

文章编号:1001-5132(2007)02-0184-05

城市生活垃圾卧式气流分选的设计研究

李 兵^{1,2}, 赵由才², 施庆燕², 牛冬杰²

(1.宁波大学 建筑工程与环境学院,浙江 宁波 315211;2.同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室,上海 200092)

摘要:卧式气流分选机是生活垃圾分选过程中常用的设备,但国内对其研究很少.本实验通过自行设计的分选机(处理量 $100 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$),对卧式气流分选机分选基本规律进行研究表明,风选机中挡板的存在对分选效果产生不利影响.在无挡板的条件下,对于单物质纸的分选效果表明,风机角度的增大、风速的提高有助于分选效率的提高.在纸、塑料和纤维 3 种物质中,塑料更易分选,而纸和纤维的混合物,分离效果差.

关键词:城市生活垃圾;卧式气流分选机;分选;挡板

中图分类号:X705

文献标识码:A

随着城市经济、人口、城市数量的上升,生活垃圾数量也不断加大,2000 年我国城市生活垃圾每年产生已达 1.18 亿吨^[1,2].城市历年的垃圾堆存量高达 66 亿吨,侵占 35 亿多平方米的土地,已有 2/3 的大中城市被垃圾包围,有 1/4 的城市不得不把解决垃圾危机的途径延伸到乡村^[3-5].尤其是城市垃圾的二次污染,导致城乡结合带区域生态环境恶化.而且,城市垃圾产生量还在不断增长,近年来垃圾增长速度达到 8%~10%^[6,7].因而城市生活垃圾问题已成为困扰我国城市发展的焦点和难点.

在这些数量庞大的生活垃圾中,绝大部分以传统卫生填埋为主,辅之以焚烧、堆肥等其他处理方法.从资源循环利用的角度看,传统卫生填埋法处理生活垃圾不符合这一原则,也不符合可持续发展的理念;由于我国生活垃圾的热值较低,必须添加大量的助燃剂才能维持其燃烧,因而经济性较差;

同时由于政策和法律法规等因素,我国生活垃圾的堆肥销售不很顺畅,因而影响堆肥处理的发展^[8-12].目前我国提倡生活垃圾的源头分类,这种举措能够从根本上实现城市生活垃圾的“减量化、无害化、资源化”,有利于 3 种处理方法的发展,但由于法律法规不健全,居民普遍意识不高等原因,这一方法实施起来非常困难.因而我国城市生活垃圾要实行“减量化、无害化、资源化”的综合处理,将生活垃圾中资源化潜力大的物质较好地分离出来,必须要进行垃圾的预处理,即垃圾处理前的分选.生活垃圾机械分选也是提高垃圾再利用效率,实现综合处理的关键.

卧式气流分选机是生活垃圾机械分选中常用的设备,工作原理是利用生活垃圾中物质密度之间的差异,通过调节调节风机的角度、风速、物料槽间档板的相互高度,从而达到较好的分选效果.主

收稿日期:2007-03-17.

宁波大学学报(理工版)网址:<http://3xb.nbu.edu.cn>

基金项目:国家科技部攻关项目(2003BA808A17);国家高技术研究发展计划(863);上海市科研计划项目(042307046);宁波市科技局项目(2005C100100).

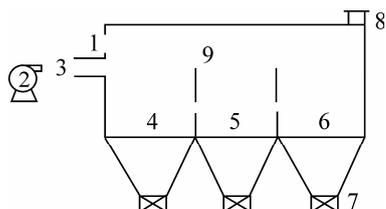
作者简介:李 兵(1977-),男,浙江慈溪人,博士/讲师,主要研究方向:固体废物处理处置与资源化研究. E-mail: libing@nbu.edu.cn

要针对生活垃圾中纸类、塑料、纤维、黑色金属等物质。

1 实验装置及方法

1.1 实验装置

本实验设计的中型卧式气流分选机,处理量为 $100 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$, 体长 \times 宽 \times 高为 $1.6 \text{ m}\times 0.6 \text{ m}\times 1.8 \text{ m}$, 进料口的宽 \times 高为 $0.45 \text{ m}\times 0.20 \text{ m}$, 进风口的宽 \times 高为 $0.5 \text{ m}\times 0.2 \text{ m}$, 挡板的高 \times 宽是 $0.2 \text{ m}\times 0.58 \text{ m}$, 轻物质槽和中物质槽的长度都为 0.6 m , 重物质槽的长度为 0.4 m . 风机角度变化范围为 $0^\circ\sim 25^\circ$, 风速变化范围为 $7\sim 16.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 分选机设计如图 1 所示。



