

超声空化效应对溶液电导率的影响

王成会, 林书玉

(陕西师范大学应用声学所, 西安 710062)

摘要: 大功率超声作用于溶液时会产生空化效应, 并影响溶液的物理化学性质, 如电导率、液体粘度及液体表面张力等。文章对不同功率的超声作用于弱电解质溶液时其电导率的变化进行了实验研究, 发现溶液电导率与超声波强度有关。当强度增大到有空化产生时, 电导率开始减小; 继续增大强度, 溶液电导率减小到一定程度后有小幅回升现象出现。且液体中空化效应的出现将导致液体的电导率减小, 空化达到一定强度时, 空化效应引起的局部瞬态高温高压、冲击波和微射流导致的新导电粒子, 会使电导率小幅回升。

关键词: 超声波强度; 超声空化; 溶液电导率

中图分类号: O426

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2006)-04-0309-04

Impact of ultrasonic cavitation upon electrical conductivity of solution

WANG Cheng-hui, LIN Shu-yu

(Applied Acoustics Institute, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Cavitation is produced when high-power ultrasound acts on a solution, affecting the physical and chemical characteristics of the solution such as electrical conductivity, viscosity, surface tension, etc. Electrical conductivity is studied under different ultrasonic energy acting on different solutions. It has been found that cavitation diminishes conductivity of the solution. When the ultrasonic intensity becomes higher, instantaneous local high temperature and high press, shock waves and tiny jet streams occur. Furthermore, new electricity-carrying particles are generated, and conductivity will rise slightly.

Key words: ultrasound intensity; ultrasonic cavitation; electrical conductivity

1 引言

空化效应的存在影响溶液的物理化学性质, 如电导率、液体粘度、液体表面张力等^[1]。利用超声波对溶液的物理化学作用, 可以对溶液进行物质分离、提取等, 超声作用于液体进行工业和生活应用, 涉及到产额及溶液利用程度问题, 而液体的物理化学性质的变化从某些角度正好可以反映生产额及溶液的利用率^[2]。超声作用于溶液时, 空化作用会在

局部点产生 5 000K 以上的高温 and 50MPa 左右的高压, 并伴有强烈的冲击波和时速达 400km 的射流, 在液体中会产生自由基^[3-5], 乃至一定量新的带电粒子。也会产生高频变化的机械运动, 其加速度可达重力加速度的 1500 倍, 这些独特的效应在声化学、超声降解领域中的应用越来越广泛^[6-8]。因此, 超声作用下溶液的物理化学性质的研究对生产、生活应用都有现实意义。本文通过实验对不同功率超声作用下弱电解质溶液的电导率变化进行了研究。

2 仪器和材料

2.1 主要实验材料

收稿日期: 2005-05-23; 修回日期: 2005-09-12

基金项目: 国家自然科学基金(10274046)

作者简介: 王成会(1974-), 女, 重庆万州人, 硕士, 助教, 主要研究方向: 超声工程。

自来水,市售一级白砂糖,市售葡萄味菓珍。

2.2 主要实验仪器

超声波发生器(频率在相对值 0~1 可调,电功率在相对值 0~1 可调,最大输出电功率 1000W)和与之相匹配的超声清洗槽(清洗槽尺寸 600mm×400mm×200mm,无锡超声电子设备厂生产);DDS211A 型电导率仪(上海第二分析仪器厂)。

3 实 验

3.1 不同功率超声波作用下自来水电导率的测量及结果分析

在超声清洗槽内加 600mm×400mm×150mm 自来水,超声波发生器的工作频率调整为超声清洗槽的工作频率(频率相对值 0.6,约 20kHz),使超声清洗槽正常工作。调节超声波发生器上的功率调节钮,在室温(19.2)下用电导率仪测量在不同的输入功率下自来水的电导率值。测得的实验数据经拟合后如图 1 所示。

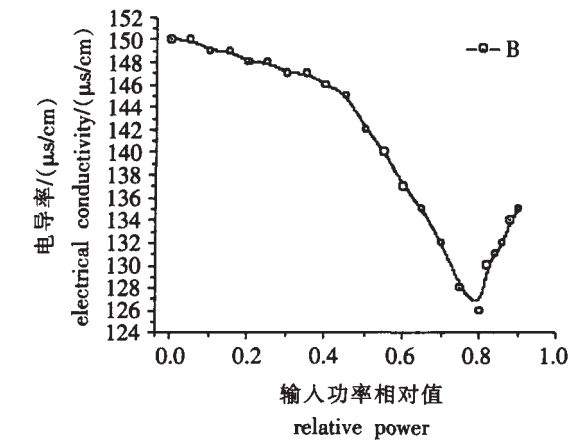


图 1 自来水在不同功率超声波作用下电导率的变化
Fig.1 The electrical conductivity of water at the action of ultrasound with different power

