

# 油田污泥离心脱水减量处理现场试验

王兴旺\*, 魏立新, 刘鹏, 李凯欣, 成毅, 张煜

(东北石油大学提高油气采收率教育部重点实验室, 黑龙江大庆163318)

**摘要:**为了保证注水水质达标, 油田污水站采用连续排泥工艺降低悬浮物和泥沙的含量, 由此产生大量含水率高的污泥, 造成运输费用及后续无害化处理费用的增加, 因此, 需要对污泥进行减量处理。以卧螺离心机为关键设备, 设计了1套污泥离心脱水减量工艺。通过现场试验得到转速、差速、絮凝剂投加量、温度对减量效果的作用规律。在一定范围内, 转速越高、差速越低、絮凝剂投加量越大、温度越高, 处理后的污泥含水越少。采用正交试验方法优化得到工艺最佳运行参数: 转速为2 500 r/min, 差速为9 r/min, 加药量为225 g/m<sup>3</sup>, 温度为55℃。处理后, 平均含水率从入口的97.37%下降到出口口的59.17%, 平均含固率从入口的1.73%上升到出口口的33.72%。离心机出水口和出口分流比范围为24.14:1~33.19:1, 对应的污泥减量比例为96.02%~97.08%, 污泥减量效果很好。

**关键词:** 油田污泥; 卧螺离心机; 减量处理; 方案优化; 分流比

中图分类号: TE992

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2017)10-0093-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.10.022

## Site test for centrifugal dehydration reduction treatment of oilfield sludge

WANG Xing-wang\*, WEI Li-xin, LIU Peng, LI Kai-xin, CHENG Yi, ZHANG Yu

(Key Laboratory for Enhanced Oil & Gas Recovery of the Ministry of Education, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

**Abstract:** In order to ensure the quality of added water to meet the standards, the oilfield sewage station uses continuous sludge discharge process to reduce the content of suspended solids and sediment in water, which brings about a large amount of sludge with high water content, and increases the cost in transport and subsequent harmless treatment. Therefore, it is necessary to reduce the generated amount of sludge. A centrifugal dehydration reduction process for sludge is designed using decanter centrifuge as the key equipment. The influence rules of the rotational speed, differential speed, flocculant dosage and temperature on the reduction effect are obtained through site test. In a certain range, the higher rotational speed, the lower differential speed, the larger flocculant dosage, and the higher temperature all benefit the reduction of water content in treated sludge. The optimum operating parameters obtained by orthogonal test method are as follows: rotational speed is 2 500 r·min<sup>-1</sup>, differential speed is 9 r·min<sup>-1</sup>, flocculant dosage is 225 g·m<sup>-3</sup> and temperature at 55℃. After treatment, the average water content in sludge decreases from 97.37% at the inlet to 59.17% at the sludge-outlet, and the average solid content increases from 1.73% at the inlet to 33.72% at the sludge-outlet. The split ratio of the water-outlet to sludge-outlet of the decanter centrifuge is 24.14:1~33.19:1, the corresponding sludge reduction ratio is 96.02%~97.08%, representing a good sludge reduction effect.

**Key words:** oilfield sludge; decanter centrifuge; reduction treatment; scheme optimization; split ratio

大规模推广聚驱采油技术增加了油井采出液携砂量及悬浮物含量, 造成污水处理系统负荷大, 处理后水质不达标等问题。为保证水质达标, 油田生产中缩短清淤周期, 污水系统采用连续排泥工艺, 有效缓解了采出液携砂量大幅度增加带来的问题。但污水系统连续排出的污泥中含水率高达90%以上, 导致污泥存积、拉运和后续处理的量显著增大。常用的后续污泥无害化处理方法有超声波法、焚烧法、热解法、萃取法等<sup>[1-6]</sup>, 这些处理方法的成本较高, 因此, 需要对连续排泥工艺产生的污泥进行减量化处理, 减少拉运费用和后续处理的处理量, 保障无害化处理装置高效运行。

