

水流参数对物体在水中掉落距离的影响及预测

郑天清¹, 林毅熙¹, 田振恒¹, 魏盛军², 张露¹, 吴晋泽¹, 徐继璇¹

(1. 福建理工大学, 福建省智能加工技术及装备重点实验室, 福州 350118;

2. 福建省水产研究所, 福建省海洋生物增养殖与高值化利用重点实验室, 厦门 361013)

摘要:当前海面上的藻类掉落海底的运动规律尚未明确,无法开展坐底式鲍养殖沉箱的捕饵口设计。为此,论文以玻璃瓶为研究对象,重点探究水流流速、水深、玻璃瓶质量对玻璃瓶从水面掉落在水底距离的影响,进而揭示玻璃瓶从水面掉落在水底距离的运动规律;并构建掉落距离预测模型,预测玻璃瓶掉落在水底的距离。研究发现,随着水流流速的加快或回型槽内的水深增加,玻璃瓶从水面掉落在水底的距离增大;随着玻璃瓶的质量或倾角增大,玻璃瓶从水面掉落在水底的距离减小;所构建的掉落距离预测模型可较准确地预测玻璃瓶与海带从水面掉落在水底的距离,其平均预测偏差分别为2.79%与4.12%。

关键词:水流参数;掉落距离;神经网络;鲍养殖;湾外海域

中图分类号: TH12

文献标志码: A

文章编号: 2097-3853(2025)04-0389-06

Influence and prediction of water flow parameters on fall distance of objects in water

ZHENG Tianqing¹, LIN Yixi¹, TIAN Zhenheng¹, WEI Shengjun², ZHANG Lu¹, WU Jinze¹, XU Jixuan¹

(1. Fujian Key Laboratory of Intelligent Machining Technology and Equipment, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Fujian Key Laboratory of Marine Biological Breeding and High Value Utilization, Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China)

Abstract: The motion law of seaweed falling from the surface of sea to the seafloor has not been well-defined, making it difficult to design appropriate bait holes in bottom-sitting caissons used for abalone farming. This study uses a glass bottle as the research object and investigates how factors such as water flow velocity, water depth, and the mass of the glass bottle affect the distance of glass bottle falling from water surface to water bottom. It aims to uncover the motion law of the glass bottle and develop a predictive model for the fall distance so as to predict the distance of the glass bottle falling to the bottom of the water. Findings show that the fall distance increases with water flow velocity and water depth in the return channel. In contrast, as the mass or tilt angle of the glass bottle increases, the fall distance decreases. The predictive model developed can accurately forecast the distance of glass bottle and seaweed falling from the water surface to water bottom, with an average prediction error of 2.79% and 4.12%, respectively.

Keywords: water flow parameters; fall distance; neural network; abalone farming; bay area

目前鲍鱼养殖技术主要采用筏式吊笼养殖、网箱吊笼养殖、塑胶渔排网箱养殖、底播养殖等技术^[1-2]。然而随着规模与时间的增长,鲍鱼养殖

逐渐出现相关问题,如“南北接力”养鲍方式的养殖效益逐渐下降^[3]、产品品质退化^[4]、饵料价格、人工成本飞涨、经济效益差^[5-6]等。造成上述问

收稿日期:2025-03-14

基金项目:福建省促进海洋与渔业产业高质量发展专项资金项目(FJHYF-L-2023-12);福建省中青年教育科研项目(JAT220219);福建省自然科学基金资助项目(2024J01825)

第一作者简介:郑天清(1989—),男,福建莆田人,讲师,博士,研究方向:渔业装备。

题的关键原因在于,过度地使用近海海域,造成近海海域水质污染^[7];鲍鱼的适宜生长水温在 23~30 ℃,南方夏天养殖的鲍鱼需北调,北方冬天养殖的鲍鱼需要南调^[8]。而由于湾外海域广阔且水体交换快,同时海水越深的地方,海水温度更稳定,不容易受环境温度影响,因此,近年来学者们提出湾外海域的坐底式鲍养殖技术方案,以解决近海海域水质污染以及“南北接力”养鲍经济效益等问题。

