

# 基于生物炭的油泥吸附及其回收利用研究

赵明

曙光采油厂污水处理大队

DOI: 10.12238/jpm.v6i2.7756

**[摘要]** 石油开采和加工中产生的大量油泥带来环境污染问题。本文旨在研究生物炭在油泥吸附及其回收利用中的潜力。通过分析生物炭的吸附机制及其作为吸附饱和后材料的回收利用途径,包括热解再生、燃料应用和土壤改良,探索其综合利用价值。结果表明,生物炭在吸附油泥后可通过热解技术转化为能源产品,或直接用作燃料及土壤改良剂,从而实现了废弃物的有效处理和资源再利用。

**[关键词]** 生物炭; 油泥; 吸附; 热解再生; 资源化利用

## Study on oil sludge adsorption and recycling based on biochar

Zhao Ming

Sewage treatment brigade of Shuguang oil production Plant

**[Abstract]** A large amount of oil sludge produced in oil exploitation and processing brings environmental pollution problems. This paper aims to investigate the potential of biochar in oil sludge adsorption and its recycling. The comprehensive utilization value of biochar is explored by analyzing its adsorption mechanism and its recycling pathway as saturated materials, including pyrolysis regeneration, fuel application and soil improvement. The results show that the biochar can be converted into energy products by pyrolysis technology, or directly used as fuel and soil conditioner, so as to realize the effective waste treatment and resource reuse.

**[Key words]** biochar; oil sludge; adsorption; pyrolysis and regeneration; resource utilization

### 引言

随着工业化进程的不断加快,石油作为重要的能源和化工原料,其开采、运输和加工过程中不可避免地产生大量的油泥。油泥不仅占用了大量土地资源,还对环境造成了严重污染<sup>[1]</sup>。因此,如何有效处理和回收油泥,已成为环境保护和资源再利用领域的热点问题。生物炭作为一种新型的环境友好材料,因其独特的物理化学特性,在污染物吸附和资源回收方面展现出巨大的应用潜力。

### 1 生物炭概述

生物炭是一种通过热解生物质(如农作物秸秆、木屑等)在缺氧或无氧条件下制得的富碳固体材料<sup>[2]</sup>,近年来在环境治理和农业改良中逐渐受到广泛关注。其独特的结构和性能使其在吸附和固定污染物方面表现出色,具有广泛的应用潜力。生物炭具有显著的高比表面积和复杂的孔隙结构,这使得其具备了更为强悍的吸附能力。比表面积的增大伴随着孔隙体积的增加,使生物炭能够提供更多的吸附位点,从而对环境中存在的有机污染物和重金属离子展现出良好的吸附效果<sup>[3]</sup>。这种性能使生物炭成为去除水体和土壤中污染物的理想材料,通过物理吸附和化学作用实现污染物的高效固定。此外,这种孔隙结构有助于提升其在土壤改良和水体净化中的应用潜力,为生态系

统恢复提供了坚实的物质基础。在生物炭的表面分布着多种含氧官能团,如羟基和羧基等,这些官能团赋予生物炭更强的化学反应活性。它们可以通过氢键和静电作用与污染物发生化学吸附,从而提高其在环境修复中的应用效率。这种丰富的表面化学性质使得生物炭在吸附重金属离子时,不仅能够捕捉到金属离子的表面,还能通过离子交换或配位作用实现稳定的固定。因此,生物炭不仅具有物理吸附的优点,还能通过化学吸附增强其处理污染物的能力,使其在污染治理中具有不可忽视的重要性。作为由生物质转化而来的固体产物,它本质上是将农林废弃物等生物质资源有效循环利用的结果,这不仅减少了生物质的直接燃烧带来的空气污染,还转化为高附加值的环保产品<sup>[4]</sup>。生物炭在生产过程中释放的气体可以被捕获用于发电或作为可燃气体利用,从而实现资源的多重利用。由于其源于生物质,生物炭不仅具有可再生的特点,还能通过其在土壤长时间的碳固定作用,减少温室气体的排放,缓解全球气候变化。因此,生物炭的应用不仅推动了可持续农业和清洁技术的发展,还对碳中和战略具有重要的促进作用。

