

新型气浮装置 ES-DAF 中气泡粒径分布的表征

陈福泰¹, 左华¹, 李久义¹, 范正虹², 栾兆坤¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085; 2. 青岛海洋大学, 青岛 266003)

摘要:对 ES-DAF 气浮装置进行了研究. 该装置取消了溶气灌, 在循环泵的压水管和吸水管之间装有一个射流器和一个静态混合器进行吸气和溶气. 采用显微摄像系统, 对该装置中气泡粒径分布进行了探讨. 结果表明, 当环流比由 10% 增加到 40% 时气泡平均粒径由 52.9 μm 降低到 40.9 μm , 当表观气水比由 12% 降低到 4% 时, 气泡平均粒径由 55.9 μm 降低到 40.1 μm . 这说明提高溶气系统中的紊流强度能够形成更多的原始气泡核位, 从而可以形成更小的气泡. 随着溶气压力由 300kPa 增加到 600kPa, 气泡粒径分布曲线变低变宽说明压力的升高加剧了气泡的碰撞与并聚作用.

关键词:溶气气浮; 气泡粒径分布; 溶气系统; CCD 成像

中图分类号: X703.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)01-0111-03

Characterization of Bubble Size Distribution in ES-DAF Unit

CHEN Fu-tai¹, ZUO Hua¹, LI Jiu-yi¹, FAN Zheng-hong², LUAN Zhao-kun¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China)

Abstract: ES-DAF unit was introduced and studied in this paper. Without a costly air saturator, ES-DAF consists of an ejector and a static mixer between the pressure side and suction side of the recycle rotary pump. The bubble size distribution in this novel unit was studied by using a CCD imagination through a microscope. The bubble size decreased with the increase of cycle ratio or the decrease of superficial air water ratio. These results suggest that smaller bubbles would be formed when the initial number of nucleation sites increase by enhancing the turbulence intensity in the saturation system. The bubble size distribution became lower and wider with the increase of saturation pressure because of more frequent bubble collision and coalescence.

Key words: dissolved air flotation (DAF); bubble size distribution; air saturation system; CCD imagination

溶气气浮(DAF)技术在去除给水和废水中的颗粒物方面得到了越来越广泛的应用,具有可靠、可控和高效的特点^[1].传统的溶气气浮装置中包括溶气系统、释气系统和池体分离系统,其中溶气灌——溶气系统的主要部件,占溶气气浮处理厂基建投资的12%以上^[2],并且在实际运行的启动与关闭操作中,控制溶气灌中的气液水位达到平衡需要很长时间且较为困难.

最近研发出一些新型的溶气系统,例如泵前吸气式气浮装置(M-DAF),取消了空气压缩机和溶气灌^[3].与传统 DAF 相比, M-DAF 的主要改进之处是对溶气方式的改进.空气通过循环水泵吸水管引射进入并在泵体中溶解,压力溶气水无需经过溶气灌而直接在气浮池中释放.其优点是投资较低,易于操作,因此展现出良好的应用前景,特别是在中小型气浮装置中的应用.不过,由于泵前吸气的溶解效率并不很高,在 M-DAF 气浮装置中虽然泵与释放器间的管线长度达到了 10m,仍然有未溶解的大气泡引入到气浮池中破坏了絮体与气泡间的碰撞粘附,同时也使得溶气水回流比达到了 40%.

本文介绍了一种新型溶气气浮装置(Ejector and Static Mixer Dissolved Air Flotation, ES-DAF),并采用显微动态摄像技术和图像分析系统对该装置中气泡粒径分布进行了表征.

