

# 大宗固废协同烧制新型陶粒工艺方案

尹贻民 杜鹏<sup>\*</sup> 王克浩 吕尚 王倩倩 彭晓娟  
山东省环科院环境工程有限公司, 中国·山东 济南 250000

**摘要:** 目前中国大宗固废产生量大、堆存量、处置能力不足、技术研发创新能力不强, 综合利用水平还有待进一步提升。为了推动中国大宗固废资源化利用产业发展, 通过探索大宗固废协同烧制新型陶粒工艺方案, 促进大宗固废的资源化利用, 解决大宗固废处置难题, 实现循环经济理念。

**关键词:** 大宗固废; 陶粒; 工艺方案

## New Technology Scheme for Collaborative Firing of Bulk Solid Waste and Ceramic Particles

Yin Yimin Du Peng<sup>\*</sup> Wang Kehao Lv Shang Wang Qianqian Peng Xiaojuan

Shandong Academy of Environmental Sciences Environmental Engineering Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China

**Abstract:** Currently, China has a large amount of bulk solid waste generated, a large amount of storage, insufficient disposal capacity, and weak technological research and development innovation capabilities. The comprehensive utilization level still needs to be further improved. In order to promote the development of China's bulk solid waste resource utilization industry, a new ceramic particle technology scheme for collaborative firing of bulk solid waste is explored to promote the resource utilization of bulk solid waste, solve the problem of bulk solid waste disposal, and realize the concept of circular economy.

**Keywords:** Bulk solid waste; Ceramic particles; Process scheme

### 0 前言

近年来, 中国大宗固废综合利用存在新增量大、堆存量、部分类型利用难度大等问题, 对环境和安全影响较大。中国对大宗固废综合利用十分重视, 相继出台多个国家政策鼓励和支持大宗固废综合利用产业绿色发展和创新升级。目前中国大宗固废利用方式主要应用于水泥、混凝土、建材和道路工程等行业。固废用作烧制陶粒原料, 是消纳固废的途径之一, 可以替代节约不可再生天然卵石、砂石和黏土等资源。陶粒可制成新型墙体材料、河道底泥过滤材料等, 可广泛应用于建筑领域、水处理领域、花卉种植领域等中。通过研究大宗固废协同烧制陶粒工艺方案, 提供一种大宗固废综合利用的可行性。

### 1 规模及产品性能

处置规模为 24 万 t/a 的大宗固废, 建设两条 15t/a 大宗固废综合利用处置装置, 生产 33 万 m<sup>3</sup>/a 膨胀陶粒, 对应日产陶粒规模为 500m<sup>3</sup>, 陶粒产品容重 300kg/m<sup>3</sup>, 运行天数 330 天。

产品标准执行 GB T 17431.1—2010《轻集料及其试验方法 第 1 部分: 轻集料》。

烟气排放标准执行 DB 37/2373—2018《建材工业大气污染物排放标准》及 DB 37/2376—2019《山东省区域性大气污染物综合排放标准》, 重金属和二噁英参照执行 GB 18485—2014《生活垃圾焚烧污染控制标准》。

生产线原料消耗见表 1, 陈化原料做膨胀陶粒符合的主要元素要求(经前期配伍后需满足)见表 2。

表 1 生产线原料消耗表

序号	原料	占比	年使用量(万 t)
1	黏土类原料(污染土、渣土、修复土)	72%	17.3
2	大宗固废	28%	6.7

表 2 陈化原料做膨胀陶粒符合的主要元素要求  
(经前期配伍后需满足)

化学成分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	烧失量	含水率	可塑性指数
含量(%)	50~65	10~22	5~9	3~6	3~6	2~5	5.3~8.6	20%~25%	8~9

