

锯末制备生物质成型燃料的试验研究

李强¹, 陈铁军¹, 饶发明², 丁春江¹, 李圣辉¹

(1.武汉科技大学资源与环境工程学院, 湖北武汉430000; 2.武汉钢铁集团矿业有限责任公司乌龙泉矿, 湖北武汉430000)

摘要：分别采用冷压成型和炭化成型工艺以锯末制备生物质成型燃料。冷压成型工艺主要考察原料水分、成型压力对燃料的成型性能影响。试验结果表明：原料水分12%~16%，成型压力为60MPa的条件下能够制得成型性能较好的生物质成型燃料，其密度与抗跌强度分别能够达到0.94g/cm³

和99%；炭化成型工艺主要考察混合料水分、无烟煤配比、J型粘结剂添加量、成型压力对燃料的成型性能影响。试验结果表明：无烟煤配比为50%、混合料水分30%、J型粘结剂添加量为8%、成型压力为45MPa的条件下能够制得成型性能较好的优质生物质成型燃料，其密度与抗跌强度分别为0.93g/cm³和99.3%。

0引言

随着人类对能源需求的日益增加，目前广泛使用的石油、煤炭、天然气等不可再生的能源正面临日益枯竭的问题。为了解决人类即将面临的能源危机有必要开发可再生的新能源来代替不可再生的化石燃料。生物质能源作为一种廉价、清洁的可再生能源，正越来越广泛的被人们所关注，而我国作为农业大国，在生物质能源的原料供应、能源需求、政府政策的支持等方面均有较大优势^{[1]~[3]}。

武钢乌龙泉矿的石灰竖窑主要以无烟块煤为燃料，但随着煤炭资源的日益减少，优质无烟块煤的价格逐渐升高，导致生产成本增加。此外，煤炭燃烧会产生大量的SO₂气体，造成环境污染。乌龙泉矿地处农村，周边农林资源十分丰富，尤其是锯末来源充沛、成本低廉，同时锯末含硫量很低，以其为原料制备生物质成型燃料代替无烟煤块煤，将能大大降低企业的生产成本和环保压力。

目前，以生物质为原料制备生物质成型燃料的成型工艺，根据主要工艺特征的差别主要分为：冷压成型、热压成型和炭化成型^[4]。

其中冷压成型工艺最为简单，对原料要求不高；热压成型工艺的成本较高，且对原料水分有严格要求；炭化成型工艺主要用于制备高热值、低挥发分燃料。本研究以锯末为原料，通过冷压成型和炭化成型试验，制得的生物质成型燃料能够代替煤炭作为石灰竖窑等工业高温冶炼过程的燃料。

1试验方法与原料性能

1.1试验方法

试验分为生物质成型燃料的冷压成型与炭化成型两种工艺。冷压成型工艺是以锯末为主要原料，添加一定水分后陈化一段时间，然后在一定压力下压制成生物质成型燃料。炭化成型工艺是以锯末炭化后的残炭为主要原料，将锯末放入密闭容器

内，在450℃的温度下，隔绝空气炭化20~30min后冷却至室温，得到的残余固体即为锯末残炭^[5]。

由于锯末残炭密度太小且粘结性能不佳，在成型过程中需要添加一定量的无烟煤粉和J型粘结剂，然后在一定压力下压制成生物质成型燃料。

生物质成型燃料的成型性能检测项目主要是燃料密度和抗跌强度。燃料密度是通过测定其质量及体积后计算；抗跌强度的检测参考MT/T 925-2004《工业型煤落下强度测定方法》，将成型燃料从2m高处自由落下一定厚度的钢板上，将落下后粒度大于13mm的成型燃料再次落下，共落下3次，以第3次落下后粒度大于13mm的成型燃料质量占原成型燃料质量的百分数表示成型燃料的抗跌强度。生物质成型燃料的燃烧性能分析主要是工业分析、硫含量分析、热值分析、灰熔点分析、TG-DTG-DSC热分析。

主要设备：内径为20mm的圆柱形模具，干燥箱、液压机、马弗炉、带盖坩埚、自动工业分析仪、快速测硫仪、自动量热仪、灰熔点测定仪、综合热分析仪。

1.2原料性能

冷压成型所用原料为晾晒后锯末，炭化成型所用原料为锯末残炭、无烟煤粉、J型粘结剂。无烟煤粉的粒度为小于0.074mm的粒级占65%~70%；J型粘结剂为自行配制的一种有机粘结剂。锯末、锯末残炭、无烟煤的部分性质如表1所示。