由图 1 可以看出,自来水在超声波的作用下电导率的变化有先减小后增大的趋势。而且当超声发生器功率较小,超声能量也相应较小时,自来水的电导率几乎不发生变化;而当超声发生器的功率变大到一定的值(图 1 中功率相对值 P=0.4,超声发生器输出电功率约 400W)后,溶液的电导率的变化有明显的下降趋势;当功率继续增大(图 1 中相对功率值 P=0.8,超声波发生器输出电功率约 800W)后,溶液的电导率又开始增大。

3.2 不同功率超声波作用下糖水和葡萄味菓珍溶液的电导率的测量及结果分析

在超声清洗槽内加 400mm×250mm×150mm 自来水,分三次加入市售的一级白砂糖,每次约 150g,或分三次加入市售的葡萄味菓珍饮品,每次 50g。分别测量不同浓度的糖水或葡萄味菓珍溶液在超声作用下电导率的变化。超声发生器的工作频率调整为超声清洗槽的工作频率,使超声清洗槽正常工作。调节超声发生器上的功率调节钮,在室温(20)下用电导率仪测量在不同的输入功率下一定浓度的糖水或葡萄味菓珍溶液的电导率值。测得实验数据经拟合后得到的图像分别如图 2、图 3 所示。

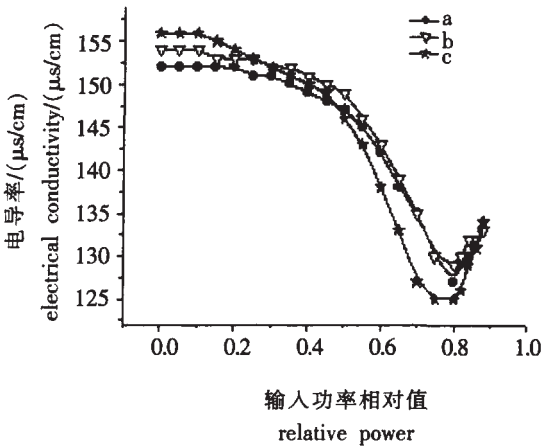


图 2 不同浓度糖水在不同功率超声波作用下电导率的变化
Fig2 The electrical conductivity of sacchariferous water at the action of ultrasound with different power

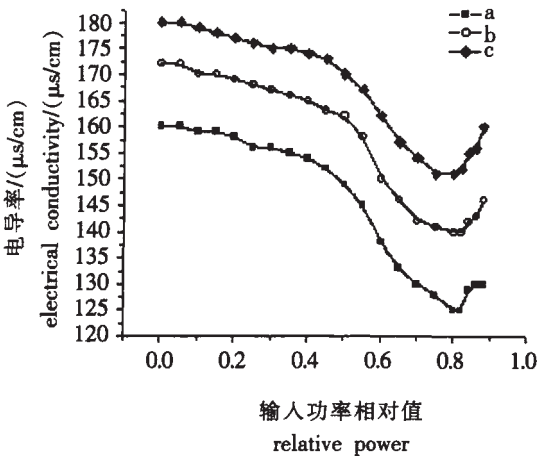


图 3 不同浓度菓珍在不同功率超声波作用下电导率的变化图
Fig3 the electrical conductivity of the fruit juice at the action of ultrasound with different power

图 2 中“a”、“b”、“c”为在自来水中分别加入 150g、300g、450g 白砂糖后溶液电导率的测量结果

拟合图。由图示变化关系可以看出, 超声波作用前溶液的浓度不同, 电导率的大小有细微的差别, 但是不管溶液的浓度大小如何, 在超声波作用下, 电导率都有相同的变化趋势, 即电导率先减小到一定的值后又开始增大。图 3 中“a”、“b”、“c”为向自来水中分别加入 50g、100g、150g 葡萄味菓珍饮品后溶液的电导率的测量结果的拟合图。由图示变化关系可以看出, 在超声波作用前, 在自来水中加入葡萄味菓珍饮品后溶液电导率变大, 而且加入的菓珍量越多, 即溶液浓度越大, 电导率越大。有超声作用后, 不同浓度的溶液的电导率也呈现出相似的变化趋势, 即先减小后增大。

