

秸秆直燃热水锅炉供热系统的研究设计

田宜水, 张鉴铭, 陈晓夫, 姚向君, 崔远勃

(农业部规划设计研究院)

摘要: 该文为解决秸秆焚烧污染问题, 研究以秸秆为燃料, 直接燃烧的热水锅炉供热系统。供热系统由秸秆直燃热水锅炉和配套系统(秸秆收集和预处理系统)组成。通过对秸秆物料本身特性(堆积密度、含水率和挥发分)进行分析, 在秸秆锅炉的设计中采用下饲式进料方式和双燃烧室结构。测试结果表明, 该系统的主要技术指标均符合国家标准, 获得了稳定、高效和清洁的燃烧方式, 提高了秸秆的能源利用率。

关键词: 秸秆燃烧; 热水锅炉; 供热系统; 生物质能

中图分类号: TK6

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0220087204

作为人类利用最早、最多、最直接的一种传统生物质能, 秸秆已经成为了废弃物, 或占用一定的农田常年堆积, 或就地焚烧, 不仅浪费了大量的资源, 而且严重污染了大气环境, 制约了农村经济的可持续发展。因此, 如何妥善处理农村秸秆的问题, 已成为解决环境污染, 提高农民生活质量的一项重要课题。

目前, 发达国家如英国、美国、丹麦和意大利等均采用大型秸秆锅炉集中利用农作物秸秆, 用于集中供暖、发电或热电联产。我国秸秆工业燃烧技术起步较晚, 目前尚无专门以秸秆为燃料的供热系统问世。国内 015~ 410 t 的燃煤快装锅炉已大量应用于乡镇企业的生产热水和乡镇居民的冬季采暖, 研制开发运行费用低于燃煤, 适合我国农村特点的以秸秆为燃料的供热系统将会促进秸秆能源利用的步伐, 有利于农村生态环境保护, 促进农村经济可持续发展。

1 秸秆的特性

秸秆是一种有效的可再生资源, 作为燃料, 其热效率较低, 大部分农村户用炊事炉灶的热效率仅为 15%~ 30%。其主要原因在于传统的炉灶没有针对秸秆的特性进行设计, 形成了运行过程中的诸多问题, 例如燃烧不稳定、挥发分过分集中析出, 燃烧效率低, 冒黑烟等。因此, 首先要分析秸秆作为燃料的主要特性, 其主要表现在以下 3 个方面。

1.1 堆积密度

秸秆作为农业产品收获后的残余物, 具有松散、堆积密度低及分散等特点。例如, 已切碎的秸秆的堆积密度仅为 50~ 120 kg \cdot m⁻³[2], 远远低于煤的堆积

密度(褐煤的堆积密度为 560~ 600 kg \cdot m⁻³, 烟煤的堆积密度为 800~ 900 kg \cdot m⁻³)。因此, 不便于秸秆的收集、运输工作, 而且占用大量的堆放场地。

1.2 含水率

秸秆的含水率为 5%~ 60%, 变化范围很大。当秸秆含水率较高时, 其低位发热量将会有所下降^[5], 造成秸秆起燃困难, 燃烧温度偏低, 阻碍燃烧反应的顺利进行, 以至于影响整个供热系统正常使用。

1.3 挥发分

与煤相比, 秸秆具有较高的挥发分含量。秸秆中的挥发分含量一般都大于 50%, 其存储了超过 203 的热量, 且一般在 200~ 300 时开始析出^[3]。较高的挥发分含量, 较低的挥发分析出温度, 使秸秆的燃烧难以控制, 同时挥发分燃烧的好坏是秸秆能否正常燃烧的主要因素。传统的燃煤锅炉的设计和操作规程有可能不适合于秸秆锅炉, 因此, 秸秆燃烧系统的设计和作应充分考虑其挥发分高的特性, 特别是在进料方式的设计过程中。

2 供热系统的研究设计

2.1 总体方案

根据我国农村生产和生活的实际情况, 以秸秆为燃料的供热系统可为中小型乡镇企业、乡镇政府机关、中小学校、相对比较集中的乡镇居民和经济比较发达的自然村提供生产热水、生活热水和冬季采暖之用。综合分析供热系统的需求, 整个系统应由秸秆直燃热水锅炉、配套系统和供热管路等组成, 具体的工艺流程见图 1。

