

可移动生物质颗粒燃料设备系统的研制 及其经济技术性能分析

闫昌国, 李世密, 张晓健, 张大雷
(辽宁省能源研究所, 辽宁 营口 115000)

摘要: 详细介绍了可移动生物质颗粒燃料设备系统的研制过程及其技术性能指标。通过对颗粒成型设备及其相关附属设备的优化集成研究, 形成了具有我国自主知识产权的可移动集成化的生物质颗粒燃料设备系统, 为低成本利用生物质资源提供了有力的支撑条件。

关键词: 生物质; 可移动成型设备; 技术性能

中图分类号: TK6; S216.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2007)06-0029-05

Research and technical & economic analysis on mobile biomass pelletizing system

YAN Chang-guo, LI Shi-mi, ZHANG Xiao-jian, ZHANG Da-lei
(Liaoning Institute of Energy Resource, Yingkou 115000, China)

Abstract: The paper discusses the mobile biomass pelletizing system development process and the corresponding technical performance in detail. By study on the optimization and integration of biomass pelletizing equipment and its ancillary equipment, a set of mobile biomass pelletizing system, which has independent intellectual property, has been developed, the system is to be seen as reliable support for low cost utilization of biomass resource.

Key words: biomass; mobile pelletizing equipment; technical performance

0 前言

生物质成型燃料已经受到社会各界的高度重视, 在拓展其应用范围过程中, 不断降低燃料的生产成本是研究人员的主要任务。在成型燃料成本构成中, 当成型原理确定之后, 降低其加工成本的潜力有限, 因此, 降低原料成本就成为降低成型燃料成本的关键。生物质原料的分散性特点决定了其运输成本高于原料自身价格, 开发高度集成的可移动成型设备, 可以实现在原料产地生产成型燃料, 节省原料运输成本, 从而提高系统的经济效益。我们在固定式成型设备的基础上, 通过对系统中各结构单元的优化集成, 研制出可移动的生物质颗粒燃料设备。本文探讨了设备集成原理, 研究了不同原料的成型条件, 测试了设备的技术性能, 分析了成型燃料的成本。

1 工艺流程的确定

基金项目: 国家创新基金项目(05C26210210327)。

作者简介: 闫昌国(1974-), 男, 助理研究员, 从事生物质能利用技术的研发工作。

通讯作者: 张大雷(1963-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事生物质能利用技术的研究工作。E-mail: daleizhang@163.com

根据设备可以随时移动的要求, 整套系统结构必须紧凑, 且整体设备体积不能过大, 并要求操作简单、运行稳定, 经过反复论证确定工艺流程如图1。

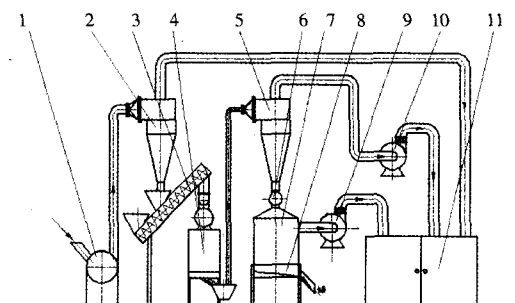


图1 系统工艺流程图

Fig.1 System process

1-粉碎机; 2-旋风分离器; 3-螺旋输送机; 4-颗粒机; 5-旋风分离器; 6-关风机; 7-冷却器; 8-振动筛; 9-通风机; 10-通风机; 11-布袋除尘器

原料经粉碎机粉碎(或直接投入粉料)后, 经

可调速的螺旋输送机输送到颗粒机的搅拌输送系统中,然后进入颗粒机主机,在颗粒机主机环模和压辊的挤压下形成颗粒,经切刀切断后通过颗粒输送机、旋风分离器进入冷却系统,颗粒在冷却系统中经过冷却并通过成品筛筛分后由人工装袋包装。