1 实验方法及流程

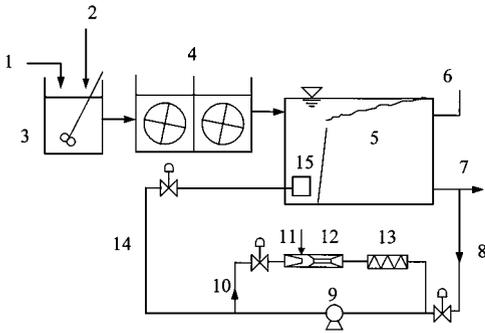
1.1 ES-DAF 装置流程

该装置在循环泵的压水管和吸水管之间连有一环流管路,管路上装有一个射流器和一个静态混合器.如图 1 所示.空气通过射流器的自吸而引入,并被射流器内高强度紊流的水体切割粉碎成小气泡并溶解,接着又被静态混合器和循环泵进一步切割粉碎并溶解,最后一部分水体流到释放器处进行释放,另一部分留在环流管线中继续被切割溶解.这种形式的溶气装置能够溶解更多的气体,与传统溶气气浮装置相比具有节省基建投资和占地面积,操作维护非常简便等优点.

收稿日期: 2002-09-28; 修订日期: 2003-07-09

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(59838300)

作者简介: 陈福泰(1972-),男,博士研究生,主要从事气浮设备开发及水质净化技术研究.



1. 原水 2. 混凝剂 3. 快速混合器 4. 絮凝反应器 5. 气浮池
6. 排渣 7. 处理后水 8. 循环水 9. 泵 10. 环流水 Q_c 11. 空气
12. 射流器 13. 静态混合器 14. 压力溶气水 Q_w 15. 释放器

图 1 ES-DAF 流程示意图

Fig.1 Schematic diagram of ES-DAF process

1.2 气泡图像采集和处理

气泡粒径分布的测量是在国外装置基础上改造而成的^[4-5],采用一个特别制作的样品池,通过显微镜镜头和 CCD 联用进行图像采集.如图 2 所示.

图像采集系统包括一个计算机控制的 CCD,140 倍显微镜镜头,照明系统,图像采集卡和图像分析软件.为了准确测量气泡粒径尺寸,用十字型测微尺进行校准.在实验开始时,将一根 $100\mu\text{m}$ 的铜线放在观察窗处以进行聚焦.分析图像中气泡粒径分布时,先调节图像的对比度以得到更为清楚的气泡图像.

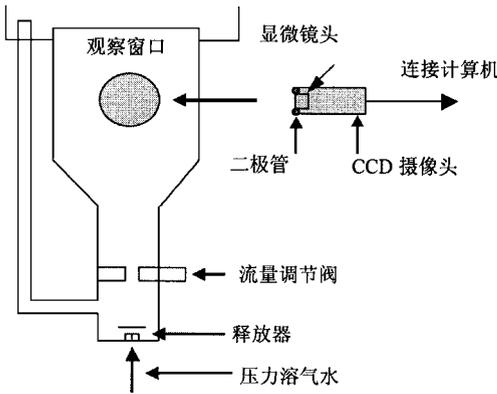


图 2 气泡测量装置

Fig.2 Experimental setup for measuring bubble diameter

1.3 参数计算

实验用水是北京水源九厂的自来水,水温是 $16.1 \sim 17.3\text{ }^\circ\text{C}$.文中引入一些参数其具体计算如下.

环流比定义为:

$$R_c = Q_c / Q_c + Q_w \quad (1)$$

式中, Q_c = 环流水量; Q_w = 回流量.

表观气水比定义为:

$$R_{a.w} = Q_a / Q_w \quad (2)$$

式中, Q_a = 表观空气流量.

2 结果与讨论

一般情况下,气泡粒径越小越有利于颗粒物与气泡的碰撞粘附.在溶气气浮装置中,影响气泡粒径分布的主要因素是释放器的几何构造,另外还有溶气压力、水体温度和水体中的化学成分等^[4,6].在其它条件不变的情况下,采用同一个释放器产生的气泡粒径保持稳定.

图 3 ~ 图 5 中改变了溶气系统的配置,随着环流比、表观气水比和溶气压力的改变,气泡粒径分布明显不同.在 500 kPa 溶气压力下逐渐增大环流比,气泡粒径分布曲线朝着气泡粒径减小方向移动,当环流比从 10% 增大到 40% 气泡平均粒径从 $52.9\mu\text{m}$ 降低到 $40.9\mu\text{m}$,标准偏差 S_d 从 18.2 降到 13.8 ,如图 3 所示.同时在进行显微图像采集时,可以明显看到随着环流比的提高气泡粒径减小,气泡数量浓度增大,释气水“白度”提高.

