茶渣生物质颗粒燃料关键制备技术及生产线的研究

钟亮，邵增琅，唐杏燕，王晓霞

（南京融点食品科技有限公司，江苏省速溶茶粉工程技术研究中心，江苏南京211300）

摘要：生物质颗粒燃料作为一种优质的清洁燃料，越来越受到人们的关注。以茶渣类生物质为原料，污泥为粘合剂，对颗粒成型关键技术进行研究，结果表明：最佳的制备技术为茶渣含水率13%～17%之间；三回程滚筒烘干机的出风温度为85～90℃；污泥添加比例为5%～10%；并在此基础上最终建成了规模化（时产3t）、低成本茶渣生物质燃料生产线，为茶叶的综合利用提供了一种新途径。

能
源是人类
社会赖以生存和发
展的物质基础，随着世界经济的快速
发展、人口的剧增，能源需求量将持续增大[1]
，加之化石燃料的减少及所带来的环境污染问题，寻找可再生能源尤为重要。生物质燃料因其可再生、污染小等优势正在逐渐被人们所重视[2]
，生物质颗粒燃料主要以农林废弃物
为原料，通过专门设备压缩成的颗粒状燃料[3]
。我国是茶叶生产与消费大国，每年都会产生大量的茶废弃物，既污染环境又造成资源浪费。关于废弃茶渣的综合利用国内外作了大量研究，主要集中在提取茶渣活性成分、制备茶渣吸附剂、茶渣作为生物有机肥、动物饲料、食用菌培养料等方面[4]，用茶渣制备生物质颗粒燃料鲜有报道。

本文以废弃茶渣为原料，研究其与污泥复配制备成型颗粒燃料的关键技术参数，并在此基础上最终建成规模化茶渣生物质颗粒燃料生产线，为茶叶深加工企业废茶渣的处理和利用提供一种新的途径。

1材料与方法

1.1试样制备

茶渣：粒径2.36～4.75mm，用隔膜式板框压滤机压榨至水分为55%～60%，压榨压力为1.2～1.5Mpa，压榨时间为20～30min。

污泥：用隔膜式板框压滤机压榨至水分为68%～73%，压榨压力为1.2～1.5Mpa，压榨时间为20～30min。

1.2主要仪器与设备

隔膜式板框压滤机购自景津环保股份有限公司，
压滤面积400m^2
，滤饼厚度35～40mm；三回程滚筒烘干机购自靖江万素机械制造有限公司；环模颗粒机购自江苏牧羊集团有限公司，生产处理能力1.5t/h，耗电量55kW/t，环模内径420mm；DHG-9003BS电热恒温鼓风干燥箱购自上海新苗医疗器械制造有限公司；AL204电子天平购自梅特勒-
托利多仪器（上海）有限公司；SDACM3000量热仪购自长沙三德实业有限公司。

1.3方法

1.3.1茶渣含水率对成型的影响

含水率对燃料成型的影响研究较多，大部分研究结果基本趋于一致，考虑到各学者的研究结果，制粒茶渣的含水率不大于20%[5]，试验分别取含水率为9.5%、11.0%、12.3%、13.5%、15.2%、16.8%、17.7%、18.5%、20.1%的试样，通过成型密度和颗粒外观确定制粒茶渣的含水率。

1.3.2三回程滚筒烘干机烘干温度优化

根据1.3.1研究结果，调整三回程滚筒烘干机的出风温度，分别设置出风温度为78°C、82°C、85°C、87°C、90°C、92°C、95°C几个梯度，通过茶渣水分的测定，使茶渣含水率达到制粒要求。

1.3.3污泥添加比例对成型燃料的影响

分别添加0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、40%、50%的污泥，与茶渣混合后用环模颗粒机制粒，通过测颗粒的密度及热值，确定污泥的添加比例。

