

doi:10.3969/j.issn.1674-4764.2013.01.022

微波对污水污泥脱水特性及形态影响

周翠红,常俊英,陈家庆,孔惠

(北京石油化工学院 环境工程系,北京 102617)

摘要:研究了微波加热温度和温升速率对污泥脱水特性的影响,并对微波处理后污泥的 CST、粘度、沉降比、含水率、上清液 COD 含量、Zeta 电位、形态学特征进行了测试与分析。实验结果表明,温升速率为 10 °C/min,加热到 70~80°C 时中水站污泥脱水特性较好。随温度上升,污水处理厂污泥的 SV、粘度、含水率相应降低,COD 含量逐渐增加;对比直接从污泥图像与据污泥颗粒的粒径分布得到分形维数与粒径,发现在不同的加热条件下污泥形态有明显变化,加热到 60~80°C 时脱水特性较好,70°C 时含水率最低为 83.12%。

关键词:污泥;微波;脱水特性;形态;分形维数

中图分类号:X705 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2013)01-0135-05

Impacts of Microwave on Dewater Ability and Morphological Feature of Sewage Sludge

Zhou Cuihong, Chang Junying, Chen Jiaqing, Kong Hui

(Department of Environmental Engineering, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, P. R. China)

Abstract: Firstly the impacts of heating temperature and rate of microwave on dewater ability and morphological feature of sewage sludge were investigated. Then CST, viscosity, SV, moisture content, COD, Zeta electric potential and morphological feature were tested. It is shown that the lowest CST of reclaimed water plant is 4.2s while the heating rate is 10°C/min and heating temperature is 80°C. SV, viscosity, moisture content of waste water plant sludge decrease and COD increases when heating temperature is higher. It is indicated that morphology of sludge changes under different heating conditions from fractal dimension and particle size data which is analyzed from image and calculated from cumulative weight percentage undersize of sludge particle. After 60~80°C microwave pretreatment, dewater ability is proved.

Key words: sewage sludge; microwave; dewater ability; morphology; fractal dimension

污水处理过程中产生的污泥除含有大量的水分外,还含有丰富的营养成分,同时还含有病原体、寄生虫卵以及铜、砷、铅、锌、铝、汞等重金属和难降解的有机污染物等有害成分。随着污水量的增加和污水深度处理技术的使用,污泥产量将呈明显的增加趋势。污泥处理与处置是城市生活污水处理一个非

常重要的环节,通常其运行成本占整个污水处理厂总运行成本的 20%~50%,甚至高达 70%左右^[1]。降低污泥的水分是一种有效的减量方法。

常规的脱水方法很难达到较高的脱水率,目前冷融技术、磁场和电场、超声波和微波作为预处理技术用于改善污泥的沉降与脱水特性的研究中,污泥

收稿日期:2012-04-30

基金项目:国家自然科学基金(51104022);北京市属高等学校人才强教深化计划(RHR201008362)

作者简介:周翠红(1973-),女,副教授,博士,主要从事固体废弃物处理技术及设备研究,(E-mail) zhoucuihong@bipt.edu.cn。

脱水特性与污泥本身的理化特性有关,如胞外聚合物(Extracellular polymeric substance, EPS)的存在与结合水的含量直接影响着污泥的脱水性能^[2-3]。预处理技术会破坏污泥内部的结构,促进结合水的释放并提高污泥的脱水特性^[4]。表征污泥脱水特性的参数较多,实验室最常用的测定污泥脱水性能的方法有毛细吸水时间(Capillary suction time, CST)、污泥过滤比阻(Specific filtration resistance, SRF)、Zeta 电位、粘度和含水率等^[5-9]。

