

# Experimental Study of Sea Water Density's Manually Jumping Technique

Guangyou Hu<sup>1</sup>, Liang'an Jin<sup>2</sup>, Zhiyou Zhang<sup>1</sup>, Shengyang He<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Graduate Management, Dalian Naval Academy, Dalian Liaoning

<sup>2</sup>Department of Navigation, Dalian Naval Academy, Dalian Liaoning

Email: hhhzgy@163.com

Received: Apr. 5<sup>th</sup>, 2016; accepted: Apr. 20<sup>th</sup>, 2016; published: Apr. 27<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

The pycnocline is an important hydrologic phenomenon of seawater, having great impact for underwater vehicle, which would undoubtedly have distinctive value if it can be used to against opposed underwater vehicle. So, this paper presents a manually jumped technique of seawater density. The core idea is that a large number of bubbles which is formatted by special mechanism in the scheduled sea waters are diffused by using special-purpose materials and equipments to form enough scale manually jumped area of seawater density. The paper designs the verification experiment in order to verify the technique, and the result shows the value of further study and the advantage in the future equipment development.

## Keywords

Seawater Pycnocline, Bubble, Manually Jumping

# 海水密度人工跃变技术实验研究

胡广友<sup>1</sup>, 金良安<sup>2</sup>, 张志友<sup>1</sup>, 何升阳<sup>1</sup>

<sup>1</sup>海军大连舰艇学院研究生管理大队, 辽宁 大连

<sup>2</sup>海军大连舰艇学院航海系, 辽宁 大连

Email: hhhzgy@163.com

收稿日期: 2016年4月5日; 录用日期: 2016年4月20日; 发布日期: 2016年4月27日

## 摘要

密度跃层是大洋海水的一种重要水文现象，它对船舶尤其是水下航行器影响巨大，如能设法将其用于对抗敌水下航行器无疑具有独特的价值，为此本文提出了一种海水密度的人工跃变技术。其核心思想是，利用专用的材料和设备，通过特定的机理在设定海域生成大量均匀分布的气泡，以形成足够规模的海水密度人工跃变区域。本文为了验证该海水密度人工跃变技术的可行性而设计了验证性实验，实验结果表明了该技术深入研究的价值和在未来装备发展中的显著优势。

## 关键词

海水密度跃层，气泡，人工跃变

## 1. 引言

海水密度跃层导致的水下航行器损毁事故经常发生，因此，海水密度跃层的形成机理及其应用一直是重要的研究热点。其中，海水密度跃层对于水下航行器的航行主要有以下两种影响：①水下航行器进入海水密度跃变区时，会发生严重的纵摇(倾)，并且不能稳定悬浮[1] [2]；②海水密度跃层对声波信号的传播有着严重影响，声波在穿透跃变层时会伴有不规则的折射与反射效应，导致其不能按正常途径传播，由于声波是水下航行器中声呐系统主要依赖的信号源，而声呐是水下航行器进行探测、导航、制导等活动的重要保障，因此声波信号一旦被跃变层干扰将直接导致水下航行器的探测、导航、制导等活动不能正常进行[3]。因此，海水密度跃层的相关研究有着重要的应用价值，如若能对其加以有效控制，就可以将对己不利的因素转移到敌水下航行器上而使其遭受不可估量的破坏。

然而，目前对于海水密度跃层的研究，主要集中在海水密度跃层的分布、自然形成机理等方面，对于海水密度跃层的工程运用，尤其是人工形成方法的研究几乎无人涉及。本文基于此现状，提出一种海水密度人工跃变的实现途径，并设计相应实验对其可行性进行验证。

## 2. 海水密度人工跃变技术思想

海水密度跃层对水下航行器的航行、通信等活动有着严重的影响，对敌我双方都会带来灾难性的打击，如能被我方控制，将能成为一个对抗敌水下航行器的强大战力。由于海水密度跃层的自然分布存在其固有规律，不能对其进行自由控制，在应用过程中就受到很大的牵制。因此，对海水密度跃层进行人工控制，或者人工制造出人工跃变区，将能够充分利用海水密度跃层的特有危害来对抗敌方水下航行器。