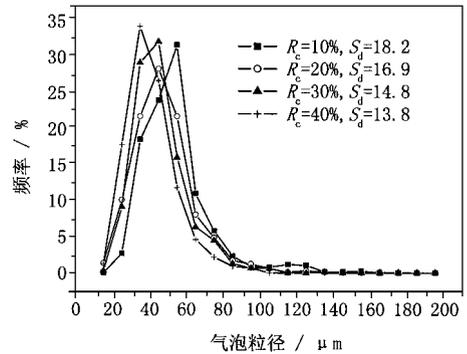


图 3 不同环流比对气泡粒径分布的影响

Fig.3 Bubble size distributions for various reflux ratios ($p = 500\text{ kPa}$, $R_{r.w} = 8\%$)

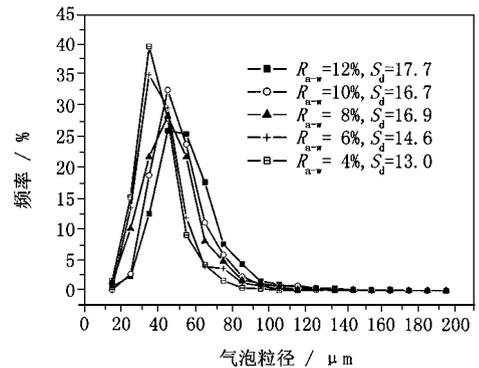


图 4 不同表观气水比对气泡粒径分布的影响

Fig.4 Bubble size distributions for various superficial air water ratios ($p = 500\text{ kPa}$, $R_c = 20\%$)

在整个实验过程中采用同一喷嘴,在相同的溶气压力下,气泡平均粒径应该保持稳定.在溶气压力等因素相同的情况下,改变环流比发现气泡粒径分

布随着改变,这是由于随着环流比的增大,溶气系统中水体的紊流程度急剧增加,从而对气泡粒径分布的影响也大大提高.这说明影响气泡粒径的因素除了释放器的几何形状,溶气压力,水体温度和水体中的化学成分外,溶气系统中水体紊流程度对其也有重要影响.分析溶气系统中水体流态如何影响气泡的产生,有必要了解气泡的形成过程.文献[4]曾提出一概念模型来描述释放器中气泡的形成,该过程分为2个阶段:第1个阶段,在压力突然降低后,气泡从溶气水含有的气泡核位析出并成长;第2个阶段,由于并聚作用气泡粒径逐渐增大.另外如果增多气泡核位的原始数量,就会有更多的气泡形成,由于从溶气水中释放的气量是一定的,那么气泡粒径就会变小.从这一概念模型中可以得出气泡核位的原始数量对形成气泡的最终大小有着十分重要的影响.不过文献[4]并没有就如何增多气泡核位原始数量的方式给出任何建议.

从图3中气泡粒径随着环流比的提高而增大可以推断出,提高环流比能够增加气泡核位的数量.气泡核位可以存在于溶气系统的内壁上,在悬浮微粒的表面上或者以亚稳微气泡形式存在于溶气系统中的压力水中^[7].增加环流比也就增加了溶气系统的紊流程度,随着紊流强度的提高,亚稳微气泡可以更加易于从悬浮微粒的表面析出并存在于溶气水中,而新的气泡核位可以继续存在于悬浮微粒表面形成,因此气泡核位的总体数量不断增加.可见提高溶气系统的紊流强度能够获得较小的气泡.

