

核桃壳过滤器在含油污水处理中的应用

及其经济性运行策略

李周平 门志朋 郭 朋 江凯亮 (中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300457)

摘要: 本文探讨了核桃壳过滤器在含油污水深度处理中的应用。详细阐述了该技术的工作原理, 即利用核桃壳的吸附和过滤作用, 有效去除含油污水中的油分、悬浮物及有机物。通过实验研究和实际应用分析, 表明该技术具有良好的处理效果, 能显著提高水质。进一步探讨了该技术在降本增效方面的优势, 包括操作简便, 降低了人力成本; 运行成本较低, 减少了能源消耗和药剂使用; 且核桃壳作为过滤介质来源广泛、价格低廉, 降低了材料成本, 同时环保可再生, 符合可持续发展的要求。该技术的应用为含油污水深度处理提供了一种经济、高效、环保的解决方案。

关键词: 核桃壳过滤器; 深度处理技术; 降本增效; 经济性运行

1 引言

随着工业的快速发展, 含油污水的产生量不断增加, 对环境和人类健康造成了严重威胁。含油污水的深度处理成为了当前环境保护领域的一个重要课题^[1]。核桃壳过滤器作为一种有效的含油污水深度处理技术, 近年来受到了广泛的关注。核桃壳过滤器以其独特的过滤介质——核桃壳, 具有良好的吸附性能和过滤效果, 能够有效地去除含油污水中的油分、悬浮物和有机物等污染物, 提高水质, 使其达到排放标准或回用要求^[2]。核桃壳过滤器在含油污水深度处理中的应用, 不仅有助于缓解环境污染问题, 同时也为企业带来了显著的经济效益。本研究将对核桃壳过滤器的运行成本、维护策略及其长期稳定性进行深入分析, 以期为相关企业提供技术支持和参考依据。此外, 还将探讨核桃壳过滤器的降本增效问题, 以促进其在我国含油污水深度处理领域的广泛应用。

2 理论综述

含油污水是一种常见的工业废水, 其来源广泛, 危害严重。含油污水的来源主要包括以下方面: 石油工业。在石油开采、炼制、运输和储存过程中, 会产生大量的含油污水^[3]。2018-2024年中国污水年排放量如表1所示。

含油污水的危害则主要体现在以下方面: 对生态环境的破坏。含油污水进入水体后, 会在水面形成油

膜, 阻碍水体与空气的氧气交换, 导致水体缺氧, 影响水生生物的生存和繁殖。油类物质还会对土壤造成污染, 影响土壤的透气性和肥力。

含油污水若未经深度处理直接排放, 会对环境造成严重污染。油类物质会在水体表面形成油膜, 阻碍水体与空气的交换, 导致水中溶解氧减少, 影响水生生物的生存和繁殖, 破坏水生态平衡。而深度处理含油污水有助于节约水资源。随着水资源的日益短缺, 对污水进行深度处理, 使其达到回用标准, 可以缓解水资源紧张的局面。含油污水中往往含有一些有害物质, 如重金属、有机物等。通过深度处理, 可以有效去除这些有害物质, 降低对土壤、地下水等的污染风险, 保障人类健康和生态安全。因此, 含油污水深度处理符合可持续发展的要求。

核桃壳过滤器在含油污水处理中发挥着重要作用。含油污水对环境和人类健康都存在较大危害, 因此需要进行有效的处理。核桃壳过滤器作为一种常用的处理设备, 具有独特的优势。核桃壳过滤器利用核桃壳作为过滤介质, 能够有效去除含油污水中的油分、悬浮物和有机物等。其过滤原理是通过核桃壳的吸附和截留作用, 将污水中的污染物固定在过滤器内, 从而使处理后的水质得到改善。在处理含油污水时, 核桃壳过滤器具有操作简单、运行成本低、处理效果好等优点。它能够适应不同浓度和性质的含油污水, 通

表1 2018-2024年中国污水年排放量(亿立方米)

| 年份 | 2018年 | 2019年 | 2020年 | 2021年 | 2022年 | 2023年 | 2024年 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 排放量(亿立方米) | 521.12 | 554.65 | 571.36 | 625.08 | 649.04 | 672.06 | 694.58 |

