

文章编号 : 1005-9865 (2005) 04-0015-06

重力式与碟形网箱的锚绳受力特性比较

李玉成¹, 桂福坤¹, 宋 芳², 董国海¹

(1. 大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024; 2. 中国科学院 力学研究所, 北京 100080)

摘 要:针对常见的重力式、碟形和拟碟形网箱在不同下潜深度状态下的锚绳受力特性进行了试验研究。试验共设模型 4 组, 分别在纯流、纯波以及波流联合条件下进行。测力通过系缚于锚绳底端的 4 个拉力传感器获得。试验结果表明水流作用力的大小在很大程度上受网箱结构形式的影响, 而在波浪条件下其影响相对较小。重力式网箱的配重形式及下潜形式对网箱的受力具有重要影响。另外, 网箱在波流组合条件下的受力并不是纯流及纯波单独作用下的简单叠加。最后, 在综合比较网箱价格和性能的前提下, 对网箱结构形式的选择进行了一些讨论, 并提出若干建议。

关键词:重力式网箱; 碟形网箱; 锚绳; 受力特性

中图分类号: S967.3; O353.2

文献标识码: A

Comparison on the mooring line force characteristics of gravity and sea station cages

LI Yur-cheng¹, GUI Fur-kun¹, SONG Fang², DONG Guo-hai¹

(1. The State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering of Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China)

Abstract: This paper presents experimental studies focusing on the force characteristics comparison of different cage models. A total of four models were used including two Gravity cages, one Sea Station cage and one Quasi-Sea Station cage. Tests were carried out under pure current, pure wave and wave combined with current conditions, respectively. The force data were measured through the transducers attached to the bottom of each mooring line. Analyzed results showed that current-induced loads depended on the cage style greatly but turned out to be relatively weak under wave conditions. The weight configuration and submerging method presented significant effects on the mooring line forces. Results under wave-current conditions were also analyzed revealing that the loads acting on cage models were not the algebraic superposition of those under pure current and pure wave conditions. Comparisons on mooring line forces were also made between different cage models and some conclusions on the selection of the cage style for deep water aquaculture were drawn.

Key words: gravity cage; sea station cage; mooring line; force characteristics

深水网箱养殖是海洋牧场建设的重要手段之一, 在其发展及应用过程中出现了多种结构形式, 其中以重力式和碟形深水网箱应用最为普遍^[1]。国内外关于网箱的水动力特性已进行了不少研究, 但结果存在较大差异。Colbourne^[2]等曾对多种配重形式和锚碇形式的重力式网箱的水动力特性及运动特性进行试验, 指出波浪不是网箱荷载的主要因素, 而水流有可能是至关重要的。在北美一些国家, 比较推崇碟形网箱, Gary Loverich^[3,4]曾通过原型比较试验而极力推荐碟形网箱。David Fredriksson^[5]也对重力式网箱及碟形网箱的水动力特性及运动特性进行了比较。李玉成^[6,7]等对碟形及拟碟形网箱的受力特性进行了系列研究, 并获得

收稿日期: 2004-02-18

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (50279002); 海洋 863 计划资助项目 (2001AA623010; 2003AA623010)

作者简介: 李玉成 (1932 -), 男, 浙江宁波人, 教授, 主要从事海洋工程研究。

2 不同条件下网箱锚绳受力情况

2.1 纯水流作用时各模型网箱锚绳受力比较

如图 1 所示,各模型沿纵向及横向对称布置,因此在同一方位的两根锚绳受力可以叠加,从而弥补由于网箱在水流作用下引起横向震动而导致同方位两根锚绳的受力大小存在不同步的现象。试验流速条件及受力结果如图 2 及图 3 所示(图中: F 表示漂浮; U_1 表示下潜 $1/3$ 水深; U_2 表示下潜 $1/2$ 水深;均为重力式网箱模型; U_3 表示下潜 $2/5$ 水深,碟形网箱和拟碟形网箱模型下潜布置)。

