

深水网箱养殖水性給料投饲机设计与研究

张世中¹,张天时¹,刘国涛¹,祝明韦²,杨涛²,赵磊³

(1 中国水产科学研究院黄海水产研究所,山东 青岛 266071;

2 青岛海兴智能装备有限公司,山东 青岛 266200;

3 三亚崖州湾农渔业发展有限公司,海南 三亚 572000)

摘要:为解决水产养殖中投饲劳动强度大、饲料破损率高、饲料浪费多,尤其是在深水网箱养殖中普通投饲机难以输送饲料至一定深度的问题,设计了一种专用的深水养殖水性給料投饲机。该投饲机结合了深水养殖的特点,以及之前在沉浮式网箱养殖方面的经验,并进行了相应试验来确定适宜的饲料与水质量比,以及进水泵功率和送料高度对吸料效率的影响,进行了饲料和水不同配比,以及不同水泵功率和不同输料深度等试验。结果显示:适宜的饲料与水质量比为1:6;随着进水泵功率的增加,吸料效率升高;当进水泵功率保持不变,随着水深度的增加,吸料效率逐渐减小;在进水泵功率为7.50 kW、扬程46 m时,该投饲机的吸料效率均值可达到9.46 kg/min,输送深度为水下10 m以下,满足了沉浮式网箱深水养殖的饲料投喂需求。研究表明,该水性給料投饲机可以在深水养殖中实现水下投饲,解决了深水网箱养殖面临的重要问题,并且具有较高的性价比,具有广泛应用和推广的潜力。

关键词:投饲机;深远海养殖;深水网箱;沉浮式网箱;吸料效率;输送深度

中图分类号:S969

文献标志码:A

文章编号:1007-9580-(2024)02-0039-006

近年来,更接近天然环境的网箱养殖成为新的发展趋势,但台风等海洋灾害性气候的频发严重阻碍网箱养殖的健康发展^[1]。随着网箱养殖规模的扩大,人工投饲的不足逐渐凸显出来。人工投喂存在不均匀性,费时、费工、劳动强度大、效率低,浪费饲料,同时污染水质,影响鱼类的生长发育,增加了养殖成本^[2]。饲料成本通常是水产养殖中最大的运营成本^[3],使用投喂设备降低养殖过程中所产生的饲料成本是提高经济效益的重要措施。投饲机作为一种代替人工投喂的机械设备,应用于不同水产养殖环境下的投饲,如室外池塘投饲^[4-6]、室内工厂化养殖投饲^[7-9]、深水网箱投饲^[10-12]等。

在水产养殖先进的挪威等国家,饲料精准投喂已经应用在不同的水产养殖领域,不仅提高了水产养殖的效率而且避免了饲料严重浪费问题^[13-14]。挪威AKVA集团公司的Akvasmart CCS投饲系统^[14],采用饲料定量加料器将饲料传送到气流中,速度高达192 kg/min;美国ETI公司研制出专为深水网箱设计的具有高精度性、高可靠性、大容量的Feedmaster投饲系统^[2],根据深水网

箱规格大小和网箱内鱼类数量调整下料器转速。近年来,国内的高校和科研机构对网箱投喂装置和技术进行了深入研究,并取得了一定的成果^[15-18]。根据不同投料方式分为下落式投饲机^[9]、离心式投饲机^[9]、气动式投饲机^[19]、水动力投饲机^[15]等。

设计了一种专用的深水网箱水性給料投饲机。该投饲机结合了深水养殖的特点,以及在沉浮式网箱养殖方面的经验,以便实现水下投饲。为了验证该投饲机的性能,进行了现场试验,并对投饲效果进行了评估。

1 深水网箱投饲机的结构设计和试验方法

1.1 深水网箱投饲机的结构设计

由流体力学原理可知,对于变内径管道,若流量恒定,管径与流速成反比,管径与水压强成正比^[20]。利用这一原理,设计一款深水养殖投饲机。该投饲机管道内流体的流量受喉部直径及进出口压强的影响,其余影响参数为流体系数^[20]。流量方程如式(1)所示。

$$Q = 0.003\ 998\ 595 \times d^3 \times \alpha \times \varepsilon \times \Delta P / \rho \quad (1)$$

收稿日期:2023-10-27

基金项目:海南省科技专项(ZDYF2022GXJS347);国家重点研发计划重点专项项目(2022YFF1000300)

