

The Tobacco-Stem Fired Horizontal Circulating Fluidized Bed Steam Boiler Constructed by Commercial Mode of BOT

Guosheng Zhou¹, Jianjun Cui¹, Hongbiao Liu¹, Jianbin Kang^{2*}, Qinghai Li³, Yanguo Zhang³

¹Hunan Tobacco Redrying Co., Ltd., Chenzhou

²Beijing Nowva Energy Technology Co., Ltd., Beijing

³Key Laboratory for Thermal Science and Power Engineering of Ministry of Education, Tsinghua University, Beijing
Email: kang071@263.net

Received: Oct. 17th, 2013; revised: Oct. 29th, 2013; accepted: Nov. 4th, 2013

Copyright © 2013 Guosheng Zhou et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2013 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Guosheng Zhou et al. All Copyright © 2013 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: The heat required by drying process of tobacco leaf can be supplied by the combustion of the tobacco-stem. The commercial mode, build-operate-transfer (BOT), is a best choice for tobacco companies to build steam boiler with horizontal circulating fluidized bed for heat supply, and thus to save money, reduce operational cost and the risk of taking new technology to the tobacco company. The BOT example herein is a reference for engineering companies and tobacco processing factories.

Keywords: Tobacco-Stem; Horizontal Circulating Fluidized Bed; Combustion Test; Boiler Design

燃烟梗卧式循环流化床蒸汽锅炉 BOT 运作模式

周国生¹, 崔建军¹, 刘洪标¹, 康建斌^{2*}, 李清海³, 张衍国³

¹湖南烟叶复烤有限公司, 郴州

²北京热华能源科技有限公司, 北京

³清华大学热科学与动力工程教育部重点实验室, 北京

Email: kang071@263.net

收稿日期: 2013 年 10 月 17 日; 修回日期: 2013 年 10 月 29 日; 录用日期: 2013 年 11 月 4 日

摘要: 烟草烘烤工艺需要热量, 燃烧烟梗可以提供这部分热量。通过 BOT 的商业操作模式, 建设燃烟梗卧式循环流化床锅炉及系统为企业提供热源, 可为企业节约资金、降低生产成本和采用新技术的风险。本文的 BOT 模式可供工程公司、烟草公司等参考。

关键词: 烟梗; 卧式循环床; 燃烧实验; 锅炉设计

1. 引言

烟草是我国重要的经济作物, 2010 年我国烟叶产量为 220 万吨, 其中云南省烟叶产量最大, 为 90 万吨。如果烟叶与烟梗的比例按 5:2 粗略估算, 我国 2010 年就大约产生 70 万吨的烟梗, 这些废弃的烟梗不仅

*通讯作者。

浪费了可供利用的资源, 而且处置不当容易造成环境污染。烟梗可以作为燃料产生热能供生产、生活使用。将烟梗作为可再生能源利用, 可采用气化、热解和直接燃烧等方法。崔志军介绍了采用烟梗气化技术产生燃气, 然后燃烧进行烘烤烟叶^[1]。据了解, 烟梗在低温气化过程中会产生焦油, 在输运过程中堵塞管道。

为解决管道堵塞问题,有人提出气化后燃气不降温直接进入锅炉燃烧的方案,但高温管道以及阀门的投资较大,以一个 4 t/h 锅炉为例,燃烧系统的投资约 100 万元,大大限制了商业化途经。李黎^[2]尝试对烟梗进行热解,试图通过提高烟梗热解残留物能量密度来探索其合理利用,热解后固体产物的热值约 23 MJ/kg,热值约提高一倍,但目前仍没有成熟的工业化“热解制固体燃料”的方法。与气化和热解相比,对于生物质直接生产蒸汽来说,直燃是最简单有效的方法,无论是实验还是工程设计均表明采用循环床技术直燃生物质是可行的^[3-6]。但在设计纯燃生物质锅炉时也会遇到燃料灰熔点过低的问题,因而锅炉设计必须进行特殊的考虑,降低炉膛运行温度^[7]。卧式循环流化床是一项新的技术^[8-11],其炉膛容积相对较大,可维持炉膛的低温燃烧,目前已有纯燃稻壳、中药渣、玉米芯、麦糠等生物质锅炉运行,但尚无燃烟梗的卧式循环流化床锅炉设计。虽然理论和实验分析均表明,烟梗完全可以作为燃料供锅炉应用,但由于目前没有应用案例,如果企业盲目投入资金进行建设,必然导致一定的风险。BOT 的操作方式化解了这种风险,技术提供方在提供技术的同时并寻求投资工资支持,由投资公司投资进行锅炉建设,然后生产蒸汽销售给烟草企业,这样可行成互利共赢的局面。本文介绍了卧式循环流化床锅炉烟梗锅炉的技术特点及 BOT 模式在烟草企业中应用,并进行相应讨论。