1.3.4茶渣生物质颗粒燃料及煤炭的工业成分分析

将制备好茶渣生物质颗粒燃料与市售燃煤，按相关行业标准和国标进行工业成分分析。

1.3.5时产3吨茶渣生物质颗粒燃料生产线设计

在前期研究的基础上，按企业茶渣产生量设计时产3t茶渣生物质颗粒燃料的生产线。

1.4分析方法

1.4.1含水率测定

试样置于恒温干燥箱中于105±5°C的条件下烘4～8h，冷却后称量。重复烘1～2h待冷却后称量，直至两次称量之差小于样品的百分之一。

1.4.2成型密度测定

参照蔡文倍 [5]
成型密度测定方法，将成型的茶渣生物质颗粒燃料放在室温下使其自然风干，使用游标卡尺及电子天平分别对成型燃料的长度、直径及质量进行测定，按下列计算公式计算生物质颗粒燃料的密度。

$$\rho=m/v=m/(\pi/4\times d^2\times l)=4m/\pi d^2 l$$

其中，ρ 是生物质粒燃料的密度，单位 g/cm^3；m 是成型燃料的质量，单位 g；v 是成型燃料的体积，单位 cm^3；d 是成型燃料的直径，单位 cm；l 是成型燃料的长度，单位 cm。

1.4.3发热量测定

按GB/T 213-2008《煤的发热量测定方法》[6]规定的方法测定，以高位发热量和低位发热量的平均值计。

1.4.4煤炭工业成分分析方法

煤炭的水分、灰分、挥发分、固定碳的测定按GB/T 212-2008《煤的工业分析方法》[7]中规定的方法测定，全硫按GB/T 214-2007《煤中全硫的测定方法》[8]中规定的方法测定。

1.4.5生物质成型燃料工业成分分析方法

茶渣生物质颗粒燃料的水分、灰分
、挥发分参照生物质固体成型燃料试验方法[9]中规定的方法测定，固定碳和全硫分别参照GB/T 212-2008[7]及GB/T 214-2007[8]中规定的方法测定。

2结果与分析

2.1茶渣含水率对成型的影响

物料含水率对生物质压
缩成型效果有比较大的影响，是生物质成型过程中
十分重要的因素[10]
。含水率过低，木质素不能得到充分转化，大大降低粘结效果，增强粒子之间的抗压强度，不仅成型困难，同时也会产生过多压缩能耗；含水率过高，加热过程产生的蒸汽不能从成型燃料中心孔排出，轻者会造成燃料开裂，表面非常粗糙，重者则会产生爆鸣
，同时含水率过高还可能导致生物质颗粒之间的导
热速率大大降低[11]
。从表1可知，茶渣含水率低于13%时，成型密度小，成型燃料表面粗糙，有一些裂纹，成型效果一般；茶渣含水率高于17%或更高时，成型燃料表面有裂痕，随着含水率的增加，成型效果越差，成型燃料抗摔性也越差，且易碎。茶渣含水率为15%～17%时，成型燃料表面光滑，密度较大，成型效果最佳。考虑到实际生产过程中含水率控制很难，达不到如此严格，故制粒茶渣含水率为13%～17%之间均可，试验结果符合行标NY/T 1878-2010[12]生物质固体成型燃料技术条件的基本性能要求。

表 1　茶渣不同含水率成型效果情况表

Table 1　The molding situation results of different moisture content of tea residue

含水率(%) Water content	密度(g/cm³) Density	成型效果 Formation
9.5	0.69	表面有明显裂纹
11.0	0.80	表面粗糙,有裂纹
12.3	0.91	光滑度低
13.5	1.16	表面光滑
15.2	1.22	成型效果好,表面光滑
16.8	1.12	成型效果好,表面光滑
17.7	0.97	表面较光滑
18.5	0.83	成型效果较差,裂痕严重
20.1	0.81	成型效果差,易碎

