

# 离心式污泥减量化处理工艺方案优化

魏立新, 李哲\*, 王倩楠, 王佳楠, 杨贺

(东北石油大学石油工程学院, 黑龙江 大庆 163318)

**摘要:**为获得离心式污泥减量化处理经济运行方案, 针对大庆油田某聚驱区块污水站沉降罐罐底含油污泥进行现场试验及室内化验分析。结合化验结果, 得出卧螺离心机运行参数和试验介质参数对离心式污泥减量化处理效果的影响规律, 并采用正交试验方法设计试验, 确定了离心式污泥减量化处理优化运行方案。

**关键词:**含油污泥; 减量化; 影响规律; 正交试验; 方案优化

中图分类号: TE97

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2016)06-0136-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2016.06.033

## Process optimization of centrifugal sludge reduction treatment

WEI Li-xin, LI Zhe\*, WANG Qian-nan, WANG Jia-nan, YANG He

(School of Petroleum Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

**Abstract:** In order to obtain an economic operation program of centrifugal sludge reduction treatment, field test and indoor laboratory analysis against oily sludge are carried out in a settling tank of sewage station for polymer flooding in Daqing oilfield. The parameters for the operation of decanter centrifuge and test medium are obtained. The influence law about centrifugal sludge reduction treatment effect is also achieved. The optimal program of centrifugal sludge reduction treatment is finally determined based on the orthogonal test.

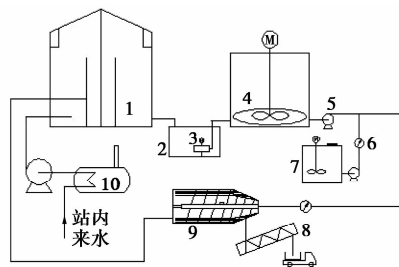
**Key words:** oily sludge; reduction; influence law; orthogonal test; optimization

油田含油污泥主要来源于各类储罐、油水分离器以及偷油漏油事故。含油污泥中的油气挥发造成局部地区空气总烃浓度超标, 油气中含有的某些烃类物质具有致癌、致畸、致突变作用; 流失于地表的含油污泥不仅污染地表水甚至地下水, 而且造成土壤板结、草原退化, 生态环境遭到严重破坏<sup>[1]</sup>。据有关部门统计<sup>[2]</sup>, 仅大庆、胜利、辽河三大油田每年产生的含油污泥就达 200 万 m<sup>3</sup>。近年, 因资源短缺, 国内外科研人员对于资源化、减量化处理含油污泥的研究从未间断过, 主要研究成果有含油污泥的高温裂解法、溶剂萃取法、生物处理法等<sup>[3-5]</sup>。此外, 超声波处理<sup>[1]</sup>和污泥分离器<sup>[6]</sup>等新技术、新设备作为含油污泥处理的辅助手段也应运而生。而调质-机械离心分离技术作为一种比较成熟的含油污泥处理技术, 因其原油回收率高、浓缩脱水效果好、处理量大等优点而被广泛应用<sup>[7]</sup>。卧螺离心机作为机械离心分离的核心设备, 其经济运行方案对于减少运输及后处理费用、增加原油回收量、提高油田经济效益具有重要意义。本文中针对大庆油田某聚

驱区块污水站含油污泥进行现场试验及室内化验分析, 对离心式污泥减量化处理效果的影响因素进行研究, 确定了离心式污泥减量化处理优化运行方案。

## 1 离心式污泥减量化处理工艺流程

污水站离心式污泥减量化处理工艺流程如图 1 所示。该工艺流程采用外输水经加热、加压后, 由喷头对罐内含油污泥进行射流剥离, 含油污泥从清扫



1—沉降罐; 2—缓冲水池; 3—浸没泵; 4—加热搅拌罐;  
5—离心泵; 6—流量计; 7—加药装置; 8—螺旋运输机;  
9—卧螺离心机; 10—加热炉

图 1 离心式污泥减量化处理现场工艺流程图

收稿日期: 2016-02-14

基金项目: 中国石油科技创新基金项目(2014D-5006-0607)

