

人工上升流千岛湖湖试

葛 晗, 陈 鹰, 陈家旺, 黄豪彩

(浙江大学 海洋科学与工程学系, 浙江 杭州 310058)

摘要: 对基于流体动力学理论设计的注气式人工上升流提升装置进行了千岛湖湖试, 并比较了不同注气结构(环形、十字形), 不同注气孔径(24孔、400孔)下的提升效果。试验结果显示, 十字形注气装置效果优于环形注气装置, 并且24孔的提升效果优于400孔。该次湖试验证了注气人工上升流理论的正确性和可行性, 并为下一步的理论和试验研究提供了试验依据。

关键词: 人工上升流; 注气; 气泡

中图分类号: P756 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2014)09-0085-05

doi: 10.11759/hyhx20121220001

我国东、南两面为海洋环绕, 有长达 18 000 km 的海岸线和辽阔的海域^[1], 海洋经济的发展潜力巨大。近 30 年以来, 由于海洋工程活动加剧、陆源污染物过度排放、近海渔业资源的持续过度捕捞等原因, 海洋生态环境受到了人为的负面影响。海洋上升流作为有利于修复海洋生态环境的一种方法, 并可有效地提升海洋生产力。然而, 自然界中, 海洋上升流过程随着动力因素的变化, 季节性明显、时空分布不均匀, 无法在所有鱼类繁殖和生长期形成, 以提供鱼类充足的营养成分。另一方面, 自然上升流海域占世界海洋面积的比例很小, 即使在夏季强盛期, 海洋上升流也存在区域性, 无法覆盖整个渔场^[2-3]。因此, 为了弥补自然海洋上升流存在季节性和区域性缺点, 出现了人工上升流技术。

目前, 世界海洋强国都加大了对人工上升流技术的研究力度, 并取得了一系列重要的理论和应用成果^[4-18]。早在 1976 年, Isaacs^[19]就已经提出利用波浪能通过改变海水的密度层分布提取深层海水。1995 年, 美国夏威夷大学 Liu^[20-21]研制了波浪泵人工上升流装置。装置结构简单、价格低廉、性能可靠、采用绿色可持续能源, 但其流量有限, 达不到浮游植物成长的营养浓度, 无法满足海洋生产力提升要求。2003 年, 日本采用大型海洋平台方案, 以水泵抽水的方式实现海底营养盐的提升, 称之为“拓海”装备^[22]。然而该法耗能、耗资巨大, 效率低下, 所形成的人工上升流和自然上升流在特征上有很大区别, 效果并不理想。2006 年, 美国 Atmocean 公司设计了两种上升流装置^[23]: 一种为软管上升流装置, 它利

用波浪泵带动活塞上下运动, 从而将底层海水提升到表层。该装置成本较低, 但流量小; 另一种为无管上升流装置, 它依靠波浪能提升海水, 同时利用潮流能实现海水搅拌混合, 使提升上来的海水以及营养物质均匀散布在周围的海水中。装置上设有 GPS 定位系统, 便于设备回收。其缺点是流量小、提升效率与交换效率不高。

本文中, 基于我国台湾大学梁乃匡教授等^[24-25]提出的气力提升理论, 研制了注气法人工上升流提升装置。并于 2011 年 10 月在千岛湖进行了试验, 验证了此装置的有效性。并且进行了不同喷气孔结构的对比实验, 为下一步对此装置的改造提供了试验依据。

1 系统装置及试验条件

图 1 为本次湖试系统的示意图, 其中涌升管采用直径为 400 mm 的 PEX 管连接而成, 总长 30 m, 投放深度 h_d 为 50 m。整个系统设置有 6 个压力传感器, 管内外两两一组, 分别位于 30, 15, 5 m 深度, 用于监测提升过程中压力的变化; 2 个温度传感器, 分别位于 30, 2 m 深度, 管子外侧, 用于监测提升前后水温的变化, 其初始温度分别为 17℃和 22℃; 2 个流量传感器, 分别用于监测液体流量和气体流量, 用于对提升装置效率的评估。

收稿日期: 2012-12-20; 修回日期: 2013-10-12

基金项目: 浙江省海洋水下高端装备技术科技创新团队项目(2012R10036-01)

作者简介: 葛晗(1982-), 女, 河北辛集人, 讲师, 博士, 目前研究方向: 空蚀噪声, 上升流, 微流体, 电话: 18667170712, E-mail: gehan@zju.edu.cn