2 主要设备的选择及系统的总体结构设计

2.1 成型设备的选择

颗粒机的结构主要有2种,一种为平模结构,另一种为环模结构。无论是平模颗粒机还是环模颗粒机,都是由压辊将粉碎好的原料挤过压模孔来完成制粒的。环模颗粒机(图2)在动力带动下,压模旋转,由压料入孔的正压力所产生的摩擦力带动压辊自转。因为环模与压辊均是圆柱形的,所以环模内壁上各点线速度都一样,为 $V_1=\omega_1 R$,辊柱面上各点的线速度也一样,在足够摩擦力作用下,其线速度 $V_2=V_1$,即 $\omega_2 r=\omega_1 R$,保证了模辊间的纯滚动,二者之间的相互作用力比较均匀。平模颗粒机(图3)在辊子转速一定的情况下,其孔带

区各点线速度 $V_1=\omega_1 R$ 随着 R 的增大而增大,但圆柱压辊柱面上的线速度必须是一致的,这样在模辊之间除了产生滚动摩擦之外,还产生滑动摩擦,这必将损失更多的功率,产生更多的热量。由于模辊的磨损加剧,其寿命也相应地缩短。

另外,通过理论计算可知,在压辊半径相同的情况下,环模的压实层比平模的压实层厚,压实区域大,这使环模的挤压力对各种不同的原料具有更大的适应力,压制出的颗粒质量也会更好。因此,为了使移动式颗粒燃料设备系统能够高效率地运转,同时又能满足生产不同生物质颗粒燃料的需要,本系统采用环模颗粒机作为制粒主机。

通过合理的设计,确定颗粒机主要由主电机、齿轮箱减速装置、主轴、驱动轴、环模、压辊、强制喂料器、切刀组件及机身和门等组成。经上料绞龙输送来的物料,由喂料器和前板上2个偏转刮刀均匀地送入2个压辊与环模组成的压制区,通过环模和压辊2个相对旋转件对物料逐渐挤压而挤入环模孔,在模孔中成型,并不断向外端挤出,由切刀把成型颗粒切成需要的长度,最后将成型颗粒排出机外。

2.2 系统内其它主要单元的设计

根据我们研究固定式设备的经验以及实际生产的需要,本套系统还配置了粉碎机、输送机、厢式冷却器、布袋除尘器和通风机等几个主要设备。从结构上看,与固定式设备有明显区别的是颗粒输送机和除尘设备系统,由于在原有的固定式设备上采用的结构占用空间较大,不适合在小型设备上使用,因此下面详细论述这2种设备的选择。

2.2.1 颗粒输送设备的选择

一般大中型固定式输送设备往往采用斗提式输送机,其占地面积小,输送量大,但需要一定的空间,不适用于在可移动设备上应用。螺旋输送机也是常用的输料设备,但这种输送方式不仅需要一定倾角,占用很大的空间,而且其内部的螺旋片转动时也会破坏颗粒,影响颗粒外观质量,所以也不能采用。皮带输送机需要的倾角较小,但占地面积较大,也不适合采用。由于颗粒燃料密度相对较小,因此可以采取风送的方式来解决这一问题,即选用合适的风机和管径,利用风的力量把主机生产出来的颗粒输送到冷却器中。这种气力输送系统占地面积小,可以任意地安排输送线路,并且结