1. 进料斗; 2. 风机; 3. 进风口; 4. 轻物质槽; 5. 中物质槽; 6. 重物质槽; 7. 出料口; 8. 出风口; 9. 挡板(可调高度)。

图 1 生活垃圾卧式气流分选机设备简图

1.2 实验材料及实验方法

研究所取垃圾均来自上海老港垃圾处置场。通过测定,该生活垃圾平均密度为 $488.85 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。对该生活垃圾进行分类,结果见表 1。

表 1 生活垃圾中各组分平均含量 %

可堆腐物	陶瓷和砖块	废纸	废塑料	废橡胶
46.56	12.93	6.64	10.93	0.10
纤维	玻璃	金属	竹、木	渣土及其他
3.05	3.63	0.12	0.59	15.45

通过研究发现,可堆腐物质中主要物质成分为:树叶、树枝、稻草、果皮及厨余,厨余中肉类物质较少,基本上都与塑料袋、灰土伴生;废塑料主要为塑料袋、塑料包装物,它们基本也都与灰土、厨余伴生;废纸类主要为硬纸壳(香烟盒、包装盒的残片)、果品及牛奶的软包装、餐巾纸,这些都因为浸水而有点腐蚀,导致严重变形而抱团;纤维

主要是毛巾、破衣服及女性及小孩卫生用品;金属中主要有饮品瓶、钉子、垫圈及瓶盖。

从以上分析可以看出,生活垃圾中具有资源化潜力物质为:可堆腐有机物、塑料、纸、纤维、玻璃及金属。而可能通过卧式气流分选机的物质有塑料、纸、纤维、金属等。本实验通过单物质纸及纸与纤维或塑料的混合物进行分选,研究卧式气流分选的基本规律。

本实验的影响因素较多,诸如风速、风机角度、进料方式、气流的平衡、挡板的存在与否。在实验过程中,风机的角度从 0° 开始,逐步增加风速,同一风速条件下做多组平行实验。然后增大风机角度,重复上述过程。在以上实验过程中,同时研究进料方式、气流平衡以及挡板的影响。

2 实验结果分析

2.1 卧式气流风选机分选的研究

由于生活垃圾的组分极其复杂,在进行卧式气流风选机分选实验的研究时,先采用自配垃圾,组分由简单到复杂,最后采用生活垃圾的分选来验证。实验中首先进行单物质纸的分选研究。由于该课题明确要求纸类物质的分选效果要达到 90% 以上,因而实验中纸类物质的分选效果以此为最终目标。

通过实验表明,卧式的风选机中挡板的存在对分选效果产生不利的影响,因此下述气流分选的结果都是在无挡板的条件下产生。

2.2 风机角度为 0° 时分选情况

从图 2 中可以看出,随着风速的升高,虽然轻物质槽中纸的含量愈来愈高,但当风速达到 $13.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,含量仍很低。从实验过程可见,当风速达到 $13.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,该风速应已足够将所有的纸吹进轻物质槽,如图 2 所示。该组实验的进料方式采用的是混合进料,因而物质间的相互干扰较大,直接影响了纸与风的接触,从而使一部分纸进入中重物质槽。

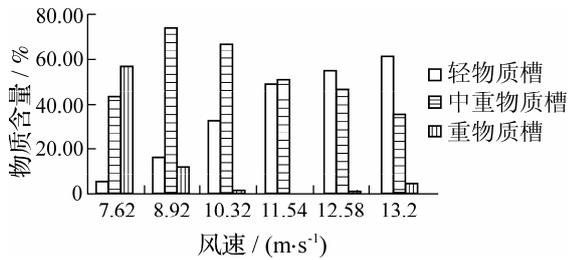


图2 风机角度为0°时3种物质槽中纸的平均含量变化

继续提高风速,研究进料方式对分选效果的影响,结果见表2.

表2 不同进料方式对分选效果的影响

进料方式	风速/ (m·s ⁻¹)	持水率 / %	轻物质 槽中纸 含量/ %	中重物 质槽中 纸含量/ %	重物质 槽中纸 含量/ %
单一进料	14.66	4	96.29	2.99	0.73
混合进料	14.66	4	67.00	29.97	1.92
混合进料 (抱团)	16.23	4	66.17	31.83	2.00
单一进料 (持水率高)	14.66	41	85.97	10.93	1.43

从表2中可以看出,进料方式对分选效果的影响很大,其影响程度排序为混合进料<混合进料(抱团)<混合进料(抱团且高持水率).在同一进料方式中,随着风速的升高,轻物质槽中纸的含量也越高,而且持水率的高低也对分选效果产生影响.单一进料方式(即一张一张地进料)效果最好,但实际分选过程很难做到这样的进料方式.