2. BOT 模式介绍

自 1984 年土耳其总理 Targut Ozal (奥热扎尔)首次提出了建造 - 运营 - 移交 (build-operate-transfer, BOT) 方式,该方式在全世界许多国家和地区发展迅速,建立在诚信基础上的 BOT 方式是一种很有前途的甲方、乙方合作模式,目前国内已有人提出在城市热网建设中采纳这种方式^[12]。

BOT 有时也称为“特许经营权”方式,它是指某一财团或若干投资人作为项目的发起人,从一个国家的中央或地方政府获得某项基础设施的特许建造经营权,然后由此类发起人联合其他各方组建股份制的项目公司,负责整个项目的融资、设计、建造和运营。在整个特许期内,项目公司通过项目的运营获得利润,有时地方政府考虑到运营收费不能太高,可能给项目公司一些优惠条件,以使项目公司降低其运营收

费标准。项目公司以运营和经营所得利润偿还债务以及向股东分红。在特许期届满时,整个项目由项目公司无偿或以极低的名义价格移交给地方政府。BOT 方式中的各参与方还包括地方政府、各类金融机构、运营公司、保险公司等,他们都为项目的成功实施承担各自的职责。BOT 方式的典型结构框架如图 1 所示。

目前在世界上许多国家都在研究和采用 BOT 方式,我国的建设项目投资渠道也愈加多元化,利用 BOT 建设的项目也逐渐增多。特许经营权授权方已不仅仅限制为政府,已扩展到各种类型的企业,项目发起人既有外资企业、民营企业,也有国有企业,甚至地方政府, BOT 方式日益显现出其融资及项目管理的优越性。BOT 方式能够减少政府或企业直接投资的财务负担,减除了政府或企业的债务风险;使急需建设而政府或企业又无力投资的项目提前建成发挥作用,有利于满足社会和公众的需要,加速生产力的发展。但采用 BOT 承建的项目规模大,投资额高,建设和经营期限长,涉及各方的风险因素繁多复杂,在建造和经营的全过程中,各方均应做好风险防范和管理;项目收益的不确定性较大,在立项前需要做好充分的前期可行性研究及准备工作。

图 1 是 BOT 的一个典型框架,事实上,在烟草企业、燃烟梗锅炉技术提供方、投资方之间的关系要比图 1 中简单,但也要处理好烟草企业、投资方以及锅炉技术提供方之间的利益关系,同时做好技术设计,将各方的风险降低到最小。下面具体介绍锅炉及系统的技术设计以及实际的 BOT 运作模式。

3. 用户需求

湖南烟叶复烤有限公司针对烟草能源利用的要求和烟梗灰综合开发的市场需求,为了确保烟草废弃物环保处理能源利用,提出了烟草废弃物循环经济开发及应用项目,内容包括烟梗灰焚烧过程锅炉结焦处理技术和烟梗灰的综合利用,图 2 是循环经济流程图。从图 2 可以看出,烟梗的环保处理并生产蒸汽是这一项目构思的重要环节。从当前的调研看,生物质燃烧特别是高碱金属含量的生物质的燃烧存在一些技术难题和风险,例如:烟梗灰焚烧过程中会结焦;结焦会导致锅炉设备无法正常运行,需通过添加助燃剂或催化剂等化学元素解决锅炉结焦的问题。在现有条件下,为了规避项目风险,必须寻找信誉可靠、技

