

# 基于生物质固体燃料成型用秸秆揉碎机的研究

王野平,施小娟

(同济大学机械工程学院,上海 201804)

**摘要:**为了探析固体燃料成型用揉碎机的工作能耗及主要耗散区域,并为揉碎机配置功率提供理论依据,以9FR-66型秸秆揉碎机为原型,对揉碎机的主要工作环节:揉碎、抛料进行了能耗分析与理论计算。结果表明,揉碎功耗占粉碎机功耗的主导地位,其主要影响因子包括:粉碎室宽度、转子直径及锤片末速度,适当减小粉碎室宽度  $v = n_{\text{能}} \pi d / 60$  与转子直径  $K_{1j}$  可显著降低能耗。

**关键词:**生物质燃料;粉碎机;秸秆;能耗

**中图分类号:**TH122

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-2767(2011)12-0146-03

我国作为农业大国,秸秆资源非常丰富:年产农作物秸秆达7亿t左右,其中约有3.5亿t可作为能源使用<sup>[1-2]</sup>,而在将生物质原料转化为工业能源的过程中,1/3的能量消耗在揉碎加工阶段。

国内外学者对畜牧用秸秆揉碎机进行了大量研究与实践,而燃料成型用揉碎机鲜有系统性的研究。鉴于此,基于9FR-66型秸秆粉碎机进行研究与实验,针对造粒用揉碎机进行能耗计算与分析,以期对生物质燃料成型行业用揉碎机提供一定的指导作用。

## 1 秸秆加工要求

从燃料成型率、难易程度和发热量看,宜加工成柔软丝状物料,长度取4~15cm、当量直径d取1~5mm、含水率15%~25%,而畜牧行业所用秸秆,以含水率30%~50%为最佳。

## 2 9FR-66型秸秆粉碎机简介

秸秆粉碎机结构见图1,主要由机架、进料机构、切碎部件、锤片转子总成、主轴及传动系统组成<sup>[3]</sup>。

### 2.1 工作原理

接通电源,进料机构及尾部风机产生的负压作用将入口处物料源源不断地吸进粉碎室,在腔内完成切碎、捶打、揉丝,待物料被揉搓成丝状柔软轻质长条,由风机抛送出去,完成秸秆的揉碎加工过程。

### 2.2 技术参数确定

2.2.1 主要技术参数的确定 鉴于成型用秸秆

原料与饲料用秸秆的物理差异性,根据揉碎加工的经验<sup>[4-6]</sup>,取锤片末端速度为:

$$v = 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

其对应主轴转速为:

$$n = \frac{60v}{\pi D} = \frac{607 \times 40}{3.14 \times 0.66} = 1158 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$$

式中:  $D$  为转子直径,  $D = \varphi 660 \text{ mm}$ 。

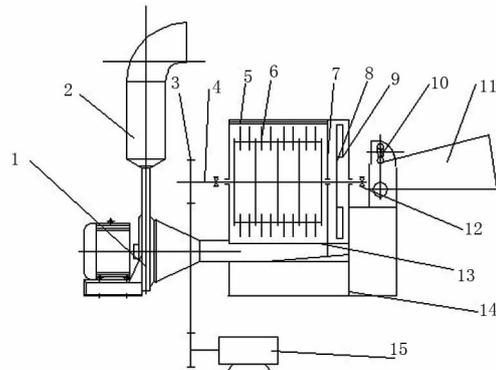


图1 9FR-66型秸秆粉碎机结构

- 1. 输送风机; 2. 输送管; 3. 皮带轮; 4. 主轴; 5. 齿板;
- 6. 锤片组件; 7. 隔板; 8. 动刀架; 9. 动刀片; 10. 进料机构;
- 11. 进料槽图; 12. 轴承; 13. 筛片; 14. 机架; 15. 电动机

