

# 六角型人工鱼礁流场效应试验研究

刘扬, 黄国兴

(大连理工大学, 辽宁 大连 116024)

**摘要:** 本研究利用物理模型试验和粒子图像测速 (PIV) 技术, 对六角型人工鱼礁在不同流速下的流场效应进行研究。研究表明, 单体鱼礁上升流的最大流速和平均流速随来流速度增大而增大, 单体鱼礁上升流最大流速为来流速度的 35.4%~47.5%, 上升流区域的高度及面积随来流速度增加有所减小。单体鱼礁后侧有小规模回流形成。

**关键词:** 人工鱼礁; 流场效应; 数值模拟; 粒子图像测速

**中图分类号:** U64    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1006—7973 (2021) 11—0060—03

在海洋牧场的建设过程中, 人工鱼礁是其中主要的人工构造物, 常采用开孔异型混凝土结构或框架式钢结构。人工鱼礁投放后, 将受到潮流、波浪等自然水动力因素的作用, 并对原海域周围的流场产生影响。人工鱼礁会对水流起到阻碍作用, 在礁体前方形成局部的上升流。上升流可以将海底的营养物质带到上层海域, 促进上下层水体间营养物质的交换, 提高礁区附近海域营养物质浓度, 有利于鱼群聚集觅食。国内研究人员对多种形式的人工鱼礁已有研究, 包括实心方型<sup>[1]</sup>、正方形、金字塔型、三棱柱型<sup>[2]</sup>、梯形台型<sup>[3]</sup>、方型<sup>[4]</sup>、星形体型、复合型、圆管型<sup>[5]</sup>等多种形式, 但现有人工鱼礁的流场效应远未达到理想的程度。研发具有优质流场效应的新形式鱼礁, 成为海洋牧场建设重要的研究热点问题之一。

六角型人工鱼礁是一种新型鱼礁结构形式, 由六边形多层结构框架、倾斜导流板和支撑脚组成。六角型人工鱼礁整体的透水性较好, 有减弱大涡结构生成的可能; 其支撑脚结构使礁体与水底存在一定距离, 可以减弱礁体对水域底部流场的改变; 其结构形式高度对称而具有良好的方向适应性; 结构的内部空腔较大, 上升流的形成与发展可能更为平缓。上述设计理念需要深入研究加以确认。本文针对六角型人工鱼礁流场效应开展研究, 采用物理模型试验的方法, 基于粒子图像测速技术 (PIV), 测量了不同来流速度下六角型人工鱼礁的流场。定量分析六角型鱼礁的流场效应, 为人工鱼礁推广应用提供基础依据。

## 1 人工鱼礁物理模型试验

### 1.1 试验设备和测试仪器

#### 1.1.1 试验水槽和造流系统

六角型人工鱼礁物理模型试验在大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室的 PIV 水槽中进行。试验水槽长 24.00m, 宽 0.45m, 高 0.60m。试验水槽的一

端配有水箱和造流系统, 可以通过调节造流装置的电机频率以改变来流速度, 对应稳定的可造流速度的范围为 0m/s~0.25m/s。

#### 1.1.2 PIV 试验流场测试系统

PIV 试验布置原理及拍摄区域如图 1 所示, 高速摄像机架立在拍摄窗口前, 激光片光从水槽底部照射待测流场的切面区域。示踪粒子采用平均粒径为 10 微米的心空玻璃微珠。试验相机采用高速摄像机 (photron), 最大分辨率为 1024×1024 像素, 在此分辨率下的最高拍摄帧率可达 7000 帧, 实验帧率选取为 250 帧。

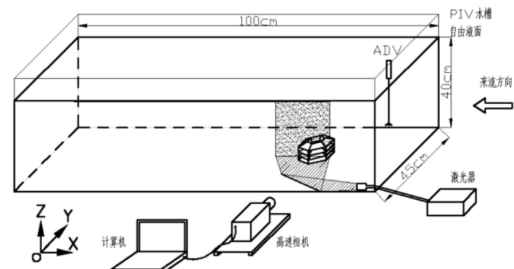


图 1 PIV 试验装置示意图

## 1.2 相似准则与模型设计

### 1.2.1 相似准则与几何比尺选择

六角型人工鱼礁采用六边形框架结构, 由多层结构框架、倾斜导流板和支撑脚组成。六角型人工鱼礁原型及尺度参见图 2。考虑试验所采用的水槽尺度及边界的影响, 按照重力相似准则进行模拟, 选取试验模型几何比尺为  $\lambda_L = 50$ 。

