

文章编号:1674-2869(2012)03-0064-06

电场对气泡行为影响的实验研究

吴艳阳,傅捷,赵旭伟

(武汉工程大学机电工程学院,湖北武汉430074)

摘要:采用了可视化实验技术通过高速摄像机观察气泡的生长过程.通过实验结果分析,随着电场强度的增加,气泡的长径比增大,气泡脱离壁面的体积减小,气泡的脱离频率增大.当电场强度一定时,孔径越大,气泡脱离体积越小,气泡的长径比及脱离频率越大.

关键词:传热;可视化;电场强化

中图分类号:TQ016

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.03.014

0 引言

电水动力学(EHD)强化沸腾传热属主动强化技术,是一种将电场引入传热学领域并利用电场、流场、热场协同作用达到强化传热的有效新方法. EHD强化传热以其强化效果好,功耗小等优点,有着广阔的应用前景^[1]. 气泡生成、成长、脱离和上升等各种行为是决定EHD沸腾传热机理的主要过程^[2],直接影响沸腾传热的结果,气泡行为的研究也成为EHD强化沸腾传热分析的基础.在EHD强化沸腾换热中,气泡的行为发生改变,这是影响其沸腾换热效果的主要因素.因此,一些学者对电场作用下气泡的行为进行了研究^[3-11].其研究方法主要分为鼓泡法和直接加热产生气泡法.本文采用鼓泡法,通过高速摄像机观察气泡的行为,从中分析电场对气泡行为的影响.

1 作用在气泡上的电场力

作用在气泡上的电场力是影响其运动过程的

直接因素.根据电场力的传递概念,浸入流体中的物体,所受的电场力 F_e 可以由Maxwell(人名)电应力张量 T_e 来表述^[9]

$$F_e = \int_s T_e dS = \int_s [\epsilon_1 (E_n E - \frac{1}{2} E^2 n)] dS \quad (1)$$

式(1)中, ϵ_1 为液体的介电常数, E 为电场强度, n 为法相单位向量, S 为物体的面积.若该流体为理想电介质,其中的物体为半径为 r_b 的球形气泡,则对式(1)积分得^[10]

$$F_e = 2\pi\epsilon_b r_b^3 \left(\frac{\epsilon_b - \epsilon_1}{\epsilon_b + 2\epsilon_1} \right) \nabla E^2 \quad (2)$$

式(2)中, ϵ_b 为气泡的介电常数.

电场力将会影响气泡的行为,使气泡产生形变,从而影响气泡脱离直径、脱离体积和脱离周期.

2 实验装置

实验装置如图1所示,实验腔的大小为400×

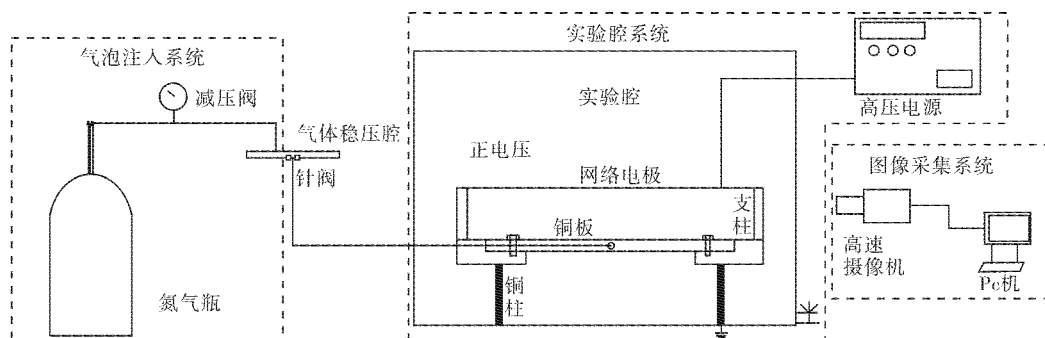


图1 实验系统布置图

Fig. 1 Experimental system layout

收稿日期:2011-12-06

基金项目:国家自然科学基金项目资助(50906065)

作者简介:吴艳阳(1974-),男,湖北咸宁人,讲师,博士.研究方向:压力容器无损检测、传热.

