

水煤浆气化过程中的灰渣处理与资源化利用

梅 兰

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司甲醇分公司 宁夏 银川 750000

摘 要：本文深入探讨水煤浆气化过程中灰渣的产生、特点、处理方法及其资源化利用途径。分析了灰渣在物理性质和化学组成方面的特性，详细阐述机械处理、水洗处理和化学处理等多种处理方法的原理及技术细节。同时，对灰渣在建筑材料、道路工程、农业等领域的资源化利用进行了全面研究，旨在推动水煤浆气化灰渣的高效处理与综合利用，实现资源的循环利用和环境的可持续发展。

关键词：水煤浆气化；灰渣处理；资源化利用途径

引言

水煤浆气化技术作为煤炭清洁高效利用的重要手段之一，在现代能源化工领域发挥着关键作用。在水煤浆气化过程中，不可避免地会产生大量的灰渣。这些灰渣若不进行妥善处理与合理利用，不仅会占用大量土地资源，还可能对环境造成污染。随着环保要求的日益严格和资源循环利用理念的深入发展，水煤浆气化灰渣的处理与资源化利用已成为该领域的研究热点和重点关注问题。对灰渣的有效处理和资源化利用，不仅可以降低企业的生产成本，还能实现资源的最大化利用，减少对环境的负面影响，具有显著的经济、环境和社会效益。

1 水煤浆气化灰渣的产生及特点

1.1 产生过程

水煤浆气化是在高温高压条件下，将水煤浆与氧气发生复杂的化学反应，使煤中的可燃成分转化为合成气。在这个过程中，煤中的矿物质在1300-1500℃的高温环境下，经历一系列物理和化学变化。首先，矿物质中的水分迅速蒸发，接着部分矿物质发生分解反应，如碳酸盐分解为金属氧化物和二氧化碳。然后，这些金属氧化物与其他矿物质成分之间会发生固相反应，形成复杂的矿物相。最终，这些矿物相在高温下熔融，冷却后形成灰渣。由于煤种的多样性以及气化工艺参数的差异，灰渣的产生量和性质会有所不同。

1.2 灰渣特点

1.2.1 物理性质

气化灰渣主要由细颗粒组成，其粒度分布呈现较宽的范围，从几微米到数毫米不等。这种粒度分布的特性与气化过程中的物理变化以及煤中矿物质的原始粒度密切相关。在高温气化过程中，煤颗粒的破碎和矿物质的熔融、团聚等现象导致了灰渣粒度的不均匀性。灰渣的颜色通常为黑色或深灰色，这是由于在高温反应过程

中，矿物质与未完全燃烧的碳等物质相互混合。未完全燃烧的碳分散在灰渣中，使得灰渣呈现出较深的颜色。此外，灰渣的堆积密度一般在1.0-1.5g/cm³之间，这一参数对于灰渣的储存、运输和后续处理都具有重要影响。

1.2.2 化学组成

灰渣的化学组成较为复杂，主要包含多种矿物质成分。其中，二氧化硅和氧化铝的含量相对较高，它们是构成灰渣的主要骨架成分。这些成分的含量比例会因煤种的不同而产生显著差异。例如，在一些高硅煤种气化产生的灰渣中，SiO₂的含量可能高达60%以上；而在某些富含铝土矿的煤种气化灰渣中，Al₂O₃的含量会相对突出。同时，灰渣中还含有氧化钙、氧化铁等其他金属氧化物。这些金属氧化物在灰渣的性质和后续利用中发挥着重要作用。此外，灰渣中不可避免地含有一定量的未燃尽碳，其含量通常在10%-30%左右。未燃尽碳的含量受到气化工艺参数以及煤质的影响。较高的反应温度和合适的氧煤比有助于降低未燃尽碳的含量，但实际生产中需要综合考虑各种因素来优化工艺条件。

