

文章编号:1007-6735(2012)05-0491-03

电场对注入气泡和沸腾气泡影响的研究

董智广¹, 程道来¹, 郁鸿凌², 董伟², 李瑞阳²

(1. 上海应用技术学院 城市建设与安全工程学院, 上海 201418; 2. 上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093)

摘要: 为进一步探索电场强化沸腾换热的机理, 利用高速摄像机拍摄了注入氮气气泡和 R123 工质沸腾气泡在直流电场作用下的实验图像, 并对气泡脱离壁面时的形态进行了定量分析. 实验结果表明, 注入氮气气泡和 R123 沸腾气泡在电场作用下形状发生了显著变化, 电场强度越大, 气泡的形状变化也就越明显, 并且电场对沸腾气泡的影响更为显著. 此外, 注入氮气气泡和沸腾气泡的脱离体积在电场作用下也发生了变化, 随着电场强度的增大, 脱离体积有减小的趋势, 且冷态注入氮气气泡的体积在电场作用下的变化较沸腾气泡明显.

关键词: 电水动力学; 气泡; 电场

中图分类号: TK 124 **文献标志码:** A

Injected and Boiling Bubbles in Electric Field

DONG Zhi-guang¹, CHENG Dao-lai¹, YU Hong-ling², DONG Wei², LI Rui-yang²

(1. School of Urban Construction and Safety Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China;
2. School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to further study the electrohydrodynamic enhancement mechanism of boiling heat transfer, the images of nitrogen injected bubbles and R123 boiling bubbles in a DC electric field were obtained with a high-speed camera, and the bubble shape at departure was quantitatively analyzed. Experimental results show that the injected and boiling bubble distinctly elongate along the direction of the electric field. The bubble's aspect ratio increases with the increase of electric field intensity, and the effect of electric field on the elongation of boiling bubble is more obvious. As the electric field intensity is raised, the departure volumes of injected and boiling bubbles tend to decrease, and the volume of the injected bubble decreases more significantly.

Key words: electrohydrodynamics; bubble; electric field

强化传热是节能的有效手段. 强化传热的方式有很多, 其中, 电场强化传热(EHD)是其中的一个重要领域. 从工程实际应用的角度来看, EHD 强化传热技术具有其独特的优越性和良好的应用前景, 近

年来成为国内外学者研究的重点, 取得了不少成果^[1-2].

对于电场强化沸腾换热的研究, 科研人员更多地关注电场对流体电对流作用. 电场对流体电对流作用

收稿日期: 2012-02-22

作者简介: 董智广(1973-), 男, 讲师. 研究方向: 电场强化换热及两相流. E-mail: dongzhiguang08@163.com

的研究从 20 世纪 70 年代就已起步,并且取得了很多研究成果^[3-4].而对于两相沸腾换热,施加电场后,气泡的运动过程发生变化,从而对边界层产生扰动,这是换热得到强化的最直接原因.因此,研究电场作用下气泡的运动规律,对于揭示电场强化沸腾换热机理起着举足轻重的作用.由于在沸腾过程中,气泡的产生不易控制,所以,对于气泡行为的研究,研究者多用小孔注入单气泡来代替沸腾气泡研究电场对气泡行为的影响^[5].对于直接加热工质产生的沸腾气泡在电场作用下的实验研究,文献报导不多^[6],因此,本文研究了在直流电场作用下,冷态注入气泡和直接加热工质产生的沸腾气泡的行为变化,以明确电场对气泡的作用规律,对于进一步探明电场强化沸腾换热的机理起着举足轻重的作用.

1 实验装置

本实验设计了两套实验装置,即冷态注入氮气气泡实验装置和热态沸腾气泡实验装置.

冷态实验系统主要由气泡产生系统、高压电系统和图像采集系统这三部分组成.如图 1 所示,由氮气瓶提供氮气,将氮气注入到 R123 工质中,气泡注入小孔的直径为 1 mm.上极板采用网状电极,下极板采用一次浇铸成型的黄铜板,尺寸与铜网相同.上极板平行于下极板,两电极板间的距离为 10 mm.