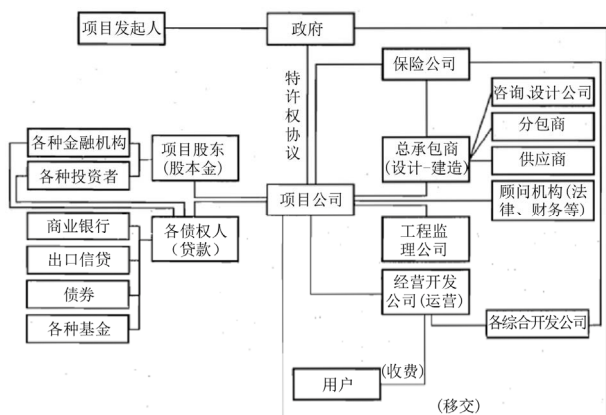


Figure 1. Typical BOT framework
图 1. 典型的 BOT 框架^[13]

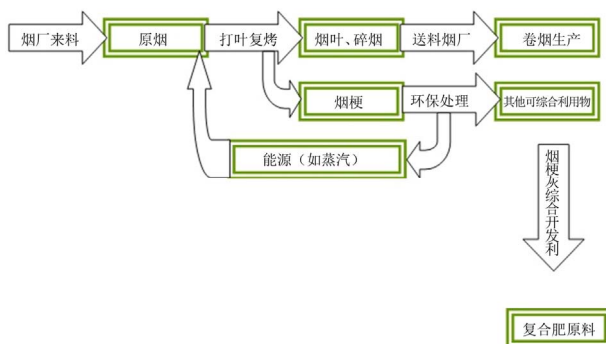


Figure 2. Diagram of circular economy process
图 2. 循环经济流程框图

术实力雄厚的供货商。同时，如果能采取 BOT 的模式，不但可以降低技术风险，而且可以降低资金投入风险，做到一举两得。鉴于此，湖南烟叶复烤有限公司与北京热华能源科技有限公司进行了技术和商务的合作。

4. 锅炉以及燃烧系统的设计

锅炉及燃烧系统是燃烟梗锅炉的关键，也是 BOT 实施的主要范围。

4.1. 技术基本原理及技术特点

作为生物质燃料的烟梗，成分比较特殊，虽易燃烧，但燃烧过程中存在易结焦、积灰、飞灰内碱金属化合物凝结等难题，能够有效解决烟梗燃烧中的结焦、积灰和焦油的处理是设计中需要重点考虑的问题。

为了解决烟梗废弃物处理难题，使其变废为宝，北京热华能源科技有限公司与清华大学联合开发出烟梗废弃物资源综合利用技术。该技术创造性开发出

燃烟梗的卧式循环流化床燃烧技术，该技术将传统意义上的立式循环流化床锅炉的单级炉膛改为三级炉膛，将一级循环改为两级循环，从而加大了锅炉炉膛的有效燃烧高度，增加燃料燃烧时间，保证燃料中的挥发分燃烧充分，使得烟碱、焦油等有害物质充分分解燃尽。通过两级灰循环，进一步保证燃料燃烧完全。同时，采用中温分离技术，有效避免了因灰中碱金属含量高所造成的尾部积灰问题。

根据烟梗的成分及燃烧特性，本锅炉进行了针对性设计，具有如下特点：

(1) 有效分解烟梗中的焦油，锅炉热效率高

烟梗在燃烧过程中，有大量的焦油析出，尽管焦油最终成为挥发分的一部分，但由于其高链结构，需要较高的温度和较长的燃烧时间才能燃烧充分。另外烟梗的挥发分高，而挥发分在炉膛内的停留时间较短，层燃炉和常规的流化床锅炉由于炉膛高度不够，挥发分的燃尽率不高。

