生物质细粉加料技术的改进

杨昌炎[1, 2, 3]，姚建中[1]，林伟刚[1]

(1.中国科学院过程工程研究所多相反应重点实验室，北京100080；2.武汉工程大学新型反应器与绿色化工重点实验室，湖北武汉430073；3.中国科学院研究生院，北京100039)

摘要:在生物质快速热解的研究中，生物质细粉的稳定加料问题非常重要。通过对不同加料方式的加料特性对比，提出了适合生物质细粉的加料装置——旋流式气力输送加料器。研究表明，该加料装置具有连续稳定的特点，解决了生物质快速热解中小料率实验所要求的加料精度难题，且该加料装置也适合于其他粘性粉料(如细煤粉、超细粉)的连续均匀加料。

生物质是一种可再生的绿色能源，具有贮量大、污染小、CO_2零排放等优点[1, 2]。快速热解能将生物质转变为便于输送、具有替代石油潜力的液体燃料，正日益受到重视。当前生物质快速热解还处在实验、示范研究阶段，在加料稳定性、操作参数优化、焦油分析等诸多方面有待进一步研究。作为生物质快速热解技术中的一个重要组成部分——生物质细粉加料，是一个需要解决的重要问题，生物质加料的连续性、稳定性，直接影响着热解过程的稳定操作和产品组成，并影响到生物质热解过程的正确分析。

综观国内外的生物质加料方法，主要有螺旋加料技术[3]、流化床加料技术[4, 5]、活塞式加料技术[6]、喷吹式气力输送加料技术[7]等，然而这些加料方法在实验室规模研究中存在不少问题，主要表现为料率不稳定、物料结块和堵塞管道、系统压力波动等。本文结合几种加料技术的对比，设计了一种加料装置，研究了生物质细粉的加料特性和加料的稳定性。

1生物质细粉的流动特性

生物质颗粒形状不规则、表面不光滑且存在许多毛刺，颗粒间往往存在着较强的粘附力，同时生物质一般湿含量较高，易团聚、结块，这些都导致了其流动性能差[7—8]。表征生物质流动特性的重要参数，主要有休止角、Carr流动性等，具体定义和测量方法参见文献[4, 9]。表1示出了不同散体物料的流动特性[4, 8, 10]。可以看出，生物质细粉的休止角比细砂、煤粉的要大，其Carr流动性低。

表 1 不同粉料的流动特性

Table 1 Flowability of different kinds of powder

物料名称	物料粒径 /μm	颗粒密度 /(g·cm^{-3})	休止角 /(°)	Carr 流动性
河沙	500—710	2.55	36	87
硅砂	710	2.50	37	82
水泥	280	3.0—3.2	45	70
煤	154—350	1.2—1.6	41—43	—
秸秆半焦	154—280	1.4—2.6	42—45	—
玉米粉	350	1.4	51	54
微晶纤维素	122	0.44	43	65
木屑粉	355—500	0.646	47.3	
麦秸秆	154—280	0.563	55	0—19
绿藻	154—280	1.0—1.1	63	—
纸屑粉	355—500	0.691	51.9	—
稻壳粉	154—355	0.5	50—55	—
废轮胎粉	355—500	1.02	52.9	—
城市垃圾粉	355—500	2.66	48.5	—

2现有生物质加料方法的特点及存在问题

生物质密度小、休止角大、流动性差，致使其在料仓中形成架桥、搭拱，从而引起加料不稳定或停料等问题。因此，要解决生物质加料问题，关键
在于采取合适的加料方式。生物质的加料方式有多种[3-7]。表2示出了主要几种加料方式的输送能力及运行特点。

表 2 生物质加料方法的对比

Table 2 Comparison of biomass feeding methods

加料方式	加料能力	料率波动及稳定性	存在问题
重力下落加料	可达每 h 吨级以上	大，稳定性差	易在下料管段搭桥，形成堵塞
脉冲加料	千克级以上 /min	大，稳定性差	脉冲式，易形成堵塞
流化床加料	千克级以上 /min	大，稳定性差	不流化，易堵塞
活塞式加料	几十一上百 kg/h	大，间歇性加料	结块，不利于后续热解，易堵塞管道
喷吹式气力输送加料	几一几百 g/min	很小，稳定性好	稀相进料，进料浓度低
螺旋加料	可达每 h 吨级以上	较小，稳定性较差	成团，易形成空转

