

# 生活垃圾焚烧飞灰处置技术分析

吴太军

重庆市武隆区三峰新能源发电有限公司

**摘要:** 本文通过分析生活垃圾焚烧飞灰的处置技术, 揭示了其对环境和人类健康的影响。焚烧是一种常见的垃圾处理方法, 但焚烧过程中产生的飞灰成了垃圾焚烧处置最大“堵”点, 由于其含有有害物质和重金属, 如未得到妥善处置, 将对环境和生态系统造成潜在危害。本文将分析物理处理、化学处理和生物处理等飞灰处置技术, 并分析其优缺点。最后, 本文提出了相应的改进措施, 还将展望飞灰处置技术的发展趋势, 包括环保法规的影响以及可持续发展的要求, 希望可以为指导飞灰的有效处置和保护环境提供一定参考。

**关键词:** 生活垃圾焚烧; 飞灰处置技术; 技术分析

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.12.108

## 引言

垃圾焚烧技术作为最普遍的生活垃圾处理方式, 焚烧可以减少垃圾的体积和质量, 并转化为热能。然而, 焚烧过程中产生的飞灰成了一个引起关注的问题。飞灰是指从焚烧炉中随烟气排放而产生的固体颗粒物, 它包含了有害物质和重金属, 具有潜在的环境和健康风险。因此, 飞灰的有效处置和处理成了一个迫切的任务。在过去的几十年里, 针对飞灰的处理技术不断发展和完善。物理处理、化学处理、生物处理和热处理等技术被广泛应用于飞灰的处置过程中<sup>[1]</sup>。

### 一、生活垃圾焚烧过程和产生的飞灰分析

#### (一) 生活垃圾焚烧工艺概述

生活垃圾焚烧是一种常见的垃圾处理技术, 通过高温氧化分解将垃圾转化为热能和灰渣。该工艺通常包括预处理、燃烧和排放处理三个主要步骤。预处理阶段包括垃圾的收集、储存发酵、沥出渗滤液等过程, 以提高燃烧效率和减少有害物质的排放。燃烧阶段将垃圾在高温下燃烧, 产生热能和灰渣。排放处理阶段通过烟气净化设备对燃烧过程中产生的气体和颗粒物进行处理, 以减少对环境和健康的影响<sup>[2]</sup>。

#### (二) 飞灰的特性和危害

飞灰具有多种特性和危害。首先, 由于其中含有未完全燃烧的有机物和无机物, 飞灰具有较高的热值和易燃性, 容易引发火灾和爆炸。其次, 飞灰颗粒细小, 容易悬浮在空气中并传播到周围环境, 导致空气污染和呼吸道疾病。此外, 飞灰中的重金属元素具有生物蓄积性和毒性, 长期暴露可能对生态系统和人类健康造成潜在风险<sup>[3]</sup>。

### 二、飞灰处置技术分类

#### (一) 物理处理技术

##### 1. 稳定化填埋

稳定化填埋是一种处理垃圾焚烧飞灰的方法, 它通过使用稳定剂将飞灰固化后进行填埋。这种方法利用稳定剂中的硫酰胺类共聚物与过渡态重金属离子发生螯合沉淀反应, 将重金属稳定在固化后的沉淀物中。虽然稳定化填埋技术已广泛应用, 但它需要占用大量土地资源, 并且还需要进一步研究以确保填埋产物的长期稳定性和环境安全性。

##### 2. 危废填埋场填埋

危险废物填埋场填埋是一种将垃圾焚烧飞灰以密封容器形式运送至专门的危险废物填埋场进行处理的方法。尽管这是一种被认为最安全可靠的处理方式, 但由于危险废物填埋场的建设和运营成本较高, 与生活垃圾填埋场相比, 经济上的平衡性较差。此外, 该方法无法实现节约土地和循环利用资源的目标, 因此在实际应用中较少采用。

#### (二) 化学处理技术

##### 1. 酸碱中和

酸碱中和是一种常用的化学处理技术, 通过添加酸性或碱性物质来中和飞灰中的酸性或碱性物质, 以降低其对环境的危害。酸碱中和可以调节飞灰的pH值, 减少有害物质的溶解度和释放, 从而降低其对水体和土壤的污染风险。