### 2 基于生物炭的油泥吸附过程分析

#### 2.1 物理吸附

在物理吸附层面上,生物炭的高比表面积和丰富的孔隙结

构是关键因素。生物炭的微孔、中孔和大孔共同提供了大量吸附位点,使其能够有效地捕获油泥中的有机污染物。物理吸附的核心机制基于范德华力的作用,通过这些微弱的分子间力将有机分子固定在生物炭表面及其复杂的孔隙网络中。随着油泥中的有机污染物被吸附到这些位点,生物炭的吸附能力得以体现,尤其在去除水体和土壤中疏水性有机化合物方面表现尤为显著。此外,这种物理吸附过程对温度和压力的敏感性较低,因此生物炭能够在多变的环境条件下保持其吸附性能,这为其在实际应用中的适应性和广泛应用提供了保障。

## 2.2 化学吸附

在化学吸附过程中,生物炭的表面官能团发挥了重要作用。生物炭通常具有丰富的含氧官能团,如羟基、羧基、羰基等,这些官能团通过化学键合作用与有机污染物发生反应,从而显著提高其吸附效率<sup>[5]</sup>。这种化学吸附的过程涉及污染物分子与生物炭表面官能团之间的特定相互作用,包括氢键形成、共价键合和离子交换作用。这些官能团通过与油泥中的极性有机污染物形成稳定的化学键,从而固定污染物,减少其在环境中迁移和释放的可能性。更为重要的是,这种化学吸附不仅限于表面作用,还可能通过扩散进入生物炭的孔隙结构内部,进一步增强其处理能力。因此,生物炭的表面官能团在提高吸附的选择性和稳定性方面发挥了关键作用,使其在高效去除复杂有机污染物的应用中具有巨大的潜力。

## 3 影响生物炭油泥吸附效果的主要因素

### 3.1 生物炭特性

生物炭的特性在吸附过程中起着决定性的作用。其中,比表面积是一个关键参数,它反映了生物炭可以提供的吸附位点数量。比表面积越大,生物炭吸附有机污染物的能力越强,这得益于更大的接触面积和更多的活性吸附位点。此外,孔径分布同样至关重要,生物炭中微孔和中孔的比例影响了吸附物质的进入和分布。小分子有机物更容易进入微孔,而大分子有机物则需要较大孔径的结构。生物炭的表面化学性质,即其所含的官能团类型与密度,也是影响吸附效率的关键因素。官能团如羟基、羧基和其他极性基团通过氢键、离子交换等化学吸附机制增强了生物炭对有机污染物的结合能力。因此,生物炭的制备条件和来源会直接决定这些特性,并最终影响其在油泥处理中的吸附表现。

### 3.2 油泥性质

油泥本身的性质是吸附效果的另一重要影响因素。油泥中有机污染物的种类和化学性质决定了它们与生物炭的亲合力和吸附倾向。不同的有机污染物具有不同的极性、疏水性和分子大小,这些特征影响了它们在生物炭孔隙结构中的扩散和吸附。油泥中有机物的浓度也会显著影响吸附过程,较高浓度时可能导致生物炭的饱和,从而降低吸附效率。油泥中粒径的大小决定了其扩散速率和与生物炭接触的有效面积,细小颗粒能够更容易渗入生物炭的孔隙结构,从而实现更高效的吸附,而较大的颗粒可能受到扩散阻力的限制,降低了吸附效率。

### (3) 环境条件

环境条件对生物炭吸附油泥的效果有着显著的调控作用。pH值是一个重要因素,它影响了生物炭表面官能团的电离状态和有机污染物的离子化情况,从而改变了吸附位点的活性和污染物的吸附模式。温度是另一个影响因素,它在一定范围内能够加速分子运动,提高吸附速率。然而,过高的温度可能会导致吸附的解吸作用增强,从而降低净吸附量。离子强度也不可忽视,溶液中的离子竞争会影响吸附位点的可用性和生物炭表面电荷的稳定性,这在含盐量较高的环境中尤为显著。因此,对环境条件的优化和控制能够显著提升生物炭在油泥吸附中的应用效果。