过合理的设计和运行参数调整，可以达到较好的处理效果，使出水水质符合相关排放标准。

3 核桃壳过滤器的工作原理与特点

3.1 工作原理及特点

核桃壳过滤器主要利用核桃壳作为过滤介质。待处理的水从过滤器上部进入，经过核桃壳层的过滤作用，水中的悬浮物、有机物、油等杂质被截留和吸附在核桃壳表面及孔隙中，从而使水质得到净化。过滤后的清水从过滤器下部流出。随着过滤过程的进行，核桃壳表面的杂质会逐渐增多，当达到一定程度时，需要进行反冲洗，以去除吸附在核桃壳上的杂质，恢复过滤器的过滤性能。核桃壳过滤器具有以下特点：①良好的过滤效果：核桃壳具有较大的比表面积和孔隙率，能够有效地去除水中的悬浮物、有机物和油等杂质，提高水质。②较强的吸附能力：核桃壳对有机物和油类有较好的吸附性能，能够降低水中的化学需氧量（COD）和油含量。③耐腐蚀性：核桃壳具有一定的耐腐蚀性，能够在一定程度上抵抗水中的腐蚀性物质，延长过滤器的使用寿命。④反冲洗效果好：通过合理的反冲洗设计，能够有效地去除核桃壳表面的杂质。⑤操作简单：核桃壳过滤器的操作相对简单，维护方便，运行成本较低。⑥环保性：核桃壳是一种天然的材料，使用后可以进行妥善处理，不会对环境造成污染。

3.2 数学模型及计算方法

3.2.1 质量守恒方程

质量守恒方程是描述在封闭系统中，物质的质量不会产生或消失的物理定律的数学表达式。在流体力学和热力学中，它通常被用来描述流体系统中的质量变化。质量守恒方程表明，在一个封闭系统中，流进和流出的质量之差等于系统内质量的变化量。质量守恒方程的表达式如下所示：

$$\frac{\partial(\varepsilon c \rho_f)}{\partial t} = -\nabla \cdot (\varepsilon c \rho_f \vec{u}_1) + S_m \quad (1)$$

式（1）中， ε 为滤床孔隙率； \vec{u}_1 为滤速； t 为过滤时间； ρ_f 为油滴或悬浮固体的密度； c 为污水中油滴或悬浮固体的体积分数； ∇ 为梯度计算符； S_m 为质量源项。

质量守恒方程用来描述系统内部质量生成或消失，通常与化学反应、相变等过程相关，表示单位体积或单位时间内系统内质量的生成或消失率。

3.2.2 动量守恒方程以及动量源项

动量守恒方程，简称“动量守恒律”，在物理学中是一种重要原理。其表述为，一个系统在没有外

力或合外力为零的条件下，系统内的动量将保持不变。其方程为系统初始的总动量等于系统最终的总动量。动量守恒方程的表达式如下所示：

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho_1 \vec{u}_1 \right) + \nabla \cdot \left(\rho_1 \vec{u}_1 \vec{u}_1 \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \bar{\tau} + \rho_1 g t + S_d \quad (2)$$

式（2）中， ρ_1 为污水密度； p 为静态压力； $\bar{\tau}$ 为合应力张量； g 为重力加速度； S_d 为动量源项。

而动量源项，则是在流体力学中描述动量传递和流动特性的重要概念。它代表的是动量传输的源头，例如流体中力场的变化所引发的动量改变，可以通过源项的数值进行定量描述。动量源项 S_d 的表达式如下所示：

$$S_d = - \left(\frac{\mu_1}{\alpha} \vec{u}_1 + C_2 \frac{1}{2} \rho_1 |\vec{u}_1| \vec{u}_1 \right) \quad (3)$$

式（3）中， α 为多孔介质的渗透率； C_2 为惯性阻力系数； μ_1 为污水黏度。

综上，两者都是物理定律中的重要概念，分别描述了系统内动量的变化规律和动量传递的源头。在物理学和工程学的研究中，它们都扮演着不可或缺的角色。

3.2.3 过滤动力学模型

过滤动力学模型是一种研究过滤过程中流体和固体相互作用的数学模型。在化学、物理、生物等多个领域中，这种模型都被广泛运用。它描述了物质如何通过过滤器分离的过程，特别是分析粒子如何在特定环境下，通过特定的动力学原理通过或被滞留的动态行为。该模型的主要任务是分析流体中各种粒子或元素如何受到不同的动力效应，从而被滤材捕获或透过。这种模型对许多工程问题、环境保护和工业制造等领域具有重要意义，能够有效地帮助人们了解并控制过滤过程的效率与质量。因此，过滤动力学模型是理解流体过滤过程的重要工具。根据经典过滤模型，过滤速率可表示为：

$$N = \partial \sigma / \partial t = \lambda c |\vec{u}_1| \quad (4)$$

式（4）中， σ 为比沉积量； λ 为过滤系数。

过滤系数表达式为：

$$\lambda = \frac{9}{4d_c} A_s (1 - \varepsilon) N_R^2 \times \left(\frac{2}{3} N_L^{1/8} N_R^{-1/8} + \frac{9}{4000} N_G^{6/5} N_R^{-12/5} \right) \quad (5)$$

式（5）中， A_s 是流场参数； N_R 是拦截作用参数； N_G 是沉淀作用参数； N_L 是分子间作用力参数。

4 深度处理技术的发展

随着对含油污水处理要求的不断提高，新型滤料的研发成为核桃壳过滤器发展的一个重要方向。传统的核桃壳滤料在处理某些复杂水质时可能存在一定的局限性，研究人员正在努力开发具有更高吸附性能、更好选择性和更强耐污染能力的新型滤料。通过对核

