

李 龙,司 慧,郭晓慧,等. 生物质快速热解用螺旋进料器的设计[J]. 江苏农业科学,2013,41(11):414-416.

生物质快速热解用螺旋进料器的设计

李 龙¹,司 慧¹,郭晓慧¹,王文亮²

(1. 北京林业大学工学院,北京 100083; 2. 北京林业大学材料科学与技术学院,北京 100083)

摘要:根据生物质的特点及流化床反应器内部温度和压力对进料的影响,设计了处理量为 150 kg/h 的螺旋进料器,螺旋轴内径为 25 mm、外径为 95 mm,电机功率为 0.55 kW。在冷态条件下,对螺旋进料器的进料特性进行了研究。结果表明,当物料粒径不同时,生物质粒径越大,进料速率越小,合适的粒径范围为 0.45 ~ 1.20 mm,合适的螺旋轴转速范围为 80 ~ 160 r/min;反应器内部压力越大,进料速率越小,合适的压力范围在 0.3 MPa 以下,关风器在此压力下可以有效防止螺旋进料器发生反喷现象。

关键词:生物质;快速热解;流化床反应器;螺旋进料器

中图分类号:TK62 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2013)11-0414-03

生物质快速热解技术主要是将低能量密度的生物质转化为高能量密度的生物油、热解炭、不可冷凝气体,是极具发展潜力的一种新型生物质能利用技术^[1-3]。进料过程是否均匀、稳定,直接影响生物油的产率和性质,所以普遍采用具有结构简单、应用广泛、适于工业化生产等优点的螺旋进料器。但现有定型产品普遍是应用于农业、矿山等领域的较大输送量的螺旋进料器,能满足生物质快速热解要求的产品还需要自行设计研发。山东省科学院能源研究所闫桂焕等对设计螺旋进料器的计算过程进行了阐述^[4-5]。陕西科技大学刘靖等对螺旋进料器防反喷进行了理论研究^[6]。重庆大学龙恩深等对 4 种不同粒径生物质的进料特性进行了研究^[7]。但是,针对流化床生物质快速热解装置的螺旋进料器研究还鲜见报

道,反应器内部压力对进料的影响还需要通过验证。针对反应器内部温度高、压力不稳定及生物质密度小、休止角大、流动性差等特点,设计了进料量为 150 kg/h 的螺旋进料器,并利用关风器密封。通过冷态试验验证理论计算的准确性并探明进料器的工作性能,为快速热裂解工艺优化提供合适的操作参数。

1 进料器结构设计及功率计算

1.1 设计基本参数

本设计的螺旋进料器进料量为 150 kg/h,输送长度为 900 mm,填充系数为 0.25 ~ 0.35,倾角系数为 1。生物质原料(落叶松木屑)的种类为落叶松,粒径为 0.2 ~ 1.2 mm,堆积密度为 180 kg/m³,物料综合特性系数为 0.049。

1.2 螺旋轴外径的计算

螺旋轴的外径(D)采用公式(1)进行计算:

$$D \geq K_a^{2.5} \sqrt{Q/(\Psi r C)} \quad (1)$$

其中: K_a 表示物料综合特性系数; Q 表示进料量,kg/h; r 表示堆积密度,kg/m³; C 表示倾角系数, $C=1$ 。当填充系数 $\Psi=0.25$ 时,计算值最大,将已知条件代入公式(1)得

过程中,也遇到了部分品种名称错误、不同种质同名、同一种质多名等问题,增加了系谱追溯的难度,需要查阅大量资料。

参考文献:

- [1]王 磊,鄂志国,余汉勇,等. 国际水稻信息系统及其应用[J]. 中国水稻科学,2005,19(2):193-194.
- [2]鄂志国,王 磊. 中国水稻品种及其系谱数据库[J]. 中国水稻科学,2011,25(5):565-566.
- [3]王才林. 江苏省稻麦品种志[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2009.
- [4]汪黎明,王庆成,孟昭东. 中国玉米品种及其系谱[M]. 上海:上海科学技术出版社,2010.
- [5]禹山林. 中国花生品种及其系谱[M]. 上海:上海科学技术出版社,2008.
- [6]江苏省农科院粮作所品种资源研究室. 江苏省小麦大麦品种志[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1985.