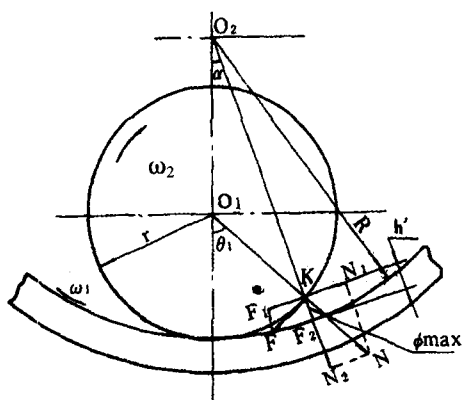


图2 环模颗粒机原理图

Fig.2 Schematic of circular die pelletizer

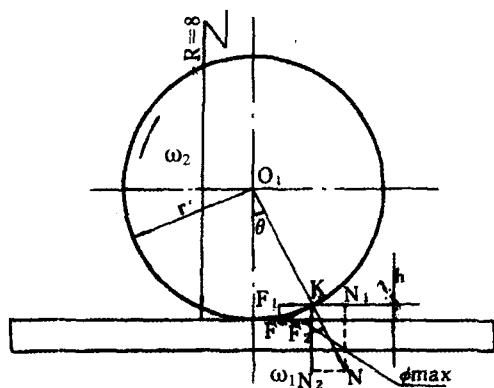


图3 平模颗粒机原理图

Fig.3 Schematic of flat die pelletizer

构简单、操作方便,容易实现自动化,非常适合在可移动的设备上使用。具体参数计算如下。

(1) 气体速度 v_g 的确定

从气力输送的角度考虑,气体速度只要超过最大颗粒的沉降速度即可,为确保操作的顺利进行,在气力输送中,气体速度往往取最大颗粒沉降速度的几倍至几十倍。

最大颗粒的沉降速度由下式求得:

$$W_i = (4 \cdot d \cdot \rho_m \cdot g / 3 \cdot \rho_g \cdot \zeta)^{0.5}$$

式中: W_i ——颗粒的沉降速度, m/s;

d ——最大颗粒当量直径, 取 $d=11.05 \times 10^{-3}$ m;

ρ_m ——颗粒密度, kg/m³, 取 $\rho_m=1\,200$ kg/m³;

g ——重力加速度, m/s²;

ρ_g ——空气密度, kg/m³, 取 $\rho_g=1.12$ kg/m³;

ζ ——阻力系数, $Re_r=0 \sim 1, \zeta=24/Re_r, Re_r=0 \sim 500, \zeta=10/Re_r^{0.5}, Re_r=500 \sim 150\,000, \zeta=0.44$ 。

$$Re_r = d \cdot W_i / \nu$$

ν ——空气的运动粘度, m²/s, $\nu=1.6 \times 10^{-5}$ m²/s。

将上述数据代入公式:

$$W_i = (4 \cdot d \cdot \rho_m \cdot g / 3 \cdot \rho_g \cdot \zeta)^{0.5} = (4 \times 11.05 \times 10^{-3} \times 1\,200 \times 9.81 / 3 \times 1.12 \times 0.44)^{0.5} = 18.76 \text{ m/s}$$

校核 Re_r :

$$Re_r = d \cdot W_i / \nu = 11.05 \times 10^{-3} \times 18.76 / (1.6 \times 10^{-5}) = 12\,956$$

正好在 $Re_r=500 \sim 150\,000, \zeta=0.44$ 范围内。

由于系统中真空度极小, 为了保证系统的可靠运行, 所以取风速 W 为 W_i 的 10 倍, 即 $W=187$ m/s。

(2) 输送气量 V 和输料管内径 D 的确定

输送气量: $V=G_g/\rho_m$

输送管路中固体流量与气体流量之比: $R_s=G_s/G_g$ (真空度小, R_s 取小值, 本设计中取 0.08)

所以 $V=G_s/(\rho_m \cdot R_s)=2\pi DW/4$

则 $D=[4 \cdot G_s/(\pi W \cdot R_s \cdot \rho_m)] \times 0.5$

式中: ρ_m ——气体密度, kg/m³;

G_s ——固体输送流量, kg/s, $G_s=300$ kg / 3 600 s;

G_g ——气体输送流量, kg/s。

将上述数据代入公式:

$$D=[4 \cdot G_s/(\pi W \cdot R_s \cdot \rho_m)] \times 0.5=$$

$$[4 \times 300 / 3\,600 / (187 \times 0.08 \times 1.12 \pi)] \times 0.5 = 0.08 \text{ m}。$$