表 1 锯末、锯末残炭、无烟煤性质

Table 1 the properties of sawdust, sawdust char yield, anthracite

原料	水分/%	挥发分/%	灰分/%	硫含量/%	热值/MJ·kg ⁻¹
锯末	3.55	76.71	2.13	0.033	11.62
锯末残炭	2.98	25.71	5.14	0.023	25.03
无烟煤	10.45	7.39	11.24	0.580	23.74

从表1可知，锯末及锯末残炭的灰分及硫含量均较低，有利于减少成型燃料燃烧的污染物排放；锯末残炭的热值较高，达到了中等煤炭的水平，作为燃料使用能够提供大量热量。

2试验结果及分析

2.1锯末制生物质成型燃料的冷压成型试验

冷压成型工艺以锯末为原料，主要考察原料水分及成型压力对成型燃料成型性能的影响。

(1) 原料水分对成型燃料成型性能的影响

原料水分对成型燃料的成型性能有较大影响，水分过低，原料颗粒因缺乏水的润滑作用而不能较好的延展，颗粒间啮合不够紧密，导致成型燃料的成型性能不佳；水分过高，在压制过程中多余水分被挤压到粒子层之间，使粒子层贴合不够紧密，在成型压力较大时还会出现成型燃料爆开现象^{[6], [7]}。在60MPa的成型压力下，成型燃料的成型性能随原料水分的变化规律如图1所示。

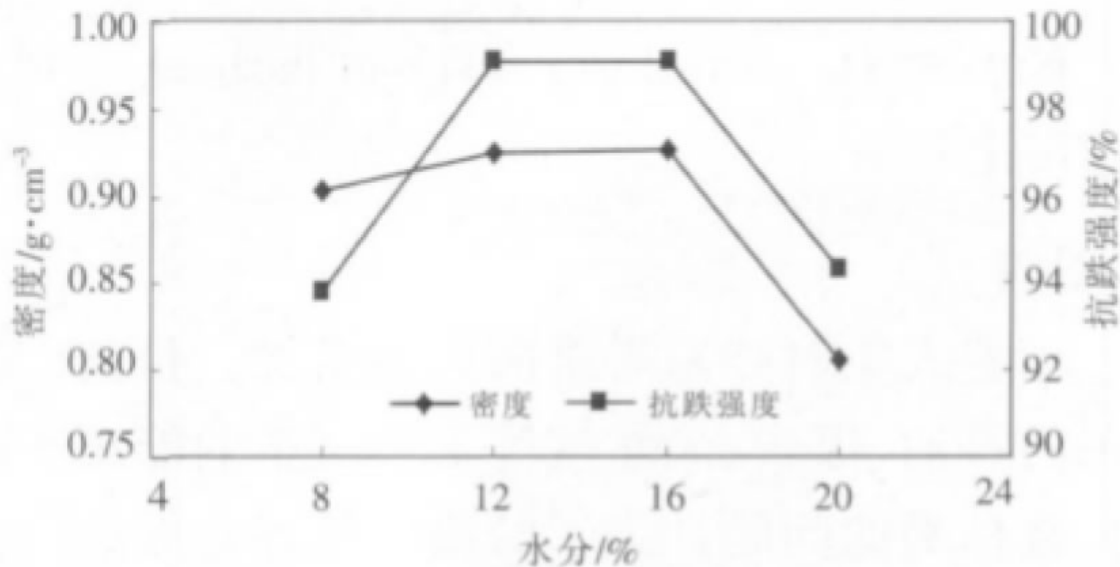


图1 原料水分对成型燃料成型性能的影响

Fig.1 The effect of material moisture content on the forming properties of briquette fuel

由图1可知，随着原料水分的升高，成型燃料的密度与抗跌强度均呈升高趋势，达到一定水平后趋向平稳，在原料水分进一步提高后，密度与抗跌强度开始降低。原料的最佳成型水分12%~16%，对应的成型燃料密度与抗跌强度分别为0.93g/cm³左右和99%左右；当水分小于12%时原料水分过低、水分大于16%时原料水分过高，导致成型燃料的成型性能均不佳。