##### 2. 硬化固化

硬化固化是一种将飞灰转化为坚硬固体材料的化学处理技术。通常采用添加硬化剂或固化剂的方法, 将飞灰与固化材料混合, 经过反应后形成具有一定强度和稳定性的固体块。硬化固化技术可以有效地稳定飞灰中的有害物质, 从而防止其释放到环境中, 同时还能提高飞灰的利用价值和减少排放量。

##### 3. 电渣处理

电渣处理是一种利用电化学原理对飞灰进行处理的化学技术。通过将飞灰置于电解槽中, 施加电流使飞灰中的有害物质发生电化学反应, 从而实现其转化或沉淀。电渣处理可以高效地去除飞灰中的重金属离子和有害物质, 减少其对环境和生态系统的危害。

#### (三) 生物处理技术

##### 1. 微生物处理

微生物处理是利用微生物的代谢能力来分解和转化飞灰中的有机物和污染物的生物处理技术。通过引入适宜的微生物菌种和优化处理条件, 可以加速飞灰中有机物的降解和转化过程。微生物处理技术具有高效、环境友好和可持续等优势, 能够降低飞灰中有机物的含量和对环境的潜在危害。

##### 2. 植物修复

植物修复是利用植物的吸收、积累和转化能力来修复飞灰中的有害物质的生物处理技术。通过选择具有较强耐受性和吸附能力的植物种类，将其种植在含有飞灰的土壤或水体中，植物根系吸收和转移有害物质，促进飞灰中污染物的降解和稳定化。植物修复技术可在一定程度上改善飞灰对土壤和水体的污染，具有生态友好和可持续性的特点。

### 3. 生物固化

飞灰生物处理技术还可以利用某些微生物产生的胞外聚合物，将飞灰中的颗粒固结在一起形成固体块状物。这些胞外聚合物具有黏合性和胶凝性，可以将细小的飞灰颗粒与其他固体物质结合在一起，形成较大且稳定的块状结构。这种固结作用有助于减少飞灰的可溶性和释放性，提高其稳定性和处理效果。

## 三、飞灰处置技术的优缺点分析

### （一）物理处理技术的优缺点

优点方面，物理处理技术通常具有较高的处理效率和处理能力，能够快速地对飞灰进行分离、筛分或磁选，从而降低颗粒物的悬浮浓度和减少对环境的污染。同时物理处理技术能够有效地分离和回收飞灰中的有用物质，如金属、玻璃等，实现资源的回收利用，减少对自然资源的依赖。另外物理处理技术通常操作简单，不需要添加大量化学药剂或进行复杂的反应过程，降低了处理成本和技术门槛。

缺点方面，物理处理技术对于特定类型的飞灰可能存在适用范围的限制，不同组分和颗粒特性的飞灰可能需要采用不同的物理处理方法，增加了技术选择和适应性的难度；主要针对飞灰的颗粒物进行分离和回收，对于其中的溶解性或挥发性有害物质无法完全去除，仍可能存在潜在的环境和健康风险；某些物理处理技术需要消耗较大的能量，如磁选法需要提供强磁场，筛分技术需要提供适当的气流等，这可能增加处理过程的能源消耗和运营成本。

### （二）化学处理技术的优缺点

优点方面，化学处理技术能够针对飞灰中的特定污染物进行有针对性的处理，具有一定的灵活性和适用性。化学处理技术通过酸碱中和、硬化固化或电渣处理等方法，能够与飞灰中的有害物质发生化学反应，使其发生转化、沉淀或固化，从而有效去除重金属离子、有机污染物等有害成分，降低其对环境和人体健康的潜在危害；能够改变飞灰的物理和化学性质，降低其毒性和危害性，从而提高飞灰的利用价值。例如，通过硬化固化技术，可以将飞灰转化为坚硬的固体块，作为建筑材料或其他工业用途的原料，实现资源的有效利用，减少对自然资源的消耗。