输送气量: $V=G_g/(\rho_m \cdot R_s)=300/(1.12 \times 0.08)=3\,348$ m³/h。

根据计算结果, 最后确定气力输送管路的管径为 89 mm, 输送气量为 3 348 m³/h 时, 可满足设

计要求。查阅有关手册, 选用风机的型号为 4-72-3.6, 风量为 3 400 m³/h, 全压为 1 481 Pa。

2.2.2 除尘设备的选择

在颗粒燃料生产过程中, 在粉碎机的出口处、风力输送管出口处及厢式冷却干燥器的通风口出口处粉尘较多, 影响操作及外部环境, 为了满足环保的要求, 在系统中必须增加除尘设备。大型设备往往采用较大的旋风分离器, 提高除尘效果, 在这种小型可移动的设备上, 我们采用化整为零的办法, 在易于产生灰尘的 3 个部位分别采用 3 组小型的布袋除尘系统, 每组系统单独构成一个回路, 可单独控制, 互不干涉。

袋式除尘器具有除尘效率高, 运行可靠, 管理简单, 投资费用少, 滤袋寿命长等优点。具体参数计算如下。

(1) 滤袋过滤面积的确定

$$F=Q/q$$

式中: F ——滤袋过滤面积, m²;

Q ——处理气量, m³/h, 取 $Q=3\,000$ m³/h;

q ——负荷, 即滤布处理的气体流量, m³/(h·m²), 取 $q=300$ m³/(h·m²)。

将上述数据代入公式:

$$F=Q/q=3\,000/300=10 \text{ m}^2$$

(2) 滤袋袋数的确定

$$n=F/(\pi D \cdot L)$$

式中: n ——滤袋袋数, 个;

D ——单个滤袋直径, m, 取 0.23 m;

L ——单个滤袋长度, m, 取 1.6 m。

将上述数据代入公式:

$$n=F/(\pi D \cdot L)=10/(0.23 \times 1.6 \pi)=8.6 \text{ 个}$$

最后确定采用 9 个滤袋。

(3) 滤袋的排列和间距的确定

滤袋可按三角形和正方形排列, 三角形排列占地面积小, 但检修不便, 不利于空气流通, 考虑到机组的空间情况, 采用 2 排三角形排列, 如图 4 所示。

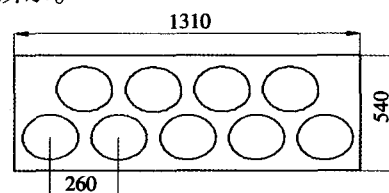


图 4 袋式除尘器布袋排列示意图 (单位: mm)
Fig.4 Diagram of bag filter arrangement

根据上述计算,我们确定滤袋过滤面积为 10.4 m^2 ,滤袋袋数为 9 个,单个滤袋直径为 230 mm,单个滤袋长度为 1 600 mm,滤袋间距为 260 mm。

2.3 系统总体结构的设计

为了实现可以随时移动的要求,我们把上述设备按照工艺流程合理地固定在一个共同的底座上,共同底座由槽钢和钢板焊接而成,有可靠的牢固性,并且根据重心要求设有 3 个吊点,使整个系统能够方便地吊装和运输。共同底座的大小根据目前载重货车的车厢尺寸要求进行设计,最终确定底座尺寸为 $4\,200 \text{ mm} \times 2\,150 \text{ mm}$ 。

由于本系统采用风送的方式进行物料输送,管路很多,而且设备总体排布后有一定高度,最高处将达到 4.3 m,如果采用汽车运输将超过交通部门规定的标准高度。因此,我们采取现场安装管路的方式进行解决,各管路采用标准法兰连接,简单方便,密封性良好。运输的时候把高出的管路拆下来,单独存放,待设备固定下来后,经过简单安装就可以进行生产。

在由粉碎机到上料输送机的管路系统中,由于粉碎机的风量很难控制,如果直接连接到料斗上,容易使部分风量直接进入成型机主机中,对颗粒的成型产生影响,颗粒出料口处也会因为风量过大,吹出很多灰尘,影响环境卫生。为此我们在输送机料斗的入口处增加 1 台关风机来解决这一问题。关风机的作用是物料能顺利通过而风量会被里面的叶片阻挡,不会进入主机。经过实际测试可知,关风机阻风效果很好。