收稿日期: 2001208217 修订日期: 2002202208

作者简介: 田宜水, 工程师, 农业部规划设计研究院 朝阳区麦子店街 41 号, 北京, 100094

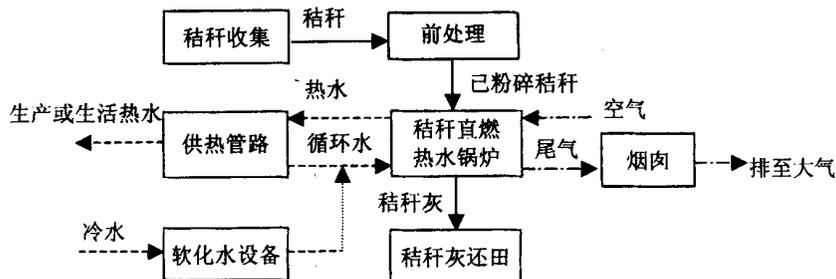


图 1 供热系统的工艺流程图

Fig 1 Flow chart of the heating plant

其中, 供热系统设计的技术指标为

供热量: $Q = 0.135 \text{ MW}$

燃料: 秸秆(小麦、玉米、棉花与大豆等秸秆), 含水率 $W < 20\%$ 。以玉米秸秆为例, 低位发热量为 $Q_{dw} = 13107 \text{ MJ/kg}$

进口水温: $t_{w1} = 70$

出口水温: $t_{w2} = 90$

锅炉效率: $\eta > 65\%$

排烟: 标准状态下, 排烟含尘浓度 $< 200 \text{ mg/m}^3$; 排烟黑度 $< \text{林格曼 1 级}$

以下, 对秸秆直燃热水锅炉及配套系统分别进行论述。

212 秸秆直燃热水锅炉

由有关燃烧理论可知, 保持燃料充分燃烧的必要条件为保持足够的炉膛温度, 合适的空气量及与燃料良好的混合、足够的燃烧时间和空间。但在传统的层燃方式中, 随着燃烧过程的推进, 在燃料最需要氧气和高温条件来强化燃烧时, 析出大量的挥发分, 使炉内燃烧条件劣化, 造成上部炉膛温度偏低; 同时, 由于局部的严重缺氧, 使大量的挥发分不能及时燃烧, 出现了冒黑烟等现象。因此, 本文将依据秸秆本身的特性, 从燃烧机理角度出发, 针对进料方式和燃烧室进行研究, 以便设计运行稳定、热效率高的秸秆锅炉。

21211 进料方式

为解决挥发分较高的问题, 拟采用下饲式的进料方式。其供料用螺旋进料器由下部进料, 在进料部位, 形成了一个着火热源自上向下传递的区域, 这一区域中料层的燃烧分布见图 2。

由于进料是从下部进行, 新燃料不直接遇到高温过热烟气, 延缓了挥发分的集中析出, 防止了炉膛温度的波动, 使燃烧趋于稳定; 同时, 挥发分必须通过高温氧化层, 与斜向进入的空气充分混合, 在焦炭颗粒间隙中进行着火和燃烧, 避免了供氧量的不足而造成冒黑烟的问题。这种进料方式充分地考虑秸

秆的特点, 保证了清洁燃烧, 为秸秆锅炉的简便、稳定与高效运行提供了坚实的基础。

21212 燃烧室

在燃烧室研究设计中, 在充分考虑秸秆物料特性的基础上, 根据燃烧学原理, 采用了双燃烧室的设计方案。第一燃烧室为主燃区, 设置在炉膛前部; 第二燃烧室为辅助燃烧区, 设置在炉膛的后部, 两者之间由挡火拱分隔(见图 3)。

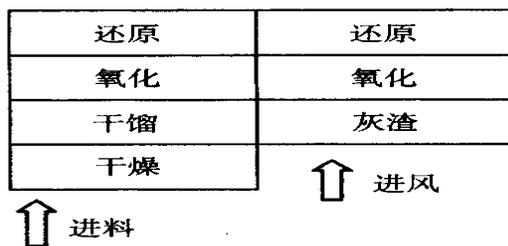
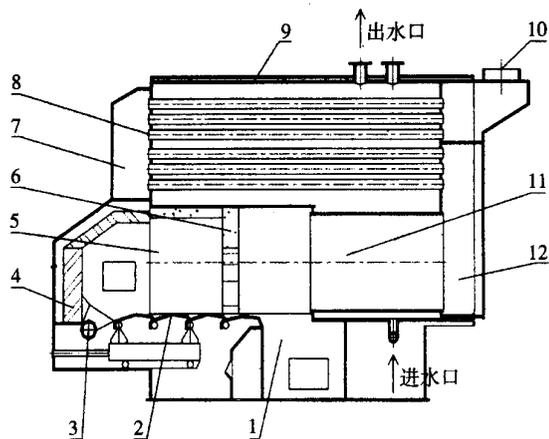


