

文章编号:1004 - 7204(2000)02 - 0040 - 07

垃圾焚烧炉预处理系统设计与优化^{*}

魏小林, 田文栋, 黎军, 吴东垠, 盛宏至

(中国科学院力学研究所、环境科学与技术中心, 北京 100030)

摘要: 论述了垃圾预处理系统的一些关键设备和技术要点, 分析了垃圾焚烧炉预处理系统的流程设计和不同的设备组合方式, 并介绍了一种用于循环流化床焚烧炉的预处理系统流程和试验结果。

关键词: 城市垃圾; 焚烧; 预处理系统

中图分类号: X705

文献标识码: A

1 前言

目前, 城市垃圾问题已经严重制约了我国的可持续发展战略, 采用先进的卫生方式处置垃圾势在必行。一般, 国外垃圾处理方式分三类: 填埋、堆肥和焚烧, 但实际上, 三种方式是互补的, 各有优势。堆肥的剩余物需要焚烧和填埋, 而焚烧的残余灰渣需要填埋。最佳的方式是采用垃圾综合处理利用方法。通过垃圾分类或采用机械化分拣, 将其分成可堆肥的生物质类、可焚烧发电的塑料废纸类、可填埋的灰渣类以及可再利用的物资类等, 然后分别处理。但是, 由于经济条件所限, 目前我国仍采用单纯填埋、堆肥或焚烧等。由于我国大城市多处于人多地少的东部地区, 填埋用地缺乏, 因此采用焚烧制能技术处理垃圾的技术发展很快。一般大型焚烧炉不需采用预处理设备就可以直接焚烧原生

垃圾(mass burn incinerator), 这也是早期焚烧炉的一大技术特点。这种炉型最多采用简单的破碎进料装置, 以保证垃圾能正常入炉并排出大块灰渣。目前, 各国开始趋向于采用预处理设备将垃圾分类进行处理, 以提高垃圾处理厂的综合效益。

采用焚烧炉预处理系统有两个优点: 一是可以提高垃圾热值, 由于我国垃圾低位热值只有 4000kJ/kg 左右, 对应的理论燃烧温度仅为 830℃, 考虑到炉膛散热、未燃尽炭和气体的热损失(根据炉型大小不同, 大约为 10% - 30%), 因此炉膛烟气温度远不能达到大于 850℃ 并停留 2 秒的设计条件。采用预处理设备得到垃圾衍生燃料再进行焚烧(refuse-derived fuel incinerator), 可将垃圾中的不燃物(如砖瓦、灰土和金属等)在进入焚烧炉前就除去。由于这些不燃物占垃圾质量的 25% - 30%, 除去后垃圾制成为 RDF - 3 —

^{*} 中国科学院重点项目(KY95T-03-02)资助

收稿日期: 2000 - 03 - 07

第一作者简介: 魏小林(1967 -), 男, 陕西蓝田, 1995年毕业于西安交通大学能源与动力工程学院, 博士、副研究员, 主要从事煤燃烧、城市垃圾焚烧、环境工程等方面的研究工作, 发表论文 40 余篇。

RDF-5的颗粒(小于50mm的棒状或粒状等可燃物),低位热值可达6000kJ/kg以上,完全能保证焚烧炉处于良好的燃烧工况。第二个优点是前处理装置可以除掉垃圾中的大水泥块、不规则钢筋和铁块等,避免这类物质对焚烧炉进料和排渣装置造成危害,并影响炉内的正常燃烧工况。

由于我国的垃圾焚烧业才刚刚起步,因此现有的几台焚烧炉基本未配套预处理系统。通过完成中科院组织的重大项目“城市固体废弃物焚烧与综合利用”,我们与工程热物理所合作在北京上庄循环流化床焚烧上安装了一套适合我国垃圾状况的预处理系统,取得了很好的效果,相信对于我国发展大型焚烧炉预处理系统有所借鉴。

2 预处理设备

垃圾预处理设备按功能可分为:破碎机和分选机以及传送带及附属电机等。有破碎作用的装置包括破袋机和破碎机,分选机又分为滚筒筛、振动筛、风选机、磁选机、手选带等。下面分别对于各类设备进行介绍和分析:

