

# 固体废弃物在大型火电厂建设过程中的消纳及利用的研究与应用

张强<sup>1</sup> 孙青琳<sup>2</sup>

1. 徐州基桩工程有限公司 江苏 徐州 221004

2. 山东电力工程咨询院有限公司 山东 泰安 250000

**摘要:** 大型火电厂建设期产生大量固体废弃物,如粉煤灰、炉渣、脱硫石膏等。通过破碎筛分技术,可将建筑垃圾制成再生骨料;炉渣经处理后用于道路铺设或制备透水砖;粉煤灰可替代水泥生产建材,还能提取铝、锂等有价值元素;脱硫石膏则广泛用于石膏板、水泥缓凝剂及土壤改良。这些技术不仅减少填埋占地与环境污染,还降低建材成本,实现资源循环利用,推动火电厂绿色转型,助力“双碳”目标达成。

**关键词:** 固体废弃物;大型火电厂建设过程;消纳及利用;应用

引言:随着我国电力行业的蓬勃发展,大型火电厂建设规模不断扩大,建设过程中产生的固体废弃物数量与日俱增。这些固废若处理不当,不仅会占用大量土地资源,还会对周边生态环境造成严重污染。如何有效消纳与合理利用这些固体废弃物,成为亟待解决的关键问题。在此背景下,深入研究其消纳及利用技术,不仅能实现资源循环利用、降低建设成本,还对推动火电厂绿色可持续发展意义重大。

## 1 大型火电厂建设期固体废弃物分类及特性分析

### 1.1 废弃物来源与分类

(1) 施工阶段:此阶段废弃物以建筑垃圾为主,包括混凝土块(来自基础浇筑、厂房结构施工剩余或废弃部分)、砖块(墙体砌筑过程中切割剩余、破损砖块)、钢筋(构件加工时的边角料、废弃预埋件),此外还有设备及建材的包装材料,如木质托盘、塑料薄膜、纸箱等,多产生于设备进场卸货与建材存储环节。(2) 调试与运行准备阶段:燃煤锅炉试运行时,煤炭燃烧会产生大量炉渣(炉膛底部排出的块状残渣)和粉煤灰(烟道气中收集的细颗粒粉末),同时脱硫系统试运行会生成脱硫石膏(湿法脱硫过程中硫酸钙结晶产物),该阶段废弃物产量随运行时长增加而上升。(3) 辅助设施建设:污水处理站建设与调试中,会产生含有少量污染物的污泥(来自沉淀池底泥、过滤残渣);另外,设备安装调试后更换的废旧零部件、报废的临时施工设备(如小型泵机、旧电缆)等也属于此类废弃物<sup>[1]</sup>。

### 1.2 废弃物物理化学特性

(1) 物理性质:建筑垃圾中混凝土块、砖块粒径多在5-500mm,密度2.3-2.8g/cm<sup>3</sup>,含水率5%-15%;粉煤

灰粒径多为1-100μm,密度1.8-2.4g/cm<sup>3</sup>,含水率通常低于10%;污泥含水率较高,一般在70%-90%,质地松软。(2) 化学成分:粉煤灰主要含SiO<sub>2</sub>(40%-60%)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(20%-30%),还含少量Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO;脱硫石膏主要成分为CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O(含量超90%);建筑垃圾中混凝土含Ca(OH)<sub>2</sub>、硅酸盐等,钢筋为Fe合金。(3) 环境风险评估:部分废弃物存在潜在危害,如粉煤灰可能含微量重金属(Pb、Cr、As),若处置不当易随雨水渗透污染土壤;污泥若含超标污染物,随意堆放可能滋生细菌;但整体而言,建设期固体废弃物放射性物质含量极低,符合安全标准,无明显放射性风险。

