

# 环模秸秆成型机致密能耗和成型质量优化分析

韩建雍,徐凯宏\*,谷志新 (东北林业大学机电工程学院,黑龙江哈尔滨 150040)

**摘要** 针对目前环模秸秆成型机领域能源消耗大,模具磨损率高,产品成型率低等诸多问题,从降低能耗和减轻磨损失效的角度切入,研究了成型机的能量消耗形式和环模失效现象和原因。通过试验得出提高产物质量和降低能耗的参数,提出了参数优化的成型方案。

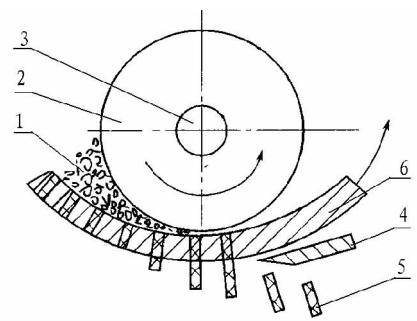
**关键词** 秸秆;致密成型;比能耗;密度

**中图分类号** S216.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)10-03111-02

利用生物质能转换技术,开发和利用秸秆能源,对改变我国未来能源消费方式有很重要的现实意义<sup>[1]</sup>。但由于秸秆产物具有分布广,占用空间大等诸多弊端,所以在大规模产业化推广中存在难度。秸秆固化成型技术将松散的秸秆原料压缩成高密度的块状燃料,便可解决这一难题,但相关成型设备生产性能不高<sup>[2]</sup>。该文提出一项较合理的优化调整方案,以达到提高秸秆成型率,降低吨料能耗的目标,为秸秆成型技术的优化提供了理论基础。

## 1 环模秸秆成型技术

**1.1 环模秸秆成型机工作原理** 成型机工作原理如图 1 所示:运料机构将处理后的秸秆物料送入成型腔内,环模带动压辊运动将秸秆压入间隙之中。在高速压缩过程中的摩擦生热软化木质素,使纤维分子互相紧密缠绕结合,秸秆体积显著减小,在模孔中逐渐形成成型块。在长度超过环模厚度时,被切刀切断,得到秸秆成型燃料<sup>[3]</sup>。



注:1. 原料;2. 压辊;3. 驱动轴;4. 切刀;5. 成品;6 环模。

图 1 环模成型机工作原理

**1.2 固化成型过程分析** 首先,依据成型过程中物料在环模孔内的状态,将环模内划分 3 个区域,分别为供料区、压缩区和保形区<sup>[4]</sup>。

- (1)供料区。此区域内秸秆颗粒为松散状态,密度较低。并未受到摩擦力影响。
- (2)压缩区。秸秆颗粒在此区间产生弹性形变,间隙逐渐缩小,带来密度的增大,由于挤压力不足所以尚未进入模孔内。
- (3)保形区。秸秆克服模孔壁摩擦力而被压进环模孔

内。秸秆内部发生了弹性和塑性形变,粘性增强,不断进入模孔的物料生成最终的成型块。

在开始成型作业后,根据秸秆受力情况和所处位置,可将成型过程划分 3 个阶段:松散阶段,压紧阶段和压实阶段<sup>[5]</sup>。

(a)松散阶段。在初始阶段时,秸秆颗粒间有较大空隙。所以伴随压力的增加,物料压缩量增长很快,两者呈线性关系。

(b)压紧阶段。在此阶段内,物料形变量增幅减弱,开始转为填补内部粒子间隙的塑性形变阶段,与压力呈指数关系。

(c)压实阶段。此阶段物料内部间隙也已被克服和占据,成型块已经压实,密度稳定,达到一定长度后排出模孔。

## 2 成型机能耗影响因素和模具失效现象

**2.1 环模成型机能量消耗形式** 在衡量秸秆成型机的工艺和能耗时,比能耗是重要的性能参考指标。比能耗的定义为:一定单位时间内,生产单位质量的成型物所消耗的能量,与产物质量间的比值。其数学表达如下:

$$E = \frac{E_1}{M_1}$$

式中: $E$ —比能耗,kWh/t; $E_1$ —单位时间内总能耗,kWh; $M_1$ —生成成型块总重,t。

通过分析环模内不同分区工作过程可知,压辊在模腔内持续匀速旋转,但因为秸秆物料的层叠,压缩过程受到的是间歇性载荷,并通过压辊直接作用于主轴悬臂。由此带来的振动和磨损消耗能量并逐渐导致构件疲劳,缩短成型机寿命。

