

## 物理实验



## 稳定薄膜的制备

胡致远 胥洞菡 吕景林

(复旦大学物理学系, 上海 200433)

**摘要** 为了得到稳定的薄膜, 从而在课堂上方便地演示薄膜干涉, 本文在分析气泡形成和破灭机理的基础上, 分别选用不同的生活原料和工业原料充当活性剂和稳泡剂, 经过比较和筛选, 最终得到比较理想的气泡溶液配方, 按此配方, 可以方便地制备稳定的薄膜, 从而达到演示薄膜干涉的目的。

**关键词** 气泡; 薄膜; 活性剂; 稳泡剂

## PREPARATION OF STABLE THIN FILM

Hu Zhiyuan Xu Donghan Lv Jinglin

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433)

**Abstract** In order to demonstrate the effect of film interference in class, we need stable thin films. Based on the mechanisms of formation and burst of bubbles, we select different articles of daily use and chemical raw materials as active agents and foam stabilizers. An ideal formulated solution is obtained through numerous comparisons and screenings. According to this formula, we can expediently prepare stable thin films so that film interference can be demonstrated.

**Key words** bubbles; thin films; active agents; foam stabilizers

薄膜干涉是光学教学中的一个重要内容, 有很多应用, 但纯粹的理论推导过于抽象, 历来是物理课堂教学的难点. 本文在分析薄膜形成与破裂机理的基础上, 通过大量的实验, 力图寻找一种可以用于课堂演示、现象明显、稳定、易于制备的薄膜。

由于实验过程中以气泡为对象更易于观察效果, 本文将从单个气泡出发, 配方来源分为生活用品与化工原料两个部分, 对其分别进行探索, 寻求最佳气泡配方, 以此制取薄膜, 获得良好的效果。

### 1 气泡破灭机理及提高其稳定性的途径

无论薄膜还是气泡的产生都与液体的表面张力有密切关系. 表面张力是液体受到拉力作用时, 存在于其内部而垂直于两相邻部分接触面上的相互牵引力. 仅靠纯液体要形成稳定的薄膜是很困难的, 因为在纯液体中, 液体分子间的吸引力比液体分子与空气间的吸引力强, 当这种吸引力差距

过大时, 液体分子之间过度黏合在一起, 气泡不易形成, 通常需加入一些表面活性物质, 以降低水的表面张力. 若在此基础上搭配稳泡剂, 则可以显著提高气泡体系的稳定性<sup>[1]</sup>.

#### 1.1 气泡破灭机理

从根本上说, 气泡是一种热力学不稳定体系, 只能通过某些措施来延长其寿命. 这样就必须了解气泡的破裂机制和影响其稳定性的因素.

正常情况下, 气泡破裂的直接原因主要有两种, 其一是液体因为重力作用而向下流动, 薄膜变得上薄下厚, 到了一定程度时, 顶层的膜结构撕

收稿日期: 2012-12-15; 修回日期: 2012-12-25

作者简介: 胡致远, 男, 复旦大学物理系 12 级本科生. 12307110128@fudan.edu.cn; 胥洞菡, 男, 复旦大学物理系 12 级本科生. 12307110255@fudan.edu.cn

通讯作者: 吕景林, 女, 副教授, 主要从事物理教学和研究. lvjinglin@fudan.edu.cn

开,最终造成整个气泡的破裂(常见于薄膜较厚时).其二为薄膜受外力干扰而破裂.膜的变薄过程和破裂过程,分别对应膜之间液体的流动速度与膜的机械强度,因此尽管气泡稳定性与诸多因素有关,但可着重从减缓液体间相对流动,提高薄膜机械强度这两个方面入手.

## 1.2 提高气泡稳定性的途径

根据气泡的破裂机制,有两种方法可以延长其寿命:提高膜的机械强度与延缓膜之间水的流速.

首先,随着气泡的生成,液体表面积增大,表面能增高,根据 Gibbs 原理,表面能越高,体系越不稳定.当表面积一定时,表面张力越低,表面能越小,溶液流动速度变慢,稳定性增强<sup>[2]</sup>.

