

# 模拟海市蜃楼实验的配液新方案

陈培杰, 欧阳为民

(襄樊学院 物理系, 湖北 襄樊 441053)

**摘要:**分析了配制传统模拟海市蜃楼溶液的方法的不足,提出了新的配制溶液的方案,推导出了所配制的溶液浓度梯度随高度的分布公式,从而使实验过程中配液的时间大大缩短,实验现象更加明显,提高了实验的成功率。

**关键词:**海市蜃楼;配液;人工混合法

**中图分类号:** O 435.1; O 4-33

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0712(2007)04-0051-03

海市蜃楼(简称蜃景)是在晴朗、无风或微风条件下,光在折射率不均匀的空气中发生连续折射和全反射而产生的一种光学现象。在自然界,当空气的密度随高度的变化而变化时,空气对光的折射率也随高度变化。当光在空气中传播时,由于受到连续折射而发生弯曲,人们逆着光线观察就会看到物体的像偏离实物的距离,而产生蜃景。由于实验室里空气的流动性较大,一般采用在液体中模拟蜃景现象<sup>[1]</sup>。要做好模拟海市蜃楼演示实验,配制密度或折射率梯度分布合适的溶液是关键。目前采用得最多的配液方法是自然扩散法,即将两种液体分层放置,让其由于分子的热运动而自由扩散,如文献[2]所述的实验装置、文献[3]所述的实验方案。该种方法的最大不足是配液时间长,所配溶液需要经过几个小时才能投入使用。文献[4]提出了人工混合配制溶液的新方法,配液时间虽短,但由于液体密度分布受流量影响,无规律可循,使操作过程变得不易控制。本文在此基础上提出了一种新的配液方案,并对实验装置做了一些改进,使实验的操作更加简便,从而提高了实验的成功率。

## 1 实验原理及配液方案

### 1.1 实验装置

如图1所示,高位槽、混合槽及模拟槽可由有机玻璃制成,底面积相等。模拟槽也是观景槽。在制作过程中,槽必须保证通透性良好,不被划伤。阀门下装有莲蓬头。缓冲槽可用泡沫塑料制作,在底部均匀打上小孔,置于模拟槽内。缓冲槽的高度随着模拟槽内液面的升高而不断升高。高位槽用来盛装透明液体,如清水。在混合槽内装有折射率不同的另外一种

液体,如食盐水、糖水等。阀门1和阀门2用来控制槽中液体的流量。高位槽中的液体通过阀门1流入混合槽,搅拌器可使液体混合均匀。浓度均匀的液体经莲蓬头撒在缓冲槽内,通过缓冲槽底部的小孔缓慢地渗到模拟槽内。在实验进行过程中,流入到模拟槽的液体不会影响模拟槽内原有液体的有序分布。这样在模拟槽内就形成了密度(折射率)随高度有序分布的不均匀液体<sup>[5]</sup>。

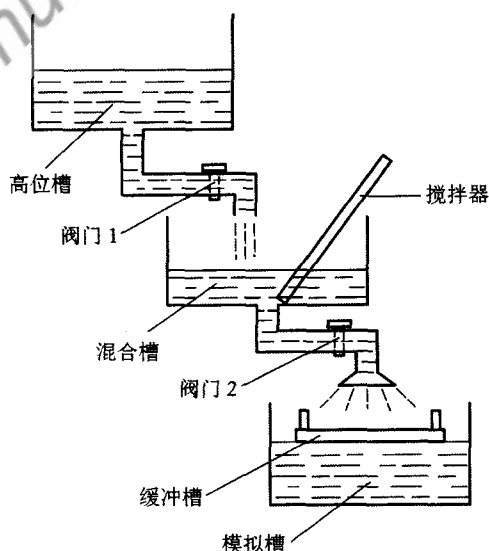


图1 蜃景演示装置示意图

### 1.2 蜃景溶液的配制方案

如果模拟槽内液体的折射率从上到下逐渐增加,将出现上现蜃景;如果折射率从上到下逐渐减小,将出现下现蜃景。出现两种蜃景所采用的溶液配制方法基本相同,选择折射率不同的液体即可达到

上述情景.