油田污水站具有数量多、分布远的特点, 综合考

虑处理量、能耗、费用, 选用调质-机械分离法进行污泥减量化处理<sup>[7-9]</sup>。该方法通过调整污泥固体粒子群的性状和排列状态, 使之适合机械分离处理以改善脱水效果, 在污泥含水率为30%~70%的工程中应用良好。但是污水系统连续排出的污泥含水率高达90%, 因此, 需要对工艺进行设计, 并通过现场试验得到影响因素对减量效果的作用规律, 优化工艺参数。

## 1 油田污泥离心脱水减量处理工艺

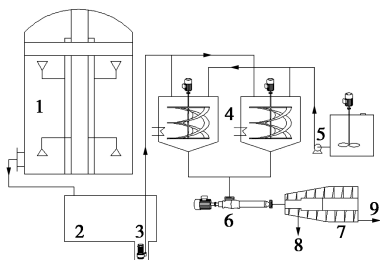
根据卧螺离心机的结构、工作原理及效率影响因素, 设计了油田污泥离心脱水减量处理工艺, 如图1所示。人工清淤中通过加压锅炉热水射流剥离

收稿日期: 2017-06-12

基金项目: 国家自然科学基金资助(51674086)

作者简介: 王兴旺(1990-), 男, 博士研究生, 研究方向为油田污水处理技术, 通讯联系人, deshengp1600@163.com; 魏立新(1973-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为油气储运工程优化与节能降耗技术, wlxfyx@sina.com。

含油污泥,排放至沉降罐外的缓冲水池,缓冲水池内的沉没泵将高含水污泥泵送至调质搅拌罐内进行加热、搅拌、匀化,加入絮凝剂使污泥中的悬浮物及固体进行絮凝,减轻高速离心运动中固相的破碎分散,调质罐内的搅拌可以显著减少药剂的用量。采用螺杆泵替代离心泵输送污泥,防止破坏絮团。离心处理后,污泥中的水相进入回收水池,浓缩减量后的污泥装车外运。



1—沉降罐;2—缓冲水池;3—沉没泵;4—调质罐;  
5—絮凝剂加药装置;6—螺杆泵;7—卧螺离心机;  
8—污泥装车外运;9—污水去回收水池

图 1 油田污泥离心脱水减量处理工艺

在离心机入口、出水口和出泥口取样,检测水样和泥样的含水量、含油量、含固量。泥样检测借鉴张珂等<sup>[10]</sup>开发的测定样品中油和/或水含量的装置及方法,组装的污泥检测装置如图 2 所示。该装置通过分液管读出含水量;索氏提取器萃取、烘干得到含固量;差重法得到含油量。水样检测采用蒸馏法得到含水量;分光光度法得到含油量;差重法得到含固量。

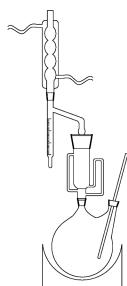


图 2 泥样检测装置

## 2 工艺参数对减量效果的影响

### 2.1 转速对减量效果的影响

调整离心机的转速,以处理后污泥含水率为评价指标,在进泥量保持一定( $8 \text{ m}^3/\text{h}$ )的条件下,同一调质罐内的污泥在不同转速下的处理效果如图 3 所示。为了确保转速与样品对应,在调整转数 10 min 后取样。具体工艺参数:转速为 2 000 ~

2 600 r/min,差速为 9.5 r/min,加药量为  $175 \text{ g}/\text{m}^3$ ,温度为  $45^\circ\text{C}$ 。

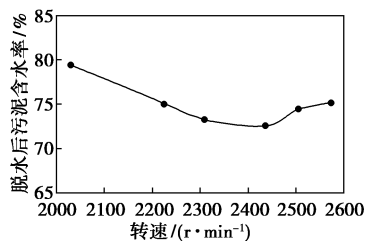


图 3 转速对处理效果的影响

由图 3 可以看出,当转速在 2 031 ~ 2 437 r/min 的范围内,转速越高分离效果越好,泥出口含水越少。但并不是转速越高越好,含油污泥不易沉降,当转速超过 2 437 r/min 后,出泥中含水率升高。这是因为含油污泥是一种通过架桥作用和范德华力将高分子絮凝剂、固相和含油胶粒絮凝在一起的胶合物,在过高转速作用下分开的结果。虽然三者作为整体,密度略大于油水混合物。然而作为单相,含油较高的胶粒的密度小于高分子絮凝剂的密度,因此,当离心机转速增大,由密度差引起的离心力随之增大。当离心力大于相对稳定的胶合物内部组成之间的架桥作用和范德华力合力时,絮凝作用减弱,胶合物失稳破坏。因而出现转速过高,处理效果变差的现象。