## 4 油泥吸附的回收利用

### 4.1 热解再生

饱和吸附了油泥有机物的生物炭通过热解再生技术,可以实现其内部有机物的彻底分解并转化为有价值的能源产品。这一过程通常在高温(300℃至700℃)和无氧或缺氧条件下进行,以避免有机物的完全燃烧而确保其有效分解。热解反应的产物包括气相、液相和固相物质,其中气相产物如氢气、一氧化碳和甲烷等可用作清洁燃料,有助于实现可再生能源的开发。液相产物主要是热解油,这种油品具有较高的能量密度,经过进一步提纯和加工后可用作工业燃料或化工合成的原料,从而拓宽了石油替代品的来源。固相物质则是剩余的生物炭骨架,经过清除杂质和修复孔隙结构的处理后,该生物炭可重复使用于新的吸附循环。除了直接能源转化的好处,热解再生过程还具有减废和环保的优势。通过有效降解油泥中的有机污染物,不仅减少了污染物的直接排放,而且使污染控制变得更为高效和可控。现代热解技术还可以与催化剂结合使用,以优化分解路径,提高产物的选择性和产率,进一步提升整个过程的经济效益和环境效益。此外,热解过程产生的可燃气体可以直接作为系统加热能源,这使得过程本身部分自给自足,减少了对外部能源的依赖,从而提高了能源循环的可持续性。

### 4.2 作为燃料使用

油泥吸附后生物炭的热值显著增加,使其在直接燃烧应用中具有很大的潜力。由于生物炭吸附的油类物质和有机化合物提供了丰富的碳源,其在燃烧时释放的热量远高于普通木质生物炭。这种高热值特性使其成为一种高效、经济的能源来源,适用于热能供应和发电。将此生物炭用于工业锅炉或发电厂,不仅能减少对煤炭、天然气等传统化石燃料的消耗,还可实现循环经济理念,缓解固体废弃物处理压力。通过先进的燃烧控制技术和排放治理手段,有效控制燃烧时产生的颗粒物和气体排放,满足日益严格的环保法规。生物炭燃烧过程中的副产品,如灰渣,还具有潜在的利用价值,特别是在水泥生产和土壤改良领域。通过对灰渣进行适当处理,它可以作为矿物质补充剂或建材中的掺合料,从而将资源回收利用推向一个新阶段。技术研发不断提高燃烧系统的效率,使得生物炭燃料的使用在经济上越来越具有可行性和竞争力。此外,研究还显示,在某些

情况下，将生物炭与其他生物质材料混合燃烧，能提高整体热效率和燃烧稳定性，形成一种优化后的混合燃料模式。这样的策略不仅提高了生物炭的综合利用率，还拓宽了生物炭在工业和民用能源领域的应用范围。

#### 4.3 土壤改良剂

将处理后的生物炭应用于土壤中作为土壤改良剂，不仅实现了废物的循环利用，还增强了土壤的多种理化特性。生物炭特有的多孔结构有助于保持水分，提高土壤的水分保有能力，尤其在干旱和半干旱地区更为显著。这种水分保持特性可以减少灌溉频率和农业用水需求，有助于农业用水的节约。与此同时，生物炭的多孔性也可以促进土壤的透气性，改善植物根系的生长环境，使其更能吸收土壤中的水分和养分。生物炭吸附的有机物在土壤中会逐步释放，为植物提供长效养分供应。生物炭在土壤中的降解速率相对较慢，故其改良作用可以持续多年，这种长效性使其在农业生产中具有显著优势。同时，生物炭中丰富的碳含量能够提高土壤有机碳的储备，促进碳的固存，从而对减缓气候变化产生积极影响。研究还发现，生物炭在土壤中能够吸附并固定某些重金属污染物，减少它们的生物可用性，这有助于修复受污染的土壤，提高农作物的安全性。在更广泛的生态系统层面上，生物炭作为土壤改良剂的应用还有助于改善土壤的生物多样性，它可以为土壤微生物和菌根真菌提供理想的生境，从而促进有益微生物的繁殖，增强土壤的生物活性。通过这种方式，生物炭的应用不仅有助于植物生长，