2.1 破袋机

破袋机用来割破具有较高密度的大塑料袋,将其中的垃圾放出,以利于进行下道预处理工序。图1为一种破袋机的原理图,垃圾由上部进入两个带有多个刀片的旋转滚筒中

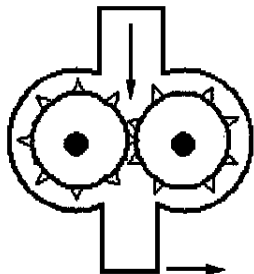


图1 破袋机原理图

间,在刀片切割作用下,将塑料袋割破,破了袋的垃圾从下部排出。破袋机根据不同的设计,可以带一个、两个或三个滚筒,设计的关键是刀片的角度、尺寸、材料强度以及滚筒间的间距等。

需要指出的是:破袋机也可同破碎机或滚筒筛结合起来,通过在破碎机或滚筒筛的前部加内置刀片就能达到破袋的目的。国外在垃圾收集时,考虑到在运输过程中保持清洁和卫生,一般要求将垃圾装在一定大小有较高强度的塑料袋中。而在我国,除饭店、商场外,居民一般只采用很薄的塑料袋装垃圾,没有特殊的垃圾袋强度要求,因此散装垃圾较多,垃圾破袋比较容易。可见,在我国的垃圾预处理系统中可以考虑将破袋机与破碎机等结合起来设计,从而降低系统的制造成本和运行费用。

2.2 破碎机

破碎机根据原理的不同分为:冲击式、压缩式、摩擦式和剪断式等。冲击式破碎机一般由带击锤的转轴将物品破碎,一般适合于砂石、煤块、金属等脆硬性物质,在处理垃圾中,可以用于破碎家具、钢筋混凝土以及大型金属和废塑料制品等;压缩式破碎机凭借两条紧密结合的履带将废弃物压缩并破碎,适用于玻璃、水泥和硬塑料等脆性材料;摩擦式破碎机靠在两个硬的表面间互相摩擦并经轮摩加以磨碎后将垃圾破碎,也可与冲击锤结合使用,虽然可将垃圾破碎为较小的尺寸,但摩擦作用比较耗费动力。

剪断式破碎机将废弃物压碎并予剪断,适合于处理回转式破碎机无法破碎的汽车轮胎、大口径木材、金属类制品的切断。图2为一种小型低速大扭矩破碎机的原理图。根据中国的垃圾特征调查,我们对于这种破碎机的力学特性和技术参数进行了分析研究,发现该装置的技术关键在于:异速反转双轴多刀结构的转速/扭矩、刀头安装位置、角度对

最大处理物体尺寸的影响及加厚硬质合金材料的选择等。针对这些技术关键,研究得到了小型低速大扭矩破碎机的设计参数和材料类型。

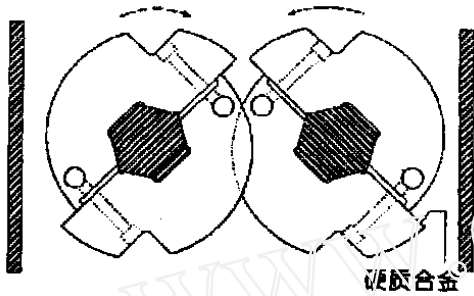


图 2 小型低速大扭矩破碎机的原理图

2.3 分选机

分选包括人工分选和机械分选,人工分选可以将垃圾中的一些有用物资回收(如废纸、金属、玻璃及塑料类)。为了减少人力,目前有多种机械分选方式,最先进的分选方式不但可以把金属、纸张、玻璃等分开,甚至可以将不同大小和密度的瓶子以及不同类的纸张(如报纸、杂志和包装纸板等)分开,当然,目前这种方式并不适合中国的情况。

机械分选的原理有:重力、风力、磁力、振动力、离心力等,根据原理不同,已经开发出多种分选机,下面将主要类型的分选机进行一些分析和比较。

2.3.1 筛选机

筛选法利用颗粒的粒径差,在通过筛网过程中加以分选,通常分滚筒筛、振动筛、固定筛等类,其效率受到筛网角、筛孔大小、振动幅度和方向、颗粒形状、水分含量以及垃圾组成成分等因素的影响。

