

Investigation on Quantitative Reduction of Oily Sludge through Dewatering Method

Chen shuang¹, Xia ye², Dong xiumei³.

1. College of Chemistry & Chemical Engineering China University of Petroleum, State Key Laboratory of Heavy Oil Processing, Qingdao, China
 2. College of Chemistry & Chemical Engineering China University of Petroleum, State Key Laboratory of Heavy Oil Processing, Qingdao, China
 3. College of Chemistry & Chemical Engineering China University of Petroleum, State Key Laboratory of Heavy Oil Processing, Qingdao, China
- 1.chsh1030@163.com, 2. xiaye34@163.com, 3. xiumeidong@126.com

Abstract: Because of large amount, high water content and environmental stresses of oily sludge, quantitative reduction and dewatering of oily sludge requires particular attention. Inveatgating on the dewatering performance of two kinds of oily sludge from Shengli Oil Production Plant through pressure filtration method, The influences of adding different filter aids and flocculants on dewatering performance of oily sludge by pressure filtration method were experimentally investigated. The effect of these agents were investigated and finally excellent auxiliary agents were selected. Form trials of the laboratory scale frame filter and the skid-mounted pilot plant on the spot, it found that adding filter aid and flocculant are of advantage for filtering and the filter cake has low water ratio, which can meets the transportation requirement.

Keywords: Oily sludge; Pressure filtration; Filter aid; Flocculant

含油污泥脱水减量技术研究

陈爽¹, 夏晔², 董秀梅³

1. 中国石油大学 化学化工学院, 重质油国家重点实验室, 青岛, 中国, 266555
 2. 中国石油大学 化学化工学院, 重质油国家重点实验室, 青岛, 中国, 266555
 3. 中国石油大学 化学化工学院, 重质油国家重点实验室, 青岛, 中国, 266555
- 1.chsh1030@163.com, 2. xiaye34@163.com, 3. xiumeidong@126.com

【摘要】含油污泥产量大、含水率高、污染环境, 污泥的脱水减量是其处理技术的关键之一, 本论文针对胜利油田胜利采油厂两个不同场站的含油污泥进行压滤脱水性能实验, 考察添加不同德助滤剂和絮凝剂对含油污泥脱水性能的影响, 比较曲率效果, 最终选择出优良的主机及添加配比。研制出实验室撬装化压滤脱水小试, 并最终实现现场撬装化油泥半框压滤脱水装置的中试, 达到降低油泥含水率, 运输过程无散落无二次污染的要求。

【关键词】含油污泥; 压滤脱水; 助滤剂; 絮凝剂

1 引言

在油气田的勘探、开发、石油炼制以及原油储存过程中产生大量的含油污泥, 这些油泥砂不经处理随处堆放或直接填埋, 不但会占用大量场地, 而且将会对地下水、生态环境等造成二次污染^[1,2], 是油田及周边环境的重要污染源。含油污泥最终要实现减量化、无害化、资源化的综合处理过程, 减量化是实施资源化、无害化的前提。笔者通过考察助滤剂、絮凝剂对过滤

的影响研究, 筛选出优良的助滤剂和絮凝剂及其最佳添加配比。实现含油污泥高效、快速脱水减量处理, 达到处理过程中不落地、无二次污染, 脱水减量化处理后的油泥砂能直接装车外运, 污水回收, 循环使用。

2 实验

2.1 实验原理

污泥过滤的基本方程式由卡门公式^[3]表示:

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \cdot \omega \cdot r}{2 p A^2} V + \frac{\mu \cdot R_f}{p A} \quad (1)$$

$$\text{令: } b = \frac{\mu \cdot \omega \cdot r}{2 p A^2}, a = \frac{\mu \cdot R_f}{p A} \quad (2)$$

$$\text{则: } \frac{t}{V} = b \cdot V + a \quad (3)$$

$$\text{比阻为: } r = \frac{2 p A^2}{\mu} \cdot \frac{b}{\omega} \quad (4)$$

式中: V——滤液体积, m³;
 p——过滤时的压强, Pa;
 t——过滤时间, s;
 A——过滤面积, m²;
 μ——滤液粘度, Pa·s;
 R_f——过滤介质阻抗, 1/m²;
 ω——单位体积滤液在过滤介质上截留滤饼干固体质量, kg/m³;
 r——污泥比阻, m/kg, (单位过滤面积上, 单位干重滤饼所具有的阻力称比阻)。