为了提高最终所配液体的稳定性,要求处于上部的液体的密度要小于下部液体的密度.模拟上现蜃景时一般选择食盐水、食糖水等;而模拟下现蜃景时,可以选择密度小于清水的酒精来配制溶液.下面主要以模拟上现蜃景为例来说明配液方案.

### 1) 上现蜃景溶液的配制

在高位槽中装有足够的清水,混合槽里先装上浓度为  $M$ , 体积为  $V$  的食盐水,缓冲槽置于模拟槽底部.打开阀门 1 和阀门 2, 并使其流量  $Q$  相等, 则混合槽内的溶液体积将保持为  $V$  不变, 浓度却可随时间改变.

设  $t$  时刻混合槽内盐水浓度为  $x$ ,  $dt$  时间内槽内食盐的增量为  $Vdx$ , 注意到从混合槽排出的盐水浓度也为  $x$ ,  $dt$  时间内从混合槽排出的食盐量为  $Qdt \cdot x$ . 在混合槽内食盐的增量就等于该槽食盐的排出量, 由于槽内食盐是减少的, 食盐的增量为负值, 因此有

$$Vdx = -Qdt \cdot x \quad (1)$$

由式(1)得

$$x = Me^{-\frac{Q}{V}t} \quad (2)$$

由式(2)可以看出, 混合槽内盐水的浓度随时间按指数规律衰减, 衰减的快慢受流量和槽内盐水的体积制约.

设下落的盐水经缓冲槽到达模拟槽盐水的表面所需时间为  $\Delta t$ , 则根据式(2),  $t$  时刻模拟槽表面处盐水浓度与混合槽内  $t - \Delta t$  时刻的盐水浓度相同, 为

$$x = Me^{-\frac{Q}{V}(t-\Delta t)} \quad (3)$$

令  $t$  时刻模拟槽盐水的高度为  $h$ , 模拟槽的底面积为  $S$ , 则

$$h = \frac{Q(t-\Delta t)}{S} \quad (4)$$

由式(3)、(4)可得

$$x = Me^{-\frac{S}{V}h} \quad (5)$$

由于混合槽、模拟槽的底面积一致, 则式(5)可以改写为

$$x = Me^{-\frac{h}{h'}} \quad (6)$$

式(6)中的  $h'$  是混合槽中盐水的高度. 可以看出模拟槽内盐水的浓度随高度按指数规律衰减, 衰减的快慢仅受混合槽中盐水高度的制约. 由式(6)容易得到  $x$  的梯度为

$$\frac{\partial x}{\partial h} = -\frac{M}{h'}e^{-\frac{h}{h'}} \quad (7)$$

由式(7)可以看出, 模拟槽内盐水的浓度梯度为负值, 则得到折射率梯度也为负值的盐水溶液, 这时从模拟槽溶液上部射入的光线穿过溶液时, 所形成的弧线必然是向下弯曲; 又因为下部盐水的折射率梯度的绝对值大一些, 所以弧线的曲率也大一些. 通过模拟槽看到的像的位置与实物的位置相比, 升高了许多, 该图像就是上现蜃景.

### 2) 下现蜃景溶液的配制

利用相同的实验装置, 在高位槽里装有足够的酒精, 浓度设为  $N$ , 在混合槽里已经装有清水, 高度为  $h'$ , 打开两个阀门, 设置流量均为  $Q$ , 由于 3 个槽的底面积一致, 则模拟槽内酒精的浓度为

$$y = N(1 - e^{-\frac{h}{h'}}) \quad (8)$$

式(8)中  $h$  为模拟槽内酒精溶液的高度. 同样可以看出  $y$  随液面高度按指数规律递增而趋于一个定值  $N$ , 递增的快慢仅受混合槽中液体高度的制约. 由