作者简介:张世中(1999—),男,工程师。研究方向:渔业装备的开发和利用。E-mail:zhangsz0703@163.com

通信作者:张天时(1976—),男,博士,副研究员。研究方向:设施渔业。E-mail:zhangts@ysfri.ac.cn

式中: Q 为流量, m^3/h ; d 为喉部直径, mm ; α 为试验介质可膨胀系数, 对于试验中介质水, 取 $\alpha = 1.0$; ρ 为试验介质密度, kg/m^3 ; ΔP 为压差, Pa , 且 $\Delta P = K_1 \times \Delta \omega$, 其中 K_1 为系数, 对同一个节流装置而言基本为一个常数; $\Delta \omega$ 为压损, Pa , $\Delta \omega = P_1 - P_2$; P_1 为入口压强, MPa ; P_2 为出口压强, MPa 。

该深水养殖投饲机主要由水泵、饲料箱、进水管、锥形喷头、进料管、吸料管和输料管等部分组成。饲料箱位于锥形喷头正上方, 并通过进料管与下端吸料管接头上的饲料入口连接。进料管上连接有进水管。以上是深水网箱投饲机的基本构成, 具体结构示意图如图 1 所示。

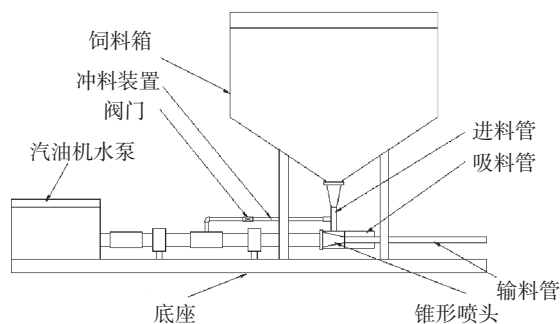


图 1 投饲机示意图

Fig. 1 Sketch of the feeding machine

参照宋协法等^[15]、颜永丰等^[20]和刘馥瑜^[21]的计算方法、设计和参数, 以及在 10 m 水下沉浮式网箱养殖中需饲量为 10 kg/min 左右, 首先设计投饲机锥形喷头最小端直径为 45 mm, 长度 169 mm; 然后依次设计输料管与锥形喷头接口管道内径为 118 mm; 输料管空腔内径为 118 mm, 长度 179 mm; 输料管后端内径为 44 mm, 长度 223 mm; 进料管接口口径为 100 mm; 饲料箱上半部分为圆柱状, 下半部分为圆锥形, 饲料箱总高度为 1 520 mm, 其中圆柱形高度为 1 330 mm、直径 1 600 mm, 圆锥形高度为 190 mm, 在出料口处利用转径连接 63 mm 进料管; 进水管管径为 20 mm, 进水量可控制; 进料管的上端设置拨片, 用于控制饲料输出量, 以实现饲料与水以一定比例混合。该装置为宜兴市鸣煌环保科技有限公司制作。

1.2 吸料喷头和进料管组合的结构设计

吸料喷头和进料管组合的结构如图 2 所示, 包括锥形喷头和进料管等, 锥形喷头为管状锥形体, 进料管接头包括空腔、饲料箱接口和进料管接口, 空腔的直径大于进料管接口的直径, 真空腔的

侧壁上设有饲料入口, 真空腔与进料管接口的交接处为圆弧形过渡区, 锥形喷头的直径等于进料管接口的直径, 锥形喷头插入真空腔后, 在锥形喷头与真空腔壁之间形成真空腔。

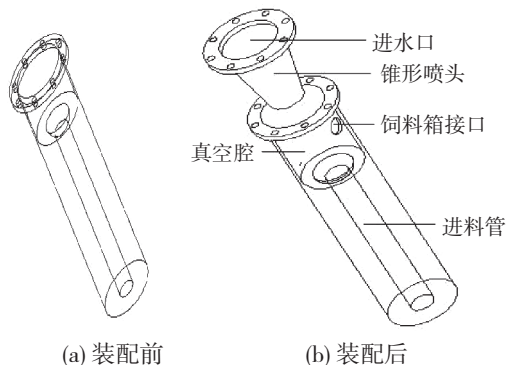


图 2 吸料喷头和进料管装配图

Fig. 2 Assembly drawing of the suction nozzle and feeding pipe

1.3 方法

在投饲机测试中, 设定 8 mm 粒径饲料与水质量比为 1:1、1:2、1:3、1:5、1:6、1:7、1:8、1:9, 以及进水水泵功率为 1.00、2.75、3.75、5.60、7.50 kW, 输料水深 3、6、10 m 等参数, 并用梯度、正交等设计方法来测量吸料效率。根据试验结果, 利用 SPSS 软件进行数据分析。