本锅炉在炉膛增大绝热燃烧部分，采取三级炉膛结构，与立式循环流化床锅炉相比，增加了 60% 的炉膛高度，增加了焦油及其它挥发分的燃烧时间，使其燃烧完全。同时，本锅炉采取两级回灰结构，进一步降低飞灰含碳量，飞灰可 quezhi 燃物低于 3%。

本产品除了燃料燃尽率高外，锅炉还采用全膜式壁密封结构，保温性好，散热损失小，散热量仅为 1%。

(2) 对尾部积灰进行了有效处理，锅炉能够连续稳定运行

烟梗的灰中碱金属含量高， K_2O 的含量达到了 38.72%，灰的粘度比较大，很容易造成锅炉尾部受热面积灰。本锅炉在设计中采取如下技术措施：

- 采取中温分离技术，锅炉省煤器入口烟温约为 $500^{\circ}C$ ，低于碱金属的粘结沉积温度，能有效防止省煤器在流管束上积灰；
- 在设计中对流受热面比例小，也有效的减少了碱金属造成的粘结沉积；
- 采取目前吹灰效果最好的燃气脉冲吹灰器吹灰。

(3) 采取严格的环保工艺，排放物优于国家标准

本锅炉采取布袋除尘器进行除尘，烟尘的排放量小于 50 mg/m^3 ，远低于国家环保标准的 200 mg/m^3 ，而且没有废水产生。由于采用循环流化床燃烧技术， NO_x 的排放比较小。

(4) 燃烧产生灰可以制肥

烟梗的灰中碱金属含量高, K_2O 的含量达到了 38.72%, 可以利用烟梗灰制造钾肥, 真正做到循环利用。

4.2. 锅炉设计特点和参数

北京热华能源科技有限公司作为 BOT 的实施方, 采用清华大学的发明专利-卧式循环流化床锅炉与湖南烟叶复烤有限公司进行合作, 建设一套 15 t/h 燃烟梗的卧式循环流化床锅炉系统。

锅炉的主要技术参数如下:

锅炉型式: 卧式循环流化床锅炉

锅炉出力: 15 t/h

蒸汽压力: 1.25 MPa

蒸汽温度: 193.3℃(饱和)

热效率: $\geq 85\%$

设计燃料: 烟梗处理量: 每年 10,000 吨

烟梗热值: 2351 kcal/kg

炉膛结构: 膜式壁

NO_x 治理: 低温分级燃烧

除尘方式: 布袋除尘器

排放指标: 达到国家 GB13271-2001《锅炉大气污染物排放标准》

4.3. 燃烧系统

BOT 范围内的整套工艺系统包括燃料给入系统、

锅炉本体、给水系统、烟风系统、烟气净化系统、自动控制系统等。图 3 是燃烧系统图, 从前到后依次为给料系统、锅炉本体、除尘器和烟囱等。图 3 中的所有关键设备均为技术方提供, 降低了系统技术整合的风险。

5. 商业模式实施

由北京热华能源科技有限公司出资, 采取能源托管方式(BOT)投资、建设和运营烟梗处理项目, 一方面为湖南烟叶复烤有限公司免费无害化处理烟梗, 另一方面为企业提供蒸汽, 从运营中获益。

5.1. 烟叶复烤企业实施 BOT 的益处

(1) 烟叶复烤企业不承担技术风险和资金风险。烟梗处理一直是烟叶复烤企业的难题, 有不少企业尝试过各种处理方式, 但均没有取得成功。卧式循环流化床烟梗锅炉是一项全新的技术, 采取 BOT 模式, 烟叶复烤企业不承担任何技术风险和投资风险, 也不会对现有的生产造成不利的影响。

(2) 符合专业化分工方式, 由于保持锅炉运行的稳定。热华公司是专业的锅炉技术开发和锅炉运行公司, 在锅炉运行上具有成熟的经验, 有专业维修保养队伍, 锅炉故障的处理速度快。采取 BOT 模式, 会降低锅炉运行的故障率, 缩短锅炉故障处理的时间,