400 × 400 mm, 容器壁为钢化玻璃, 钢化玻璃拥有较好的透明度, 能够更好地观察实验结果. 实验腔上部采用网格电极作为直流电场正电极, 下部镶嵌在试验腔底部作为接地电极. 通过高压电源, 在实验过程中可以产生高压直流电场. 注入实验腔的气体为氮气. 实验过程中通过图像采集系统中的高速摄像机观察气泡的行为, 摄像的速度为 1 000 帧/s.

3 实验结果

3.1 电场作用下气泡的形态

将电场作用下的气泡等效为椭圆形的球体, 注入氮气的铜板和网格电极之间的支柱距离为 L , 气泡的长轴直径为 d , 短轴直径为 w , μ 为气泡的长径比. 本实验以 $L = 50$ mm, 气泡注入的孔径分别为 2 mm 和 3 mm, 观察注入的氮气在电压分别为 0 V、5 kV、15 kV、25 kV 的情况下气泡的行为, 如图 2 所示.

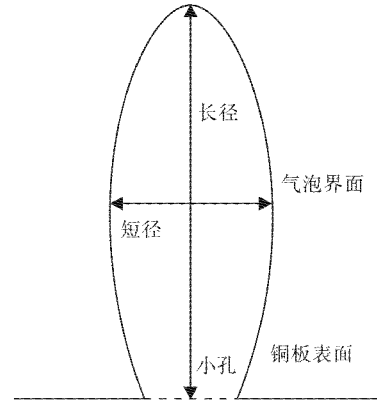


图2 气泡形态示意图

Fig. 2 Bubble shape diagram

3.2 气泡注入实验腔的孔径为 2 mm 时的气泡行为

3.2.1 电压为 0 V 时的气泡行为 当孔径为 2 mm 时, 不加入电场, 气泡的生长过程如图 3 所示.

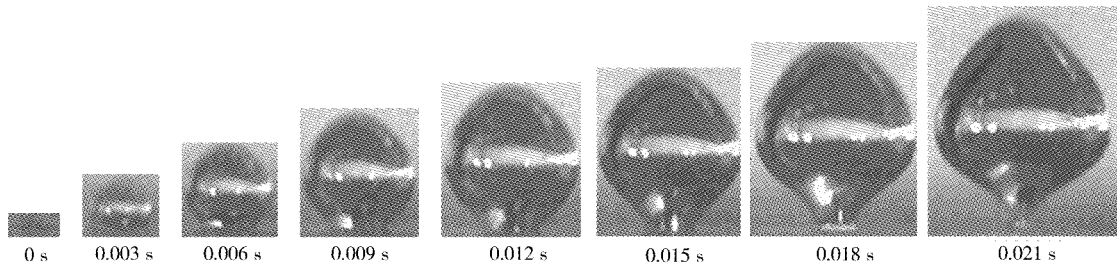


图3 0 V 电压下气泡生长过程

Fig. 3 Bubble growth process at voltage of 0 kV

3.2.2 电压为 5 kV 时的气泡行为 当孔径为 2 mm 时, 加入电压为 5 kV 的电场, 气泡的生长过程如图 4 所示.