20 世纪 70 年代,德国首先安装了用于污泥消毒的辐射装置^[10],微波辐射技术逐渐被用于污泥加热中,促进污泥消化和金属离子去除等方面。波兰学者 Wojciechowska^[11]研究了微波加热对污泥脱水性能的促进作用,使用微波技术后明显增加污泥悬浮液体中的 BOD₅ 和 COD 含量。Seehra 等^[12]人的研究中发现微波与普通的加热方式相比具有良好的脱水效果。中山大学环境科学与工程学院使用微波预处理来改善污泥的脱水特性,实验表明最佳条件下污泥中有 1.5%~2% 的物质解体、EPS 的含量为 500~2 000 g/L,固体颗粒粒度分布在 120~140 μm^[13]。广州大学环境科学与工程系通过研究温升速率、细胞破解、SCOD/TCOD 比值和生物质气体的产生,发现影响污泥含水率变化的最重要的因素是引起温度升高的能耗^[14]。清洁能源辽宁省重点实验室运用灰色关联分析决定微波试验运行系统的主次因素,建立了影响因素对污泥脱水率和有机质损失率的经验公式^[15]。本文使用微波对污水污泥进行预处理,打散污泥絮团,改善污泥的脱水特性,促进机械脱水效果的提高。

1 微波预处理脱水实验及结果讨论

1.1 材料与仪器

众多学者研究了微波技术对污泥脱水特性的影响,微波具有选择性加热的特点,因为物质吸收微波的能力主要由其介质损耗因数来决定,介质损耗因数大的物质对微波的吸收能力强。微波比其它用于辐射加热的电磁波,如红外线、远红外线等波长更长,因此具有更好的穿透性。另外微波导致介质材料瞬时升温,能耗相对较低。

污泥取自校内中水站与某污水处理厂二沉池,沉降 24 h 后去除污泥上清液,分别采用微波进行预处理。使用 MD-6 微波样品处理系统,控温范围:0~300℃,控温精度:±0.5℃;直接接触式压力测量:实时监控达 900 psi;控压精度:0.01 MPa;排风量 3 m³/min,同批次最多同时处理 10 个样品。分

次取定量污泥置于系统中,在不同的微波作用条件下测定污泥的 CST、粘度、沉降比(SV)、含水率、上清液的 COD 含量、Zeta 电位和形态学特征。采用 Triton Electronics Type 319 Multi-CST 测定 CST,采用红外水分测定仪 MA100 测定水分,使用 HAAKE RV1 旋转粘度计进行粘度测定,采用 JS94H 微电泳仪测量污泥中的 Zeta 电位,显微采集图像使用的是 OLYMPUS cx41 System Microscope 系统。实验采用重铬酸钾法测定污泥离心后上清液的 COD 含量。

1.2 微波加热方式的影响

实验中先以不同温升速率分别加热到 50、60、70、80℃,不使用絮凝剂,测量微波预处理后中水处理站污泥的 CST 记录在表 1 中,在相同的温升速率下,随温度升高 CST 减小;不同温度条件下,CST 的最小值均出现在温升速率为 10℃/min 时;当以 10℃/min 加热到 80℃时,CST 最小为 4.2 s。实验中还发现加热时间要控制在 400 s 之内,否则会使脱水特性恶化。采用最佳温升速率再进行实验考察污泥内部结构变化与预处理后对离心脱水的促进作用,将预处理后污泥进行离心脱水测定上清液中多糖含量及泥饼中含水率的变化,具体如表 2 所示。随着微波加热温度的升高,含水率逐渐降低,污泥脱水效果越好。微波加热到 70℃后的样品经离心后上清液中的多糖含量最高为 73.275 mg/L,80℃时多糖含量为 68.315 mg/L,实验表明微波可使污泥中的大分子絮团解体,有机物如多糖和蛋白质释放,促进离心脱水效率的提高。80℃时滤饼的含水率最低为 87.06%,微波处理的热效应使部分水分蒸发,在一定程度上降低了污泥的含水量。

