

# 表面活性剂改进活性污泥的脱水性能及其作用机理

陈银广, 杨海真, 吴桂标, 顾国维(同济大学环境工程学院污染控制与资源化国家重点实验室, 上海 200092)

**摘要:** 表面活性剂无论单独或与  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  混合使用, 都能提高离心脱水效果; 表面活性剂与  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  混合作用, 污泥经过滤脱水后的含水率比不加表面活性剂的明显降低. 对于离心脱水, 当表面活性剂的加入量与污泥干重比为 0.109 时, 脱水污泥的体积比不加表面活性剂的降低 11% 左右; 对于过滤脱水, 当用表面活性剂(加入量为污泥干重的 0.08)与  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  同时调理时, 污泥的含水率(78.92%)比只用  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  调理的降低约 6%. 进一步的研究显示, 表面活性剂之所以能降低脱水污泥的含水率是与其能加快污泥的沉降速度及促进污泥表面的蛋白质和 DNA 释放, 减少污泥颗粒间的间隙水有关.

**关键词:** 活性污泥; 脱水; 表面活性剂; 机理; 间隙水

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)05-0097-04

## Surfactant Improving Activated Sludge Dewaterability and Its Mechanism

Chen Yinguang, Yang Haizhen, Wu Guibiao, Gu Guowei(State Key Lab. of Pollution Control and Resource Reure, School of Environ. Eng., Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Effects of surfactant used separately or together with ferric chloride and lime water on activated sludge dewaterability and its mechanism were investigated in this paper. Results showed that the centrifugal dewatering efficiency could be increased no matter surfactant used solely or plus ferric chloride and calcium oxide. It was observed that when surfactant, ferric chloride and calcium oxide were applied to condition sludge, and vacuum filtration was employed to dewater, the water content of dewatered sludge was decreased significantly compared with only ferric chloride and calcium oxide used. To a centrifugal dewatering, the sludge volume, compared with absence of surfactant, was reduced by almost 11% in the case of a 0.109 ratio of surfactant to dry sludge weight. when sludge was preconditioned with surfactant, ferric chloride and lime ahead of filtration, a water content of 78.92% was obtained as the ratio of surfactant to dry sludge was 0.08, which was declined by about 6% compared with just ferric chloride and calcium oxide utilized. Further studies indicated that the mechanisms of surfactant increasing sludge dewaterability were it could improve the sedimentation rate, promote the release of protein and DNA from sludge surface and reduce the amount of interstitial water bounded in the sludge.

**Keywords:** activated sludge; dewatering; surfactant; mechanism; interstitial water

活性污泥法处理城市污水时产生的大量剩余污泥, 由于含水率很高(约 99.5%), 为了减少污泥体积及运输费用, 必须进行脱水处理. 化学调理作为改善污泥机械脱水性能的一种方法, 实质是利用各种凝聚剂使污泥颗粒絮凝, 结构增强, 以利于机械脱水. 污泥含水率经化学调理后再机械脱水, 一般可降到 80% 左右, 但要进一步降低却比较困难, 因而必须对常用的化学预处理污泥的方法进行改进.

笔者在研究时发现, 污泥表面性质的改变对脱水性能的改进有较大影响. 表面活性剂有很多性质和用途, 并且已在环境领域, 特别是在促进难降解有毒污染物的生物处理方面发挥了重要作用<sup>[1,2]</sup>, 但它在污泥沉

降和脱水方面的应用研究尚不多见. 由于活性污泥中有许多微生物, 而以往的研究表明, 表面活性剂能改变微生物细胞结构<sup>[3,4]</sup>, 因此本文研究了表面活性剂单独及与  $\text{FeCl}_3$  和石灰水共同使用对污泥脱水性能的影响.

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

污泥: 上海曲阳污水厂剩余活性污泥, 含水率

基金项目: 国家“九五”科技攻关项目(96909-01-02-05)

作者简介: 陈银广(1969~), 男, 博士后, 主要研究方向为环境生物化学工程.