桃壳进行改性处理，增加其表面活性基团，提高对油类和有机物的吸附能力；或者研发复合滤料，将核桃壳与其他材料结合，发挥各自的优势，提高过滤效果。

为了进一步提高含油污水的处理效果，核桃壳过滤器与其他处理技术的组合应用成为发展的趋势之一。例如将核桃壳过滤器与生物处理技术相结合，利用生物法去除水中的可生物降解有机物，再通过核桃壳过滤器去除剩余的悬浮物和油类，实现水质的深度净化。此外，还可以将核桃壳过滤器与膜分离技术、高级氧化技术等组合使用，发挥各自技术的优势，提高处理效率，降低处理成本。这种组合应用的方式能够充分发挥不同处理技术的特点，实现对含油污水的高效、全面处理。

随着智能化技术的不断发展，核桃壳过滤器的智能化控制与运行管理也成为未来的发展方向。通过安装传感器和监测设备，实时监测进水水质、过滤器运行状态等参数，并将这些数据传输到控制系统中。控制系统根据预设的算法和模型，自动调整过滤器的运行参数，如反冲洗时间、强度等，以保证过滤器的高效运行。智能化控制与运行管理能够提高过滤器的运行稳定性和可靠性，减少人工干预，降低运行成本，同时还能够实现对处理过程的精准控制，提高处理效果。核桃壳过滤器含油污水深度处理技术在新型滤料研发、与其他处理技术组合应用以及智能化控制与运行管理等方面呈现出良好的发展趋势。

5 核桃壳过滤器经济性运行策略

在含油污水处理中，核桃壳过滤器凭借其独特的优势得到了广泛应用。为了进一步提高该技术的经济效益和环境效益，实现降本增效的目标，可以采取以下策略：

①优化过滤器设计。合理设计核桃壳过滤器的结构和参数，提高过滤效率和处理能力。例如，选择合适的核桃壳颗粒大小和填充密度，优化过滤器的进出口布局，减少水流阻力，从而降低能耗和运行成本。

②改进反冲洗工艺。反冲洗是核桃壳过滤器保持良好过滤性能的关键环节。通过优化反冲洗参数，如反冲洗强度、时间和频率，可以有效去除过滤器内的污染物，延长过滤器的使用寿命，减少滤料更换成本。同时，采用智能化的反冲洗控制系统，根据过滤器的运行状况自动调整反冲洗参数，提高反冲洗的效果和效率。

③提高污水预处理效果。含油污水的预处理质量直接影响核桃壳过滤器的运行效果和寿命。加强污水

的预处理，如采用高效的油水分离技术、去除大颗粒杂质等，可以减轻过滤器的负荷，降低过滤器的堵塞和磨损，延长过滤器的运行周期，减少维修和更换成本。

④加强运行管理和维护。建立完善的运行管理制度，加强对核桃壳过滤器的日常监测和维护，及时发现和解决问题，确保过滤器的稳定运行。定期对过滤器进行检查和清洗，更换磨损的部件，保证过滤器的性能和效率。同时，加强操作人员的培训，提高其操作技能和管理水平，减少人为因素对过滤器运行的影响。

⑤资源回收利用。在含油污水深度处理过程中，会产生一定量的油泥和废渣等废弃物。通过采用合适的技术和设备，对这些废弃物进行回收和利用，如回收油泥中的油分、将废渣用于建筑材料等，可以实现资源的循环利用，降低处理成本，同时减少对环境的污染。

6 结论

核桃壳过滤器在含油污水深度处理中表现出了良好的性能。它能够有效地去除污水中的油分、悬浮物和部分有机物，显著提高水质。该技术具有操作简便、运行成本较低的优点。核桃壳作为过滤介质，来源广泛，价格相对低廉，且可再生利用，符合环保要求。在实际应用中，通过合理调整过滤器的运行参数，如过滤速度、反冲洗周期等，可以进一步提高处理效果，确保出水水质稳定达标。

核桃壳过滤器在含油污水深度处理中的广泛应用，不仅有助于降低处理成本，还能有效减少环境污染。此外，该技术的经济可行性和环境友好性使其成为可持续发展的理想选择。未来通过技术创新和工艺优化，核桃壳过滤器在含油污水处理领域的应用潜力将得到更充分的挖掘。

参考文献：

- [1] 周兴.海上低渗油田含油污水陶瓷膜处理现场试验与分析[J].石油化工应用,2024,43(11):61-65.
- [2] 张万能,程汉列,秦强,等.二氧化碳泡沫驱应用与研究现状综述[J].内蒙古石油化工,2021,47(10):5-7+12.
- [3] 程汉列,王连山,王建民.塔中东部奥陶系缝洞型油气藏见水类型分析[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2016,18(6):45-48.

作者简介：

李周平(1984-)，男，汉族，陕西渭南人，工程师，本科毕业于中国石油大学(华东)，现主要从事海洋油气开采相关研究工作。