作者简介: 魏立新(1973-), 男, 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; 李哲(1989-), 男, 硕士生, 研究方向为油气储运工程优化与节能降耗技术, 通讯联系人, 0459-6504578, lx\_zdhaen@163.com。

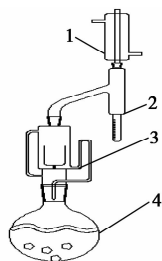
孔流入罐外的缓冲水池,由浸没泵将污泥泵送至加热搅拌罐,在加热搅拌罐中加热至 70℃,并搅拌均匀。然后泵送至卧螺离心机中进行离心处理。为提高处理效果,在污泥进入卧螺离心机前在线加入絮凝剂,使污泥中的细小沙粒进行絮凝,减轻高速离心运动中沙粒的破碎分散。离心处理后,污泥中的水相进入沉降罐,进行油水分离,浓缩后的污泥装车外运。

## 2 室内化验分析

评价离心式污泥减量化处理效果的指标为卧螺离心机出泥口泥饼的含水率及出水口的含固率。

### 2.1 泥样检测方法

卧螺离心机出泥口泥样检测装置如图 2 所示。



1—冷凝管;2—分液管;3—索氏提取器;4—圆底烧瓶

图 2 泥样检测装置

该检测装置<sup>[8]</sup>的化学药剂为甲苯,甲苯的沸点为 110.6℃,密度小于水且极微溶于水。检测过程为:缓慢加热圆底烧瓶中的甲苯,甲苯蒸气冷凝后回流至分液管和索氏提取器,索氏提取器中泥样逐渐被甲苯浸没,液态甲苯对泥样中的原油进行萃取,同

时使泥样中的水加热蒸发。水蒸汽同圆底烧瓶中的甲苯蒸气一同经冷凝管冷凝后回流至分液管,由于水的密度大,水位于分液管下层,所以泥样中的含水量可由分液管读取。索氏提取器中甲苯达到一定高度后回流至圆底烧瓶,如此循环直至将泥样中的油和水脱除,剩余的泥沙经烘干后称重。最终由差重法得知泥样中含油量。

### 2.2 水样检测方法

水样是卧螺离心机进口和出水口试验样品的总称。水样含水量检测<sup>[9]</sup>同泥样检测装置类似,将图 2 中的索氏提取器拿掉,直接将分液管与圆底烧瓶连接。简化后的实验装置只能检测水样中的含水量,而水样含油量检测需采取分光光度法<sup>[10]</sup>,由吸光度值和标准曲线计算得到水样中含油量。而水样中含固量由差重法计算得到。

## 3 离心式污泥减量化处理影响因素

### 3.1 设备运行参数对处理效果的影响

#### 3.1.1 转鼓转速

转鼓转速直接影响物料所受离心力大小,转速越高,所受离心力越大,但过高的转速势必会消耗更大的动力,离心机轴瓦温度升高,不利于安全平稳运行<sup>[11]</sup>。同时,过高的转速还会破坏絮凝体,使脱水效果变差。在卧螺离心机差速 9.2 r/min、堰板高度 112 mm、进泥量 10 m<sup>3</sup>/h、加药量 200 g/m<sup>3</sup> 时,调整离心机的转速,考察转鼓转速对污泥处理效果的影响。具体测试数据见表 1 和图 3。

(上接第 135 页)

[9] Alessandra Basso, Amelie Ducret, Lucia Gardossia. Synthesis of octyl glucopyranoside by almond  $\beta$ -glucosidase adsorbed onto Celite R-640<sup>®</sup> [J]. *Tetrahedron Letters*, 2002, 43: 2005 - 2008.

[10] 周杰, 刘宁, 李云, 等. 凹凸棒石粘土的显微结构特征 [J]. *硅酸盐学报*, 1999, 6: 50 - 54.

[11] Bradford M M. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding [J]. *Anal Biochem*, 1976, 72: 248 - 54.

[12] 曹林秋, 杨晟, 袁中一. 载体固定化酶—原理、应用和设计 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 106 - 107.

[13] 韦策, 陆青山, 余世袁, 等. 多孔陶瓷固定  $\beta$ -葡萄糖苷酶的研究 [J]. *南京林业大学学报 (自然科学版)*, 2013, 37(3): 110 - 116.

