

生物质能源化学转化技术与应用研究进展

田水泉¹, 张立科¹, 杨风岭¹, 张宪宏¹, 樊静²

(1. 许昌学院化学化工学院, 河南许昌461000; 2. 河南师范大学化学与环境科学学院, 河南省环境污染控制重点实验室, 河南新乡453007)

摘要: 随着全球能源的紧缺和化石燃料使用带来的环境污染的加剧, 生物质作为可替代化石能源的可再生能源之一, 其使用范围越来越广泛。介绍了生物质及生物质能的基本概念。综述了生物质能的直接燃烧、气化、液化、热解等热化学转化技术, 并对这些技术的应用与前景进行了阐述。针对生物质能在转化和利用中存在的问题, 提出了相应的解决措施。

能源是现代社会赖以生存和发展的基础, 能源的供给能力密切关系着国民经济的可持续发展, 是国家战略安全保障的基础之一。我国目前主要能源来自于煤、石油、天然气等化石能源, 化石能源作为一次性能源, 其燃烧造成空气污染, 大气变暖、海平面上升和酸雨等环境问题。国务院能源研究所对未来15年内能耗总量的预测, 2020年煤炭采耗30亿t, 我国煤资源还能维持数十年, 而我国的石油需求将达到4.5~6.0亿t, 进口依存度将超过50%; 30~40年内, 石油资源将无法足人类的需要, 还有天然气缺口367亿m³[1]。

因此, 迫切需要一种新的清洁可再生能源来代替化石能源。我国有丰富的可再生能源资源且种类齐全, 从生物质能、水能、风能、太阳能热和发电到地热, 已

经实现可再生能源供应多元化[2]

。但是, 由于水能和地热能地域限制, 全面发展很困难; 我国大型风力发电机的设计和制造与国际先进技术相比还存在一定差距, 主要问题是单机容量小、关键技术依赖进口、零部件质量有待提高; 太阳能光伏发电技术发电成本大约是我国常规电力成本的10倍左右[3]

, 在我国太阳能光伏发电主要用于解决新疆、西藏等偏远无电网地区的居民用电。

然而, 生物质能是可再生且不会增加温室气体的低硫燃料, 还可减少环境公害, 与其他可再生能源相比, 利用技术上的难题较少。因此, 从生物质能的特点看, 开发和使用生物质能源, 符合可持续发展的科学发展观和循环经济的理念。

1 生物质和生物质能

生物质是指通过光合作用而形成的各种有机体, 包括所有的动植物和微生物以及农林废弃物和城市固体有机垃圾等。生物质的硫含量、氮含量低, 燃烧过程生成的SO₂、NO_x较少, 由于其CO₂的排放量与其生长时吸收的量相当, 可有效减轻温室效应和环境污染。生物质能是以生物质为载体的能量, 它直接或间接地来源于绿色植物的光合作用。地球上的植物每年通过光合作用合成大约1400~1800Gt的干生物质, 其中蕴含的能量可达目前全球每年总能耗的10倍, 在世界能耗中生物质能约占14%, 在不发达地区占60%以上。全世界约20亿人90%以上的生活能源是生物质能[4]。

我国生物质能资源量

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%[5]。目前全球生物质能消费量仅次于煤、石油、天然气, 居第四位。

生物质能具有许多优点: 生物质能资源分布十分广泛, 远比石油丰富, 且可不断再生; 从生物质能资源中提取或转化得到的能源载体更具有市场竞争力; 开发生物质能源资源, 可以促进经济发展, 提高就业机会, 具有经济与社会双重效益; 在贫瘠或被侵蚀的土地上种植能源作物或植被, 可以改良土壤、改善生态环境、提高土地的利用程度; 城市内燃机车辆使用从生物质资源提取或生产出的甲醇、液态氢, 有利于环境保护。生物质能的开发和应用越来越受重视, 其资源丰富、应用广泛且可持续利用, 可转化为常规的固态、液态和气态的燃料或其他化学品。

2 生物质能源化学转化技术的方法和应用

目前, 生物质能的研究方向主要有以下3方面:

(1) 通过热化学转化技术将固体生物质转换成可燃气体、焦油等。

(2)通过生物化学转化技术将生物质在微生物的发酵作用下转化成沼气、酒精等。

(3)通过压块细密成型技术将生物质压缩成高密度固体燃料等。

与其他技术相比,热化学转化技术具有能耗少、转化率高、较易工业化等优点。生物质热化学转化技术包括:直接燃烧、气化、热解、液化等方法,可以获得木炭、焦油和可燃气体等品位高的能源产品。生物质能源的热化学转化技术获得能量和化学品的的方法包括:

2.1直接燃烧技术 生物质直接燃烧是生物质能最早被利用的传统方法,就是在不进行化学转化的情况下,将生物质作为燃料转化成能量的过程。通常是在蒸汽循环作用下将生物质能转换为热能和电能,为烹饪、取暖、工业生产和发电提供能量和蒸汽。直接燃烧可大致分为炉灶燃烧、锅炉燃烧、固型燃烧和垃圾焚烧4种方式。

2.1.1炉灶燃烧。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,投资最省,但效率最低。

生物质在炉灶中燃烧的热效率一般为10%~15%,在省柴炉灶中燃烧的热效率为30%左右。到目前为止,我国已推广新式省柴节煤灶 1.7×10^8 户,新式灶提高了热效率10多个百分点,缓解了部分地区柴草不足的紧张局面^[6]。

2.1.2锅炉燃烧。锅炉燃烧采用现代化的锅炉技术适于大规模利用生物质,效率高,可实现工业化生产,但其投资高,不适合分散的小规模利用。生物质作为锅炉的燃料直接燃烧,其热效率为50%~60%。

从国内外生物质直接燃烧技术的发展状况来看,流化床锅炉对生物质燃烧的适应性较好。Eriksson和Kjellstrom等研究了木材水解残渣在150kW的粉末燃烧器里燃烧情况^[7],结果表明,直接燃烧是燃气轮机使用的切实可行的方法。生物质燃料在床内停留时间较长,可以确保生物质燃料完

x 、 SO_x 等有害气体的生成,有益于环境的保护,符合国家的节能减排政策。

2.1.3固型燃烧。固型燃烧是把生物质固化成型为高密度的固体燃料后,采用传统的燃煤设备燃用,以便集中利用,提高热效率。生物质经过固化以后,能量密度可增大到加工前10倍左右,热值可以达到15000kJ/kg左右,经测定该燃料排放物的污染度低于煤,是一种高效、洁净的可再生能源。

生物质具有以下优点:

(1)使用便利、易于贮运和易于实现产业化生产及大规模使用等特点。另外,现有燃烧设备(包括锅炉、炉灶等)经简单改造即可使用。

(2)替代煤炭保护生态环境。目前我国农作物秸秆年产量约为6.00亿t,折合标煤3.00亿t,其中53%作为燃料使用,约折合1.59亿t标煤。如果这些原料都能固化成型得到有效开发利用,替代原煤对于有效缓解能源紧张、治理有机废弃物污染、保护生态环境、促进人与自然的和谐发展具有重要意义。

(3)提高能源利用率。直接燃烧生物质的热效率仅为10%~30%,而生物质制成颗粒以后经燃烧器(包括炉、灶等)燃烧,其热效率为87%~89%,提高了57%~79%,节约大量能源。该方法的实用技术和设备在农村有很大的推广价值,到2010年结合新农村建设,固化成型燃料的年利用率将达到100万t^[8]。

目前,制约固体成型燃料发展的因素主要集中在成型机械的稳定、可靠运行上。

2.1.4垃圾焚烧。垃圾焚烧也是采用锅炉技术的,但由于垃圾的品位低、腐蚀性强,所以要求技术更高、投资更大,从能量利用的角度看也必须规模较大才可行。热值较高的生物垃圾采用热电联供方式进行处理,工艺流程为:生物垃圾—选择性破碎机—流化床焚烧炉—废热锅炉—供热/汽轮发电机^[9]

。2006年,国家和地方发改委共核准39个生物质能直燃发电项目(目前,全国已有10多个生物质直燃发电项目在建),合计装机容量128.4万kW投资,预计100.3亿元,2006年完成5.4万kW。

目前发达国家已由“直接焚烧法”向“热解焚烧法”发展,而我国已将热解焚烧法列入自然科学领域中的前沿研究项目^[10]。

直接燃烧是最早采用的一种生物质开发利用方法,可以最快速实现各种生物质资源的大规模无害化、资源化利用,成本较低,因而具有良好的经济性和开发潜力。

2.2 气化利用技术 生物质热解气化技术是将生物质原料加热逸出挥发物,并在高温下热解,热解后的产物与气化介质发生氧化反应

并燃烧,燃烧放出的热量用于维

持干燥、裂解和还原反应,最终生成了含有CO、H₂、CH₄和C_nH_m

的混合气体。这些产物与煤相比,生物质挥发分含量高、灰分含量少、固定碳含量少,但活性较高,因此,生物质转化为可燃气后利用效率高,用途广泛,既可供生产、生活直接燃用,也可用来发电进行热电联产联供,从而实现生物质的清洁利用,但生物质热解气化中的焦油消除问题,已成为制约生物质气化技术的主要因素。