在藻类养殖过程中,受自然环境等的影响,海面藻类容易掉落到海底^[9-11]。如秦松等^[9]研究发现,海带、裙带菜苗绳上幼苗脱落率与水流流速有明显的对数关系。张飞等^[10]研究发现,由于风浪或是病虫害的影响,海带在生长过程中会产生大量的碎屑。赵秀^[11]研究发现,龙须菜藻体衰败、风浪或鱼类啃食等原因会导致龙须菜藻体脱落。为了开发更具有经济性的湾外海域坐底式鲍养殖技术,可充分利用海中掉落的藻类作为鲍鱼养殖的饵料。然而,由于海面上藻类掉落海底的运动规律尚未明确,尚无法开展坐底式鲍养殖沉箱的捕饵料口设计。

为探究海面上藻类掉落海底的分布规律,本研究分别分析水流流速、水深、玻璃瓶的质量与玻璃瓶的倾角对玻璃瓶从水面掉落在水底距离的影响,进而揭示玻璃瓶从水面掉落在水底距离的规律;并构建掉落距离预测模型,预测玻璃瓶与海带掉落在水底的距离,进而为分析海面上藻类掉落海底的分布规律提供理论依据。

1 实验平台搭建

论文研究的样品对象为玻璃瓶,如图 1 所示,通过调整玻璃瓶内的水量,控制玻璃瓶的质量。通过调速电机(5IK120GN-CF,温州伟普电机有限公司,功率:400W)、叶片、联轴器、回型槽、透明 PC 板等组件搭建海面上藻类掉落海底的实验平台(如图 2 所示)。调速电机是驱动回型槽内水进行流动的动力源头;叶片是驱动回型槽内水进行流动的结构件;回型槽是实现水循环流动的结构件;透明 PC 板用于观察玻璃瓶从水面掉落在水底的情况,进而利用相机(E6,爱国者电子科技有限公司,像素:6 400 万)拍摄玻璃瓶掉落在水底时所在的钢板尺(1 m,曙光金属制品有限公司,测量误差 ≤ 1 mm)位置,进而获得玻璃瓶从水面掉落在水底的距离。利用便携式流速测量仪(LS300-A,江苏南水水务科技有限公司,测流速误差 $\leq 1.5\%$)监测回型槽内的水流流速。

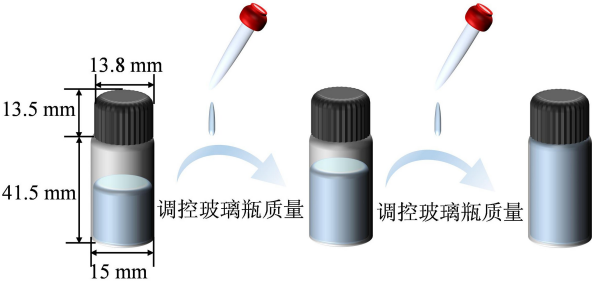


图 1 玻璃瓶
Fig.1 Glass bottle

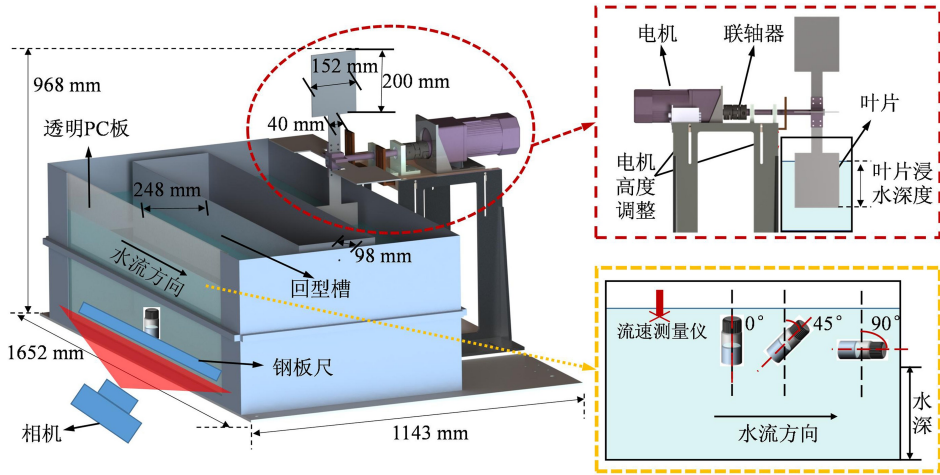


图 2 海面上藻类掉落海底的实验平台
Fig.2 Experimental platform of algae falling from sea surface to seafloor

