

超临界水处理法在油泥脱水与有害物质去除中的应用研究

赵明

曙光采油厂污水处理大队

【摘要】随着石油化工行业的快速发展,含油污泥的处理成为环境保护的迫切需求。本文旨在研究超临界水处理法在油泥脱水与有害物质去除中的应用。研究分析了超临界水处理法的技术原理,结合油泥脱水与有害物质去除的重要与难点,全面探索了超临界水处理法在油泥脱水与有害物质去除中的应用过程。研究表明,超临界水处理技术不仅有助于提高油污脱水效率,还能高效降解有害物质,满足环保要求,具有重要的推广应用价值。

【关键词】超临界水处理;油泥脱水;有害物质去除;污染物降解;工艺优化

Application of supercritical water treatment in sludge dehydration and removal of harmful substances

Zhao Ming

Sewage treatment brigade of Shuguang oil production Plant

【Abstract】 With the rapid development of petrochemical industry, the treatment of oily sludge has become an urgent demand for environmental protection. The paper aims to study the application of supercritical water treatment in sludge dehydration and removal of harmful substances. The technical principle of supercritical water treatment is analyzed, combined with the importance and difficulties of sludge dehydration and harmful substance removal, and the application process of supercritical water treatment in sludge dehydration and harmful substance removal is discussed. The research shows that the supercritical water treatment technology not only helps to improve the efficiency of oil pollution dehydration, but also can degrade harmful substances efficiently, meet the requirements of environmental protection, and has important popularization and application value.

【Key words】 supercritical water treatment; oil sludge dehydration; removal of harmful substances; pollutant degradation; and process optimization

引言

随着石油化工行业的迅猛发展,含油污泥的产生量也在逐年增加。这些污泥中含有大量的水分、油类、固体颗粒以及多种有害物质,如重金属和持久性有机污染物。如果处理不当,将对环境和人类健康造成严重威胁^[1]。传统的处理方法在效率、成本和环境影响方面存在诸多不足。超临界水处理法作为一种新兴的绿色技术,因其高效、环保的特点,在油泥脱水与有害物质去除中展现出巨大的应用潜力。

1 超临界水处理法技术原理

超临界水处理法的技术原理是基于水在超过 374℃和 22.1 MPa 的临界点条件下形成的独特状态,即一种非液非气的特殊状态,从而使得水的物理和化学性质发生显著变化,因而在含油污泥处理过程中表现出高效的脱水、脱油以及有害物质降解能力特性的反应过程^[2]。此时水的极性显著降低,具备优异的有机物溶解能力,因而可有效溶解污泥中的有机成分,而对无机盐的溶解度则降低,利于杂质分离。此外,超临界状态下水的密度接近液体,而黏度和扩散系数则类似

气体,显著增强了反应物间的传质效率,从而加速了有机污染物的分解过程。在高温高压环境中,水分子易发生电离并生成大量自由基,这些高活性的自由基进一步增强了水的氧化分解能力,能够迅速氧化分解有机污染物,实现污染物的降解。利用水在超临界状态下的这一系列特性,超临界水不仅能够作为理想的反应介质,还能充当催化剂,通过物理、化学作用共同驱动处理过程,最终实现污泥中有害物质的高效降解与分离。

2 油泥脱水与有害物质去除的重要性与技术难点

2.1 油泥脱水的重要性

油泥的高含水率不仅使其体积庞大,增加了运输和储存的成本,还严重影响了其后续资源化利用的效果^[3]。在油泥的处理过程中,脱水不仅是减少物理体积和重量的关键步骤,更是提升处理效率的基础。通过有效的脱水,可以大幅降低油泥的水分含量,从而减少储存和运输过程中的成本,避免了因水分过多而导致的二次污染和环境风险。同时,脱水后的油泥体积减少,不仅便于集中处理,还能提高热值,这对于后续的焚烧或热解处理尤为重要。在热值的提升下,

能源回收和废弃物处理过程的经济性得以显著增强。除此之外,脱水操作能够有效降低油泥中的水溶性污染物,减少这些有害物质的迁移和扩散风险,从而在后续处理过程中减轻设备和环境的负担,确保处理过程的高效、安全进行。因此,脱水不仅是油泥资源化的前提,也是确保环保合规和经济可行性的关键步骤。

2.2 有害物质去除的必要性

油泥中通常含有多种有害物质,尤其是重金属(如铅、镉、汞等)和持久性有机污染物(如多环芳烃、苯酚类化合物等),这些物质一旦释放到环境中,将带来长期且深远的负面影响。进入土壤和水体后,它们可能对生态环境造成严重污染,难以自然降解,导致环境质量恶化。在这一过程中,重金属和有机污染物还会通过食物链逐步积累,最终危害人类健康,造成不可忽视的生物毒性影响。这些有害物质对生态系统的破坏可能表现为物种灭绝、生态平衡失调等严重后果,尤其是在一些生态敏感区域,污染的影响更为深远。此外,随着环境保护法律法规的日益严格,油泥中有害物质的排放已受到严密监控,达不到标准的排放将面临法律责任和经济处罚。为了达到环保要求并保障生态安全,油泥处理中有害物质的去除成为一项不容忽视的任务。只有通过先进的技术手段有效去除或稳定这些有害物质,才能使油泥处理符合排放标准,减少对环境的危害,实现可持续的资源管理与环境保护目标。