利用投饲机单位时间内吸料的质量, 作为吸料效率:

$$V = G/T \quad (2)$$

式中: V 为吸料效率, kg/min ; G 为吸料的质量, kg ; T 为吸料所用时间, min 。

2 结果

2.1 饲料与水配比测试

试验选择功率 7.5 kW、扬程 46 m 的水泵, 并采用了 44 mm 软性管道作为出料管道, 将其出料口深入到水下 10 m。然后将水泵、饲料箱、进水管、锥形喷头、输料管和软性出料管道等进行了连接组装, 进行水下 10 m 投饲试验。在试验中, 通过控制饲料箱中饲料输出量和进料管中进水量, 调整至饲料与水的设定配比。试验结果显示, 只有 1:1 和 1:2 的饲料配比堵塞在管道中, 其他配比的饲料均可通过管道, 而且 1:6 的质量比具有最快的吸料效率, 其值可达到 10.0 kg/min 左右。

2.2 投饲机进水水泵功率对吸料效率影响测试

在控制进水泵功率变量中,仅改变投饲机进水水泵功率,其余条件不变。用 8 mm 粒径饲料,按照饲料和水的质量比 1:6 混合。开启投饲机的进水水泵,调整投饲机进水水泵功率至设定值。结果显示:当投饲机的进水水泵功率为 1.00 kW 时,吸料管道的吸力非常弱,无法顺利将饲料吸入管道中。因此,在实际生产中,投饲机的进水水泵功率过低时,将导致投饲机无法正常运行。而在其他进水水泵功率下,随着进水水泵功率的增加,吸料效率也相应升高,其均值依次为 4.60、6.02、6.67、12.03 kg/min,其具体结果如表 1 所示。

表 1 不同投饲机进水水泵功率的吸料效率对比

Tab. 1 Comparison of suction rate of feeding machine at different water pump power

投饲机 进水水泵功率	吸料效率/(kg/min)		
	试验 1	试验 2	试验 3
1.00 kW	无法吸料	无法吸料	无法吸料
2.75 kW	4.62	4.61	4.58
3.75 kW	6.00	6.05	6.02
5.60 kW	6.67	6.65	6.68
7.50 kW	12.00	11.80	12.30

根据以上数据结果,使用 SPSS 软件对试验数据进行了统计分析,如图 3 所示。其结果显示:在不同投饲机的进水水泵功率下,进水水泵功率对吸料效率有显著影响($P>0.05$)。

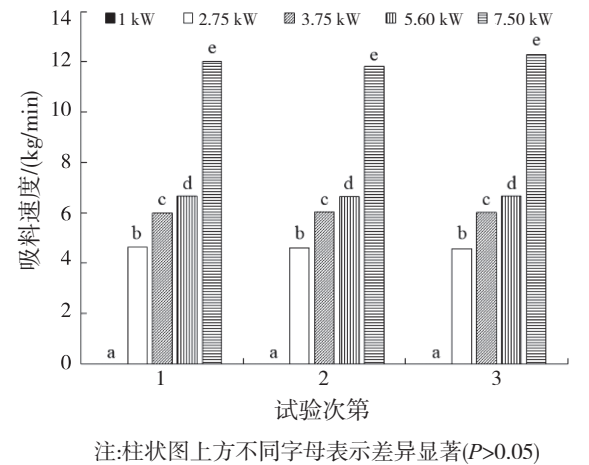


图 3 不同投饲机进水水泵功率下吸料效率分析数据

Fig. 3 Analysis of suction rate of feeding machine at different water pump power

2.3 不同输料水深和进水水泵功率对吸料效率的影响结果

测试结果如表 2 所示。

表 2 不同输送水深和进水水泵功率对吸料效率测试结果

Tab. 2 Suction rate test results at different delivery dephts and water pump power

水深	吸料效率/(kg/min)		
	3.75 kW	5.60 kW	7.50 kW
3 m	9.35	10.60	14.71
	9.15	10.38	14.93
	9.40	10.90	15.42
6 m	7.98	9.79	13.25
	7.58	9.68	13.78
	7.88	9.88	13.45
10 m	投饲机无法吸取饲料	7.05	9.10
		7.11	9.68
		6.83	9.60

