

基于粉煤灰资源化综合利用的研究现状

严耀其（新疆化工设计研究院有限责任公司，新疆 乌鲁木齐 830000）

摘要：我国是一个人均占有资源储量有限的国家，粉煤灰的综合利用，变废为宝、变害为利，已成为我国经济建设中一项重要的技术经济政策，是解决我国电力生产环境污染，资源缺乏之间矛盾的重要手段，也是我国各个领域中常见的可利用资源之一。因此，本文将综述目前粉煤灰的常见处理技术，粉煤灰应用领域的研究进展以及粉煤灰对现今环境的影响和应对措施，并对粉煤灰的综合利用发展做出展望，提出粉煤灰资源合理化利用，低成本高附加值利用的发展方向。

关键词：粉煤灰；资源化；综合利用；现状；经济效益

粉煤灰是煤粉燃烧后被集尘装置所捕集下来的细小微粒，其粒径在 $0.5\text{~}300\mu\text{m}$ 不等，主要来源包括火力发电厂、工业锅炉、热处理系统等，其化学组成取决于燃烧煤的化学性质。粉煤灰中的化学组成为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 Fe_2O_3 等，其中 SiO_2 、 Al_2O_3 的占比可达 60% 以上，蕴含丰富的硅铝资源，如能有效利用，既能弥补人类发展和工业发展中对硅、铝的迫切需求，又能达到固体废弃物的高效利用的目的。

1 粉煤灰资源化综合利用的意义和经济价值

粉煤灰具有丰富的资源价值和经济效益。粉煤灰资源化综合利用可以实现资源的高效利用，促进绿色经济的发展。其意义和经济价值主要表现在以下几方面：首先，粉煤灰是一种具有广泛应用价值的资源。粉煤灰可以作为工业原材料，应用于水泥、玻璃、陶瓷等多个领域。此外，粉煤灰还可以用于道路建设、生态修复等领域。粉煤灰的多种应用，可以有效推动相关产业的发展，实现资源的最大限度利用。其次，粉煤灰资源化综合利用可以实现节能减排。利用粉煤灰可以替代部分天然原材料，减少资源消耗，并能减少煤燃烧过程中产生的二氧化碳等有害气体的排放。这有助于保护环境，维护生态平衡，进一步促进可持续发展。最后，粉煤灰资源化综合利用有助于推进循环经济模式的实施。在粉煤灰综合利用中，重点强调对资源的最大化开发和回收再利用。这有助于将粉煤灰转化为一种可持续利用的资源，降低废弃物的排放量，实现从废弃物到资源的转化，进一步推进了循环经济的发展。

2 现今粉煤灰常见的处理技术

2.1 重力分离法

粉煤灰处理技术中的重力分离法是一种较为简单的处理方法，其基本原理是利用颗粒物料在离心力和

重力作用下的不同运动规律，通过离心分离达到物料粗细分离的目的。该方法可以分离出在粉煤灰中含量较高的重金属元素、硫化物和硫酸盐等有害物质，从而减少对环境的污染。但是，重力分离法只适用于颗粒度差异较大的物料，在处理颗粒度差异较小的粉煤灰时效果不佳。因此在实践中需要与其他处理技术结合使用，以达到更好的处理效果。

2.2 磁选法

磁选法是一种常用的粉煤灰处理技术，其主要原理是利用磁性物质对粉煤灰中的磁性物质进行吸附分离。磁选法可以有效地分离粉煤灰中的铁、铜、铝等金属元素，提高粉煤灰的利用价值。磁选法可以分为干磁选和湿磁选两种方式。干磁选一般应用于处理颗粒较大、磁性强的粉煤灰，操作简单、成本较低。湿磁选则应用于处理颗粒较细、磁性较弱的粉煤灰，需要使用湿式磁选设备，并需要进行回收、再利用磁性物质。磁选法在粉煤灰综合利用中有广泛的应用。例如：在水泥生产中，磁选法可有效分离粉煤灰中的铁元素，提高水泥的质量。在硅酸盐材料制备中，可以分离粉煤灰中的磁性颗粒，用于制备高性能的硅酸盐材料。但要注意的是，磁选法会对粉煤灰中的非磁性物质产生影响，因此，在选择此处理技术时，需要全面考虑各方面因素，选择最适合的处理方式。

2.3 浮选法

浮选法是利用粉煤灰中矿物与泡沫剂的吸附作用，使得泡沫剂和水气形成泡沫群，将不良矿物沉积物从泡沫带入矿液表面，实现分离的方法。浮选法分为自由浮选、胶浮选、溶液浮选、酸中和浮选等多种类型，能够进行高效、可控、低能耗的实现对粉煤灰中有用成分的分离和提取。其中，胶浮选方法具有独特的优势，因为泡沫剂是由软化点低、熔点低和粘度

低的油溶性聚合物制成，能够有效地保持在粉煤灰表面和快速抑制矿物的浸透。此外，浮选法技术的环保性也非常优越，对于矿物破碎和磨矿来说，其占地面积小、噪音小、粉尘率低，并节约了水资源，是一种很好的粉煤灰处理技术。