(2) 成型压力对成型燃料成型性能的影响

成型燃料的压缩成型分为两个阶段，首先是在压力作用下松散的锯末颗粒排列结构发生改变，降低内部空隙率；然后随着压力增大，锯末大颗粒被压碎成小的粒子并发生变形，粒子开始填充空隙同时相互啮合，部分残余应力贮存于成型燃料内部使粒子间结合的更加牢固^[8]

。当外加压力越大时，成型燃料粒子之间啮合的越紧密，残余应力也越大，粒子间结合的更加牢固。但当外加压力增加到一定程度后，随着颗粒之间空隙减少，粒子之间结合的紧密程度趋向恒定，成型燃料的密度与抗跌强度也趋向一定值。在原料水分为16%时，成型燃料的成型性能随成型压力的变化规律见图2。

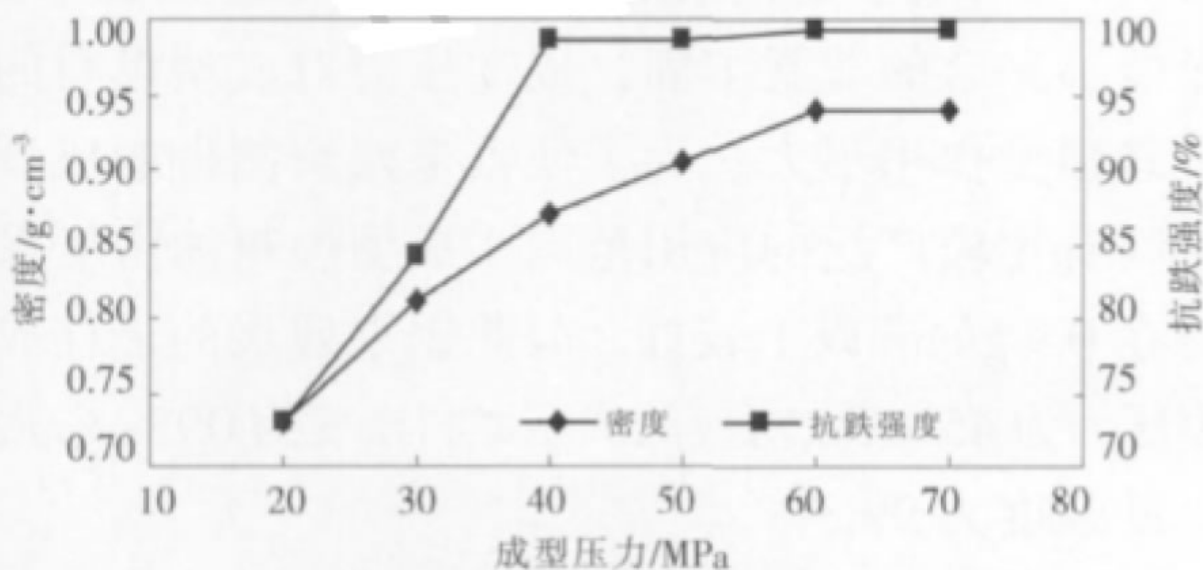


图2 成型压力对成型燃料成型性能的影响

Fig.2 The effect of forming pressure on the forming properties of briquette fuel

由图2可知：随着成型压力的提高，成型燃料的密度与抗跌强度均呈升高趋势，当成型压力分别大于40MPa和60MPa时成型燃料的抗跌强度和密度增加缓慢，趋于平稳。在成型压力为60MPa时成型燃料具备最佳的成型性能，对应的成型燃料密度与抗跌强度分别为0.94g/cm³和99%。

以锯末为原料采用冷压成型制得的生物质成型燃料具有密度大、抗跌强度高、硫含量低、灰分少、成本低等优点，能够广泛地应用于火力发电、蒸汽锅炉、日常生活供热等领域。但是，这种成型燃料热值较低，仅为12MJ/kg左右，且挥发分高达75%以上，无法代替煤炭作为石灰竖窑等工业冶炼过程的燃料，为此研究炭化成型工艺以提高生物质成型燃料的燃烧性能。

2.2 锯末制生物质成型燃料的炭化成型试验

炭化成型工艺是将锯末炭化后，以高热值、低挥发分的锯末残炭和一定量的无烟煤粉为原料，将其混匀后再添加适量J型粘结剂，在一定外力条件下压制成型。试验主要考察混合料水分、无烟煤配比、J型粘结剂添加量及成型压力对成型燃料成型性能的影响。

