

秸秆气化集中供气系统技术评价*

李定凯

(清华大学)

孙立

(山东省科学院)

崔远勃

(中国农业工程研究设计院)

摘 要 介绍了山东省科学院能源研究所研究开发的农村秸秆气化集中供气系统的工作原理和系统组成; 对系统, 特别是气化炉的技术性能进行了评价, 并给出相应的结论; 对进一步改进系统性能的方向提出了建议。

关键词 秸秆气化 农村能源 下吸式气化炉 技术评价

农作物秸秆是我国广大农村地区的传统生活燃料, 资源十分丰富。如 1996 年我国秸秆总产量达 7.05 亿 t, 除用作畜牧饲料、还田肥料和工业原料外, 可作燃料用的约 3.87 亿 t。随着农村经济和社会的发展, 越来越多的农户摒弃直接燃烧秸秆获得炊事用能的方式, 转而使用化石燃料。为处置多余的秸秆, 每到收获季节, 一些地区的农民就在田地里大量焚烧, 既造成能源的浪费, 又引起严重的环境污染, 甚至还威胁机场、高速公路的运营安全。为了我国农村经济和社会的可持续发展, 将秸秆转换为能量密度较高的气体燃料势在必行。

山东省科学院能源所经“七五”、“八五”承担国家科技攻关和农业部示范项目, 研究开发了一种农村秸秆气化集中供气系统。本文着重对这项技术进行技术评价, 并对今后要完善的技术问题进行了探讨。

1 秸秆气化原理

山东省能源所研究开发的秸秆气化工艺是常压固定床下吸式空气秸秆气化, 其工作原理如图 1 所示。气化炉内按工作状态分为五个区域, 炉内固态和气态物质均自上而下移(流)动。气化原料(秸秆)从炉顶给入, 给料口处呈微负压。空气主要从氧化燃烧区上部供给, 从进料口也漏入一部分空气。干燥区内的温度低于 100℃。进入的原料在那里吸热升温, 原料里的水分蒸发、汽化而形成水蒸气。在热解区, 原料里的有机挥发物质在 100~500℃范围内受热分解, 产生 CO、CO₂、H₂、CH₄、少量分子量较大的碳氢化合物、水(蒸气)、焦油/轻质油(蒸气)、焦炭(固体)。空气进入燃烧区, 其中的氧与热解产物中的一部分可燃物发生缺氧燃烧放出热量, 使燃烧区的温度可达 1000℃。整个气化炉的温度即是由燃烧区放出的热量维持的。热解区、干燥区需要的热量主要通过幅射传热从燃烧区获得。在燃烧区里主要有下列反应

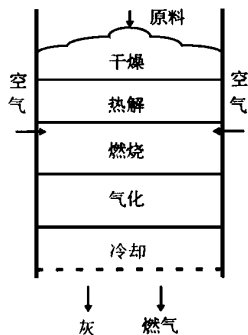


图 1 下吸式气化炉
工作原理

Fig 1 Working principle of
down draft gasifier

收稿日期: 1998-08-20

* 原国家科委成果司技术成果评价项目, 由清华大学顾树华和中国农业工程研究设计院王革华主持。

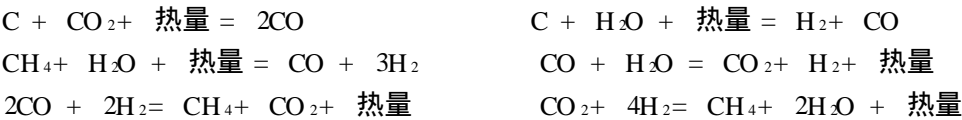
李定凯, 教授, 博士生导师, 北京海淀区清华园 清华大学热能工程系, 100084

发生^[1]:



此外还有焦油的燃烧和热裂解。

当空气中的氧耗尽之后,下面接着便是还原气化过程。气化区内的主要反应是^[1]:



气化区内反应总的热效应是消耗热量。当气化区里的温度降低低于 700 ℃ 时,气化反应基本停止。气化区后面是冷却区,其中固体成分主要是灰和未反应完的焦炭,气体成分即是有待净化的粗燃气。粗燃气在风机的抽吸下从底部离开气化炉,而灰和残炭则落入炉排下方的排灰室。热解、燃烧和气化过程都使炉内的固体物料体积收缩,所以当炉顶不断给料时,在重力作用下物料就不断向下移动。显然,由于气化剂是空气,并且炉内以秸秆的部分氧化燃烧来提供气化所需要的热量,所以气体产物中氮气和二氧化碳占大部分容积份额。这种工艺只能生产低热质燃气。另外如前所述,热解产物通过高温燃烧区,部分焦油被燃烧和热解,从而可以有效降低产品气中的焦油含量,这是下吸式气化炉的一个重要优点。