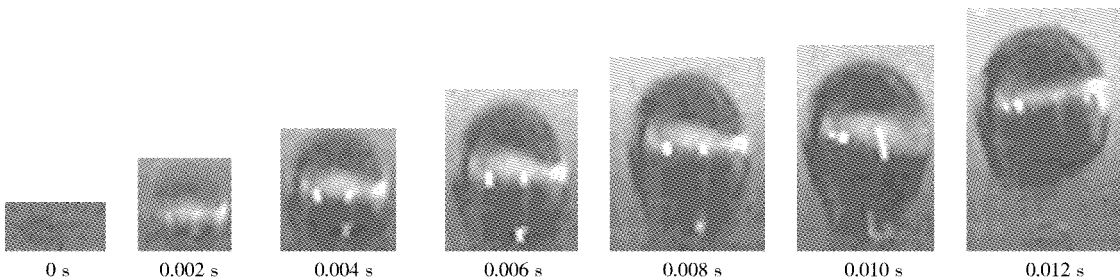


图4 5 kV 电压下气泡生长过程

Fig. 4 Bubble growth process at voltage of 5 kV

3.2.3 电压为 15 kV 时的气泡行为 当孔径为 2 mm 时, 加入电压为 15 kV 的电场, 气泡的生长过程如图 5 所示.

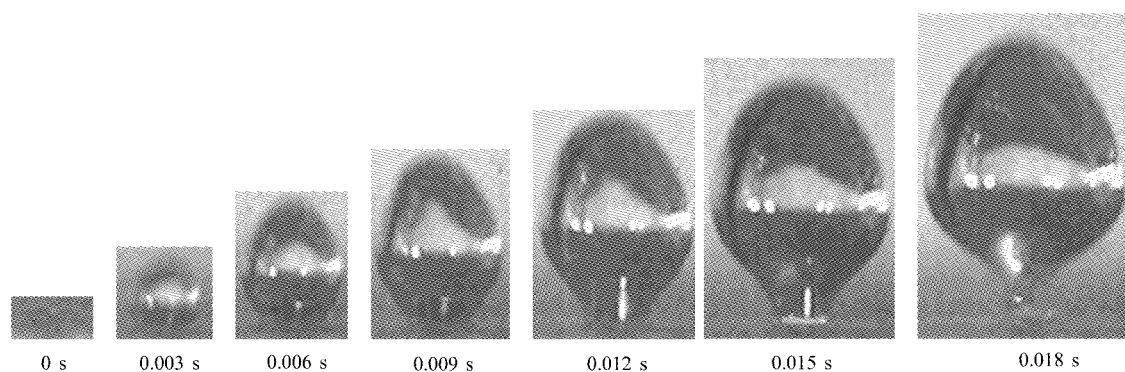


图 5 15 kV 电压下气泡生长过程

Fig. 5 Bubble growth process at voltage of 15 kV

3.2.4 电压为 25 kV 时的气泡行为 当孔径 长过程如图 6 所示.
为 2 mm 时,加入电压为 25 kV 的电场,气泡的生

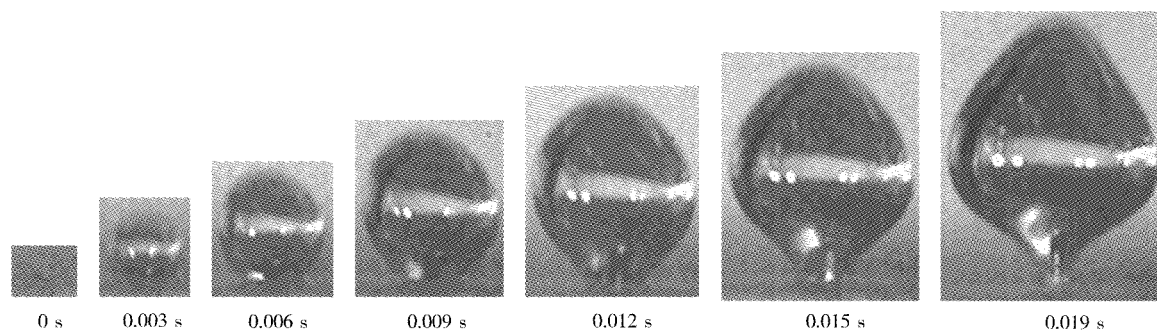


图 6 25 kV 电压下气泡生长过程

Fig. 6 Bubble growth process at voltage of 25 kV

3.3 气泡注入实验腔的孔径为 3 mm 时的气泡 2 mm 时,不加入电场,气泡的生长过程如图 7 所示.