改变液体的表面张力,可通过在液体中加入起泡剂(又称表面活性剂)来实现.起泡剂是同时具有亲水端与疏水端的小分子,能够显著改变溶液界面的性质,其种类很多,以阴离子型比较常见,优点是价格低廉且效果显著,缺点是抗电解质能力差,容易受水中的钙镁离子的影响,代表性物质有十二烷基硫酸钠或十二烷基苯磺酸钠等<sup>[3]</sup>.生活中常见的可以帮助起泡的物品有洗发水、洗衣粉、洗洁精等,

其次,液体的粘度以及液体的表面粘度(气、液界面层粘度)也对薄膜的稳定性有很大的影响.溶液粘度越大,薄膜粘度则大,薄膜之间的溶液流速越小,液膜变薄的速度变缓,泡沫的寿命也会更长<sup>[4]</sup>.

用来改善液体内部粘度和机械强度的物质称为稳泡剂,大致分为两类.一类稳泡剂可以增强膜的机械强度,如蛋白质、淀粉、纤维素等一些生物大分子,可以直接起到这样的效果,因为无论水还是表面活性剂都是小分子,缺少大分子的坚固性,可以使用一些也具有亲水端与疏水端的大分子来加强膜结构的强度.但这些生物大分子需要考虑溶解度的问题.另一类稳泡剂要求增强溶液粘度,生活中常见的有蜂蜜、胶水、甘油等,化工上使用的有 CMC、XC、HPAM、可溶性淀粉和合成龙胶,这些物质通过协同作用增强表面吸附分子间的相互作用,使表面吸附强度增大以提高泡沫的稳定性<sup>[5]</sup>.

当然压力、温度等因素也会对泡沫的稳定性产生影响,前者直接影响膜的机械强度,后者则是影响水的流速与膜表面液体的蒸发快慢.但由于本课题旨在研究出一种可以用于课堂演示的易于制备的薄膜,故对于这方面的因素未做探索.

## 2 实验方案及结果

### 2.1 实验方案

按起泡剂和稳泡剂分类,分别以生活用品为原料和以化工用品为原料做了实验.前者使用一些生活中常见的物品进行实验,过程简便安全,但效果较差,成本也较高.后者通过直接采购化工原料加以配制,容易得到很好的气泡,且成本低廉.在化工原料的选择中,我们选取了材料表面活性较强以及粘度较高的几种,同时也排除了一些毒性较强的化工原料.具体采用原料如表 1:

表 1 实验材料列表

	起泡剂	稳泡剂
生活用品	洗发水,洗衣粉,洗洁精	蛋白粉,甘油,胶水,蜂蜜
化工原料	十二烷基硫酸钠,十二烷基苯磺酸	羧甲基纤维素钠,硅树脂聚醚乳液,淀粉

### 2.2 采用生活用品配置溶液的实验结果

经过反复比较,发现 3 种起泡剂中,洗发水的效果最好,而且可以与各种稳泡剂形成较好的搭配,不大容易受到稳泡剂的影响.所以最终选择了洗发水作为标准的起泡剂.参考洗发水的成分表,可知其中的有效成分为月桂醇硫酸酯钠,月桂醇聚醚硫酸酯钠(AES)和椰油酰胺丙基甜菜碱.

蛋白质作为生物大分子,可以起到加强膜的机械强度的作用,而甘油、胶水、蜂蜜 3 种稳泡剂的作用是增强溶液粘度.在此基础上,对 4 种稳泡剂进行不同比例的调配.蛋白粉作为固体,溶解度有限,量不宜多,且饱和后气泡的稳定性反而有所折扣,吹的过程中很容易脱落,触地破裂.3 种增强粘度的稳泡剂中,蜂蜜的效果最佳,胶水其次,甘油最差,实验结果与二类稳泡剂的粘度有直接关系.

得到的最佳实验配方为:200mL 清水 + 100mL 洗发水 + 1 勺蛋白粉(约 1.2g) + 10mL 蜂蜜(+10mL 甘油),甘油的重要性不大.得到的泡沫直径最大可达 60cm,存在时间为 2min.对这个配方,我们吹出的单个气泡参见图 1.

