

生物质转化高品质燃气技术的研究进展

焦慧强

(国网山西省电力公司晋城供电公司, 山西晋城048000)

摘要：指出现有生物质气化技术普遍存在燃气热值偏低、焦油含量偏高以及气化热效率偏低等问题，制约了生物质气化技术在我国大规模的高效利用。介绍了4种固体生物质转化高品质燃气化利用技术：超临界水气化法、两段（多段）气化法、串行流化床气化法和基于太阳能聚热的生物质气化法，对其基本原理、技术特点和优势进行了阐述，同时介绍了4种利用该技术当前最新的研究进展，探讨了当前生物质气化技术需要解决的问题。

1引言

近年来，世界范围内的石油、煤炭、天然气等不可再生能源的消耗日益增长，能源危机不断加剧，能源供应保障已成为大多数国家必须面临的重大挑战。生物质能是一种年产量十分巨大的可再生能源，生物质能的利用可起到优化能源消费结构、缓解能源供应紧张局面的作用。目前，各种生物质能利用技术与方法层出不穷，主要包括生物质直接燃烧、气化、液化、热解以及压缩成型等，其中生物质燃气化利用被业界认为具有很大的发展潜力。现阶段生物质气化仍以固定床和流化床气化为主，研究的重点也主要集中在气化参数方面，然而现有生物质气化技术普遍存在燃气热值偏低、焦油含量偏高以及气化热效率偏低等问题，对于生物质在我国大规模的高效利用产生严重的制约，因此开发生物质能高品质燃气化利用新技术已成为生物质气化领域的研究热点。

2生物质转化高品质燃气利用新技术

经过几十年的研究，特别是近十年，随着能源危机、环境污染等问题日益突出，国内外对生物质能的关注度日渐提高，目前已经发展了众多生物质气化新方法。在众多新方法中普遍认为可行性较高的有超临界水气化法、两段气化法、串行流化床气化法以及太阳能聚热法。

本文主要对这4种方法展开论述，其中部分方法已在国内展开了小规模应用，部分方法仍在研究当中。

2.1超临界水气化法

由于未处理的生物质含水率一般很高，直接进行气化或热解过程的热效率很低，如对含湿量高的生物质进行干燥预处理，这需要消耗大量的能量。由于超临界水可改变相行为、扩散速率和溶剂化效应，使反应混合物均相化，增大扩散系数，从而控制相分离过程和产物的分布，由于这些原因，生物质在超临界水中气化制氢过程的热效率不随生物质含湿量变化，对于高含湿量的生物质，在超临界水中气化具有比常规气化和热解过程更高的热效率。

国内外对超临界水气化法都有较深入的研究，闫秋会等通过实验分析了反应参数对纤维素超临界水气化制氢产气性能的影响，实验结果表明温度对气体热值的影响较大，压力对气体热值的影响较小，升高温度会提高气化率，但导致产气高热值降低。西安交通大学的吕友军、冀承猛等研究了锯木屑、木质素的超临界水气化，实验表明：超临界气化过程可能是自由基和离子反应共同作用的结果，压力升高有利于离子反应的进行而抑制自由基反应，这使得压力对气化反应总效果的影响表现并不很明显，但压力会改变气体产物的组成，长的反应停留时间使气化反应更接近平衡状态，这样气化过程更加完全，温度对气化反应有明显的影 响，高的温度有利于气化制氢反应的进行。Jale Yanik等利用棉花茎、玉米茎和制革废料作为超临界水气化的原料，在500 °C的间歇式高压釜内进行实验，得到的生物质产氢率范围为4.05 ~ 4.65 mol H₂/kg，此外，催化剂能通过加强水气转换反应和甲烷重整显著地增加氢的产率。

吕友军等还研究了玉米芯、有机废液、农业生物质等在超临界水气化制氢实验研究。表1给出了几种生物质原料用超临界水气化法所得燃气气体成分与热值对比表。

表 1 超临界水气化法气体成分对比

气化剂	燃气成分/%(体积分数)						燃气热值/ MJ·m ⁻³
	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂	N ₂	O ₂	
空气	14~20	12~20	1.0~2.5	12~25	45~60	<1.0	4.0~5.0
富氧气体	26~38	26~38	0.5~2.0	16~25	8~10	<1.0	7.0~9.5