3.3.1 电压为 0 V 时的气泡行为 当孔径为

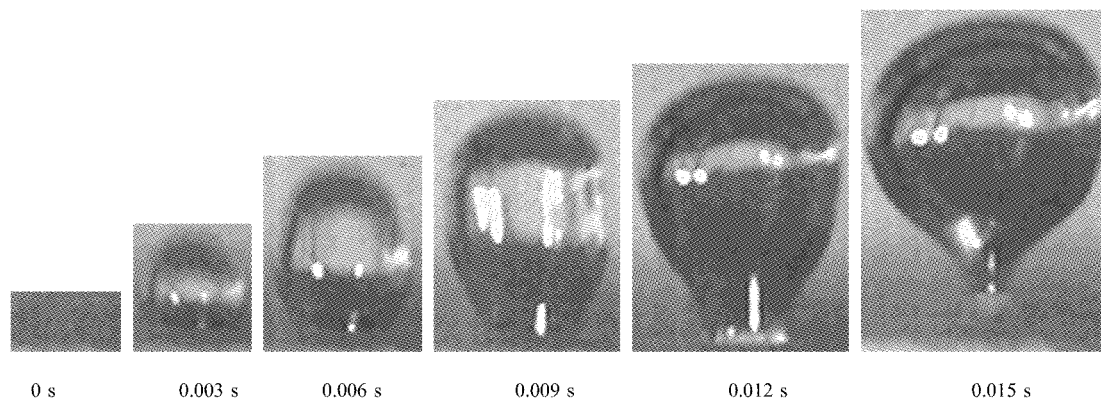


图 7 0 V 电压下气泡生长过程

Fig. 7 Bubble growth process at voltage of 0 kV

3.3.2 电压为 5 kV 时的气泡行为 当孔径为 程如图 8 所示.
2 mm 时,加入电压为 5 kV 的电场,气泡的生长过

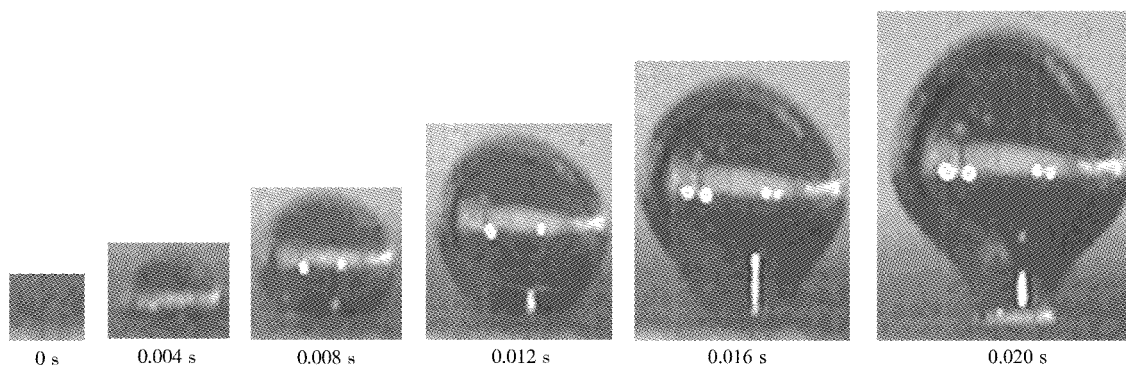


图8 5 kV 电压下气泡生长过程

Fig.8 Bubble growth process at voltage of 5 kV

3.3.3 电压为 15 kV 时的气泡行为 当孔径 长过程如图 9 所示. 为 2 mm 时,加入电压为 15 kV 的电场,气泡的生

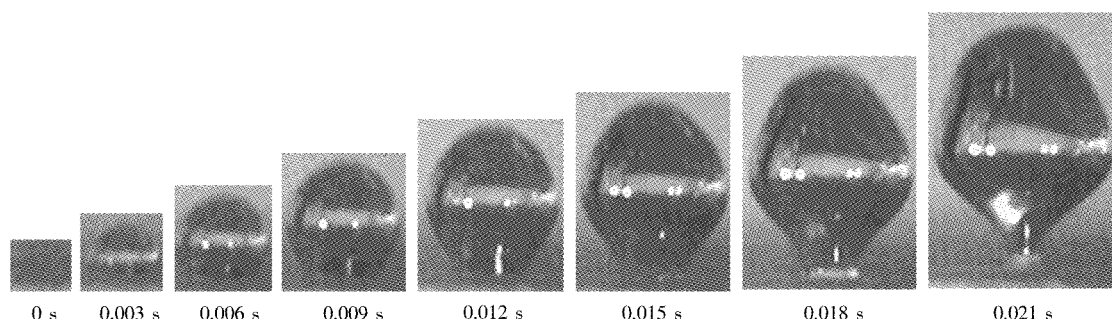


图9 15 kV 电压下气泡生长过程

Fig.9 Bubble growth process at voltage of 15 kV

3.3.4 电压为 25 kV 时的气泡行为 当孔径 不同的电压作用下,气泡的长径比如图 11 ~ 12 所示. 为 2 mm 时,加入电压为 25 kV 的电场,气泡的生 长过程如图 10 所示.