考虑到以上因素以及海水密度跃层的自然形成机理，本文创新性地提出通过施放大量气泡来形成海水密度人工跃变区的技术思想。本技术通过特有专用设备装载能生成特定气体的化学药品，将其布放在设定海域，当敌水下航行器触发引信后，就会打开隔离药品与海水的机关，导致药品与水接触而反应生成大量特定气体，经过气泡发生器的作用形成相应尺寸的气泡，在设定海域扩散而降低该海域的总体密度，从而形成足量的海水密度人工跃变区，敌水下航行器被气泡包围后就会由于浮力减小以及通信被阻碍而发生极其严重的事故。

对该海水密度人工跃变技术需进行如下说明：

1) 在选用特定气体及其生成配方时，要考虑密度、溶解性、生成难度、反应效率等。密度越小则产生的密度差越大，所生成的密度跃层强度也就更大；越难溶于水也就能让水中有更多气泡，更有利于人工跃变区的生成；与水反应越容易进行以及反应效率越高，则可以再越短的时间内形成所需的人工跃变

区, 并且生成效率以及生成速度等可以控制人工跃变区的范围以及存在时长。

2) 由于影响跃变区存在时长较大的因素是气泡上升速度, 而气泡上升速度主要取决于其尺寸, 因而需要对所生成气泡的尺寸进行控制。控制气泡尺寸的装置可以根据不同的气泡发生器[4]的原理进行设计, 常用的气泡制造方法有电解法制造气泡、散气法制造气泡、加压溶气法制造气泡等, 本技术面临的是复杂的大洋环境, 所需气泡发生器结构要简单, 最好不需额外提供动力, 通过对多种气泡发生器的优缺点分析, 决定选择散气法中的微孔板气泡制造装置制造气泡。

### 3. 实验验证的装置与方法设计

#### 3.1. 实验目的与整体思路

为验证海水密度人工跃变技术思想的可行性和有效性, 检验所产生的气泡群能否有效地影响指定区域内水下航行器的航行状态, 特对其进行相应的实验研究, 目的在于考察验证, 气泡群的特征变化对水下航行器航行状态的影响程度的关系。特就以下方面展开深入的实验研究。

通过对布放气泡装置的设计及控制, 改变气泡群的特征, 对比不同特征下的实验效果, 以及对比水下航行器处于不同运动状态下的实验效果, 并且其影响效果用“掉深”深度以及所用时间来表征。

为此, 需要专门设计并研制相应的实验装置, 观察实验现象, 记录实验数据, 分析不同的气泡特征对潜艇处于不同航行状态的影响程度。

#### 3.2. 实验装置设计

为进行本实验, 需要设计建造专门的实验平台。采用的主要设备、仪器及其作用分别介绍如下: 气泡发生装置(空气压缩机、微孔陶瓷管、流量计和压力表等)用于产生大量不同特征的微气泡、水下航行器模型(可遥控操纵)、亚克力水缸、支撑架、测量用具等。

1) 气泡发生装置。装置主要包括空气压缩机、微孔陶瓷管、空气导管、多通接头、流量计和压力表等设备。所用的空气压缩机为 RAC24L 型空压机, 工作压力 0.8 MPa, 储气罐容积 24 L, 流量  $0.01 \text{ m}^3/\text{min}$ , 为限制其流量和进行流量调节, 在其排气阀前加装球阀。使用时, 调整球阀置合适位置, 再开启排气阀, 通过缓慢控制球阀, 实现气体流量微调。通过更换微孔陶瓷管的方式来实现对气泡尺寸的控制。

2) 水下航行器模型。所用水下航行器模型由遥控操纵, 尺寸  $12.5 \times 3.5 \times 4.5 \text{ (cm)}$ , 重量为 63 g, 可以模拟水下航行器的潜浮等状态。