振动筛靠筛网振动作用将大小颗粒分开,适合于水分较多的垃圾(如南方多雨地区的垃圾),因为振动作用使得垃圾不易结团缠绕以致妨碍筛分。滚筒筛依赖带有不同筛孔

的旋转滚筒将垃圾分类,特点是可以在同一个滚筒中布置两种直径的筛孔,将垃圾分成粒径不同的三部分。图 3 是一种双筛网滚筒筛的原理图。当垃圾进入滚筒筛后,首先经过 15 - 20mm 的小筛孔,将小于该直径的颗粒筛分出来,这些垃圾中的灰分较多,热值很低,但含有一定量的有机物质,可用来堆肥或改善土壤;接下来垃圾经过 150 - 200mm 的大筛孔,将介于大小筛孔直径之间的垃圾筛分出来,这部分垃圾包含可燃物和不可燃物,采用风选等方法可将其分开,不燃物填埋处理,可燃物进入焚烧炉,有时也将大筛孔分选出来的垃圾作为堆肥的原料;最后,经过大小筛孔的分选,剩下的垃圾主要是塑料、纸张等较大尺寸的可燃物以及一些大水泥块、钢筋和砖瓦等,一般国外没有这些建筑垃圾,而我国还不能避免少量建筑垃圾混入生活垃圾,这些不燃物可通过人工分选或分选分离出来。

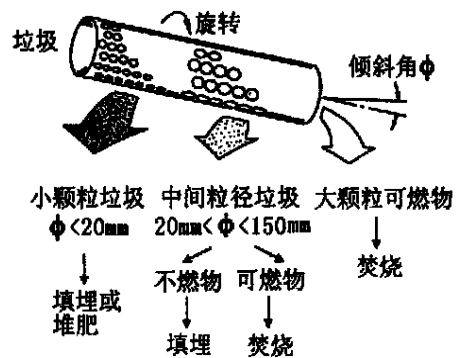


图 3 双筛网滚筒筛的原理图

双筛网滚筒筛的技术关键有:筛筒长度、直径、转速、倾角、筛孔直径匹配、穿孔率等的优化,并需要内置钢丝刷机构以清除黏附物。经过调研和分析发现:筛筒长度、直径、转速和倾角等均要足够大以满足垃圾分离所需的动力和停留时间。一般的筛孔均为圆孔,在研究中发现由于垃圾之间有塑料等缠绕物,经过圆孔不易下落,实际分离出来的垃圾粒径比孔径尺寸要小得多。因此在设计中将小

孔直径放大至 20mm(文献中小孔直径有的为 12.5mm),大孔作为长方孔,尺寸为 150 × 200mm²(文献中大孔直径一般为 50 - 100mm)。通过试验发现这种孔径配合的滚筒筛分离效果很好。

2.3.2 风选机

风力分选利用垃圾之间密度的差异对于气流抵抗力的不同,使得在气流作用下,重质垃圾落于近处,而轻质垃圾飘至远处,从而形成不同类垃圾的分离。图 4 是风选机的原理示意图。在实际运用中,一般采用风选机将塑料、纸张类轻质可燃物与金属、砖瓦类重质不燃物分开。

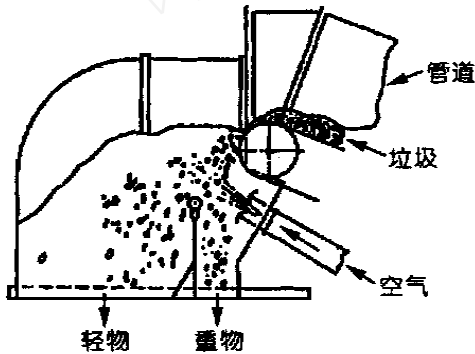


图 4 风选机的原理示意图

2.3.3 磁选机

利用磁性将钢铁类废金属分离并加以回收,可分为鼓式、带式 and 悬式等不同类型,其中悬式磁选机在垃圾处理中应用较多。图 5 为悬式磁选机的工作原理图。另外,采用涡电流原理,将非磁性金属(如铜、铝和锌等)放置于不断变化的磁场中,使金属产生涡电流,

