生物质颗粒燃料燃烧机的烟草烘烤试验研究

杨飞，张霞，刘芮，陈重远，蔡宗寿，何东成

(1.云南农业大学机电工程学院，云南昆明650201；2.云南省烟草公司保山市公司，云南保山678000)

摘要：【目的】为了研究生物质颗粒燃料燃烧机在烟草等农产品烘烤中的应用，全面了解生物质颗粒燃料燃烧机在烟草烘烤中的工作性能，解决烟叶烘烤环节用工多和能耗高等当前制约绿色生态烟叶生产持续发展的问题。【方法】分别对3种生物质颗粒燃料燃烧机的结构进行介绍，并对生物质颗粒燃烧机应用在烟草烘烤过程中的温度控制、燃料的消耗量以及烟叶品质进行对比试验。【结果】3种类型燃烧机对干湿球的温度控制稳定性由高到低依次为双螺杆式、履带式和单螺杆式；在烤烟能源消耗方面，平均每生产1kg干烟的生物质燃料和电能消耗量分别为：1.87kg和0.372kW·h、1.59kg和0.300kW·h、1.61kg和0.327kW·h；从烤烟的鲜干比方面看，烤烟的鲜干比分别为：6.667、5.818、5.872。【结论】双螺杆送料式燃烧机在温度控制方面有着较为明显的优势，运行稳定，在节约能源消耗上也有着一定的优势；单螺杆送料式和履带送料式生物质颗粒燃烧机在烘烤烟草的品质上具有一定的优势。

随着全球能源危机以及温室效应的加剧，能源应用向着经济的、可再生循环利用的新能源方向前进，烟叶烘烤中新能源的应用也变得越来越广泛。生物质颗粒燃烧机是以生物质颗粒燃料作为燃料，提供热能转换的设备。生物质颗粒燃料是生物质在一定的温度压力下，压缩或挤压成为容积密度较大、热效率较高、便于运输和贮藏的固体成型燃料，其形状和尺寸统一，使用方便，易于燃烧，是煤和薪柴优秀的替代燃料]。美国在20世纪30年代开始研究压缩成型燃料及燃烧技术，并研制了螺旋压缩机及相应的燃烧设备；日本在20世纪30年代开始研究机械活塞式成型技术处理木材废弃物；1954年研制成棒状燃料成型机及相关的燃烧设备；70年代后期，西欧许多国家也开始重视压缩成型技术及燃烧技术的研究，各国先后有了各类成型机及配套的燃烧设备；20世纪80年代亚洲除日本外，泰国、印度、菲律宾、韩国、马来西亚已建了不少固化、碳化专业生产厂，并已研制出相关的燃烧设备；到20世纪90年代，日本、美国及欧洲一些国家生物质成型燃料燃烧设备已经定型，并形成了产业化，在加热、供暖、发电等领域已普遍推广应用，但是在农产品干燥方面的应用研究却较少。