[14] Huang Jianhua, Liu Yuanfa, Wang Xingguo. Influence of differently modified palygorskites in the immobilization of a lipase [J]. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 2008, 55: 49 - 54.

[15] Reshmi R, Sugunan S. Improved biochemical characteristics of crosslinked  $\beta$ -glucosidase on nanoporous silica foams [J]. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 2013, 85: 111 - 118.

[16] 郁惠蕾, 许建和. 糖苷水解酶在糖苷合成中的应用概况 [J]. *有机化学*, 2006, 26: 1052 - 1068.

[17] 胡艳霞. 毕赤酵母表面展示泰国红木  $\beta$ -葡萄糖苷酶催化合成烷基糖苷的研究 [D]. 广东: 华南理工大学生物科学与工程学院, 2014.

[18] Dae-Won Park, Hae-Sung Kim, Joon-Ki Jung. Enzymatic synthesis of alkylglucosides by amphiphilic phase enzyme reaction [J]. *Biotechnology Letters*, 2000, 22: 951 - 956.

[19] 王琴琴, 郁惠蕾, 赵娜, 等. 利用交联杏仁粉作为廉价而稳定的催化剂通过优化逆水解反应体系显著提高长链烷基糖苷的平衡得率 [J]. *催化学报*, 2012, 33: 275 - 280.

[20] 全易, 赵崇明. 用微胶囊固定的酶催化合成烷基糖苷 [J]. *精细石油化工*, 1996, 6: 28 - 32. ■

表 1 转速对处理效果的影响

转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	含水率/%			含固率/%		
	入口	出水口	出泥口	入口	出水口	出泥口
2073	98.20	98.76	77.51	0.78	0.43	21.69
2194	98.17	98.85	72.83	0.86	0.39	23.51
2248	98.28	99.11	71.42	0.73	0.36	23.83
2281	98.32	99.32	70.10	0.82	0.24	24.92
2339	98.40	99.51	69.30	0.71	0.22	25.76
2431	98.14	99.34	71.26	0.93	0.28	23.98

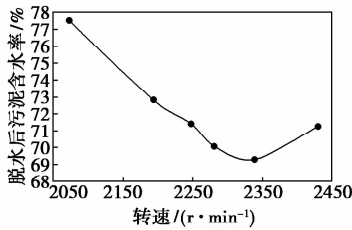


图 3 转速对脱水处理效果的影响

从图 3 可以看出,在其他条件一定的情况下,随着转速的增加,脱水后污泥的含水率呈下降趋势,转速为 2 339 r/min 时,含水率达到最低点,当转速进一步提高时,脱水后污泥的含水率反而增加,其原因在于过高的转速降低了絮凝剂的效果。因此,卧螺离心机的转速应控制在 2 300 ~ 2 400 r/min。

### 3.1.2 差速

差速直接影响物料在离心机内的停留时间,停留时间越长,离心时间和挤压时间越长,沉渣含水率就越低<sup>[11]</sup>。在卧螺离心机转速为 2 213 r/min、堰板高度 112 mm、进泥量 9 m<sup>3</sup>/h、加药量 200 g/m<sup>3</sup> 时,调整离心机的差速,得到污泥浓缩处理效果和差速之间的关系,结果见表 2 和图 4。

从图 4 中的试验数据可以看出,随着差速的降低,处理后的污泥含水率越低。但过低的差速,扭矩会逐渐升高,当接近离心机预设的扭矩连锁停车值

表 2 差速对处理效果的影响

差速/ (r·min <sup>-1</sup> )	含水率/%			含固率/%		
	入口	出水口	出泥口	入口	出水口	出泥口
9.0	98.32	99.42	63.21	0.71	0.21	23.41
9.5	98.21	99.44	64.13	0.76	0.25	22.56
10.0	98.25	99.35	68.36	0.67	0.37	21.75
10.5	98.24	99.36	71.92	0.81	0.39	21.03
11.0	98.13	99.30	74.17	0.77	0.45	19.96
11.5	98.29	99.10	76.85	0.83	0.68	18.67

