

# 我国粉煤灰综合利用现状及发展趋势

薛智勇

中国神华哈尔乌素露天煤矿循环经济产业孵化基地 内蒙古 鄂尔多斯 010300

**摘要:** 粉煤灰是大宗工业不能完全回收利用的工业废弃物,我国每年都有大量的粉煤灰被丢弃。分析了粉煤灰回收的现状,以及相关法律法规、程序文件和粉煤灰回收技术。我国粉煤灰回收率近年来变化不大,在75%左右,利用方式主要为水泥、混凝土和深加工建筑材料,其他利用方式如筑路、填筑等较少见。我国拟扩粉煤灰在相对成熟的综合回收利用渠道中的利用,加大粉煤灰高附加值技术研究,提高粉煤灰综合回收处置率。

**关键词:** 粉煤灰;综合利用;固体废物;环境保护

## 引言

长期以来,燃煤发电一直是我国最重要的电力来源。尽管世界上许多国家都制定了许多应对气候变化和减少碳排放的政策,但它们实施了许多政策来鼓励从煤炭向核能和可再生能源等替代能源转型,并减少燃煤发电。但据统计,2020年煤电仍占世界能源产量的35.1%,居世界能源首位,我国煤电产量将超过能源总产量的2/3。燃煤发电产生的大量粉煤灰及其广泛利用值得持续关注。

## 1 粉煤灰的性质

粉煤灰主要收集于电厂高温燃煤烟气中,与火山灰具有相似性质,故名粉煤灰。根据燃煤方式的不同,粉煤灰大致可分为两种:一种是煤在煤粉炉中经1300°C以上的高温产生的粉煤灰,其主要成分是莫来石、刚玉等致密稳定的矿物;另一种是煤在1000°C以下产生的粉煤灰,主要由未燃烧的煤、无定形偏高岭土和石英等结晶物质组成。根据含钙量不同,可分为低钙粉煤灰、高钙粉煤灰和高钙粉煤灰三大类。根据收集和处置方式的不同,可分为干灰、湿灰、脱水灰、除湿灰和细粉煤灰五类<sup>[1]</sup>。

根据粉煤灰颗粒的组成,可分为四类:Ⅰ类,含有球形粉煤灰颗粒,颗粒致密,流动性好,可作为良好的建筑材料;Ⅱ类除球形颗粒外,还含有少量熔融玻璃,减水效果比Ⅰ类差;Ⅲ类主要是熔融玻璃体和多孔疏松熔融玻璃体,经研磨后可用作建筑凝胶材料;Ⅳ类自由流动的玻璃和碳颗粒,结构松散,密度低,不能与混凝土混合。国外通常以CaO含量为标准,将粉煤灰分为C级和F级,C级CaO含量大于10%,CaO含量小于10%。粉煤灰呈白色至黑色。例如,高钙粉煤灰呈浅黄色,而低钙粉煤灰呈浅灰色。颗粒细小,不均匀,约0.5-400μm。小的粉煤灰颗粒表面光滑,多呈球形,俗称“微球”,而大的粉煤灰颗粒多呈不规则形状。粉煤灰的主要成分是石

英和莫来石等矿物晶体和玻璃状物质以及少量未燃烧的碳。粉煤灰的化学成分因煤源、煤种和燃烧方法而异。主要化学成分为SiO<sub>2</sub>和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,约占80%,还有少量的Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO、SO、TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、MnO<sub>2</sub>和Na<sub>2</sub>O等常量元素,以及Li、Ga、Ge、V和U等微量元素,具有较高的经济价值。

## 2 粉煤灰主要利用技术现状

### 2.1 建材方面的应用

粉煤灰的化学成分与粘土相似,是一种具有火山灰性质的混合物质,在一定条件下与水反应,形成类似水泥凝胶的胶状物质,具有一定的强度。使用粉煤灰制备水泥、混凝土和墙体材料的技术已经成熟。为以上述方式推广使用粉煤灰,GB 175-2007《通用硅酸盐水泥》、GB/T 1596-2017《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 17431.1-2010《轻集料及其试验方法第1部分:轻集料》GB/T 29423-2012《用于耐腐蚀水泥制品的碱矿渣粉煤灰混凝土》、GB/T 50146—2014《粉煤灰混凝土应用技术规范》、GB 26541—2011《蒸压粉煤灰多孔砖》、GB/T 36535—2018《蒸压粉煤灰空心砖和空心砌块》等标准对利用粉煤灰生产水泥、混凝土和墙体材料等产品提出具体的技术要求<sup>[2]</sup>。

### 2.2 粉煤灰在道路工程中的应用

伴随着现代化的技术和手段的不断进步,在公路施工中也得到了越来越多的应用。一方面,利用粉煤灰取代常规的水泥用于修建水泥,在减少公路施工费用的同时,还可以实现对混凝土初期塌落度、延迟初凝、减少水泥路面开裂几率、保证公路施工质量和施工质量的目的。同时,利用高含水量、高刚性和高稳定性的特点,对沥青混凝土的冻胀开裂起到预防作用。另外,还可以利用粉煤灰制作二、三灰质填料,解决桥头的跳车问题。