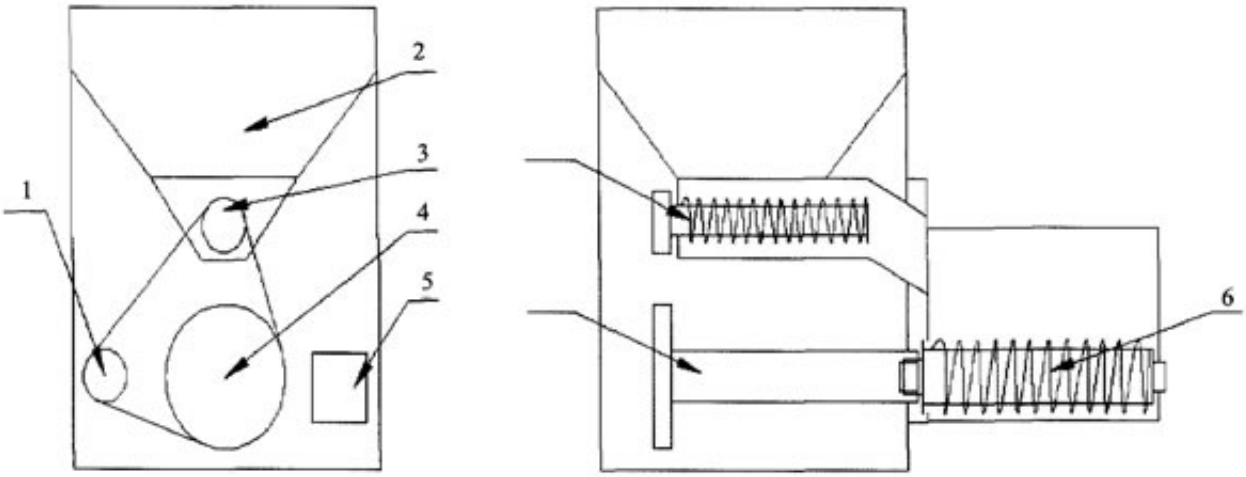
将生物质颗粒燃料应用于烟叶烘烤，是烟草干燥技术新的发展方向。传统的烟草烘烤过程是一个高耗能过程。据统计，烘烤1kg干烟需要耗煤3.77kg，如果中国每年生产烟叶2亿kg就需要原煤754万t。所以，探索新能源烟叶烘烤技术意义重大。国内应用于生物质燃烧的燃烧器仍处于起步阶段，生物质颗粒燃烧机与传统能源烟草烤炉相比，燃料由不可再生的煤炭转变为可再生能源生物质颗粒燃料，可以促进烟草烘烤的节能减排和可持续的发展。生物质颗粒燃料灰分含量小于1.50%，硫含量和氯含量均小于0.07%，氮含量小于0.50%，而传统能源煤炭燃烧会产生大量的灰分和有害物质。研究表明：国内煤炭中硫含量约为1.14%，氯含量约为0.02%，氮含量约为0.98%，大大降低烤烟的品质。此外，由于生物质颗粒燃料流动性好，热值稳定，燃烧机易于实现自动控制。依照烟草烘烤的干燥曲线来设置燃烧机的温度控制曲线，加1次燃料后燃烧机即可连续6h自动控制燃料进给量，从而控制烤房温度。据实践统计，与传统能源烟草烤房相比，大大降低工作人员的劳动强度，工作效率也由1个人看护2～3座烤房提高到10座以上烤房。目前，市场上的生物质颗粒燃烧机按进料方式不同，主要分为3种：单螺杆送料式、双螺杆送料式、履带送料式，本研究根据这3种燃烧机的工作原理和结构特点，分别对其在烟草烘烤中的总温度控制、原料的消耗量以及烟叶品质进行对比试验，对全面了解生物质颗粒燃料燃烧机在烟草烘烤中的工作性能及燃烧机的选型具有积极的意义，对生物质颗粒燃料燃烧机在其他农产品干燥中的应用也具有一定的参考价值。

1材料与方法

1.1试验设备

1.1.1单螺旋杆送料式

单螺旋杆送料式的燃烧机(图1)工作时由电机带动通过链条链接传动的轮盘控制送料以及下料，长按密集烤房控制器的运行键即可点火，初期3～5min炉膛内会有大量的烟雾出现，一小部分颗粒燃料因为送料加快导致未完全燃烧就被送出炉膛浪费掉；控制温度过程中下料量与送料量始终保持一定的比例，低温保持温度时电动机控制在较低的转速下料量较少，高温保持温度时电动机转速较快下料量较大；在升温时加快燃料的输送和燃烧，相应的风机转速也加快辅助燃烧。待烟叶烘烤结束，下料与送料设备停止运转，炉膛内残料在风机的辅助下结束燃烧。