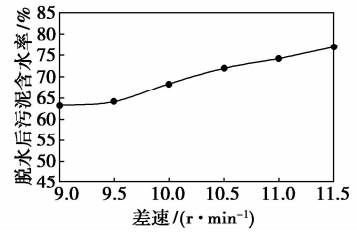


图 4 差速对脱水处理效果的影响

时,离心机会自动停车,同时会造成污泥停留时间过长,离心机出泥缓慢,甚至堵塞。因此,差速在 9.5 ~ 10.5 r/min 比较合适。

### 3.1.3 堰板高度

堰板高度直接影响出泥口泥饼的含水率及出水口物料含固率。在卧螺离心机转速 2 373 r/min、差速 10 r/min、进泥量 9.5 m<sup>3</sup>/h、加药量 200 g/m<sup>3</sup> 时,调整离心机的堰板高度,以获得污泥离心处理与堰板高度间的变化规律,具体测试数据见表 3 和图 5。

表 3 堰板高度对处理效果的影响

堰板高/ mm	含水率/%			含固率/%		
	入口	出水口	出泥口	入口	出水口	出泥口
106	98.21	99.39	59.15	0.96	0.35	24.53
108	98.30	99.35	60.81	0.91	0.33	22.67
110	98.24	99.39	61.95	0.99	0.27	22.15
112	98.04	99.39	64.92	1.02	0.23	21.39
114	97.96	99.39	66.44	1.06	0.22	21.20
116	98.28	99.37	67.80	0.97	0.19	19.22

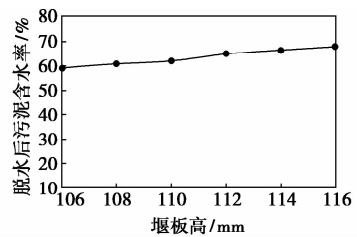


图 5 堰板高度对脱水处理效果的影响

从图 5 可以看出,随着溢流堰板高度的降低,离心机处理后污泥的含水率逐渐降低<sup>[11]</sup>。当溢流堰板高度下降至 108 mm 时,脱水后污泥含水率 60.81%,但出水口滤液的含固率为 0.33%,超过了设计要求的 0.30%。因此,堰板高度为 110 mm 比较合适。

## 3.2 试验介质参数对处理效果的影响

### 3.2.1 进泥量

污泥的进量决定了离心机的处理负荷和污泥在离心机内的停留时间,这将对处理效果产生影响。

在卧螺离心机转速 2 185 r/min、差速 11 r/min、堰板高度 114 mm、加药量 200 g/m<sup>3</sup> 时,调整离心机的进泥量,以获得进泥量对污泥浓缩处理的影响。具体测试数据如表 4 和图 6 所示。

表 4 进泥量对处理效果的影响

进泥量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	含水率/%			含固率/%		
	入口	出水口	出泥口	入口	出水口	出泥口
5	97.93	99.56	52.88	1.01	0.24	35.14
6	98.05	99.50	54.03	0.97	0.24	32.67
7	97.80	99.48	55.21	1.08	0.23	29.55
8	98.17	99.40	61.22	0.95	0.27	24.91
9	98.20	99.34	66.56	0.88	0.28	22.04
10	98.14	99.25	69.62	0.83	0.36	19.63

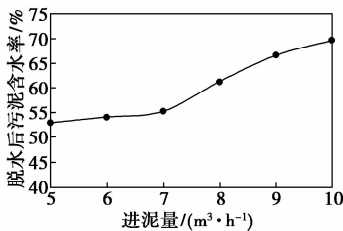


图 6 进泥量对脱水处理效果的影响

从图 6 可以看出,随着进泥量的增加,脱水后的污泥含水率总体呈升高趋势。当进泥量为 5 ~ 7 m<sup>3</sup>/h 时,处理后的污泥含水率变化不大,上升较缓;当进泥量继续增加时,处理后的污泥含水率增加明显。所以离心机入口的进泥量应控制在 6 ~ 7 m<sup>3</sup>/h 较为适宜。