## 2 固体废弃物在大型火电厂建设过程中的消纳与资源化利用技术路径

### 2.1 建筑垃圾的循环利用

(1) 破碎筛分技术:采用颚式破碎机、反击式破碎机对建筑垃圾中的混凝土块、砖块进行多级破碎,配合振动筛按粒径分级筛分,去除杂质后制备再生骨料。其中,粒径5-20mm的再生骨料可替代天然砂石制备C30及以下强度等级混凝土,用于厂区道路基层、辅助建筑墙体浇筑;粒径20-50mm的骨料则可直接作为路基填料,满足火电厂厂区道路建设需求,降低天然骨料开采量。(2) 钢筋回收:对建筑垃圾中拆解出的废旧钢筋,先通过磁选设备分离杂质,再运输至钢铁厂进行熔炼。熔炼过程中通过控制温度(1500-1600℃)与添加脱硫剂、脱氧剂,去除钢筋中的有害元素,最终再生为建筑用螺纹钢、盘条等钢材,回用于火电厂后续辅助设施建设,实现钢材资源闭环循环。(3) 典型案例:某沿海地区大型火电厂在施工阶段,引入建筑垃圾处理生产线,对拆除的临时设

施、废弃混凝土结构进行集中处理，全年回收再生骨料1.2万吨、再生钢材0.3万吨，建筑垃圾再生利用率达85%，减少固废外运量超1.8万吨，节约建设成本约200万元。

## 2.2 炉渣与粉煤灰的高值化利用

(1) 炉渣：1) 经破碎、筛分后，粒径10-30mm的炉渣可直接用于厂区道路路基铺设，兼具承载性与透水性；细粒径炉渣 ( $\leq 5\text{mm}$ ) 与水泥、外加剂混合，可制备透水砖，用于厂区人行道、停车场地面，透水系数达  $1.5 \times 10^{-3}\text{m/s}$  以上。2) 采用“机械活化+蒸汽养护”技术提升炉渣活性，将其磨细至比表面积  $400\text{--}450\text{m}^2/\text{kg}$ ，按15%–20%比例掺入水泥熟料，可使水泥28天活性指数提升至85%以上，替代部分水泥用量，降低建材生产成本<sup>[2]</sup>。(2) 粉煤灰：1) 建材领域：将粉煤灰与水泥、石灰、铝粉等按比例混合，经搅拌、浇筑、静养、蒸压养护，制备加气混凝土砌块，导热系数低至  $0.12\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，用于火电厂厂房保温墙体；或通过造粒、焙烧工艺生产陶粒轻骨料，替代天然碎石配制轻骨料混凝土，减轻建筑自重。2) 环保领域：利用粉煤灰多孔结构，通过盐酸改性提升吸附性能，制成废水处理吸附剂，对电厂施工废水中COD去除率达60%以上；或将粉煤灰按5%–10%比例施用于酸性土壤，调节pH值至6.0–7.5，改善土壤结构。3) 提取有用元素：针对高铝粉煤灰，采用“碱溶-沉淀-煅烧”工艺提取氧化铝，纯度可达98%以上；同时探索从粉煤灰中回收锂元素，为新能源产业提供原料支撑。

## 2.3 脱硫石膏的综合利用

(1) 建筑装饰材料领域：将脱硫石膏经干燥、粉磨、陈化后，与缓凝剂、改性剂混合，通过成型、烘干工艺制备纸面石膏板，抗弯强度达1.8MPa以上，用于火电厂办公楼、宿舍楼内墙装饰；或制成石膏砌块，尺寸精度高，施工便捷，满足快速装修需求。(2) 水泥工业领域：脱硫石膏经脱水处理（含水率降至10%以下）后，按3%–5%比例替代天然石膏作为水泥缓凝剂，可延长水泥初凝时间至1.5–3小时，避免水泥过快凝结，保障施工质量，同时降低天然石膏开采依赖。(3) 农业领域：对于纯度高、有害杂质达标的脱硫石膏，粉碎后按200–500kg/亩的用量施用于盐碱地或酸性土壤，其中的  $\text{Ca}^{2+}$  可置换土壤中的  $\text{Na}^+$ ，调节土壤pH值，改善土壤透气性与保水性，提升作物产量，适合火电厂周边农田改良<sup>[3]</sup>。