主要技术参数见表1。

表1 9FR-66型粉碎机主要技术参数

序号	项目	单位	规格
1	整机质量	kg	250
2	喂料入口尺寸	—	200 mm×75 mm
3	转子直径	mm	φ660
4	锤片末端速度	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	40
5	配套动力	kW	17
6	主轴转速	$\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	1158
7	粉碎室宽度	mm	400

收稿日期:2011-10-17

第一作者简介:王野平(1963-),男,江苏省丹阳市人,博士,教授,从事机械设计与制造、摩擦学及测试技术等方面的教学和研究工作。E-mail:shi\_xiao\_juan@yahoo.com.cn。

2.2.2 物料传动计算 (1) 进料辊子直径 ( $d$ ): 当辊体刚好克服滚动摩擦工作时, 其半径取得最小值, 耗用功率取得最小值, 传动比也最小:

$$A = h + 2(r_{\min} - r_{\min} \cos 2\alpha) \quad (1)$$

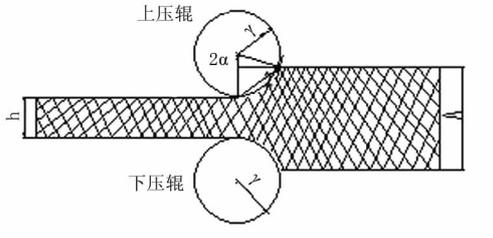


图2 喂入辊工作状态切向

$$\text{则: } r_{\min} = \frac{A - h}{2(1 - \cos 2\alpha)}$$

式中:  $A$  为喂入带上物料层厚度,  $A = h/\mu$ ;  $h$  为被压缩后物料层厚度;  $\mu$  为物料层通过喂入辊时的压缩系数 ( $0.3 \sim 0.7$ );  $\alpha$  为物料层与辊的摩擦角 (取  $20^\circ$ )。根据汪莉萍等对 9FR-66 秸秆粉碎机的设计研究<sup>[3]</sup>, 取  $d_{\min} = 75 \text{ mm}$ , 此时主轴与喂入辊的传动比  $v = n_{\text{辊}} \pi d / 60$ 。

(2) 切碎长度 ( $L$ ): 切碎长度直接影响着揉碎后物料的长度, 是成型用秸秆的主要性能指标之一。

物料的喂入速度  $v = n_{\text{辊}} \pi d / 60 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$ , 切碎器每秒切碎次数  $K_{1j}$ ,  $k = 4$  — 动刀片数,

理论切碎长度 ( $L$ ):

$$L = \frac{v}{t} = \frac{\pi d}{ki} \quad (2)$$

$$L = \frac{n_{\text{辊}} \pi d / 60}{kn_{\text{轴}} / 60} = \frac{\pi d}{ki} = 20 \text{ cm}$$

可见, 切碎长度  $L$  完全符合成型用秸秆 4~15 cm 的长度要求。

### 3 能耗 $N$ 分析

秸秆粉碎机功率主要耗散区有揉碎功耗  $N_1$  和抛料功耗  $N_2$ , 以玉米秸秆为生产对象进行分析:

#### 3.1 揉碎功耗 $N_1$

$$N_1 = \frac{BDV}{K_e} \quad (3)$$

式中:  $V$  为锤片末端线速度,  $V = 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $B$  为粉碎室宽度,  $B = 0.4 \text{ m}$ ,  $D$  为转子直径,  $D = 0.66 \text{ m}$ ,  $K_e$  为经验系数 ( $0.55 \sim 0.75$ ), 这里取  $K_e = 0.65$ , 则粉碎室所需功率  $N_1$ :

$$N_1 = \frac{0.4 \times 0.66 \times 40}{0.65} = 16.24 \text{ kW}$$

#### 3.2 抛料功耗 $N_2$

$$N_2 = \frac{Q'H(1+\mu)}{102\eta} \quad (4)$$

式中:  $Q'$  为风扇的流量,  $\eta$  为风扇效率 ( $0.5 \sim 0.7$ ), 取  $\eta = 0.6$ ,  $\mu$  为物料混合浓度比, 取  $\mu = 1$ ,  $H$  为气流输送装置所需的全压 (毫米水柱)。