2.2三回程滚筒烘干机烘干温度优化

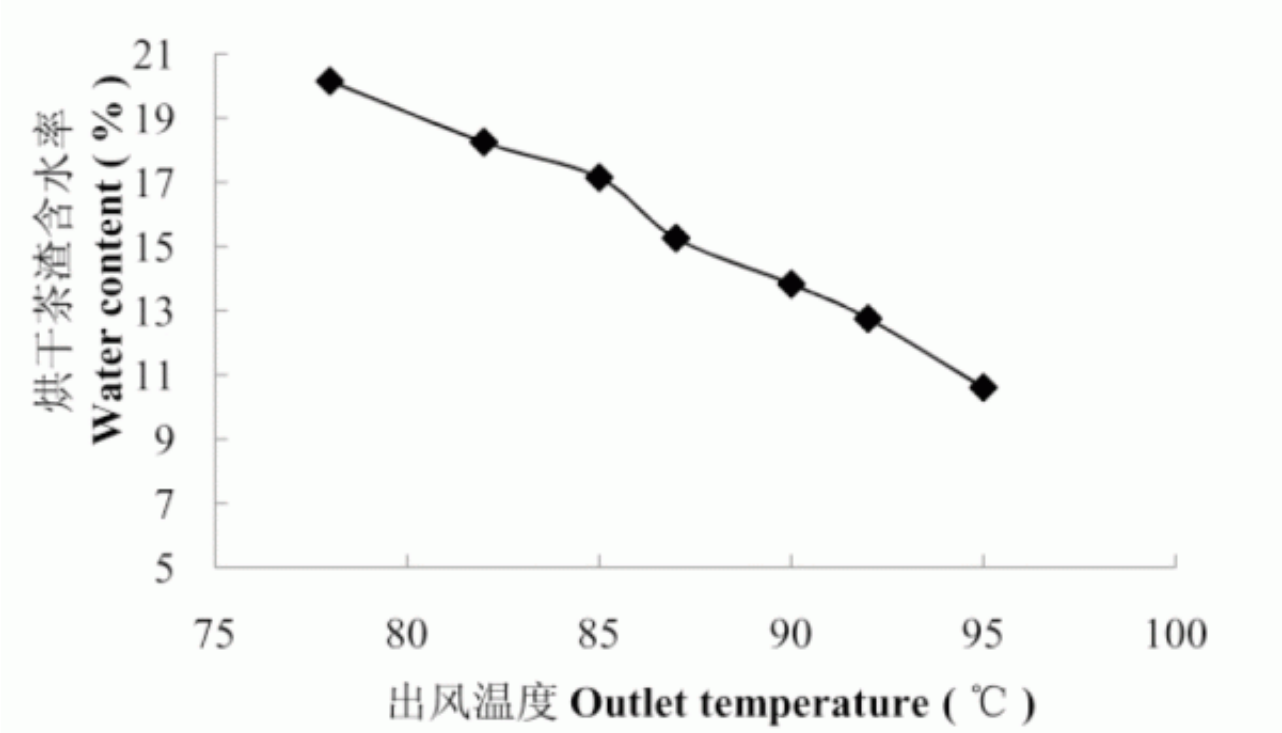

图 1 烘干机出风温度对茶渣含水率的影响

Fig.1 Effect of drying air temperature on water content of tea residue

从表1的结果可知，制粒茶渣的含水率为13%～17%时满足制粒要求，压榨后茶渣的含水率一般在55%左右，需要对茶渣进一步烘干，试验采用三回程滚筒烘干机对压榨后的茶渣进一步烘干。烘干时滚筒频率固定，即烘干时间一致，为15min，在此条件下对烘干温度进行优化。从图1可以看出，滚筒烘干机的出风温度为85～90°C时，茶渣含水率在13%～17%，可以满足制粒含水率的要求。因此，生产中选三回程滚筒烘干机的出风温度为85～90°C。