2 水流参数对玻璃瓶从水面掉落在水底距离的影响分析

2.1 实验平台参数对水流流速的影响分析

不同实验平台参数对水流流速的影响趋势图如图 3 所示。

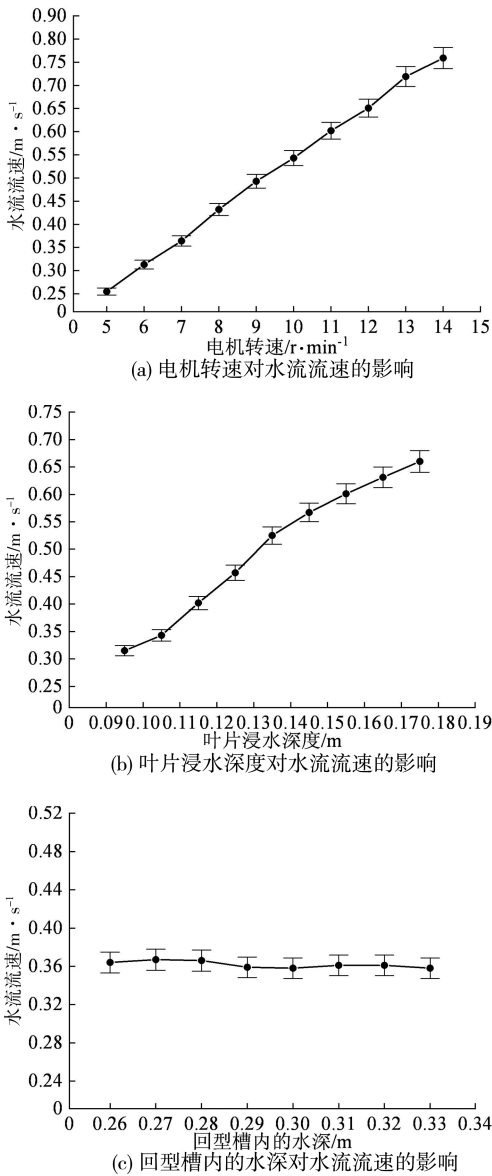


图 3 不同实验平台参数对水流流速的影响趋势

Fig.3 Influence trend of different parameters of experimental platform on water flow velocity

由图 3(a)可知,在 0.34 m 水深与 0.175 m 叶片浸水深度下,回型槽内的水流流速随着电机转速的升高而加快,说明电机转速是调控回型槽内水流流速的有效变量。由图 3(b)可知,在 0.34 m

水深与 12 r/min 的电机转速下,回型槽内的水流流速随着叶片浸水深度的变大而加快,说明了叶片浸水深度是调控回型槽内水流流速的有效变量。由图 3(c)可知,在 12 r/min 电机转速与 0.09 m 叶片浸水深度下,回型槽内的水流流速随着回型槽内水深的变大,整体上保持不变,说明在保持叶片浸水深度不变的前提下,通过调整回型槽的水深,难以实现水流流速的有效调控。

随着电机转速的升高,单位时间内叶片作用给回型槽内水的输入能量增大,水的动能增加,因此水流流速加快。而随着叶片浸入深度的增加,叶片与回型槽内水的接触面积增大,单位时间内叶片推动回型槽内水的移动体积变大,因此水流流速加快。而保持叶片浸入水下的深度固定在 0.09 m,单位时间内叶片推动回型槽内水的移动体积保持不变,即单位时间内叶片给回型槽内水的输入能量保持不变,理论上当槽内的水深增加时,槽内水的总质量增加,槽内水的平均流速下降;但实验过程所采集的水流流速是水面流速,结合水槽内的不同水深层之间存在粘滞力(摩擦力),而叶片浸入水下的深度固定在 0.09 m,因此,回型槽内的水流流速随着回型槽内水深的变大,整体上保持不变。