## 2 方案比选

### 2.1 陶粒产品类型

第一, 陶粒按强度分为高强陶粒和普通陶粒。

#### ① 高强陶粒。

根据 GB/T 17431.1—2010《轻骨料及其试验方法》, 高强陶粒是指强度标号不小于 25MPa 的结构用轻粗骨料。

#### ② 普通陶粒。

根据 GB/T 17431.1—2010《轻骨料及其试验方法》, 普通陶粒是指强度标号小于 25MPa 的结构用轻粗骨料。

第二, 陶粒按密度分为一般密度陶粒、超轻密度陶粒、特轻密度陶粒三类。

#### ① 一般密度陶粒。

一般密度陶粒是指密度大于 500kg/m<sup>3</sup> 的陶粒, 强度一般相对较高, 多用于结构保温混凝土或高强混凝土。

#### ② 超轻密度陶粒。

超轻密度陶粒一般是指密度为 300~500kg/m<sup>3</sup> 的陶粒, 一般用于保温隔热混凝土及其制品。

#### ③ 特轻密度陶粒。

特轻密度陶粒是指小于 300kg/m<sup>3</sup> 的陶粒, 保温隔热性能优异, 但强度较差。

第三, 陶粒按性能分为高性能陶粒和普通性能陶粒两类。

#### ① 高性能陶粒。

高性能陶粒是指强度较高、吸水率较低、密度较小的焙烧或免烧陶粒, 所制造出的人造轻骨料相比普通轻骨料的性能更为优越, 同时可以用来配制高性能混凝土。

#### ② 普通性能陶粒。

普通性能陶粒相对于高性能陶粒, 强度更低、孔隙率略高、吸水率高, 但综合性能仍优于普通骨料。

### 2.2 回转窑窑型比选

近年来, 随着固废资源化处理技术的逐步推广, 运用回转窑烧制陶粒得到了广泛的应用。回转窑是由筒体、传动装置、窑头、窑尾及密封装置等组成。

瀑落式回转窑: 窑内设置三叶弧形截面结构, 长度为传统回转窑的 1/4。主要适用于尾矿、煤矸石、粉煤灰、赤泥、污泥、淤泥、工程弃土、工业废渣等固废。主要生产高密度的高性能轻骨料。

## 3 工艺流程

### 3.1 原料接收工段

#### 3.1.1 黏土类原料

黏土类原料(污染土、渣土、修复土), 通过汽车运送原料到储存车间内单独隔间, 车间顶部设置透明的采光瓦, 通过阳光棚照射可以蒸发一部分水分, 使后期烘干过程中原料水分减少降低能耗, 并可增加污泥的配比。

#### 3.1.2 粉状大宗固废

外部运输来的粉状物料通过单梁行车卸至储存间内, 上料时用行车将吨包吊装至粉状物料上料口, 然后上料至灰仓上料口, 通过下部设置的气力输送装置, 将粉状物料输送至缓存仓待用。

#### 3.1.3 松散状大宗固废

松散状物料配置箱式给料机、对辊称。松散状物料通过铲车上料至箱式喂料机, 然后箱式喂料机将物料输送至皮带输送机上, 通过上料逻辑和位置设置联锁系统对物料进行反馈计量。

#### 3.1.4 污泥类固废

若原料为含水 80% 的工业污泥和市政污泥, 进厂时状态为流动性糊状体, 通过自卸车卸至上料斗, 上料斗上部设置自动启闭装置, 在卸完后将自动启闭门关闭, 保证污泥异味不外泄。

#### 3.1.5 其他干料固废

其他干料固废可通过增设的单独上料口进行上料, 然后与其他物料一起搅拌。

### 3.2 原料预处理工段

#### 3.2.1 原料烘干工段

预处理后原料通过铲车卸至箱式给料机, 然后被输送至烘干机进行烘干。烘干机的热风为冷却陶粒产品时换热后的空气。烘干后的原料被提升机输送至储存仓内进行储存待用。

#### 3.2.2 原料配料、搅拌工段

烘干后的原料通过储存仓下部设置的皮带计量秤将物料输送至对辊破碎机处进行破碎处理, 经过破碎后的物料被皮带输送机输送至双轴搅拌机与其他原料一起搅拌、混合。

#### 3.2.3 原料陈化工段

经过配料和搅拌后的物料通过暂存库设置的来料皮带输送至桥式堆取料机上部, 然后通过布料机进行布料至暂存库内进行储存、陈化, 暂存库贮存量满足两条生产线生产用量 7~14 天的用量。

原料进行陈化的目的是均化和提高塑性, 使原料中的组分、含水率更加均匀。同时使生化污泥中的微生物与配合物料进行充分的融合和反应, 提高原料塑性, 防止烧结过程中的炸裂。

#### 3.2.4 造粒工段

造粒方式有多种, 包括成球盘、对辊造粒机、挤压成球、成球筒等。根据产品的需求方案采用成球盘和对辊造粒两种工艺。

成球盘工艺: 成球盘造粒水分控制在 15% 左右, 造粒粒径控制在 5~10mm, 保证煅烧后的陶粒粒径较小, 适用于墙板的生产。

对辊造粒工艺: 对辊造粒工艺要求造粒物料水分为 20%~25%, 造粒粒径在 12~14mm, 经过回转窑煅烧后, 形

成各个粒径配比的陶粒。

经过造粒后的生料球,通过皮带输送机输送至整形机进行整形,筛除造粒中的碎球和废料,废料被输送至原料处再利用,合格的生陶粒被输送至煅烧工段进行煅烧。

### 3.3 煅烧、冷却工段

合格的生陶粒球通过大倾角皮带输送至窑尾溜管,通过溜管把生料球送进回转窑窑尾,生陶粒进入回转窑首先进行预热烘干,然后进入煅烧窑进行煅烧,煅烧温度在 1100℃~1200℃,生料球此期间会成熟发胀,形成成熟陶粒,烧制好的陶粒进入冷却机进行冷却,热陶粒与冷空气进行换热,温度降低至 100℃左右,通过耐高温皮带输送至成品包装系统。