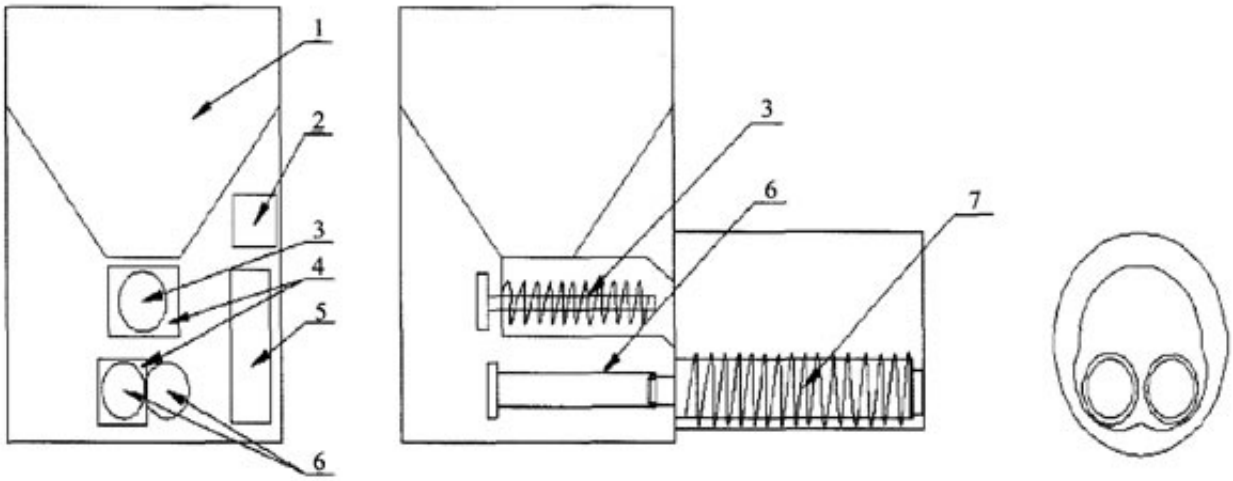


注：1. 电动机传动转轴；2. 料箱；3. 下料杆；4. 送料转轴；5. 风机；6. 送料杆。
Note: 1. motor drive shaft; 2. material box; 3. blanking rod; 4. feed shaft; 5. fan; 6. feed rod.

图 1　单螺杆送料式生物质颗粒燃烧机结构示意图
Fig. 1　Schematic diagram of single screw feed pellet

1.1.2双螺杆送料式

双螺杆送料式的燃烧机(图2)工作时分别由两个电机直接连接控制送料以及下料，长按密集烤房控制器的运行键即可点火。初期3～5min内会有一定量的烟雾出现，原因与单螺杆送料式燃烧机相类似；控制温度过程中由于存在双电机，可以实现较为精确的下料与送料控制，而不是简单地以一定的比例来运行；在升温时加快燃料的输送和燃烧，相应的风机转速也加快辅助燃烧。箱体内部一侧配有水箱，待烘烤结束，控制下料的电机停止工作，下料停止，控制送料的电机继续工作，并会有水由水箱注入炉膛，将还在燃烧的残料熄灭，并通过送料杆排出炉膛。



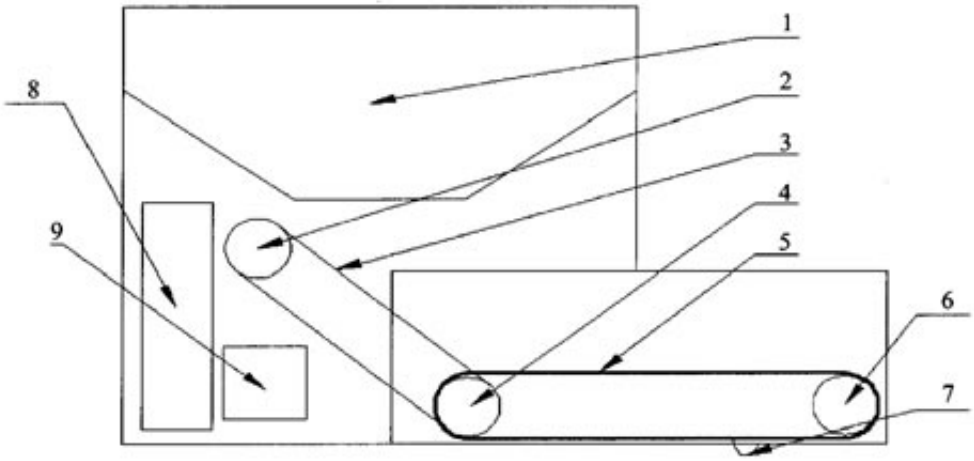
注：1. 料箱；2. 水箱；3. 下料杆；4. 电动机；5. 风机；6. 送料转轴；7. 送料杆。
Note:1. material box; 2. water tank; 3. blanking rod; 4. motor; 5. fan; 6. feeding shaft; 7. feed rod.