收稿日期:2013-04-19

基金项目:国家林业局“948”项目(编号:2012-4-19);国家农业科技成果转化资金(编号:2010GB23600654)。

作者简介:李 龙(1988—),男,吉林通化人,硕士研究生,研究方向为生物质快速热裂解液化设备。E-mail:201xiaolong@163.com。

通信作者:司 慧,教授,研究方向为生物质能源化利用技术。

E-mail:sihui@bjfu.edu.cn。

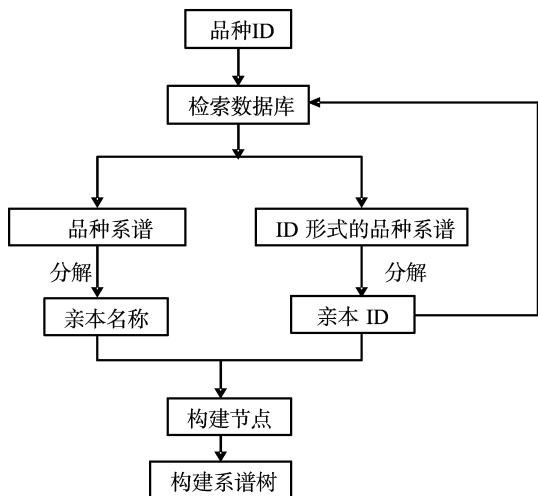


图6 构建系谱树算法流程

$D \geq 79.31$ mm。由于物料堆积密度受粒径、填充高度等影响,将螺旋轴外径作适当放大,取 $D = 95$ mm。

1.3 螺旋轴内径的计算

通常螺旋轴的内径 d 为螺旋轴外径的 $1/6 \sim 1/3$ 因此, d 的取值范围为 $15 \sim 30$ mm, 本研究 $d = 25$ mm。

1.4 螺旋叶片及螺距的选择

由于生物质物料具有密度小、休止角大、流动性差等特点,因此,应选择适用于干燥粉粒状物料输送的实体螺旋面。根据化工机械工程手册实体螺旋面型叶片的选用标准,螺距 S 与外径 D 的比值 S/D 为 $0.8 \sim 1$, 本设计 $S/D = 0.8$, 即 $S = 76$ mm。

1.5 螺旋轴转速的计算

螺旋轴的转速应以满足输送能力为准,如果转速过高,物料会受到过大的切向力而被抛起,以致无法向前输送。因此,转速 n 不能超过某一极限转速 n_{\max} , 即

$$n \leq n_{\max} = A / \sqrt{D} \quad (2)$$

式中: n 表示螺旋轴转速, r/min ; n_{\max} 表示螺旋轴极限转速, r/min ; A 表示物料综合特性的系数(锯木屑 $A = 50$)。经计算,得: $n_{\max} = 162.22$ r/min , 圆整后 $n = 150$ r/min 。螺旋轴直径 D 及转速 n 圆整后的数值,须对填充数值进行验算: $\Psi = Q / (47D^2 n \gamma SC) = 0.17$, 由于验算得到的 Ψ 低于推荐值的范围 $0.25 \sim 0.35$, 所以应当降低螺旋轴转速,以提高其使用寿命。根据推荐转速取 $n = 90$ r/min , 则 $\Psi = Q / (47D^2 n \gamma SC) = 0.29$, 该值在推荐范围值之内,因此最后确定转速 $n = 90$ r/min 。

1.6 进料管直径计算

进料管采用厚度为 5 mm 的钢管,螺旋轴和进料管间的径向间隙为被输送物料中最大颗粒尺寸的 $1.75 \sim 2.5$ 倍,物料最大直径为 1.2 mm,所以取进料管内径为 100 mm,间隙为 2.5 mm。出口口与反应器通过厚度为 12 mm 的法兰连接,法兰之间加有耐高温石墨密封圈。

1.7 进料器功率计算

螺旋进料器的功率消耗主要由物料与进料管间的摩擦所消耗的功率 N_1 、物料与螺旋轴的摩擦作用所消耗的功率 N_2 、空载时两轴承处的摩擦力所消耗的功率 N_3 、负载后载荷作用在轴承处产生的摩擦力所消耗的功率 N_4 [8] 等几部分组成,经计算,得: $N_1 = 0.36$ W、 $N_2 = 0.17$ W、 $N_3 = 65.94$ W、 $N_4 = 0.38$ W。因此,电动机功率为:

$$N = K_1 [KK_0 (N_1 + N_2) + N_3 + N_4] / \eta \quad (3)$$

式中: N 表示电动机功率, W; K_1 表示功率备用系数,取 1.2; K 表示修正系数,根据资料一般取 1.6; K_0 表示倒塌功率系数, $K_0 = 1 + 2\Psi$; η 为驱动装置总效率,取 0.85。经计算,得: $N = 98.32$ W。考虑螺旋轴工作时由于振动与壳体及密封件的摩擦损失,初步选取电机功率为 0.55 kW [5]。