收稿日期: 2000-01-02

99.5%, pH = 6.8, MLSS =  $6.1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 浓缩污泥(自然沉降 24h)的 MLSS =  $12.4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

化学试剂: 牛血清白蛋白(上海丽珠东风生物技术有限公司)和 DNA(小牛胸腺脱氧核糖核酸, 北京百泰生化技术公司)为生化试剂, 水为去离子水, 其它的化学药品为分析纯试剂.

主要仪器: UV-750C 分光光度计, DBJ-621 型定时变速搅拌机, LXJ-II 型离心机, PHB-3 便携式 pH 计.

脱水装置: 真空过滤装置由真空抽滤装置与真空水力泵相连, 离心脱水在 LXJ-II 型离心机上进行.

## 1.2 分析方法

蛋白质含量测定: Folin-酚法<sup>[5]</sup>. 以牛血清白蛋白为标准蛋白, 标准曲线的测定是在与相应的污泥脱水条件相同的外界条件下进行的.

DNA 含量测定: 二苯胺显色法<sup>[6]</sup>. 以小牛胸腺脱氧核糖核酸为标准 DNA, 标准曲线的测定是在与相应的污泥脱水条件相同的外界条件下进行.

污泥含水率测定: 见文献<sup>[7]</sup>.

## 1.3 污泥脱水试验

真空过滤脱水 将 100ml 经沉降浓缩 24h 的污泥加入到 250ml 的烧杯中, 再加入一定量的表面活性剂(两性, 水溶性), 快速搅拌 1min, 慢速搅拌 5min 后, 加入计量的  $\text{FeCl}_3$  (20% 水溶液) 和 10%  $\text{CaO}$  水溶液, 再快速搅拌 1min, 慢速搅拌 5min, 倒入脱水装置的布氏漏斗中, 在  $5 \times 10^5 \text{ Pa}$  真空度下脱水, 测定滤饼的含水率.

离心脱水 操作同过滤脱水, 只是将化学药剂处理过的污泥倒入离心筒中, 在 2000r/min 下离心一段时间, 测定上清液的体积.

## 1.4 沉降试验

向 100ml 未经浓缩的污泥中加入一定量的表面活性剂, 快速搅拌 1min, 慢速搅拌 5min, 倒入 100ml 量筒中, 记录不同时间的污泥体积.

## 1.5 表面活性剂处理的污泥在离心脱水过程中蛋白质及 DNA 测定

取 200ml 浓缩污泥, 加入计量的表面活性剂, 搅拌, 不同时间取样, 离心, 测定上清液中蛋白质及 DNA 的含量.

用文献<sup>[8]</sup>报道的方法去除污泥颗粒表面的蛋白质及 DNA, 然后测定提取液中蛋白质及 DNA 的量. 测得污泥表面蛋白质及 DNA 的量分别为  $2004.14 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $75.90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

## 2 结果与讨论

SRF(specific resistance to filtration) 或 CST(cap-

illary suction time) 通常被用来作为衡量污泥脱水性能好坏的标准. 然而, 对于很容易过滤的污泥(即 SRF 很小), 由于结合水的存在, 脱水污泥的含水率仍有可能很高. 因此, SRF 或 CST 所表示的只是污泥的过滤性能, 与污泥含水率并不一致. 所以, 本研究使用含水率作为评价污泥脱水性能的指标.

## 2.1 表面活性剂单独或与 $\text{FeCl}_3$ 和石灰水同时使用对污泥离心脱水的影响

当污泥中只加入表面活性剂时, 离心后污泥体积随表面活性剂加入量(本文以表面活性剂与干污泥重量比表示)的变化关系如图 1(离心时间为 1.5min). 可见, 当表面活性剂加入量不超过 0.109 时(此时脱水污泥的体积比不加表面活性剂的降低 11.2%), 脱水污泥的体积随表面活性剂加量增加而减少.