图 2　双螺杆送料式生物质颗粒燃烧机结构示意图
Fig. 2　Schematic diagram of twin screw feed pellet

1.1.3履带送料式

履带送料式的燃烧机(图3)工作时由电机直接连接控制送料以及履带运行，设有点火按键，长按点火键即可实现自动点火。初期3～5ain内会有一定量的烟雾出现，原因与单螺杆送料式燃烧机相类似；工作过程中电机带动下料杆将料箱中的颗粒燃料输送到履带上，同时风机启动助燃；在升温时加快燃料的输送和燃烧，下料与送料的比例固定，相

应的风机转速也加快辅助燃烧。待烘烤结束，下料送料停止。由单电机控制下料与送料，风机设置在箱体中央，履带随电动机工作并在回程中设有除渣装置，待烘烤结束会控制下料与送料停止并加大风机鼓风，将残余的燃料吹灭或加速颗粒燃料燃烧至熄灭。



注：1. 料箱；2.下料杆转轴；3.链条；4.主动轮；5.履带；6.从动轮；7.除渣口；8.电动机；9.风机。
Nore:1. materialbox；2. rod shaft；3. chain；4. wheel；5. track；6. driven wheel；7. slag outlet；8. motor；9. fan.

图 3　履带送料式生物质颗粒燃烧机结构示意图
Fig. 3　Sketch of the structure of track feed biomass pellet

1.2试验材料与方法

1.2.1试验材料

2016年8—9月，选择保山地区隆阳区汉庄烤点3个临近的中间位置的新型板式气流下降式烤房，测试对象为烤烟品种‘NC297’，选择同一部位、成熟度一致的5竿适熟鲜烟叶，编竿后的烟叶进行标记，使用精度为1g的电子秤称重，根据竿数估测整炉鲜烟叶重，然后将5竿测试烟叶放在烤房中层的中间同一位置进行烘烤。选择3种烘烤设备做对照：型号为5LS-103A的单螺旋杆送料式燃烧机，最高额定热功率为l0万Kal／h；型号为HY-100SZ.Ⅱ的双螺旋杆送料式燃烧机，最高额定热功率为10万Kal／h；型号为HDS—RS-10的履带送料式燃烧机，最高额定热功率为15万Kal／h。烘烤设备的目标干、湿球温度曲线依照当地烘烤经验来制定，通过密集烤房控制器以及配套温度传感器来测量烤房内温度和湿度。燃烧机使用以烟杆为材料的生物质颗粒燃料，热值为18.663MJ／kg，直径约为8～10mm，长度约为4—6cm。待烘烤结束，用电子秤测出干烟叶的重量，根据竿数估测整炉干烟总重。

1.2.2燃烧机温度控制对比

在烟叶的烘烤过程中，温度的控制对于烤烟的品质有着较为重要的影响，烤烟设定的目标温度曲线以当地的烘烤经验为准，一般情况下烘烤过程中实际的干、湿球温度曲线越接近目标曲线，得到的烤烟品质就越好，产生的经济效益也就更高。在温度控制试验中，选择同一时间开始烘烤试验，以免因天气原因影响烘烤的原料消耗和烘烤得到的烟叶品质。用一只热电阻传感器检测空气温度得到的即为干球温度，用另一只相同的传感器检测被蒸馏水浸湿的面纱套内的温度即为湿球温度；根据传感器所测量的干球温度和湿球温度的温差可以反映出空气中相对湿度的大小。实际干、湿球温度曲线是指实际烘烤中烤房内空气所测量达到的温度，目标干、湿球温度曲线是指实际烘烤中被蒸馏水浸湿的面纱套内所设定的需要达到的的温度，温度显示在烤房配套的控制面板。设定目标温度后启动生物质颗粒燃烧机，自燃烧机工作开始，记录控制面板所显示的干、湿球温度，每小时记录1次数据，直到烘烤结束。