2.3 处理技术的难点

油泥的成分复杂性是其处理过程中的一大难点。油泥中不仅包含油脂和水分,还杂有固体颗粒、重金属及持久性有机污染物等多种成分,这使得其分离和处理过程异常复杂。针对不同物质的性质,需要采取不同的处理技术,这无疑增加了处理过程的难度和成本。在传统油泥处理方法中,由于技术的局限性,往往难以同时高效地完成脱水、脱油和有害物质的去除,处理效率远不能满足日益严格的环保标准^[4]。与此同时,某些处理方法可能在去除污染物的过程中引入新的污染物,造成二次污染,这对环境和人类健康构成新的威胁。例如,某些化学处理手段可能会产生有害气体或废水,需要额外的设施来进行处理和净化,这不仅增加了能源消耗,还带来了更复杂的废物管理问题。因此,在油泥处理技术中,如何在保证处理效果的同时避免二次污染,成为了一个亟待解决的技术难题。

3 超临界水处理法在油泥脱水与有害物质去除中的应用

3.1 工艺流程设计

3.1.1 原料预处理

油泥的处理效果与其预处理过程息息相关,因此原料的筛分与破碎是油泥脱水处理必要的步骤之一。在这一阶段,油泥中的大颗粒物质需要通过筛分去除,减少不适合进一步

处理的物质。同时,对于那些较大的颗粒,可以通过破碎提高物料的均匀性,保证后续处理的顺利进行。随着筛分和破碎操作的完成,油泥的物理性质会发生变化,使得后续的加热和化学反应更加高效。此外,油泥的含水率和黏度对于处理效果也有重要影响,调节这些参数(例如添加适量的水或溶剂)可以使油泥的流动性和反应性得到优化,提高超临界水反应系统的工作效率,还可以为处理过程提供更为理想的反应介质。

3.1.2 超临界水反应系统

在超临界水处理过程中,反应的有效性受到加热与加压两个核心环节的影响。油泥经过预处理后,进入高压泵系统,通过加压后被输送至加热器,并在其中加热至超临界状态。超临界水的高溶解能力和优越的反应特性,使得它能够在短时间内有效地分解油泥中的有机物^[5]。反应器设计则在这一过程中扮演着至关重要的角色。常见的管式或釜式反应器都需采用耐高温、耐高压且耐腐蚀的材料,如不锈钢或镍基合金,才能确保反应器在超临界水处理过程中能够长期稳定工作。为了保证反应的最佳效果,需要根据实际情况调整反应的温度、压力和停留时间,确保油泥中的有害物质被有效降解,进而提高处理效率。

3.1.3 分离与回收

反应后的混合物进入分离系统后,需要经历降压冷却过程,通过减压阀迅速降低反应压力,使得气、液、固三相能够顺利分离。气相部分主要由二氧化碳、水蒸气及一些轻质气体组成,这些气体能够通过冷凝回收水分,尾气则通过专门的净化设备达标排放。液相部分含有水和溶解的有机物,可以通过进一步处理或回用。而固相部分主要是无机固体颗粒和不溶性有机物,这些物质可以通过固废处理或资源化利用来进一步减少环境负担。通过这一系列的分离与回收步骤,油泥中的有害物质可以被有效去除或转化为可利用的资源,为整体工艺的环保和经济效益奠定了基础。

3.2 油泥脱水与脱油机制

3.2.1 水分的去除

在超临界水条件下,水的物理特性会发生显著变化,其密度和黏度会大幅降低,表现得更像气体。这种特性会使得超临界水能够迅速渗透并扩散至油泥中的各个部分,迅速带走水分。水中的自由水和部分结合水在高温高压下汽化,随着反应介质的流动一同被带走,最终实现高效脱水。通过这一过程,水分的去除不仅大大降低了油泥的体积和重量,还可以为后续的脱油和有害物质去除创造有利条件。与此同时,由于水分含量的减少,油泥中其他有机物的处理效率也会得到提升,进而降低后续处理的能耗。

3.2.2 油类物质的分解与提取

超临界水不仅在脱水方面表现出色,它在脱油方面同样具有显著优势。超临界水的溶解能力随着温度和压力的变化显著增强。在这一条件下,超临界水的极性降低,使其能够

溶解油类物质,尤其是轻质油和不溶性有机物,从而有效地将油类物质从油泥中提取出来。与此同时,随着温度的升高,油泥中的大分子油类物质经历热裂解过程,会分解为更小的分子或气体。这些小分子会随反应介质带走,降低油泥的含油量。在此过程中,超临界水中的自由基也会发挥重要作用,它们能够与油类物质发生反应,促进油类物质的氧化降解,从而进一步提高脱油效率。