2.3污泥添加比例对成型燃料的影响

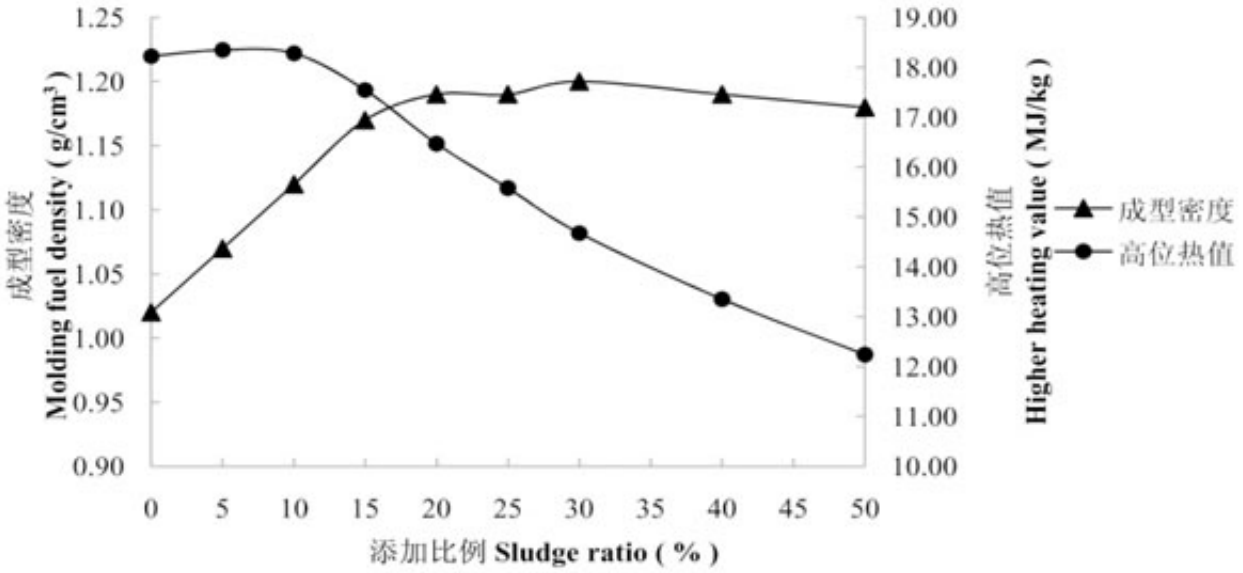

图 2　污泥添加比例对成型燃料密度和热值的影响

Fig. 2　Effect of sludge ratio on molding fuel density and briquette calorific value

图2反映了其他条件相同的情况下添加不同比例的污泥对茶渣颗粒燃料密度及热值的变化规律。从图2可知，随着污泥添加比例的增加，颗粒燃料密度先逐渐增加后基本趋于稳定，当污泥添加比例达到20%后颗粒燃料的密度变化不大，这可能是因为适量的污泥可以填充茶渣颗粒间的间隙，使茶渣颗粒间粘合作用增大[5]，更利于茶渣的成型，当污泥添加比例达到20%后已足以填充颗粒间隙，继续添加污泥对茶渣颗粒间隙的填充和颗粒间的粘合影响不大。此外，热值是颗粒燃料的重要性能指标之一，直接反映燃料的燃烧品质[13]。

从图中可以看出，少量的污泥有助于颗粒燃料的燃烧，可能是因为污泥着火点较低，能快速启动茶渣颗粒燃料的燃烧[5]，但随着污泥添加比例的增大，颗粒燃料热值下降明显。结合燃料密度与热值，污泥添加比例为5%～10%为宜。

2.4煤炭与茶渣生物质颗粒燃料工业成分分析

表2为茶渣生物质颗粒燃料与市售煤炭的工业成分分析情况。从表2可知，茶渣生物质颗粒燃料的挥发分较高，远高于煤炭，其点火性能和燃烧性能比煤炭好，属于高活性燃料[14]；碳含量为19.75%，远低于煤炭，这使得其热值比煤炭低[15]；制得的茶渣生物质颗粒燃料满足行业标准NY/T 1878-2010对生物质固体成型燃料的基本性能要求的规定[12]，有害成分（硫和灰分等）远低于煤炭，燃烧时NO_X、SO_2排放量远低于煤炭，燃烧特性明显得到改善，利用效率显著提高。由此可见，茶渣生物质颗粒燃料具有优质、清洁、高效的特性，是替代煤炭的理想燃料。

表 2　茶渣生物质颗粒燃料与煤炭工业分析对比表

Table 2　The results of the industrial analysis of tea residuebiomass fuel pellets andcoal

项目 Item	煤炭 Coal	生物质颗粒燃料 Tea residuebiomass fuel pellets
水分(%)	14.00	6.80
灰分(%)	14.45	3.61
挥发分(%)	27.66	70.88
固定碳(%)	43.89	19.75
全硫(%)	0.93	0.04
发热量(MJ/kg)	22.26	17.60