(1) 混合料水分对成型燃料成型性能的影响

锯末经过炭化后表面亲水性变差，残炭颗粒需要在较高的水分润滑作用下才能相互啮合紧密，多余水分会在压制过程中被挤出成型燃料，而不会停留在粒子层之间导致粒子层贴合不紧密或出现爆开现象。将锯末残炭与无烟煤按1：1混匀后添加8%的J型粘结剂，在65MPa的成型压力下成型燃料的成型性能随混合料水分的变化规律如图3所示。

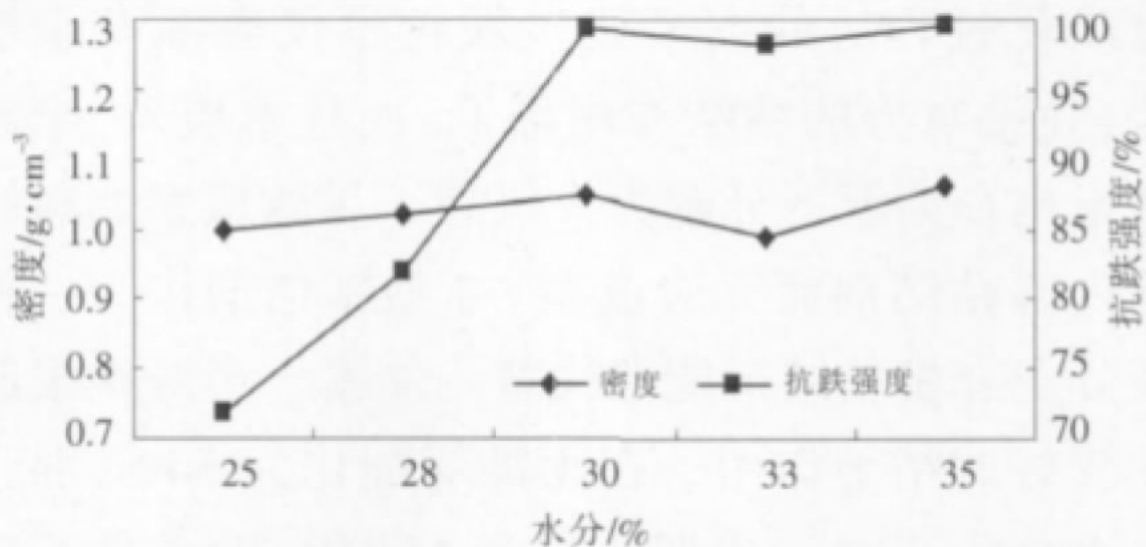


图3 混合料水分对成型燃料成型性能的影响

Fig.3 The effect of mix moisture content on the forming properties of briquette fuel

由图3可知，随着混合料水分的升高，成型燃料的密度始终维持在 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$

左右，而成型燃料的抗跌强度逐渐提高，直至达到99%左右后趋于平稳。因此锯末残炭的最佳成型水分为30%，对应的成型燃料密度为 $1.05\text{g}/\text{cm}^3$ ，抗跌强度为99.3%。

(2) 无烟煤对比对成型燃料成型性能的影响

锯末经过炭化过程后由柔韧的有机物颗粒变成疏松易碎的无机碳颗粒，以其直接制得的成型燃料密度小、抗跌强度低。加入适量坚硬的无烟煤粉不仅能够进一步降低成型燃料的挥发分，还能提高成型燃料的密度与抗跌强度。在混合料水分为30%，J型粘结剂添加量为8%，成型压力为65MPa的成型条件下成型燃料的成型性能随无烟煤配比的变化规律如图4所示。