观察图 1~图 3 发现, 超声波作用于自来水、糖水及菓珍溶液都有相同的变化趋势。当相对功率值 $P<0.4$ 时, 溶液的电导率几乎不变, 相对功率值 $0.4<P<0.8$ 时, 溶液的电导率减小, 相对功率值 $P>0.8$ 后, 溶液的电导率又开始增大。

3.3 功率一定的超声波作用于有杂质水时的电导率

在室温(19.2)下将超声波发生器的功率分别调至相对值 $P=0.6$ 和 $P=0.7$, 通过电导率仪观察溶液电导率与超声作用时间的关系, 以初始记录时间零点, 以分钟为计时单位, 得到图 4 所示的变化图。实验过程中水里含有少量的铁屑等杂质。曲线 (a) 是功率相对值 $P=0.6$ 时电导率的变化图; 曲线 (b) 是功率相对值 $P=0.7$ 时电导率的变化图。由图示可以看出, 在一定功率的超声波作用下, 在实验观察引起的误差范围内电导率几乎不随时间变化, 说明超声作用时间不是溶液电导率的变化的主要因素。

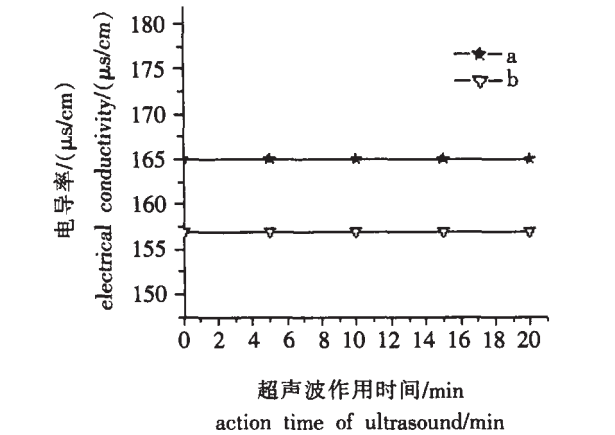


图 4 功率一定的超声波作用下有杂质水电导率变化图
Fig4 The electrical conductivity of water at the action of ultrasound with determined power

4 超声对溶液电导率影响的分析

实验表明, 一定频率和强度的超声波能够引起溶液的电导率的改变。电导率是表征液体导电能力的参数, 其值取决于溶液中所含离子的数目、种类、电价数和移动速率。从图 4 可以看出, 对弱电解质而言, 超声波的作用时间对电导率的影响不大; 由于试验在常温下进行, 实验过程中溶液温度变化不大 (实验前后温差不超过 1 度), 温度对溶液电导率的影响可忽略, 故影响溶液电导率的主要是超声波的强度及其空化机制。

超声波作用于溶液, 当功率很小不足以使液体空化时, 液体本身的特性没有发生明显的变化, 故液体的电导率也不会有明显变化, 而当超声波达到一定强度后, 液体内部发生空化效应时其内部会出现一定量的气泡, 由于气体是不导电的, 因此, 气泡的存在使得单位体积内溶液的导电离子数目减小, 溶液的电导率下降。液体中空化的强度与所加超声功率有直接的联系, 故当功率较小时, 溶液内部没有空化现象发生, 而当超声强度增加, 溶液内部开始有空化现象出现, 但是液体内部由于空化引起的气泡还不够多, 因而液体的电导率也只是发生微小的变化, 而当功率增加到一定大小, 空化程度增强, 气泡数目增多, 对液体的导电性能的影响也增强, 液体的电导率下降的程度也增大。然而, 空化达到一定强度 (达到相对功率 $P=0.8$, 约电功率 800W) 后, 液体的电导率有所回升, 表明此时溶液的导电性能不仅仅受空化泡影响, 液体中还发生了其它的增强液体导电性能的事件。也就是说, 液体中可能出现了新的导电粒子, 由于回升的幅度比较小, 可以确定所产生的新的导电粒子数量较小, 因而给该导电离子的测定也带来了一定的困难。