表 1 温升速率与 CST 的关系

温升速率/ (℃·min ⁻¹)	CST/s			
	50℃	60℃	70℃	80℃
5	12.4	9.6	7.5	6.8
10	7.5	6.9	6.3	4.2
15	13.4	9.1	8.4	7.4

1.3 微波对污泥脱水特性的影响

用微波样品处理系统在不同的实验条件下处理城市污水处理厂污泥,以 10℃/min 加热到 20、50、60、70、80℃,不使用絮凝剂,所测得的污泥脱水特性参数见表 3。由表 3 可看出污泥的 SV、粘度、污泥含水率相应降低,CST、Zeta 电位变化规律不明显,污泥离心后的上清液中 COD 含量逐渐增加,微波能

量过大反而使污泥的脱水效果恶化。微波加热温度为 50~80℃时,水层较清澈,分层较明显如图 1 所示。适当的微波可引起污泥颗粒间作用力发生变化,同时微波可破坏结合水与污泥胞外聚合物之间的结合能力,表现为 70~80℃时污泥粘度较低、Zeta 电位较高和离心后上清液 COD 较高的规律,从而改善污泥的脱水性能,离心后含水率较低的现象。

表 2 加热温度与脱水特性参数关系

加热温度/℃	含水率/%	多糖/(mg·L ⁻¹)
50	95.49	24.125
60	95.37	40.625
70	95.17	73.275
80	87.06	68.315

表 3 微波加热后的污泥脱水特性参数

加热温度/℃	SV/%	CST/s	粘度/(MPa·s ⁻¹)	COD/(mg·L ⁻¹)	Zeta 电位/mV	离心后含水率/%
20	40.00	36.9	12.880	290	-3.42	87.24
50	40.00	38.3	13.982	400	-3.20	86.60
60	31.25	40.9	14.836	429	-3.23	85.55
70	28.57	36.00	11.270	480	-2.86	83.12
80	23.33	37.83	12.938	576	-2.26	83.21

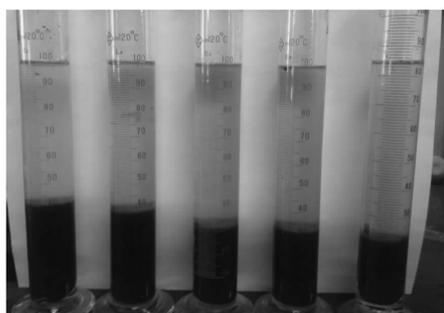


图 1 加热温度为 20、50、60、70、80℃污泥沉降情况

2 污泥形态学的研究

学者多采用多种方法对污泥的脱水特征进行表征。澳大利亚学者 Jin 等^[16]系统地研究了污泥脱水特性与污泥絮体的关系,分别测试了絮体的形态特征、物理化学特征,使用结合水含量与 CST 来表示污泥脱水特性。图像处理技术已用于衡量污泥的沉降、浓缩特性和评价污泥絮体结构特征方面的研究中。随着显微镜技术和计算机科学的发展,对污泥的观测也逐渐从定性朝定量的方向发展。目前文献

中多通过提取外形尺寸、平均面积、分形维数等图像特征来进行污泥絮体的定量表征^[16-17]。华南师范大学化学与环境学院通过对污泥含水率和 EPS 含量的测定,考察了阳离子表面活性剂(CTAC)和阳离子聚丙烯酰胺(CPAM)对污泥脱水性能的影响,发现污泥絮团被破坏,占体积分数 90%的颗粒粒径均在 52 μm 以下,较原样明显减小^[18]。长沙理工大学水利学院给水排水系对微波的改性效果进行了研究,发现经过微波处理后污泥絮体解体,污泥图像的特征发生变化^[19]。