缺点方面，在化学处理过程中，有时会产生一些副产物，如沉淀物、溶液或废水等。这些副产物可能含有一定的污染物，需要进行安全处理和排放，以避免对环境造成二次污染。

### （三）生物处理技术的优缺点

优点方面，首先，生物处理技术是一种环境友好的方法。相比于传统的化学处理技术，生物处理技术通常不需要大量添加化学药剂，因此减少了对环境的二次污染和化学物质的消耗。生物处理技术利用自然界已经存在的微生物或植物来降解、吸附或转化有害物质，使得处置过程更加自然和可持续。其次，生物处理技术具有广泛的适用性和处理能力。微生物处理技术可以对飞灰中的有机物进行有效降解和转化，通过微生物代谢活动，将有机污染物分解为无害的物质，从而降低其对环境和人体的危害。植物修复技术则可以吸附重金属离子和其他污染物，通过植物的根系、叶片和树干等部分，将有害物质吸收并稳定在植物体内，达到净化环境的效果。此外，生物处理技术还具有较高的资源利用效率。

缺点方面，首先，生物处理技术的处理效率受到一定限制。微生物处理过程通常需要一定的培养周期和适宜的生长环境，植物修复技术也受到植物生长周期和生长条件的制约。这意味着生物处理技术的处理时间较长，处理效果可能不够迅速和高效。在实际应用中，需要权衡处理效率和处理周期之间的平衡，以满足处理的要求。其次，生物处理技术对操作和控制要求较高。微生物处理需要控制适宜的温度、pH值和氧气供应等因素，植物修复技术则需要选择适宜的植物种类和生长条件。这要求操作人员具备一定的专业知识和技术能力，能够准确地控制处理过程中的各项参数。否则，处理效果可能会受到影响，甚至无法达到预期效果。

### （四）热处理技术的优缺点

热处理技术在生活垃圾焚烧飞灰处置中具有一些明显的优点。首先，热处理技术可以有效地降低飞灰的体积和质量。通过高温处理，飞灰中的有机物质可以被分解，水分和挥发性物质可以蒸发，从而减少飞灰的体积和质量。这有助于减少储存和处置的空间需求，并减少对环境影响。其次，热处理技术可以实现资源回收和能量利用。在热处理过程中，可以回收利用飞灰中的有价值物质，如金属、玻璃、陶瓷等。这些回收物质可以作为次生资源进行再利用，减少了对原生资源的依赖，并具有经济价值。此外，热处理过程产生的热能可以通过能量回收设备进行捕获和利用，用于供热、发电或其他能源需求，提高能源利用效率。

然而，热处理技术也存在一些缺点需要注意。首先，高温处理过程可能会产生废气和废水，其中可能含有有害物质或高温气体。这些废气和废水需要经过适当的处理和净化，以避免对环境和人类健康造成潜在危害。因此，在应用热处理技术时，必须配备相应的气体净化和废水处理设备，以确保排放符合环境标准。其次，热处理技术的操作和控制要求较高。热处理过程中需要精确控制温度、停留时间和加热速率等参数，以确保飞灰得到充分的处理和转化。此外，热处理过程中还需要避免过高的温度和过长的停留时间，以防止产生有

害物质或破坏环境设备。因此，需要严格的操作和监测控制，以确保热处理过程的安全性和处理效果。

#### 四、生活垃圾焚烧飞灰处置技术的改进措施

##### （一）技术集成和组合

通过将不同的处置技术进行集成和组合，可以发挥各个技术的优势，提高整体处理效果和资源利用率。其中可以采用多技术联合处理飞灰，例如，可以将物理处理技术与化学处理技术相结合。首先，利用重力分离和筛分技术对飞灰进行初步分离和分类，将大部分的可回收物质和有机物分离出来。然后，采用化学处理技术如酸碱中和或硬化固化，对分离后的飞灰进行进一步处理，以减少有害物质的释放和稳定化飞灰。另外可以将热处理技术与生物处理技术相结合。例如，可以将热稳定化和生物堆肥技术组合使用。首先，将飞灰进行热稳定化处理，以分解有机物质和消除有害物质。然后，将热稳定化后的飞灰用于生物堆肥，通过微生物的作用，进一步降解有机物质并转化为有机肥料。这种技术组合可以综合利用热处理和生物处理的优点，实现飞灰的有效处理和资源化利用。