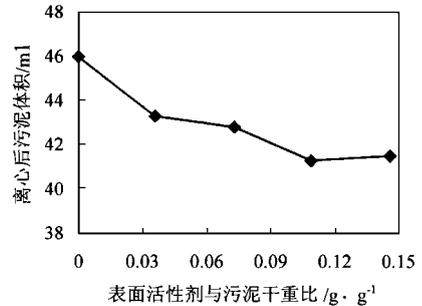


图 1 表面活性剂对离心脱水污泥体积的影响

在表面活性剂加量为干污泥重的 0.109 条件下, 图 2 考察了离心时间对污泥体积的影响. 可见, 离心时间超过 1.5min 时, 污泥体积减少的幅度变得很小.

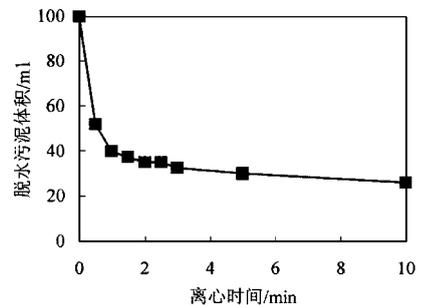


图 2 污泥体积随离心时间的变化

根据上述结果, 取 400ml 浓缩污泥用较大的离心机(LXJ-II, 上海医用仪器厂)进行试验(离心转速 2000r/min, 时间 1.5min). 结果如表 1. 显然, 在较大的离心机上, 表面活性剂的加入也能减少脱水污泥的体积.

用  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  对污泥进行调理时, 表面活性剂

表 1 400ml 污泥在大离心机上的实验结果

表面活性剂加入量/ $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	脱水污泥体积减少的百分率/%
0	0
0.029	4.77
0.057	8.69
0.114	11.03

加入量对脱水污泥体积的影响(结果如图 3). 其中,  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  的加入量分别为污泥干重的 10% 和 20%.

图 3 表明, 离心后污泥的体积随表面活性剂加入量的增加而减少. 但是, 当表面活性剂与干污泥的重量比超过 0.0726 以后, 污泥体积减少的幅度有所减弱.

与图 1 比较发现, 表面活性剂与调理剂混合使用后, 不但脱水污泥的体积进一步减少, 即有更多的水被脱出来, 而且加入的表面活性剂量比单独使用表面活性剂时要低.

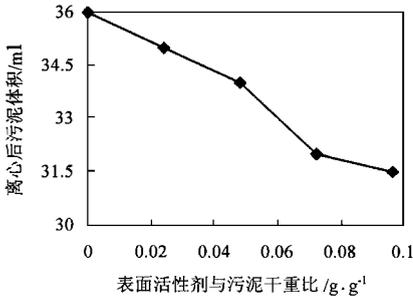


图 3  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  调理时表面活性剂对污泥离心脱水的影响

## 2.2 表面活性剂与 $\text{FeCl}_3$ 和石灰水同时调理对污泥过滤脱水的影响

对于过滤脱水, 当用  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  调理时, 表面活性剂的加入也能改善污泥的过滤脱水性能. 表 2 是用不同量的  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  调理时, 表面活性剂的加入量对脱水污泥含水率的影响(过滤时间为 15min). 可见, 在一定的用量范围内, 表面活性剂的加入能降低污泥的含水率. 表 2 还表明, 当  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  的用量增加时, 需加入较多的表面活性剂才能使污泥的含水率降到类似的水平.

值得一提的是, 随着真空脱水压力的增加或脱水时间的延长, 用表面活性剂处理的污泥的含水率比不加表面活性剂处理的可以低 10% 以上.

表面活性剂提高污泥脱水性能及其机理的研究尚未见报道. 有报道<sup>[9-11]</sup>认为, 污泥的脱水性能与其沉降性能是一致的, 而沉降性能又与污泥表面的胞外聚合物有关. 因此, 为了探讨表面活性剂的作用机理, 研究了表面活性剂对污泥的沉降性能及污泥表面的高分子

表 2 表面活性剂与  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$ 

同时使用对污泥过滤脱水的影响<sup>1)</sup>

$\text{FeCl}_3$ 的 量/ $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{CaO}$ 的 量/ $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	表面活性剂的 量/ $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	污泥含 水率/%
0.078	0.187	0	85.40
0.078	0.187	0.054	80.51
0.078	0.187	0.080	78.92
0.167	0.200	0	83.22
0.167	0.200	0.080	82.14
0.167	0.200	0.161	80.67
0.167	0.200	0.242	79.40
0.167	0.200	0.323	78.37
0.167	0.200	0.484	87.14

1) 使用的量都是与干污泥的重量比.