目

前研究生

物质的气化利用又

可分为气化供电/供热/发电/制氢和间

接合成。生物质转换得到的合成气(CO+H₂)

经催化转化制造洁净燃料汽油和柴油以及含氧有机物如甲醇和二甲醚等。生物质的气化制氢是指气化产品中的氢气分离并提纯,所得到的产品可作为燃料电池用氢^[11]。

生物质气化发电是一种新兴的生物质发电技术,基本原理是把生物质转化为可燃气,再利用可燃气推动燃气发电设备进行发电,气化发电工艺包括以下3个过程: 生物质气化,将固体生物质转化为气体燃料; 气体净化,气化出来的燃气都带有一定的杂质,包括灰分、焦炭和焦油等,需经过净化系统把杂质除去,以保证燃气发电设备的正常运行; 燃气发电,利用燃气轮机或燃气内燃机进行发电,有的工艺为了提高发电效率,发电过程可以增加采热锅炉或蒸汽轮机。我国生物质气化在技术与装置开发方面,自20世纪90年代以来已取得了一系列的成果,“十五”期间,国家863计划在1MW的生物质气化发电系统的基础上研制开发出4~6MW的生物质气化燃气-蒸汽联合循环发电系统,建立了相应的示范工程,燃气发电机组单机功率达500kW,系统效率也提高到28%,为生物质气化发电技术的产业化奠定了很好的基础。我国第一座生物质气化发电项目于2004年1月2日在江苏省兴化市签约开建,其原料主要来自米厂稻壳^[12]。

生物质能转化为电能,正面临着前所未有的发展良机。

国家电网公司担任大股东的国能生物质发电公司目前已有19个秸秆发电项目得到主管部门批准,大唐、华电、国电、中电等集团也纷纷加入,河北、山东、江苏、安徽、河南、黑龙江等省的100多个县(市)开始投建或是签订秸秆发电项目。

另外,我国已基本具备了发展生物质气化合成甲醇技术的空间,只要各部分的关键问题得到解决并结合新技术和提高系统效率,生物质气化合成甲醇技术就会具有广阔的发展前景。

2.3 热解技术 生物质在隔绝或少量供给氧气的条件下,利用热能切断生物质大分子中碳氢化合物的化学键,使之转化为小分子物质的加热分解过程通常称之为热解。

不同热解条件可得到不同组成和比例的燃烧产物^[13]:

低温及低热传导速率的热解条件会得到固体(焦炭);低温、高热传导速率和短气体停留时间则得到液态产物(如甲醇、丙酮、乙酸、

焦油等);高温、低热传导速率和长

气体停留时间则得到气体燃料(一般为CO、H₂、CH₄

等混合气体);而根据热解过程中原料停留时间和温度的不同,热解工艺又可分为3种类型: 慢速热解。主要用于烧木炭业; 常规热解,将生物质原料放入常规热解装置中进行,经热解,可得到原料重量20%~25%的生物炭和10%~20%的生物油; 快速热解。将磨细的生物质原料在快速热解装置中进行,热解产物中的生物油,一般可以达到原料重量的40%~60%。快速热解过程需要的热量以热解产生的部分气体为热源供。

其中,快速热解生产生物油被认为是最经济的生物质生产液体燃料路线^[14]。

如果能够开发出选择性优良的快速热解工艺,生产出低含氧量高热值的液体燃料,那么快速热解工艺将具有非常强的竞争力,因此,世界各地的研究机构相继开发了各式各样的快速热解工艺,包括输送流式裂解、快速升温裂解、旋风式熔融裂解、裂解磨旋转锥反应器、流化床快速裂解等^[15]。

荷兰、美国最先利用该方面的研究,其中美国的热解试验装置最高产油率达70%;荷兰BTG生物质技术公司已于2005年6月在马来西亚建成一套日处理50t椰子壳和棕榈壳的旋转锥式生物质热解液化装置,所产生物油全部返销欧洲用于燃烧发电和精致试验;加拿大DynaMotive公司是目前利用生物质快速热解技术实行商业化生产规模最大的企业,处理量为1500kg/h,生物油的产率达到60%~75%^[16]。