## 2.4 其他废弃物协同处置

(1) 污泥掺烧技术：将污水处理站产生的污泥经板框压滤脱水（含水率降至60%–70%）后，按5%–8%比例与燃煤混合，送入锅炉协同焚烧。焚烧过程中污泥中的有机物充分燃烧释放热量，辅助发电；灰烬则随炉渣一

同收集，后续进行资源化利用，避免污泥二次污染，实现“以废治废”。(2) 废旧设备拆解回收：对施工中报废的临时泵机、电缆、钢结构等废旧设备，通过人工拆解与机械分选结合的方式，分离出钢材、铜、铝等金属材料，其中钢材送至钢铁厂熔炼再生，铜、铝经提纯后用于制造电线电缆；非金属材料如橡胶、塑料则分类回收，或送至专业机构进行无害化处理，金属回收率可达90%以上，最大化资源回收价值。

## 3 大型火电厂建设期固体废物消纳与资源化利用的技术经济与环境效益评估

### 3.1 经济效益分析

(1) 废弃物处理成本对比：填埋处理需承担垃圾清运（约25元/吨）、填埋场征地（亩均年成本超1万元）及防渗处理费用，单吨处理成本约80–120元；资源化利用虽需前期设备投入（如建筑垃圾破碎线约300万元），但后期单吨处理成本可降至30–50元，且能减少原材料采购支出（如再生骨料比天然砂石便宜40–60元/吨），以年处理5万吨固废计，年均可节省成本超200万元。(2) 再生材料销售收益与政策补贴：再生骨料、石膏板等产品可对外销售，按再生骨料年产量3万吨、售价80元/吨计算，年收益约240万元；部分地区对固废资源化项目给予补贴（如每吨补贴10–30元），年补贴可达50–150万元，叠加成本节省，多数项目3–5年可收回前期投资。

### 3.2 环境效益评估

(1) 碳排放减少量：资源化利用可减少多环节碳排放，如再生骨料生产比天然骨料开采加工减少碳排放约0.3吨/吨，粉煤灰制备加气混凝土比传统黏土砖减少碳排放约0.8吨/吨，以年处理5万吨固废、综合减排0.5吨/吨计，年均可减少碳排放2.5万吨，相当于种植约13.9万棵树的固碳效果<sup>[4]</sup>。(2) 土地占用减少：按填埋场容积率1.2吨/立方米、每亩可填埋约8000吨固废计算，年处理5万吨固废需占用填埋场约6.25亩；资源化利用可完全替代该部分填埋需求，10年可节约土地62.5亩，避免填埋场对土壤、地下水的污染风险。

### 3.3 社会效益

(1) 推动循环经济产业链形成：固废资源化可带动破碎设备制造、再生建材生产等上下游产业发展，创造就业岗位（如一条建筑垃圾处理线可提供20–30个岗位），形成“固废回收-加工-再利用”的循环链条，促进区域产业结构优化。(2) 示范效应与行业标准制定参考：火电厂作为大型工业项目，其固废资源化模式可为其他工业企业提供借鉴，部分成熟技术（如污泥掺烧）可纳入行业规范，推动制定《工业固废资源化利用技术导则》等