2.2 水流参数对玻璃瓶掉落距离的影响分析

不同水流参数对玻璃瓶从水面掉落在水底距离的影响趋势如图 4 所示。由图 4(a)可知,在 0.34 m 水深、0.175 m 叶片浸水深度、9.8 g 玻璃瓶质量与 0°玻璃瓶相对水面的倾角下,随着水流流速的加快,玻璃瓶从水面掉落在水底的距离增大。由图 4(b)可知,在 0.279 m/s 的水流流速、10 g 玻璃瓶质量下与 0°玻璃瓶相对水面的倾角下,随着回型槽内的水深增加,玻璃瓶从水面掉落在水底的距离增大。由图 4(c)可知,在 0.27 m 水深、在 0.36 m/s 的水流流速、0.115 m 叶片浸水深度与 0°玻璃瓶相对水面的倾角下,随着玻璃瓶的质量增大,玻璃瓶从水面掉落在水底的距离减小。由图 4(d)可知,在 0.28 m 水深、在 0.36 m/s 的水流流速、0.115 m 叶片浸水深度与 10 g 玻璃瓶质量下,随着玻璃瓶倾角的增大,玻璃瓶从水面掉落在水底的距离减小。

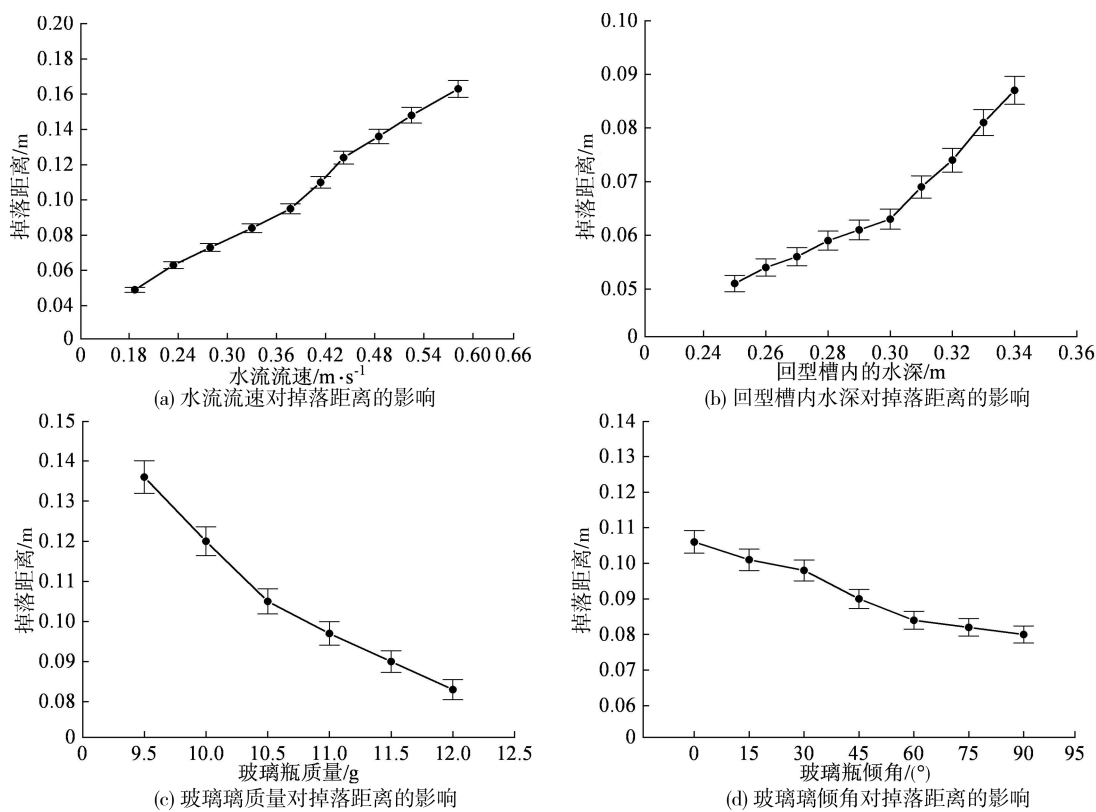


图 4 不同水流参数对玻璃瓶从水面掉落在水底距离的影响趋势

Fig.4 Influence trend of different parameters of water on distance of glass bottle falling from water surface to bottom