我国从“十五计划”开始快速热解的相关研究工作,然而目前仍然处于实验室和中间试验研究阶段。

热解得到产物中含有醇类化合物,而且基本不含硫、氮和金属成分。但热解得到的液体燃料热稳定性差,并存在腐蚀性。热解过程中,必须消除焦油问题,提高液体燃料产率。

2.4液化技术 将生物质转化为液体燃料使用,是有效利用生物质能的最佳途径。液化是指通过化学方式将生物质转换成液体产品的过程。液化技术主要有直接液化和间接液化两类。

2.4.1直接液化技术。生物质的直接液化是将生物质、一定的溶剂和催化剂放入高压釜中,通入氢气或惰性气体,在适当的温度和压

力下将生物质直接液化的技术,

其主要形式有热解液化、催化液化、加压加氢液化等^[17]。

。生物质直接液化还具有以下优点: 原料不需要进行脱水和粉碎等高耗能步骤; 设备简单、操作简单; 产品质量好、热值高。但同时也存在一些问题,如: 生物质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。

生物质的热解液化是在缺氧条件下将生物质迅速加热到500~600℃,使之主要转换成液化产物的一种工艺。这种液体燃料既可以直接作为燃料使用,也可以再转化为品位更高的液体燃料或价值更高的化工产品。液化产品的处理方法包括催化加氢、热加氢、催化裂解及两段精制处理等。

目前催化加氢是较常用的方法,高压液化技术是生物质直接液化技术的一种,是指在较高压力、一定温度和溶剂、催化剂存在等条件下对生物质进行液化反应制取液体产品的技术。

与同为直接液化的快速热裂解法相比,该技术具有工艺简单、易于大规模工业化生产等特点,因而得到广泛关注和深入的研究。目前该技术发展尚不成熟,正处于研究试验阶段,其中具有代表性的研究成果包括由中国科技大学生物质洁净能源实验室研制可年产生物油约10000t的“YNP-1000A生物质热解液化装置”,以及由华中科技大学煤燃烧国家重点实验室开发设计的生产能力为100kg/h“车载移动成生物质流化床热解液化装置”等^[18]。

2.4.2间接液化技术。间接液化就是把生物质气化成气体后,在进一步进行催化合成反应制成液化产品。

生物质气化成燃料是一种间接液化技术,是生物质热化学转化利用的主要方式之一,产品包括费托合成染料(汽油、煤油、柴油等)及含氧化合物燃料(甲醇、二甲醚),合成燃料产品纯度较高,几乎不含S、N等杂质,燃烧后无黑烟排放,合成气还可经过分离提纯制取氢气,用于燃料电池发电,合成燃料的尾气可用于发电和供热,气化产生的废渣是优质的农业生产肥料,可提炼高附加值产品,由燃气中分离出的CO₂可用于合成塑料产品等。

目前,荷兰应用技术研究院(TNO)已建成生物质/煤气化费托合成联合发电系统;德国Choren公司成功开发了生物质间接液化生产合成柴油,2002年完成了年产1000t合成柴油的示范工程的运行,2005年建成了年产量1万t的工业示范工程;日本的MHI完成了生物质气化成甲醇的系统工程;瑞典的Bio-MeetProject集成生物质气化燃气净化与重整等技术联产电力、二甲醚、甲醇,其系统总体效率达到42%。我国虽然对费托合成进行了多年研究,在国家“863”创新项目中国科学院创新方向项目的支持下,已建成100tDME/年的中试装置并开车成功,但要取得工业化应用的突破还必须在生物质定向气化、催化重整、合成催化剂和系统优化方面进行核心技术的研究^[19]。

3存在的问题及解决措施

我国开展生物质能资源的研究工作较早,尤其生物质的厌氧处理技术比较成熟,但从生物质资源开发利用的整体来

上看,还存在以下问题,并就这些问题提出一些对策和建议。

3.1存在的问题

3.1.1成本太高。由于发达国家对新能源关键技术、核心技术的严密控制,我国在新能源研发上步履维艰。近年来,我国在生物质发电技术的研究上虽然取得了重要进展,但生物质发电产业仍因投资过大和运行成本过高受到严重制约,产业化进展缓慢。