2.4 化学改性法

化学改性法是指通过在粉煤灰中加入一些化学物质，改变粉煤灰的性质和结构，使其具有新的应用价值的方法。化学改性法主要目的是提高粉煤灰的活性和稳定性。具体常用的化学改性方法包括表面改性、矿化作用和溶出反应等。表面改性是指在粉煤灰表面添加一定的表面活性剂，改变其表面性质。这种方法主要是改变粉煤灰的表面点电荷，提高其流动性和分散性。表面改性方法的优点是操作简单、成本低廉，但其改性效果受到温度、湿度、pH值等多种因素的影响。矿化作用指将粉煤灰中的某些物质转化为具有固化作用的化合物，如将飞灰中的无机合金转变为水硬性物质。这种方法主要应用于水泥制造中，可以替代部分水泥原料，也提高了水泥的强度、耐久性和韧性。化学改性法的研究成果在水泥、建筑材料、冶金等领域得到广泛应用，实现经济效益与环境保护的双赢。

3 粉煤灰的应用现状与经济效益

3.1 生产水泥

粉煤灰在水泥生产中的应用最为广泛。由于其中的 SiO_2 、 Al_2O_3 、和 Fe_2O_3 等氧化物有助于水泥熟料的合成和反应的催化作用，因此可将粉煤灰掺入水泥熟料中，制成普通硅酸盐水泥、矿渣水泥、粉煤灰水泥等各种新型水泥产品。粉煤灰所掺入水泥的质量控制是关键，在掺入过多的情况下可能导致水泥强度下降，但适量掺入粉煤灰有助于提高水泥的抗压强度、抗渗透性、抗碱-骨架腐蚀性等性能，降低碳排放，从而实现经济和环境效益的双赢。除了掺入水泥生产中，粉煤灰还可作为水泥助磨剂、再生混凝土材料、混凝土添加剂、混凝土制品及预制构件、无机胶凝材料等多方面应用，具有广阔的市场前景和经济价值。

3.2 道路建设

粉煤灰在道路建设领域有广泛的应用。其中，以加入沥青混合料中为最为常见。粉煤灰可以增强沥青混合料的抗水性、抗变形性和抗裂性等，也可以延长路面使用寿命，降低养护成本。此外，粉煤灰还可作为道路土工材料，增加路基的稳定性和承载能力，同

时能够起到减缓渗透和稳定边坡的作用。在道路建设中，粉煤灰的应用不仅能够降低建设成本，还能够改善道路的使用性能，从而提高路面的安全性和舒适性。

3.3 硅酸盐材料制备

硅酸盐材料是指以硅酸盐化合物为主要原料，通过热处理或水化反应形成的材料。粉煤灰在制备硅酸盐材料方面具有广泛的应用前景。通过适当的改性和热处理可以得到不同性质和用途的硅酸盐材料。其中，最常见的硅酸盐材料包括矿物质水泥、高性能混凝土、陶瓷材料、玻璃纤维等。粉煤灰作为硅酸盐材料的原料之一，其利用将有助于减少对天然资源的利用和对环境的影响。目前，已有多种方法和技术用于利用粉煤灰制备硅酸盐材料，例如：利用化学方法、水热处理、热压法和溶胶-凝胶法等。其中，化学方法在制备硅酸盐材料方面具有广泛的应用前景。通过控制反应条件和改变原料比例等因素，可以制备出不同性质和用途的硅酸盐材料。在硅酸盐材料制备过程中，粉煤灰的利用可以减少废弃物的产生，还可以提高材料的性能和使用寿命，促进资源的可持续利用。因此，粉煤灰在硅酸盐材料制备中的应用具有很高的应用价值。

3.4 修复生态

利用粉煤灰进行生态修复成为一种可靠的解决方案。粉煤灰具有良好的化学性质和含量适宜的多种元素、矿物质等特点，可以用于修复矿区、盐碱地、荒漠化及城市绿化等多个领域。在矿区生态修复中，将粉煤灰与其他填充材料混合填充到矿区危险地带和高风险地带，可以控制其水位高度，加速植物生长，最终恢复原有的自然生态环境。在盐碱地修复中，可以将粉煤灰与石灰或硅酸钠等化学物品混合施入土壤，大大提高了土壤的水分能力，消除了盐碱并促进了植物的生长。此外，粉煤灰还可以利用其吸附和种子萌发的作用在荒漠化地区进行植树造林。这些方式能有效改善生态环境，实现生态稳定和可持续发展。当然，在使用粉煤灰进行生态修复时，需要注意不同领域下粉煤灰的适用范围和使用条件，以及对植物的影响和应用效果等问题，以实现最大化的生态修复效果，确保不会对环境造成负面影响。

3.5 其他领域

农业领域：粉煤灰可以应用于土壤改良，提高土壤肥力。粉煤灰中的微量元素可以促进植物生长，提高作物产量。此外，粉煤灰在燃煤锅炉中产生的高温炉渣，也可以应用于土壤改良。**动物饲料：**粉煤灰含