由于生物质物理特性的限制，重力下落加料会使生物质在下降管处形成堵塞；脉冲加料因生物质的输料不均匀而导致后续管道堵塞；流化床加料会在流化器中形成沟流、物料失流，或堵塞加料出口；活塞加料存在着不连续性。

在生物质热转化过程中采用较多的螺旋加料和喷吹式气力输送加料，也存在诸多问题。下面就此2种加料方法做较为详细的讨论。

对于螺旋加料，螺旋的挤压、填充率和螺旋转速都会影响到加料的连续性和稳定性。首先，生物质堆密度小，受挤压时堆密度增大[11]，产生结块，造成螺旋出料口堵塞；其次，螺旋加料的稳定性与填充率、螺旋直径等有关。螺旋填充率的不均匀，会直接导致螺旋加料的不稳定，其加料率随时间的变化幅度为40%以上[12, 13]；最后，螺旋转速也影响着加料的变化，加料率随着螺旋转速增加而呈非线性增加[14]，图1示出了2种木粉的加料速率与螺旋转速的变化关系。

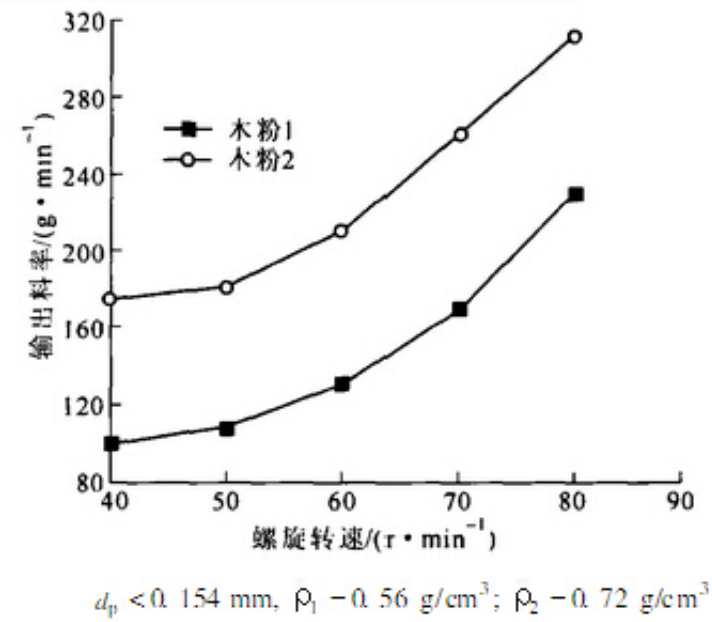


图 1 木粉加料率随螺旋转速的变化

Fig 1 Feeding rate of wood powder via revolving speed of screw

喷吹式气力输送加料方法[15, 16]如图2所示。喷吹式气力输送加料原理是由料仓中细管顶端的喷嘴喷出高速气流，吹扫料层顶面的物料，同时气流携带物料送出料仓。加料速率通过调节电机转速达到控制细管的转速和下移速度来实现。该方法优点在于利用了生物质密度小、易于输送等特点，来实现输送物料；然而该加料装置的输送能力与载气的携带能力、生物质物性、物料颗粒的终端速度存在很大关系，需要根据实验中生物质物料的粒径、密度等参数来合理选择管径。

采用此类加料装置(管内径为0.02m，气量为0.6m^3/h)对麦秸发酵残渣细粉进行了加料试验，其加料特性如图3所示。图3的加料特性曲线表明，预测输出料率应随电机频率增大即转速增加而增加，但实际输出料率却越来越低于预测的输出料率，原因是喷嘴的下移，料仓上端空间变大，气流携带能力降低，滞留的物料增多。因此，该加料方法也不能很好地实现生物质加料的稳定性和加料率线性可调的要求。