由图 2 可见,漂浮状态下,拟碟形网箱锚绳受力显著大于其它模型锚绳受力,这与拟碟形网箱的结构形式及网箱尺度有关。其它三组网箱模型的受力差异不大。由图 3 可见,网箱下潜后的锚绳受力不仅与网箱结构形式有关,而且与网箱的配重形式和下潜形式具有密切关系。模型 I 为双浮管灌水下潜,漂浮与下潜时的配重大小及形式均未改变。网箱下潜后,锚绳受力存在一定的衰减,但随着流速的增大,衰减比例变化不大。模型 II 为单浮管灌水并且运用沉降圈增加配重的方式实现下潜,但由图 3 可见,该网箱模型下潜后锚绳受力不但没有降低,反而出现较大的增加。可见重力式网箱下潜后的锚绳受力在很大程度上与网箱的配重形式及下潜方式有关。从总体上看,纯水流作用条件下,网箱下潜 $1/3$ 和下潜 $1/2$ 对网箱的受力没有大的改变,可见在纯流条件下,下潜深度对重力式网箱没有重大影响。

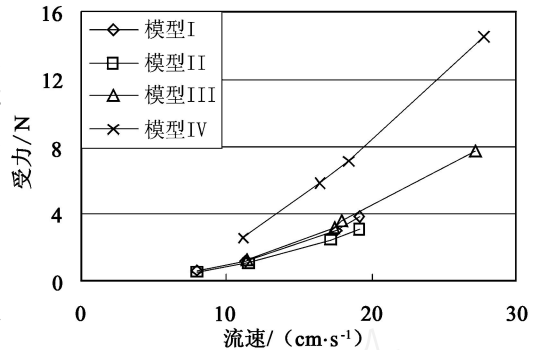


图 2 漂浮状态时网箱的锚绳受力比较
Fig. 2 Comparison of mooring line forces of each model under floating condition

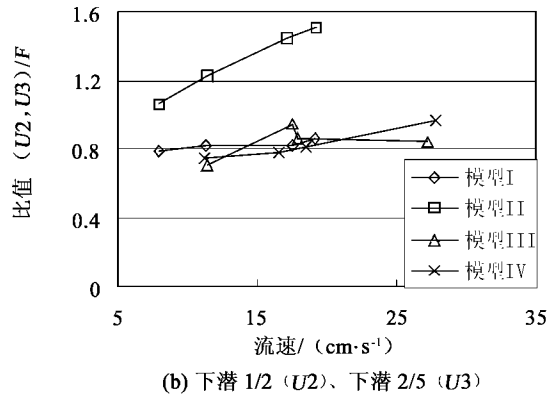
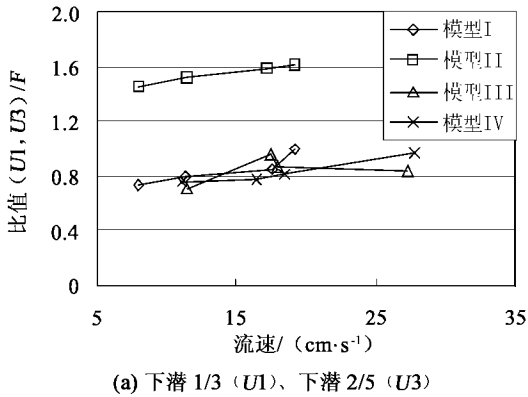


图 3 各组模型在不同下潜深度与漂浮状态下的受力比值

Fig. 3 Comparison of mooring line forces under floating and different submerged depth conditions

2.2 纯波浪作用时各模型网箱锚绳受力比较

实际海域中,波浪是作用在网箱上最为常见的环境荷载。避免大波浪产生的破坏是网箱下潜的一个最主要目的。本文通过模型试验分析比较纯波浪作用下,不同下潜深度对重力式、碟形和拟碟形网箱锚绳受力的影响。纯波浪作用下,对锚绳的受力过程线进行分析发现,各种模型的迎波面锚绳的最大受力均大于背波面锚绳的最大受力,因此纯波浪的作用均以迎波面两根锚绳的合力最大值进行分析比较。试验条件及试验结果如图 4 及图 5 所示。

由图 4 可见,漂浮状态下,总体上模型 I 的受力最小。相比之下,模型 II 的锚绳受力较大,而模型 III 的配重远大于模型 I 的配重,但模型 III 的配重系统中设置有底圈,这说明对于重力式网箱来说,纯波浪条件下配重的大小未必是受力增加的关键因素,而配重形式的影响更为重要。

网箱下潜时,除模型 I 外,其它模型的实测锚绳受力均在下潜后表现出较好的衰减效果,而且波浪越大,衰减的效果越好,最大衰减量约为 $70\% \sim 80\%$ 。从衰减的幅度来看,重力式网箱下潜 $1/3$ 和下潜 $1/2$ 对于网箱锚绳的受力减小没有显著的影响,说明在达到一定的下潜水深后,波浪对网箱作用的影响程度将趋于稳