图 2 下饲式进料方式燃烧区域分布图

Fig 2 Distribution plan on burning area with straw feeding via screw stoker below grate

在第一燃烧室的前部, 作为动力燃烧区, 依据炉拱的“再辐射”原理设置前拱。在前拱的辐射作用下, 使局部形成高温区, 以满足新燃料起燃的条件。在第一燃烧室中部, 作为扩散燃烧区, 设有炉衬, 防止锅筒过分吸收热量, 保证燃料的充分燃烧; 同时, 采用推迟配风法, 送强风, 提高气流的扩散速度, 形成一个强燃区, 保证固定碳的充分燃烧。在第一燃烧室尾部, 设有挡火拱, 对高温烟气起到一定阻挡作用, 使部分高温烟气形成回流, 将后部的高温烟气及其所携带的炽热焦粒引导到前部, 形成漩涡, 提高前拱区域的温度, 保证了在含水率较大情况下燃料的顺利起燃; 同时, 将后部部份空气引至前部, 使其与前部未燃烧的挥发分及还原层产生的 CO 、 H_2 等可燃气体充分相混合。

当高温烟气通过挡火拱进入第二燃烧室时, 由于空间突然地增加, 高温烟气的流速急剧下降, 由惯性原理, 烟气中携带的部份碳粒和灰分将落入下面



11 灰室 21 往复式炉排 31 进料口 41 前拱 51 第一燃烧室 61 挡火拱 71 前烟箱 81 对流换热面 91 锅筒
101 烟气出口 111 第二燃烧室 121 后烟箱

图 3 秸秆直燃热水锅炉结构简图

Fig 3 Structural drawing of straw hot water boiler

的积灰室。第二燃烧室为筒状结构, 为未燃烬的气体和碳粒提供一个充分燃烧的空间和足够的滞留时间; 同时, 作为辐射换热区域, 可与锅筒中的工质进行充分地换热。

21213 整机设计

整体方案设计采用了烟、火管的形式, 燃烧室作为火筒设置在锅筒内, 且采用双燃烧室及挡火拱结构。在下饲式进料方式的基础上, 为保证固定碳充分燃烧的时间, 在第一燃烧室内, 设置了往复式炉排, 将固相燃烧与气相燃烧有机地结合在一起。同时, 对流换热面为两行程的烟管, 在设计过程中对辐射换热面积与对流换热面积进行适当的分配, 以保证炉体紧凑、结构简单。锅炉的结构示意图 3。

213 配套系统

秸秆收集和预处理作为秸秆锅炉的配套系统, 为系统提供必要的支持, 对整个系统的高效运行起着重要作用。

21311 秸秆收集

大规模的秸秆收集应使用机械收集方式, 即由压捆机进行收集、压缩及打捆, 相应地减小了体积, 便于装载、运输与存储。现阶段, 在农村资金缺乏及劳动力成本较低的情况下, 本系统采用人工收集, 机械运输的方式。

21312 前处理

因为秸秆含水率变化范围较大, 秸秆在使用前应进行适当地晾晒, 将其含水率控制在 20% 以内。

秸秆的自然长度一般为 60~ 90 cm, 本系统采用连续送料方式, 所以秸秆在进入燃烧室之前应进行适当的破碎。因为本系统对燃料粒度的要求不高,

可采用切碎机切碎, 螺旋送料机送料。前处理流程见图 4。

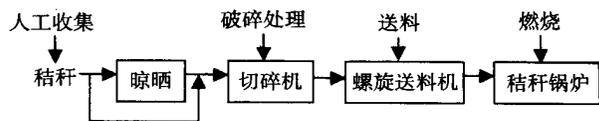


图 4 前处理系统流程图

Fig 4 Flow chart of pretreatment system for straw

3 测试结果与结论

311 热工测试

在研究过程中, 对秸秆锅炉进行了热工测试及大气污染物测试。测试过程主要依据国家有关锅炉的测试标准进行, 测试结果见表 1。

表 1 热工测试结果

Table 1 Testing results of thermal performance

项目	数值
额定平均出力 \bar{Q}_{MW}	01345
正平衡效率 $\delta\%$	66101
反平衡效率 $\delta\%$	68173
排烟含尘浓度 $\bar{Q}_{ng} \cdot m^{-3}$	89
排烟黑度	< 林格曼 I 级