### 2.3 采用化工原料配置溶液的实验结果

实验中开始应用了 3 种化工原料:十二烷基苯磺酸、十二烷基硫酸钠、羧甲基纤维素钠,混合

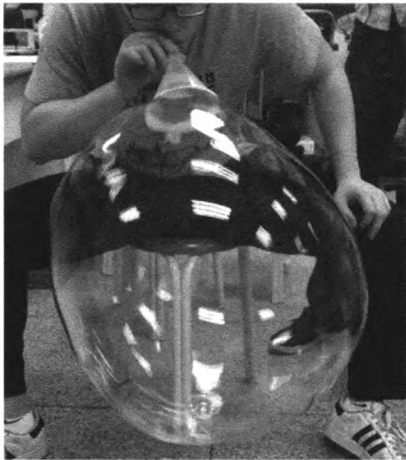


图1 用生活用品配置溶液吹出的单个气泡

搅拌后有刺激性气味产生,故建议化工原料只要满足效果即可,不宜多.羧甲基纤维素钠具有一定的抗高温能力,始终保持有较高粘度,在溶液中加入羧甲基纤维素钠后,可以提高薄膜强度,减缓排液时间.但实验发现羧甲基纤维素钠的溶解度太小,这与添加化工原料后水变为有机溶液有关,最终采用了淀粉和硅树脂聚醚乳液.

经过各种原料以各种比例混合的尝试,最终最佳效果的比例为:100mL清水+2.5g十二烷基硫酸钠+3.5g淀粉+5mL十二烷基苯磺酸+6mL硅树脂聚醚乳液.用小电风扇吹出的薄膜泡长达2m以上,且很有弹性,可持续1min.(由于采用化工原料配方的气泡是由小电风扇吹出,实验过程的稳定程度没有用嘴吹出的稳定程度高,因此实际所测持续时间没有生活原料配方实验中气泡持续时间长.)实验效果如图2所示.

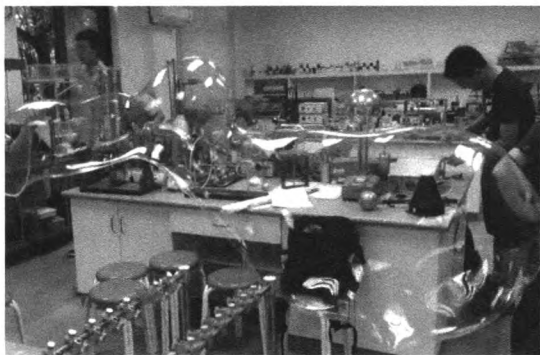


图2 用工业原料配置溶液吹出的单个气泡

#### 2.4 薄膜的制备

两个实验相比较,化工原料实验的效果明显更好,因此最终采取化工配方获取薄膜.实验中,为了一次能提取足够量的液体,采用吸水的棉布

条拉出薄膜,实验中人站在凳子上以手动方式提起棉布条,薄膜可拉至2.5m以上(如果站到更高的板凳上仍可以继续将其拉长),将薄膜前后晃动也不破裂,说明最终得到的薄膜延展性、韧性俱佳,且能持续一段时间,稳定性也很好,完全满足课堂演示的要求.这样的薄膜可在课堂上演示薄膜干涉.用工业原料配置溶液拉出的可用于课堂演示的薄膜见图3.



图3 可用于课堂演示的薄膜

### 3 结语

本实验在掌握了气泡相关概念的基础上,探究了气泡产生的原因及影响其稳定性的因素.针对这些因素,从生活用品和化工原料两个角度探究气泡配方的最佳设计,取得了令人满意的效果,并最终实现了薄膜干涉的课堂演示.

#### 参 考 文 献

- [1] 刁素. 高温高盐泡沫体系及其性能研究[D]. 西南石油大学硕士学位论文, 2006. 04.
- [2] 赖崇伟. 新型抗油、抗盐起泡剂体系的研究[D]. 四川大学硕士学位论文, 2007. 04.
- [3] 王晓东. 有机无机微泡体系的研究及在钻井上的应用[D]. 山东师范大学硕士学位论文, 2012. 04.
- [4] 曲彦平, 杜鹤桂, 葛利俊. 表面粘度对泡沫稳定性的影响[J]. 沈阳工业大学学报, 2002, 24(4): 282-286.
- [5] 王克亮, 杜姗. 稳泡剂对泡沫性能影响室内实验研究[J]. 内蒙古石油化工, 2008(22): 4.