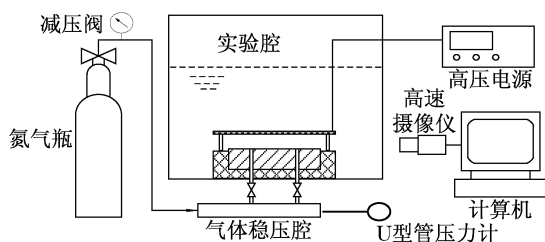


图 1 注入氮气气泡实验系统图

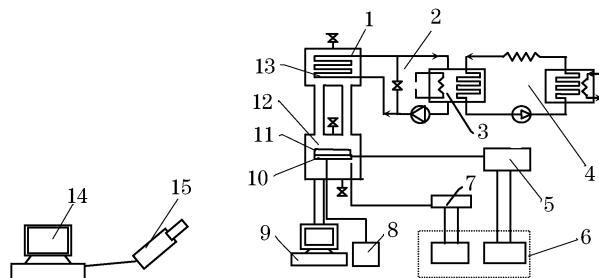
Fig.1 Schematic diagram of injected nitrogen bubble experimental system

高压电源为美国 GLASSMAN 公司生产.通过调节高压电源的面板,在实验中可以施加 0~50 kV 电压.该发生器安装有电流自动保护回路,当使用电流超过设定的最大安全电流时,保护器会自动切断回路.在本文的实验中,最大安全电流设定在 10 mA.电压值和电流值可直接由高压电发生器的数字显示器读出,回路中其它部分的电压降可忽略不计.

实验采用的工质为 R123,由于其沸点较低,相对介电常数较大,电荷松弛时间小,因此,电场对该

工质的影响较大.

R123 沸腾气泡的实验装置如图 2 所示.同冷态注入气泡的实验装置相比,热态实验装置中增加了冷凝水系统和加热系统,减少了气泡注入系统.



1. 冷凝室 2. 冷却工质回路 3. 换热器 4. 制冷系统 5. 主加热器
6. 控制台 7. 高压电源 8. 辅助加热器 9. 计算机 10. 铜板
11. 平板电极 12. 沸腾室 13. 冷凝管 14. 计算机 15. 高速摄像机

图 2 R123 工质沸腾气泡实验系统图

Fig.2 Schematic diagram of R123 working medium boiling bubble experimental system

2 实验结果

2.1 电场作用下气泡的生长过程

利用高速摄像机拍摄到冷态注入气泡和 R123 沸腾气泡在 0 kV/mm 和 1.2 kV/mm 的电场强度作用下的生长图像,如图 3 和图 4 所示.

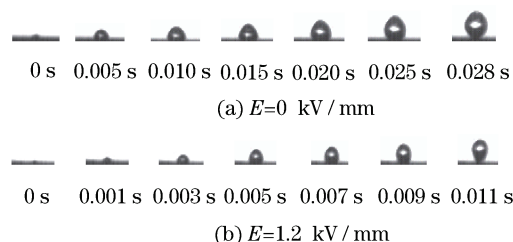


图 3 气泡的生长图示

Fig.3 Schematic diagram of bubble growth

由图 3 可知,不加电场作用时,气泡基本上呈球形生长;而外加电场后,气泡呈椭球状生长.由图 4 可知,电场对沸腾气泡的拉伸作用较冷态注入气泡明显,这是因为气泡除了受到电场的作用外,还受到温度场的影响.

2.2 电场对气泡脱离状态的影响

在电场作用下,气泡形状发生了改变.实验中测得的气泡的长轴 d 和短轴 w ,如图 5 所示.定义气泡的脱离长径比为 $R = d/w$,用 R_e/R_0 表示气泡脱离时的相对长径比. R_e, R_0 分别表示外加电场和

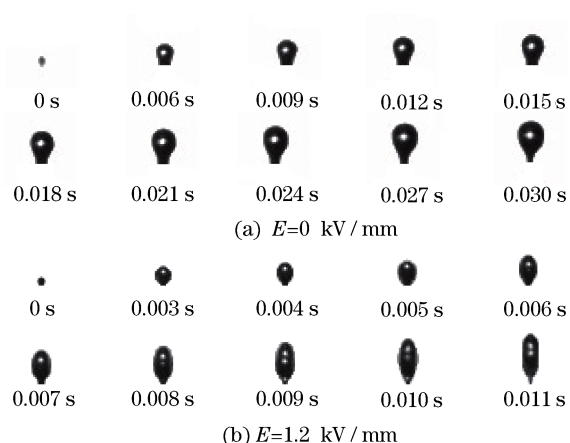


图4 沸腾气泡的生长图示

Fig.4 Schematic diagram of boiling bubble growth

不加电场作用时的脱离长径比. 在电场作用下, 冷态注入氮气气泡和 R123 沸腾气泡脱离壁面时的相对长径比随电场强度 E 的变化关系如图 6 所示.