### 3.2.2 絮凝剂投加量

添加絮凝剂在实际应用中俗称“加药”,加药的目的在于使污泥中分散的物质絮凝,利于污泥在离心力的作用下与水分离。在卧螺离心机转速 2 296 r/min、差速 10.5 r/min、堰板高度 112 mm、进泥量 6 m<sup>3</sup>/h 时,调整加药量,获得加药量与处理效果之间的变化规律。具体测试数据如表 5 和图 7 所示。

表 5 加药量对处理效果的影响

加药量/ (g·m <sup>-3</sup> )	含水率/%			含固率/%		
	入口	出水口	出泥口	入口	出水口	出泥口
150	97.92	99.45	67.40	1.02	0.35	20.39
175	97.15	99.45	62.20	9.87	0.29	23.11
200	96.92	99.44	56.37	9.96	0.27	27.73
225	98.07	99.44	53.16	1.05	0.23	29.64
250	98.01	99.40	52.06	1.07	0.22	34.38
275	97.95	99.42	51.22	1.02	0.19	37.41

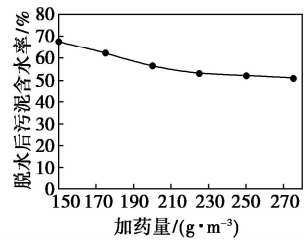


图 7 加药量对脱水处理效果的影响

从图 7 可以看出,随着加药量的增加,处理后的污泥含水率总体呈下降趋势。加药量增加到 275 g/m<sup>3</sup> 时,脱水后污泥的含水率可降至 51.22%。在加药量由 150 g/m<sup>3</sup> 增加到 225 g/m<sup>3</sup> 的范围内,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> 含水率降低缓慢。同时考虑到加药成本,加药量维持在 225 ~ 250 g/m<sup>3</sup> 较为合理。

### 3.2.3 污泥含水率

卧螺离心机进口污泥的含水率直接影响离心机运行和加药量大小。在卧螺离心机转速 2 271 r/min、差速 10.5 r/min、堰板高度 112 mm、进泥量 6 m<sup>3</sup>/h 时,对不同含水率的污泥进行处理,获得污泥含水率与处理效果之间的变化规律。具体测试数据如表 6 和图 8 所示。

表 6 污泥入口含水率对处理效果的影响

含水率/ %	含水率/%			含固率/%		
	入口	出水口	出泥口	入口	出水口	出泥口
98.66	98.66	99.13	65.46	0.49	0.31	20.39
96.39	96.39	96.81	64.22	2.63	2.38	23.36
94.37	94.37	96.11	62.79	3.31	2.03	25.15
91.71	91.71	96.39	61.09	4.41	1.56	29.06
89.85	89.85	95.43	59.62	4.23	1.49	32.17

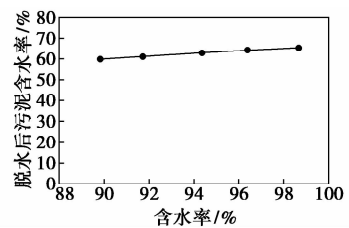


图 8 污泥入口含水率对脱水处理效果的影响

从图 8 可以看出,随着污泥入口含水率的增加,处理后污泥含水率不断上升,当入口污泥的含水率从 89.85% 上升到 98.66% 时,与之对应的是浓缩后的污泥含水率由 59.62% 升高到 65.46%。

## 4 工艺方案制定及结果分析

卧螺离心机的处理效果是各个因素综合作用的

结果。在现场工艺中可以调整优化的影响因素有转鼓的转速、转鼓与螺旋输送机之间的差速、堰板高度、进泥量、加药量、污泥入口含水率这 6 项因素。由于同一沉降罐中的污泥含水率相差较小,堰板高度需要停机调整,加药量与进泥量的大小相关,因此,在工艺方案的初步制定中,堰板高度为 110 mm,加药量为 225 g/m<sup>3</sup>,只考虑工艺中最重要且容易操作实现的转速、差速和进泥量作为研究对象。为了通过较少的试验次数得到最优的工艺运行方案,采用正交试验方法设计试验<sup>[12]</sup>。因素水平表见表 7,试验结果见表 8。

表 7 因素水平表

水平	因素		
	A 转速/(m·s <sup>-1</sup> )	B 差速/(m·s <sup>-1</sup> )	C 进泥量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
1	2248.0	9.5	6.0
2	2281.0	10.0	7.0
3	2339.0	10.5	8.0