2.5时产3吨茶渣生物质颗粒燃料生产线设计

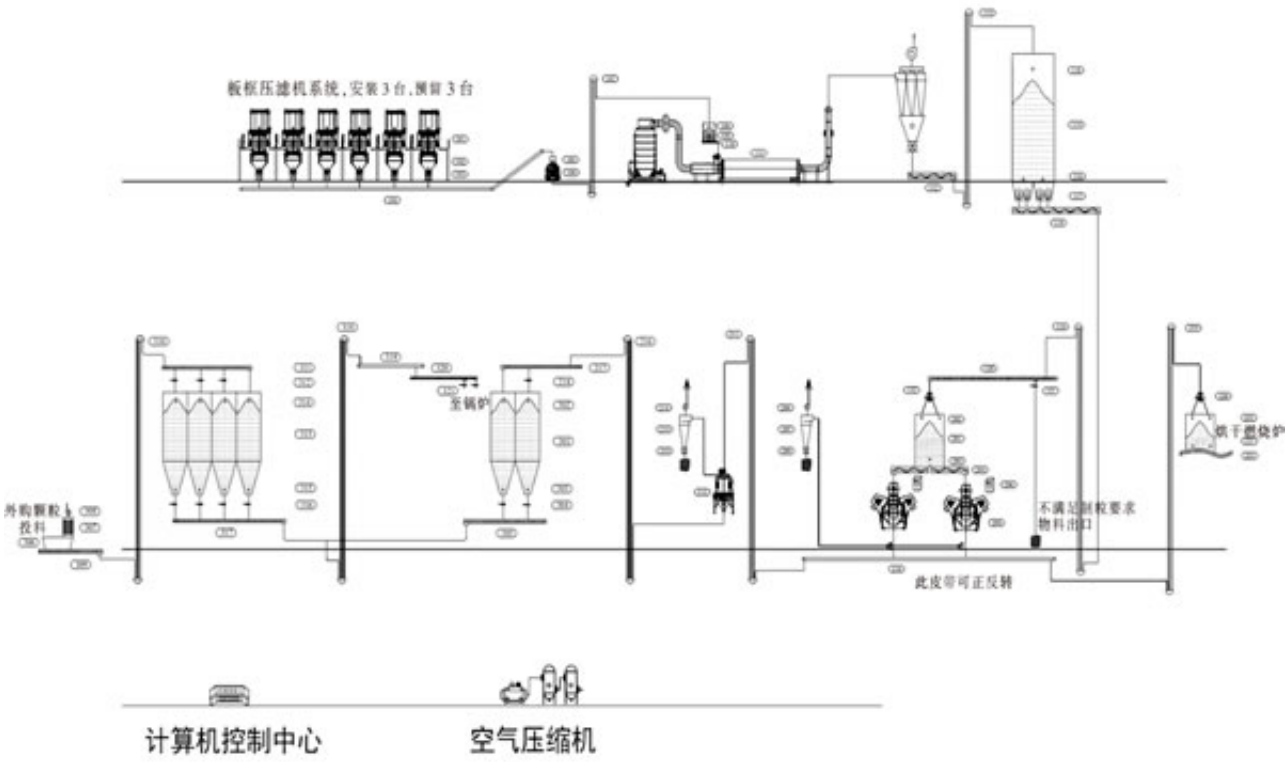

图 3　时产 3 吨茶渣生物质颗粒燃料生产线的车间平面布置图

Fig. 3　The workshop floor plan of 3 t tea residuebiomass fuel pellets production line per hour

图3为时产3吨茶渣生物质颗粒燃料生产线的车间平面布置图。主要包括计算机控制中心、茶渣压榨系统、茶渣干燥系统和制粒系统。主要设备包括：

隔膜式板框压滤机：其压滤面积为400m ^{2}
板框机，滤室理论厚度35～40mm，有效容积约7m^3
，每框出渣约4.2t，压榨条件为：压力1.2～1.5Mpa，时间20～30min，压榨后茶渣含水率为55%～60%，污泥含水率为68%～73%。

1.5～2t/h茶渣烘干线一套：包括水幕除尘水泵，旋风机Ⅱ，引风机Ⅱ，扬升机，螺旋出料机，旋风关风机Ⅰ，窑尾关风机Ⅰ，引风机Ⅰ，进料螺旋，给料螺旋，鼓风机Ⅰ、Ⅱ。烘干条件为：出风温度85～90℃，烘干时间15min，烘干后茶渣含水率13%～17%。

一套时产3t茶渣颗粒生产线设备：其中单台造粒速度大于等于1.5t/h，环模颗粒机孔径为8mm，环模内径420mm，环模转速336r/min。茶渣中污泥添加比为5%～10%，制粒机将混合物挤压成Φ10～12mm圆柱形颗粒（见图4），颗粒密度≥1g/cm^3、含水率≤13%、灰分≤6%、低位发热量≥16.9MJ/kg、破碎率≤5%、粉化率≤12%。