##### 3.2.1 风扇的流量 $Q'$ 其计算公式为:

$$Q = \frac{G_{\text{物}}}{3.6\mu\gamma_{\text{气}}} \quad (5)$$

$$\text{则 } Q = 0.19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

式中:  $G_{\text{物}}$  为设计生产率,  $G_{\text{物}} = 1 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $\gamma_{\text{气}}$  为空气比重,  $\gamma_{\text{气}} = 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 即: 风扇流量  $Q' = \frac{Q}{\eta_{\text{叶}}} = 0.22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\eta_{\text{叶}}$  为叶片工作效率, 取  $\eta_{\text{叶}} = 0.85$ 。

##### 3.2.2 输送全压 $H$ 其计算公式为:

$$H = H_{\text{动}} + H_{\text{静}} \quad (6)$$

(1) 动压  $H_{\text{动}}$ :

$$H_{\text{动}} = \frac{r_{\text{气}} \times v_{\text{气}}^2}{2g} (1 + \mu \frac{v_{\text{物}}^{\text{品}}}{v_{\text{气}}^2}) = 36.49 \text{ (毫米水柱)}$$

柱)

式中:  $v_{\text{气}}$  为气流速度,  $v_{\text{气}} = \varphi \times v_{\text{临}} = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $\varphi$  为速度系数,  $\varphi = 2$ ;  $v_{\text{临}}$  为临界速度, 对于茎秆类物料  $v_{\text{临}} = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $g$  为重力加速度,  $g = 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ;  $\frac{v_{\text{物}}^{\text{品}}}{v_{\text{气}}^2} = 0.65 \sim 0.85$ , 取  $0.7$ 。

(2) 静压  $H_{\text{静}}$ :

$$H_{\text{静}} = H_{\text{摩}} + H_{\text{升}} + H_{\text{局}} = 41.48 \text{ (毫米水柱)}$$

式中:  $H_{\text{摩}}$  为在管道中克服摩擦时的压头损失,  $H_{\text{摩}} = \lambda \frac{1}{d} \frac{\gamma_{\text{气}} v_{\text{气}}^2 (1 + c\mu)}{2g} = 0.66 \text{ (毫米水柱)}$ ;  $H_{\text{升}}$  为在垂直管道中升高物料所需的压头,  $H_{\text{升}} = \gamma_{\text{气}} \mu h = 0.36 \text{ (毫米水柱)}$ ;  $H_{\text{局}}$  为各种局部阻力损失,

$$H_{\text{局}} = \sum \epsilon_{\text{局}} \frac{\gamma_{\text{气}} v_{\text{气}}^2 (1 + c\mu)}{2g} = 40.46 \text{ (毫米水柱)}。$$

水柱)。

其中,  $\lambda$  为摩擦阻力系数, 取  $\lambda = 0.0167$ ;  $l$  为管道长,  $l = 0.3 \text{ m}$ ;  $d$  为管道当量直径,  $d = 0.26 \text{ m}$ ;  $c$  为气流速度修正系数,  $c = 0.4$ ;  $h$  为管道垂直长度,  $h = 0.3 \text{ m}$ ;  $\sum \epsilon_{\text{局}}$  为各种局部阻力

系数,  $\sum \epsilon_{\text{局}} = \epsilon_{\text{出}} + \epsilon_{\text{弯}} = 1.18$ 。

则:  $H = 77.97$  (毫米水柱)

代入(4)式得:

$$N_2 = \frac{0.22 \times 77.97 \times 2}{102 \times 0.6} = 0.56 \text{ kW}$$

综上:

$$N = N_1 + N_2 = 16.24 \text{ kW} + 0.56 \text{ kW} = 16.8 \text{ kW} < 17 \text{ kW} = \text{配套动力。}$$