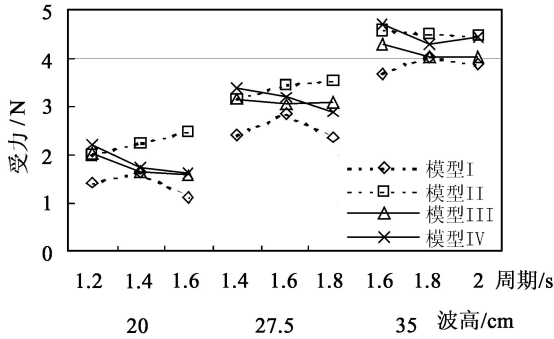


图 4 漂浮时各模型的锚绳受力比较

Fig. 4 Comparison of mooring line forces of each model under floating condition

定。当然适宜的下潜深度取决于网箱本身的强度要求、运动幅度、变形要求、网箱下潜的可操作性以及鱼类生长的适应条件等一系列因素。模型 在下潜后,锚绳的受力有随着波高增大而增大的趋势,即受力的衰减效果随波浪的增大而减小,与其它模型网箱的锚绳受力变化规律刚好相反,产生这一结果的原因尚不清楚,但试验过程中发现,较大的波浪作用一定时间后,网箱模型出现上升现象,上升最大时浮架接近于水面,这势必导致锚绳受力的增加,从而导致与飘浮时的受力比值增大(但均小于 1.0)。实际应用中为避免这一现象的发生,网箱下潜时的配重应考虑适当增大。

漂浮及下潜状态下,拟碟形与碟形网箱的锚绳受力规律基本相似,均随着波高的增加而增大,而与周期的关系不显著,锚绳受力总体上差异也不大。尽管在尺度上大于重力式网箱,但锚绳的受力却没有显著增大,甚至还小于模型 的结果,碟形及拟碟形网箱具有较好的抗波浪能力。

漂浮及下潜状态下,拟碟形与碟形网箱的锚绳受力

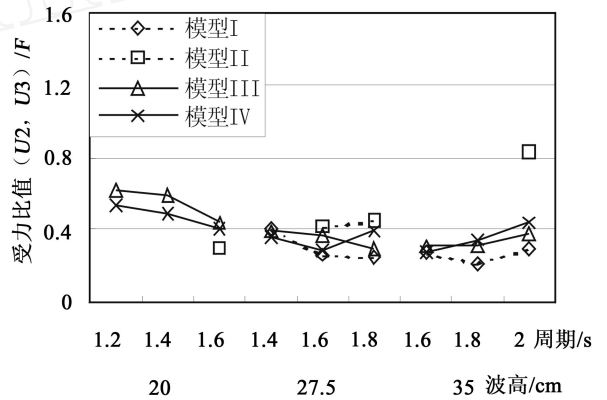
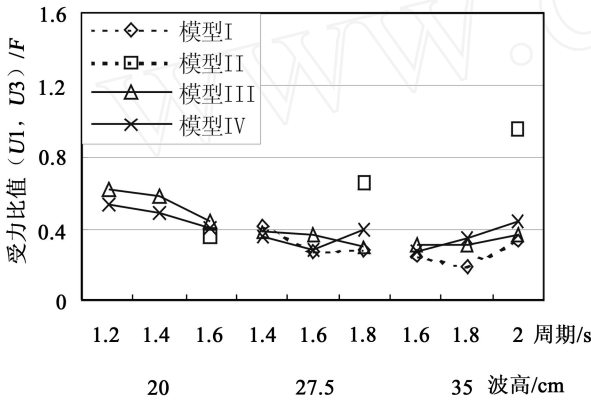
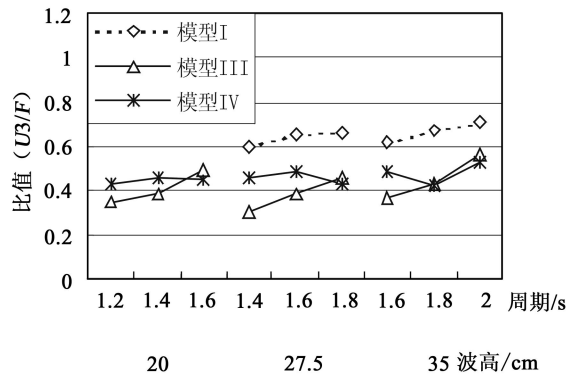
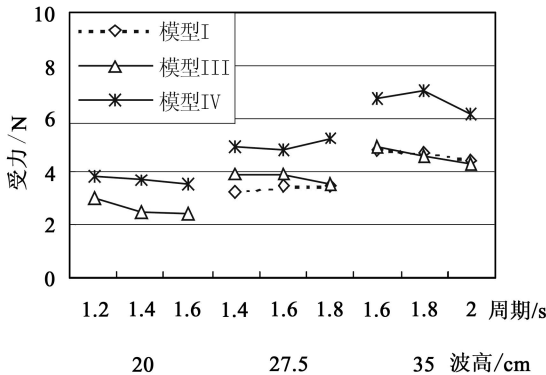