如目前成熟的国产化生物质发电设备几乎没有,但进口设备投资达1.2万元/kW以上,同时由于生物质资源分散,电站规模小,常规技术效率较低,加之生物质收集运输成本较高,导致原料价格较高,一般生物质发电成本高达0.6~0.7元/(kW·h),所以生物质发电成本远高于常规电力成本,即便有国家0.25元/(kW·h)的补贴,发展仍比较困难。

而且生物质生产热解油和气化合成液体燃料技术尚未成熟,投资和生产成本高,如粮食燃料乙醇生产成本高于4000元/t,国家补贴1300~1500元/t^[20],也难以长期发展,不符合国家的政策。

3.1.2体制和政策的阻碍。事实证明,在生物质能发展的众多影响因素中,体制、机制的约束比技术问题和经济成本更难以解决,中国迄今为止尚未建立统一的管理机构,缺乏统一规划和协调行动,政出多门,矛盾重重,对生物质能技术的发展极为不利,而且政府的支持、激励政策明显不足,缺乏足够的经济鼓励政策和激励机制,政策的协调性、连续性和稳定性差,没有形成一定规模的、稳定的市场需求,这也影响了投资者的积极性。

3.1.3资源问题。所有生物质都可以作为生物质能源产业的原料,但必须具有可获得性与经济性。生物质资源包括可以用能源用途的各类有机废弃物、生物质农林资源以及利用边际性土地种植的各类生物质资源。

生物质开发利用的首要条件是拥有稳定可靠的生物质资源,资源评估是发展可再生能源的一项重要的基本工作。

目前我国生物质能资源评价明显不足,尤其是对于可利用土地和相应资源的评价,还没有系统全面的研究,在估算的基础上,不同部门的研究结论差距较大,这是造成生物质资源开发利用难以决策的一个重要原因。现在最紧迫的任务之一就是立即开展生物质资源的调查摸底,进行可作为能源开发利用的生物质资源的区域规划工作,在我国保证粮食供应是基本国策,对农林资源植物的摸底调研,必须坚持不与口粮、食油争耕地的原则,对可利用的土地做定性、定量分析,并落实到能源作物种植品种、品质和产量估算中。

3.1.4环境问题。生物质能利用的碳循环零排放对解决温室气体排放问题有重要贡献,这是开发利用生物质能的优势。但是,在生物质能现代化利用过程中,生物质原料生产过程对生态环境都有一定的影响,同时各种先进技术的发展完善程度不同,有的还处于研究试验阶段,因此,在生物质能转化为高品位能源过程中,不同的技术可能又对环境产生不同程度的二次污染。如果不能有效解决,将影响技术的应用推广和降低市场竞争力,这也是目前发展生物质能源技术必须解决的问题。

3.1.5其他制约因素。生物质能技术的开发是资金密集型项目,筹集资金是普遍存在的一大难题,还有就是缺乏从事生物质能研发,新能源业务的专业技术和管理人才及吸收人才防止专业技术人才流失的措施,缺乏健全的知识产权保护制度,等等。

3.2对策与建议

3.2.1突破核心技术。先进生物质能技术是国家的核心竞争力,我国的生物质能现代技术研究和应用起步较晚,大量的关键技术尚未得到解决,政府必须组织核心技术科技攻关,设立专项资金,重视对生物质能利用技术的系统研发,有针对性地对一批重点领域开展重点研究。为了加快发展我国生物质能应用技术,还有必要积极开展对外人员、技术和信息的交流与合作,引进国外先进技术工艺和主要设备,必须坚持自主开发与引进消化吸收相结合的技术路线,在引进时需要根据我国原料的特点、设备管理水平和消化吸收能力全面考虑,有目的、有选择地引进,同时大力加强我国自身科研投入和力量,坚持消化和创新相结合的发展模式,力争在一些关键性技术上取得突破,充分掌握相关的核心技术,努力实现技术和设备的国产化,提高国际竞争水平。

3.2.2完善相关政策体制。可再生能源的推广及应用,需要政策的支持。2006年1月1日《可再生能源法》的实施,为生物质能源的发展提供了可靠的法律保障

,但与其相应的配套措施尚未出台^[21]

。所以,我国在政策执行时,应更强调生物质能的环保性、可持续性,应制定操作性较强的生物质能源发展政策,如

给予生物质能加工企业在税收、原料方面的优惠政策, 并应设立统筹协调办公室, 强化各职能部门之间的通力协作, 提高法律法规执行的力度, 缩短政策实施周期, 实现高效率加速发展, 同时建立国家级的质量监测系统, 抓好产品生产的标准化、系列化和通用化工作^[22]。