### 3.3 小结

从这些理论计算可知:揉碎能耗占主要能耗的90%以上,实际生产中电机功率往往小于配套功率  $\frac{P_{\text{实际}}}{P_{\text{现}}} = 0.67 \sim 0.83$ , 否则电机极易因过载而

减少寿命甚至烧毁。由式(3)知  $N_1 = \frac{BDV}{K_s}$ , 则实际锤片末速度  $v < 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 很难达到生产率要求。由浙江圣普新能源科技有限公司生产实践测得玉米秸秆实际生产率仅达  $750 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

基于以上考虑,可适当考虑减小设备粉碎室宽度  $B$  及转子直径  $D$  来降低揉碎能耗。以9R-40型秸秆揉碎机<sup>[6]</sup>尺寸为参考:

$$B = 260 \text{ mm}, D = \varphi 400 \text{ mm},$$

代入式(3-1),得:

$$N_{\text{揉碎}} = \frac{0.26 \times 0.4 \times 40}{0.65} = 6.4 \text{ kW};$$

以玉米秸秆为生产对象,产量按  $1 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$  计算:

$$N_{\text{抛料}} = \frac{0.22 \times 79.67 \times 2}{102 \times 0.6} = 0.58 \text{ kW};$$

$$\text{则 } N = N_{\text{揉碎}} + N_{\text{抛料}} = 6.98 \text{ kW};$$

9R-40型秸秆揉碎机配套功率为9kW可满

足生产需求。

由此可知:适当减小粉碎室宽度  $B$  及转子直径  $D$  可有效降低揉碎能耗,提高揉碎质量及生产率。

## 4 结论与讨论

该机型结构紧凑,溶切碎、揉搓加工为一体,有利于控制成型用秸秆物料的质量。据浙江圣普新能源科技有限公司实践检验,揉碎物料可成型率达95%以上。

根据能耗的理论计算,揉碎环节占总机能耗的90%以上,可通过减小粉碎室宽度  $B$  及转子直径  $D$  等结构尺寸来降低粉碎功耗,也有利于设备提高生产率及度电产量。

为满足粉碎行业的多适应性揉碎需求,粉碎机相关结构与参数设计还有待进一步开发与研究。

### 参考文献:

- [1] 张无敌,宋洪川.我国生物质能转换技术开发利用现状[J].能源研究与利用,2000,68(2):3-6.
- [2] 钱湘群,赵匀,盛奎川.秸秆切碎及压缩成型特性与设备研究[D].杭州:浙江大学,2003.
- [3] 汪莉萍,王述洋,景果仙,等.9RF-66型秸秆粉碎机设计[J].农业工程学报,1999,22(3):51-53.
- [4] 韩鲁佳,刘向阳,阎巧娟,等.9LRZ-80型立式秸秆揉切机的研制[J].农业工程学报,2009,22(3):137-141.
- [5] 赵祥雄.RC-11高效秸秆揉搓机研究设计[J].江西农业学报,2007,19(9):126-127.
- [6] 周伟,刘伟峰.9R-40型揉碎机的改进与试验研究[D].赤峰:内蒙古农业大学,2009.

## Study of Straw Grinder for Solid Biomass Fuel

WANG Ye-ping, SHI Xiao-juan

(Mechanical Engineering College of Tongji University, Shanghai 201804)

**Abstract:** Taking 9FR-66 straw grinder as the sample device to study consumption and related exhaustion points in the field of solid biomass fuel molding. The theoretical energy consumption was calculated based on designed parameters, the main consumption happened at the crushing stage was found. The result showed that the width of shell, rotor dimension and rotate speed were direct factors that impacting crush energy, reducing the width of crushing shell  $B$  and rotor dimension  $D$  accordingly may cut down the overall energy consumption greatly.

**Key words:** biomass fuel; grinder; straw; energy consumption