将玻璃瓶在水中的掉落运动分为水平与垂直运动。由于回型槽的水深与玻璃瓶的质量是固定的,玻璃瓶在水中的垂直运动时间是不变的。随着回型槽内水流流速的加快,玻璃瓶在水中的水平移动速度加快,玻璃瓶在水中的水平移动距离增大,即掉落在水底的距离增大。而随着回型槽内水深的增加,玻璃瓶在水中的垂直运动时间增长,尽管玻璃瓶在水中的水平移动速度保持不变,但玻璃瓶在水中的水平移动距离增大,即掉落在水底的距离增大。回型槽的水深是固定的,玻璃瓶的质量变大,玻璃瓶在水中的垂直运动时间变少,结合玻璃瓶在水中的水平移动速度保持,玻璃瓶在水中的水平移动距离减小,即掉落在水底的距离减小。由于玻璃瓶是这个高度大且外径小的结构体,随着玻璃瓶相对水平面的倾角增大,水流的流动方向与玻璃瓶表面之间的垂直作用面积减小,玻璃瓶受到的水流推动力减小,因此,玻璃瓶在水中的水平移动距离减小,即掉落在水底的距离减小。

3 水流参数对物体在水中掉落距离的预测

3.1 结合误差反向传播算法的掉落距离预测模型构建

以水流流速、回型槽内的水深、玻璃瓶质量、玻璃瓶倾角作为掉落距离预测模型的输入参数,以玻璃瓶从水面掉落在水底的距离作为预测模型的输出参数,利用误差反向传播算法^[12-13]构建掉落距离的抽象预测模型,预测模型见公式(1)~(6),式中 $w_{i,h}$ 、 $w_{h,o}$ 、 b_h 、 b_o 为要求解的待定系数。在抽象预测模型的基础上,设置隐含层的神经元个数 p 为10,通过海面上藻类掉落海底的实验平台获取250组实验数据,以该250实验数据作为训练数据,求解抽象预测模型中的待定系数,获取掉落距离的具体预测模型。

$$u_h = \sum_{i=1}^n w_{i,h} x_i - b_h, (h = 1, 2, \dots, p) \quad (1)$$

式中, u_h 为数学模型中隐含层输入向量的第 h 个输入值; n 为数学模型的输入层神经元个数,即掉

落距离的影响因素个数; i 为掉落距离的第 i 影响因素; h 为数学模型的隐含层神经元; p 为隐含层的神经元个数; $w_{i,h}$ 为数学模型中输入层与隐含层的权值,即数学模型中的待定系数; x_i 为影响掉落距离的第 i 个影响因素值; b_h 为数学模型中隐含层各神经元的阈值,其也是数学模型中需被求解的待定系数。

$$f(x)=\frac{1}{1+e^{-x}}\tag{2}$$

式中, $f(\cdot)$ 为数学模型中的激活函数; x 为影响掉落距离的影响因素值。

$$v_h=f(u_h),\;(h=1,2,\cdots,p)\tag{3}$$

式中, v_h 为数学模型中隐含层输出向量的第 h 个输出值。

$$s_o=\sum_h^p w_{h,o}v_h-b_o,\;(o=1,2,\cdots,q)\tag{4}$$

式中, s_o 为数学模型中输出层输入向量中的第 o 个输入值; o 为数学模型的输出层神经元; q 为输出层的神经元个数; $w_{h,o}$ 为数学模型中隐含层与输出层的权值,即数学模型中的待定系数; b_o 为数学模型中输出层各神经元的阈值,其也是数学模型中需被求解的待定系数。