2 灰渣处理方法

2.1 机械处理

2.1.1 破碎与筛分

由于灰渣颗粒大小不均匀，破碎与筛分是预处理的重要环节。破碎的目的是将大块灰渣破碎成较小的颗粒，以便后续的处理和利用。对于粒度大于10mm的灰渣，通常采用颚式破碎机进行粗碎。颚式破碎机通过动颚和静颚之间的相互挤压作用，将大块灰渣破碎成中等粒度的颗粒。其工作原理基于挤压破碎理论，利用动颚的周期性摆动，使物料在两颚板之间受到挤压、弯曲和劈裂等作用力而破碎。粗碎后的灰渣再进入圆锥破碎机等设备进行中碎和细碎。圆锥破碎机通过轧臼壁向破碎壁运动挤压物料，使物料在破碎腔内受到多个方向的挤

压和弯曲作用,进一步细化颗粒。在筛分过程中,振动筛是常用的设备。振动筛利用振动电机产生的激振力,使筛面产生高频振动,灰渣颗粒在筛面上跳动并通过筛孔进行分离。可以根据不同的应用需求,筛分出0-1mm、1-5mm、5-10mm等不同粒度级别的灰渣。例如,较细的灰渣颗粒可能更适合用于某些对粒度要求较高的建筑材料生产,而较大粒度的灰渣则可用于道路基层材料的制备。

2.1.2 磁选分离

灰渣中可能含有一定量的磁性物质,如铁的氧化物。利用磁选机可以将这些磁性物质从灰渣中分离出来^[1]。磁选机的工作原理是基于磁性物质在磁场中受到磁力作用的特性。常见的磁选机有滚筒式磁选机,其内部装有磁系,产生强磁场。当灰渣通过磁选机的滚筒表面时,磁性颗粒受到磁力的吸引,被吸附在滚筒表面,随着滚筒的转动被带至非磁性区域后脱落收集;而非磁性颗粒则由于不受磁力作用,在重力和离心力的作用下,通过滚筒下方被分离出去。分离出的磁性物质,其主要成分是铁的氧化物,经过进一步提纯和加工,可以用于炼铁等行业。

2.2 水洗处理

水洗是一种重要的灰渣处理方法,其主要作用是去除灰渣中的细颗粒杂质、可溶性盐类等。将灰渣放入水洗池中,加入适量的水并进行搅拌,使杂质充分溶解在水中。在这个过程中,灰渣与水形成固液混合体系,通过搅拌使颗粒之间的碰撞和摩擦加剧,促进杂质的溶解和分离。对于含有较多氯化钠等可溶性盐的灰渣,水洗可以有效地降低盐的含量。这是因为氯化钠等可溶性盐在水中具有良好的溶解性,通过水洗可以将其从灰渣中转移到水溶液中。然后,通过沉淀、过滤等工艺将灰渣和水分离。沉淀过程利用重力作用,使灰渣颗粒在水中逐渐沉降至池底,形成沉淀层。过滤则是进一步去除灰渣中残留的细小颗粒和水分,常用的过滤设备有板框压滤机、真空过滤机等。同时,水洗还可以回收部分未燃尽的碳。由于碳颗粒相对较轻,在水洗过程中可以通过浮选等方式与灰渣分离。浮选的原理是利用碳颗粒与水的表面张力差异,通过添加浮选药剂,使碳颗粒附着在气泡上,上浮至水面被收集,回收的碳可以作为燃料重新利用,提高了资源的利用率。