实验共采用了 4 种喷气装置, 如图 2 所示, 孔径的参数如表 1 所示。

注气深度为 10 m, 注气压力为 0~300 kPa, 气体流量变化为 0~400 L/min。

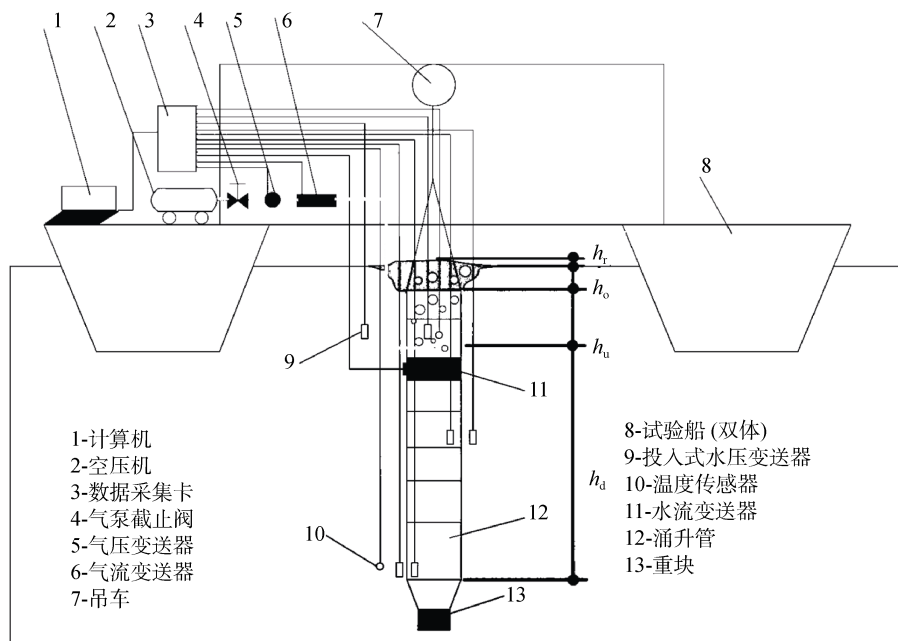


图 1 人工上升流试验系统示意图

Fig. 1 Artificial upwelling testing system diagram

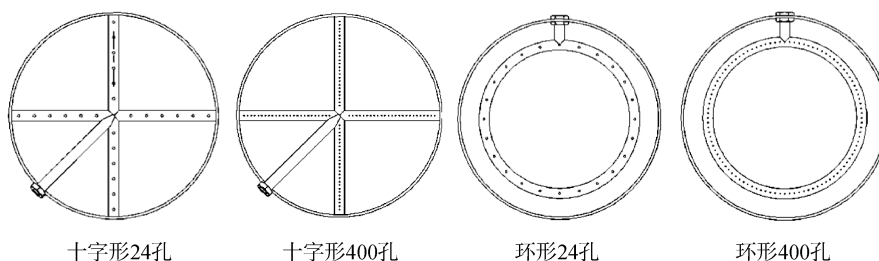


图 2 注气装置示意图

Fig. 2 Air injection device diagram

表 1 孔径参数

Tab. 1 Aperture parameters

注气装置 编号	注气装置 形状	注气孔数量 (个)	注气孔直径 (mm)
N1	十字	24	2
N2	十字	400	0.5
N3	环形	24	2
N4	环形	400	0.5

(30 m)温度保持不变。

下面将通过比较在注气流量相同条件下, 液体流量的差别, 对提升效果进行评价。提升过程中, 三组传感器(距离水面深度分别为 5, 15, 30 m)的外内压力差 $\Delta P=P_o-P_i$ 分别如表 2 所示。

表 2 外内压力差

Tab.2 Pressure difference between inside and outside of the tube

注气装置编号	$\Delta P(\text{kPa})$		
	5 m	15 m	30 m
N1	0.4795	29.0508	26.6201
N2	0.6290	0.7938	6.4785
N3	0.6832	0.3635	2.9832
N4	0.6600	-1.0797	1.0440

2 结果与讨论

4 种注气装置, 均能有效形成上升流。随着注气过程的开始, 上层(3 m)温度可降低到 16 °C 左右, 并且低于涌升管底部温度, 说明涌升管底部以下的更低温湖水由于上升流效应被带至上层, 涌升管底部

从外内压力差可以明显看出 N1 在海水深层(距离水面深度为 15, 30 m)的压力差最大, 即理论提升效率应该最高, 之后依次为 N2, N3, N4。十字形 24 孔的注气装置具有最高的提升效率。下面看实际的流量测量结果, 如图 3 所示。

24 孔注气装置(以下简称 24 孔)的注气总面积为 $24\pi \text{ mm}^2$, 400 孔注气装置(以下简称 400 孔)的注气总面积为 $25\pi \text{ mm}^2$ 。分别比较环形和十字形的 24 孔与 400 孔两种注气装置作用下的上升流流量的结果, 如图 3 所示。试验结果显示, 环形注气装置, 在气体流量相对较低的情况下($Q_{\text{air}} < 250 \text{ L/min}$), 24 孔的提升效果优于 400 孔; 而当气体流量 $Q_{\text{air}} > 250 \text{ L/min}$ 时, 环形的出现振荡, 但整体趋势仍是 24 孔优于