测试结果表明, 秸秆锅炉的热性能指标与烟尘排放均符合国家标准。

312 结论

1) 下饲式进料方式, 延缓了挥发分的集中析出, 使燃烧更加稳定, 保证了清洁燃烧。

2) 双燃烧室及挡火拱结构, 保证了燃料起燃顺利和燃烧充分, 清除了烟气中携带的大部份碳粒和灰分, 有效改善了燃烧与换热的矛盾。

3) 采用了烟、火管的形式, 将辐射换热面与对流换热面进行适当的分配, 保证炉体紧凑、结构简单。

通过对 0135 MW 秸秆锅炉供热系统的经济效益分析, 系统固定资产投资比燃煤锅炉系统高约 31 500 元, 但年运行费用约节省了 9 706 元。同时, 秸秆年利用量为 17218 t, 替代了 11512 t 的燃煤, 每年能够减排 CO_2 约 265 t, SO_2 约 1184 t 及烟尘约 8016 kg (以燃煤中含硫 110%, 灰分 21% 计)。

以农作物秸秆替代煤炭等其它燃料, 具有较好的经济、环境和社会效益。随着农村经济的发展和农民生活质量的提高, 以及对环保治理的要求, 预计秸秆直燃热水锅炉供热系统将会有良好的市场应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] Lars Nikolaisen Straw for Energy Production Technology 2 Environment 2 Economy [R]. Denmark: the Center for Biomass Technology, 1998 53
- [2] Helwig G Basic of the Combustion of Wood and Straw [A]. Energy from Biomass: 3rd E. C. Conference London: Elsevier Applied Science Pub, 1985 793~ 801
- [3] Werther J, Saenger M, Hartge E U, et al Combustion of agricultural residues [J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2000, 26: 1~ 27.
- [4] van der Lans R P, Pedersen L T, Jensen A, et al Modelling and Experiments of Straw Combustion in a grate Furnace [J]. Biomass & Bioenergy, 2000, 19: 199~ 208
- [5] 中国农业工程研究设计院, 北京农业大学 农村能源手册(第 3 册) [M]. 北京: 农业出版社, 1993 47~ 49
- [6] 常弘哲等 燃料与燃烧 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1993 190
- [7] 李之光, 范柏祥 工业锅炉手册 [M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1988 1042

Study & Design on Straw Hot Water Boiler for Heating Plant

Tian Yishui, Zhang Jianming, Chen Xiaofu, Yao Xiangjun, Cui Yuanbo

(Chinese Academy of Agricultural Engineering Research and Planning, Beijing 100026, China)

Abstract: In order to decrease the pollution from direct burning of straw, the paper studied on hot water boiler of straw burning for heating plant. The heating plant is consisted of hot water boiler of straw burning and accessories system (i.e., collecting system and pretreatment system). Based on the analyse of straw characteristics (i.e. bulk density, moisture and volatile matter), underfeed stoker and double combustion chambers are introduced in the designing of straw boiler. Test result of thermal performance showed that technical parameters of the heating plant could meet the national standard. It not only has stable, clean and efficient combustion, but also improves the efficiency of straw energy utilization.

Key words: straw; combustion; hot water boiler; heating plant; bioenergy

《农业工程学报》在中文核心期刊“农业工程类”中位居榜首

据《中文核心期刊要目总览》2000 年版统计结果,我国现有农业工程类科技期刊 82 种,其中中文核心刊 12 种,《农业工程学报》在 12 种农业工程类中文核心期刊中位居榜首。农业工程类排

名前三位的期刊依次是:《农业工程学报》《农业机械学报》《农村水利水电技术》。

(本刊辑)

《农业工程学报》被《中国学术期刊文摘》收录

《农业工程学报》被中国科协主办的《中国学术期刊文摘》确定为第一批入选的 200 种学术期

刊之一。

(本刊辑)