

户用型上吸式生物质气化炉的发展与改进

李 斌, 陈汉平*, 杨海平, 王贤华, 张世红

(华中科技大学煤燃烧国家重点实验室, 武汉 430074)

摘 要: 户用型上吸式生物质气化炉因其结构简单、使用灵活、操作方便和成本低等特点在中国农村地区拥有广阔的应用前景, 但在目前实际推广应用过程中仍存在原料适应性差、气化气热值偏低、焦油和水分含量高及产气不稳定等较多关键技术难题。该文简要介绍了上吸式气化炉的工作原理, 概括总结了我国户用型上吸式气化炉研究和应用现状, 全面分析了其存在的问题及产生的原因, 并从严格原料规范、优化气化炉结构和运行工况、加装焦油处理装置及创新气化炉气化机理等方面提出了一些可行的解决措施, 可为其进一步发展和改进提供指导。

关键词: 改进措施, 指导, 解决问题, 户用型, 上吸式生物质气化炉, 现状

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.z1.041

中图分类号: TK6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-Supp.1-0205-05

李 斌, 陈汉平, 杨海平, 等. 户用型上吸式生物质气化炉的发展与改进[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊 1): 205-209.

Li Bin, Chen Hanping, Yang Haiping, et al. Development and improvement of household updraft biomass gasifier [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Supp.1): 205-209. (in Chinese with English abstract)

0 引言

随着中国农村经济的发展和农民收入的增加, 农村地区对清洁能源的需求日益迫切。生物质能作为中国广大农村地区家庭生活用能的主要来源, 其清洁高效利用是解决农村清洁用能的关键。户用型生物质气化炉可将低品位的生物质转化为高品质的可燃气, 能够很好地满足农村家庭生活清洁用能的需求^[1-3]。它不仅符合生物质资源分布式的特点, 而且由于其结构简单、使用灵活、操作方便和成本低等特点而特别适合于农村和集镇居民以及小型餐饮业的使用。

1 上吸式气化炉的工作原理

目前, 中国的户用型生物质气化炉所采用的炉型基本上为上吸式固定床气化炉, 其结构如图 1 所示^[1]。根据上吸式气化炉炉内不同高度料层的反应特征, 可将炉内空间自上而下划分为干燥区、裂解区、还原区和氧化区。生物质原料由气化炉顶部加入, 气化剂(空气)由炉底部经过炉栅(或布风装置)进入气化炉, 产出的燃气通过气化炉内的各个反应区, 从气化炉上部排出。

在上吸式气化炉中, 气流流动方向与物料运动方向

相反。首先, 向下流动的生物质原料被向上流动的热气体烘干脱去水分(干燥区); 接着, 干燥的生物质进入裂解区后吸热发生裂解反应, 析出挥发分。然后, 生成的焦炭进入还原区, 与氧化区产生的热气体发生还原反应, 生成 CO 和 H₂ 等可燃气体。最后, 还原区未消耗掉的焦炭进入氧化区, 与入炉空气发生氧化反应, 灰分则落入灰室。上吸式气化炉的氧化区温度最高, 可达 1 000 °C 以上, 氧化区的氧化反应为整个气化炉的反应提供所需的热量, 热量通过向上流动的热气体进行传递。在氧化区、还原区、热解区和干燥区生成的混合气体, 即生物质气化可燃气, 自下而上地向上流动, 排出气化炉。

收稿日期: 2010-08-13 修订日期: 2011-05-12

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(“973”计划)(2007CB210202); 国家自然科学基金项目(50806027, 50930006); 华中科技大学博士论文创新基金项目。

作者简介: 李 斌(1985—), 男, 博士生, 主要从事生物质的热化学转化与利用研究。武汉 华中科技大学煤燃烧国家重点实验室, 430074。

Email: libin198520@126.com

※通信作者: 陈汉平(1962—), 男, 教授、博士生导师, 主要从事煤与生物质的高值化、多联产资源化利用研究。武汉 华中科技大学煤燃烧国家重点实验室, 430074。Email: hp.chen@163.com