从而产生分离力将金属回收。

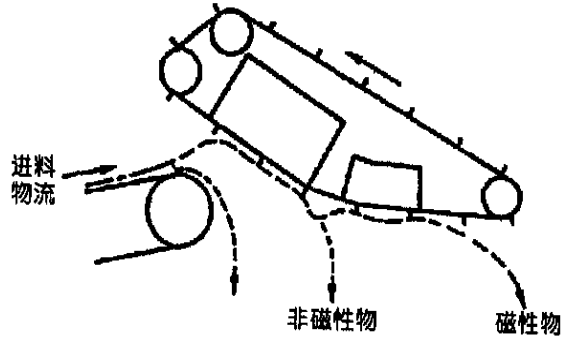


图 5 为悬式磁选机的工作原理图

2.3.4 传送系统 传送系统包括传送带及其附属电机等,是垃圾在各设备间流动的重要设备,由于垃圾密度小,比较疏松,且有重质物,在传送中易发生洒落或下滑,因此垃圾处理的传送需要特殊设计。根据垃圾特性,传送带有应有特殊的形状和坡度,并有防止垃圾向侧面滑离的挡板。为了防止臭气,传送带可考虑放在密封罩内。手选带更要注意臭气问题,可考虑采用类似于家庭用抽油烟机的原理设计去除臭气系统。

3 预处理系统流程

根据不同的垃圾处理需求,将以上的处理设备进行适当的组合,就形成了垃圾的预处理流程和系统。一般,堆肥与焚相结合进行的预处理设备有:破袋机、破碎机、分选机(分滚筒筛、风选机、磁选机等)、手选带以及各机器间的传送带及其电机等。

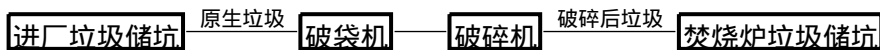


图 6 只对于原生垃圾进行破碎的焚烧炉预处理系统流程

图 6 为一种最简单的预处理系统,只对原生垃圾进行破袋和破碎,目的为了使垃圾能够顺利进入焚烧炉内,不至于堵塞进料口

和排渣口。有些流化床焚烧炉将进料与破碎功能合二为一,采用双螺旋低速大扭矩破碎机进料,这是一种比较简单的垃圾预处理系

统,另外许多炉排焚烧炉直接将垃圾抓入大型进料斗,然后滑进炉排进行焚烧,几乎不采用预处理设备。值得注意的是:这种设计理念均属较早期的焚烧炉,当时的主要目的是焚烧,没有综合处理的需求,另外由于混合垃

圾中成分复杂,直接焚烧还容易危害焚烧炉的运行安全,增加了焚烧炉的事故率。因此,目前垃圾预处理系统在垃圾焚烧厂建设中变得越来越重要,成为焚烧炉三大部分(预处理、焚烧炉和烟气后处理设备)的重要一环。