### 3.4 成品筛分、储存、包装工段

冷却机出来的成品陶粒经冷却机头部设置的筛网先进行筛分成 15mm 以下和 15mm 以上,然后通过两个皮带输送机分别输送至成品仓储罐内。

### 3.5 烟气处理系统

烟气处理采用“陶瓷多管除尘器+SCR 脱硝处理+余热利用+活性炭喷射+布袋除尘器+引风机+石灰—石膏湿法脱硫+烟囱”进行处理。

#### 3.5.1 陶瓷多管除尘器

从陶粒窑出来的约 320℃~360℃的烟气进入陶瓷多管除尘器,气体经气流分布室进入除尘器,经除尘单元的螺旋形导向器导入旋风子内部产生高速旋转,在离心力的作用下,粉尘与气体自行分离,被分离出来的粉尘落入集尘箱内,自行控制排出并回收,除尘效率可达到 90% 以上。

#### 3.5.2 SCR 脱硝系统

经陶瓷多管除尘器出来的烟气进入 SCR 反应装置,脱硝工艺采用尿素作为还原剂。SCR 反应器和附属系统由催化剂和本体等组成。通过催化剂层,在低温催化作用下,烟气中的氨与 NOx 反应从而脱除 NOx。脱硝装置入口温度大于 200℃,保证催化剂被有效利用,提高催化剂催化效率。

#### 3.5.3 余热利用系统

脱硝后约 280℃烟气进入余热利用生料球烘干系统,经热交换后降温至 100℃~120℃,再进入布袋除尘器。

#### 3.5.4 活性炭喷射系统

在布袋除尘器入口烟道通过喷入活性炭的方式来吸附烟气中的二噁英。

#### 3.5.5 布袋除尘系统

采用布袋除尘系统将烟气中的烟尘、活性炭铺集颗粒等固体颗粒进行收集去除,粉尘粒径在 0.5μm 以上的其效率可达 99.5%,特别是对于亚微米粒子能有效捕集。

#### 3.5.6 引风机

经湿式脱酸出来的 70℃左右的烟气经过烟气加热至 140℃后由引风机输送到烟囱中。

#### 3.5.7 湿法脱硫

采用石灰—石膏湿法脱硫技术进行全烟气脱硫,在吸收塔内烟气向上流动且被向下流动的石灰石浆液反应,采用逆流方式洗涤去除 SO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub>、HF、HCl 等酸性组分,脱硫效率 ≥ 95%。自布袋除尘器出来的烟气进入吸收塔,经过脱硫后,净烟气自烟囱排放。

#### 3.5.8 烟囱

烟囱设置永久采样孔和采样平台,设置一套烟气在线监测装置,实现对大气污染物主要排放指标的在线监测。

## 4 结论

通过研究大宗固废协同烧制陶粒工艺方案设计,提供一种大宗固废综合利用的可行性。建设两条 15t/a 大宗固废综合利用生产线,处置 24 万 t/a 大宗固废,生产 33 万 m<sup>3</sup>/a 膨胀陶粒。

通过大宗固废及黏土类物料(污染土、渣土、修复土)作为原料,掺加一定比例辅料,经过原料配料、搅拌、陈化、造粒、煅烧、冷却等工段后包装出售。烟气处理采用“陶瓷多管除尘器+SCR 脱硝处理+余热利用+活性炭喷射+布袋除尘器+引风机+石灰—石膏湿法脱硫+烟囱”进行处理。

### 参考文献:

- [1] 石晓莉,杜根杰,杜建磊,等.大宗工业固体废物综合利用产业存在的问题及建议[J].现代矿业,2022,38(6):227-229.
- [2] 马淑杰.新征程下大宗固废综合利用产业发展研究[J].中国矿业,2023,32(6):10-18.
- [3] 边华英,王学涛,张伟,等.利用工业固废制备新型无机建材研究进展[J].河南科技,2023,42(4):71-76.
- [4] 杨雪晴,宋杰光,钟璐,等.利用工业固废制备陶粒的研究及建筑工程领域应用现状[J].砖瓦,2021(8):51-54.
- [5] 闫开放,林永淳,施晓明.大宗固废污泥在我国墙体材料中的应用及研究创新成果分析[J].砖瓦,2024(4): 29-35.

作者简介:尹贻民(1995-),男,硕士,中级工程师,从事固体废物处理处置及资源化利用、存量固废及污染场地应急处置设计和研究。

通信作者:杜鹏(1984-),男,高级工程师,从事固体废物处理处置及资源化利用、存量固废及污染场地应急处置设计和研究。