##### （二）新材料的开发和应用

通过研发和应用新材料，可以改善飞灰处置过程中的处理效果、资源利用率和环境友好性。可以开发具有吸附和固化能力的新材料用于飞灰处理，例如，研发出具有高吸附性能的吸附剂，可以有效地吸附和去除飞灰中的有害物质，如重金属、有机污染物等。同时，开发具有固化能力的新材料，如水泥基固化剂或聚合物固化剂，可以将飞灰中的有害物质稳定化，并将其转化为固体块状物质，减少其对环境的释放。另外还可以开发可再生材料用于飞灰处理。可再生材料是指来源于可再生资源的材料，具有较低的环境影响和可持续性。例如，利用生物质材料、废弃物纤维等可再生资源制备生物基复合材料，可以用于飞灰的固化和资源回收。这样的材料不仅减少了对传统资源的依赖，还促进了废弃物的综合利用，实现了资源的循环利用。

##### （三）过程优化和控制

通过对处置过程进行优化和精确控制，可以提高处理效率、降低能耗、减少污染物排放，并实现对处置过程的可持续管理。首先可以通过优化处理工艺和操作参数来提高处置效率。例如，可以优化焚烧工艺中的温度、氧气供应和停留时间等参数，以提高燃烧效率和飞灰的稳定化程度。此外，优化物理分离过程中的筛网尺寸、振动频率等参数，可以提高固体废物和有机物的分离效果。通过对处理工艺和操作参数的优化，可以实现更高效、更稳定的飞灰处置过程。其次可以引入先进的监测和控制技术，实现对处置过程的精确控制和实时监测。例如，通过应用先进的传感器技术和自动化控制系统，可以对焚烧温度、废气排放、固体废物流量等关键参数进行实时监测和控制。这样可以及时调整操作参数，确保处置过程的稳定性和环境合规性。同时，利用

数据分析和智能化技术，可以对处置过程进行优化和预测，以提高整体处理效果和资源利用率。

##### （四）环境影响评估和管理

在飞灰处置过程中，进行全面的环境影响评估和管理，以确保处理技术的可持续性和环境友好性。这包括对处理过程中产生的副产物、废水和废气等进行监测和控制，以减少对环境的负面影响。同时，建立完善的废物管理和处置体系，包括废物的分类、储存、运输和最终处置，以确保处置过程的安全性和合规性。

##### 五、飞灰处置技术的发展趋势

飞灰处置技术的发展趋势受到环保法规的影响，并与可持续发展的要求相结合。随着环保意识的不断提高和环境法规的日益严格，飞灰处置技术正朝着更加环保和可持续的方向发展。首先，环保法规的制定和执行对飞灰处置技术提出了更高的要求。各国政府纷纷出台了针对固体废弃物和污染物排放的法规和标准，限制了对环境的污染。这促使飞灰处置技术在减少废物产生、降低有害物质排放、提高资源利用效率等方面进行创新和改进，以满足环境法规的要求。其次，可持续发展的要求推动了飞灰处置技术朝着更加可持续的方向发展。可持续发展要求在废弃物处置过程中减少对自然资源的依赖、减少对环境的负面影响，并实现资源的有效利用。因此，飞灰处置技术在资源回收和能量利用方面的研究得到了更多关注，如将飞灰中的金属、玻璃等有价值物质回收利用，以及通过能源回收设备捕获和利用热能。

##### 六、结论

综上所述，飞灰处置技术的研究和应用不仅是解决垃圾处理难题的关键，也为清洁环境和可持续发展作出了重要贡献。在飞灰处置技术的研究和应用中，我们可以看到各种不同的技术和措施被提出和探索，旨在改善飞灰的处理效果、资源利用和环境友好性。物理处理、化学处理、生物处理和热处理等技术为飞灰处置提供了多样化的选择。然而，每种技术都存在着一定的优点和缺点。因此，为了实现更优秀的飞灰处置技术，技术集成和组合以及新材料的开发和应用成为关键措施之一。通过优化过程和精确控制，可以提高处置效率和环境友好性。此外，受环保法规和可持续发展的影响，飞灰处置技术将继续朝着更环保、可持续的方向发展。

##### 参考文献

- [1] 李钦钦, 冉根柱, 张鹏. 全国生活垃圾焚烧飞灰处置现状及趋势分析[J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(02): 99-102+108.
- [2] 刘锡军. 生活垃圾焚烧飞灰无害化处理及资源化利用研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(01): 108-109+112.
- [3] 魏秀珍, 苏敏婷, 查三妹, 黄鑫, 曹棋, 刘雅婷, 胡华南. 城市生活垃圾焚烧飞灰中重金属稳定化试验研究[J]. 当代化工研究, 2022, (21): 86-88.