超声空化的产生机理非常复杂, 它是指液体中微小泡核在超声波作用下被激活, 表现为泡核的振荡、生长、收缩及崩溃等一系列动力学过程, 该过程可以看作是聚集声场能量并迅速释放的过程。当空化集中了足够多的能量而达到崩溃时, 在溶液内部产生一个强压力, 压强可达到 $5 \times 10^7 \text{Pa}$, 同时伴有短暂的高温升, 形成局部热点, 其温度可以达到 5000K。空化泡崩溃后在液体内部还会产生强烈的冲击波或速度达到 400km/h 的微射流。超声空化所引

起的局部瞬态高温高压、冲击波和微射流对物质产生一定的效应,从而使物质的状态、组成成分、功能和结构等发生变化。

当溶液中空化效应较弱时,弱电解质溶液电导率的变化主要受溶液结构变化的影响,由于空化产生的空穴和气泡导致单位体积内导电离子减少,电导率降低。随着空化效应的增强,超声空化引起的局部瞬态高温高压、冲击波和微射流导致溶液内导电离子运动速度加快,从而提高了溶液的导电能力,电导率上升。另外,超声空化效应在溶液内部产生的高温高压可能诱导某些极性粒子或极性状态的形成,相当于增加了溶液中导电离子数;微射流或冲击波对溶液结构的破坏作用也有可能致新的带电粒子或使原有带电粒子电荷数的增加,电导率有所回升。

5 结 论

在超声波作用下,溶液的物理化学性质会发生一定的变化。本文从电导率的角度通过实验对超声波与弱电解溶液的相互作用进行了研究,发现超声空化可以改变弱电解质溶液的电导率,电导率的变化与空化强度有直接联系,空化强度较小,空化能量对溶液本身结构影响也较小,电导率变化受由于空化而导致的气泡和空穴影响,电导率降低;当空化效应足以在溶液内引起的局部瞬态高温高压、冲击波和微射流后,电导率的变化除了受气泡和空穴的影响外,还受局部瞬态高温高压、冲击波和微射流导致的新带电粒子的影响,电导率有所回升。对于电导率的变化从实验的角度在前人理论工作的基础上对电导率的变化规律作了定性的分析,在以后工作中有待进一步从溶液内部粒子相互作用等微观机理上对电导率的变化做出更合理的解释。

参 考 文 献

[1] 胡松青, 李琳, 郭祀远, 等. 功率超声对溶液性质的影响

[J]. 应用声学, 2003, 22(1): 26-30.

HU S Q, LI Lin, GUO Q Y, et al. Effect of power ultrasound on some properties of several solutions [J]. Applied Acoustics, 2003, 22(1): 26-30.

[2] 郭孝武. 用电导率法研究低频超声提取小檗碱成分的产额 [J]. 天然产物研究与开发, 2001, 13(5): 57-59.

GUO Xiaowu. Study on the Berberine component yield of low frequency ultrasonic extraction by using specific conduction[J]. Natural Product Research and Development, 2001, 13(5): 57-59.

[3] Ryohei Ogawa, Takashi Kondo, Hidemi Honda, et al. Effects of dissolved gas and an echo contrast agent on ultrasound mediated in vitro gene transfection[J]. Ultrasonic Sonochemistry, 2002, 9: 197-203.

[4] S Sochard, A M Wilhelm, H Delmas. modeling of free radicals production in a collapsing gas-vapour bubble[J]. Ultrasonic Sonochemistry, 1997, 4: 77-84.

[5] Miguel M Castellanos, Dolores Reyman, Carlos Siero, et al. ESR-spin trapping study on the sonochemistry of liquids in the presence of oxygen. Evidence for the superoxide radical anion formation [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2001, 8: 17-22.

[6] wheat P E, Turmeo M A. Ultrasound induced aqueous polycyclic aromatic hydrocarbon reactivity[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 1997, 4: 55-59.

[7] divall S A, Humphrey V F. Finite difference modeling of the temperature rise in non-linear medical ultrasound field[J]. Ultrasonics, 2000, 38: 273-277.

[8] 冯若, 赵逸云, 陈兆华, 等. 声化学的主动动力——声空化及其检测技术[J]. 声学技术, 1994, 13(2): 56-62.

FENG Ruo, ZHAO Y Y, CHEN Z H, et al. Sound cavitation-motivation of sonochemical reaction and its detection technique[J]. Technical Acoustics, 1994, 13(2): 56-62.