通过设计投饲机不同输料水深,以及投饲机进水水泵 3.75、5.60 和 7.50 kW 等不同功率,开展了不同输料水深和进水水泵功率对吸料效率的影响试验。结果显示:当投饲机的输送深度为 10 m,进水水泵功率为 3.75 kW 时,吸料管道的吸力非常弱,投饲机无法顺利将饲料吸入管道中;其他条件下都能正常吸取饲料,并且随着进水水泵功率的增加,吸料效率升高;当进水水泵功率保持不变,随着水深深度的增加,吸料效率逐渐减小,其中进水水泵功率 7.50 kW、水深 3 m 时,吸料效率最快,其均值为 15.02 kg/min;在进水水泵功率为 7.50 kW、扬程 46 m 和输送深度为水下 10 m 时,3 次验证试验吸料效率分别为 9.10、9.68、9.60 kg/min,吸料效率平均值为 9.46 kg/min。

根据以上数据结果,使用 SPSS 软件对数据进行了统计分析,如图 4 所示。投饲机进水水泵功率和输送深度对吸料效率有显著影响($P>0.05$),并且随着输送深度的增加,吸料效率逐渐减小;而随着进水水泵功率的增加,吸料效率逐渐增大。

3 讨论

3.1 水性给料投饲机的投饲优势

在对深水网箱中养殖的水产生物进行投喂时,投饲方案多为管道或导轨输送饲料进行定点

投料^[22-26],或是使用投饲船于湖面、海面进行巡航式饲料投喂^[27-29],上述投料方式存在吹送距离较近、输料管转弯角度不能过大、撒料不均匀、抛撒面太大、饲料随水流飘散到网箱外等问题。而下落式投饲机、离心式投饲机、气动式投饲机等一般通过重力、离心力或气流将饲料颗粒抛撒和吹过管道,不仅容易造成颗粒损坏,而且在管道中留下大量灰尘和油料残渣,需要定期清洁,因此增加了运营和维护成本。该投饲机使用水力供饲、水力抽负吸饲、水动力投饲,在进水泵功率

7.50 kW、扬程 46 m 时,吸料效率均值可达到 9.46 kg/min。该投饲机的吸料喷头与宋协法等^[15]采用“突然扩大装置”制造的深水网箱投饲机喷头的设计相同,但该研究的水流在从锥形喷头出来后,没有采取宋协法等^[15]进入管径更宽的输料管道,而是保持输料管道管径不变,这样使锥形喷头出来的水流在吸入饲料后仍然保持初始速度进入输料管,因此该投饲机的设计能够满足水平输送饵料或者水下 10 m 的深水养殖网箱投饲需求。

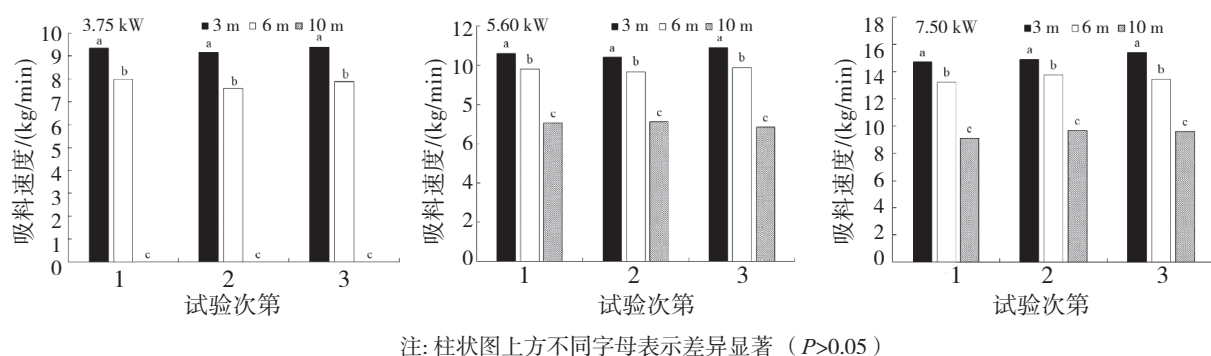


图4 不同输送深度和进水水泵功率下吸料效率分析

Fig. 4 Analysis of suction rate at different delivery depths and water pump power