### 2.2 差速对减量效果的影响

离心机主要通过转鼓和螺旋输送器的差速推动固相实现固液分离。在转速为 2 370 r/min,加药量为  $175 \text{ g}/\text{m}^3$ ,温度为  $45^\circ\text{C}$ ,差速为 9 ~ 11.5 r/min 的工艺参数下进行现场试验。得到差速对处理效果的影响如图 4 所示。

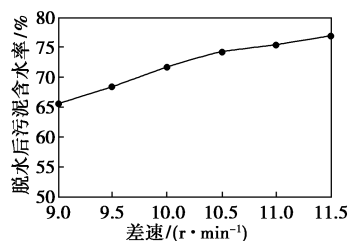


图 4 差速对处理效果的影响

由图 4 可以看出,随着差速的增加,离心处理后的污泥出现含水率升高的现象,当差速在 9 ~ 10.5 r/min 范围内,变化较快,超过 10.5 r/min 后,变化较慢。这是由于差速的大小影响离心机排固量的大小,差速过高时,转鼓内流体的扰动作用加强,会增大流体对转鼓内壁沉积固相的冲刷,影响分离效果。因此,差速应该保持在较低水平。

## 2.3 加药量对减量效果的影响

絮凝剂 CPAM 的投加可以使污泥中分散的物质絮凝,增强离心作用下的液固分离效果。在转速为 2 377 r/min,差速为 9.7 r/min,温度为 45℃,加药量为 150~275 g/m<sup>3</sup> 的条件下进行试验,加药量对处理效果的影响如图 5 所示。

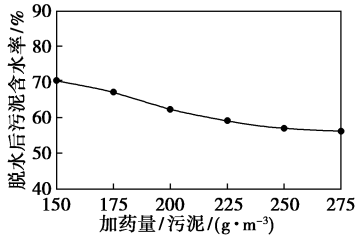


图 5 加药量对处理效果的影响

污泥中的固相和含油胶粒通常带有负电荷,相互排斥,加入絮凝剂后,降低了粒子电位,使粒子相互吸引形成絮团。同时絮凝剂本身的吸附架桥作用又将大量的絮团吸附形成了更大的絮团,在离心作用下固相下沉。从图 5 可以看出,随着加药量的增加,处理后的污泥含水率下降。在加药量由 150 g/m<sup>3</sup> 增加到 225 g/m<sup>3</sup> 时,污泥含水率随加药量的增加急剧降低。加药量在 225~275 g/m<sup>3</sup> 之间含水率降低缓慢。

## 2.4 温度对减量效果的影响

温度对水质黏度和絮凝剂的作用具有一定的影响,在转速为 2 392 r/min,差速为 9.5 r/min,加药量为 175 g/m<sup>3</sup>,温度为 35~65℃ 的条件下进行试验,得到温度对处理效果的影响如图 6 所示。

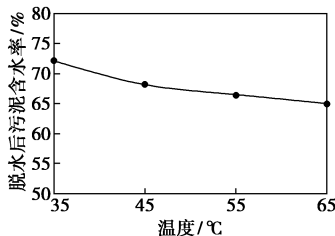


图 6 温度对处理效果的影响

由图 6 可以看出,随着温度的升高,处理后污泥含水率不断下降,尤其是 35~45℃ 范围内下降明显。这是因为温度升高,降低了水相黏度,同时减弱了界面膜强度,使更多的水滴和含油胶粒分开。温度升高加剧了固相、含油胶粒的热运动强度,增加碰撞机会,有利于固相、胶粒脱稳凝聚。综上所述,温度对污泥处理效果的影响主要是通过改变油水黏度和增加聚并频率实现。随着温度的进一步升高,含水率