比阻与操作压力的关系用以下公式表示:

$$r = r_0 p^s \quad (5)$$

r₀——单位压力差下的滤饼比阻, m/kg;
 s——滤饼的压缩指数, 其值恒小于 1, 由实验测定。

由式(4)和(5)可得:

$$\frac{2 p A^2}{\mu \omega} \cdot b = r_0 p^s \quad (6)$$

$$\text{令: } k = \frac{2 A^2}{\mu \omega} \quad (7)$$

$$\text{则: } \lg b = (s - 1) \lg p + \lg(r_0 / k) \quad (8)$$

由实验测得不同压力下的 b 值, 从而求得可压缩性系数 s。

2.2 实验原料

(1) 含油污泥样品

本课题主要针对胜利采油厂不同种类的含油污泥进行了实验研究。本文选取了胜利采油厂宁海站污泥(油泥编号 SLNH)。采用差减法测定自由水含率,

索氏提取器测定含油率, 激光粒度仪进行粒度的测量。得到油泥的物理性质如表 2-1 所示:

Table 2-1. The physical properties of oily sludge
 表 2-1. 含油污泥的物理性质

油泥编号	自由水 m%	含油率 %	含砂率 %	固体平均粒径 μm
SLNH	70.15	21.55	8.30	100.8

(2) 助剂: 采用了固体废弃物 HTK、GLF 作为助滤剂来协助含油污泥的脱水过滤。助滤剂和絮凝剂的性质见表 2-2 和表 2-3

Table 2-2. Nature of filter aid
 表 2-2. 助滤剂的性质

名称	中位粒径 μm	平均粒径 μm	性质
HTK	1220	1204	无毒、无味、在空气中稳定存在, 溶于水后不会发生化学反应。
GLF	437.7	422.5	无毒、无味的微细颗粒集合体, 主要由氧化硅玻璃球组成。

Table 2-3. Nature of Flocculants
 表 2-3. 絮凝剂的性质

代号	名称	性质	来源
1#	阳离子聚丙烯酰胺	白色颗粒物、无毒无味、可溶于水	东营污水处理 厂提供
2#	阴离子聚丙烯酰胺	白色颗粒、无毒无味、可溶于水	东营污水处理 厂提供
3#	聚合氯化铝 (PAC)	呈浅黄色粉末状、易溶于水、溶液为浅黄色透明液体	东营石大科技 提供

2.3 实验设备

根据压滤原理, 设计了如图 2-1 所示的实验室压滤装置, 操作为间歇式。将含油污泥加入压滤器, 密封后冲入氮气, 调节过滤压差, 同时接收滤液, 期间测量滤液体积 v 随时间 t 的变化数据。实验结束后卸下滤饼, 测量滤饼重量及含水率。

3 实验结果及讨论

3.1 SLNH 含油污泥过滤性能实验

过滤压差 0.2MPa, 不添加助剂时, 过滤速度较慢, 过滤完成需要近 4h, 故研究不同助剂的添加量对其过滤性能的影响。

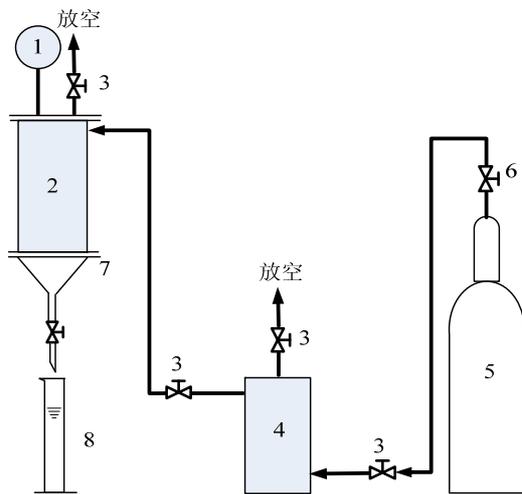


Figure 2-1 .The experimental setup for filtration

1-Manometer 2-Pressure filter 3-Needle valve 4-Buffer tank
5-Nitrogen cylinder 6-Pressure reducer 8-Measuring cylinder