2.3 风机角度为10°时分选情况

从图3可以看出,在风速很小时,纸的分选效率不高,因而在进行风机角度为10°的分选实验时,从一个较高的风带开始进行实验.所采用的给料方式为振动式给料.由图3和表2中相似风速情况下气流分选对比来看,在风机角度为10°时,轻槽中纸的含量大幅度提高.在进行这组实验之前,也进行了其他给料方式条件下的分选实验,纸在轻物质槽中的含量也只达到70%左右.因此产生图3中所示的结果可能有2种原因,一为风机角度的增大给气流中的纸提供上升的力,使其在水平方向能行进更远,从而进入轻物质槽中的纸更多;二为在振动式给料的条件下,纸在进入气流中能相互错开,

这在很大程度上避免了纸与纸之间相互扰动而受到的不利影响,能够使纸与气流有很好的接触,能够行进得更远.

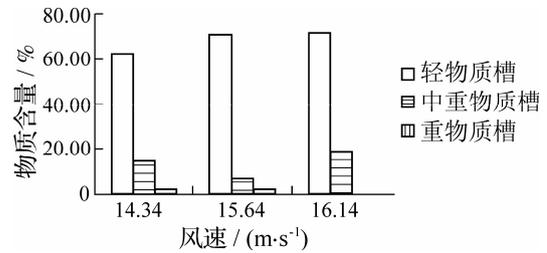


图3 风机角度为10°时3种物质槽中纸的平均含量变化

2.4 风机角度为15°时分选情况

从表3中可以看出,振动式给料方式的效果较好,这种方式更实际,比单一进料方式更有效率.实验中就只采用振动式给料.

表3 2种不同给料方式条件下3种物质槽中纸的平均含量

进料方式	风速/ (m·s ⁻¹)	轻物质 槽中纸 含量/ %	中重物 质槽中 纸含量/ %	重物质 槽中纸 含量/ %
混合进料(抱团)	15.86	81.64	17.16	1.20
振动式给料	15.86	95.18	4.83	0

从表4中可以看出,在风机角度为15度情况下,纸的持水率达到31%也能有较好的分选效果.

表4 持水率为31%情况下一组分选情况

风速 /(m·s ⁻¹)	持水率 / %	轻物质 槽中纸 含量/ %	中重物 质槽中 纸含量/ %	重物质 槽中纸 含量/ %
15.86	31	100.00	0	0
15.86	31	100.00	0	0
15.86	31	100.00	0	0
15.86	31	81.30	18.70	0
15.86	31	100.00	0	0
15.86	31	80.70	19.30	0

2.5 风机角度为20°时分选情况

如图4所示,随着风速的增大,轻物质槽内纸的含量也逐步提高,这与前面的结论相同.下面考虑持水率的情况,结果如图5所示.从图5中可以看出,持水率在35%以下时纸在轻物质槽中的含量能达到90%以上.

随后还进行过风机角度在25°时的分选试验,分选的基本规律与上述一致,即随着风速的提高,

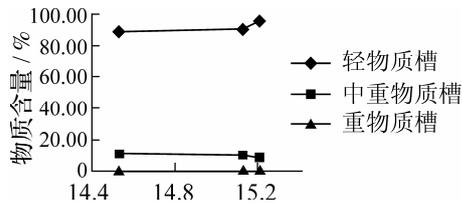
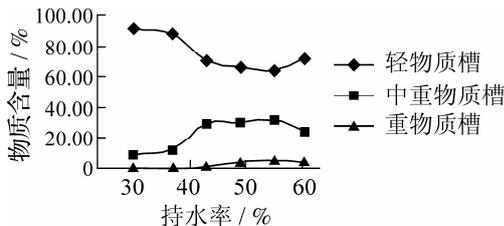


图4 风机角度 20 度时 3 种物质槽中纸的平均含量

图5 风速为 $15.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时随着持水率的升高纸在 3 种物质槽内平均含量

轻物质槽中的纸含量逐步增加,当达到 $12.94 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,轻物质槽中的纸含量达到 90% 以上.持水率达到 45% 左右时,轻物质槽中的纸含量仍能达到 90% 以上.

2.6 混合物的卧式气流风选机的分选情况

卧式气流风选机的工作原理就是利用生活垃圾中物质密度之间的差异,通过调节风机的角度,从而达到较好的分选效果,因此,必须知道物质之间的密度差异.本实验通过测算得出纸、纤维和塑料在不同持水率下的密度,结果见表 5.

表5 3 种物质的平均密度

持水率 / %	纸 / ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	纤维 / ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	塑料 / ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
0	0.7	0.31	0.997
40	0.82	0.59	0.998
60	0.87	0.79	0.999

由于该数据的取得只收集了几种单物质,虽测算过程比较严格,但所表现出的结果与生活垃圾的平均密度不一致,也与实验结果不一致.由所测定数值可知,纤维、纸和塑料 3 种物质分属于轻物质、中重物质和重物质.