2 系统组成与技术性能

本文介绍的秸秆气化集中供气系统如图 2 所示。它由生物质气化站、燃气输配管网和用户室内设施三部分组成,其核心设备是 XFF 型固定床下吸式生物质气化机组。该机组的主要部件有给料机、气化炉、燃气净化器和燃气加压风机。燃气输配管网由聚乙烯塑料管热紧连接而成。用户室内配有活性炭燃气滤清器、燃气流量表、低热值燃气灶与(或)低热值燃气热水器。切碎的生物质原料由螺旋给料机从顶部送入气化炉。产生的粗气经两级旋风除尘器去尘,一级管式冷却器除湿、除焦油和箱式过滤器进一步除焦油、除尘后,被罗茨风机加压送往贮气柜。气化炉至风机前为负压系统。燃气靠气柜钟罩重量产生的压力送往用户。

目前 XFF 型生物质气化机组有两种型号,即 XFF-1000 型和 XFF-2000 型。前者处理秸秆能力为 100 kg/h,产气量达 200 m³/h,可供 100~ 130 户用气;后者处理秸秆的能力和产气量是前者的二倍,能供 130~ 250 户用气。燃气的容积成分大致为: CO 20 %; H₂ 15 %; CH₄ 2.0 %; CO₂ 12 %; O₂ 1.5 %; N₂ 49.5 %,低位发热量约 5 MJ/m³。气化炉的效率在 72 % 左右。这些指标与国外报导的同类型机组的实验结果基本类似^[2,3]。

对低热值燃气灶的测试结果表明,燃气热值为 4.41 MJ/m³ 时的灶具热效率为 44 %,热值为 5.238 MJ/m³ 时的灶具热效率为 55.2 %。这意味着秸秆气化总的炊事能源利用率达到 32 %~ 40 %。灶具的气密性、烟气中的 CO 含量、火焰的稳定性、灶具的热功率等指标都符合家用煤气灶的标准。生物质气化机组,燃气输配管网和燃气灶具的成龙配套,较为成功地解

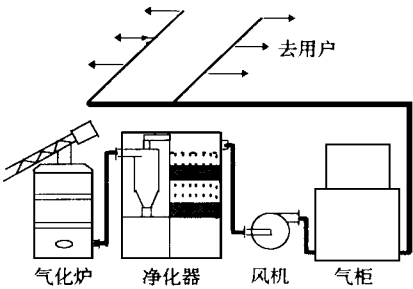


图 2 秸秆气化集中供气系统

Fig 2 Gas supply system for straw gasification

决了这一技术的实用性问题。

该系统的技术特点是:

- 1) 气化站设备配置简单、合理, 对降低初投资和运行成本有利。
- 2) 气化站内不用水洗涤粗气中的尘粒和焦油, 适合北方干旱地区的情况, 也有助于避免对水体和土壤的二次污染。
- 3) 按照国家标准用聚乙烯塑料管直埋敷设燃气管网可避免管网的锈蚀。热紧连接工艺能保证输气管良好的密封性, 施工简单。
- 4) 在用户终端配置低热值燃气灶具和热水器, 从器具上保证了系统的实用化和用户用气的安全性。

3 技术的成熟性和实用性

在开始阶段的技术研究和开发的基础上, 山东省科学院能源研究所对秸秆气化集中供气系统做了大量试点示范工作。截至 1997 年底, 全国已有 53 个项目使用了该技术, 其中山东省 46 项, 黑龙江省 3 项, 安徽、江苏、北京、河北各 1 项。从这项技术本身的特点及其应用实践, 研究开发单位在系统设备的设计、制造、安装方面的能力, 以及与实际应用有关的各种标准等方面进行衡量, 可以判断农村秸秆气化集中供气技术已经基本成熟和实用化。

从技术上讲, 以木质纤维燃料作原料的常压下吸式气化炉本身早已是一项成熟的技术, 用它来生产燃料气是不成问题的。但用农作物秸秆为原料向农户提供生活用气体燃料, 则是在中国农村条件下的一种特殊应用, 因而产生了应用的容许性问题。首先, 以这种工艺生产的燃料气的低热值仅为 $4 \sim 6 \text{ MJ/m}^3$, 远低于我国国家标准关于人工煤气的低热值应大于 14.7 MJ/m^3 的质量指标。第二, 由于工艺特点和生物质原料氧含量高, 产品气中 CO 含量一般都在 20 % 左右, 处于国家标准对人工煤气中 CO 含量规定值的临界水平。第三, 由于生物质热解气化必然生成难处理的焦油, 还因为农村生物质气化规模小, 不能采用电捕焦油一类的除焦油技术, 这给系统长期运行的可靠性带来了问题。

示范实践证明, 随着低热值气体燃烧灶具的研制成功, 秸秆气的稳定燃烧、燃烧效率、灶具热功率等问题均得到解决。燃气热值低并不妨碍燃气的使用效果, 所影响的是机组设备、储气柜和输送管路的尺寸相对较大, 从而增加初投资; 另外燃气中不可燃组分多, 会使热效率有所降低。