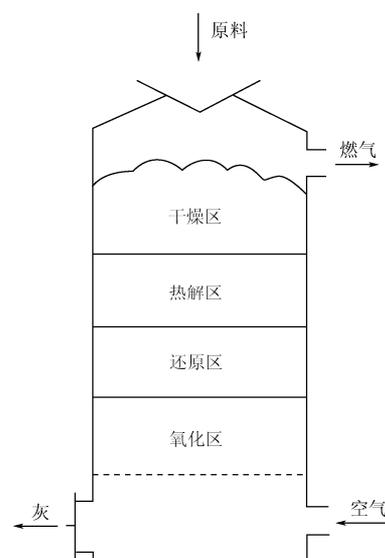


图 1 上吸式固定床气化炉结构示意图
Fig.1 Schematic diagram of updraft fixed bed gasifier

2 户用型生物质气化炉的研究与应用现状

户用型生物质气化炉作为一种新型的清洁炉灶设备,与传统的土灶相比具有能源转化率高、清洁卫生、使用灵活方便等突出的优势,而且很好的克服了沼气池技术(操作要求严格,“三分建池、七分管理”,容易受季节气候的影响,产气不稳定)和秸秆气化集中供气技术(投资大、回收期长、焦油处理困难、农民居住分散、气化站“欠户”现象严重、设备利用率低等)所存在的问题^[4-5],在广大农村地区拥有广阔的应用前景。

2.1 户用型生物质气化炉国内外研究进展

户用型生物质气化炉根据入炉空气的进入方式不同,可将其划分为强制通风型气化炉和自然对流型气化炉,且以前者居多,二者皆有一定的研究和应用。美国的 Reed 和 Larson 设计了一种以碎木屑和小木块为原料的自然对流型上吸式木材气化炉,通过控制一次进风量可以调节气化炉的气化强度,该气化炉可用于室内炊事,还可生产木炭副产品,该气化炉后来还被改造成了强制对流的木材增压气化炉^[6-7]。印度科学院研制的 IISc 型上吸式气化炉以木块和团状垃圾为燃料,输出功率高达 3~4 kW,效率为 25%~35%,一次加料可连续反应 2h^[8]。泰国的 Bhattacharya 等改进了一种自然横向供风的烹饪用气化炉,取得了较好的运行效果^[9]。美国 Aprovecho 研究中心的 Paul Anderson 设计了一种自然对流型上吸式气化炉,采用顶部点火方式,运行稳定可靠,但对所使用的燃料非常敏感^[10]。菲律宾的 Belonio 设计的直燃式强制通风型稻壳气化炉,也采用顶部点火方式,实际使用效果良好^[11]。Saravanakumar 等设计了一种强制通风型上吸式气化炉,考察其在使用大尺寸的长木棒(长约 69 cm,直径约 6 cm)时的气化性能,并对其采用底部点火和顶部点火两种运行方式进行了对比研究^[12-13]。

中国户用型生物质气化炉的研究和发展已有十几年的历史,在改善气化炉的性能和解决当前所存在的技术难题方面已取得了显著进步。崔永章等^[14]通过对比分析上吸式和下吸式 2 种炉型后指出,上吸式气化炉是户用型气化炉的理想形式。王华军等^[15]对户用型上吸式气化炉设计中的关键技术问题进行了研究与分析,并重点讨论了压力、气化温度、焦油含量和燃气灶具等对其整体性能的影响。杨少鹏等^[16]改进供风方式设计了一台上吸式气化炉,并考察了原料种类和气化剂流量对炉内温度和产气成分的影响。胡万里等^[17]分别针对生产厂家和消费者提出对现有气化炉进行增加炉内过滤装置或增加储存和过滤装置的改进设计方案,并对各种方案进行了对比分析。吴杰等^[18]分析了可燃气体中 H_2 含量较低的原因,指出上吸式气化炉采用湿空气作气化剂可提高 CO 和 H_2 的含量。李鹏等^[19]在分析现有户用型上吸式气化炉缺点的基础上,提出一种新的“山”字形多通道布风系统实现均匀布风,并增设水蒸气介质循环反应系统和简易净化装置,来提高产气热值及降低产气中的焦油和灰尘含量。车丽娜等^[20]设计了一种环形布风装置运用于上吸式气化炉可实现炉内平面均匀布风。李斌等^[21]报道了一种