400 孔。而十字形注气装置, 24 孔和 400 孔的提升效果相当。

环形注气装置中, 气泡最初是沿着管壁生成的。在同等注气压力和注气流量的条件下, 喷孔总面积越小, 则流速越大。同时所产生气泡的体积越大(假设为理想泡状流), 上升速率也越大。因此, 由于 24 孔的单孔面积大于 400 孔, 而总体面积小于 400 孔, 使得 24 孔提升的液体流量大于 400 孔。

再分别比较 24 孔环形与十字形以及 400 孔环形与十字形的结果, 如图 4 所示。结果表明十字形的提升效果要优于环形。由于环形的喷气孔位于管壁附近, 气泡上升过程中所受到的摩擦阻力要大于十字形, 造成其提升效率低于十字形。

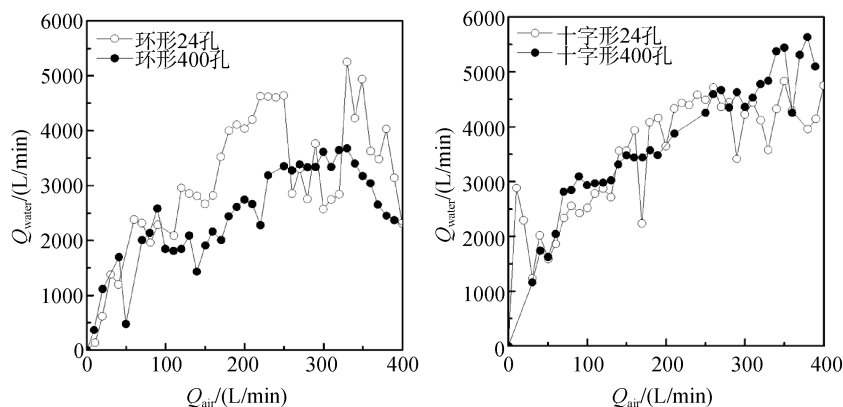


图 3 同种形状不同孔数注气装置提升效果对比

Fig.3 Comparison of upwelling efficiency between air injection apparatus with the same shape and different numbers of holes

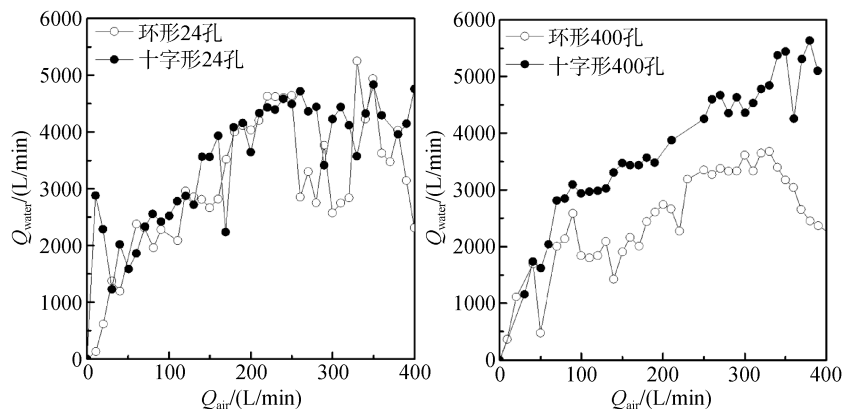


图 4 相同孔数不同形状注气装置提升效果对比

Fig.4 Comparison of upwelling efficiency between air injection apparatus with the same number of holes but different shapes

总之, 此次湖试的结果表明, 位于上升流管中央喷气孔的效果要好于位于管壁附近的(十字形的好于环形的); 喷气孔大的效果好于喷气孔小的(24 孔的好于 400 孔的)。

3 结论

此次湖试为注气上升流理论的初步验证试验。试验结果验证了注气上升流理论的正确性和可行

性。同时, 试验结果还为下一步的理论和实验研究提供了依据和方向。

致谢: 感谢浙江省海洋水下高端装备技术科技创新团队项目(2012R10036-01)的支持。

参考文献:

- [1] 赵焕庭, 王丽. 中国海岸湿地的类型 [J]. 海洋通报, 2000, 19(6): 72-73.
- [2] Jeffrey J P, Evan H, Donald R K. The transition zone chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources [J]. Progress in Oceanography, 2001, 49(3): 469-483.
- [3] Yu Zhigang, Mi Tiezhu, Yao qingzhen, et al. Nutrients concentration and changes in decade-scale in the central Bohai Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 20(1): 65-71.
- [4] Perrota R G, Viñas, M, Hernández D. Temperature conditions in the Argentine chub mackerel (*Scomber japonicus*) fishing ground: implications for fishery management [J]. Fisheries Oceanography, 2001, 10(3): 275-283.
- [5] Liang Naikuang. A preliminary study on air-lift artificial upwelling system [J]. Acta Oceanographica Taiwanica, 1996, 35(2): 187-99.
- [6] Liang Naikuang. Concept design of artificial upwelling induced by natural forces[C].IEEE. Proceedings of Oceans'91 Conference (1), Hawaii: IEEE, 1991: 391-393.
- [7] Nagamatsu T, Shima N F. Experimental study on artificial upwelling device combined V-shaped structure with flexible underwater curtain [J]. Mem Fac Fish, 2006, 55: 27-35.
- [8] Tsubaki K, Maruyama S, Mitsugashira H, et al. Creation of ocean forest by upwelling of deep seawater using perpetual salt fountains [J]. IEEE, 2004: 308-313.
- [9] Brian K. Enhancing fish stocks with wave-powered artificial upwelling [J]. Ocean & Coastal Management, 2003, 46: 901-915.
- [10] Carl L R. Heat exchange method of artificial upwelling [P].United States Patent Application: 20100014919, 2010-01-21.
- [11] McClimans T A, Handå A, Fredheim A, et al. Controlled artificial upwelling in a fjord to stimulate non-toxic algae [J]. Aquacultural Engineering, 2010, 42: 140-147.
- [12] Berntsen J, Aksnes D L, Foldvik A. Production enhancement by artificial upwelling: a simulation study [J]. Hydrobiologia, 2002, 484: 177-190.
- [13] Shigenao M, Koutaro T, Kersuke T, et al. Artificial upwelling of deep sawater using the perpetual salt fountain for cultivation of ocean desert [J]. Journal of Oceanography, 2004, 60: 563-568.
- [14] Koutaro T, Shigenao M, Atsuki K, et al. Continuous measurement of an water induced by the perpetual salt fountain artificial upwelling of deep sea [J]. Deep-Sea Research I, 2007, 54: 75-84.
- [15] Kenyon K E. Upwelling by a wave pump [J]. Journal of Oceanography, 2007, 63: 327-331.
- [16] Williamson N, Atsuki K, Shigenao M, et al. Nutrient transport from an artificial upwelling of deep sea water [J]. Journal of Oceanography, 2009, 65(3): 349-359.
- [17] Lovelock J E, Rapley C G. Ocean pipes could help the Earth to cure itself [J]. Nature, 2007: 403-449.
- [18] Angelique W, Karin B, Eric G, et al. An open ocean trial of controlled upwelling using wave pump technology [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2010, 27: 385-396.
- [19] Isaacs J D, Castel D, Wick G L. Utilization of the energy in ocean waves [J]. Ocean Engineering, 1976, 3(4): 175-187.
- [20] Liu C K, Jin Qiao. Artificial upwelling in regular and random waves [J]. Ocean Eng, 1995, 22(4): 337-350.
- [21] Liu C K. Research on artificial upwelling and mixing at the University of Hawaii at Manoa[J]. IOA Newsletter, 1999, 10(4): 1-8.
- [22] Ouchi K, Murphy A J. Real sea experiment of ocean nutrient enhancer "TAKUMI" upwelling deep ocean water [J]. Oceans Proceedings, 2003: 881-885.
- [23] Atmocean. Atmocean Wave Energy[EB/OL]. [2012-10-17]. <http://www.atmocean.com/upwelling.htm>.
- [24] Liang Naikuang, Peng Haikun. A study of air-lift artificial upwelling [J]. Ocean Engineering, 2005, 32: 731-745.
- [25] 彭海鲲. 气力提升式人工上升流之实验与理论[D]. 台湾: 台湾大学海洋研究所, 1999.

Artificial upwelling device test in the Qiandao Lake

GE Han, CHEN Ying, CHEN Jia-wang, HUANG Hao-cai

(Department of Ocean Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Received: Dec., 20, 2012

Key words: artificial upwelling; air injection; bubbles

Abstract: In this paper, artificial upwelling devices designed based on the fluid dynamic theory were tested in the Qiandao Lake. The upwelling efficiency was compared between air injection instruments with different shapes (circle or cross), and different air injection diameters (2 mm or 0.5 mm, which was respected to 24 or 400 holes, respectively). The result showed that the most efficient one was the cross one with diameter of 2 mm. In conclusion, this lake test result has validated the artificial upwelling theory and feasibility, and it can provide useful references for further research.

(本文编辑: 刘珊珊 李晓燕)