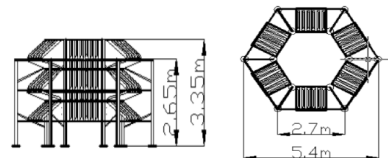


图 2 人工鱼礁原型

### 1.2.2 模型设计与制作

六角型人工鱼礁模型的多层框架结构采用透明树脂材质通过 3D 打印完成, 然后拼装成整体框架; 其

十八块倾斜导流板采用透明亚克力材质，粘接在六角型人工鱼礁的多层框架结构上，见图3。

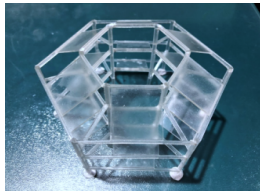


图3 人工鱼礁模型实物照片

### 1.3 模型在水槽中的布置

鱼礁模型设置在水槽中心附近，鱼礁右边界距离右侧来流进口4.75m（约44倍礁体直径）；鱼礁中心距离两侧水槽边壁均为0.225m（约2倍礁体直径）；鱼礁模型高度 $h=0.067\text{m}$ ，试验水深 $d=0.4\text{m}$ ，相对淹没深度 $(d-h)/d=0.8325$ 。

## 2 人工鱼礁流场试验结果分析

### 2.1 流场试验结果

速度矢量形态及特征

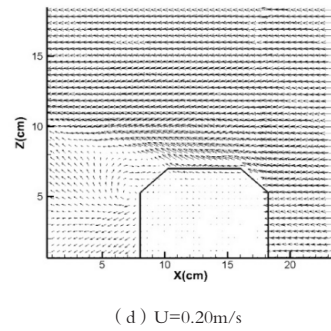
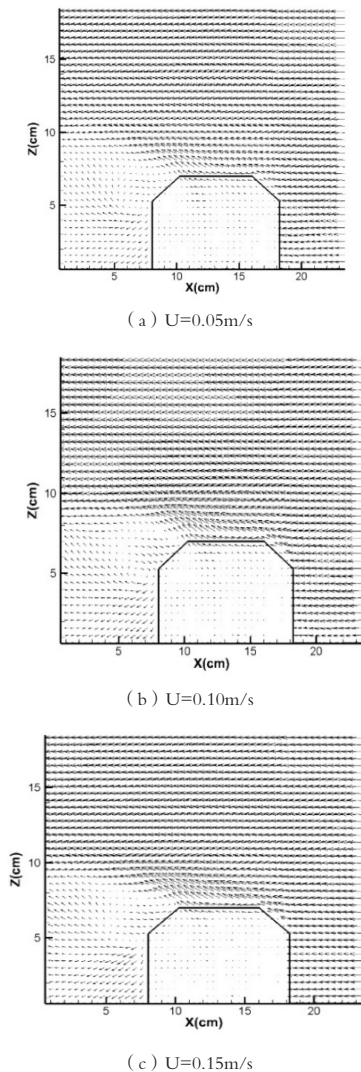


图4 不同来流速度下流场速度矢量图示例

图中可见，由于六角型人工鱼礁的透水特性，鱼礁前方来流基本未发生变化，但在鱼礁前侧顶部的一部分来流明显地产生了垂向速度，形成一定规模的上升流，可认为鱼礁的多层框架结构透水性较好。试验结果无法显示鱼礁内部的流场形态，但可以从鱼礁顶部的大规模上升流的出现判断水流在鱼礁内部空腔处发生掺混并产生了垂向速度。水流在穿过礁体结构后，于鱼礁后部下方形成了一股下降的水流，在鱼礁后部上方形成了小规模的回流区域，该处区域位于鱼礁的后侧顶部导流板后方，具有明显的旋涡结构。

### 2.2 人工鱼礁对流场影响的定量分析

#### 2.2.1 上升流区域

上升流产生于鱼礁前侧的顶部导流板，上升流的主体部分产生于鱼礁中心顶部，且上升流的最大垂向速度出现于后侧顶部导流板的上方，整体区域呈钝角三角形。将上升流区域拟定为垂向速度分量与来流速度之比大于或者等于10%的区域。采用上升流区域的最大高度和上升流区域的面积来描述上升流的规模，而采用上升流区域内的最大垂向速度及平均垂向速度来描述上升流的强度。记为上升流区域的最大高度，为上升流区域的面积；为上升流区域内的最大垂向速度，为上升流区域内的平均垂向速度，分析结果汇总于表1；

表1 上升流区域特征统计表

(cm/s)	$H(\text{cm})$	$S(\text{cm}^2)$	$w(\text{cm/s})$	$W(\text{cm/s})$
5	12.2	53.4	1.77	0.75
10	11.2	46.9	4.75	1.91
15	10.8	39.1	6.74	2.76
20	10.8	39.5	8.06	3.81