3.2 不同进水水泵功率对吸料效率的影响

为了解决深水养殖中投饲问题,特别是在台风到来前,需要将养殖网箱下沉到海平面以下一定深度,需要将饲料输送到水下一定深度,该研究进行了不同投饲机进水泵功率对吸料效率影响的测试。该投饲机在 10 m 水下网箱输料测试,按照 1:6 的固定质量配比将 8 mm 粒径饲料与水混合,并依次将进水泵功率设置为 3.75、5.60 和 7.50 kW。测试结果显示,随着进水泵功率的增加,吸料效率也随之升高。该结果与蒋彬等^[30]的投饲效率随着风速的提高而增大结果一致,即投饲机功率与投饲效率呈现正相关关系,投饲效率随着投饲机功率的提高而增大。

3.3 水性给料投饲机的智能化投喂探析

在进水泵功率为 7.50 kW 和扬程 46 m 时,该投饲机的吸料效率均值可达到 9.46 kg/min,输送深度为水下 10 m 以下,满足了沉浮式网箱深水养殖的饲料投喂需求。但为了满足深远海无人值守的全自动投喂的需求,该研究将进一步开展投饲机远程监控和控制研究,通过互联网实时监测

和调节饲料投放量、频率和状态,提高养殖效率,降低人工成本和风险;并通过收集养殖环境、鱼类行为和其他数据作为控制程序的输入变量,结合控制和传输模块以实现智能投喂^[31-32],实现远程自动精准化投喂。随着技术的不断更新,其功能和性能将不断优化和完善,实现更精准的喂养控制、更高的稳定性和更低的能耗排放,将成为推动深水养殖精准化、绿色化、无人化的重要助力。

4 结论

本研究通过大量的梯度和正交试验,确定了适宜的饲料与水质比为 1:6;在进水泵功率为 7.50 kW、扬程 46 m 和输送深度为水下 10 m 时,吸料效率平均值为 9.46 kg/min,并据此设计制造适合深水养殖的水性给料投饲机,实现了海平面以下 10 m 投饲,解决了深水养殖产业的一大难点,并且其性价比高、结构简单、可靠性好,不受饲料特性与环境变化的影响,减少饲料损失。该水性给料投饲机的推广与使用,对提高深水养殖集约化养殖精确投饲操作和管理水平,促进深水网