$$t_o=f(s_o),\;(o=1,2,\cdots,q)\tag{5}$$

式中, t_o 为数学模型中输出层输出向量中的第 o 个输出值,即数学模型预测的第 o 个输出参数值。

$$\Delta t_o=t_o-y_o,\;(o=1,2,\cdots,q)\tag{6}$$

式中, Δt_o 为数学模型中第 o 个输出参数值的误差; y_o 为第 o 个输出参数对应的实际值。

3.2 掉落距离预测模型在玻璃瓶掉落距离预测上的可靠性验证

玻璃瓶从水面掉落在水底距离的 250 组训练数据如表 1 所示,通过这 250 组训练数据训练神经网络,从而构建掉落距离预测模型。以上述 250 组实验数据以外的 5 组实验数据作为验证数据,如表 2 所示,对比掉落距离预测模型的预测值与其实际值之间的偏差率,其计算如式(7)所示,分析掉落距离预测模型的可靠性,从而为藻类从海面掉落在海底的距离预测奠定技术基础。

$$\eta=\frac{|D_{模型}-D_{实际}|}{D_{实际}}\tag{7}$$

式中, η 为掉落距离预测模型的预测偏差率; $D_{模型}$ 为预测模型的预测值; $D_{实际}$ 为预测模型对应的实

际值。

表 1 玻璃瓶从水面掉落在水底距离的 250 组训练数据
Tab.1 250 sets of training data of distance of glass bottle falling from water surface to bottom

实验序号	实验平台参数			玻璃瓶倾角/(°)	实验结果 掉落距离/m
	水流流速/ m·s ⁻¹	水深/ m	玻璃瓶质量/g		
1	0.187	0.25	9.5	0	0.039
2	0.187	0.25	10	0	0.033
3	0.187	0.25	10.5	0	0.028
4	0.187	0.25	11	0	0.0252
5	0.187	0.25	11.5	0	0.023
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
246	0.485	0.33	9.5	90	0.142
247	0.485	0.33	10	90	0.129
248	0.485	0.33	10.5	90	0.115
249	0.485	0.33	11	90	0.112
250	0.485	0.33	11.5	90	0.108

表 2 玻璃瓶从水面掉落在水底距离的 5 组验证数据
Tab.2 5 sets of validation data of distance of glass bottle falling from water surface to bottom

实验序号	实验平台参数			玻璃瓶倾角/(°)	实验结果 掉落距离/m
	水流流速/ m·s ⁻¹	水深/ m	玻璃瓶质量/g		
1	0.279	0.26	10.00	0	0.053 6
2	0.279	0.28	10.00	0	0.059 0
3	0.279	0.30	10.00	0	0.063 4
4	0.279	0.32	10.00	0	0.073 8
5	0.279	0.34	10.00	0	0.087 2

掉落距离预测模型在玻璃瓶掉落上的预测数据与实际实验数据趋势如图 5 所示。可见,模型预测数据与实际实验数据之间的最大偏差率为 4.1%,最小偏差为 0.85%,平均偏差为 2.79%,说明所构建的掉落距离预测模型可较准确地预测玻璃瓶从水面掉落在水底距离,验证了掉落距离预测模型的可靠性。

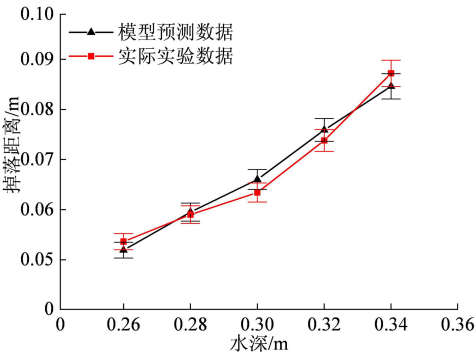


图 5 掉落距离预测模型在玻璃瓶掉落上的
预测数据与实际实验数据趋势

Fig.5 Prediction data and actual experimental data trends of falling distance prediction model on falling of glass bottle