$$\frac{\partial y}{\partial h} = \frac{N}{h'}e^{-\frac{h}{h'}} \quad (9)$$

可知, 酒精的浓度梯度为正值, 这样我们就得到了折射率梯度也为正值的酒精溶液, 这时从模拟槽下部射入的光线穿过溶液时的所形成的弧线必然是向上弯曲; 又因为下部酒精的折射率梯度的绝对值大一些, 这里的弧线的曲率也大一些, 通过模拟槽也可以看到景物的图像, 其位置与景物的位置相比降低了很多, 该图像就是下现蜃景.

## 2 实验操作和实验现象

下面主要以模拟上现蜃景为例来说明新的配液方案. 主要操作过程如下:

- 1) 在高位槽注入淡水, 高度约  $h = 12$  cm;
- 2) 在混合槽内注入盐水, 高度约  $h' = 2$  cm, 浓度  $M = 10\% \sim 20\%$  左右;
- 3) 将缓冲槽置于模拟槽底部, 通过两个阀门控制流量, 使  $Q = 1\,000$  cm<sup>3</sup>/min 左右, 没有流量计时可用秒表和量筒调整;
- 4) 配液过程中注意要用搅拌器不停地在混合槽内搅拌, 保证流出的溶液浓度是均匀的;
- 5) 配液时间控制在 6~10 min 左右. 配液结束时, 模拟槽内底部盐水浓度为 10%~20% 左右, 顶部浓度为 0.5% 左右.

如图 2 所示, 一束激光从模拟槽的一边射入液体, 出现光线弯曲现象. 将一景物放在模拟槽后, 通

过模拟槽可以观察到如图3所示的蜃景.

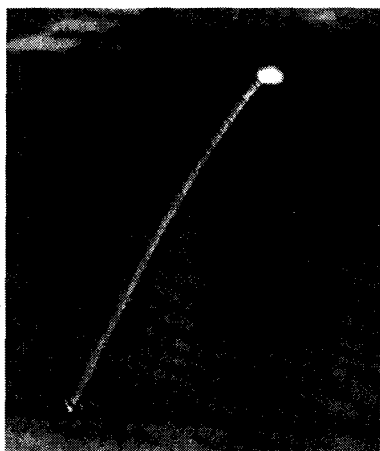


图2 光线在液体中向下弯曲



图3 上现蜃景

### 3 结束语

综上所述,该方法在原理上由于保持流量相等,去掉了变动的系数,因此得到了溶液浓度及其梯度的数学表达式.涉及到的装置完全满足原理上的要求,体现了溶液的有序混合与有序累积的有机结合.该方法可以根据演示的需要对液体的浓度及其梯度进行调整,操作方案切实可行,所分析的折射率梯度对于演示海市蜃楼现象来说具有指导意义.

### 参考文献:

[1] 陈金锐.液体中全反射现象的演示[J].教学仪器与实

验,1997(4):40.

[2] 孙敬妹,吕天全,王秉超.普通物理实习实验[M].北京:科学出版社,2005:125-127.

[3] 陈晓莉.“海市蜃楼”现象成因分析及模拟实验[J].教学仪器与实验,2005(2):20-21.

[4] 王秉超.普通物理演示实验新编[M].北京:高等教育出版社,1997:234-239.

[5] 王忠纯.用线性变折射率模型解释海市蜃楼[J].大学物理,2001,20(9):24-27.

## A new scheme of confecting solution in analogue mirage experiment

CHEN Pei-jie, OUYANG Wei-min

(Department of Physics, Xiangfan University, Xiangfan, Hubei 441053, China)

**Abstract:** Based on the shortcoming of the method of confecting solution in the traditional analogue mirage experiment, bring out a new experimern scheme, and deduce a formula between the concentration of solution and height. This scheme cause the time of confecting solution shorter greatly in experimental process, and make phenomenon more obvious, and make it easier.

**Key words:** mirage; confecting solution; manual mixed method