### 2.3 农业领域的应用

### 2.3.1 磁化肥

除了含有一定量的N, P, K之外, 还含有Mn, Fe, Na等多种金属, 可以用作一种磁性载体, 用于承载N, P, K等肥料, 并经过适当的加工, 可以得到一种新型的磁化肥。将粉煤灰制成磁化肥, 能增加土壤中的微量元素含量, 并能促使其产生活性物质, 起到松软土壤和提高作物产量的作用。对粉煤灰磁化肥对夏芝麻的增产效果进行了调查, 结果表明, 在使用了粉煤灰磁化肥后, 它的增产效果是最好的。与常规肥料比较, 使用了粉煤灰磁化肥的芝麻株高, 每株平均粒数多10粒, 种子充实, 产量平均高149.95kg/hm<sup>2</sup>, 还能对土壤的物理特性进行有效改善。在使用粉煤灰磁化肥、等量氮肥、有磷和有钾的肥料时, 对粉煤灰磁化肥对小麦、玉米和水稻的增产作用进行了试验, 发现在对各种土壤进行肥料施用时, 粉煤灰磁化肥相对于等量氮肥、磷肥和钾肥, 小麦的产量增加了10%, 玉米的产量增加了5.2%, 水稻的产量增加了10.3%, 具有显著的增产作用。粉煤灰中还含有硼、锰、铜、锌、钼、钴和硫等多种可供作物生长的微量元素, 它们可以溶于植物在生长过程中从根部释放出来的有机酸中, 被植物所吸收和利用。将其用于肥料工业, 能显著降低肥料使用量, 降低生产成本, 为农田施肥开辟了一条新路。然而, 对于磁化肥剩余磁性物质对土壤及农作物的影响机制, 人们只是进行了一些定性分析, 并没有达成一致。

### 2.3.2 改良土壤

通过调查发现, 以粉煤灰中速效磷和钾作参考, 可以达到三级的程度, 以富含的有机质为四级的程度, 而以铜等5种重金属为代表的五种重金属元素相对比较稳定, 不会对土壤产生重金属的污染。结果表明, 该湿地的土壤中梅罗重金属的含量达到了1.39, 而土壤中的潜在生态风险指标 RI达到了85.45, 属于轻度风险。粉煤灰中含有大量的营养物质, 是一种能够对土地进行改良和提高生物多样性的物质基础<sup>[3]</sup>。

利用粉煤灰进行矿区土壤、盐碱化土壤、荒漠化土壤以及农田土壤的改良与治理是一项极具发展前景的工程技术。结果显示, 当粉煤灰颗粒大小与土体相近时, 适当施用, 能使土体致密、孔隙结构发生变化, 使土体中的微生物活动加强, 对养分物质的转换有利; 另外, 由于粉煤灰中的无机元素含量较高, 对土壤中的氮、磷、钾等养分含量较低, 对土壤也有一定的改良作用; 同时, 粉煤灰对土壤有机质的降解起到了加速作用, 增加了一些微生物的活力, 同时也对一些霉菌产生了一定的抑制作用; 此外, 它还具有调控土壤pH值、改善盐

碱土的作用, 并具有吸附、固化、阻断其进入生物体的能力。采用粉煤灰作为肥料, 既能降低其本身的资源消耗, 又能改善土质, 增加农作物的增产效果。但由于其含有大量的重金属, 使其对土壤造成了一定程度的污染, 因此, 采用该技术还需要对其进行无害化处置, 这方面的研究有待进一步深入。

### 2.4 有价值组分的提取

粉煤灰中富含硅、铝、铁、碳、镓、锗等有价值成分, 从粉煤灰中提炼出有价值成分, 是粉煤灰高值化和资源化的关键, 也是粉煤灰资源化的一个热点。一些研究人员对飞煤灰中的各个元素提取技术展开了分析, 通过烧结法和酸法等可以从飞煤灰中提取硅、铝等常量元素, 沉淀法、吸附法和萃取法等可以从飞煤灰中提取镓、锗、硒等微量稀散金属元素和锂、钒、镍等能源金属元素。另外, 还开展了浮选、离子交换等方法从粉煤灰中回收能量金属的试验。我国也十分注重从粉煤灰中提炼有价值组分, 在内蒙古中部、山西等区域燃煤电厂产生的粉煤灰中, 氧化铝的比例高达40%-50%, 是一种十分珍贵且有很高的铝质资源, 在2011年, 国家发展改革委《关于进一步加强高铝粉煤灰资源开发利用的指导意见》中明确指出, 要以高铝质粉煤灰为原料, 大力发展以高铝质粉煤灰为原料制备氧化铝的新途径<sup>[4]</sup>。

### 3 国内粉煤灰综合利用现状及存在的问题

在现实生活中, 粉煤灰颗粒尺寸普遍在100μm以下, 具有很高的生物活性, 且其中铬、铅、汞等微量元素含量均在国家规定范围内, 对人类基本没有危害。在国内, 煤炭资源的综合回收率能超过60%, 而在现实中, 煤炭资源的回收率低于30%。考虑到在污染治理方面, 无论是在法律还是在管理条例层次上, 所采取的措施都与发达国家大同小异, 但是却没有进行分门别类和细化, 也没有相应的环境法律法规, 也没有进行监督。