1.2.3燃烧机能源消耗量

生物质颗粒燃烧机的能源消耗量可以直观地反映出这种燃烧机在使用过程中对能源的利用率。燃烧机的能源消耗主要分布在电能和生物质颗粒的使用两方面，通过对电能和生物质能的消耗量可以对比出不同类型燃烧机在烤烟中的应用好坏，也可以在经济上减轻烟农烤烟的成本。使用电表记录每1个烤房1次烤烟从燃烧机开机供热到停机所消耗的电量，并记录生物质颗粒燃料的消耗量。一般在烤烟结束后，燃烧机内有颗粒燃料剩余，可以通过侧面的排料孔将大部分的剩余颗粒排出料箱，由此可较为准确的计算燃烧机每烤1炉烟生物质颗粒的消耗量。由于每一炉烤房装烟量不一

定，本研究计算平均每千克烟叶烘烤结束的能源消耗量。

1.2.4烤烟鲜干比品质

烤烟的品质对烟农的收入有着直接的影响，品质好的烟叶价格往往是品质差的烟叶的数倍，而烤烟的鲜干比又是烟叶品质的重要评价指标。鲜干比是指净鲜烟叶质量和净干烟叶质量的比值。为了评价烟叶的烘烤品质，需要计算每1炉烟叶的鲜干比，鲜干比越大则说明烘烤的烟叶品质越好。使用精度为1g的电子秤，分别记录每1杆烟的鲜重(除去杆重)，再统计每1杆烟的烟叶数量，计算得到平均每1片烟叶的重量。记录每1炉烤烟房的装烟杆数，待烘烤结束，取出做标记的5杆烟叶，测得其以及试验所记录的5杆烟叶中每片烟叶的单叶湿重、单叶干重、每杆烟叶的鲜重和干重。

2结果与分析

2.1三种类型生物质颗粒燃烧机温度控制对比由图4可知：单螺旋杆送料式的生物质颗粒燃烧机在初期低温度时可以较好地控制干湿球的温度，设备工作75h后湿球温度波动变大，设备工作140h之后干球温度波动变大，生物质颗粒燃烧机对烤烟房的干球温度控制偏差较大。

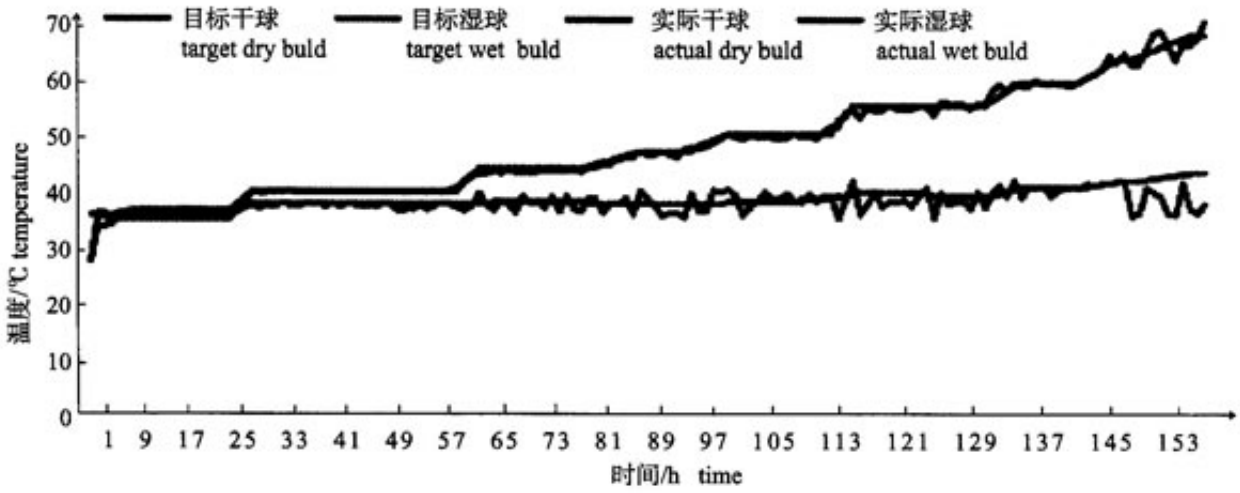


图 4　单螺杆送料式生物质颗粒燃烧机烤房温度控制情况

Fig. 4　The temperature control of the single screw feeding biomass pellet burning machine