3.2.3重视资源开发。提高对发展农林生物质能源的认识, 特别是能源植物的培育和产业发展应引起各级领导和社会各界的重视, 研究、培育、开发速生高产的能源植物品种, 利用山地、荒地、沙漠、湖泊和近海地区发展能源农场、林场或养殖场, 建立生物质能资源发展基地, 建立培育、经营、加工和市场的产业链, 为生物质能产业发展提供资源补给。近期应对生物质能资源生产所需要的土地资源开发详查工作, 调查生物质资源的蕴藏总量和分布情况, 强化对边际土地和未开发土地培育能源作物资源的普查工作, 建立我国生物质能的资源图谱, 部署物种选择、培育和种植的试验以及生物多样性和生态环境影响的评价工作。中远期需要加强生物质能资源大面积种植的试验和试点工作, 在此基础上进行资源种植发展规划, 为今后生物质能发展奠定坚实的资源基础^[23]。

参考文献

- [1]国家发改委.生物质产业发展工程专题研究报告[R].北京, 2005.
- [2]吕薇.我国可再生能源发展现状与政策取向[J].发展研究, 2009(1): 4 - 8.
- [3]孙凤莲, 王雅鹏.中国与欧盟发展生物质能的政策比较研究[J].世界农业, 2007(10): 4 - 7.
- [4]丛璐, 徐有宁, 韩作斌.生物质能及应用技术[J].沈阳工程学院学报: 自然科学版, 2009, 5(1): 9 - 13.
- [5]马隆龙.生物质能利用技术的研究及发展[J].化学工业, 2007, 25(8): 9 - 14.
- [6]张宗兰, 刘辉利, 朱义年.我国生物质能利用现状与展望[J].中外能源, 2009, 14(4): 27 - 32.
- [7]王丰华, 陈庆辉.生物质能利用技术研究进展[J].化学工业与工程技术, 2009, 30(3): 32 - 35.
- [8]王香爱.生物质能的转化和利用研究[J].化工科技, 2009, 17(1): 51 - 55.
- [9]文科军, 吴丽萍, 尹建峰.城市生物垃圾的生物质利用途径[J].中国园林, 2009(4): 15 - 17.
- [10]王海滨.国外生物质能转化技术与应用[J].新能源, 2000(6): 15 - 16.
- [11]蒋建春.生物质能源转化技术与应用() [J].生物质化学工程, 2007, 41(3): 59 - 65.
- [12]王贤华, 周宏伟, 王德元, 等.生物质能转化利用技术系统探讨[J].能源研究与利用, 2009(2): 1 - 4.
- [13]BOUCHER M E, CHAALA A, ROY C. Bio-oils obtained by vacuum pyrolysis of softwood bark as a liquid fuel for gas turbines. part 1: Properties of bio-oil and its blends with methanol and a pyrolytic aqueous phase[J]. Biomass and Bio-energy, 2000, 19(5): 337 - 350.
- [14]廖益强, 黄彪, 陆则坚.生物质资源热化学转化技术研究现状[J].生物质化学工程, 2008, 42(2): 51 - 54.
- [15]陈文伟, 高萌榆, 刘玉环, 等.生物质的转化与利用[J].可再生能源, 2003(6): 48 - 49.
- [16]吴创之, 周肇秋, 阴秀丽, 等.我国生物质能源发展现状与思考[J].农业机械学报, 2009, 40(1): 91 - 99.
- [17]HELENA L. biomass and renewable fuels[J]. Fuel processing Technology, 2001, 71: 187 - 195.
- [18]NOUNIM R, MULLICK S C, KANDPAL T C. Biomass gasifier projects for decentralized power supply in India: a financial evaluation[J]. Energy Policy, 2007, 35(2): 1373 - 1385.
- [19]李波安, 秦建华.我国生物质能发展现状与发展前景[J].科技广场, 2009(6): 94 - 96.

[20]肖亮, 宋国华.生物质能发展现状及前景分析[J].中国环境管理干部学院学报, 2008, 18(4): 35 - 39.

[21]岳金方, 左春丽.生物质能技术的开发及应用[J].内江科技, 2008(11): 131, 177.

[22]陈徐梅, 马晓微, 范英.世界主要国家生物质能战略及对我国的启示[J].中国能源, 2009, 31(4): 37 - 39.

[23]郑治华.生物质能技术应用现状及发展趋势[J].中国高新技术企业, 2008(13): 43.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/87030.html>