图 2-1. 压滤实验装置图

1-压力表 2-压滤器 3-针阀 4-缓冲罐 5-氮气瓶 6-减压阀 8-量筒

3.1.1 添加 HTK 对 SLNH 油泥脱水效果的影响

(1) HTK 添加量对脱水效果的影响

取 SLNH 含油污泥 600g，过滤压差 0.3MPa，投入不同质量比的 HTK（筛分粒径为 0.3-0.5mm），实验过程中记录 t 和 V，以 t/V 和 V 作图，斜率即为 b，所得结果列表如下：

Table 3-1. SLNH oily sludge filtration resistance data sheet with HTK as filter aid

表 3-1. HTK 为助剂 SLNH 含油污泥的过滤比阻数据表

HTK wt%	0	0.75	1.0	1.25	1.5	2.0
$b \times 10^{-8}$	369	48.1	3.1	6	4.1	3.6
$r \times 10^{-13} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.87	0.22	0.016	0.027	0.016	0.013

加入 HTK 后，过滤时间明显缩短，比阻降低了一个数量级，随着 HTK 添加量的增加，比阻减小，在添加量为 1.5%（质量分数，wt%，下同）后，比阻减小趋势变缓。

(2) HTK 的添加对滤饼压缩性能的影响

加入筛分粒径为 0.3-0.5mm，1.0%的 HTK，记录 t 和 V，使用卡门公式计算压力和比阻之间的关系，随着过滤压差由 0.2MPa 增大至 0.3MPa，比阻由 $4 \times 10^{-13} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增大至 $9 \times 10^{-13} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

由实验数据及式(8)计算得到相关的 $\lg p - \lg b$ 数据，计算得到 s，作图 3-1 如下：

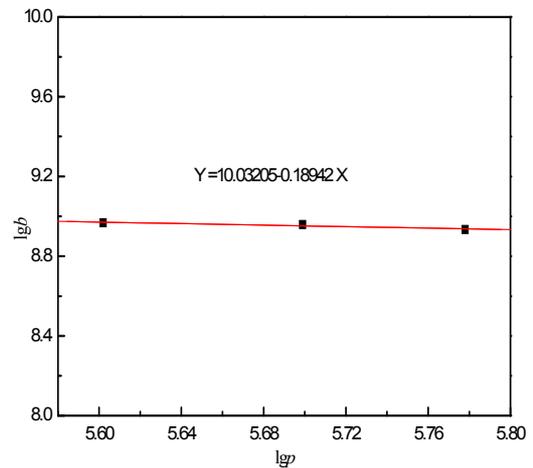


Figure 3-1. SLNH oily sludge $\lg p - \lg b$ curve (HTK as filter aid)

图 3-1. SLNH 油泥的 $\lg p - \lg b$ 曲线（HTK 为助剂）

由图可得，添加助滤剂 HTK 时，滤饼的可压缩性指数为 0.8106

(3) HTK 的粒径对油泥脱水性能的影响

在 SLNH 含油污泥中加入相同比例 1.0%的不同粒径的 HTK，在压差 0.3MPa 下进行过滤。做出过滤的比阻与 HTK 粒径的关系曲线如图 3-2 所示。