由此可见,成型机成型过程中的能耗主要由 2 部分组成,即克服秸秆物料形变所需的能量,以及物料与成型各部件间的各种作用力所消耗的能量<sup>[6]</sup>。其中物料与设备间的能量消耗包括原料秸秆进入模孔和成型块出模的阻力。该部分阻力同时受设备结构运行参数和物料性质等 2 方面的影响。所以,需要从这 2 方面共同分析和研究,找到影响能耗的关键因素,并加以调控。

**2.2 模孔失效现象** 环模是秸秆成型机中磨损和消耗最严重的部件。正常使用时,磨损程度会不断增大,当产物的成型率不足 75% 左右时,便不能满足成型燃料基本品性要求,主要表现为成型物密度下降必须更换环模。

环模的受力和摩擦主要发生在模孔,主要表现为以下几

**基金项目** 哈尔滨市科技创新人才研究专项资金项目(2013RFXJ087)。

**作者简介** 韩建雍(1989-),男,黑龙江哈尔滨人,在读硕士研究生,研究方向:农业工程技术与应用。\* 通讯作者,教授,博士,硕士生导师,从事智能控制与检测技术研究。

**收稿日期** 2014-02-24

种现象:

(1)经过长时间压缩成型后,模孔内壁由于受物料的摩擦而产生磨损,孔壁厚度下降,造成环模强度下降,且孔径增大,于是环模疲劳失效。

(2)模孔内壁受物料持续磨损后凹凸不平,致使成型块出模受阻,生产率下降导致环模失效。

(3)环模孔边缘倒角锥面受磨损,导致倾角减小,进料量减少,模孔内挤压力降低导致成型物挤出量下降,模孔失效。

(4)模孔由于受循环应力和摩擦力的影响,在出现如(1)中所述的孔径增大失效现象前,应力集中部位先产生疲劳损伤性裂纹,并不断延伸扩大,导致突然性断裂,发生疲劳破坏失效。

以上几种失效现象的产生原因,首先是模具磨损,约占75%;其次是疲劳破坏,约占25%<sup>[7]</sup>。所以减小磨损带来的环模失效现象,是提高生产率和设备性能的关键。对磨损的研究不仅涉及原料的本质特性,且与设备具体工况有直接关系。所以,研究磨损规律,通过改良设备运行参数和原料性态来控制 and 避免有害磨损,具有重要意义。

3 秸秆成型能耗优化试验

通过分析已知,在成型产物方面,密度是衡量其各方面品质的重要指标。在参考了压块类燃料的标准要求<sup>[8]</sup>,和大量实际燃烧应用后,发现当成型块密度在1.1~1.2 g/cm<sup>3</sup>时,就能满足成型块本体的耐久性和致密性,保证较高的成型率和燃烧效率。所以试验从含水率、压缩比和环模转速3个方面进行考察,研究最优的密度和能耗的多因子控制参数。

**3.1 试验方法** 试验所采用的生物质原料为东北地区常见的玉米秸秆。选取适量的去根成熟秸秆,自然放置进行干燥处理。选出粒度范围为3~7 mm的秸秆颗粒,烘干,调制成6种含水率在12%~22%间的秸秆原料。选取模孔压缩比在3.5~6.5之间的环模作为模具。

**3.2 含水率对成型块密度及比能耗的影响** 含水率为秸秆原料重要物理参数。不同含水率的物料对产物密度和比能耗的影响显著(表1)。

| 表 1 玉米秸秆不同含水率对产物成型密度及比能耗的影响 |                       |            |
|-----------------------------|-----------------------|------------|
| 含水率//%                      | 密度//g/cm <sup>3</sup> | 比能耗//kWh/t |
| 12                          | 0.92                  | 69.35      |
| 14                          | 1.05                  | 60.72      |
| 16                          | 1.08                  | 52.83      |
| 18                          | 1.19                  | 49.23      |
| 20                          | 1.15                  | 54.41      |
| 22                          | 1.06                  | 64.80      |

由表1可以看出,随秸秆含水率的增大,成型燃料密度也不断升高。当到达18%左右含水率时,密度达到最大,同时比能耗降为最低。含水率继续加大时,密度开始下降,比能耗则升高。

水分在成型过程中起到润滑和减小摩擦的作用。含水率较低时,物料间缺乏润滑,秸秆内部粒子粘结作用减弱,所

需挤压力增大,且成型物密度较低。同时,各环节机械摩擦增大,对环模尤其是模孔壁的损伤严重,加速模具失效,且能源消耗大;当含水率较高时,受压力作用被挤出的水分仍分布于粒子层之间,使得结合仍不紧密,密度下降,产物成型率不高,比能耗随之增大。当物料在18%含水率时,成型比能耗相比减少6.81%~29.02%,密度和能耗均最优,故含水率18%为最优控制参数。