由图5可知：双螺旋杆送料式的生物质颗粒燃烧机在初期低温度时可以较好地控制干湿球的温度变化，设备工作至111、112h左右时出现干球温度的波动，在数小时后再次稳定在目标温度曲线附近；工作后期会出现干球温度较小的控制上的偏差。湿球温度在后期有着较小的温度波动，基本可以维持在目标温度曲线附近。

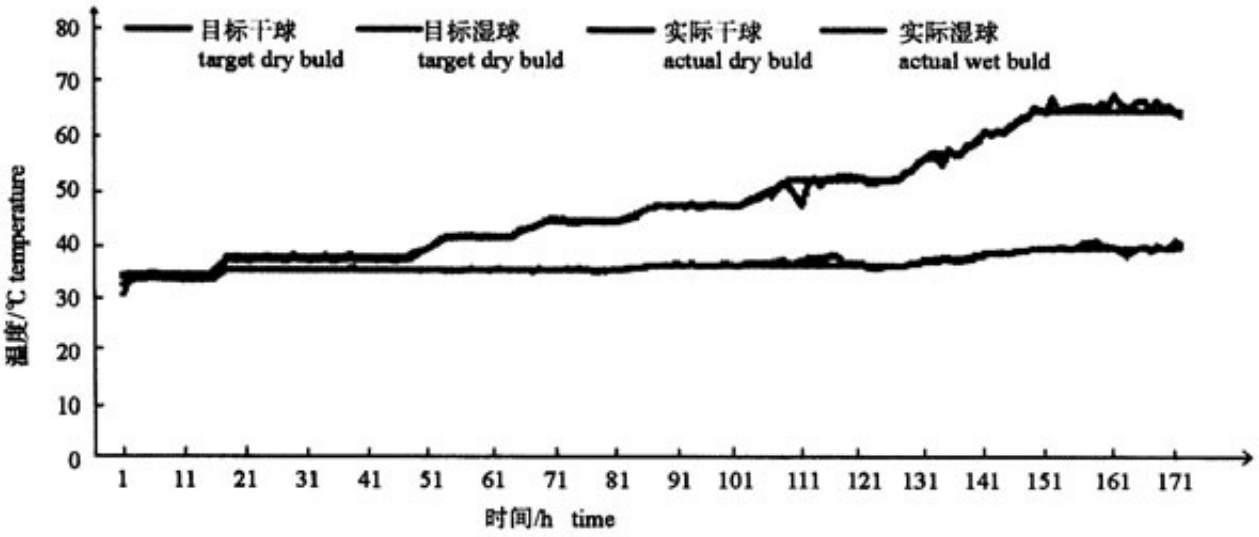


图 5　双螺杆送料式生物质颗粒燃烧机烤房温度控制情况
Fig. 5　Temperature control of the twin screw feeding biomass pellet burning machine

图6显示：履带送料的式生物质颗粒燃烧机在设备工作过程中对干球温度的控制比较稳定，一直维持在目标干球温度较一致的水平。在初期低温度时可以较好地控制湿球的温度在目标温度曲线附近，工作135h后对湿球的温度控制偏差较大，出现湿球温度控制上的不稳定现象。

对比3种不同类型的生物质颗粒燃烧机对温度的控制，从干球温度控制上看，履带送料式燃烧机对干球温度的控制较为接近目标干球温度；从湿球温度控制上看，双螺杆送料式燃烧机对湿球温度的控制较为接近目标湿球温度。综合考虑对干球和湿球的温度控制，双螺杆送料式具有较好的温度控制效果。