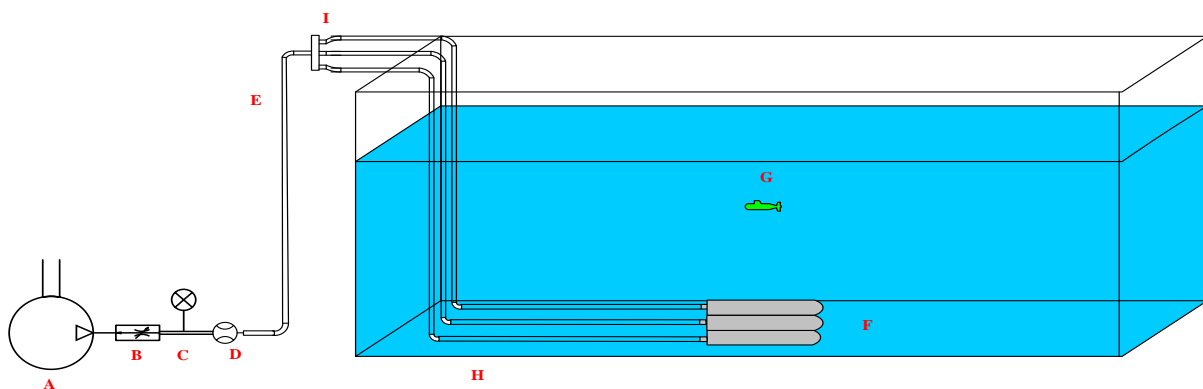
3) 亚克力水缸。用于提供实验所需的海水环境, 让气泡发生装置、潜艇模型等在水缸空间中进行试验, 其透明的缸壁利于对实验过程进行观察, 也利于对实验过程进行录像记录, 尺寸  $100 \times 80 \times 60 \text{ cm}$ 。

4) 测量记录用具。为了测量潜艇模型的“掉深”深度及其“掉深”时间, 以及记录实验过程, 需要用到直尺、秒表以及录像机等测量设备。

#### 3.3. 实验方法设计

实验中, 为验证海水密度人工跃变技术思想的可行性, 就要通过实验研究不同特征气泡群对水下航行器模型运动状态的影响效果, 为此, 通过两组实验对比: 进行气泡量改变以及气泡尺寸改变对水下航行器模型运动影响的实验。其中, 为了避免气泡群边际以及水缸边际的上升流影响, 特选用三个微孔陶瓷管作为产气装置, 并将实验置于水缸中间, 确保产生的气泡能够全部覆盖模型, 并不受气泡群外海水上升流的影响。据此, 设计如图 1 所示的实验装置。

实验时, 首先按图 1 搭建好实验平台, 确保不存在漏气问题, 并且固定好微孔陶瓷管, 使之处于固定位置; 其次, 将模型放置微孔陶瓷管上方固定位置, 让其稳定悬浮, 并将直尺固定于水缸外侧, 以便



说明：A——空气压缩机；B——气量控制阀(可微调)；C——压力表；D——流量计；E——空气导管；F——微孔陶瓷管；G——水下航行器模型；H——亚克力水缸；I——三通接头。

Figure 1. Experimental device schematic of the manually jumped technique of seawater density

图 1. 海水密度人工跃变技术验证装置示意图

从外面能观察到模型所处位置；最后，打开气泵并进行微调，进行气泡特征改变对模型的影响实验，并拍视频记录实验过程，以便从视频中读取实验数据。

根据实验原理，为验证海水密度人工跃变技术的可行性，关键在于测试出不同特征的气泡群对水下航行器模型运动状态的影响效果。为表征对该模型运动状态的影响效果，特选用“掉深”深度作为测试值。其中，“掉深”深度为该模型从航行位置掉到最深深度之间的垂直距离。“掉深”深度越深则说明影响效果越明显，就越能体现本技术思想的可行性。

#### 4. 实验结果与讨论

利用装置分别进行实验，在静止流场下通过对“掉深”深度(cm)的测量检测对潜艇航行的影响效果。为了尽可能提高实验数据的准确性，消除不必要的误差，采取多次测量，每组实验的测试重复次数为 15 次。为排除可能由于人为因素造成的误差，对实验数据进行筛选，淘汰起伏较大数据，下文在表中列出每组实验的 10 组数据。并对所列数据求平均值。表 1~3 为模拟潜艇航行环境，采用海水进行实验。