2.2 两步（多步）气化法

即便是超临界水气化制氢，在反应过程中也不可避免地会产生焦油，焦油的处理始终是科研人员的头号难题。为了降低气化过程中的焦油含量，近年来研究人员开发了两步（多步）气化法。该工艺将生物质气化过程中的低温热解和高温气化两个过程相对分步进行，实现“多级”气化，保证了焦油裂解的高温环境，使焦油裂解为小分子不凝性可燃气体，如图1所示。两步气化法配合催化剂的使用，能使来自生物质原料的焦油转化为气体产品，从而大大降低了焦油的含量，同时也增加了气化效率。

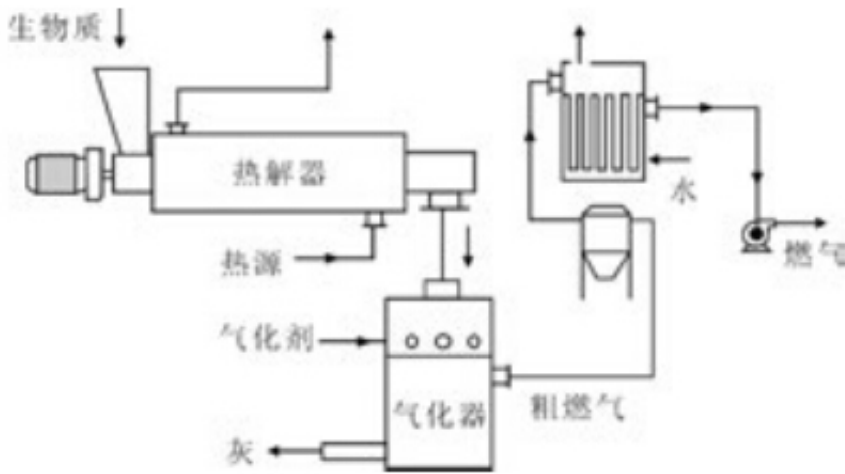


图 1 两步法生物质气化工艺路线

赖艳华等研究了两段气化中一段供风和两段供风对降低生物质气化过程焦油生产量的影响。结果表明两段供风显著提高了气化炉内的最高温度和还原区的温度，气体中焦油的含量仅为常规供风的1/10左右。

闫桂焕等的研究表明，分步气化法保证了焦油强化裂解的高温条件，使其充分裂解为小分子不凝性可燃气体，从而降低了可燃气体中基础焦油质量浓度，提高了燃气品质，该工艺可使燃气中基础焦油质量浓度降低到20mg/m³以下。表2给出了两步气化法在空气和富氧气氛中的气体成分。

Mohammad Asadullah等利用两步气化法，选用的催化剂为Rh/CeO₂/SiO₂证明了两步气化法配合催化剂的使用，能使最大量为250mg/min的焦油完全转化为气体产品，加入催化剂的分步气化法，能在更低的温度下使焦炭转化为合成气体，所以其能源效率更高。

表 2 两步气化法气体成分对比

气化剂	燃气成分/%(体积分数)						燃气热值/ MJ·m ⁻³
	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂	N ₂	O ₂	
空气	14~20	12~20	1.0~2.5	12~25	45~60	<1.0	4.0~5.0
富氧气体	26~38	26~38	0.5~2.0	16~25	8~10	<1.0	7.0~9.5

2.3 串行流化床气化法

串行流化床气化是一种基于循环流化床技术的气化理念，将生物质的热解气化和燃烧过程被分隔开，热解气化采用鼓泡流化床（气化反应器），半焦燃烧采用循环流化床（燃烧反应器），两个反应器之间依靠惰性固体载热体进行热量传递，其原理图如图2所示。这种方式的实现可最大程度地保障高的产氢率，提高气化气品质。