在对塑料进行分选时,无论是干塑料还是持水率达到 55% 的塑料,在风机角度为 25° 、风速为最大风速 $10.32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的条件下几乎全部进入到轻物质槽中,而在相同条件下,持水率为 40% 左右的纸和

纤维大部分进入中重物质槽内.对纸和纤维的混合物进行分选,无论进行过破碎还是未进行过破碎、有持水或没有持水的情况下,它们大部分都能进入中重物质槽和轻物质槽中,但仍是混合物,即没有很好地把它们分开.在实验过程中也进行过其他角度最大风速条件下的试验,实验结果如出一辙.出现如此实验现象的原因可能是:实验室测出的 3 种物质的密度误差太大,导致它们的真实密度排序与实验所测密度的排序不同.因而需在与实际生活垃圾相同的条件下进行密度的测定.

另外,从纸和纤维混合物的分选情况看,尽管它们在生活中都属于轻物质,但只利用气流分选的方式难以将它们较好地分离,必须采取其他分选方式或与其他方式联合进行分选.

3 结论与建议

通过以上研究可以知道,与其他给料方式相比,振动式给料方式更有效、更具备实用性.风机角度的增大、风速的提高,有利于轻物质进入轻物质槽中,而且抵御高持水率的能力也逐步加强.可以推测,风机角度的增大过程($< 90^\circ$)中可能存在一个最佳角度,风机的角度大于这个值,则无利于取得很好的分选效果.由于卧式气流风选机的设计存在缺陷,风机的角度最大只能到 25° .因此,在后续实验中,当进行设备改造,需要使风机的角度调得更大,从而能够对因风机角度的变化而产生的分选效率的变化有更全面的了解.

如果对持有水的纸、塑料和纤维的混合物进行气流分选,塑料有很好的分选效果,但纸和纤维于物质槽中存在居多,仍是混合物.因此需改变分选思路,采取与其他分选方式的联合来将它们分离.

参考文献:

- [1] 国家环境保护总局污染控制司.城市固体废物管理与处理处置现状[M].北京:中国石化出版社,2000.
- [2] 姚颖悟.我国城市垃圾处理现状与分析[J].环境保护

- 科学, 2004, 30(122):37-39.
- [3] 卢苇, 马一太, 王志国, 等. 城市垃圾与可持续发展[J]. 四川环境, 2004, 23(2):80-83.
- [4] 郇晓寒. 论城市垃圾的处理处置[J]. 哈尔滨师范大学学报: 自然科学版, 2003, 19(2):105-108.
- [5] 马洪儒. 我国城市生活垃圾处理问题研究[J]. 中国沼气, 2004, 22(1):28-31.
- [6] 刘燕花. 我国城市生活垃圾资源化的有效途径[J]. 大自然探索, 1997, 16(2):50-55.
- [7] 郑铄鑫, 应玉飞, 高昌明. 我国城市垃圾管理现状及其发展方向[J]. 中国人口·资源与环境, 2000, 10:141-142.
- [8] 张宪生, 沈吉敏, 厉伟, 等. 城市生活垃圾处理处置现状分析[J]. 安全与环境学报, 2003, 3(4):60-64.
- [9] 蒲舸. 城市生活垃圾处理的可持续性发展[J]. 重庆建筑大学学报, 2003, 25(6):94-99.
- [10] 赵建林, 贾和平. 城市生活垃圾处理技术初探[J]. 工业安全与环保, 2003, 29(10):14-16.
- [11] 余江. 城市生活垃圾处理现状分析及对策[J]. 甘肃环境研究与监测, 2002, 15(3):195-197.
- [12] 陈金发, 侯明明, 宁平. 城市生活垃圾综合处理方法的选择[J]. 中国资源综合利用, 2004(3):31-33.

Design Research on Horizontal Separation of MSW

LI Bing^{1,2}, ZHAO You-cai², SHI Qing-yan², NIU Dong-jie²

(1. Faculty of Architectural Engineering, Civil Engineering and Environment, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. The State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The horizontal air-separator are commonly used to separate municipal solid waste (MSW), but seldom studied. This work introduces primary separating rules of horizontal air-separation using a self-designed horizontal air-separator with treating magnitude of $100 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$. The experiment result shows that baffles existing in the air-separator produce certain adverse effect in wastes separation, and increasing angle of air blower and air velocity can help improve separation efficiency for paper-type waste. The findings also show that the efficiency reaches highest in separating plastic items from paper ones comparing to separating from fiber wastes, and the efficiency of separating mixture of paper and fiber turned out to be significantly low, which suggests that an alternative separation technique needs to be considered in this case.

Key words: municipal solid waste (MSW); horizontal air-separator; separate; baffle

CLC number: X705

Document code: A

(责任编辑 史小丽)