通过底部环形风道和中心管周向布风孔实现均匀布风的户用型上吸式气化炉,加装了自动点火系统,实际运行效果较好。另外,还有许多专利技术和产品报道了通过改造气化炉的内部结构^[22]、布风系统^[23]、点火系统^[24]以及加装压料装置^[25]等来改善气化炉的气化性能,实际运行效果还有待检验。

2.2 我国户用型上吸式气化炉的应用现状

近十几年来,户用型生物质气化炉在全国各地得到了广泛地发展。它能够直接利用农村各种废弃的生物质资源(如秸秆、稻壳、木屑、花生壳等)在缺氧条件下气化,使大部分可燃物质转化为 CO、 H_2 、 CH_4 等可燃气体,供炊事和取暖等使用。由于其诱人的市场前景,户用型生物质气化炉的开发和推广已吸引了大量企业和投资者参与,已有各种不同的产品在市场上流通销售。

随着中国新农村建设工作的不断推进和对农村室内空气质量的逐渐重视,在农村地区加速推广高效低排放的生物质炉具已被提上议事日程,各地政府也相继出台了扶植和补贴政策,在农村加大了推广户用高效低排放生物质炉具的力度,户用型上吸式气化炉的发展也迎来了良好的契机和广阔的空间。户用型上吸式气化炉经过多年的研究和发展,产品不断升级换代,质量不断提高,各种新结构和新产品不断涌现。在 2008 年中国民用炉具国际研讨会暨产品展示会上中国农村能源行业协会节能炉具专业委员会郝芳洲主任指出了炉、灶分离的上吸式气化炉由于焦油问题难以解决,其应用推广应当受到限制,而炉、灶一体化的直燃式气化炉则发展空间广阔。

目前市场上流通的户用型上吸式气化炉产品技术基本均未完全成熟,在加料、点火、焦油和产气稳定性等方面均或多或少存在一定的问题,严格而言,其产品仍处于试用和改进优化阶段,真正完全成熟的产品还很少见。然而,当前的实际市场却明显过热,各种冠以高科技名号的气化炉厂家数不胜数,实际研发能力薄弱,生产出的产品技术含量低,质量不过关,且大部分为小作坊式的生产模式。产业资本的不断涌入与实际市场的脆弱更加剧了户用气化炉行业的病态发展。气化炉产品质量良莠不齐、粗制滥造现象十分严重,各种假冒伪劣产品蔓延,极大地打击了农户的使用热情,抑制了气化炉行业的健康发展。目前,有关户用型生物质气化炉的虚假广告在网络和电视等各种媒体中泛滥,厂家通过虚假宣传夸大实际效果来吸引投资者和农户,以连锁加盟和技术转让等为名收取费用,致使很多人上当受骗,相应针对气化炉产品的投诉案件一直在成倍增长。因此,当前气化炉市场的混乱无序、骗局层出不穷和产品质量良莠不齐应当引起各级政府主管部门的高度重视,积极采取有力措施,规范市场行为,加强市场监管,激励和引导产业资本正确、合理地投资户用气化炉行业,确保行业的发展重归理性,呵护户用气化炉行业的健康成长。

3 户用型上吸式气化炉存在问题与改进措施

3.1 户用型上吸式气化炉存在的问题

与户用沼气池技术和集中供气技术相比,户用型上

吸式生物质气化炉以其机动灵活、操作简便和价格便宜等优点而受到农民的欢迎，在广大农村地区已得到一定程度的应用。然而，目前所使用的上吸式生物质气化炉仍普遍存在一些难以解决的技术难题，限制了其进一步推广应用^[1,13,15,26-29]。归纳起来，主要表现在以下几个方面：

1) 气化炉原料适应性差。

气化炉原料适应性差主要指 2 个方面：①对不同种类原料的适应性差；②对同一原料的不同尺寸规范的适应性差。不同种类原料的气化特性不同，运行时所需的最优入炉空气量也不一样，而对一确定的气化炉，风机规格已确定，因此其对不同种类原料的适应性差。气化炉正常运行时，炉内原料顺畅向下缓慢移动从而保证炉内各反应区的位置相对稳定，是气化炉稳定运行的关键，于是这便对气化炉原料的尺寸规范和流动性提出了更高的要求。