标准,引导行业绿色转型。

#### 4 大型火电厂建设期固体废弃物消纳与资源化利用的现存问题与优化策略

##### 4.1 技术瓶颈

(1) 废弃物分选精度不足导致再生材料性能波动:当前多依赖人工分选与简单机械筛分,难以精准分离建筑垃圾中的杂质(如塑料、木块)及粉煤灰中的异色颗粒,致使再生骨料含杂率超5%,制备的混凝土抗压强度下降8%~12%;炉渣分选不彻底时,其中的金属残渣会影响透水砖成型质量,导致产品合格率降低至85%以下,制约再生材料推广应用。(2) 高值化利用技术成本过高:从粉煤灰中提取铝、锂等元素,需采用高温焙烧、化学浸出等复杂工艺,单吨处理成本超3000元,而提取产物市场售价难以覆盖成本,企业投资回报率不足3%;脱硫石膏制备高端石膏制品(如医用石膏)需高精度提纯设备,单条生产线投入超500万元,且生产过程能耗较高,经济性远低于低端建材利用,导致高值化技术难以规模化落地。

##### 4.2 管理挑战

(1) 施工期废弃物分类收集体系不完善:部分施工单位未按废弃物类型设置专用收集容器,存在建筑垃圾与生活垃圾混放、炉渣与粉煤灰混合堆积现象,后续需额外投入15%~20%的处理成本进行二次分选;且缺乏分类收集考核机制,施工人员分类意识薄弱,分类准确率不足60%,影响资源化利用效率。(2) 跨部门协同机制缺失:火电厂建设期固废管理涉及施工部门、环保部门、物资回收企业等多主体,因缺乏统一协调机构,出现信息断层一如施工部门未及时告知固废产生量,导致回收企业处理能力匹配不足;环保部门监管标准与企业处理流程衔接不畅,部分固废因手续不全无法合规利用,平均延误处理周期3~5天。

##### 4.3 优化建议

(1) 引入AI分选设备提升分类效率:配置搭载红外光谱识别与智能机械臂的AI分选设备,可精准识别并分

离固废中的不同成分,使建筑垃圾分选精度提升至95%以上,再生骨料含杂率控制在2%以内;针对粉煤灰,采用AI图像识别技术筛选异色颗粒,保障后续高值化利用原料纯度,降低性能波动风险。(2) 建立“产生-处理-利用”全链条数字化管理平台:整合施工日志、固废称重数据、处理进度、产品销售信息,实现各环节数据实时共享—施工部门在线上报固废产生量,回收企业按需调配设备,环保部门实时监管处理过程,可将处理周期缩短至1~2天,减少信息沟通成本30%<sup>[5]</sup>。(3) 争取税收优惠与绿色金融支持:向地方政府申请固废资源化项目企业所得税“三免三减半”优惠,降低前期投资压力;对接绿色信贷政策,争取低于市场利率10%~15%的专项贷款,用于高值化技术研发与设备升级;同时申报固废资源化专项补贴,弥补高值化利用成本缺口,提升技术经济性。

##### 结束语

在大型火电厂建设蓬勃发展的当下,固体废弃物的消纳与利用研究成效显著。通过一系列技术手段,建筑垃圾、炉渣、粉煤灰等实现了资源化,变废为宝,减少了环境污染与资源浪费,带来可观的经济、环境与社会效益。然而,技术瓶颈与管理挑战仍存。未来,需持续创新技术、完善管理机制,加强政策支持与多方协作,进一步提升固废利用水平,推动火电厂建设向绿色、循环、可持续方向大步迈进。

##### 参考文献

- [1] 范蓉.城市固体废弃物处理及资源化利用途径分析[J].山西化工,2025,45(08):293-295.
- [2] 翟文超,王逵,邱娟娟.基于循环经济的固体废物治理策略研究[J].清洗世界,2025,41(05):120-122.
- [3] 练绮绮.基于环境保护固体废弃物的处理与资源化利用[J].黑龙江环境通报,2025,38(03):119-121.
- [4] 陈欢欢,耿贵军.建筑固体废弃物资源化利用生产线的设计研究[J].建筑机械化,2025,46(01):16-20.
- [5] 张清松.城市固体废弃物处理及资源化利用途径分析[J].中国轮胎资源综合利用,2025,(01):118-120.