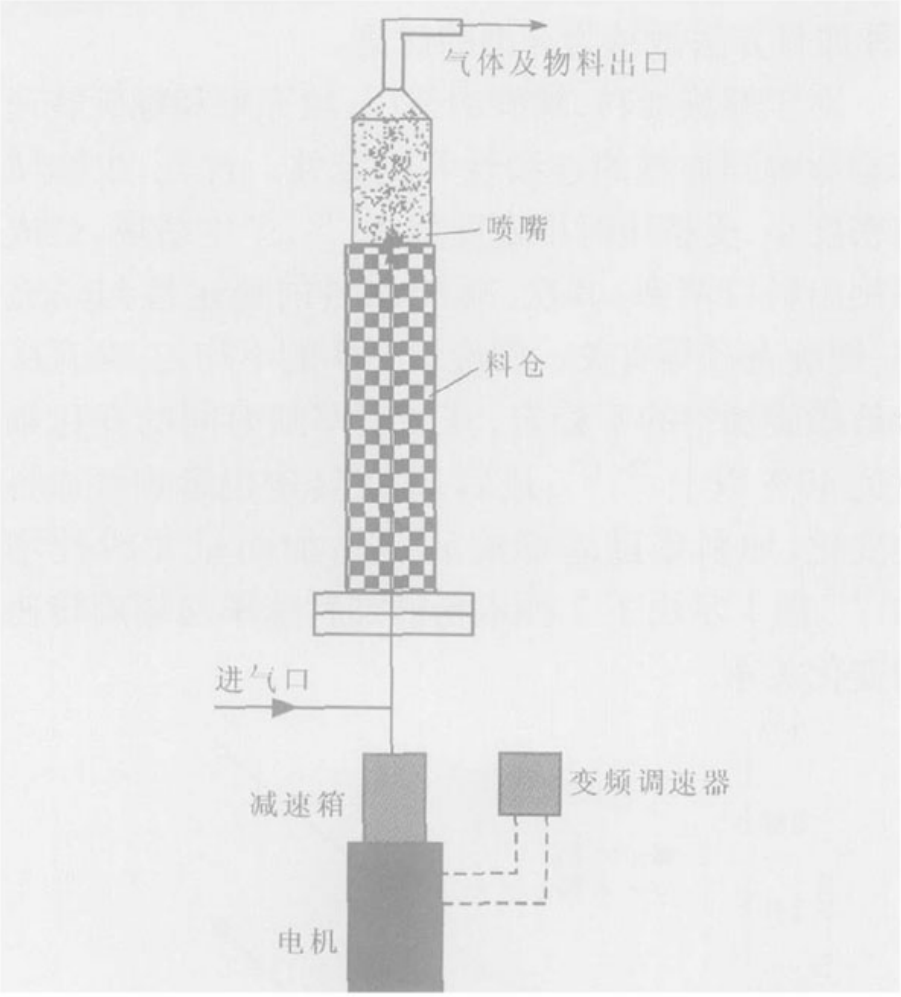


图 2　喷吹式气力输送加料器

Fig 2　Pneumatic conveying feeder of biomass

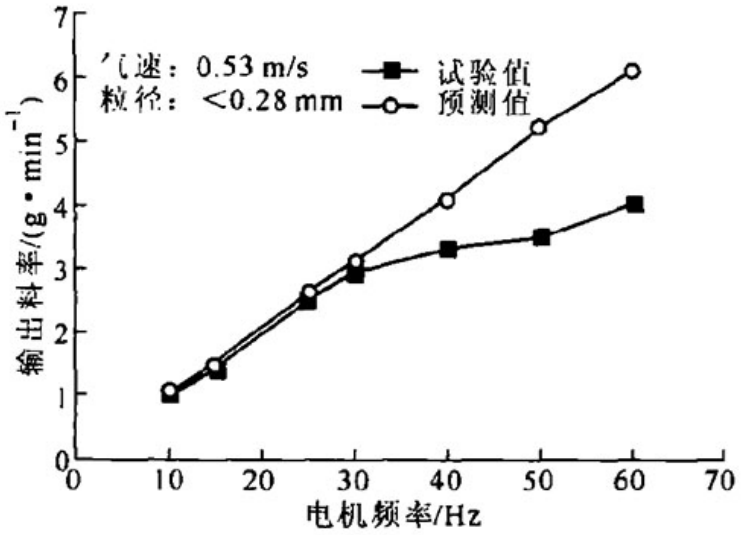


图 3　喷吹式气力输送加料装置的加料特性

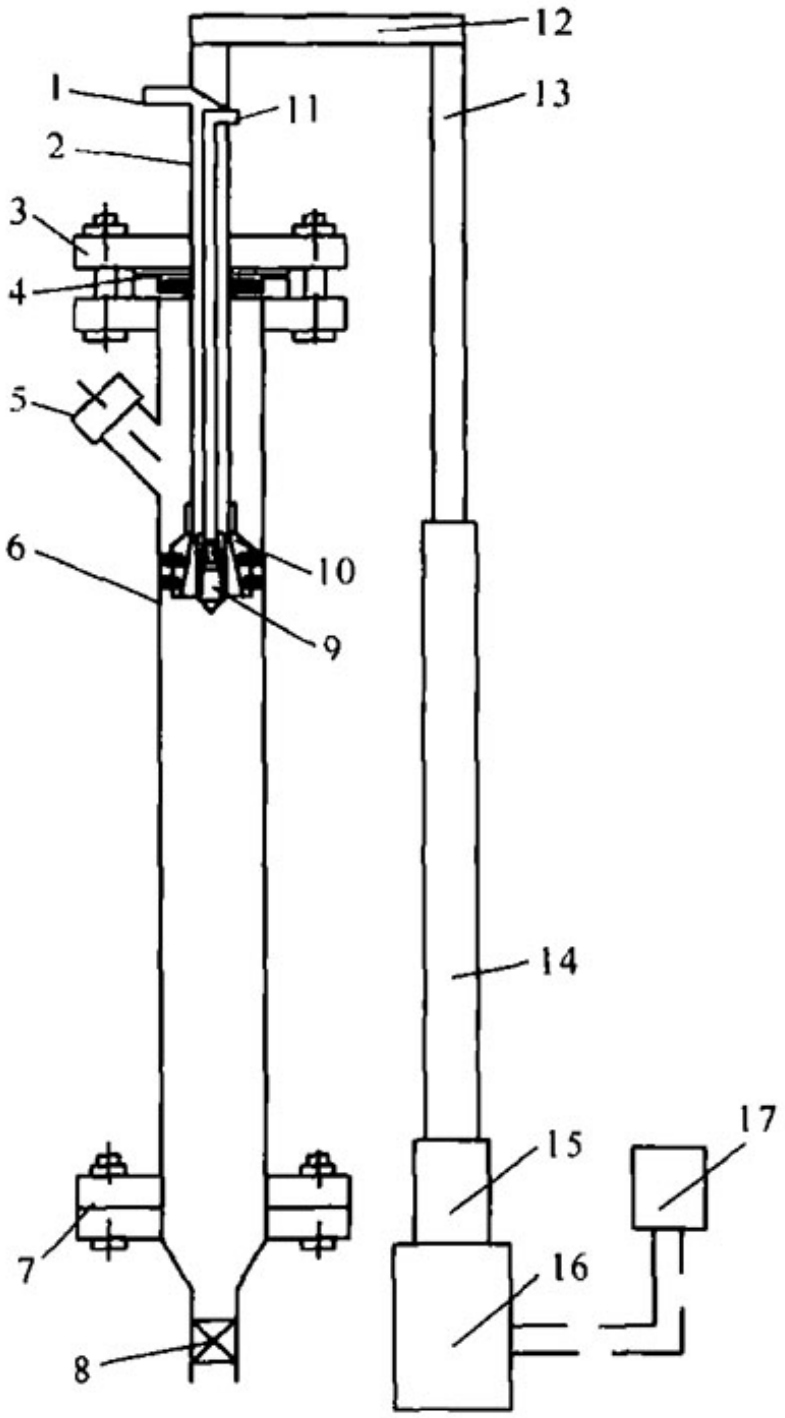
Fig 3　Feeding characteristic of pneumatic conveying feeder

3旋流式气力输送加料器的设计及其加料特性

一个加料器的好坏主要是看能否向后续反应系统连续、稳定、均匀供料，这直接影响着反应系统操作的稳定性、数据的准确性等。因此，在实际连续生产过程中进料稳定，对于小型或微型实验很重要。由上述讨论可知，采用普通螺旋加料装置和简易的喷吹式气力输送加料装置均难以满足稳定加料要求。

[17]