2) 气化气热值偏低。

气化气的热值低会导致燃烧火焰温度低，抗风能力弱，易出现脱火、断火和熄火等现象。另外，火焰温度低会导致气化气中的焦油燃烧不完全，使得气化炉灶具周围焦烟味浓、熏锅严重，严重影响用户的身体健康。户用型上吸式气化炉采用空气为气化剂，引入了大量惰性的 N_2 稀释了气化气，是造成气化气热值偏低的主要原因。实际运行时，通过优化化工况可在一定程度上提高气化气的热值。

3) 气化气中焦油和水分含量高。

户用型上吸式气化炉气化气向上流动排出气化炉前，会依次经过温度较低的裂解区和干燥区，因此，受上吸式气化炉气化反应机理的限制，气化气中焦油和水分含量高是其不可避免的问题^[30]。焦油燃烧不完全易产生刺激、难闻的味道，影响农户的使用。而水分含量高会使得热损失大，且气化气不易着火，燃烧稳定性下降。另外，焦油和水分冷凝时，易造成输气管路阻塞、阀门和灶具转动部件卡死，清理非常困难。一般，通过简易的过滤和水洗装置可显著降低气化气中的焦油含量，但这并不能解决根本问题，且含焦油的废水、废渣等还会造成土壤、水源和空气等的二次污染。

4) 气化炉产气不稳定。

气化炉产气不稳定主要是由炉内气化反应稳定性变差而引起。在气化炉正常运行时，维持炉内各反应区的位置和温度相对稳定是保证气化反应稳定性的关键因素。导致气化反应稳定性变差的因素主要有：架桥、结焦、布风不均和点火不均匀等。生物质原料的堆积密度低和自身的长纤维状结构引起的流动性差是造成炉内架桥现象发生的主要原因。而入炉空气的分布不均和点火不均匀则很容易出现局部过烧，形成孔洞、扩大直至穿孔，破坏气化反应的稳定性。同时，由于生物质的灰熔点低，局部过烧也易导致炉内超温结焦^[31-33]。

3.2 改进措施

针对上述问题，可采取如下措施：

1) 制定严格的原料使用规范，以指导气化炉的正常

运行。主要是在设计时，规定原料的使用范围和原料的尺寸要求，且保证入炉原料的水分含率不超过 15%（越低越好）。在条件允许的情况下，建议采用生物质成型燃料（主要指颗粒状），成型燃料的堆积密度大大增加，流动性好，不易发生架桥问题，气化反应的稳定性好。

2) 优化气化炉内部结构，保证炉内原料形成“整体流”。气化炉下部原料反应后体积收缩，为保证布风均匀和防止架桥，气化炉下部一般采用圆锥形收缩结构，但锥顶角不易过大，应保证炉内原料能形成“整体流”可顺利的下落，从而保证气化反应的稳定性。

3) 优化气化炉运行工况。气化炉运行的稳定性、气化气的成分与热值、焦油含量等均与运行工况密切相关，优化运行工况可显著提高气化炉的经济性和可靠性，提升产品的品位。

4) 增加水蒸气发生装置或采用湿空气作气化剂。由于采用空气作气化剂，气化气热值偏低，在气化过程加入水蒸气，通过水蒸气重整反应可提升气化气的热值和其中的 H_2 含量，气化气燃烧更稳定。

5) 改进布风系统。气化炉反应的稳定性与其布风均匀性密切相关，均匀合理的布风是形成炉内良好反应工况的前提条件。通过改进布风系统，实现炉内均匀、稳定布风，可有效保障气化反应的稳定性^[23]。另外，通过在上吸式气化炉的裂解区引入空气，调整气化气出口位置，可有效降低气化气中的焦油含量。Anderson 和 Wever^[31]就报道了一种新颖的混吸式气化炉，通过控制入炉空气在 3 个可控的位置给入，促进裂解区的焦油燃烧分解，可生产低焦油、清洁的燃气。