由试验结果可知  $R_A > R_C > R_B$ ,所以转速是影响离心处理效果的主要因素,进泥量和差速次之。此外,A 因素水平的变动对实验结果有影响,由  $k_{A3} < k_{A1} < k_{A2}$ 可以断定 A<sub>3</sub> 为 A 因素的优水平。同理,可确定 B<sub>2</sub> 和 C<sub>2</sub> 分别为因素 B 和因素 C 的优水平。3 个因素的优水平组合 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 为本次实验的最优水平组合,即转速为 2 339 m/s,差速为 10 m/s,进泥量

表 8 试验方案及试验结果

试验号	因素			E 空列	脱水后 污泥含 水率/%
	A 转速/ (m·s <sup>-1</sup> )	B 差速/ (m·s <sup>-1</sup> )	C 进泥量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )		
1	1	1	1	1	62.94
2	1	2	2	2	60.61
3	1	3	3	3	69.50
4	2	1	2	3	72.72
5	2	2	3	1	69.30
6	2	3	1	2	71.47
7	3	1	3	2	62.94
8	3	2	1	3	55.80
9	3	3	2	1	54.71
k <sub>1</sub>	64.35	66.20	63.40	62.32	
k <sub>2</sub>	71.16	61.90	62.68	65.01	
k <sub>3</sub>	57.82	65.23	67.25	66.01	
极差 R	13.35	4.30	4.57	3.69	

为 7.0 m<sup>3</sup>/h,为本次试验的最优运行方案。在此工况下,污泥含水率由 97.03% 下降到 47.44%,达到了污泥减量化处理的目的。

### 5 结论

(1)针对污水站含油污泥组成及分布特点,设计了污水站离心式污泥减量化处理的工艺流程。该工艺流程利用污水站现有流程,处理后含油污水直接进入沉降罐进行油水分离,可有效回收污泥中原油。

(2)对污水站离心式污泥减量化处理进行现场试验及室内化验,结合化验结果,分析了卧螺离心机运行参数和试验介质参数对减量化处理效果的影响规律。结果表明,转速过高会影响脱水效果,且考虑到经济及安全因素,差速、絮凝剂添加量及进泥量应控制在合理的范围内。

(3)综合考虑离心式污泥减量化处理的影响因素,采用正交试验方法设计试验。对试验结果进行分析,确定了最佳处理工艺参数为:转速 2 339 r/min,差速 10 r/min,进泥量 7 m<sup>3</sup>/h,堰板高 110 mm,加药量 225 g/m<sup>3</sup>。采用该方案,处理后污泥含水率由处理前的 97.03% 下降到 47.44%,处理效果良好。

### 参考文献

- [1] 吕雪峰. 含油污泥处理现状及新型工艺探讨[J]. 环境保护与循环经济,2013,(1):56-58,65.
- [2] 荆国林,霍维晶,崔宝臣. 超临界水氧化处理油田含油污泥[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2008,(1):116-118.
- [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,2012,32(11):36-39,41.
- [4] 王万福,何银花,谢陈鑫,等. 含油污泥资源化技术综述[J]. 油气田环境保护,2006,(3):47-49,62.
- [5] 殷贤波. 国内外油田含油污泥处理技术[J]. 油气田环境保护,2007,(3):52-55,62.
- [6] 张忠智,张涛,刘冬芳,等. 含油污泥处理工艺优化研究[J]. 石油炼制与化工,2005,(8):56-59.
- [7] 马骏. 大庆油田含油污泥资源化利用技术与实践[J]. 油气田环境保护,2013,(2):14-16,22.
- [8] 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:CN,102778409A[P]. 2012-11-14.
- [9] GB/T 8929—2006,原油水含量的测定蒸馏法[S].
- [10] 姜勇,赵萍,董铁有,等. 含油污泥油含量测定方法[J]. 环境科学与管理,2008,(2):115-117.
- [11] 孙启才. 离心机原理结构与计算[M]. 北京:机械工业出版社,1987.
- [12] 藤素珍. 数理统计学[M]. 大连:大连理工大学出版社,2009. ■