图 4　茶渣生物质颗粒燃料

Fig. 4　Tea residue biomass fuel pellets

3讨论

本文以废弃茶渣为原料，研究其与污泥复配制备成型颗粒燃料的关键技术参数，主要参数为：茶渣含水率为13%～17%之间；三回程滚筒烘干机的出风温度为85～90℃；污泥添加比例为5%～10%，并在此基础上最终建成规模化茶渣生物质颗粒燃料生产线，为茶叶深加工企业废茶渣的处理和利用提供一种新的途径。

茶渣作为一种来源广泛、成本低廉的农业资源，其综合利用符合可持续发展观点。开展茶渣综合利用延长产业链，提高我国茶产业的经济与社会效益[4]，实现茶叶深加工企业资源循环利用和节能减排是整个行业发展的必然趋势。

生物质能属于可再生清洁能源，可有效缓解日益恶化的环境污染和能源缺短问题，被认为是今后的主要新能源之一，具有显著的社会和经济效益[13, 16]。针对目前茶叶深加工过程废茶渣利用不完全、造成环境污染、资源浪费的现状，创新地将茶渣用板框压滤机进行脱水，再经滚筒烘干机进一步脱水烘干后与废水处理中的污泥一起制备成茶渣生物质颗粒燃料，同时对茶渣生物质颗粒燃料规模化生产工艺与设备进行了系统研究，创建时产3t茶渣生物质颗粒燃料生产线，实现茶渣生物质颗粒燃料的规模化和低成本生产，对于茶叶深加工企业可以实现就地加工利用[17]，制备的茶渣生物质颗粒燃料经生物质锅炉焚烧产热，为茶叶提取过程提供热源，既能解决湿茶渣废弃物，减少固废茶渣、废水污泥的运输及处置成本，使茶渣得到充分利用，又能够达到代替大量燃煤，有效降低能源消耗，改善工厂能源利用结构的效果。

茶渣生物质颗粒燃料属于生物质能源，有害物质含量仅为煤炭的1/10左右，可减少大气污染。据统计，对时产0.5t速溶茶粉的企业，用生物质燃料代替燃煤供能可年减少SO_2排放量33t/a，减少NO_X排放量29t/a，燃烧后的灰烬又可作为肥料施回茶园，达到资源循环利用和节能减排（见图5）。