有丰富的蛋白质和氨基酸等营养成分，可以作为饲料添加剂，提高动物的生产性能。电子材料：粉煤灰可以制备电容器、热敏电阻等材料，还可以用于制备超高分子量聚乙烯等塑料材料。最后，粉煤灰还有许多其他应用领域，如陶瓷制品、玻璃制品、火箭发动机等。随着技术的发展和不断的研究，可以预见，粉煤灰的应用领域将会更加广泛。

4 粉煤灰对现今环境所产生的影响与相应控制方法

4.1 粉尘污染

粉煤灰在处理过程中会产生粉尘，这些粉尘会对周围环境和人体健康造成污染和危害。粉尘污染的主要途径包括空气和土壤。在重力分离、磁选和浮选等处理粉煤灰的过程中，很容易产生大量的粉尘颗粒物，这些颗粒物会在空气中漂浮，形成空气污染。而浮选废水中的粉尘会在土壤中析出，形成土壤污染。因此，粉煤灰处理过程中需要采取有效的防护措施，减少粉尘的产生和扩散，避免粉尘对环境和人体造成的危害。

4.2 土壤污染

在粉煤灰综合利用过程中，可能会对土壤产生污染。如果粉煤灰经过不恰当的处理方式，例如直接倾倒在地面上或用于填埋场，可能会导致土壤中重金属等有害物质的超标。这些有害物质会被土壤吸附或蒸发出空气中，对环境和生态造成潜在风险。为了解决这个问题，可以采用将粉煤灰经过化学改性、固体化和稳定化等技术手段来降低它的毒性和危险性，防止对土壤和环境造成负面影响，实现可持续利用和资源化再利用的目标。

4.3 水体污染

粉煤灰的应用领域中，水泥生产和道路建设等传统领域应用较为广泛，但是粉煤灰对水体环境的污染也受到广泛关注。粉煤灰中含有一定量的重金属和有机物质，如果不正确处理，会对周边水环境造成不良影响。主要的污染途径包括：粉煤灰厂区降雨和废水通过渗滤池、污水沉淀池等工艺设施后排放至河道，以及储存、运输和应用过程中的粉尘、渗漏和排放。水中重金属污染对水生生物和人体健康都有一定危害。为了减轻粉煤灰对水体环境的污染，应加强对粉煤灰的管理和监管，对粉煤灰的储存、运输和应用过程进行有效控制。此外，研究表明通过热水浸泡等方法可将粉煤灰中的重金属等有害物质大部分去除，也可通过生态修复、植物吸收等手段对污染水体进行治理。综合利用粉煤灰资源能够达到节能减排的目的，

还可以减轻粉煤灰对水环境的影响，推进可持续发展。

4.4 噪声污染

粉煤灰作为一种废弃物，对其综合利用可以降低环境污染，也可以有效促进经济发展。但在粉煤灰综合利用过程中，也需要注意其对环境产生的影响。其中，噪声污染就是值得注意的问题。粉煤灰综合利用产生的噪声主要来自于工程设备的操作和物流运输。在粉煤灰加工过程中，需要使用到多种机械设备，如破碎机、筛分机等，这些设备在操作时会产生噪音。同时，在粉煤灰物流运输过程中，也需要使用各种车辆，这些车辆在行驶中同样会产生噪声。噪声污染对周边环境和人类健康都会产生不良影响。长期暴露于高噪声环境下，人体内分泌失调和免疫功能下降等问题都会逐渐显现。因此，在粉煤灰综合利用过程中，需要采取多种措施降低噪声污染，应当优先选择噪音较小的机械设备。还可以采取隔音措施，如加装隔音罩、在固定位置加装吸音材料等。在物流运输方面，也可以选择噪音较小的交通工具，并根据实际情况进行路面改造和降速限噪。

5 结论与展望

随着国家加大环境保护力度，资源节约和环境保护逐渐成为国家和地方政府的基本要求。粉煤灰资源化综合利用是发展节能环保型经济社会的必然选择。粉煤灰作为煤炭燃烧后的副产品，其蕴含丰富的硅铝资源以及少量的有价金属资源，如果能够得到有效的开发，能减少对环境的污染，也能够为国民生态健康做出贡献，并能解决固体废弃物堆积，实现粉煤灰低成本高附加值利用的目的。因此，粉煤灰资源化综合利用是可持续发展的必要内容，也是企业实现可持续发展的必经之路。

参考文献：

- [1] 王迪, 乔亮, 龚浩等. 粉煤灰资源化综合利用研究现状 [J]. 现代矿业, 2021, 37(5):18-20.
- [2] 张丽. 粉煤灰资源化综合利用的现状分析 [J]. 能源与节能, 2015(9):114-116.
- [3] 喻良. 燃煤电厂粉煤灰资源的综合利用现状及今后发展重点 [J]. 江西能源, 2002(2):7-9.
- [4] 王立刚, 朱曦光. 我国粉煤灰资源综合利用现状及今后发展重点 [J]. 北京节能, 1999(4):3-5.

作者简介：

严耀其（1995-），男，青海海东人，硕士研究生，研究方向：固废资源合理利用。