2.3 化学处理

2.3.1 酸浸处理

酸浸处理是利用酸溶液对灰渣进行浸取,使灰渣中的某些金属氧化物与酸发生化学反应,将金属离子溶解在溶液中。以含有氧化铝的灰渣为例,用硫酸浸取时会

发生如下反应: $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ 。在这个反应中,氧化铝与硫酸反应生成硫酸铝和水,硫酸铝溶解在溶液中。酸浸过程中,反应条件(如酸的浓度、反应温度、反应时间等)对金属离子的浸出率有重要影响。一般来说,提高酸的浓度和反应温度、延长反应时间,可以提高金属离子的浸出率,但同时也会增加生产成本和设备腐蚀风险。因此,需要通过实验研究确定最佳的反应条件。生成的硫酸铝溶液可以通过后续的工艺回收铝盐。例如,采用冷却结晶法,将硫酸铝溶液冷却至一定温度,使硫酸铝结晶析出,经过过滤、洗涤、干燥等步骤,可以得到高纯度的硫酸铝产品,用于化工等行业。

2.3.2 碱熔处理

碱熔法主要是利用强碱性物质在高温下与灰渣反应,将灰渣中的一些难溶性矿物质转化为可溶性化合物。以含硅的灰渣为例,在高温下与氢氧化钠反应可以生成硅酸钠,反应方程式为: $\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 。在碱熔过程中,需要将灰渣与氢氧化钠按一定比例混合,然后在高温炉中进行熔融反应。反应温度一般在800-1000℃之间,这个温度范围可以使反应充分进行,同时避免过高温度带来的能源消耗和设备损坏。生成的硅酸钠具有广泛的用途,可以用于制造玻璃、陶瓷等工业产品。在玻璃制造中,硅酸钠作为玻璃的主要原料之一,能够调节玻璃的化学组成和物理性能,提高玻璃的透明度和强度。在陶瓷生产中,硅酸钠可以作为粘结剂和助熔剂,改善陶瓷坯体的成型性能和烧结性能。

3 灰渣的资源化利用途径

3.1 建筑材料领域

3.1.1 生产水泥

灰渣中的氧化钙、二氧化硅和氧化铝等成分是生产水泥的重要原料。在水泥生产过程中,灰渣可以部分替代传统的石灰石和黏土等原料。将经过处理的灰渣与其他原料按照一定的比例混合,然后在水泥窑中煅烧^[2]。在煅烧过程中,灰渣中的矿物质成分与其他原料发生复杂的物理化学反应,形成水泥熟料。灰渣的加入不仅可以降低水泥生产成本,因为灰渣是一种工业废弃物,其获取成本相对较低;而且由于灰渣中的一些微量元素,还可能改善水泥的性能。例如,灰渣中的某些微量元素可以促进水泥熟料矿物的形成,提高水泥的早期强度和后期强度;同时,灰渣的加入还可以改善水泥的耐久性,增强水泥抵抗外界侵蚀的能力。在实际生产中,需要根据灰渣的化学组成和水泥的质量要求,精确控制灰渣的掺入比例,以确保生产出符合国家标准的水泥产品。

3.1.2 制作建筑砖块

灰渣可以用于制作免烧砖或烧结砖。对于免烧砖，将灰渣与一定量的粘结剂和添加剂混合，经过压制成型后即可得到免烧砖。在这个过程中，粘结剂的作用是将灰渣颗粒粘结在一起，形成具有一定强度的砖体。添加剂则可以改善砖体的性能，如提高砖体的抗冻性、抗渗性等。免烧砖的生产工艺相对简单，能耗较低，适合大规模生产。烧结砖则是将灰渣与黏土等原料混合后，在高温下烧结制成。在烧结过程中，原料中的有机物燃烧挥发，矿物质发生熔融和固相反应，使砖体致密化，提高砖体的强度和硬度。这些建筑砖块具有良好的抗压强度和隔热性能，可用于建筑墙体等方面。在建筑墙体中使用灰渣砖，不仅可以降低建筑成本，还能减少传统黏土砖的使用，保护土地资源，同时其良好的隔热性能有助于提高建筑物的节能效果。