还能促进整个土壤生态系统的健康循环。因此，将饱和吸附了油泥的生物炭用于土壤改良，不仅能够实现废弃物的资源化，还能增强土壤的可持续生产力和生态功能。

#### 5 结语

生物炭在油泥的吸附处理和回收利用方面展现出了广阔的应用前景。通过深入研究生物炭的制备工艺和吸附机制，可进一步提高其对油泥的处理效率。同时，探索生物炭饱和吸附后的资源化利用途径，有助于实现油泥的无害化和资源化处理，对环境保护和可持续发展具有重要意义。

#### [参考文献]

- [1]胡以朋,肖超,李子鸣.油泥热解废水处理工艺中试应用[J].油气田环境保护,2024,34(04):29-33.
- [2]鲁丽佳,计丕霞,陈全,易鹏,吴敏.生物炭提升土壤中解磷菌定殖及其解磷能力[J].材料导报,2024,38(21):154-162.
- [3]张晨.多孔生物炭的制备、改性及碳捕获机理和应用前景研究[J].石油石化绿色低碳,2024,9(04):38-51.
- [4]陈权,夏洪应,张威,张利波.生物质微波热解产生物油的影响因素研究进展[J].生物质化学工程,2020,54(06):83-90.
- [5]张佳玲,方芳,董锦云,巢敏纳,操家顺.改性污泥质生物炭吸附污水中有机污染物的研究进展[J].环境化学,2021,40(10):3144-3157.

#### 上接第 263 页

进程也构成了严重干扰。非法采矿、乱砍滥伐、过度放牧等人类活动会破坏恢复中的植被和土壤，导致恢复进程受阻。

#### 四、发展趋势

随着科技的不断进步和生态保护理念的更新，未来地质灾害治理中的生态恢复技术将呈现出更加智能化、综合化和本土化的特点。

1. 强化智能化与数字化技术的全面应用：随着信息技术的快速发展，遥感技术、GIS（地理信息系统）、无人机等现代技术在地质灾害治理中的应用将变得更加广泛。这些技术不仅可以为灾后监测和评估提供精确的数据支持，还能实时跟踪恢复进程和效果分析，从而提高治理效率。

2. 构建并落实高效综合治理模式：未来的生态恢复技术将更加注重多学科、多领域的综合应用，推动生态修复与工程修复的有机结合，以达到更好的恢复效果。生态修复不再仅仅依赖植被恢复和水土保持等单一手段，而是通过结合生物修复、物理修复和化学修复等技术，实现更加全面和系统的治理。

3. 采用本土化与因地制宜的治理思路：未来的生态恢复技术将更加注重根据不同地区的自然条件和社会环境制定本土化的治理策略。不同地区的气候、地形、土壤、植被等自然条件差异较大，因此，采用“一刀切”的恢复模式往往难以取得

理想的效果。因此，未来的生态恢复将更多地依据当地的生态系统特征，选择适合的植物种类、修复手段和治理策略。

4. 鼓励公众参与与社会合作：生态恢复不仅是政府和科研机构的责任，还需要社会各界的广泛参与和支持。未来，公众参与和社会合作将在生态恢复过程中发挥更加重要的作用。通过加强与地方政府、企业、社会团体和社区的合作，可以更好地动员社会资源，确保生态恢复项目的顺利进行。

#### 五、结语

生态恢复技术在地质灾害治理中的应用具有重要的现实意义和长远价值。通过植被恢复、水土保持、土壤改良等一系列生态恢复手段，不仅能够有效减少地质灾害的发生频率，还能提高生态系统的稳定性和生产力，促进灾后地区的经济恢复。尽管目前存在一些技术和实践上的挑战，但随着科技进步和治理理念的更新，未来生态恢复技术将在地质灾害治理中发挥更加重要的作用，为构建可持续发展的社会做出贡献。

#### [参考文献]

- [1]王峰.环境治理对地质灾害后生态恢复的影响研究[J].中国金属通报,2024,(05):170-172.
- [2]万娜.矿山地质灾害治理及生态环境修复措施研究[J].世界有色金属,2023,(09):211-213.