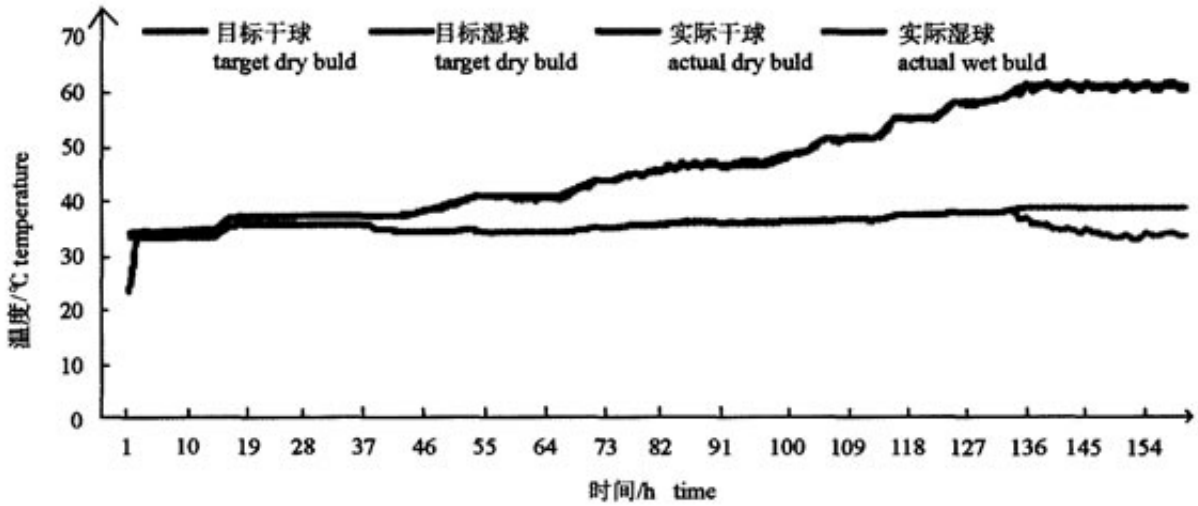


图 6　履带送料式生物质颗粒燃烧机烤房温度控制情况
Fig. 6　The temperature control of the baking chamber of the caterpillar feeding biomass pellet burning machine

2.2颗粒燃料和电量消耗

由表1可知：使用双螺旋杆送料式燃烧机，每获得1kg的干烟所需要的能源消耗量最低为1.59kg生物质颗粒燃料和0.300kW·h电能。因此，从所节约能源上来讲，使用双螺杆送料式系统的燃烧机更有优势。

表 1　三种类型送料式生物质颗粒燃烧机能源消耗量

Tab. 1　Energy consumption of the three kinds of feed pellet

处理 treatment	平均单杆干烟净重/kg average net stem weight	一炉干烟净重/kg net weight of dry tobacco	耗能 energy consumption		平均每千克干烟耗能 energy consumption perkilogram of tobacco	
			颗粒燃料/kg pellet fuel	电能/（kW·h）electric energy	颗粒燃料/kg pellet fuel	电能/（kW·h）electric energy
单螺杆送料式 single screw fee	1.37 ±0.02	578.14 ±8.44	1 080 ±5.4	215	1.87	0.372
双螺杆送料式 twin screw fee	1.43 ±0.02	777.92 ±10.88	1 240 ±6.2	234	1.59	0.300
履带送料式 track feed	1.46 ±0.02	794.24 ±10.88	1 280 ±6.4	260	1.61	0.327

2.3烘烤烟叶品质结果对比

如表2所示：使用单螺旋杆送料式燃烧机、双螺杆送料式燃烧机、履带送料式燃烧机的烤烟房，其烤烟的鲜干比分别为6.667、5.818、5.872。因此，从所获得烤烟的品质上来讲，使用单螺杆送料式系统的燃烧机较有优势。

表 2　三种类型送料式生物质颗粒燃烧机对烤烟的质量影响

Tab. 2　Effect of three kinds of feed pellet burning machine on the quality of flue-cured tobacco