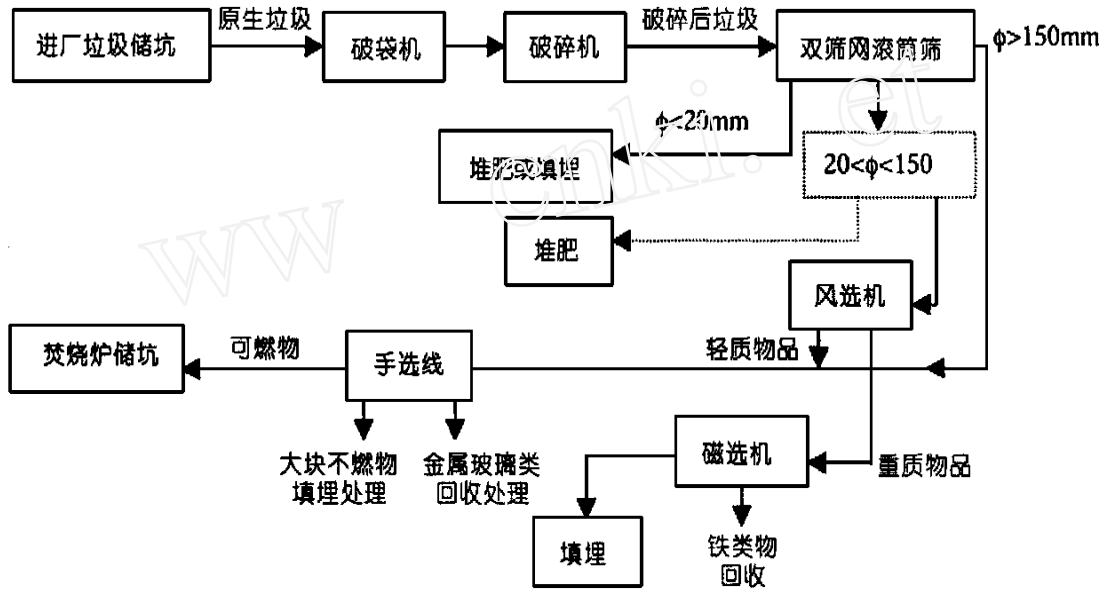


图 7 典型的垃圾综合利用预处理系统流程

图 7 给出了典型的垃圾综合利用预处理系统流程。进厂的垃圾首先放入原生垃圾储坑,然后经传送带进入破袋机,可以割破装垃圾的高密度塑料袋;破袋后的垃圾经过破碎机可以将其中的较大块垃圾破碎,以利于下道工序的进行;破碎后的垃圾进入双筛网滚筒筛,该筛网开有两种内径的空洞,如 20mm 和 150mm,小筛孔可将 $< 20\text{mm}$ 的颗粒(主要是灰渣等,热值极低)筛分出来,一般用于填埋或做堆肥的填加料,大筛孔将 $> 20\text{mm}$ 且 $< 150\text{mm}$ 的颗粒分离处理,这部分主要是厨房垃圾和纸张等,可用来堆肥,如果没有堆肥的需要,也可将这部分垃圾焚烧处理,由于这些垃圾的尺寸较小,很容易进料和排渣。另外,破碎机也可以单独安装,只用来处理人工分

捡的大型垃圾,如家具等,这时破碎机处理量大大减少,可以选用功率较小的设备。

为了有利于焚烧处理,粒径 $> 20\text{mm}$ 且 $< 150\text{mm}$ 的垃圾可再经过风选机,将轻质物和重质物分开,前者进入手选线,而后者进入磁选机。磁选机可将铁类物质回收,不能利用的填埋处理;剩下的轻质可燃物进入人工手选线;从滚筒中出来的筛上物一般大于 150mm ,包括许多轻质物(如塑料、纸张等)和大块不燃物(如水泥块、砖瓦、长条钢筋、铁板等),这些垃圾和风选处理的轻质物一起进入手选线。由于大块不燃物容易导致进料和排渣困难,因此首先在手选线上将其分捡出来,另外还可以将手选线垃圾中的金属、玻璃等捡出以回收利用物资并提高垃圾的热值,剩

余的可燃物送入焚烧炉。

需要说明的是:以上流程只是一种可能的垃圾预处理系统方式。实际设计中根据不同的需求和垃圾的状况,还可以有多种组合方式。如也可以将手选线放在破袋机后面,这样可以防止在下道工序中(如破碎或筛分等)将一些有用物资破坏,同时,为了回收更多的金属类,可以在手选线后布置磁选机和涡电流分选机等。为了分选玻璃瓶、塑料瓶等,可以布置带隔离物的振动分离筛将不同重量的瓶类分开等。总之,根据技术方向的不同,如焚烧、堆肥和回收等,可以组合出不同的垃圾预处理系统。本文主要论述垃圾焚烧的预处理系统,同时考虑堆肥的需要以实现垃圾综合利用的目的。

一般我国的垃圾中混入了一些大块水泥、钢筋等,这对于焚烧炉的进料和排渣有较大危害;另外,我国垃圾热值较低,只有4000 kJ/kg左右,为了达到良好焚烧的目的,可以通过预处理系统将热值提高到6000 kJ/kg以上,使其理论燃烧温度超过1000℃,考虑到散热和未燃尽损失,这样仍可满足烟气在850℃以上停留2秒的焚烧炉设计条件。另外,我国的垃圾在进入焚烧厂以前,已经有人将其中有价值的金属、玻璃和塑料类等捡走,因此预处理系统不能完全照搬国外的系统。设计焚烧炉预处理系统的主要目的应是:提高垃圾热值、去除大块不燃物等,这样就可以保证焚烧炉的正常运行,同时兼顾堆肥需要。

4 典型的焚烧炉预处理系统介绍

通过调研国内外预处理系统的状况,并针对我国的垃圾特性及垃圾处理设备制造企业的现状,在优化及进行技术经济分析的基础上,确定了预处理系统流程,并与工程热物理所一起在上庄垃圾处理厂建成了一套工业规模(处理量30吨/时)的垃圾预处理系统。图8为安装于100吨/日循环流化床焚烧炉