2.1 污泥的粒径分布

将样品经过微波加热到 20、50、60、70、80℃后适当处理后并使用激光粒度仪进行粒度测定,数据记录到表 4。由表 4 可知未经微波处理时,污泥的平均粒径较大为 33.551 μm,经过微波加热后粒径明显减小,降到 28.055~28.929 μm 之间,实验证明微波能够改变污泥颗粒的聚集状态,随着微波加热温度的增加,大分子物质被打散,改变了污泥颗粒的聚集状态与相互作用力,与前面从脱水特性参数所分析和结果基本一致。进一步提高加热温度时,污泥颗粒的平均粒径有增加趋势,可能是微波的热效应加剧了分子运动,污泥颗粒间碰撞聚集机率增加,使小颗粒聚集成较大颗粒,污泥颗粒出现粗大化现象。实验结果也充分说明了预处理技术的使用需要根据实验选择最佳工艺参数,过量的预处理反而会使污泥脱水特性恶化。

表 4 微波加热后污泥的粒度变化

加热温度/℃	污泥粒度/μm
20	33.551
50	28.055
60	28.929
70	28.979
80	29.210

2.2 污泥的分形维数分析

表征污泥中颗粒聚集的形态参数有絮状物粒径分布、分形维数与丝状指数,可以有效的衡量出污泥的脱水特性。分形维数作为图像表面不规则程度的度量,不仅能度量复杂程度,而且有多尺度多分辨率变化的不变性,与人类视觉对图像表面纹理粗糙的感知是一致的,即分形维数越大,对应的图像表面越粗糙;反之,分形维数越小,对应的图像表面越光滑。

研究中采用 Fractalfox2.0 软件对污泥的显微图像进行了分形维数的分析,导入图像与计算分形

维数过程的回归数据界面分别如图 2、图 3 所示。激光粒度仪得到污泥颗粒度的筛下累积产率如表 5,在双对数坐标系建立污泥筛下累积百分含量和粒度的关系曲线,应用 Origin8.0 软件进行线性拟合,可得斜率 b 值。再根据 $D=3-b$,即可由数学方法计算出的分形维数 D 值^[20]。污泥的分形维数 D 表征絮状体的结构,表示了絮状体颗粒间的填充程度,因此可以用 D 来测量颗粒的聚集状态。微波处理后污泥的分形维数采用 2 种方法获得的结果分别记录在表 6 中。对预处理后的污泥使用 Fractalbox2.0 软件分析方法得出和采用数学方法计算出的分形维数进行对比,可看出使用 2 种方法得到的污泥分形维数变化趋势基本一致,综合前面实验结果,认为对于此类污泥微波加热到 60~80 °C,脱水特性较好。另外发现,因激光粒度仪得到小于 38 μm 粒度分布数据不详细,在一定程度上影响了分形维数的计算精度。

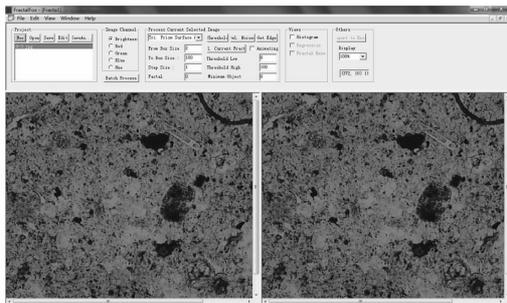


图 2 导入污泥图像

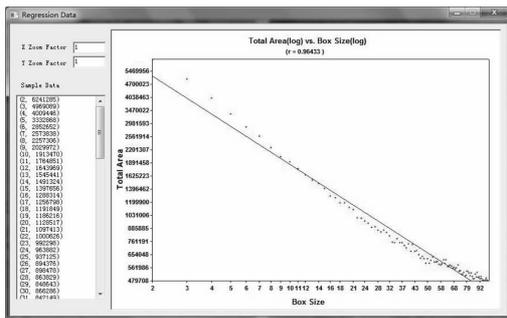


图 3 分形维数计算过程的回归分析数据

表 5 微波加热后污泥粒度的筛下累积产率分布

粒度/μm	筛下累积产率/%				
	原泥	微波 50℃	微波 60℃	微波 70℃	微波 80℃
2000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
600	99.56	99.91	99.97	99.89	99.89
300	97.89	98.19	97.96	97.74	97.87
180	95.76	96.96	95.59	95.70	95.54
125	92.27	95.01	92.69	93.10	92.69
90	86.36	90.97	87.97	88.53	88.28