在挤压过程中,会有很少一部分原料(约 5% 左右)没有成型就被吸到冷却器中,和制成的颗粒混在一起。为了能把这些粉料、碎料分开,我们在冷却器的下面安装了震动筛装置,放料装袋时启动震动器,在震动器和筛子的作用下,能有效地把成品颗粒与粉末、碎料分离,提高了颗粒的整体外观质量。

最终的设备系统结构如图 5 所示,由图 5 可以看出,该设备结构简单,操作方便,集成化程度高。

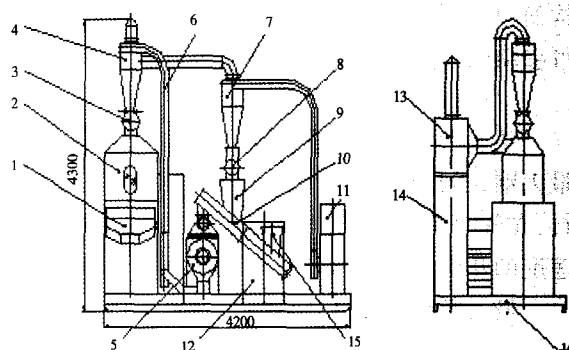


图 5 系统结构简图

Fig.5 Structure schematic of the system

1-震动筛;2-冷却器;3-关风机;4-旋风除尘器;5-颗粒机;6-吸料管;7-旋风除尘器;8-关风机;9-集料斗;10-螺旋输送机;11-粉碎机;12-电控箱;13-风机;14-除尘袋箱;15-投料斗;16-共同底座

3 成型条件的研究

3.1 设备的技术指标

我们以玉米秸秆、芦苇、锯末、豆秆为原料,对系统能耗及成型颗粒产品的密度进行测试。

测试结果见表 1。

表 1 不同原料的产品能耗与密度

Table 1 Electricity expendable and product density of the different raw materials

项目	玉米秸秆	芦苇	锯末	豆秆
密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1.18	1.21	1.12	1.18
产量/ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	218	267	262	283
能耗/ kWh	20.9	22.7	24.2	23.6
能耗/ $\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}$	95.87	85.02	92.36	83.39

3.2 不同含水率物料的成型条件

图 6,7 是以秸秆和芦苇为原料的成型燃料密度与含水率的关系。由图 6,7 可见,玉米秸秆含水率低于 12% 时,成型燃料密度随含水率增加而迅

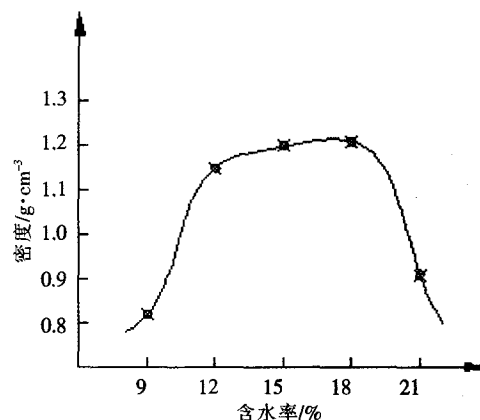


图 6 玉米秸秆颗粒密度与原料含水率关系(压缩比 4.5)

Fig.6 Relationship between corn stalk

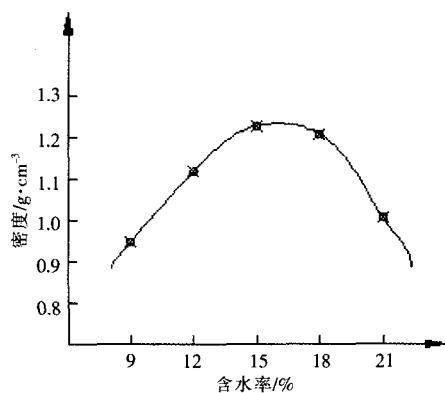


图7 芦苇颗粒密度与原料含水率关系(压缩比4.5)