3.3 有害物质的降解与固定

3.3.1 有机污染物的降解

超临界水的一个突出优势在于它能够有效降解有机污染物,尤其是在高温高压条件下,超临界水中的自由基(如 $\cdot\text{H}$ 、 $\cdot\text{OH}$)能够与油泥中的有机污染物发生链式反应,将其转化为二氧化碳和水等无害物质。这种高效的降解机制不仅可以大大提高处理效率,还能够彻底消除有机污染物的毒性,减少它们对环境和生态系统的影响。通过进一步加入氧化剂,如氧气或过氧化氢,可以进一步增强超临界水的氧化能力,从而加速有机污染物的完全降解,确保反应的彻底性和处理的高效性。

3.3.2 重金属的固定

在超临界水处理过程中,重金属的去除与固定同样依赖于一系列化学反应。在高温高压环境下,无机盐的溶解度降低,重金属离子会发生氧化反应,形成沉淀物,减少其在水中的溶解度和生物可利用性。此外,反应过程中生成的炭质固体材料具有较高的比表面积,能够有效吸附重金属离子,进一步降低重金属的生物可利用性。通过这些沉淀和吸附机制,重金属可以进一步固定在固相中,有效防止其进入环境中造成二次污染。最终,油泥中的有害有机物会被完全降解,重金属被有效固定,确保油泥处理过程的环保性和安全性。

3.4 工艺参数优化

3.4.1 温度和压力

温度和压力是影响超临界水处理效率的关键因素。随着温度的升高,反应速率加快,但过高的温度可能会带来额外的能耗并对设备造成压力,因此温度通常需要控制在 400°C 至 600°C 之间,才能保持反应的高效性同时避免过度的能源消耗。压力方面,必须保持在超临界状态下,即水的压力需

高于其临界压力(约 22.1 MPa)。一般控制在 25 MPa 左右,确保水在超临界状态下具有最佳的溶解性和反应性。

3.4.2 停留时间

反应的停留时间对于处理效果的完备性至关重要。过短的反应时间可能导致有机物降解不完全,而过长的反应时间则增加了能耗。因此,停留时间应控制在几分钟至十几分钟之间,以便既能保证反应的高效性,又能有效降低能耗。通过优化停留时间,可以实现对油泥中有害物质的彻底去除,从而提高整体处理效率。

3.4.3 氧化剂的加入

氧化剂的加入可以有效提升超临界水的氧化能力,促进有机污染物的彻底降解。常用的氧化剂包括空气、氧气和过氧化氢等,这些氧化剂能够加速油泥中有机物的氧化过程,从而提升处理效果。然而,氧化剂的量需要根据油泥的成分和污染物的浓度来精确调节,以确保反应的高效进行,避免过量的氧化剂导致额外的成本或过度氧化。

3.4.4 反应器设计

反应器的设计对于超临界水处理的效率至关重要。选择耐高温高压、耐腐蚀的材料是保证反应器长期稳定运行的前提。除了材料选择外,反应器的结构也需优化,以提高传热和传质效率,同时避免反应器内产生结焦或堵塞现象,这些问题可能会影响反应的顺畅进行。因此,优化反应器设计不仅能提升处理效果,还能延长设备的使用寿命。

4 结语

超临界水处理法作为一种高效、环保的处理技术,在油泥脱水与有害物质去除中展现出了巨大的应用潜力。通过合理的工艺设计和参数优化,能够实现油泥中水分、油类和有害物质的同步去除,满足环保法规的要求。同时,产物的资源化利用也为企业带来了经济效益。然而,该技术在实际应用中仍面临着能耗和设备投资等挑战。未来,随着技术的进步和规模效应的显现,超临界水处理法有望在油泥处理领域得到更广泛的应用,为环境保护和资源循环利用作出更大的贡献。

参考文献

- [1]雷达璐. 超临界水氧化处理含油污泥工业化可行性研究进展[J]. 山东化工, 2022, 51(06): 124-126.
- [2]刘天乐, 鱼涛, 张晓飞, 薛明, 高国宁, 屈撑囤. 超临界水氧化技术在含油污泥处理中的应用分析[J]. 化工技术与开发, 2022, 51(Z1): 60-66.
- [3]任武, 李伟, 姚薇, 谭文锋. 超临界水氧化技术用于处理油田含油污泥[J]. 石油和化工设备, 2021, 24(04): 97-99+102.
- [4]张婷婷, 陈学峰, 申海平, 达志坚. 超临界水在重油加工中的研究进展[J]. 化工进展, 2019, 38(S1): 77-85.
- [5]崔宝臣, 崔福义, 刘先军, 荆国林, 刘淑芝. 超临界水氧化对含油污泥无害化处理效能研究[J]. 应用化工, 2009, 38(03): 332-335.