3.4 电场对气泡长径比的影响

分别取气泡注入的孔径为 2 mm 和 3 mm,在

可见,随着电压 U 的增大,气泡脱离时的长径比 μ 也增大,相同的电压下,注入气泡的孔径越大,气泡脱离时的长径比越大.

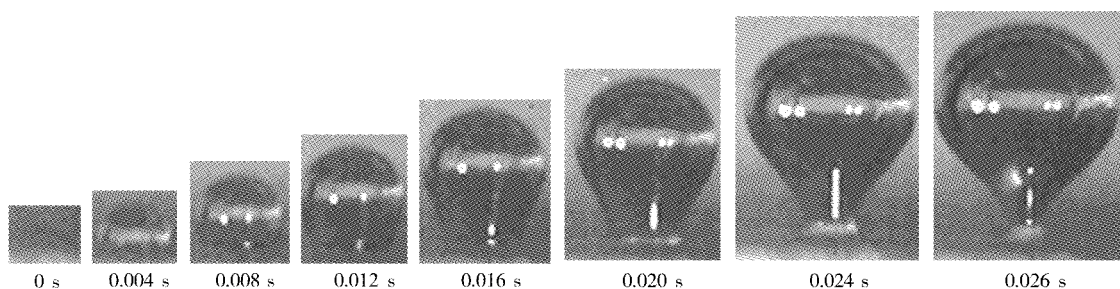


图10 25 kV 电压下气泡生长过程

Fig.10 Bubble growth process at voltage of 25 kV

3.5 电场对气泡体积的影响

将气泡的体积等效为椭球体的体积,椭球体的体积为

$$V_d = \frac{\pi w^2 d}{6}$$

分别取气泡注入的孔径为 2 mm 和 3 mm,在

不同的电压作用下,电场对气泡体积的影响如图 13 ~ 14 所示.

由图 13 ~ 14 可知,气泡脱离时的体积随着电压 U 增大而减小,电压相同时,注入气泡的孔径越大,气泡脱离时的体积越小.

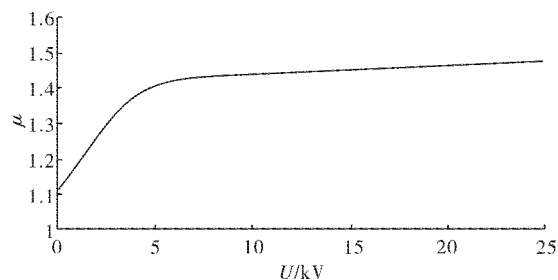


图 11 2 mm 孔径时电场对气泡长径比的影响

Fig. 11 Electric field influence on the bubble's long diameter ratio at 2 mm aperture