实验时，一些初始条件如深度、测试区域以及气泡发生器位置等人为因素可能对实验结果产生误差都保持不变。并且每组实验，也都保持位置不变。

由实验结果可以看出，气泡上升到水下航行器模型周围时都会发生相应程度的姿态变化。选取实验中部分代表性数据绘制图 2 和图 3，可以得出：气泡直径相同时，气泡群密度越大，“掉深”深度越深，也就是效果越好；气泡群密度相同时，气泡直径越小效果越好。因此，小尺寸气泡所产生的效果明显要优于大尺寸，气泡群密度大比密度小的效果要好。从对实验结果的分析可以验证前面所得的结论。但是，在实验过程中，由于很多因素的控制达不到预期的效果，对实验结果造成了一定影响，下面对这些因素做简要分析：首先是海水环境的模拟无法达到完全一致，实验室水池深度不够，对“掉深”深度有限制，但不影响到对其规律的探索；其次，航行器模型对实际航行的模拟有差别，由于不具备采用实际航行器进行实验的条件，实验结果对实际状况的证实不够充分；另外，供气设备的气流不够稳定，气压会有微小范围的变化，对实验结果会有轻微的影响。实验过程中由于实验条件达不到要求以及一些不可控因素的存在，会存在以上所述以及其他一些会影响到实验结果的因素，但这些因素对实验结果的影响是很小的。本实验主要在于验证本技术思想以及探索其中的影响规律，因此，这些不利因素的存在不会对本实验产生实质性影响。

由本实验结果分析可以得出：利用人工产生气泡群的途径可以减小相应海域的密度，形成海水密度

**Table 1.** Experimental results of 1 mm order bubble diameter  
**表 1.** 气泡直径 D 为 1 mm 量级时实验结果

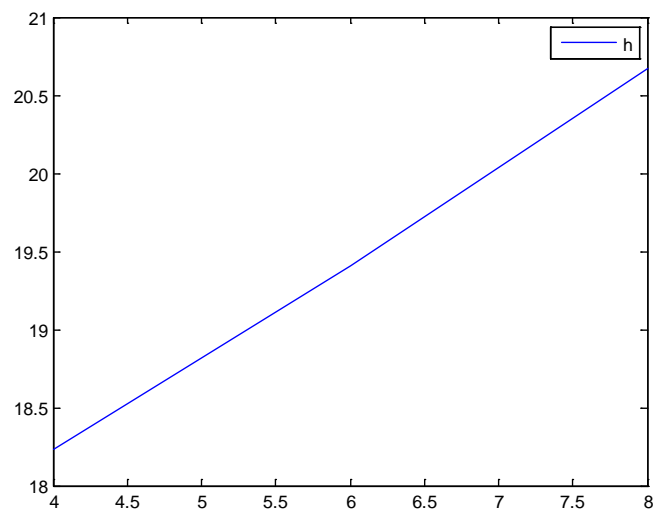
流量 \ 组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
8 L/min	20.5	20.4	20.8	21.0	20.6	20.7	20.9	21.2	20.7	19.9	20.67
6 L/min	19.8	19.7	19.1	19.2	18.9	20.1	19.5	19.4	18.8	19.6	19.41
4 L/min	18.4	17.5	17.9	18.8	17.6	18.4	18.9	17.8	18.6	18.4	18.23

**Table 2.** Experimental results of 5 mm order bubble diameter  
**表 2.** 气泡直径 D 为 5 mm 量级时实验结果

流量 \ 组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
8 L/min	17.4	17.5	17.3	16.5	16.8	16.9	16.1	15.8	17.1	16.2	16.76
6 L/min	15.3	15.2	15.7	15.9	15.8	15.4	15.2	14.9	16.1	15.2	15.47
4 L/min	13.8	13.2	14.8	14.5	14.7	13.9	14.5	13.7	14.8	14.5	14.24

**Table 3.** Experimental results of 10 mm order bubble diameter  
**表 3.** 气泡直径 D 为 10 mm 量级时实验结果

流量 \ 组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
8 L/min	15.3	15.2	15.7	14.9	16.1	14.8	15.7	15.2	15.8	14.9	15.36
6 L/min	14.3	13.7	13.8	13.9	12.6	12.8	13.1	12.7	12.7	12.9	13.25
4 L/min	12.5	11.4	10.9	11.5	12.1	11.5	11.7	11.8	12.1	11.3	11.68