前部的垃圾预处理系统示意图,系统设备包括:双筛网滚筒筛、风选机和手选带以及各类垃圾流动的传送带等,并规划了一台垃圾破碎机,可以处理家具等大型垃圾,使预处理装置成为一个与焚烧炉配套的完整系统。由于可以将部分不燃物在进炉前就处理掉,因此该系统提高了实际焚烧厂的垃圾处理容量和处理性能。

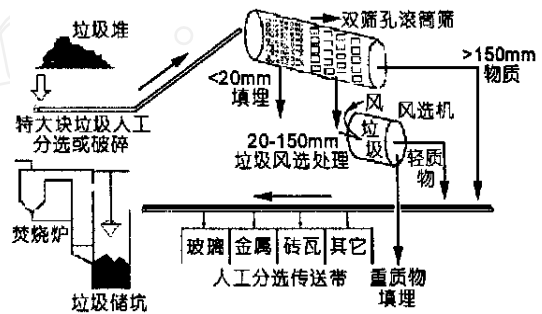


图8 北京上庄100吨/日循环流化床焚烧炉预处理系统示意图

预处理系统的初步试验结果表明:通过滚筒筛、风选机、手选线对原生垃圾分类后,可以在进入焚烧炉前,就将垃圾分流30-50%,避免了许多不燃物质进入炉内。使垃圾低位热值从4000 kJ/kg提升至6000 kJ/kg以上,提高了垃圾焚烧炉的燃烧稳定性和日处理能力。采用双筛网滚筒筛技术可以将一些细小的颗粒($< 20\text{mm}$)分离出来,这些物质可以进行堆肥或改善土壤,另一部分中等粒度的颗粒($20\text{mm} < \phi < 150\text{mm}$)经过风选机,将塑料类轻物质与一些不燃重物分离,也减少了入炉的垃圾量;然后将风选出来的轻物质和 $> 150\text{mm}$ 的筛上物一起送入手选线,回收一些有价值的物品,如金属、玻璃或包装罐等,增加焚烧厂的收入,同时把大块建筑垃圾、钢筋等检出,避免对焚烧炉的运行造成危害。表1是该预处理系统的一次典型试验结果。

表1 经过预处理的各类垃圾分流情况

	$\phi < 20\text{mm}$ 不燃物	$20 < \phi < 150$ 不燃物	$\phi > 150\text{mm}$ 不燃物	入炉垃圾	垃圾总量
垃圾重量 (kg/h)	5440	6618	1080	14232	27370
垃圾份额 (%)	19.88	24.18	3.95	51.99	100

5 结束语

本文对于垃圾的预处理设备和系统流程进行了分析和论述,着重介绍了垃圾焚烧炉所需的预处理系统。随着我国经济的发展,垃圾预处理设备的生产和需求将不断扩大,而预处理系统的复杂程度和机械化程度也将不断提高。可以预见预处理设备将成为垃圾最佳处理方式——综合处理(回收、焚烧、堆肥和填埋相结合)的关键设备,所以我国急需在此领域内开发新技术,用有自主知识产权的国产设备占领垃圾预处理设备市场。

感谢

该项目属于中科院重大项目“城市固体

废弃物焚烧与综合利用”的一项课题,作者感谢项目的牵头单位——中科院工程热物理所的合作和支持,特别感谢中科院工程热物理所的曹俊斌、方建华、金坚和潘忠刚等同志的帮助。

参考文献:

- [1] 张乃斌. 垃圾焚化厂系统工程规划与设计 [M]. 台湾:新雅出版社, 1998. P15. 1 ~ 15. 95.
- [2] B G Liptak. Municipal Waste Disposal in the 1990s [M]. Radnor, Pennsylvania: Chilton Book Company. 1991. P354 ~ 392.

Design and Optimization of Pretreatment System for MSW Incinerator

WEI Xiao - lin TIAN Wen - dong LI Jun WU Dong - yin SHENG Hong - zhi
(ESTC., Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

ABSTRACT: Some equipment and technical keys are reported for MSW pretreatment. The design of its flow charts for MSW incinerator and the linking modes of different equipment are analyzed. And a flow chart of pretreatment system and tested results for a circulating fluidized bed incinerator are introduced.

KEY WORDS: Municipal Solid Waste (MSW), Incinerate, Pretreatment System.

声
明

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入该数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。