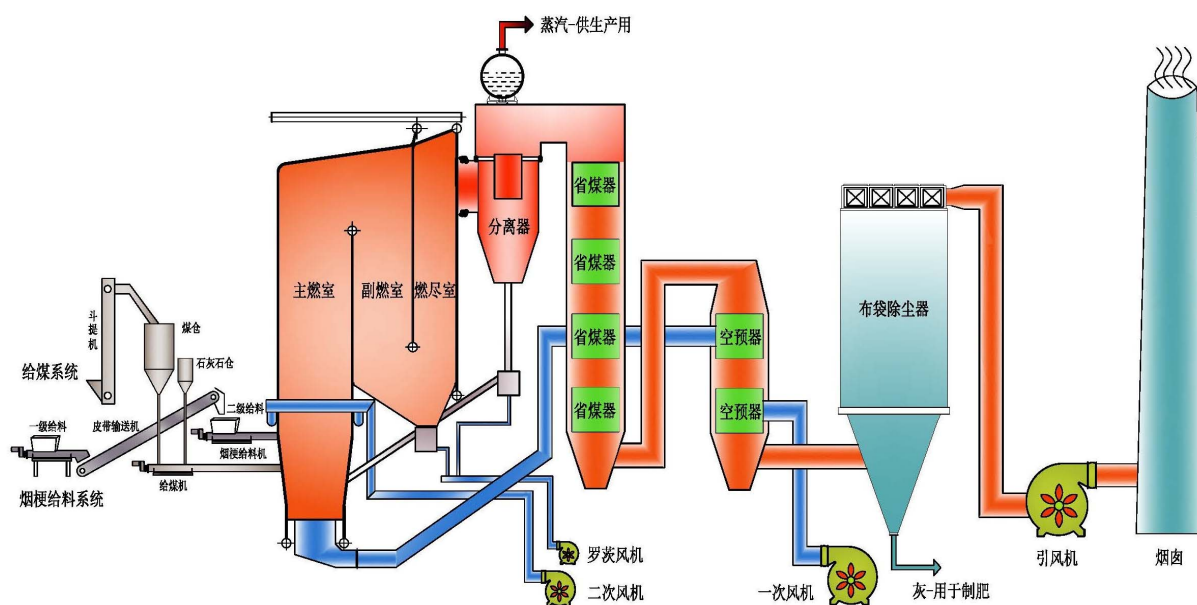


Figure 3. Diagram of combustion system
图 3. 燃烧系统图

有利于保证企业的正常生产。

(3) 有利于项目的快速实施，烟草行业的投资有着严格的要求和审批程序，项目的审批周期比较长。在 BOT 模式下，由于不需要烟叶复烤企业不出资，项目的审批流程简单，项目可以快速实施。

(4) 有利于降低企业的生产成本。在 BOT 模式下，由于专业化经营和严格的管理，其运行成本要低于企业自行运行的成本，同时，锅炉环保排放责任和年检均有投资方承担。