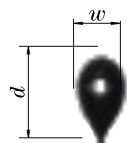


图5 实验中气泡的测量参数

Fig.5 Bubble measure parameters in experiment

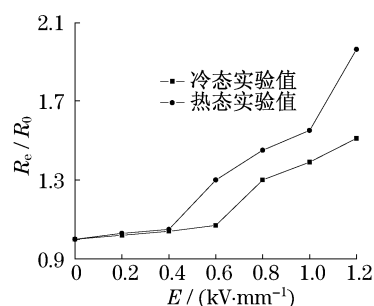


图6 气泡脱离壁面时相对长径比随电场强度的变化

Fig.6 Variation of relative aspect ratio with electric field strength at bubble departing the wall

由图 6 可知, 气泡脱离壁面时的相对长径比随着电场强度的增大而增大, 即在电场作用下气泡沿场强方向伸长. 在相同的电场强度作用下, 电场对 R123 沸腾气泡的拉伸作用更大. 在本实验条件下, 热态沸腾气泡在电场作用下的最大伸长是未加电压时的 1.95 倍.

本实验中得到气泡的相对脱离体积 V_e/V_0 随电场强度的变化关系如图 7 所示. V_e, V_0 分别表示外加电场和不加电场作用时气泡的脱离体积. 由图 7 可知, 在本实验条件下, 冷态注入气泡和热态沸腾气泡的脱离体积随着电场强度的升高都有减小的趋

势, 并且电场对冷态气泡体积减小的效果更加明显.

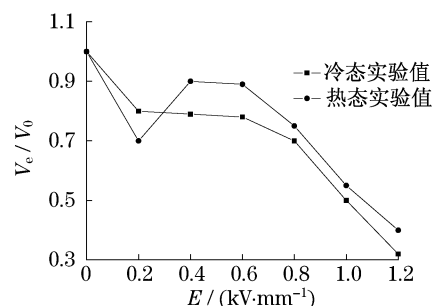


图7 气泡的相对脱离体积随场强的变化

Fig.7 Variation of relative departure volume with electric field strength

3 结 论

观察到了气泡在不同场强作用下生长与脱离时的情况. 实验研究结果表明, 在电场作用下, 气泡的形状发生了改变, 由球形变成了椭球形. 随着电场强度的增大, 气泡的变形量增大, 电场对沸腾气泡的影响较冷态注入气泡的显著. 外加电场使得冷态注入气泡和沸腾气泡的脱离体积都有减小的趋势, 且电场对冷态注入气泡的脱离体积的影响较大.

参考文献:

- [1] 陈志静, 罗小平, 高贵良. 电场强化夹套间不同构造管对流传热研究[J]. 化学工程, 2009, 37(2): 19-22.
- [2] Ahmad S W, Karayiannis T G, Kenning D B R, et al. Compound effect of EHD and surface roughness in pool boiling and CHF with R123 [J]. Applied Thermal Engineering, 2011, 31(8): 1994-2003.
- [3] Zaghoudi M C, Lallemand M. Analysis of the polarity influence on nucleate pool boiling under a DC electric field[J]. Transactions of the ASME, 1999, 121(9): 856-864.
- [4] Lai F C, Mathew J. Heat transfer enhancement by EHD-induced oscillatory flows. Journal of Heat Transfer, 2006, 128(9): 861-869.
- [5] Cho H J, Kang I S, Kweon Y C, et al. Study of the behavior of a bubble attached to a wall in a uniform electric field[J]. Int J Multiphase Flow, 1996, 22(5): 909-922.
- [6] Madadnia J, Koosha H. Electrohydrodynamic effects on characteristic of isolated bubbles in the nucleate pool boiling regime[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2003, 27(2): 145-150.