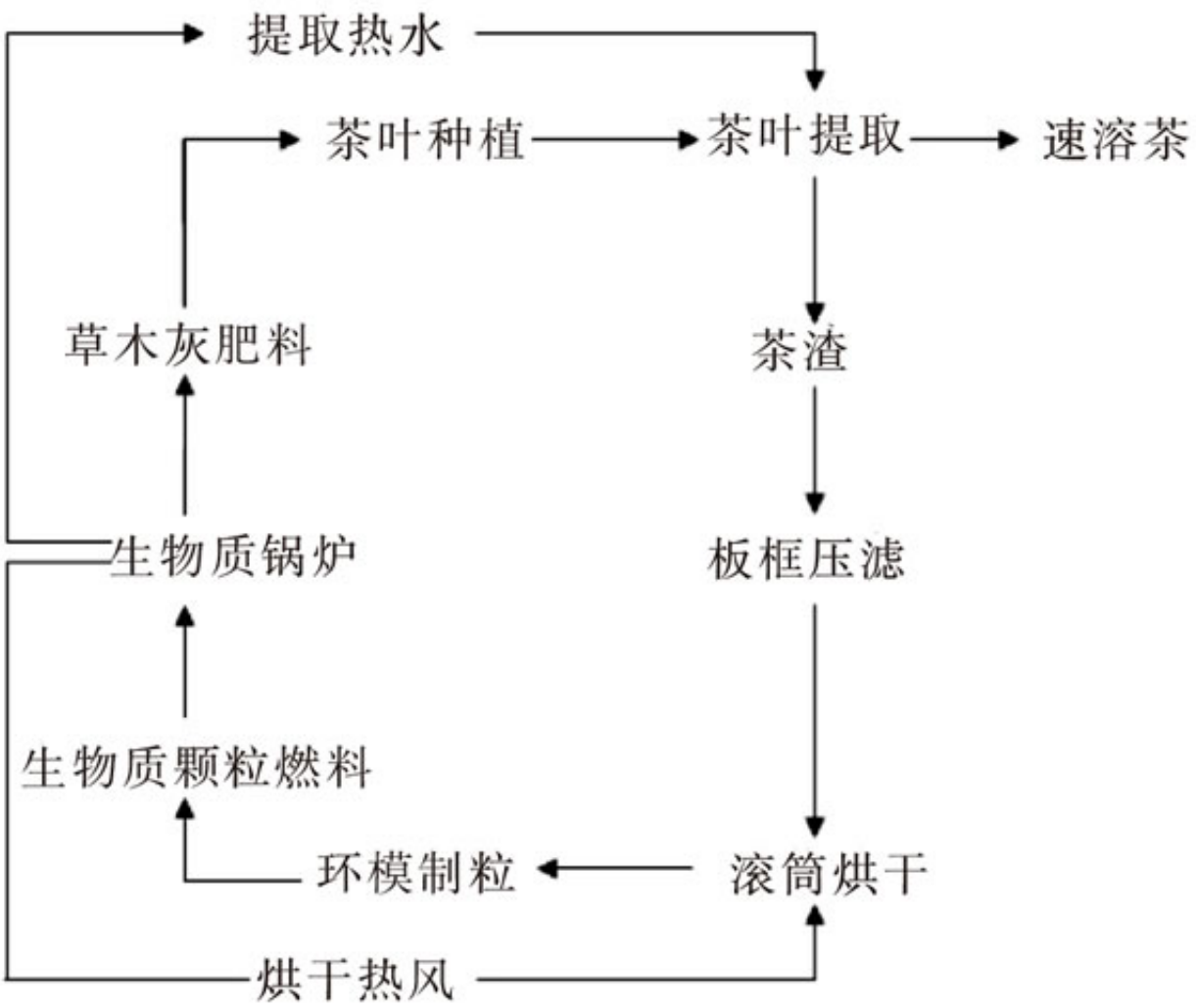

图 5 茶渣循环利用流程图

Fig. 5 Flow chart of tea residue recycling

参考文献：

[1]谢启强.生物质成型燃料物理性能和燃烧特性研究[D].南京林业大学，2008.

[2]夏许宁，刘圣勇，刘洪福，等.生物质颗粒燃烧器的设计与性能测试[J].农机化研究，2017（1）：227-231.

[3]刘军，贾玉鹤.沈阳市生物质颗粒燃料推广应用前景分析[J].环境保护科学，2007，33（6）：12-14.

[4]谢枫，金玲莉，涂娟，等.茶废弃物综合利用研究进展[J].中国农学通报，2015，31（1）：140-145.

[5]蔡文倍.生物质复配制备成型燃料的试验研究[D].南京：东南大学，2016.

[6]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会.煤的发热量测定方法：GB/T 213-2008[S].北京：中国标准出版社，2008：11.

[7]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会.煤的工业分析方法：GB/T 212-2008[S].北京 ：中国标准出版社，2008：11.

[8]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会.煤中全硫的测定方法：GB/T 214-2007[S].北京：中国标准出版社，2008：3.

[9]农业部.生物质固体成型燃料试验方法第一部分：通则[M].北京：中国农业出版社，2011.

[10]朱典想.生物质颗粒燃料生产线及其关键制造技术的研究与开发[J].中国工程科学，2014，16（4）：13-16.

[11]李美华，俞国胜.生物质燃料成型技术研究现状[J].木材加工机械，2005(2)：36-40.

[12]中华人民共和国农业部.生物质固体成型燃料技术条件：NY/T 1878-2010[S].北京：中国农业出版社 , 2010.

[13]宋姣，杨波.生物质颗粒燃料燃烧特性及其污染物排放情况综述[J].生物质化学工程，2016，50（4）：61-64.

[14]罗娟，侯书林，赵立欣，等.生物质颗粒燃料燃烧设备的研究进展[J].可再生能源，2009，27（6）：90-95.

[15]Tabar é s J L M，Ortiz L，Granada E.Feasibility study of energy use for densificated lignocellulosic material（briquettes）[J].Fuel，2000，79（10）：1229-1237.

[16]陈彦宏，武佩，田雪艳，等.生物质致密成型燃料制造技术研究现状[J].农机化研究，2010（1）：206-211.

[17]郑得林，钱园凤，周为，等.生物质颗粒燃料在松阳香茶加工中的推广应用前景分析[J].中国茶叶加工，2015（6）：49-51，69.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/127730.html