Fig.7 Relationship between reed pellet density and moisture content pellet density and moisture content

速增加,含水率为12%~18%时,燃料密度变化不大,含水率超过18%时,燃料密度迅速下降。以芦苇为原料的测试结果有所不同,原料含水率为15%时,燃料密度最大,但含水率为12%~20%时,可以获得密度很高的成型燃料。

上述结果表明,燃料含水率对环模成型起着关键的作用。生物质机体内存在适量的结合水和自由水,可以作为润滑剂使粒子间的内摩擦变小,流动性增强,从而促进粒子在压力作用下滑动而嵌合。当生物质原料的含水量过低时,粒子得不到充分延展,与四周的粒子结合不够紧密,所以不能成型;当含水率过高时,尽管粒子在垂直于最大主应力方向上充分延展,粒子间能够啮合,但由于原料中较多的水分被挤出后分布于粒子层之间,使得粒子层间不能紧密贴合,因而也不能成型。

4 与固定式颗粒燃料设备的比较

目前,大中型固定式颗粒燃料生产设备(技术)已经比较成熟,事实证明,在原料充足且比较集中的地区进行大规模的生产能够获得很好的经济效益。但是在原料比较分散的地区,采用这种工厂化的设备生产颗粒燃料就会有很多不足之处,经济效益不明显。相比之下,可移动式设备就有很大的优势,主要体现在以下2个方面。

①原料运输费用上的优势。使用固定式工厂化的设备生产时,每天需要8~10t的原料才能满足设备的正常运转。农村地区一般以村为单位,相邻的村落相距通常为2~5km,为满足原料供应,经过初步测算,需要收集半径为50km区域内的秸秆原料,其运输量之大可想而知,相应的运费也会增加很多。如果使用这种可移动的设备,就可以

根据原料情况随时移动,虽然需要一定的吊装和运输费用,但和运输大量的原料比起来,成本会降低很多。

②投资上的优势。大型的设备往往需要很大的投资,不仅体现在设备本身的价格很高,而且其配套设施的费用也很多,比如,需要占用较大的厂房和配备专门的变压器等。采用这种小型可移动的设备就不需要这些设施,只需要一个临时的场地就可以生产了,往往不需要专用的供电设备。另外,设备本身的价格也不是很高,投资人很容易接受,投入的成本半年左右就能全部收回。因此,会节省很多费用,管理起来也很方便。

5 结束语

通过对成型设备及其相关附属设备的优化集成研究,设计加工出可移动的生物质颗粒燃料生产设备,该设备具有如下特点。

①对成型设备及相关附属设备进行优化集成设计,减小了设备体积,满足了可移动的要求。

②颗粒的输送首次选择了风力输送的方式,新颖独特,简单实用。

③连续的运转实践表明,系统运行稳定,协调性好,各设备之间的匹配能力相当。

④对各种生物质原料的成型试验表明,只要原料粒度、含水率等条件满足要求,这些原料都能很好地成型,而且颗粒密度大($\geq 1.1 \text{ g/cm}^3$),系统能耗小($\leq 100 \text{ kWh/t}$)。

通过长时间的运行试验和用户试用,我们系统地评价了该设备的综合性能,结果表明,该设备系统具有结构紧凑、操作方便、易于维护、自动化程度高、能耗低等优点,可移动设备大幅度降低了生物质成型燃料的成本,特别适合于在生物质原料相对分散的农村地区使用。

参考文献:

- [1] 郭康权,赵东.植物材料压缩成型时粒子的变形及结合形式[J].农业工程学报,1995(3):139-143.
- [2] 陈义厚.ZL350型颗粒机的研究[J].湖北农学院学报,2004,24(3):221-223.
- [3] 谢宇峰,郝剑英,高媛.环模式压粒机设计要点及参数选择[J].农机化研究,2002(2):70-84.
- [4] 金国森.干燥设备设计[J].上海:上海科学技术出版社,1983.