**Figure 2.** The experimental result of 1 mm order bubble diameter  
**图 2.** 气泡直径 D 为 1 mm 量级时实验结果

人工跃变区，从而影响到在该区域的水下航行器航行状态。并且，气泡的尺寸越小、密度越大，所产生的效果越好，通过分析，可以得出其原因为：①气泡群密度越大，排出水的体积就越大，导致浮力减小

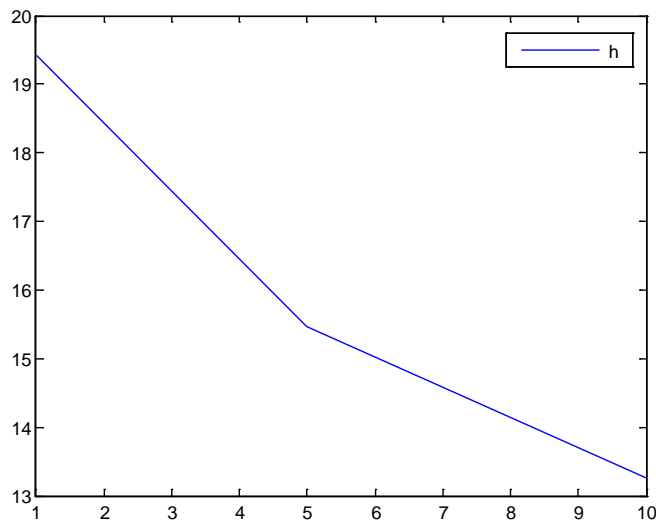


Figure 3. The experimental result at 6 L/min flow rate

图 3. 流量  $L = 6 \text{ L/min}$  时实验结果

就越大；②小气泡群相对于大气泡所引起的上升流要小，对浮力减小产生的相抵效果要小；③单个气泡的尺寸越小，导致气泡群里，气泡之间间隔就越小，这就使气泡群排出水下航行器周围的水就越多，浮力变化也就越大，影响效果就越好。因此，通过实验可以发现，本文提出的通过释放气泡群所产生的海水密度人工跃变层可以有效地干扰水下航行器的航行[5]-[7]。

## 5. 结论

本文研究了海水密度人工跃变的实现方法。经所设计的实验验证了该实现方法的有效性和可行性，并且由实验结果可以得出气泡尺寸越小以及气泡群密度越大对水下航行器影响越大的结论。通过本技术思想研制的装置所产生的气泡群，一方面会减小区域海域的整体密度，形成海水密度跃变区，而影响到该海域内水下航行器的航行；另一方面，气泡群对水下航行器通信所依赖的声信号有着严重的干扰作用，将扰乱气泡群附近航行器的通信活动。但关于气泡生成的具体配方、气泡群在海水中扩散的控制、载药装置的结构设计等细节问题的研究，以及有关深入的物理化学机理问题等，都有待进一步研究。

## 参考文献 (References)

- [1] 丁风雷. 海水密度变化对潜艇运动状态的影响[J]. 四川兵工学报, 2012(4): 11-13.
- [2] 赫英泽, 何斌. 海水密度变化对潜艇垂向运动的影响仿真研究[J]. 航海工程, 2008(2): 117-119.
- [3] 张林. 浅海负跃层对声传播影响的仿真研究[J]. 声学技术, 2013(12): 69-70.
- [4] 时玉龙, 王三反, 等. 加压溶气气浮微气泡产生机理及工程应用研究[J]. 工业水处理, 2012(2): 20-23.
- [5] 王诗平, 朱枫, 等. 爆炸气泡与舰船相互作用的相似性方法研究[J]. 中国造船, 2012(2): 30-38.
- [6] 李帅, 张阿漫, 等. 上浮气泡在壁面处的弹跳特性研究[J]. 物理学报, 2014(5): 255-262.
- [7] 王诗平, 张阿漫, 等. 气泡与弹性边界的相互作用研究[J]. 力学学报, 2011(4): 688-698.