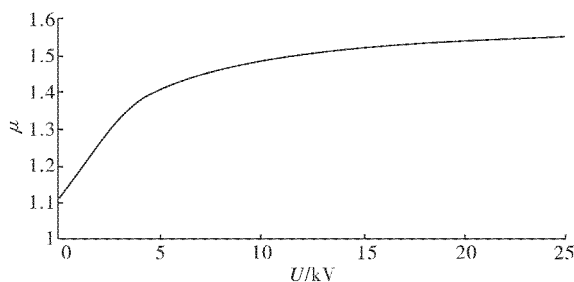


图 12 3 mm 孔径时电场对气泡长径比的影响

Fig. 12 Electric field influence on the bubble's long diameter ratio at 3 mm aperture

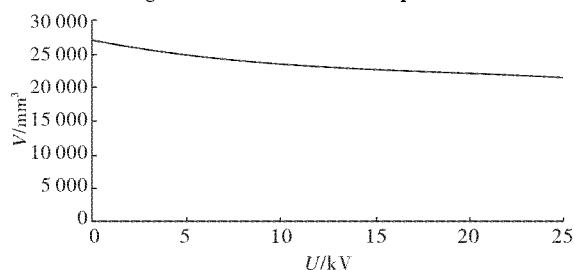


图 13 2 mm 孔径时电场对气泡体积的影响

Fig. 13 Electric field influence on the bubble volume at 2 mm aperture

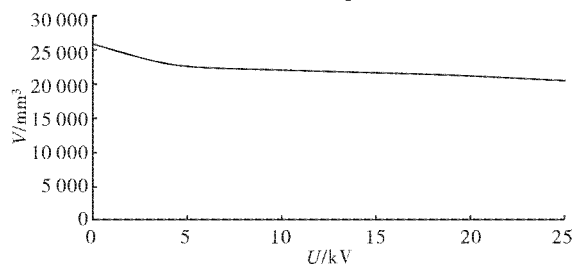


图 14 3 mm 孔径时电场对气泡体积的影响

Fig. 14 Electric field influence on the bubble volume at 2 mm aperture

3.6 电场对气泡脱离频率的影响

气泡脱离频率是指单位时间内气泡脱离壁面的数量,定义如下:

$$f = \frac{1}{t_d}$$

其中 f 为气泡的脱离频率, t_d 为气泡脱离时间. 分别取气泡注入的孔径为 2 mm 和 3 mm, 在不同的电压作用下, 电场对气泡脱离频率的影响如

图 15 ~ 16 所示.

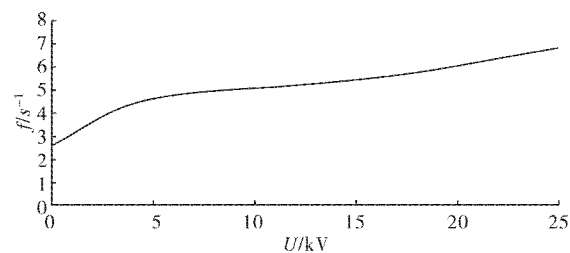


图 15 2 mm 孔径时电场对气泡脱离频率的影响

Fig. 15 Electric field influence on the bubble's removed frequency at 2 mm aperture

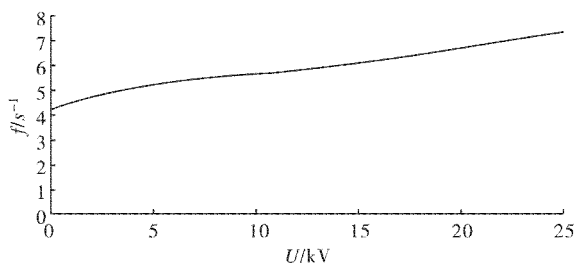


图 16 3 mm 孔径时电场对气泡脱离频率的影响

Fig. 16 Electric field influence on the bubble's removed frequency at 3 mm aperture

可见, 气泡的脱离频率随着电压的增大而增大, 电压相同时, 注入气泡的孔径越大气泡的脱离频率越大.