**3.3 压缩比对成型块密度及比能耗的影响** 环模压缩比是用来反映和调节成型机挤压强度的参数。由表2可以看出,压缩比较小时,产物密度不高,仅能满足压块燃料基本要求,且比能耗偏高;随着压缩比的增大,密度升高,同时能耗降低,达到较好状态;继续增加压缩比不会带来密度的提升,而能耗则显著增加。

| 表 2 玉米秸秆不同压缩比对成型物密度与比能耗的影响 |                       |            |
|----------------------------|-----------------------|------------|
| 压缩比                        | 密度//g/cm <sup>3</sup> | 比能耗//kWh/t |
| 3.5                        | 0.94                  | 55.35      |
| 4.0                        | 1.05                  | 53.66      |
| 4.5                        | 1.13                  | 50.86      |
| 5.0                        | 1.18                  | 47.55      |
| 5.5                        | 1.20                  | 51.30      |
| 6.0                        | 1.19                  | 59.85      |
| 6.5                        | 1.20                  | 68.52      |

从密度角度分析,压缩比较低时,产物保型时间较短,虽能耗不高,但产物结构松散,成型率低,品质一般;随压缩比的增大,保型时间增长,成型物致密且硬度提升,品质和产量提高,降低了比能耗;但压缩比过高时,产物密度不再增加,较大的磨损导致比能耗显著升高和环模提前失效。所以适中的压缩比有助于保持产物密度和降低能耗。当压缩比为5.0时,成型比能耗相比减少6.51%~30.60%,密度和比能耗均较优。

**3.4 环模转速对成型块密度及比能耗的影响** 环模转速直接影响成型机能耗和产物出机速度。由表3可以看出,环模转速对成型过程的能耗有直接影响。当环模转速较低时,成型密度不高,能耗则较大,这是由于低

| 表 3 不同环模转速对成型物密度与比能耗的影响 |                       |            |
|-------------------------|-----------------------|------------|
| 转速//r/min               | 密度//g/cm <sup>3</sup> | 比能耗//kWh/t |
| 120                     | 0.95                  | 62.23      |
| 140                     | 1.10                  | 54.56      |
| 160                     | 1.17                  | 51.62      |
| 180                     | 1.20                  | 56.87      |
| 200                     | 1.18                  | 66.46      |

速旋转时,秸秆原料堆积现象较明显,挤压高度较高,所需的压力增大所以能耗偏高;随着转速提升,原料均匀布满环模,模孔瞬时压入量小,压力较小,所以能耗降低。然而当转速过高时,电机能耗偏大,且离心力较强,对环模各结构损耗较大;同时成型物出机速度较快,甩出过程易碎,降低了成型率。综合几组数据,当转速为160 r/min时,成型比能耗相比减少了5.39%~22.33%,成型燃料的密度和生产比能耗均较优。

错位。

(5)混凝土砌块铺装。生态混凝土砌块采用水泥砂浆坐浆砌筑,砂浆标号为 M10。铺装时需严格按照施工技术手册实施。铺装过程中要定时检查混凝土砌块护岸的纵向顺直度和横向水平度,以保证铺装的整体质量。工程生态砌块护岸底部采用 C 20 混凝土护脚,顶部用 C 20 生态混凝土压顶,压顶每隔 5 m 设切割缝一道,缝宽为 10 mm。

(6)砌块护岸绿化。在砌块护岸植物的选择上,需考虑当地河道的环境条件,以及结合生态混凝土温度变化的特点进行选择。对于砌块护岸宜选用匍匐型草种,以减少混凝土框架对绿化覆盖率的影响。

在生态混凝土砌块上播植植物,可酌情选用撒播、喷播、栽种等方式,播种量与普通草坪相同。工程采用点播方式,将草籽均匀地撒入覆土的砌块植物空腔内,浇水养护。在植草形成草坪、草根穿透混凝土砌块扎入坡体土壤后,若无特殊情况无需养护。

**3.2 植物措施应用** 岸坡的绿化直接关系到河道治理的整体效果和生态环境的改善,是最能体现工程建设效果的关键工序。植物措施的应用可大大增加堤岸的水土保持能力,提高河岸的观赏度和环境的舒适度,同时也能为生物多样性的恢复奠定基础。工程在砌块护岸压顶至堤顶的岸坡上进行了植物群落建设,营造了乔灌木相结合的植物配置模式。同时在常水位以下种植水生植物,通过植物对水体污染物的吸收和转化来净化水质,也为鱼虾等水生动物提供栖息场所。