箱养殖产业工业化、现代化发展将起到积极作用。



参考文献

- [1] 郭敬,朱业,李婷,等.深水网箱养殖的海浪灾害风险预警研究—以浙江省南麂岛地区为例[J].海洋开发与管理,2022,39(12):24-28.
- [2] 吴强泽,袁永明.渔用投饵机产品现状及发展趋势[J].江苏农业科学,2015,43(10):458-461.
- [3] EL SHAL A M, EL SHEIKH F M, ELSBAAY A M. Design and fabrication of an automatic fish feeder prototype suits tilapia tanks [J]. Fishes, MDPI AG, 2021, 6(4):74.
- [4] 董志平,王志坤.池塘自动喂养机[J].河北农机,2018(9):23.
- [5] 李新成,林德峰,王胜涛,等.基于物联网的水产养殖池塘智能管控系统设计[J].水产学杂志,2020,33(1):81-86.
- [6] 徐志强,王涛,鲍旭腾,等.池塘养殖自动投饲系统远程精准化升级与验证[J].中国工程机械学报,2015,13(3):272-276.
- [7] 景新,樊树凯,史颖刚,等.室内工厂化水产养殖自动投饲系统设计[J].安徽农业科学,2016,44(11):260-263.
- [8] 周晓林.微型定量自动投饵机的设计[J].渔业现代化,2012,39(2):69-72.
- [9] 于泽,姜忠爱,张靖铎,等.水产养殖自动投饵机发展现状[J].河北渔业,2020(1):57-60.
- [10] 禹振军,熊波,陈玉梅,等.投饵机种类及适应性分析[J].农业机械,2020(9):116-117.
- [11] 吴子岳,刘兆明.深水网箱需求式自动投饵装置的初步研究[J].海洋水产研究,2004,25(5):70-73.
- [12] 王俊会.深水网箱精准投饵策略设计与实现[D].湛江:广东海洋大学,2019.
- [13] 朱明,张镇府,黄凰,等.鱼类养殖智能投喂方法研究进展[J].农业工程学报,2022,38(7):38-47.
- [14] 胡昱,郭根喜,黄小华,等.深水网箱养殖自动投饵计量装置设计[J].南方水产科学,2014,10(2):80-85.
- [15] 宋协法,路士森.深水网箱投饵机设计与试验研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2006,36(3):405-409.
- [16] 胡昱,郭根喜,汤涛林,等.基于MCGS的深水网箱自动投饵远程控制系统的研究[J].渔业科学进展,2010,31(6):110-115.
- [17] 胡昱,郭根喜,黄小华.基于PLC的深水网箱自动投饵系统[J].南方水产科学,2011,7(4):61-68.
- [18] 王俊会,俞国燕,刘峰春,等.船载式深水网箱投饵系统设计与试验[J].广东海洋大学学报,2019,39(6):124-129.
- [19] 成佩庆.气动式鱼塘投饵机的改进与优化[D].南京:南京农业大学,2015.
- [20] 颜永丰,庞飞,何杰,等.文丘里管渐缩段影响限流性能试验与仿真[J].湖南工业大学学报,2023,37(1):46-53.
- [21] 刘馥瑜.文丘里管空化稳流特性研究[D].青岛:山东科技大学,2018.
- [22] AARSETH K A, PEREZ V, BØE J K, et al. Reliable pneumatic conveying of fish feed [J]. Aquacultural Engineering, 2006, 35(1):14-25.
- [23] PAPANDROULAKIS N, DIMITRIS P, PASCAL D. An automated feeding system for intensive hatcheries [J]. Aquacultural Engineering, 2002, 26(1):13-26.
- [24] 袁凯.投饵机器人关键技术研究[D].上海:上海海洋大学,2013.
- [25] GUNDOĞDU M Y. Design improvements on rotary valve particle feeders used for obtaining suspended airflows [J]. Powder Technology, 2004, 139(1):76-80.
- [26] 乔峰.网箱养殖投饵机及其控制[D].宁波:宁波大学,2016.
- [27] 孟祥宝,黄家桢,谢秋波,等.基于自动巡航无人驾驶船的水产养殖在线监控技术[J].农业机械学报,2015,46(3):276-281.
- [28] 孙月平,赵德安,洪剑青,等.河蟹养殖船载自动均匀投饵系统设计与效果试验[J].农业工程学报,2015,31(11):31-39.
- [29] 郭子淳,黄家桢,王水传.智能投饵船研究现状与展望[J].农业机械学报,2020,51(增刊1):385-396.
- [30] 蒋彬,禹振军,高娇,等.风送式投饵机投饵性能试验研究[J].农业机械,2019(11):115-118.
- [31] PETRELL R J, ANG K P. Effects of pellet contrast and light intensity on salmonid feeding behaviours [J]. Aquacultural Engineering, 2002, 25(3):175-186.
- [32] SARKER P K, BUREAU D P, HUA K, et al. Sustainability issues related to feeding salmonids: A Canadian perspective [J]. Review in aquaculture, 2013, 5(4):199-219, 280.

Design and study of water-based feeding machine for deep-sea cage culture

ZHANG Shizhong¹, ZHANG Tianshi¹, LIU Guotao¹, ZHU Mingwei², Yang Tao², ZHAO Lei³

(1 Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, Shandong, China;

2 Qingdao Haixing Smart Equipment Limited company, Qingdao 266200, Shandong, China;

3 Sanya Yazhou Bay Agriculture and Fisheries Development Limited company, Sanya 572000, Hainan, China)

Abstract: A specialized water-based feeding machine for deep-sea culture has been designed to address labor-intensive feeding, high feed damage rates, and excessive feed wastage in aquaculture. This is particularly useful in deep-sea cage culture where conventional feeding machines struggle to deliver feed to certain depths. The feeding machine combines the characteristics of deep-sea culture with previous experience in sinking and floating aquaculture cages. Relevant experiments were conducted to determine the suitable feed-to-water weight ratio, water pump power, and the effect of conveying height on the suction rate after conducting experiments with different ratios of feed and water, as well as varying water pump power and different feeding depths. The results showed that the suitable feed-to-water mass ratio is 1 : 6. As the water pump power increases, the suction rate also increases. When the water pump power remains constant, the suction rate decreases with the increase of the delivery pipe height. With a water pump power of 7.50 kW and a lifting height of 46m, the average suction rate of the feeding machine can reach 9.46 kg/min. The delivery depth can reach below 10 meters underwater, meeting the feeding requirements of sinking and floating aquaculture cages in deep water. Therefore, the water-based feeding machine enables underwater feeding in deep-water cage aquaculture, addressing a significant challenge in this field. It offers a cost-effective solution with great potential for widespread application and promotion.

Key words: feeding machine; deep-sea culture; deep-sea cage; floating and sinking cages; suction rate; delivery depth