5.2. 实施方式

资金来源：全部由北京热华投资投入。

项目建设内容：主要包括锅炉、进料系统、环保系统、控制系统等设备购置、安装、调试等。

项目建设地点：在湖南烟叶复烤有限公司厂区内，烟梗不出厂，保证烟梗处理的全过程都在业主的监督范围内。项目建设用地由湖南烟叶复烤有限公司免费提供。

运行及维护：全部由投资商负责。

蒸汽价格：保证锅炉的连续稳定运行，为业主的生产提供可靠的蒸汽，蒸汽的价格为现有锅炉生产蒸汽成本的 90%。

环保排放：采用先进的燃烧技术和布袋除尘器，保证所有的排放指标优于国家标准。

运营期限：10 年，运营期限满后，将无偿将所有设备移交给业主，并保证设备完好、运行状态良好。

在建设期和运行期业主须承担如下责任：

- 1) 免费提供项目建设用地；
- 2) 保证烟梗等废弃物的供应；
- 3) 每年保证最低用汽量。

针对不同的烟厂，烟梗产量和需要的蒸汽量会略有不同，表 1 给出了锅炉容量与锅炉热效率、烟梗消耗量的关系。在具体实施时，可以以需要蒸汽量定锅炉容量或者以烟梗产量确定锅炉容量。例如，1) 以蒸汽定锅炉容量，如果需要 30 t/h 蒸汽，那么可以安装 2 台 15 t/h 的锅炉，运行时如果烟梗量不够则可以以煤或其他生物质补充燃料，如果烟梗盈余，则需要以其他方式处理烟梗。2) 以烟梗产量定锅炉容量，如果平均日产烟梗 130 t/d，这时可安装 1 台 20 t/h 或者 2 台 10 t/h 锅炉(优先推荐 2 台 10 t/h 锅炉，便于检修)。

Table 1. Project construction scale
表 1. 项目建设规模

锅炉出力 t/h	4	8	10	15	20
锅炉热效率%	85	86	87	89	89
烟梗耗量 t/h	1.16	2.29	2.83	4.15	5.54
烟梗耗量 t/d	27.84	55.03	68.00	99.71	132.95

此时，如果需要蒸汽量大于 20 t/h，则需要额外的燃煤锅炉补充或者扩大燃烟梗锅炉的容量，如果需要蒸汽量小于 20 t/h，则要寻找蒸汽的其他用途。

6. 结论

湖南烟叶复烤有限公司采用清华大学、北京热华能源有限公司的燃烟梗卧式循环流化床锅炉，以 BOT 和能源托管模式委托北京热华能源公司建设该锅炉系统。通过 BOT 模式有效降低了采用新技术的风险。本文的商业模式，可供相关企业和工程公司参考。

参考文献 (References)

- [1] 崔志军, 孟庆洪, 刘敏, 等 (2010) 烟草秸梗气化替代煤炭烘烤烟叶研究初报. *中国烟草科学*, 3, 70-72.
- [2] 李黎, 李清海, 蒙爱红, 等 (2011) 烟杆热解固体产物性质及其影响因素研究. *可再生能源*, 6, 106-108.
- [3] Zhang, Y.-G., Li, Q.-H., et al. (2006) Experiment and design on agricultural waste fired CFBB. *Journal of Solid Waste Technology and Management, International Conference*.
- [4] 蒙爱红, 李清海, 张衍国, 等 (2008) 塑料和生物质在循环床内燃烧特性的实验研究. *清华大学学报*, 5, 828-831.
- [5] 李清海, 张衍国, 等 (2006) 燃用玉米芯的循环流化床锅炉热风系统研究与设计. *锅炉技术*, 4, 35-39.
- [6] 张衍国, 李清海, 等 (2005) 燃用生物质的循环流化床热风系统结构与运行. *节能技术*, 4, 291-294.
- [7] Li, Q.H. Zhang, Y.G., Meng, A.H., et al. (2012) Study on ash fusion temperature using original and simulated biomass ashes. *Fuel Processing Technology*, 107, 107-112.
- [8] Meng A.H., Li Q.H., Zhang, Y.G., et al. (2012) Experimental investigation on a 0.35Mw coal-fired horizontal circulating fluidized bed boiler. *Cleaner Combustion and Sustainable World*, 651-656.
- [9] Li, Q.H. Zhang, Y.G., Meng, A.H. (2009) Design and application of novel horizontal circulating fluidized bed boiler. *Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion*, Xi'an, 206-211.
- [10] Li, Q.H., Zhang, Y.G., Gong, R., Chen, G.Y. and Jia, T.X. (2010) Biomass energy utilization technology developed by university and boiler works. *10th International Symposium on Combustion and Energy Utilization*, University of Mugla, 4-9 May 2010.
- [11] 李清海, 张衍国, 蒙爱红, 等. (2006) 垃圾物理特性与可焚烧特性的关系. *中国工程热物理学会燃烧学学术会议*, 734-739.
- [12] 丁艳华(2004) 用 BOT、TOT 方式进行城市热网建设的探索. *区域供热*, 4, 31-34.
- [13] 王雪青, 杨秋波 (2011) 工程项目管理. 高等教育出版社, 北京.