岸坡植被的选择要适合河道环境条件,尽可能就地取材,选择一些适应性强、自繁殖能力强的乡土植物。工程根据区域自然条件、河道基本功能等对河道植物种类进行了选择,设计了 3 种植被模式。模式①:水杉、香樟、红叶李、木芙蓉、狗牙根、水葱;模式②:垂柳、香樟、红叶石楠、紫薇、马尼拉、黄菖蒲;模式③:孝顺竹、夹竹桃、女贞、垂柳、红叶李、高羊茅、香蒲。

河岸植物群落建设以乔、灌、草相结合为主,常绿与落叶相配合为辅,构建了仿自然的生态河道。通过植物间的相互

(上接第 3112 页)

## 4 结束语

试验以玉米秸秆为原料,主要研究了原料含水率、环模压缩比和转速 3 个因素对成型产物密度和成型能耗的影响。从延长环模失效时间,节能降耗和提高产物质量的角度,对相关设备参数和原料性质进行了试验分析,找到了成型机的最优能耗多因子控制关键参数。得出在压缩比为 5.0,含水率为 18%,环模转速 160 r/min 时,成型燃料在产物质量和致密能耗上均可达到较优水平。该研究为固化成型理论的优化和改进提供了合理的手段和方向,为规模化产业化应用奠定了基础。

作用有效增强了堤岸的防护能力,同时还具有良好的景观视觉效果。

## 4 应用效果

植生型生态混凝土砌块护岸不仅能遏制水土流失以及水流淘刷,满足河道岸坡稳定等工程安全的要求,更重要的是其沟通了水域和陆域的生态链。该生态砌块护岸建成后,可增加护岸的稳定性,保证护岸不再塌损,相当于新增土地  $100\text{ m}^2/\text{km}\cdot\text{a}$ (按年减少塌损 20 cm 计),同时减少清淤  $600\text{ m}^3/\text{km}\cdot\text{a}$ 。

该工程经过河道整治,清除了沉积多年的淤泥,大大改善了河道水质,增强了河道引水、排水、蓄水、供水等能力。同时沿岸的植物群落建设又能美化环境、涵养水源,维持了河道生态系统的平衡,使之成为水清岸绿的生态型河道,具有良好的社会效益和生态效益。

## 5 结语

植生型生态混凝土砌块护岸改变了以往河道护岸硬化、直线化的特点,护岸植被群落的构建使得河道与周围环境融为一体,为人们休憩娱乐提供了良好场所。

此种护岸构型具有在基本保持混凝土构件原有防护功能的前提下,保护和修复生态环境的功能,符合人与自然的和谐相处的现代治水理念<sup>[7]</sup>。可以预见,植生型生态混凝土砌块护岸在水利工程上应用前景广阔,是水利工程中建设生态湖泊驳岸、江河海岸等的可行技术。

## 参考文献

- [1] 林渠.生态景观挡墙在河道整治工程中设计应用[J].福建建筑,2008(4):89-90.
- [2] 骆红旭.合金石笼在河道整治中的应用[J].四川建材,2009,35(6):139-140.
- [3] 韩玉玲,岳春雷,叶碎高,等.河道生态建设-植物措施应用技术[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [4] 苗翠林,杨平.生态护岸在城市河道综合治理中的应用[J].科技信息,2008(30):659-660.
- [5] 江上熙.自嵌式生态型挡墙在河道整治工程中的应用[J].闽西职业技术学院学报,2009,11(3):122-125.
- [6] 冯婷,贾亚军.生态护坡技术在城市河道整治中的应用[J].中国给水排水,2008,24(20):58-60.
- [7] 李念斌,印勇,杨卫平.绿化混凝土在河道护坡工程施工方法和要求[J].上海水务,2008,24(4):33-35.

## 参考文献

- [1] 周建斌.生物质能源工程与技术[M].北京:中国林业出版社,2011:2-10.
- [2] 李建南,倪俊.生物质成型燃料前景分析[J].节能,2011,342(1):13-14.
- [3] 李美华.生物质致密成型参数的研究[D].北京:北京林业大学,2005:7-10.
- [4] 刘徽.环模压机压缩室结构设计[J].农业装备技术,2006,32(6):48-49.
- [5] 王诚辉,严永林.木质颗粒成型机环模受力分析[J].中南林业科技大学学报,2011,31(12):187-191.
- [6] 王慧.基于生物质碾压成型机理的成型能耗影响因素研究[D].济南:山东大学,2011:26-28.
- [7] 吴劲锋.制粒环模磨损失效机理研究及优化设计[D].兰州:兰州理工大学,2008:16-18.
- [8] 庞利少,孟海波,赵立欣,等.立式环模秸秆压块成型机作业参数优化[J].农业工程学报,2013,29(23):166-171.