图4是在500kPa压力下在不同表观气水比时的气泡粒径分布,图中显示气泡粒径随着表观气水比的减小而减小,当表观气水比从12%降到4%时,平均气泡粒径从55.9 μm 降低到40.1 μm .随着表观气水比的减小,气液界面处的相对紊流强度也得以提高,从而能够增加溶气系统中的气泡核位原始数量,所以形成的气泡粒径减小.改变溶气系统的压力同样可以得到不同的气泡粒径分布,如图5所示.从图5可以看出,当溶气压力为300~600kPa,平均气泡粒径是65.4~41.4 μm ,这与其他研究者的结果类似^[8].不过,随着溶气压力的增大,平均气泡粒径在减小的同时,粒径分布曲线变得更低更宽.由图5还可以看出,改变溶气系统压力对气泡粒径的影响并不十分显著,这与文献[8]的研究相符合.

更低更宽的气泡粒径分布说明了随着压力的增大气泡在形成的第2阶段并聚加剧.这是因为当压力增大时,压力溶气水在气泡形成的第2阶段会有

更多的能量,但由于释放器几何尺寸的限制促进了

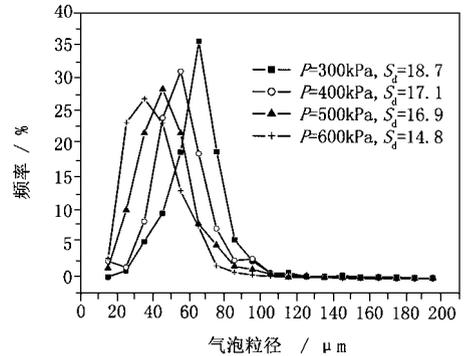


图5 不同压力对气泡粒径分布的影响($R_c = 20\%$, $R_{a.w} = 8\%$)

Fig. 5 Bubble size distributions under various saturation pressures($R_c = 20\%$, $R_{a.w} = 8\%$)

气泡间的碰撞接触.另外,在进行显微图像采集时通过观察窗可以看到,随着压力的提高溶气水的“白度”也在增加,而通过计算机屏幕可以很清楚地看到气泡的浓度在增强.气泡浓度的增强使得气泡间碰撞与并聚的几率增大,这在很大程度上导致了升高压力时,平均气泡粒径的降低并没有设想的那样低,因此要想将气泡粒径减小很多是很困难的,与此相反将气泡的浓度提高就变得容易了.这种情况在600kPa压力时愈加明显,很大部分直径为20~40 μm 的气泡开始并聚成较大气泡,于是它们所占的几率增大导致粒径分布曲线变得较宽较低.

3 结论

气泡粒径随着环流比的增大或者表观气水的减小而减小,这说明了提高溶气系统的紊流强度可以形成更多的气泡核位,从而能够减小气泡粒径尺寸.提高溶气系统压力气泡粒径分布曲线变得较低较宽,说明了压力升高气泡并聚加剧.

参考文献:

- [1] Edzwald J K. Principles and applications of dissolved air flotation [J]. Wat. Sci. Tech., 1995, 31(3-4): 1~23.
- [2] Rees A J, Rodman D J, Zabel T F. Dissolved air flotation for solid-liquid separation [J]. Jour. Separ. Proc. Technol., 1980, (1): 19~22.
- [3] Jokela P, Ihalainen E, Heiränen J, Viitasaari M. Dissolved air flotation treatment of concentrated fish farming waste waters [J]. Wat. Sci. Tech., 2001, 43(8): 115~121.
- [4] Rykaart E M, et al. Behavior of air injection nozzles in dissolved air flotation [J]. Wat. Sci. Tech., 1995, 31(3-4): 25~35.
- [5] Rijk de S E, Graaf van der J H J M, Blanken den J G. Bubble size in flotation thickening [J]. Water Res., 1994, 28(2): 465~473.
- [6] Edzwald J K, Walsh J P, Kaminski G S, Dunn H J. Flocculation and air requirements for dissolved air flotation [J]. J. AWWA, 1992, 84(3): 92~100.
- [7] Jones S F, Evans G M, Galvin K P. Bubble nucleation from gas cavities—a review [J]. Adv. Colloid Interface Sci., 1999, 80: 27~50.
- [8] Takahashi T, Miyahara T, Mochizuki H. Fundamental study of dissolved air pressure flotation [J]. J. Chem. Eng. Japan, 1979, (12): 275~280.