当前, 我国对煤灰行业采取了“优先使用”的方针, 并加大了相关行业及资源化的力度, 同时相关行业的环保法规也在逐步健全。目前, 我国已经将粉煤灰列为普通固体废弃物进行处置, 但目前尚无专门针对粉煤灰防治的相关法律、规章。粉煤灰防治工作以《固体废物污染防治法》为主。但新出台的《环境保护法》堪称有史以来最严厉, 对导致污染的生产装置进行了详细列举, 而环保机构对这些装置的取缔力度并不大, 具体能起到多大作用还有待检验。

当前, 对产品的环境安全的规范也非常不健全, 当前, 对粉煤灰的综合利用与对粉煤灰的污染的治理是相互分离的, 一方面是对多个行政部门的联合负责, 另一

方面则是对环保问题的处理,缺少了总体上的配合,尤其是对产品的环境安全进行了记录和监控;节能检测的不完善,尤其是强制考核的执行常常会遇到各种障碍,其中就包括了制度上的压力,有些项目,不应该或需要改正的技术被释放了出来,在不同的利益的网络中,也存在着不同的原则。技术探索与国际先进水平之间存在着很大的差距,新工艺的产业化转化速度很慢,科学研究与工业结合得很差,工艺的推广力度不够<sup>[5]</sup>。

#### 4 我国粉煤灰综合利用的发展趋势

##### 4.1 长距离运输和异地化利用

长期以来,由于交通费用的制约,粉煤灰的长途输送多采用“水运”,因此,粉煤灰的出口主要集中在沿海、沿江地区,其中辽宁,河北和山东的粉煤灰出口可以很好的填补广东,福建和上海的粉煤灰出口空白。2018年,随着《推进运输结构调整三年计划(2018—2020)》的发布,我国启动了“公转铁、公转水”的货运模式,实现了“公转铁、公转水”的快速发展。因此,在山西,内蒙古,宁夏等煤炭资源丰富地区,将为我国煤炭资源丰富的地区,提供了向国外输送粉煤灰的机遇。

2018年10月,将来自山西省朔州市的粉煤灰通过铁路列车运送至河北唐山,然后通过水路运送至珠三角,从而达到了公铁两相结合的目的。大唐国际有限公司将内蒙古托克托发电厂的粉煤灰,于2020年四月经国家铁路运抵山东聊城;今年6月份,来自神华集团国能集团宁夏电厂的3200吨粉煤灰被一列货柜火车从甘肃银川运走,前往山东聊城。现在,在内蒙古的呼和浩特,乌兰察布,锡林郭勒,以及山西的大同,临汾等地,都在不断地用火车运送到山东,河北,以及广东,浙江,以及其他一些地方,则用海铁联运的办法,不断地用火车运送到这些地方。

##### 4.2 在生态修复和矿山工程等领域规模化应用

各地政府及有关企业已从重视其高值化的角度,逐

步将其应用于矿山回填及环境修复等技术较为成熟的大规模应用中。在《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》中,我国发展改革委也明确指出,将其用于矿山沉陷区治理、矿山充填、盐碱化及荒漠植被恢复等方面。而以CFB为代表的劣质粉煤灰,由于其自身性质的特殊性,目前还不能在建筑材料工业中大规模使用,但可以在生态恢复、矿山开采等方面得到广泛使用,是缓解CFB所带来的环境问题的一条重要路径。

“十四五”是国家生态文明建设的重要阶段,在“两山”理念得到广泛贯彻的大环境下,在新固废法、环境保护税法、粉煤灰资源化管理条例等方面,粉煤灰资源化与大规模资源化显得尤为重要,今后粉煤灰资源化的发展方向将更加注重于生态恢复与矿区治理。

#### 4 结束语

在国内,粉煤灰资源化是一项全面的探索工程。由于要对粉煤灰的应用进行全面的分析,同时也要对粉煤灰的应用进行全面的分析。应该在充分发挥国家相关法律、法规和政策的作用的前提下,也要考虑到目前为止,因为各个领域之间的差别比较大,以及在公共管理中还存在的一些问题,因此,要特别注重区域之间的差别,并进行差别对待。

#### 参考文献

- [1]王向锋.国内外粉煤灰综合利用现状综述[J].电力环境保护,2020(4):49—53.
- [2]张祥成,孟永彪.浅析中国粉煤灰的综合利用现状[J].无机盐工业,2020,52(2):1—5.
- [3]杨永明.全球燃煤发电现状与展望[J].电力决策与舆情参考,2020(21):11-14.
- [4]石川嘉崇.日本粉煤灰综合利用现状[C]//亚洲粉煤灰及副产石膏处理与利用技术国际交流大会.亚洲粉煤灰协会,建筑材料工业技术情报研究所,2020:145—147.
- [5]臧文超,王芳.坚持绿色发展,推进工业固体废物管理与利用处置[J].环境保护,2020,46(16):12-16.