6) 加装自动点火装置。常规的手动点火方式不仅麻烦，而且烟熏火燎、环境较差。另外，还易造成引火不均，破坏气化反应的稳定性。采用合理设计的自动点火装置可有效解决这一问题，而且显著提升产品的品位^[24]。

7) 加装压料装置。气化炉运行过程中，很难杜绝架桥现象的发生，如果直接揭开炉盖进行捅料，不仅会造成产气的终止，还会导致大量烟雾蔓延，污染环境，危害农户的身体健康。加装压料装置后，可在不揭开炉盖的情况下进行捅料，保证反应连续，且有利于气化反应的稳定，大大地提升了产品的实用性^[25]。

8) 加装焦油过滤装置。尽管简易焦油过滤装置（干式过滤和湿式水洗）易引起二次污染，但受气化炉的使用对象（广大农村地区）限制，气化炉的结构应力求简单，并尽量降低成本，因此在户用型生物质气化炉上不可能采用复杂昂贵的焦油净化设备。因此，该方式仍是目前一种简便易行的方法。

9) 采用直燃式结构（炉、灶一体化）。采用炉、灶一体化的直燃式结构可将气化气中的焦油直接燃烧，避免了其在输气管道中的冷凝所引起的问题，在一定程度上还可以增加气化气的燃烧热值，是未来的重要发展方向。但该方式需保证气化气有较高的热值，燃烧火焰温度高，燃烧配风合理，使得焦油能够充分燃尽。

10) 创新气化炉气化反应机理。传统上吸式气化炉

受生物质原料特性（堆积密度低、流动性差等）和炉内反应机理的限制，难以从根本上解决其燃料适应性差、产气中焦油和水汽含量高、产气不稳定等问题，通过创新气化炉气化反应机理，开发新型户用生物质气化炉技术显得十分必要和紧迫。Anderson、Belonio、Reed 和张世红等^[12, 34-36]均报道了一种新型顶部点火式上吸式气化炉，点火方式的改变使得气化炉内的温度分布和反应区域分布发生了显著变化。稳定运行时，整个炉内反应区域由上至下可划分为还原区、氧化区、裂解区和干燥区，由于裂解区产生的焦油向上经过氧化区高温燃烧，接着又经过高温还原区反应，使得出口气化气中的焦油含量非常低，并且干燥区产生的水蒸气在穿过上部的高温区时会与焦油、焦炭和气体发生重整反应，改善产气的品质；同时，由于反应自上而下发生，不存在原料流动性不畅形成架桥对气化反应稳定性影响的问题，比底部点火上吸式气化炉更具优越性，拥有广阔的应用前景。

4 结 论

户用型生物质气化炉在中国经过近十几年的发展，已经形成了一定的产业规模，产品已开始为广大农民所熟悉，尽管在其推广应用过程中出现了许多问题，但是其作为一种节能环保的新型炉灶具取代传统的土灶燃烧方式的趋势却并未改变，高效、低焦油、连续稳定运行的气化炉产品是未来的重要发展目标。本文在概括总结中国户用型上吸式气化炉研究和发展现状的基础上，全面分析了其存在的问题，并提出了一些可行的解决措施，可为其进一步发展和改进提供指导。

[参 考 文 献]