，其结构如图4所示。进气管与输料管采用夹套结构，降低了输送物料时所需要的高气速；导管底端的气体喷嘴由导流螺纹锥及其外围套筒形成，气体通过螺纹槽形成下旋气流吹扫其下面的料层，吹扫起的物料在气流携带下迅速通过缩口，进入导管，向后续反应系统供料。导管和导流螺纹锥一起下移，其下移速度通过调节电机的频率来控制。由于缩口底端与导流螺纹锥顶的空间距离小(<2cm)，经过螺纹导流喷嘴的旋转气流吹扫起物料迅速穿过此空间，通过缩口而进入输料导管。该加料装置摆脱了料仓直径的限制和消除了料仓空间物料滞留，同时也增加了装置的输料能力。



1输料管；2导管；3法兰；4密封圈；5加料口；6料仓；7底部法兰；8卸料口；9导流螺纹锥；10缩口；11进气管；12吊臂横梁；13推杆；14导筒；15减速箱；16电机；17变频器

图 4 粘性粉料定量连续加料装置（旋流式气力输送加料器）

Fig 4 Continuous and quantitative feeder of sticky powder

3

/h，扩缩口底端的气速为0.53m/s，整个加料系统的压降为4.0—6.7kPa。麦秸细粉的加料率与电机频率及加料量与加料时间的关系如图5所示。实验表明，麦秸细粉的加料率与电机频率以及加料总量与加料时间的关系均呈线性，其线性相关系数均大于0.99；另外，对细煤粉和木粉也进行了加料试验，结果表明上述2种关系的线性相关系数也在0.99以上。因此，旋流式气力输送加料装置能够实现稳定、定量、连续加料，它不仅适合于生物质粘性细粉，也适合流化性能较差的细煤粉和超细粉末的加料。