2 其他部件的选型与设计

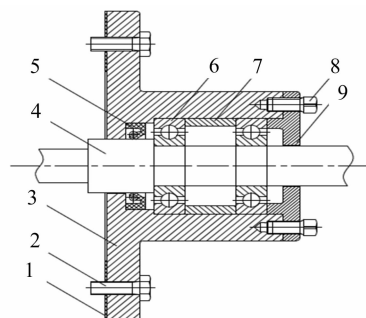
2.1 关风器

关风器能连续地排料和供料并且可通过调节叶轮的转速来控制供料量,在一定的转速范围内,供料量与转速成正比。此外,关风器还具有一定程度的气密性,适用于 2 处有压差的设备排料。本设计根据螺旋进料器的进料量、进料管的直径、反应器的压力变化范围等因素,选用 TGFZ-5L 型关风器,功

率为 0.55 kW。

2.2 轴端支撑及密封

螺旋轴为单臂支撑,为确保螺旋轴在运转时的稳定性,在轴端装配双轴承。轴端密封采用橡胶垫圈与骨架式橡胶密封圈相结合的方式,防止反应器内部热解气体从轴端泄露,具体形式如图 1 所示。



1—橡胶垫圈; 2—六角头螺栓; 3—轴承座; 4—轴; 5—骨架式橡胶密封圈; 6—轴承; 7—轴套; 8—紧固螺钉; 9—轴承端盖

图1 轴端支撑及密封件剖面结构

2.3 料仓

根据要求,料仓内储存的物料可以满足系统正常工作 10 min, 则 $V_0 \geq Qt/\gamma = 0.16$ m^3 , 式中 V_0 为料仓容积, m^3 。

3 冷态试验

3.1 试验原料

所用生物质原料为落叶松木屑,试验前将其置于阳光下充分晾晒 48 h, 4 种不同粒径范围落叶松木屑的物理性质如表 3 所示。

表3 螺旋进料器设计基本参数

编号	粒径 (mm)	含水率 (%)	堆积密度 (kg/m^3)
木屑-1	0.20 ~ 0.45	9.33	251.48
木屑-2	0.46 ~ 0.60	9.53	206.68
木屑-3	0.61 ~ 0.90	9.52	196.16
木屑-4	0.91 ~ 1.20	9.49	172.08

3.2 试验方法

生物质螺旋进料器试验装置如图 2 所示,不同粒径的生物质原料添加到料仓内,经由关风器叶轮下落到输料管内,进而由螺旋输送到预置的容器(反应器)中。由变频电机 1 (0.55 kW,变频器 VEICHI-AC60E) 控制关风器转速,理论转速为 6 r/min ; 由变频电机 2 (0.55 kW,变频器 VEICHI-AC60E) 控制螺旋轴转速,理论转速为 90 r/min ; 通过调节变频器使关风器和螺旋轴的转数相匹配。用 TCS-T01-150 型电子天平(测量精度为 2 g) 称量落入容器内物料的重量并用秒表计时; 使用空气压缩机(TA-155) 为容器加压并通过压力表(Y100-1MPa) 显示容器内部压力 [9-10]。