3.2 道路工程领域

3.2.1 道路基层材料

经过处理后的灰渣可以作为道路基层材料使用。将灰渣与碎石、砂等材料混合，然后铺筑在道路基层。灰渣中的颗粒可以填充在碎石和砂的空隙中，形成紧密的骨架结构，提高基层的密实度和稳定性。在道路建设中使用灰渣材料可以有效地利用资源，减少对传统砂石材料的依赖。传统砂石材料的开采不仅会破坏自然环境，还可能导致资源短缺。而灰渣作为道路基层材料，实现了废弃物的资源化利用，降低了道路建设成本。同时，灰渣基层材料具有一定的强度和水稳定性，能够满足道路基层的承载要求。在实际应用中，需要根据道路的等级和交通流量等因素，合理设计灰渣与其他材料的配合比，确保道路基层的质量和使用寿命。

3.2.2 防滑材料

灰渣的颗粒特性使其可以作为防滑材料用于道路表面。灰渣颗粒具有一定的粗糙度和硬度，能够增加路面的摩擦力。在一些山区或易滑路段，将灰渣与沥青等材料混合后铺在路面上，可以显著提高路面的防滑性能。在混合过程中，灰渣均匀分散在沥青中，当车辆行驶在路面上时，灰渣颗粒与轮胎接触，增加了轮胎与路面之间的摩擦力，从而提高了行车安全。此外，灰渣防滑材料的成本相对较低，施工工艺简单，具有良好的应用前景。但在使用过程中，需要注意灰渣的粒度控制和材料的耐久性，以确保防滑效果的长期稳定性。

3.3 农业领域

3.3.1 土壤改良剂

灰渣中含有多种矿物质元素，如钾、磷等，这些元素是植物生长所必需的营养成分。将灰渣加工成细颗粒后施用于土壤中，可以改善土壤的结构和肥力。灰渣中的硅元素可以增强植物的抗倒伏能力，使植物茎秆更加坚韧。其所含的微量元素可以促进植物的生长发育，提高植物的抗病虫害能力。然而，灰渣中可能含有一些重金属元素，如镉、铅等。这些重金属元素如果超标，会对土壤和农作物造成污染，影响农产品质量和人体健康。因此，在用于土壤改良时需要灰渣进行严格的检测和处理，确保其重金属含量符合农业使用标准。可以采用物理、化学或生物方法对灰渣进行预处理，降低重金属含量，使其安全地应用于农业生产。

3.3.2 肥料载体

灰渣可以作为肥料的载体。将化肥与灰渣混合，可以使肥料缓慢释放，提高肥料的利用率。灰渣的多孔结构使其具有良好的吸附性能，能够吸附肥料中的养分，防止养分的快速流失。当肥料施入土壤后，随着水分的渗透和微生物的作用，灰渣中的养分逐渐释放出来，为植物提供长期的营养供应^[1]。这种缓释作用可以减少肥料的施用量和施肥次数，降低农业生产成本，同时减少肥料对环境的污染。在制备肥料载体时，需要根据不同肥料的特性和植物的营养需求，合理控制灰渣与肥料的比例，优化制备工艺，以提高肥料的缓释效果和肥效。

结束语

水煤浆气化灰渣的处理与资源化利用是实现煤炭清洁高效利用和环境保护的重要环节。通过对灰渣产生过程和特点的深入了解，采用机械处理、水洗处理和化学处理等多种方法，可以有效地改善灰渣的性质，为其资源化利用奠定基础。在建筑材料、道路工程、农业等领域，灰渣具有广泛的资源化利用途径，能够实现废弃物的减量化、无害化和资源化。

参考文献

- [1]杨东元,王亚红,扈广法,等.污水处理污泥掺配水煤浆气化重金属迁移研究及灰渣排放评价[J].应用化工,2021,50(7):1826-1828,1837.
- [2]冯志超.水煤浆气化灰渣处理技术[J].化工设计通讯,2019,45(9):8-9.
- [3]何巍,李正平,周林刚,等.对于水煤浆气化灰渣处理技术的思考[J].石油石化物资采购,2019(22):25.