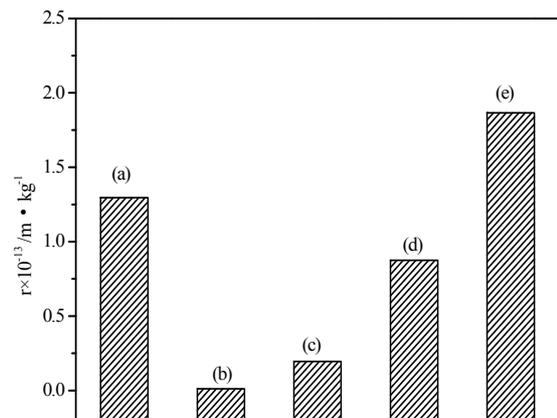


Figure 3-2. Different granularity levels of the specific filtration resistance of HTK

(a) less 0.3mm HTK (b) 0.3-0.5mmHTK (c) 0.5-0.71mmHTK (d) not broken HTK (e) blank

图 3-2. 不同粒度级别 HTK 的过滤比阻

(a) 0.3mm 以下 HTK (b) 0.3-0.5mmHTK (c) 0.5-0.71mmHTK (d) 不粉碎 HTK (e) 空白样

由图可知，粒径太小容易阻塞过滤的孔道，太大时又容易进入滤饼的孔隙，对于 SLNH 的污泥，HTK 的

最佳添加量为 1.5%，筛分粒径为 0.3-0.5mm，过滤的压力为 0.2MPa 时，滤饼紧实，脱水效果较好。

3.1.2 添加 GLF 对 SLNH 油泥脱水效果的影响

GLF 是一种粒径微小的固体废弃物，价廉易得，添加后可明显改善滤饼的性能，加速过滤时间。考察添加量和过滤压力两方面来评析 GLF 对油泥脱水性能的影响。

(1) GLF 添加量对脱水效果的影响

取含油污泥 600g，添加不同比例的 GLF，在 0.3MPa 压力下进行过滤。

从实验结果可以发现：当 GLF 的添加量由 0 增加至 3.5% 时，比阻逐渐降低，由 $20 \times 10^{-12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 下降至 $2 \times 10^{-12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，当添加量超过 3.0%，比阻下降趋势变缓，当添加量为 3.0% 时比阻存在最小值。见图 3-3。

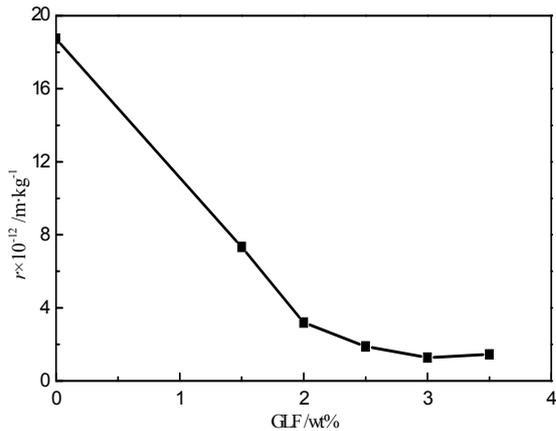


Figure 3-3. GLF content and filter resistance diagram
图 3-3. GLF 投入量与比阻关系图

(2) GLF 的添加对滤饼压缩性能的影响

取含油污泥 600g，添加质量分数为 3.0%，在不同的过滤压力下进行压滤实验。记录 t 和 V，使用卡门公式测定不同压力和比阻之间的关系，可得，随着压力由 0.1MPa 逐渐增大至 0.5MPa，比阻由 $0.8 \times 10^{-12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增大至 $1.75 \times 10^{-12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

由实验数据及式(8)计算得到相关的 $\lg p - \lg b$ 数据，计算得到 s，作图 3-4 如下：

由上图可得，添加助滤剂 GLF 时滤饼的可压缩性指数为 0.4796。

比较添加 GLF 和 HTK 后滤饼的压缩性系数可知，添加 GLF 的滤饼小于添加 HTK 的滤饼，一方面是由于添加量的不同，另一方面是因为 GLF 的粒径明显小