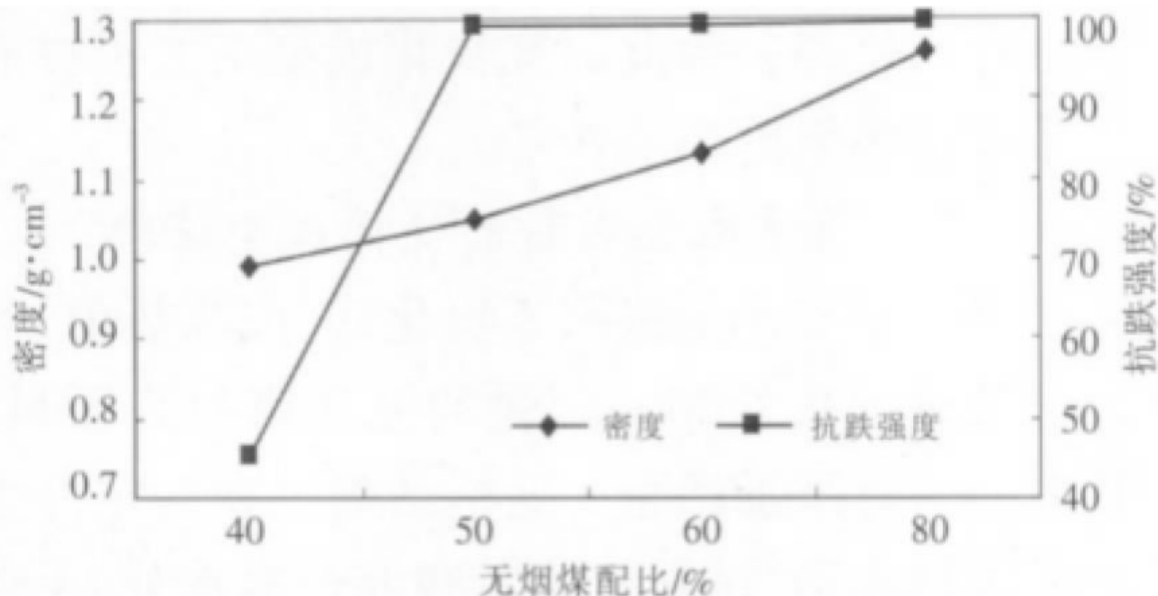


图4 无烟煤配比对成型燃料成型性能的影响

Fig.4 The effect of anthracite ratio on the forming properties of briquette fuel

由图4可知,随着无烟煤配比增加,成型燃料的密度一直呈升高趋势,而抗跌强度先升高,达到99%左右后趋向平稳。为了充分利

用生物质能源,混合料中无烟煤的最佳配比为50%,对应的成型燃料密度为1.05g/cm³,抗跌强度为99.3%。

(3) J型粘结剂的添加量对成型燃料成型性能的影响

锯末在炭化之前含有大量木质素和半纤维素,在压缩成型过程中能够起到较强的粘结作用^[7]

。经过炭化过程后的锯末残炭颗粒不仅表面亲水性差,导致水分的粘结作用降低,而且木质素、半纤维素也在高温下分解为无机碳,导致成型燃料缺乏内部粘结剂而无法成型。J型粘结剂作为一种高分子有机粘结剂能够代替木质素、半纤维素起到较好的粘结作用。在无烟煤配比为50%,混合料水分为30%,成型压力为65MPa的条件下成型燃料的成型性能随J型粘结剂添加量的变化规律如图5所示。