物质含量的影响.

## 2.3 表面活性剂对污泥沉降性能的影响

鉴于污泥沉降一般都是自然沉降, 以下只考察单独加入表面活性剂对污泥沉降的影响, 结果如表 3 和表 4, 它们分别表示开始 30min 时间内及经过 24h 的沉降结果.

表 3 开始 30min 内表面活性剂加量

对污泥沉降体积的影响/ $\text{ml}$

沉降时间/ $\text{min}$	表面活性剂加量/ $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$			
	0	0.148	0.197	0.295
0	100	100	100	100
10	99.2	98	95.9	96.2
20	97.8	96.7	92.8	93.6
30	96	95	90.3	92

从表 3 可见, 表面活性剂的加入能提高污泥的初始沉降速度; 而且, 当加入的表面活性剂与干污泥的比不超过 0.197 时, 污泥沉降速度随表面活性剂加入量的增加而加快. 表 4 显示, 即使在较长的沉降时间内, 表面活性剂的加入也能提高污泥的沉降速度. 因此, 加入表面活性剂可以缩短污泥的沉降时间.

表 4 表面活性剂加入量对活性污泥沉降速度(污泥体积)的影响/ $\text{ml}$

沉降时间/h	表面活性剂加入量/ $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$			
	0	0.148	0.197	0.295
0	100	100	100	100
0.33	98	95.5	92	94
0.50	96	95	90.3	92
0.92	92.3	90	86	89
1.67	84	82.8	78.8	82.5
2.50	76	76	71.5	71.5
2.92	73	73	68.5	69
3.50	67.5	67	63	66.5
4.17	63.4	62	58	63.6
4.74	60.3	58	54	59.3
5.25	58.7	55	52	56.5
6.75	55	49.5	47.5	50
22.00	46.8	39.6	37.7	36.8
24.00	46.7	39.2	37.5	36.5

污泥的沉降性能与很多因素有关,但污泥表面的聚合物是其中一个关键因素<sup>[10]</sup>。这些聚合物主要包括蛋白质、DNA、多糖、纤维素、脂类等。由于测定蛋白质和 DNA 较方便,因此选用蛋白质及 DNA 作为污泥表面聚合物的代表。

#### 2.4 表面活性剂对污泥胞外蛋白质和 DNA 的影响

污泥经不同量的表面活性剂处理、离心脱水后,上清液中的蛋白质和 DNA 变化结果如表 5。表 5 表明,随着表面活性剂量的增加,有更多的蛋白质和 DNA 从污泥表面释放到外界环境中;在一定时间范围内,释放的蛋白质和 DNA 的量随时间的延长而增加。

表面活性剂之所以能提高污泥沉降和脱水性能,主要与表面活性剂对污泥表面物质的作用有关。表面活性剂不但具有“两亲”即亲水亲油的性质,而且还有“增溶”作用。两亲作用是指表面活性剂连接于污泥表面的大分子(具有亲油性)与水分子之间,在外界搅拌力的作用下,污泥表面的大分子物质(例如蛋白质和

DNA)能够脱离污泥颗粒。增溶作用指表面活性剂使一些溶解度不大或难溶物质的溶解度增加的现象。在表面活性剂的作用下,那些脱离污泥表面的大分子物质较易溶于水。已有研究<sup>[12]</sup>表明,污泥表面的一些大分子物质使得产生的活性污泥聚集体不易被压缩,因而含有较多的间隙水,导致沉降速度减慢及脱水性能下降。在表面活性剂的作用下,污泥颗粒表面的细胞外物质能够脱离污泥并溶于水,从而减少了污泥颗粒间的间隙水,结果是污泥的沉降速度加快、脱水污泥的体积减少。

