我国目前已建成的生物柴油厂属万吨级规模，一二年内会有很多的生物柴油项目上马。目前来说，我国能找到的唯一比较经济的就是餐饮废油，（就是地沟油）。由于需求越来越多，价钱也会长，有的已接近生物柴油的生产价格了，也有类似于燃料乙醇的状况，需要政策补贴。在国家的优惠政策出台之前，生物柴油的市场化有一定的难度。

2.5 固体生物质直接液化及间接液化

开发工业化定向液化技术，实现把固体生物质规模化转化为液体燃料的目标，从根本上拓宽生物质体燃料的原料来源，发展前景非常广阔。它的发展趋势是快速热解液化、选择性催化液化和含氧燃料合成、柴油及汽油合成。需要面对的关键问题是：生物制定向催化及定向转化；设备放大及系统优化和油品提质及加工利用。

3 我国近期的发展重点

3.1 国家可再生能源的发展目标

我国的可再生能源规划中，明确要求我国

2020 年生物质能发电装机 2 000 万 kW；生物质液态燃料年产量达 1 500 万 t，生物质固化燃料 5 000 万 t。2005 年 2 月 8 日全国人大通过的可再生能源法，2006 年 2 月公布的可再生能源电价分摊办法，将为发展生物质能源创造有利的外部环境。

3.2 我国的技术基础

“六五”、“七五”期间，以沼气利用、固化利用技术研究与应用为主。“八五”、“九五”期间，以热解气化利用技术研究为主。“十五”期间，以气化发电、纤维素制酒精和热解液化技术示范为主。“十一五”期间，将以规模化生物质发电、生物质液化技术研究为主要的方向。

生物质能利用的主要问题：一是规模小，自动化程度低，系统运行强度和效率低；二是技术太单一，规模化利用关键技术未能完全突破，产业化水平低；三是运行成本高，投资回报率低，难以形成规模效益等。

3.3 发展的主要瓶颈

首先是资源供应问题，如果是用秸秆作为原料，全国每年有农业秸秆 7 亿 t，但分布分散；同时生物质资源存在季节性强，供应不稳定问题。河南、江苏只有 280 t/km²，大部分地区平均在 100 t/km² 左右，年供应时间集中在 7—12 月。保证粮食供应是我国基本国策，可用于生物质能源生产的土地基本是荒地及贫地，我国农业耕地面积约 1.3 亿 ha，荒地面积约 1 亿 ha，有 3 535 万 ha 属于宜农荒地；我国有荒草地 4 900 万 ha，盐碱地 1 000 万 ha，沼泽地 430 万 ha，田坎地 1 000 万 ha；我国林地面积近 2.63 亿 ha，有近 1.25 亿 ha 的生物质资源开发用地。可见，生物质能资源开发的土地潜力可达到 2 亿 ha。目前我国现有的农业生产和林业生产模式不适应大规模的生物质能源产业的发展，解决生物质资源供应需要重大的技术创新和重大的制度创新。

其次是成本太高。秸秆发电直接成本高于 0.4 元/kWh，在目前国家电补贴 0.25 元/kWh 下发展仍比较困难；粮食燃料乙醇生产成本高于 4 000 元/t，目前国家补贴 1 300 万~1 500 万元/t，难以长期发展；不符合国家的政策。纤维素生产燃料乙醇生产成本高于 5 500 元/t，目前生产技术近期仍难以进入工业应用；野生油料植物生产生物柴油成本高于 5 500 元/t，加上我国对野生油料植物

未有全面的了解，短时间内推广应用有较大困难。

3.4 研究发展的切入点

第一切入点：满足国家需求，明确定位。

明确生物质能利用的目标。目前是以环保和节能为主要目标。生物质能近期的主要功能是环保和节能，其应用的主要目的是减少污染、提供经济可行的洁净能源；近期的任务是提高利用效率，降低利用成本，提高生物质能源的市场竞争力；从长远上看，生物质能的功能是提供替代能源，减少化石能源的压力；根本的任务是建立完整的生物质利用技术平台，提供可代替液体燃料和电力的能源产品，使其成为未来能源结构中不可缺少的组成部分。

第二切入点：瞄准世界生物质能技术发展前沿。

未来生物质利用的方向主要集中在生物质分布式发电系统和生物质液体燃料两方面。一是生物质分布式发电系统：近期是燃烧式的小型热电联供系统、中小型气化发电系统；联合循环气化发电系统、气化燃料电池一体化系统作为今后中长期的研究发展方向。二是生物质液体燃料：近期是关注生物柴油、发酵法燃料乙醇；未来以气化合成含氧类液体燃料、纤维素制乙醇、直接热解液化为研究方向；能源植物是生物质的规模利用的基础，开发适合于荒山贫地的能源植物是生物质能研究的长期任务。