#### 2.2.2 回流区域

鱼礁后侧出现大面积缓流区域，同时有小面积的回流区域。回流区域内的速度矢量与来流方向相反，最大水平流速约为来流速度的20%，区域面积大约与单个导流板的水平方向投影面积相当。定义水平向速度与来流速度相反区域为回流区域，采用面积 $S$ 和平均流速 $u$

# 充气膜结构煤炭堆场火灾自动报警系统设计

宋英麟, 孙鲁

(中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 天津 300222)

**摘要:** 充气膜结构利用柔性膜材料内外气体之间的压力差形成具有稳定形态和刚度的气膜结构, 由于充气膜结构跨度大, 建设周期短, 经济可回收等优势, 已广泛应用于民用及大型工业堆场等领域。本文依托邢台国泰发电有限公司煤炭储运堆场全封闭工程 BOT 项目经验, 主要介绍煤堆场充气膜结构火灾自动报警系统的设计方案, 并对该系统的应用效果进行了评价。本文方案对于防范初期火灾、降低粉尘及可燃/有毒气体浓度效果良好, 为相似工程提供一定的实例经验。

**关键词:** 充气膜结构; 火灾自动报警系统; 可燃气体; 粉尘浓度

**中图分类号:** U169.3    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1006—7973 (2021) 11—0062—03

充气膜结构利用柔性膜材料内外气体之间的压力差形成具有稳定形态和刚度的气膜结构, 由于充气膜结构跨度大, 建设周期短, 经济可回收等优势, 已广泛应用于民用及大型工业堆场等领域<sup>[1]</sup>。在中国共产党第十九次全国代表大会的报告中提出了坚持人与自然和谐共生, 树立和践行绿水青山就是金山银山的理念, 坚持节约资源和保护环境的基本国策<sup>[2]</sup>。在认真贯彻落实这一环保理念的背景下, 本文依托邢台国泰发电有限公司煤炭储运堆场全封闭工程 BOT 项目, 研究了煤炭堆场充气膜结构火灾检测系统、可燃气体及有毒气体浓度监

测系统、粉尘浓度监测系统、消防水炮联动控制系统及消防广播系统的设计及应用。

## 1 工程概况

本文依托河北邢台国泰发电有限责任公司 #5, #6 煤炭堆场封闭工程。在堆场煤炭带式输送装置传输过程中, 在带式输送装置的转运点、落料点等区域, 易产生大量粉尘污染周边环境。为解决堆场作业过程中的扬尘问题, 避免生产过程中产生粉尘及可燃气体的污染, 国泰发电有限公司加大投入, 对国泰公司 #5、#6 煤炭储

来描述缓流区域的规模与强度, 具体数据如表 2 所示;

表 2 回流区域特征统计表

(cm/s)	$S(\text{cm}^2)$	$u(\text{cm/s})$
5	8.43	0.57
10	10.50	1.71
15	12.40	1.89
20	12.93	2.68

从表中可以看出, 随来流速度的增大, 回流区域的面积和平均流速均增大, 平均流速为来流速度的 11.3%~17.1%;

## 4 结论

六角型人工鱼礁具有透水特性。透水特性可以有效地减小鱼礁对原有水动力环境的影响, 在水流通过鱼礁时结构整体无显著的固定边界剥离点, 从而有效地减少了大涡结构的形成。在垂向上, 水流可以顺畅通过结构内部空腔并充分掺混, 有利于上升流的形成与发展。因此六角型人工鱼礁更易于构造适宜鱼类生存的柔和流场。

(1) 六角型人工鱼礁周围的流场结构较为稳定,

随时间变化较小, 随来流速度的增加变化较小, 流场效应稳定且无大涡结构的产生。

(2) 六角型人工鱼礁的上升流区域集中于鱼礁内部空腔处, 最大流速为来流速度的 35.4%~47.5%; 六角型人工鱼礁后侧由小规模回流形成, 平均流速为来流速度的 11.3%~17.1%。

参考文献:

- [1] 张硕, 孙满昌, 陈勇. 不同高度混凝土模型礁背涡流特性的定量研究 [J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(4): 278-282.
- [2] 刘洪生, 马翔, 章守宇, 等. 人工鱼礁流场效应的模型试验 [J]. 水产学报, 2009, 33 (2): 229-236.
- [3] 于定勇, 赵伟, 王逢雨, 等. 不同布设间距下梯形台人工鱼礁体的水动力特性研究. 海洋与湖沼, 2020, 51: 283-292.
- [4] 付东伟, 陈勇, 陈衍顺, 等. 方形人工鱼礁单体流场效应的 PIV 试验研究 [J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(1): 82-85.
- [5] 刘彦. 人工鱼礁水动力特性数值与实验研究 [D]: (博士学位论文). 大连: 大连理工大学, 2014.