于 HTK 的，其形成的滤饼孔隙较少，压缩性较小，滤饼更为紧实，含水率也相对较低。

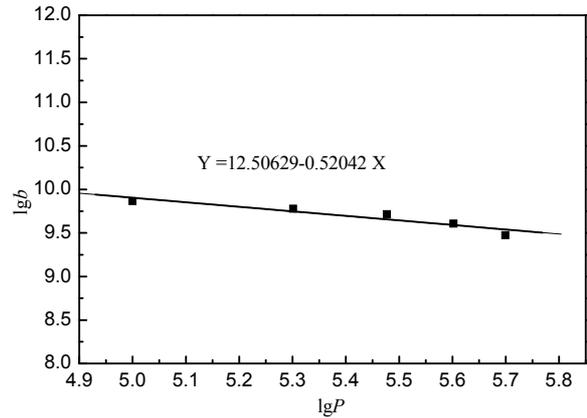


Figure 3-4. $\lg p - \lg b$ curve for sludge with GLF as filter aid
图 3-4. GLF 助剂的 $\lg p - \lg b$ 曲线

综上所述，GLF 的添加量为 3.0%，过滤压差为 0.2MPa。

GLF 由于价廉易得且不需要筛分粒径，尽管其添加量大于 HTK，但在经济上更为合理，使用价值较大。

3.1.3 添加絮凝剂对 SLNH 油泥脱水效果的影响

污泥在添加助滤剂后，滤饼坚实，但过滤速度改善不够理想，考虑使用絮凝剂来改善过滤效果。

实验使用的絮凝剂有无机型和有机型，有机型絮凝剂为 1#阳离子聚丙烯酰胺、2#阴离子聚丙烯酰胺；无机絮凝剂为 3#聚合氯化铝。

(1) 絮凝时间对过滤效果的影响

向油泥中加入 0.15% 的 1#絮凝剂，匀速搅拌，过滤压差为 0.2MPa，考察添加絮凝剂后搅拌及静置时间对油泥脱水性能的影响，作出表 3-2。

观察实验现象，过滤时间相对较短，滤液澄清，滤饼的含水率高于使用助滤剂时，但是卸饼容易，节省了辅助时间。

Table 3-2. The relation between flocculation time and filter resistance
表 3-2. 絮凝时间对过滤比阻的影响 (1#絮凝剂)

絮凝时间	过滤时间 min	过滤比阻 $r \times 10^{-12}$ $\text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$
空白样	240	18.73
不断搅拌 5min	165	135.93
不断搅拌 10min	10	9.63
搅拌 5min，静置 55min	60	45.54
搅拌 5min，静置 235min	30	21.99

由上表可得，搅拌时间和静置时间增加，絮凝更加充分，絮团更加稀松，水分易析出，所以，增加搅拌和静置时间都可以加快过滤速度，降低过滤比阻。

(2) 有机絮凝剂添加量对过滤效果的影响

0.2MPa 下，向 SLNH 油泥中加入不同比例的 1# 和 2#絮凝剂，匀速搅拌 10min，考察不同的添加量对絮凝剂过滤效果的影响，结果列于表 3-3。

Table 3-3. Filter data table with flocculant added
表 3-3. 絮凝剂的过滤数据表格

投入比例 wt%	0.07		0.10		0.15	
	滤饼含 水率/%	$r \times 10^{-12}$ $m \cdot kg^{-1}$	滤饼含 水率/%	$r \times 10^{-12}$ $m \cdot kg^{-1}$	滤饼 含 水率 /%	$r \times 10^{-12}$ $m \cdot kg^{-1}$
1#	77.25	14.69	81.16	0.85	80.82	1.48
2#	70.87	1.80	86.33	4.53	86.40	14.90

投入比例 wt%	0.20		0.25		0.30	
	滤饼含 水率/%	$r \times 10^{-12}$ $m \cdot kg^{-1}$	滤饼含 水率/%	$r \times 10^{-12}$ $m \cdot kg^{-1}$	滤饼 含 水率 /%	$r \times 10^{-12}$ $m \cdot kg^{-1}$
1#	82.22	1.23	82.32	1.54	80.96	0.45
2#	80.99	21.44	84.60	7.97	84.44	7.54