下降趋势放缓。

## 3 工艺方案优化

### 3.1 参数优化

转速、差速、加药量、温度 4 个因素的综合作用决定了油田污泥离心脱水减量处理效果,采用正交试验设计方法优化工艺方案。设计的四因素四水平表及实验方案和结果分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 因素水平表

水平	转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	差速/ (r·min <sup>-1</sup> )	加药量/ (g·m <sup>-3</sup> )	温度/°C
1	2200	9.0	175	35
2	2300	9.5	200	45
3	2400	10.0	225	55
4	2500	10.5	250	65

表 2 正交试验方案和结果表

试验 编号	A 转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	B 差速/ (r·min <sup>-1</sup> )	C 加药量/ (g·m <sup>-3</sup> )	D 温度/ °C	含水率/ %
1	1	1	1	1	73.24
2	1	2	2	2	75.39
3	1	3	3	3	74.11
4	1	4	4	4	76.67
5	2	1	2	3	70.04
6	2	2	1	4	72.93
7	2	3	4	1	73.29
8	2	4	3	2	75.02
9	3	1	3	4	64.76
10	3	2	4	3	67.42
11	3	3	1	2	70.71
12	3	4	2	1	74.76
13	4	1	4	2	65.78
14	4	2	3	1	68.83
15	4	3	2	4	68.27
16	4	4	1	3	70.45
K1	299.41	273.82	287.33	290.12	
K2	291.28	284.57	288.46	286.90	
K3	277.65	286.38	282.72	282.02	
K4	273.33	296.90	283.16	282.63	
k1	74.85	68.46	71.83	72.53	
k2	72.82	71.14	72.12	71.73	
k3	69.41	71.60	70.68	70.51	
k4	68.33	74.23	70.79	70.66	
极差值 R	6.52	5.77	1.44	2.03	
主次顺序		A>B>D>C			
优水平	A <sub>4</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>	
优组合		A <sub>4</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub> D <sub>3</sub>			

离心后的污泥含水率越低说明处理效果越好,极差结果  $R_A > R_B > R_D > R_C$ , 表明在变化的水平范围内,转速是影响离心处理效果的主要因素,其次是差速、温度和加药量。此外,A 因素(转速)水平的变动对试验结果有影响,由  $k_{A4} < k_{A3} < k_{A2} < k_{A1}$  可以断定,  $A_4$  为 A 因素(转速)的优水平。同理确定其他因素的优水平,得到优组合为  $A_4 B_1 C_3 D_3$ , 即试验的最优运行方案:转速为 2 500 r/min,差速为 9 r/min,加药量为 225 g/m<sup>3</sup>,温度为 55℃。

### 3.2 工艺稳定性分析

将工艺在最佳方案下连续运行 2 h,每小时取样 5 次,考察工艺运行的稳定性,结果表 3 所示。离心机入口、出水口、出泥口取样测试结果表明,排出的污泥物性参数平稳,出泥口的含水率和含固率波动较小。处理后,平均含水率从入口的 97.37% 下降到出泥口的 59.17%,平均含固率从污泥入口的 1.73% 上升到出泥口的 33.72%。

表 3 工艺运行稳定性测试结果

编号	入口			出水口			出泥口		
	含水率/%	含固率/%	含油率/%	含水率/%	含固率/%	含油率/%	含水率/%	含固率/%	含油率/%
1	97.22	1.86	0.92	98.41	0.63	0.96	58.78	32.72	8.50
2	97.56	1.93	0.51	98.55	0.65	0.80	58.68	34.41	6.91
3	96.87	1.65	1.48	98.71	1.09	0.20	60.65	35.04	4.31
4	97.67	1.63	0.70	99.34	0.50	0.16	60.73	34.08	5.19
5	97.79	1.85	0.36	99.29	0.57	0.14	59.87	33.44	6.69
6	97.22	1.70	1.08	98.85	0.77	0.38	57.79	32.93	9.28
7	97.17	1.87	0.96	98.35	0.68	0.97	61.09	34.48	4.43
8	97.13	1.51	1.36	98.86	0.75	0.39	59.09	32.69	8.22
9	97.79	1.88	0.33	99.04	0.59	0.37	60.14	31.46	8.40
10	97.69	1.89	0.42	99.22	0.62	0.16	59.19	33.59	7.22