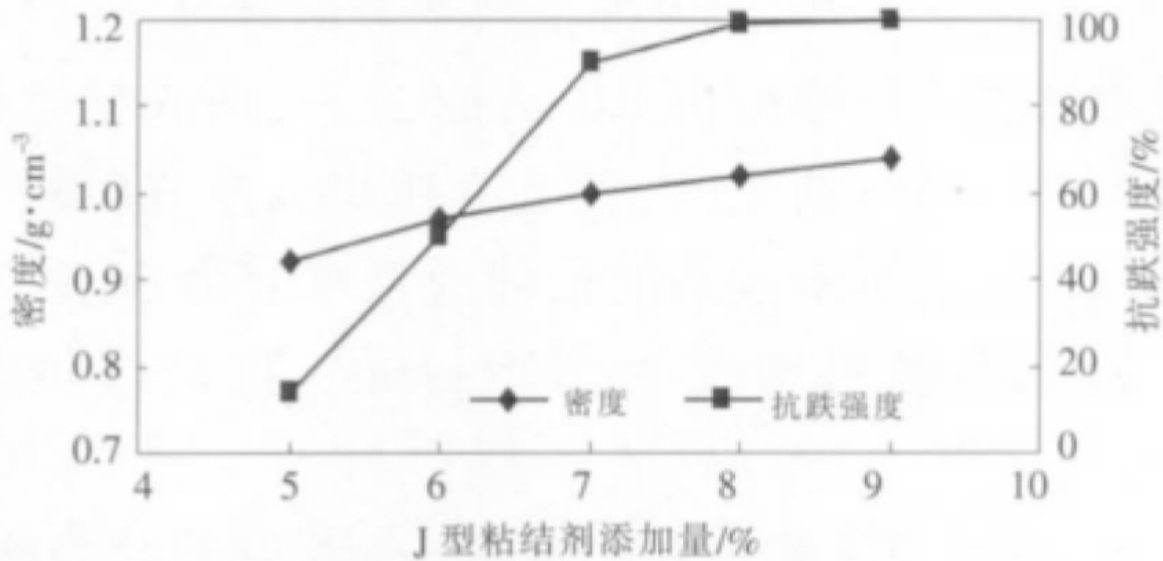


图 5 J 型粘结剂的添加量对成型燃料成型性能的影响

Fig.5 The effect of J binder addition on the forming properties of briquette fuel

由图5可知，随着J型粘结剂添加量的增加，成型燃料的密度有小幅提高，而抗跌强度呈上升趋势达到99%后趋向平稳。因此J型粘结剂的最佳添加量为8%，对应的成型燃料密度为 $1.02\text{g}/\text{cm}^3$ ，抗跌强度为99.5%。

(4) 成型压力对成型燃料成型性能的影响

成型燃料是混合料在成型压力的挤压作用下成型的，当成型压力越大时，残炭颗粒之间啮合的越紧密。但当成型压力增加到一定程度后，随着颗粒之间空隙减少，粒子之间结合的紧密程度也将趋向恒定。在无烟煤配比为50%，混合料水分为30%，J型粘结剂添加量为8%的条件下成型燃料的成型性能随成型压力的变化规律如图6所示。

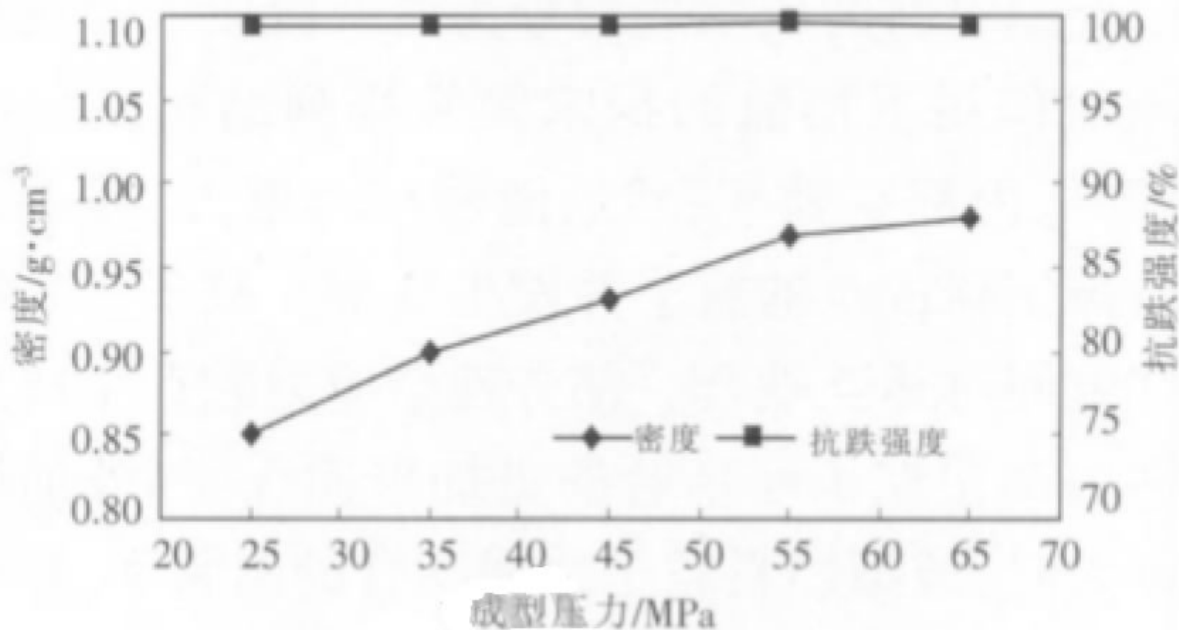


图6 成型压力对成型燃料成型性能的影响

Fig.6 The effect of forming pressure on the forming properties of briquette fuel

由图6可知，随着成型压力的提高

，成型燃料的密度呈升高趋势，达到0.97g/cm³

后增加缓慢趋向平稳，而抗跌强度一直维持在99%左右。这表明在8%的J型粘结剂作用下，残炭颗粒之间已经能够贴合的非常牢固，成型压力对成型燃料的抗跌强度作用不大。为了使锯末残炭制得的成型燃料有比较广泛的应用范围，成型燃料的密度保持在0.9g/cm³