- [1] 马隆龙, 吴创之, 孙立. 生物质气化技术及其应用[M]. 2003, 北京: 化学工业出版社.
- [2] 郝芳洲. 户用生物质炉具发展现状[J]. 农业工程技术: 新能源产业, 2008(5): 12—14.
- [3] 李鹏, 王维新, 吴杰, 等. 生物质气化及气化炉的研究进展[J]. 新疆农机化, 2007(3): 46—48.
- [4] 段玉燕, 周劲松, 赵辉, 等. 户用型生物质气化炉气化性能和焦油脱除的实验研究[C]//第二届全国研究生生物质能研讨会, 广州, 2007.
Duan Yuyan, Zhou Jingsong, Zhao Hui, et al. Investigation of gasification characters and tar remove of biomass gasification furnace for home-use[C]//The 4th Seminar on biomass energy research of graduate students in China. Guangzhou, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [5] 雷廷宙, 沈胜强, 崔俊贞, 等. 固定床生物质气化机组主要技术性能试验研究[J]. 河南科学, 2006, 24(1): 118—121.
Lei Tingzhou, Shen Shengqiang, Cui Junzhen, et al. The experimental study on the main technical performance of the fixed bed biomass gasification equipment[J]. Henan Science, 2006, 24(1): 118—121. (in Chinese with English abstract)
- [6] Reed T B, Anselmo E, Kircher K. Testing and modeling the wood-gas Turbo stove[C]//Conference on Progress in Thermochemical Biomass Conversion, Tyrol, Austria, 2000.
- [7] Reed T B, Larson R. A wood-gas stove for developing countries[C]//Conference on Developments in Thermochemical Biomass Conversion, Banff, Canada, 1996.
- [8] Bhattacharya S C, Leon M A. Prospects for biomass gasifiers for cooking applications in Asia[C]//World Renewable Energy Regional Conference, Jakarta, Indonesia, 2005.
- [9] Bhattacharya S C, Hla S S, Leon M A, et al. An Improved Gasifier Stove for Institutional Cooking[C]//International Conference on Biomass- based Fuels and Cooking Systems (BFCS-2000). 2000. Pune, India: Appropriate Rural Technology Institute (ARTI).
- [10] Andreatta D. A Report on Some Experiments with the Top-Lit Up Draft (TLUD) Stove [R]. The 2007 Engineers in Technical and Humanitarian Opportunities of Service (ETHOS) Conference, Kirkland, Washington, 2007.
- [11] Belonio A T. Rice Husk Gas Stove Handbook [M]. Iloilo City, Philippines: Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University, 2005.
- [12] Saravanakumar A, Haridasan T M, Reed T B, et al. Experimental investigation and modelling study of long stick wood gasification in a top lit updraft fixed bed gasifier[J]. Fuel, 2007, 86(17/18): 2846—2856.
- [13] Saravanakumar A, Haridasan T M, Reed T B, et al. Experimental investigations of long stick wood gasification in a bottom lit updraft fixed bed gasifier[J]. Fuel Processing Technology, 2007, 88(6): 617—622.
- [14] 崔永章, 孙玉泉, 陈维冬. 家用秸秆气化炉的研制[J]. 可再生能源, 2002, 102(6): 18—20.
Cui Yongzhang, Sun Yuquan, Chen Weidong. Study on domestic straw gas stove[J]. Renewable Energy Resources, 2002, 102(6): 18—20. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王华军, 李淑兰, 何晓峰, 等. 家用生物质气化机关键设计技术的研究与分析[J]. 河南科学, 2001, 19(4): 398—401.
Wang Huajun, Li Shulan, He Xiaofeng, et al. Research and analysis of key technology for civil biomass gasifier[J]. Henan Science, 2001, 19(4): 398—401. (in Chinese with English abstract)
- [16] 杨少鹏, 薛勇, 牛广路. 上吸式生物质秸秆气化炉的设计与试验研究[J]. 节能, 2009(9): 6—9.
- [17] 胡万里, 李长友. 小型民用秸秆气化炉的改进设计[J]. 节能, 2005(8): 37—38.
- [18] 吴杰, 王维新, 李发权. 户用型上吸式棉秆气化炉气化性能的试验研究[J]. 农机化研究, 2007(6): 139—140.
Wu Jie, Wang Weixin, Li Faquan. Gasify performance of small-scale updraft gasifier supplied with chopped cotton stalks[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(6): 139—140. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李鹏, 吴杰, 王维新. 户用型上吸式生物质气化炉的改进设计[J]. 农机化研究, 2008(5): 76—78.
Li Peng, Wu Jie, Wang Weixin. Improved design of domestic updraft biomass gasifier[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(5): 76—78. (in Chinese with English abstract)
- [20] 车丽娜. 户用型上吸式生物质气化炉的结构优化设计[D].