随着 1#和 2#絮凝剂投入量的增加，滤饼的含水率有上升的趋势。1#絮凝剂随着添加量的增加，过滤比阻降低，当添加比例超过 0.1%后，过滤的比阻基本趋于稳定。2#絮凝剂随着加入量的增加，过滤比阻变化先增加后减小，2#絮凝剂不如 1#絮凝剂稳定，2#絮凝剂投入量改变时，过滤的时间和比阻变化比较大。

(3) 无机絮凝剂对过滤效果的影响

取 SLNH 含油污泥 600g，在压力 0.3MPa 下，添加不同比例的 PAC 进行过滤，考察不同添加比例对油泥脱水效果的影响，作图 3-5：

由图得出，PAC 的投加量相对于有机型的聚丙烯酰胺的用量要大。随着加药量的增加，过滤的比阻先降低后逐渐增加，存在最佳值，当投加比例超过 1.0% 之后，过滤比阻趋于不变，PAC 的最佳添加量为 0.33% 有机絮凝剂与无机絮凝剂相比，絮凝效果明显，且滤液澄清。有机絮凝剂的絮凝效果和吸附能力较好。

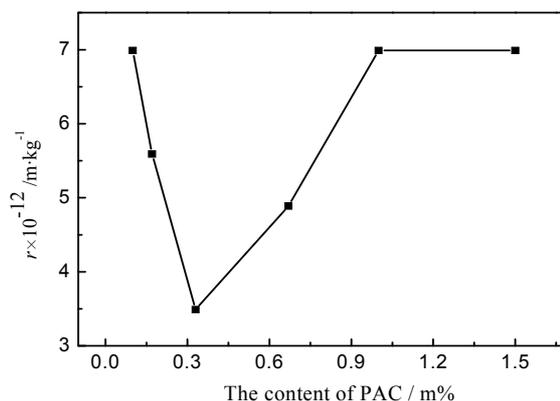


Figure 3-5. The relation between add proportion of PAC and filter resistance

图 3-5. PAC 的投加比例与过滤比阻关系

4 实验结论

(1) 对 SLNH 的油泥，使用助滤剂时最佳的操作条件为：HTK 平均粒径为 0.3-0.5mm，添加量为 1.5%，操作压力为 0.2MPa。GLF 的添加量为 3.0%，操作压力为 0.2MPa；使用絮凝剂时搅拌时间和静置时间的增加可降低比阻，加快过滤速度；1#和 2#絮凝剂存在最优的添加量，1#为 0.1%，2#为 0.07%，但 2#操作的稳定性较差；操作压力为 0.3MPa 下，PAC 的最优添加量为 0.33%；

(3)助滤剂的添加量较高，所形成的滤饼紧实，其中 GLF 助滤剂价廉易得，脱水效果较好，有较高的工业应用价值。有机絮凝剂的絮凝效果好于无机絮凝剂，添加剂可以大幅的降低操作时间，但滤饼的含水率较高。

References (参考文献)

- [1] Sun Jingxin, Liu Xiaoyan, Mao Guocheng, Advance of Treating Technique for Oily Sludge in Oilfield[J], China Resources Comprehensive Utilization, 2006(6), 18-22. 孙景欣, 刘晓艳, 毛国成, 等. 油田含油污泥处理技术研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2006(6): 18-22.
- [2] Zhen Xiaowei, Chen Liping, The Development and Prospect of Treatment of Oily Sludge[J], China Resources Comprehensive Utilization, 2008(1), 34-36. 郑晓伟, 陈立平. 含油污泥处理技术研究进展与展望[J]. 中国资源综合利用, 2008, 1:34-36.
- [3] Liu Heng, Research and Development of Belt Fliter Press[D], Guangdong:Guangdong University of Technology. 刘恒. 带式压滤机的研究与发展[D]. 广东: 广东工业大学.