以上较好。因此锯末残炭的最佳成型压力为45MPa，对应的成型燃料密度为0.93g/cm³，抗跌强度为99.3%。

3生物质成型燃料的燃烧性能

由于以锯末冷压成型工艺制得的生物质成型燃料热值低、挥发分高，只能作为低等燃料应用。故成品生物质成型燃料的燃烧性能研究将主要介绍锯末炭化成型工艺制得的成型燃料，其制备条件为：无烟煤配比为50%，混合料水分为30%，J型粘结剂添加量为8%，成型压力为45MPa。

3.1成品生物质成型燃料的质量指标

成品生物质成型燃料的质量指标检测主要包括燃料的工业分析、硫含量分析、热值分析，其质量指标如表2所示。由表2可知，成品生物质成型燃料的硫含量仅为0.275%，小于特低硫煤0.50%的标准；灰分为8.41%，在低灰分煤的范围内（灰分为5.01%~10.00%）；热值为24.23MJ/kg，在高热值煤的范围内（热值为24.01~27.00MJ/kg）。所以此成品生物质成型燃料属于低污染、高热值的优质固体燃料。

表 2 成品生物质成型燃料的质量指标

Table 2 The quality indexes of finished biomass briquette fuel

水分/%	挥发分/%	灰分/%	硫含量/%	热值/MJ·kg ⁻¹
8.46	17.29	8.41	0.275	24.23

3.2成品生物质成型燃料的灰熔点分析

对成品生物质成型燃料的灰分进行灰熔点测定，其结果如表3所示。由表3可知，成品生物质成型燃料灰分的软化温度为1204℃，属于中等熔融灰分（软化温度为1100~1250℃）。此软化温度能够使成品生物质成型燃料应用于温度较高的工业冶炼，而不会引起灰渣熔融、结块等不利后果。