- 新疆: 石河子大学农业机械化工程学院, 2009.
- [21] Li B, Chen H P, Yang H P, et al. Experimental investigation of wood gasification in an updraft fixed bed gasifier[C]. International Conference on Biomass Energy Technologies Proceeding (Volume 2). Guangzhou, China, 2008 .
- [22] 李海涛. 双锥型秸秆气化炉[P]. ZL 02229464.3, 2003-4-30.
- [23] 赵毅. 节能环保型秸秆气化炉[P]. ZL 02276515.8, 2003-8-27.
- [24] 董颖. 生物质气化炉点火及气化装置[P]. ZL 200520050980.2, 2006-6-21.
- [25] 黄立燕. 秸秆气化炉的捅料装置[P]. CN200620054028.4, 2006-01-19.
- [26] 吴创之, 马隆龙. 生物质能现代化利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [27] 姚向君, 田宜水. 生物质能资源清洁转化利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [28] 孙仁山, 王述洋, 董志国. 家用生物质气化设备技术的研究[J]. 林业机械与木工设备, 2003, 31(4): 7-9.
- [29] 喻霞, 魏敦崧. 生物质固定床气化过程的研究[J]. 煤气与热力, 2000, 20(4): 243-246.
Yu Xia, Wei Dunsong. Study of gasification treatment of biomass in fixed bed gasifier[J]. Gas and Heat, 2000, 20(4): 243-246. (in Chinese with English abstract)
- [30] 赖艳华, 吕明新, 董玉平. 生物质热解气中焦油生成机理及其脱除研究[J]. 农村能源, 2001(4): 16-19.
- [31] 刘洋, 刘正宁, 谭厚章, 等. 生物质灰结渣机理研究[J]. 工程热物理学报, 2010, 31(5): 895-899.
Liu Yang, Liu Zhengning, Tan Houzhang, et al. Mechanism of biomass ash slagging[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2010, 31(5): 895-899. (in Chinese with English abstract)
- [32] 刘圣勇, 李文雅, 苏超杰, 等. 生物质成型燃料燃烧设备结渣特性试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(增刊 1): 135-137.
Liu Shengyong, Li Wenya, Su Chaojie, et al. Experimental study on the slagging characteristics of biomass briquette combustion equipment [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(Supp. 1): 135-137. (in Chinese with English abstract)
- [33] 罗娟, 侯书林, 赵立欣, 等. 典型生物质颗粒燃料燃烧特性试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 220-226.
Luo Juan, Hou Shulin, Zhao Lixin, et al. Experimental study on combustion and emission characteristics of biomass pellets[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(5): 220-226. (in Chinese with English abstract)
- [34] Anderson P S. Progress report on micro-gasifier stoves and heaters during 2006[R]. The 2007 Engineers in Technical and Humanitarian Opportunities of Service (ETHOS) Conference. Kirkland, Washington, 2007 .
- [35] Anderson P S, Belonio A and Reed T B. Nine Top-Lit Updraft (T-LUD) Gasification Advances of 2005 [R]. The 2006 Engineers in Technical and Humanitarian Opportunities of Service (ETHOS) Conference. Kirkland, Washington, 2006.
- [36] 何广昌, 李相鹏, 张世红, 等. 生物质在 TLUD 固定床气化炉上的气化特性研究[C]//第四届全国研究生生物质能研讨会. 武汉: 华中科技大学, 2010.
He Guangchang, Li Xiangpeng, Zhang Shihong, et al. Property of biomass gasification in a Top-lit updraft fixed bed gasifier[C]//The 4th Seminar on biomass energy research of graduate students in China. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2010. (in Chinese with English abstract)

Development and improvement of household updraft biomass gasifier

Li Bin, Chen Hanping^{*}, Yang Haiping, Wang Xianhua, Zhang Shihong

(State Key Laboratory of Coal Combustion, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: With advantage of simple configuration, flexible use, easy operation and low cost, household updraft biomass gasifier appears a wide application prospect in wide rural areas in China. However, there are still many technical problems need to be solved in the actual application currently, such as poor material adaptability, lower heating value of product gas, high content of tar and moisture and instability of gasification reaction, etc. In this paper, the working principle of updraft gasifier was briefly introduced firstly, and then the research and application status of household updraft gasifier in China was summarized, the existing problems and the reasons were analyzed comprehensively. Finally, some feasible solutions including strict raw material specification, structure and operation condition optimization of the gasifier, tar removal device addition and gasification mechanism innovation were also put forward, which could provide a guidance for its further development and improvement.

Key words: solutions, guides, problem solving, household, updraft biomass gasifier, status