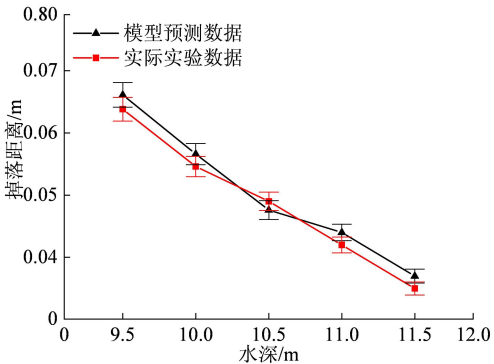


图 6 掉落距离预测模型在海带掉落距离上的
预测数据与实际实验数据趋势

Fig.6 Prediction data and actual experimental data trends of falling distance prediction model on falling of seaweed

3.3 掉落距离预测模型在海带掉落距离预测上的通用性分析

表 3 为海带从水面掉落在水底距离的 5 组实验数据,通过对比 5 组实验数据与模型的预测数据,验证预测模型在海带掉落距离预测上的通用性。

表 3 海带从水面掉落在水底距离的 5 组实验数据
Tab.3 5 sets of experimental data of distance of seaweed falling from water surface to bottom

实验 序号	实验平台参数			玻璃 瓶倾 角/(°)	实验结果 掉落 距离/m
	水流流速/ m · s ⁻¹	水深/ m	玻璃瓶 质量/g		
1	0.279	0.26	9.5	0	0.063 8
2	0.279	0.26	10	0	0.054 6
3	0.279	0.26	10.5	0	0.049
4	0.279	0.26	11	0	0.042
5	0.279	0.26	11.5	0	0.035

图 6 为掉落距离预测模型在海带掉落距离上的预测数据与实际实验数据趋势。由图 6 可知,模型预测数据与实际实验数据之间的最大偏差率为 5.71%,最小偏差为 2.86%,平均偏差为 4.12%,说明所构建的掉落距离预测模型可较准确地预测海带从水面掉落在水底距离,验证了掉落距离预测模型在海带掉落距离预测上的通用性。

4 结论

为揭示海面上的藻类掉落海底的运动规律,为坐底式鲍养殖沉箱的捕饵口设计提供依据,本研究开展了水流参数对物体在水中掉落的影响规律研究,得到的主要结论如下:

1) 在 0.34 m 水深、0.175 m 叶片浸水深度、9.8 g 玻璃瓶质量与 0°玻璃瓶相对水面的倾角下,随着水流流速的加快,玻璃瓶从水面掉落在水底的距离增大;在 0.279 m/s 的水流流速、10 g 玻璃瓶质量与 0°玻璃瓶相对水面的倾角下,随着回型槽内的水深增加,玻璃瓶从水面掉落在水底的距离增大;在 0.27 m 水深、在 0.36 m/s 的水流流速、0.115 m 叶片浸水深度与 0°玻璃瓶相对水面的倾角下,随着玻璃瓶的质量增大,玻璃瓶从水面掉落在水底的距离减小;在 0.28 m 水深、在 0.36 m/s 的水流流速、0.115 m 叶片浸水深度与 10 g 玻璃瓶质量下,随着玻璃瓶倾角的增大,玻璃瓶从水面掉落在水底的距离减小。

2) 掉落距离预测模型在玻璃瓶掉落上的预测数据与实际实验数据之间的最大偏差率为 4.1%,最小偏差为 0.85%,平均偏差为 2.79%,说明了所构建的掉落距离预测模型具有较好的可靠性。掉落距离预测模型在海带掉落距离上的预测数据与实际实验数据之间的最大偏差率为 5.71%,最小偏差为 2.86%,平均偏差为 4.12%,说明了,所构建的掉落距离预测模型在海带掉落距离预测上具有较好的通用性。

料对试样表面磨抛的更加细微,从而显著提升材料表面的平整度。

参考文献:

[1] DAI Y F,WANG J H,TANG Z W ,et al. The sub-nanometer finishing surface evolution of tungsten carbide in shear thickening polishing and the effect of the impurities[J]. Precision Engineering,2024,88:997-1010.

[2] KOCICH R. Design and optimization of induction heating for tungsten heavy alloy prior to rotary swaging[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials,2020,93:105353.