最后需说明的是,本研究使用的表面活性剂具有良好的生物降解性能<sup>[13]</sup>。

### 3 结论

(1)对于离心脱水,表面活性剂单独使用能够减少脱水污泥的体积(减少约 11%);与三氧化铁和氧化钙混合使用后,不但有更多的水被脱出来,而且达到较佳效果所需表面活性剂的量比单独使用表面活性剂时要低。

表 5 离心清液中蛋白质及 DNA 的量随表面活性剂加量和时间的变化/ $\text{m g} \cdot \text{L}^{-1}$

时间/m in	蛋白质的量				DNA 的量			
	表面活性剂加量/ $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$				表面活性剂加量/ $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$			
	0	0.0318	0.0636	0.1271	0	0.0318	0.0636	0.1271
2	36.91	101.96	250.52	399.08	8.28	11.73	18.63	21.74
5	49.52	206.82	323.34	535.99	7.25	11.73	28.64	40.02
10	90.3	294.21	489.38	573.86	8.63	17.94	43.47	54.51
20	99.04	282.56	477.73	664.16	11.04	24.84	57.27	72.45
30	101.56	297.13	576.17	690.38	9.66	36.92	64.86	83.15

(2)在用过滤的方法脱水时,如果将表面活性剂与  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  同时使用,少量表面活性剂的加入就能提高  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{CaO}$  的调理效果。当加入表面活性剂的量与污泥的干重比为 0.08 时,脱水污泥的含水率比不加表面活性剂的低约 6%。

(3)表面活性剂对污泥脱水性能的影响与其对沉降性能的影响是一致的。表面活性剂可以加快污泥的沉降速度。当加入量为污泥干重的 0.197 时,污泥初始沉降速度最快。

(4)表面活性剂提高污泥沉降和脱水性能的主要原因是,它不但能使污泥表面的蛋白质、DNA 等大分子物质脱离污泥颗粒,而且使得这些物质较易溶于水,减少了污泥颗粒间的间隙水,导致污泥的沉降速度加快、脱水污泥的体积减少。

#### 参考文献:

- 1 Thibault S L, Anderson M, Frankenberger W T. Influence of surfactants on pyrene desorption and degradation in soils. *Applied and Environment Microbiology*, 1996, **62**(1): 283~ 287.
- 2 Tiehm A. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the presence of synthetic surfactants. *Applied and Environment Microbiology*, 1994, **60**(1): 258~ 263.

- 3 Chen Y G, Chen J, Lun S Y et al. Recovery of PHB from *A. caligenes eutrophus* by surfactant-chelate aqueous. *Process Biochemistry*, 1999, **34**(2): 153~ 157.
- 4 陈银广,陈坚,余彩荣等.真养产碱杆菌化学破胞过程. *高校化学工程学报*, 1999, **13**(1): 182~ 185.
- 5 Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 1951, **193**: 265~ 275.
- 6 Burton K. Determination of DNA concentration with diphenylamine. *Methods in Enzymology*, 1968, **12B**: 163~ 166.
- 7 金儒林,刘永.污泥处置.北京:中国建筑工业出版社,1982. 297.
- 8 Sato T, Ose Y. Floc-forming substances extracted from activated sludge by sodium hydroxide solution. *Water Research*, 1980, **14**: 333~ 338.
- 9 Forster C F. Activated sludge surfaces in relation to the sludge volume index. *Water Research*, 1971, **5**: 861~ 870.
- 10 Urbain V, Block J C and Manem J. Bioblocculation in activated sludge: an analytic approach. *Water Research*, 1993, **27**(5): 829~ 838.
- 11 姚毅.活性污泥表面特性与其沉降脱水性能的关系. *中国给水排水*, 1996, **12**(1): 22~ 25.
- 12 Forster C F, Lewin D C. Polymer interactions at activated sludge surfaces. *Effl. Water Treat. J.*, 1972, **12**: 520~ 525.
- 13 汪祖模,徐玉佩.两性表面活性剂.北京:轻工业出版社,1990. 1.