燃气中 CO 含量偏高隐藏着因燃气外泄造成人员 CO 中毒的危险, 但若严格按规范设计、制造、安装和运行, 就能够避免这类事故。迄今为止, 所有示范项目的设备和人身安全都得到了保障。

XFF 型机组、储气柜、输气管网和用户室内系统的设计、制造和安装中的技术问题已经基本解决。技术开发单位可提供规范化的以自然村为单元的秸秆气化集中供气系统的设计、制造、安装, 并能为用户培训运行技术人员, 从机组的设计、制造、安装和运行方面保证质量。生物质气化炉和燃气净化器是 XFF 机组的关键设备。二者的设计、制造都采用集成、快装式方案, 以节省原材料, 便于制造、运输和安装, 也有利于控制制造和安装质量。整个炉体在制造厂内一次制成, 运往安装现场与周围设备连接。燃气净化器的各部件如旋风除尘器、粗气冷却器、沉降室、箱式过滤器被设计制造成一个整体, 出厂前必须通过整体焊接质量和气密性试验。机组的现场安装工作量相对较小, 主要是管道、阀门和设备进出口的连接, 安装完成后容易进行机组的整体密封性能检验。

为了适应示范推广的需要,使示范推广工作规范化、制度化,做到有章可循,有规可依,山东省农业厅、山东省科学院组织起草了相关的技术条件和规范,以作为山东省地方标准发布实施。这些条件和规范以国家和部门、地方的有关标准为依据,结合农村秸秆气化集中供气的具体特点和特殊要求,对设计、制造、安装、调试、运行维护、人员培训各个环节的技术细节作了详细规定和说明。

4 结论与建议

对农村秸秆气化系统初步的技术评估表明,这是一项适合我国农村目前和今后一段时期发展水平和需要的先进实用技术,已经基本成熟,具备了在一定范围内扩大示范的条件。目前在我国农村,已有一部分村庄的整体生活水平达到或接近小康,农民要求使用优质气体燃料,提高生活质量。另一方面,利用农作物秸秆作农村能源又是节能和环保、经济与社会可持续发展的迫切要求。本文介绍的技术似乎是目前能同时解决或缓解这两个问题的唯一实用技术。根据已有的示范项目,今后还需对下述技术问题逐个加以解决。

1) 加强对 XFF-2000 型气化炉的试验研究,炉的结构进行优化设计,并优化其运行条件。

2) 用户的用气安全必须放在首要位置,确保万无一失。要特别提防用户因户内燃气外泄引起 CO 中毒或火灾。在燃气中应考虑添加臭味剂,起泄漏报警作用。

3) 最大限度地减少煤气中的焦油含量。从示范现场考察的情况看,焦油的沉积部位主要是燃气净化器、净化器出口到气柜间的管路和气柜进出口。尤其是燃气冷却器管内焦油、灰尘沉积严重。要研究进一步除焦油的技术。

4) 保证所有用户的用气压力对供气质量和用气安全十分重要。为此,需对管网作准确设计。现有输气管网中冷凝液收集器偏多,对防止燃气泄漏不利,可视具体情况酌情减少。

5) 防止局部的二次污染。XFF 机组运行时,有冷凝水及焦油从燃气冷却器排出。冷凝液中含多种有害杂质,如酚、萘、氨,若随处倾倒,天长日久,会造成周围土壤和水体的局部污染,应采取措施加以预防。

6) 考虑在冬季高寒地区采取气柜防冻技术,否则将影响系统在冬季的正常运转。

7) 考虑不同地区地理、气候条件,原料条件的差异,若以稻草作原料,气化炉的工作特性会如何变化?南方地区雨多、潮湿,北方地区雨少、干燥,为了控制进炉生物质原料的水分,原料的堆放、切碎、晾干的场地应采取何种措施,应相应形成规范。

参 考 文 献

- 1 G D Evans Development and operation of an open-core downdraft gasifier system. Ph D thesis, The University of Aston in Birmingham, 1992
- 2 S R Patel C S Rao Development and testing of 20 kW throatless rice husk based gasifier system for power generation Fourth National Meeting on Biomass Gasification and Combustion, Bangalore, India, 1992, 179~ 185
- 3 H S Mukunda P J Paul Results of an Indo-Swiss programme for qualification and testing of a 300-kW IISc-Dagas gasifier Energy for Sustainable Development, 1994, 1(4): 46~ 49

Technical Assessment on Rural Cooking Gas Supply System for Straw Gasification Technology

Li Dingkai

(Tsinghua University, Beijing)

Sun Li

(Shandong Academy of Sciences)

Cui Yuanbo

(Chinese Academy of Agricultural Engineering)

Abstract This paper presented the straw gasification technology for cooking gas supply to rural households, and constitution of the supply system developed by Energy Research Institute of Shandong Academy of Sciences (ERI of SDAS). Technical characteristics of the system, in particular of the fixed bed downdraft straw gasifier was assessed, and some opinions for further improvement of performances of the system were given.

Key words straw gasification, rural energy, downdraft gasifier, technical assessment,