4 结果与分析

4.1 进料速率与粒径的关系

通过称量一段时间内落入容器中落叶松木屑的重量可计算得到该转速下的进料速率,调整关风器转速与螺旋轴转速

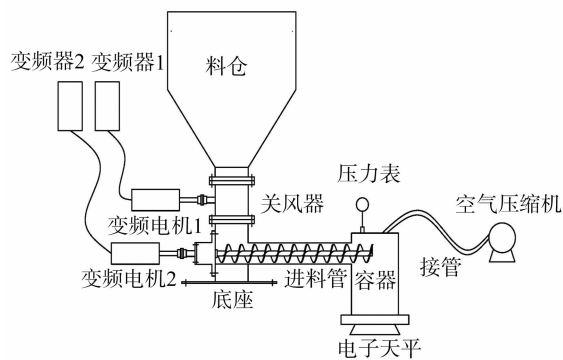


图2 生物质螺旋进料器的试验装置

的配比(小于1:15),在常压下对4种粒径物料的进料速度进行对比分析的结果如图3所示。

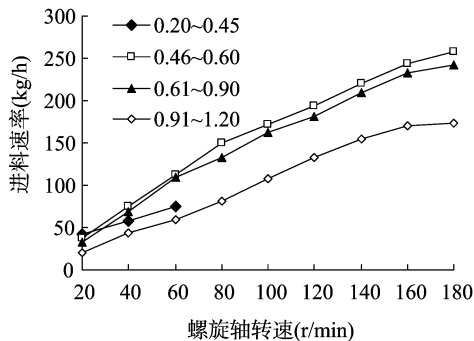


图3 螺旋轴转速对进料速度的影响

从图3可以看出,同一粒径落叶松木屑的进料速率随着螺旋轴转速的加快而变快,并且成近似线性关系,主要是因为电机转速越快,所带动的螺旋轴转速越快,导致进料速率增大。在同一电机转速条件下,4种不同粒径的落叶松木屑粒径越大,进料速率越小,主要是因为粒径越大,堆积密度越小,进料速率就越慢;木屑粒径为0.2~0.45 mm的进料试验突然停止,反复验证后仍出现同样问题,原因是关风器叶轮出现局部卡死现象。根据上述试验数据可以得出物料的粒径应大于0.45 mm,在目标进料速率(150 kg/h)条件下不同粒径物料进料所需的螺旋轴转速如表4所示。

表4 额定进料速率下不同粒径物料的螺旋轴转速

粒径(mm)	转速(r/min)
0.20~0.45	—
0.45~0.60	80
0.60~0.90	100
0.90~1.20	140

4.2 进料速度与压力的关系

由图4可以看出,容器内部压力小于0.3 MPa时,随着压力的增大,进料速率基本保持不变;当容器内部压力超过0.3 MPa时,进料速率会显著降低。由此可知,关风器具有一

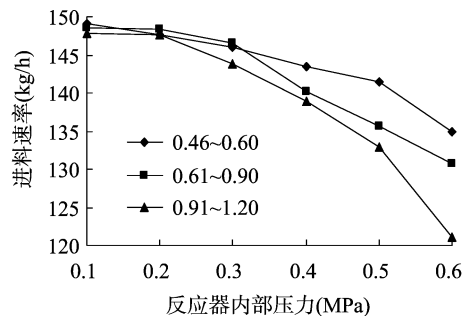


图4 反应器内部压力对进料速率的影响

定程度的防反喷能力,在进行快速热裂解试验时应严格控制流化床反应器内部的压力,使其小于0.3 MPa。

5 结论

所设计的螺旋进料器的进料量可以达到目标进料要求(150 kg/h)且运行平稳,关风器防反喷效果显著。通过变频器控制关风器叶轮及螺旋轴的转速,从而确保进料的精确性。同一粒径的物料进料速率随着螺旋轴转速的升高而加快,并且成近似线性关系,物料粒径越大,进料速率越小。物料粒径过小会导致关风器卡死,合适的粒径范围为0.45~1.2 mm;反应器内部压力过大,会阻碍进料器送料,甚至发生反喷,合适的压力范围应在0.3 MPa以下。

参考文献:

[1]任学勇,王文亮,司 慧,等. 生物质定向热裂解液化装置的开发Ⅱ:进料特性与流化规律[J]. 木材加工机械,2012,23(4):15-18,49.

[2]张立塔,常建民,李 瑞,等. BL-SCFB-3型生物质快速热解装置的研发[J]. 林产工业,2011,38(3):40-43.

[3]隋倩倩,杨忠连,汪 娟,等. 生物质快速热解液化工艺研究进展[J]. 化学与生物工程,2012,29(3):1-5.

[4]闫桂焕,许 敏,孙荣峰. 生物质螺旋给料机的设计[J]. 可再生能源,2007,25(1):73-74,76.

[5]王晓艳,董良杰,李玉柱,等. 生物质热裂解制取生物油装置的螺旋给料机设计[J]. 吉林农业大学学报,2005,27(5):582-585.

[6]刘 靖,殷晓荣. 热磨机螺旋进料器反喷故障的应对策略[J]. 西北林学院学报,2008,23(3):199-200.

[7]龙恩深,马校飞,王 亮,等. 生物质热解液化装置输料系统特性试验[J]. 重庆建筑大学学报,2005,27(6):76-79.

[8]李玉柱. 生物质热裂解制取生物油试验装置的研制[D]. 长春:吉林农业大学,2005.

[9]Zhang J, Yuan Z W, Wei X L. An automatic shake mechanism for the biomass pyrolysis feeding system[J]. Powder Technology, 2011, 207(1/2/3):348-352.

[10]Dai J J, Grace J R. Biomass granular screw feeding: an experimental investigation[J]. Biomass and Bioenergy, 2011, 35(2):942-955.