表 3 成品生物质成型燃料灰熔点

Table 3 The ash melting point of finished biomass

briquette fuel °C

变形温度	软化温度	半球温度	流动温度
1 170	1 204	1 275	1 308

3.3成品生物质成型燃料TG-DTG-DSC热分析

对成品生物质成型燃料进行TG-DTG-DSC热分析，当升温速率为10℃/min，空气流量为50ml/min，从室温升温至700℃，结果如图7所示。

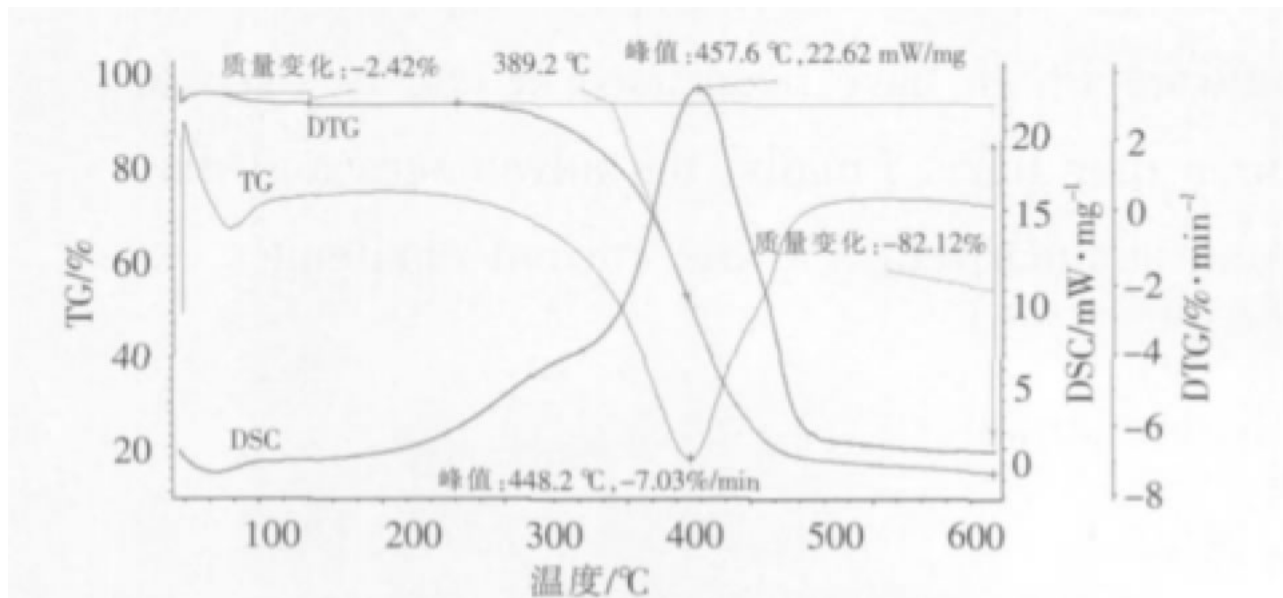


图7 成品生物质成型燃料的 TG-DTG-DSC 热分析

Fig.7 The TG-DTG-DSC thermal analysis of finished biomass briquette fuel

由图7可知，成品生物质燃料的着火温度为390℃左右、燃尽温度为520℃左右、最大失重速率为7.03%/min，最大释热量为22.62mW/mg；在60℃处附近DSC曲线存在一个吸热峰，同时TG曲线存在下降趋势，表明生物质成型燃料开始脱除水分；在390~520℃这个温度区间内DSC曲线出现一个较大的放热峰，同时TG曲线急剧下降，表明生物质成型燃料在此温度区间进行燃烧反应。因此，此成品生物质成型燃料属于易燃、燃烧快、释热量大、易完全燃烧的固体燃料。

通过对成品生物质成型燃料的质量指标检测、灰熔点分析、TG-DTG-DSC热分析，表明此成品生物质成型燃料是一种燃烧性能好的优质固体燃料，能够在一定程度上代替煤炭作为石灰竖窑等工业冶炼过程的燃料。

4结论

(1) 锯末冷压成型和炭化成型均能制得具有一定应用范围的低成本、低污染的生物质成型燃料。且锯末炭化成型制得的生物质成型燃料高热值、燃烧性能好，可用于石灰竖窑等工业高温冶炼的优质固体燃料。

(2) 锯末冷压成型需要适当的原料水分和足够的成型压力条件，原料水分过低或过高均会导致成型性能降低。在60MPa的成型压力下，水分为12%~16%的锯末制得的生物质成型燃料密度和抗跌强度分别为0.93g/cm³和99%左右。

(3) 锯末炭化成型需要加入一定量的无烟煤和粘结剂后才能获得的较好的成型效果，其最佳成型条件：混合料水分30%、无烟煤配比50%、J型粘结剂8%、成型压力45MPa。在上述条件下制得的生物质成型燃料密度和抗跌强度分别为0.93g/cm³和99.3%。

参考文献：

[1]马君，马兴元，刘琪.生物质能源的利用与研究进展[J].安徽农业科学，2012，40（4）：2202-2206.

[2]NALLADURAI KALIYAN,R VANCE MOREY.Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass[J].Bioresource Technology,2012,101(3):1082-1090.

[3]刘祖军，张大红，米锋，等.生物质成型燃料产业发展前景分析[R].北京：北京林业大学经济管理学院，2010.

[4]刘延春, 张英楠, 刘明, 等.生物质固化成型技术研究进展[J].世界林业研究, 2008, 21 (4) : 41-47.

[5]刘志坤, 叶黎佳.生物质炭化材料制备及性能测试[J].生物质化学工程, 2007, 41 (5) : 28-32.

[6]蒋剑春, 刘石彩, 戴伟娣, 等.林业剩余物制造颗粒成型燃料技术研究[J].林产化学与工业, 1999, 19 (3) : 1-5.

[7]胡建军.秸秆颗粒燃料冷态压缩成型实验研究及数值模拟[D].大连: 大连理工大学, 2008.

[8]周春梅.生物质秸秆及残炭成型工艺及燃烧特性的试验研究[D].山东: 山东理工大学, 2007.

原文地址: <http://www.china-nengyuan.com/tech/114160.html>