处理 treatment	装烟杆数 number of tobacco rods	平均单叶湿重/g average wet weight of single leaf	平均单叶干重/g average dry weight of single leaf	每杆鲜烟重/kg fresh tobacco weight per rod	每杆干烟重/kg dry tobacco weight per rod	鲜干比 fresh dry ratio	平均 average
单螺杆送料式 single screw feed	422	67.5 ±0.17	8.9 ±0.17	7.90 ±0.02	1.05 ±0.02	7.52	6.667
		68.7 ±0.16	11.3 ±0.16	8.80 ±0.02	1.45 ±0.02	6.07	
		63.8 ±0.16	10.3 ±0.16	8.05 ±0.02	1.30 ±0.02	6.19	
		66.9 ±0.14	9.7 ±0.14	9.30 ±0.02	1.35 ±0.02	6.89	
		93.3 ±0.18	15.0 ±0.18	10.45 ±0.02	1.68 ±0.02	6.22	
双螺杆送料式 twin screw feed	544	77.4 ±0.17	11.1 ±0.17	9.05 ±0.02	1.30 ±0.02	6.96	5.818
		57.0 ±0.13	10.0 ±0.13	8.55 ±0.02	1.50 ±0.02	5.70	
		66.4 ±0.14	11.0 ±0.14	9.30 ±0.02	1.55 ±0.02	6.00	
		62.9 ±0.15	10.2 ±0.15	8.30 ±0.02	1.35 ±0.02	6.15	
		69.8 ±0.14	11.5 ±0.14	8.80 ±0.02	1.45 ±0.02	6.07	
履带送料式 track feed	544	68.4 ±0.14	10.5 ±0.14	10.05 ±0.02	1.55 ±0.02	6.48	5.872
		46.6 ±0.12	8.9 ±0.12	7.55 ±0.02	1.45 ±0.02	5.21	
		40.1 ±0.11	7.1 ±0.11	7.30 ±0.02	1.30 ±0.02	5.61	
		62.8 ±0.13	10.1 ±0.13	9.55 ±0.02	1.55 ±0.02	6.16	
		60.6 ±0.14	10.2 ±0.14	8.55 ±0.02	1.45 ±0.02	5.90	

3讨论

本研究对比了市场上现有的3种常用的生物质颗粒燃烧机在烟叶烘烤中的使用情况，对烘烤过程中的温度控制、能源消耗和产品品质进行了对比分析，得出了各种类型燃烧机的使用优劣。

王汉文等和张聪辉等研究表明：生物质能源在烟叶烘烤中可以作为煤炭的优质替代能源；徐成龙等的研究表明：生物质能源配套的燃烧机在烟叶烘烤中具有较高的推广价值。本研究为烟叶烘烤中生物质烤烟燃烧机设备的选择提供了参考。

目前对于生物质在烟草烘烤中的应用研究主要在于生物质烘烤与燃煤烘烤模式的成本对比和对环境的影响，或者是仅对某一种燃烧机的结构问题进行研究解决，对各种类型的生物质颗粒燃烧机的应用研究还较少。随着烤烟工艺的发展，配合新型能源燃烧机的使用，不仅可以降低对燃煤的消耗，有效地减少废气的排放以及对环境的污染，还可以降低对人工的需求，提升烤烟的品质，节约成本，降低劳动强度，提高烟农收入。把颗粒燃料同智能燃烧机进行结合，再将其与现有烤房的温湿度自控设备进行对接可以实现对烤房温湿度的自动控制，对烟叶烘烤的减工降本意义重大。由于市场上现存的燃烧机质量不一，在烤烟过程中也有一定的缺陷，研究各种类型生物质颗粒燃烧机的结构与性能对促进生物质颗粒燃烧机的推广应用有着积极的意义，对于生物质颗粒燃料燃烧机在烤烟房以及其他农产品干燥中的应用有一定的参考价值。由于研究中使用的只有以烟杆为材料的生物质颗粒，不同材料下燃烧机的适应性可能会有多不同，下一步需要进行其他几种常用材料的生物质颗粒的试验来研究，并对比燃煤烘烤，选择合适的燃烧机和生物质颗粒组合。

4结论

双螺杆送料式燃烧机在温度控制方面有着较为明显的优势，运行稳定，在节约能源上有着一定的优势；从烤烟的鲜干比方面看，履带送料式生物质颗粒燃烧机在烘烤烟草的品质上具有一定的优势。综合分析双螺杆送料式燃烧机整体设备性能较好，但设备较为复杂，市场价格也较高，如果可以降低市场价格和操作难度，是烤烟房的较佳的选择；履带送料式燃烧机整体表现不突出；单螺杆送料式燃烧机结构简单，设备成本也较低，适合烟农操作，如果在温度控制上能有所改进，相对其他两种更适合烟农在烟叶烘烤中的使用。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/159626.html