4 结 语

a. 在电场的作用下, 注入实验腔的气泡沿电场方向从开始的球形被拉伸为椭球形, 随着电场强度的增大, 气泡的拉伸量 (长径比) 也相应的增大.

b. 在电场的作用下, 随着电场强度的增大, 气泡的体积减小, 气泡的脱离频率增大.

c. 在电场强度相同的情况下, 注入气泡的孔径越大, 气泡脱离体积是变小, 气泡的长径比和脱离频率越大.

参考文献:

- [1] 崔国民, 王静, 关欣, 等. 微型燃气轮机能源岛系统分析仿真软件——EIS 系统[J]. 上海理工大学学报, 2004, 26 (5): 490 - 495.
- [2] FC, MATHEWJ. Heat transfer enhancement by EHD - induced oscillatory flows[J]. Journal of Heat Transfer, 2006, 128(9): 861 - 869.
- [3] 哈恩 E, 格里古尔 U. 沸腾换热[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
- [4] Doek S, Kwak H Y. A study of bubble behavior an boiling heat transfer enhancement under the electric field [J]. Heat Transfer Engineering, 2000(21): 33 - 45.

- [5] 董伟,李瑞阳,郁鸿凌. 单个气泡周围的电场数值研究[J]. 工程热物理学报,2001,25(3):439-441.
- [6] Bergles A E. Heat transfer enhancement - The encouragement and accommodation of high heat fluxes[J]. Journal of Heat Transfer, 1997, 119(2):8-19.
- [7] 崔海亭,彭培英. 强化传热新技术及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [8] LEE S M, KANG I S. Three - dimensional analysis of the steady - state shape and small - amplitude oscillation of a bubble in uniform and non[J]. uniform electric fields J Fluid Mech,1999,384(1):59-91.
- [9] 董伟,李瑞阳,郁鸿凌. 电场作用下气泡的行为研究[J]. 能源研究与信息,2004,20(2):110-115.
- [10] 林纬,喻九阳,吴艳阳,等. 横纹管脉冲流流动与换热数值分析[J]. 武汉工程大学学报,2011,33(5):89-93.
- [11] 喻九阳,高九阳,吴艳阳,等. 机械振打器不同往复密封结构功率损耗的分析[J]. 润滑与密封,2011(4):69-71.

Experimental study on bubble behavior under influence of electric field

WU Yan-yang, FU Jie, ZHAO Xu-wei

(School of Mechanical & Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The experimental study focused on the process of bubble growing under electric field, while visualization technique was adopted. Based on analyzing the results recorded by the high-speed camera, it was clear that ratio of height to diameter of bubble increased, the volume of bubble escaping from the wall became smaller and the frequency of bubble escaping increased with the electric field strength increasing. A similar trend was observed when the aperture got larger and the electric field strength was constant.

Key words: heat transfer; visualization; electrohydrodynamics enhancement

本文编辑:陈小平



(上接第41页)

Purification function of submerged plant pond in rural polluted water at low temperature

ZOU Guo-lin, WANG Quan-jing, ZHU Ping, SONG Jia-jun, XIONG Wei

(Department of Environment Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: A simulated rural polluted water was purified by an aquatic plant pond system composed of four common submerged plants and substrate, and the purification ability of different submerged plants at low temperature was analyzed. The result show that the four submerged plants have good results of treatment to TP and COD, the removal rate of TP and COD is more than 80%, and the TP removal efficiency reaches 97% by hydrilla verticillata and hornwort, the four submerged plants are obvious on nitrogen removal, the removal rates of TN and NH₃-N are 54.27% - 77.45% and 47.26% - 60.79%, the four submerged plants remove nutrients fast, the best hydraulic retention time is 2-3 days. It is concluded that hydrilla verticillata and hornwort have better function in purifying rural polluted water at low temperature, and can be used as optimum selection species of aquatic plants in treating rural polluted water.

Key words: submerged plant pond; rural polluted water; low temperature; purification function

本文编辑:龚晓宁