续表 5

粒度/μm	筛下累积产率/%				
	原泥	微波 50℃	微波 60℃	微波 70℃	微波 80℃
63	76.12	82.74	79.58	80.06	80.53
53	69.74	77.13	74.16	74.52	75.49
45	63.03	70.92	68.29	68.51	69.94
38	55.61	63.78	61.59	61.67	63.55

表 6 微波加热后污泥的分形维数

加热温度/℃	软件方法计算	数学方法计算
20	2.693 76	2.865 1
50	2.689 15	2.900 19
60	2.681 62	2.887 93
70	2.698 34	2.889 41
80	2.692 76	2.894 88

2.3 污泥脱水特性模型的建立

分析表 3、表 6 中的数据,找出综合性较强、易于使用仪器测量的 4 个参数,分别为粘度,SV,粒度和分形维数。再使用 Origin8.0 软件,建立这 4 个参数与污泥含水率的脱水特性模型。首先假设污泥含水率和各参数之间的关系为多元线性关系,从而得到微波预处理后污泥脱水特性的表征参数与污泥含水率的函数关系为:

$$Y = 0.596\ 02A + 0.185\ 13B + 0.289\ 91C + 19.456\ 85D + 8.352\ 49,$$

式中:A 为污泥粘度;B 为污泥 SV;C 为污泥粒度;D 为分形维数。

多元线性模型拟合结果的相关性系数均接近于 1,残差 E 较小,说明借助 Origin8.0 软件建立的污泥含水率和各参数之间的多元线性模型是有效的。

3 结 论

采用微波技术对污泥进行预处理,对预处理后污泥的脱水特性参数与形态学分析,实验结果表明辐射技术有助于脱水特性的提高,结论如下:

1)微波加热中水站污泥的最佳温升速率均 10 °C/min,且随温度升高 CST 减小,污泥脱水效果变好。最佳处理条件为加热到 70~80 °C 时脱水特性好,含水率低且离心后上清液中的多糖含量高。

2)在对污水处理厂污泥的微波预处理实验是,随着辐射能量的增加,污泥的 SV、粘度、污泥含水率相应降低,上清液中 COD 含量逐渐增加,微波加热到 60~80 °C 脱水特性较好,70 °C 时含水率最低为 83.12%。

3)实验中发现微波预处理后污泥的形态学特征变化比较明显。利用 Origin8.0 软件建立污泥含水率和表征参数的脱水特性模型,得到了微波预处理后污泥含水率和各参数的多元线性模型。

参考文献:

- [1] 钱觉时,岳燕飞,谢从波,等. 掺加页岩后污泥沉降浓缩效果与利用[J]. 土木建筑与环境工程,2010,32(2):140-144.
Qian J S, Yue Y F, Xie C B, et al. Thickening properties and utilization of sewage sludge modified by shale [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2010, 32(2):140-144.
- [2] Subramanian S B, Yan S, Tyagi R D, et al. Extracellular polymeric substances (EPS) producing bacterial strains of municipal wastewater sludge: Isolation, molecular identification, EPS characterization and performance for sludge settling and dewatering [J]. Water Research, 2010, 44(7):2253-2266.
- [3] Lee D J. Interpretation of bound water data measured via dilatometric technique [J]. Water Research, 1996, 30(9):2230-2232.
- [4] 周翠红,陈家庆,孔惠,等. 市政污泥强化脱水实验研究[J]. 环境工程学报,2011,5(9):2125-2128.
Zhou C H, Chen J Q, Kong H, et al. Experiment of improved dehydration capability of municipal sludge [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(9): 2125-2128.
- [5] Vaxelaire J, Cezac P. Moisture distribution in activated sludges; a review [J]. Water Research, 2004, 38(9):2215-2230.
- [6] 谢敏,施周,李淑展. 污泥脱水性能参数-比阻检测的若干问题研讨[J]. 环境科学与技术,2006,29(3):15-16,42.
Xie M, Shi Z, Li S Z. Measuring specific resistance to filtration (SRF) of sludge [J]. Environmental Science and Technology, 2006, 29(3): 15-16, 42.
- [7] Wolny L, Wolskip, Zawieja I. Rheological parameters of dewatered sewage sludge after conditioning [J]. Desalination, 2008, 222(3):382-387.
- [8] Turchiuli C, Fargues C. Influence of structural properties of alum and ferric flocs on sludge dewaterability [J]. Chemical Engineering Journal, 2004, 103(3):123-131.
- [9] Yuan H P, Zhu N W, Song F Y. Dewaterability characteristics of sludge conditioned with surfactants pretreatment by electrolysis [J]. Bioresource Technology, 2011, 102(3):2308-2315.
- [10] Borrelly S I, Cruz A C, Mastro N L. Radiation processing of sewage and sludge. A review [J]. Progress in Nuclear Energy, 1998, 33(1):3-21.
- [11] Wojciechowska E. Application of microwaves for sewage sludge conditioning [J]. Water Research, 2005, 39(19):4749-4754.
- [12] Seehra M S, Kalra A, Manivannan A. Dewatering of fine coal slurries by selective heating with microwaves [J]. Fuel, 2007, 86(5):829-834.
- [13] Yu Q Y, Lei H Y, Yu G W. Influence of microwave irradiation on sludge dewaterability [J]. Chemical Engineering Journal, 2009, 155(1):88-93.
- [14] Tang B, Yu L F, Huang S S. Energy efficiency of pre-treating excess sewage sludge with microwave irradiation [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(14):5092-5097.
- [15] 李延吉,李润东,冯磊,等. 基于微波辐射研究城市污水污泥脱水特性[J]. 环境科学研究,2009,22(5):545-548.
Li Y J, Li R D, Feng L, et al. Microwave radiation research on dewater characteristics of municipal sewage sludge [J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(5):545-548.
- [16] Jin B, Wilén B, Lant M P. Impacts of morphological, physical and chemical properties of sludge flocs on dewaterability of activated sludge [J]. Chemical Engineering Journal, 2004, 98(2):115-126.
- [17] Mesquita D P, Amaral A L, Ferreira E C. Identifying different types of bulking in an activated sludge system through quantitative image analysis [J]. Chemosphere, 2011, 85(4):1126-1134.
- [18] 李恺,叶志平,李焕文,等. 表面活性剂 CTAC 对活性污泥的脱水性能及机理研究[J]. 华南师范大学学报:自然科学版,2010(2):76-81.
Li K, Ye Z P, Li H W, et al. Study of surfactants on activated sludge's dewaterability and mechanism [J]. Journal of South China Normal University: Natural Science Edition, 2010(2):76-81.
- [19] 谢敏,施周,刘小波,等. 微波辐射对净水厂污泥脱水性能及分形结构的影响[J]. 环境化学,2009,28(3):418-420.
Xie M, Shi Z, Liu X B, et al. The Influence of microwave condition to the dewaterability and fractal structure of water treatment plant sludge [J]. Environment Chemistry, 2009, 28(3):418-420.
- [20] 段晨龙,赵跃民,何亚群,等. 废弃电路板破碎产物粒度分形分布的研究[J]. 中国矿业大学学报,2009,38(3):357-360.
Duan C L, Zhao Y M, He Y Q, et al. Research on the fractal model of size distribution of crushed waste printed circuit boards [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2009, 38(3):357-360.