分流比是离心机出水口和出泥口流出介质的质量比,可定量评价污泥减量效果。定义从入口进入离心机的污泥总量为 1,从出水口、出泥口排出介质的质量比分别为  $a$ 、 $b$ ,建立油、水、固三相的质量守恒方程:

$$1 \times W_{win_w} = 1 \times a \times W_{wout_w} + 1 \times b \times W_{sout_w}$$

$$1 \times W_{win_o} = 1 \times a \times W_{wout_o} + 1 \times b \times W_{sout_o}$$

$$1 \times W_{win_s} = 1 \times a \times W_{wout_s} + 1 \times b \times W_{sout_s}$$

式中:  $W_{win_w}$ 、 $W_{win_o}$ 、 $W_{win_s}$  分别为入口含水、油、固的质量分数;  $W_{wout_w}$ 、 $W_{wout_o}$ 、 $W_{wout_s}$  分别为出水口含水、油、固的质量分数;  $W_{sout_w}$ 、 $W_{sout_o}$ 、 $W_{sout_s}$  分别为出泥口含水、油、固的质量分数。

该方程组是方程个数大于未知量个数的超定方程组,采用最小二乘法,在 Lingo 软件中对方程组进行拟合计算,得到 10 组样品对应的离心机出水口和出泥口分流比范围为 24.14:1~33.19:1,即污泥的减量比例为 96.02%~97.08%,达到了污泥减量的目的。

## 4 结论

(1)依托污水站现有工艺,以卧螺离心机为关键设备,与缓冲水池、沉没泵、调质罐、絮凝剂加药装置、回收水池等组合成一套油田污泥离心脱水减量处理工艺。

(2)现场试验分析减量工艺的影响因素,包括转速、差速、加药量和温度。结果表明,在一定范围内,离心机的转速越高,差速越低,絮凝剂加药量大,温度较高,有利于降低出泥口的污泥含水率。

(3)采用正交试验方法优化得到最佳离心减量处理工艺参数为:转速为 2 500 r/min,差速为 9 r/min,加药量为 225 g/m<sup>3</sup>,温度为 55℃。处理后,平均含水率从入口的 97.37% 下降到出泥口的 59.17%,平均含固率从污泥入口的 1.73% 上升到出泥口的 33.72%。工艺运行稳定,离心机出水口和出泥口分流比范围是 24.14:1~33.19:1,对应的污泥减量比例为 96.02%~97.08%,达到了污泥减量的目的。

## 参考文献

- [1] 陈忠喜.大庆油田含油污水及含油污泥生化/物化处理技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
- [2] 薛涛.含油污泥无害化处理与资源回用技术研究[D].西安:长安大学,2003.
- [3] 杨双春,刘国斌,张金辉,等.国内外含油污泥处理技术研究进展[J].现代化工,2012,(11):36-39,41.
- [4] 梅洛洛,王炳人,徐周云,等.含油污泥多元无害化处理试验研究[J].现代化工,2015,(11):103-105,107.
- [5] 李庄,李金林,赵凤伟.含油污泥焚烧技术及其在海外油田项目的应用[J].中国给水排水,2015,(16):76-79.
- [6] 刘利群,刘春江.间接热解吸技术在含油污泥处理中的应用[J].天然气与石油,2017,(2):117-120.
- [7] 谭蔚,邢帅,贡皓霜,等.热碱水洗-机械脱水工艺处理石油污染土壤[J].现代化工,2016,(6):63-66.
- [8] 高雯,董良飞,张凤娥,等.不同调理剂对含油污泥脱水性能的影响研究[J].中国给水排水,2016,(19):115-119.
- [9] 董秀梅.含油污泥脱水减量技术研究[D].青岛:中国石油大学,2010.
- [10] 张珂,朱建华,周勇,等.测定样品中油和/或水含量的装置及方法:中国,CN102778409A[P].2012-11-14. ■