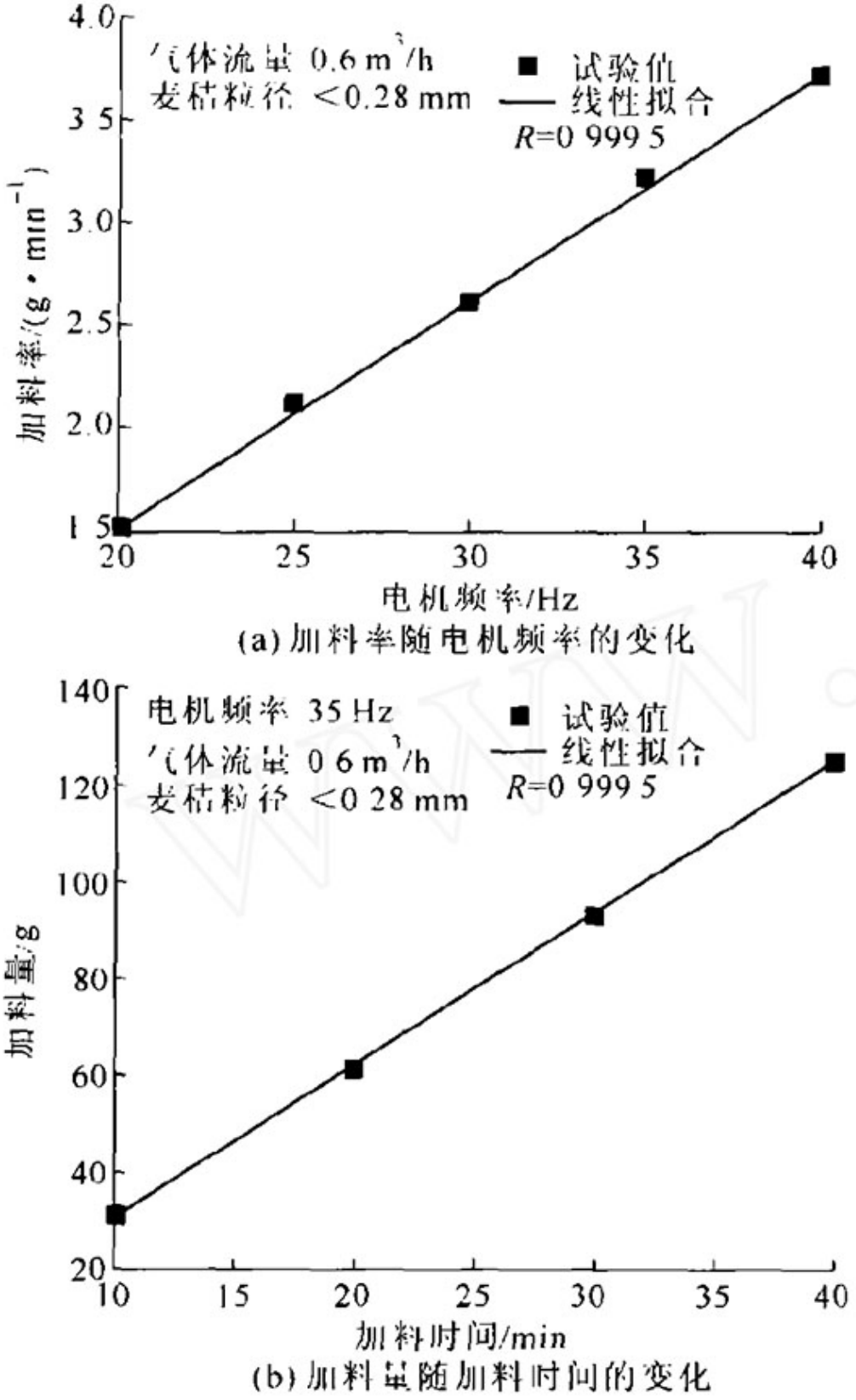


图 5 麦秸细粉的加料特性

Fig 5 Feeding characteristic of wheat straw powder

4 结论

(1)生物质细粉的固有物性导致其流化性能差，应用现有的螺旋加料器和气力输送加料器存在物料结块、架拱、不稳定等问题。

(2)开发的旋流式气力输送加料装置适于小料率的正压加料，具有稳定、定量、连续等优点。不仅适于生物质细粉加料，也适合于细煤粉、超细粉末等的稳定加料。

参考文献：

[1] Garrett C W.On global cli mate change, carbon dioxide,and fossil fuel combustion [J].Progress in Energy and Combustion Science, 1992, 18(5)：369-407.

[2]吴创之，马隆龙.生物质能利用技术 [M].北京：化学工业出版社，2003.

[3]伊晓路，张晓东，郭东彦，等.循环流化床螺旋给料器料封装置 [J].可再生能源，2004, (117)：41-43.

[4]《化学工程手册》编辑委员会.化学工程手册，第五册[M].北京：化学工业出版社，1989.

[5]崔丽杰，姚建中，林伟刚.喷动-载流床中粒径对内蒙霍林河褐煤快速热解产物的影响 [J].过程工程学报，2003, 3(2)：103-108.

[6]曹金福.封闭隔离式动力推杆定量加料器[P].中国专利：ZL02261058.8, 2002-12-29.

[7]陈冠益，方梦祥，骆仲泱，等.生物质流化床的试验研究及设计要点 [J].热力发电，1999, 29 (5)：19—23.

[8]王树荣，骆仲泱，董良杰，等.生物质闪速热裂解制取生物油的试验研究[J].太阳能学报，2002, 23(1)：4-10.

[9]赵义.水泥粉体流动性能的研究[J].山东建材，2000, 14(3)：12-13.

[10] 高春生，单利，崔光国，等.粉末直接压片工艺主要辅料的流动性研究[J].科学技术与工程，2004, 4(5)：367-370.

[11] 刘靖，殷小荣.热磨机螺旋进料器的设计 [J].林产工业，1990, 18 (5)：30-33.

[12] 夏宜顺.对稳流螺旋输送机的分析及改进意见 [J].水泥，1996, (12)：35-37.

[13] Joppich A, Sal man H.Wood powder feeding, difficulties and solutions[J].Biomass & Bioenergy, 1999, 16(3)：191-198.

[14] White D H,Wolf D.Direct biomass liquefaction by an extruder-feeder system [J].Chemical Engineering Communications, 1995, 135: 1-19.

[15] Alman S, Stubington J F.The pyrolysis kinetics of bagasse at low heating rates [J].Biomass and Bioenergy,1993, 5(2)：113-120.

[16] 王昶，贾青竹，中川绅好，等.木材经催化热分解向BTX 和合成燃料的转化[J].化工学报，2004, 55(8)：1 341-1 347.

[17] 杨昌炎，姚建中，林伟刚，等.粘性粉料定量连续加料装置[P].中国专利：CN200420115359.5, 2004-11 223.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/84056.html