3.5 建立技术支撑体系

通过新技术探索和产业化关键技术攻关的有机结合才能推动我国生物质能利用技术的发展（见图6）。

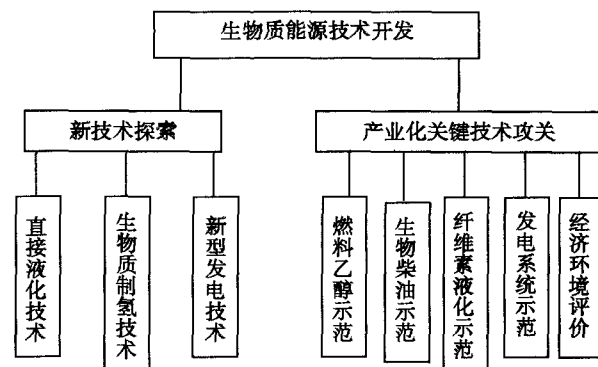


图 6 生物质能源技术支撑体系

3.6 明确阶段目标

(1) 通过工艺优化和集成，重点突破生物质原料供应瓶颈和生物质能转化过程中的关键技术问题。

(2) 根据资源条件和市场需求类别, 开发出相应的单元技术和集成系统, 重点解决目前工艺过程中亟需突破、近期内又可能取得突破的难点。

(3) 瞄准世界前沿和热点课题, 实施工艺和技术的自主创新, 突破技术难点, 打通工艺路线。

(4) 开展生物质能产业化关键技术的工程示范和创新技术的工业生产性示范, 为实现生物质能规模化应用提供支撑技术和产业化运作模式。

具体的技术创新目标包括以下三方面。

燃料乙醇: 开发高产甜高粱新品种, 保证每吨燃料乙醇的原料成本低于 2 500 元; 燃料乙醇综合生产成本 4 000 元/t 以下; 培育高产甘蔗品种, 在甘蔗生产成本 200 元/t 时, 燃料乙醇生产成本控制在 4 500 元/t 以下; 培育高产木薯品种, 每吨燃料乙醇的薯类原料成本低于 2 500 元; 甘薯原料乙醇成本低于 3 900 元/t; 发酵菌种开发:

五碳糖乙醇转化率 70%; 发酵周期低于 48 h; 乙醇蒸馏与精制: 能耗降低 10%; 废水处理: 厌氧 COD 去除率达到 90% 以上, 好氧达标。

生物柴油: 培育高产优质麻疯树新品种, 种子含油率在 42% 以上, 产油量达 180 kg/亩; 麻疯树原料油成本 3 600~3 800 元/t, 生物柴油生产成本不高于 4 500 元/t。牛耳枫亩产油量达 150 kg, 原料油成本 4 000 元/t, 生物柴油成本不高于 4 800 元/t。废油作原料, 柴油生产料油成本价格 3 500~4 800 元/t。

木质纤维素液化: 以原料纤维素和半纤维素为基准水解糖产率达 70%, 总糖乙醇转化率 70%; 纤维素乙醇生产成本低于 5 500 元/t; 固体生物质气化的转化率达到 80% 以上, 单程合成能源转化率 50%; 固体生物质气化合成含氧液体燃料直接成本小于 4500 元/t (按废料 200 元/t 计)。

Process Technology of Bio-Energy Utilization and Its Development

MA Long-long

(Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510000, China)

Abstract: To describe the process technology of biomass energy resource utilization from agricultural waste, forestry waste, poultry dung, which including thermal energy utilization in terms of bio-gases produced by direct burning, power generation, transferring to bio-energy, liquefied fuels and processing high-density solid fuels.

Keywords: energy policy; resource development; bio-energy; by-products of agriculture and forest; plan

· 书 ·

《建设项目经济评价方法与参数》第三版已由国家发展改革委与建设部组织建设部标准定额研究所等单位 and 专家编制完成。该书在认真总结《建设项目经济评价方法与参数》(第二版)实施经验的基础上,立足我国国情,借鉴国际上项目经济评价研究成果,本着继承与创新的精神,开展了大量深入细致的调查研究工作,针对相关内容开展了专题科研,组织了较大规模的经济参数测算,提出了一套比较完整、适用广泛、切实可行的经济评价方法与参数体系。

该书包括《关于建设项目经济评价工作的若干规定》、《建设项目经济评价方法》和《建设项目经济评价参数》三部分内容。定价每本 60 元,另加 10% 的挂号费。欲购买者请与本刊编辑部联系。