[3] QIN C J,HU Z H,TANG A M ,et al. An efficient material removal rate prediction model for cemented carbide inserts chemical mechanical polishing[J]. Wear,2020,452:203293.

[4] 李航兵. 钨合金超精密切削及其刀具磨损抑制技术研究[D]. 武汉:华中科技大学,2023.

[5] 史晓琳. 钨合金研磨抛光表面形貌形成机理及工艺研究[D]. 大连:大连理工大学,2020.

[6] 徐成宇,张万一,张天鸿,等. 固结磨料小工具头修形抛光钛合金叶片试验研究[J]. 中国机械工程,2024,35(9):1606-1612.

[7] 林晓婷. 碳化钨材料的电化学辅助机械抛光加工机理及工艺研究[D]. 厦门:厦门大学,2022.

[8] 袁巨龙,毛镁姣,李敏,等. 基于响应曲面法的 YG8 硬质合金刀片化学机械抛光工艺参数优化[J]. 中国机械工程,2018,29(19):2290-2297.

[9] XU Y C,LIN C,WANG Q T ,et al. A novel polishing process with rigid-flexible composite structure plate for sapphire wafer polishing[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2022,122(2):659-668.

[10] WEN H L,LU J,XU S ,et al. Mechanical chemical polishing of large-size single-crystal diamond substrates with a sol-gel polishing tool[J]. Journal of Manufacturing Processes,2022,80:210-219.

(责任编辑:陈雯)

(上接第 394 页)

参考文献:

[1] 于飞,潘元潮,张德胜,等. 鲍鱼海参浅海筏式吊养试验[J]. 水产养殖,2015,36(2):1-2.

[2] LARGO D B,DIOLA A G,MARABABOL M S. Development of an integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) system for tropical marine species in southern Cebu, Central Philippines[J]. Aquaculture Reports,2016,3:67-76.

[3] 董双林,董云伟,黄六一,等. 迈向远海的中国水产养殖:机遇、挑战和发展策略[J]. 水产学报,2023,47(3):3-13.

[4] 张墨言,陈雪,谢庆超,等. 微酸性电解水暂养的杂色鲍存活率及品质变化[J]. 中国农业科技导报,2019,21(11):157-162.

[5] 唐启升,韩冬,毛玉泽,等. 中国水产养殖种类组成、不投饵率和营养级[J]. 中国水产科学,2016,23(4):729-758.

[6] ACHMAD H,CHAKLADER M R,FOTEDAR R ,et al. From waste to feed: microbial fermented abalone waste improves the digestibility, gut health, and immunity in marron, Cherax cainii[J]. Fish & Shellfish Immunology,2023,137:108748.

[7] 葛伟宏,王兴强,苏家齐,等. 大亚湾深水网箱养殖海域表层沉积物碳、氮、磷分布特征及污染评估[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版),2023,32(4):51-59.

[8] 黄小华,庞国良,袁太平,等. 我国深远海网箱养殖工程与装备技术研究综述[J]. 渔业科学进展,2022,43(6):121-131.

[9] 秦松,田涛,杨军,等. 养殖海带、裙带菜根部附着力初步研究[J]. 水产科学,2019,38(1):34-39.

[10] 张飞,王昕怡,何芬芳,等. 东山湾海带养殖区沉积物中细菌群落结构变化[J]. 安徽农业科学,2024,52(15):59-61.

[11] 赵秀. 大型海藻龙须菜生长和凋落过程中细菌群落演替特征[D]. 广州:暨南大学,2022.

[12] KAUR G,GILL S S,RATTAN M. Artificial neural network and genetic algorithm based hybrid intelligence for performance optimization of novel inverted funnel shaped fin shaped field effect transistor with gate stack high- k dielectric[J]. Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics,2020,15(11):1385-1394.

[13] LIN W H,XIAO Q Z,YU F ,et al. Development of a low-density SNP genotyping panel by a novel technology mGPS and its application in germplasm identification of abalone[J]. Aquaculture,2023,565:739089.

(责任编辑:方素华)