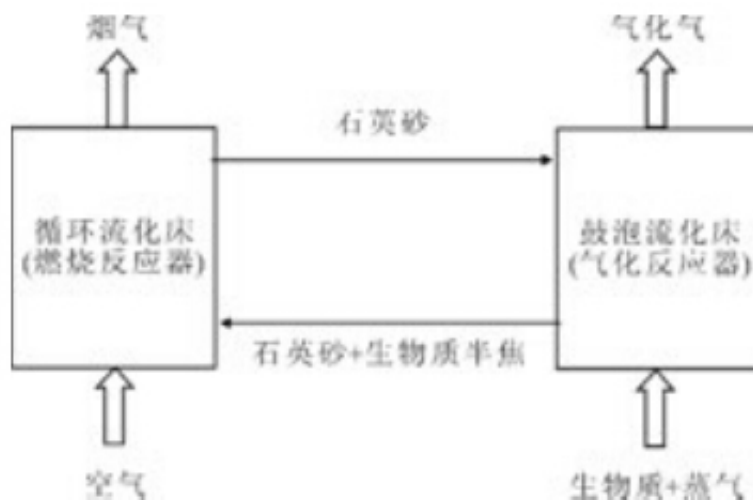


图 2 串行流化床生物质气化制氢原理

目前国内开展了串行流化床生物质气化技术的研究工作。东南大学吴家桦等建立了串行流化床生物质气化热态实验研究装置，实验表明以水蒸气为气化剂的产氢率最高，气化温度从720 升高到930 时，氢产率从32.4g/kg增加到60.3 g/kg，同时气化气产率也增加了90%。沈来宏等利用Aspen plus软件建立了串行流化床气化反应器模型，结果表明催化剂中CaO组分对生物质气化制氢过程的催化作用非常显著，气化图2串行流化床生物质气化制氢原理反应温度为700 时在CaO的催化作用下产氢率可达94.1%。

2.4 基于太阳能聚热的生物质气化技术

由于生物质气化属于热化学方法，该方法存在的反应需要高温条件，热量一般由生物质自身、或掺混化石燃料燃烧来提供，该方法以消耗自身能量为代价，会减少参与气化反应的生物质量。针对目前新能源技术的发展，学者提出了太阳能聚焦供热的热化学技术，利用太阳能来驱动热化学反应，该方法起初应用于热分解水制氢反应，而后学者开发了生物质气化制氢与太阳能聚焦供热耦合的太阳能热化学制氢途径，并持续探索与深入研究，该方式不仅解决了气化反应所需的高温热源，减少了化石能源的消耗，同时完成了太阳能能源品质的提升。

目前国内外针对太阳能聚热的生物质气化反应做了许多研究。Melchior等借助粒子流反应器利用高温太阳能来驱动生物质的气化反应，并进行了相关实验研究和气化过程动力学分析；而Kalinci等提出了利用太阳能—生物质气化来制取氢气的系统。近年来诸多学者基于我国的基本国情，对于该技术也进行了深入的研究，西安交通大学多相流国家重点实验室成功构建了多碟聚焦和自旋—俯仰轮胎面定日镜聚焦太阳能与生物质超临界气化耦合制氢系统各一套，初步验证了太阳能热化学分解和生物质超临界水制氢技术的可行性，考察了太阳能辐照对反应器的温度和气化制氢的影响，初步探索了太阳能供热的生物质催化气化制氢，实现了太阳能供热的生物质完全气化。西安建筑科技大学王贝贝等开发了一套太阳能驱动生物质超临界水气化制氢系统。中科院白章等构建了基于生物质—太阳能气化的多联产系统，利用太阳能为生物质提供高温热源，使用气化产生的合成气用于生产甲醇，并将未反应的合成气直接送入燃气-蒸汽联合循环系统进行发电。该系统的太阳能热份额为36.78%，与其他系统相比，系统的生物质节省率高达51.74%，同

时合成气的降温所释放的显热和甲醇合成反应的放热量都将用于余热锅炉部分的给水加热，因此系统总效率达到48.45%，燃气品质也优于常规热源气化。

3结论

由于我国地域辽阔，不同地区生物质原料的物理属性存在较大差异，在开发符合我国国情的生物质能气化技术同时，应该根据地区生物质原料的差异性因地制宜地利用当地生物质资源，选用与之相适应的生物质气化技术，将低品位的生物质能转换成高品位的能源，实现生物质能的高效清洁利用，对缓解我国能源短缺的局面，实现经济的可持续发展，以及加强环境保护，具有十分重要的作用。

尽管目前生物质气化技术已经进入实用阶段，并且我国也已有了小规模集中供气、供热及气化发电等方面的应用，但是距国外水平还有相当的差距。要真正有效地利用生物质能，还必须尽快解决生物质气化的关键技术及相关的配套技术设施等核心问题。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/113663.html>