图 5 不同下潜深度与漂浮 (F) 状态下的锚绳受力比值

Fig. 5 Comparison of mooring line forces under floating and different submerged depth conditions

2.3 波浪和水流联合作用时各模型网箱锚绳受力比较

本试验中进行了顺流与波浪组合试验,即波浪传播方向与水流流向一致。试验时先按照设计流速造流,当流速基本稳定后再进行造波。为减小试验工作量,仅比较模型、及模型 三种网箱在顺流(流速分别为 $S_1 = 11.54$ 和 $S_2 = 17.29$ cm/s)与波浪(波浪条件与纯波相同)组合条件下的锚绳受力,且重力式网箱仅设置一种下潜深度,即下潜 $U_3 (= 2/5)$ 水深。试验条件及试验结果见图 6~图 7。



(a) 顺流 ($S_1 = 11.54$ cm/s)

(b) 顺流 ($S_2 = 17.29$ cm/s)

图 6 漂浮状态下各模型迎波面锚绳受力比较

Fig. 6 Comparison of mooring line forces of each model under floating condition

由图 6 可见,飘浮状态下,受结构尺度及形式的影响,拟碟形网箱的锚绳受力显著大于碟形和重力式网箱模型的锚绳受力。而相同体积下的重力式网箱和碟形网箱的锚绳受力特性近乎相同。比较图 6 中的(a)、(b)两图可知,流速的增大使网箱锚绳的受力总体上略有增加,但幅度不大。

网箱下潜后,各网箱模型的锚绳受力有较大幅度的衰减,但从总体上来看,衰减的幅度介于纯流和纯波浪作用条件下的受力衰减幅度,如图 7 所示。比较图 7 中的(a)、(b)两图可知,波流联合作用时,下潜后碟形网箱相比之下表现出较好的抗浪流能力,而且流速增大时受力没有出现大的变化,较为稳定。下潜后的重力式网箱较之碟形及拟碟形网箱,受力衰减幅度较小。

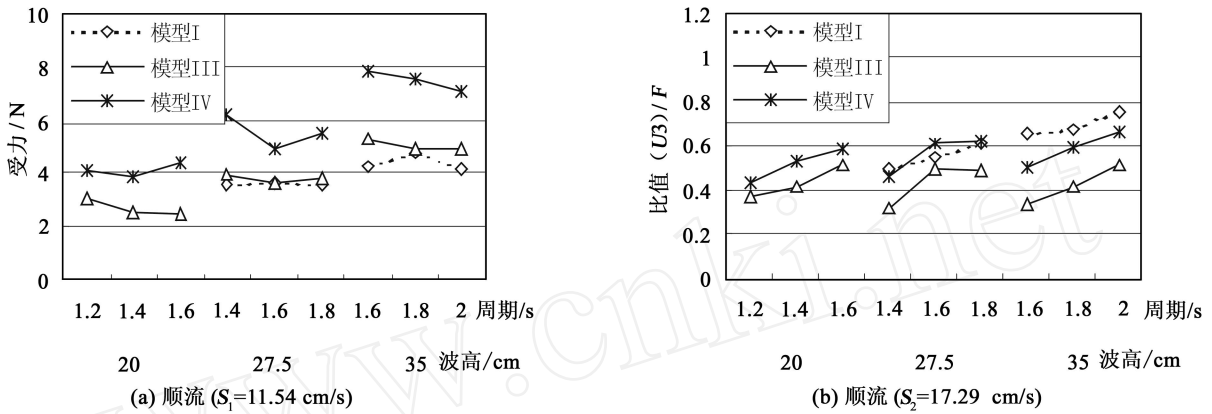


图 7 下潜 2/5(U3) 状态下各模型迎波面锚绳受力与漂浮(F)时的比较

Fig. 7 Comparison of mooring line forces under 2/5(U3) submerged depth condition

3 试验结果及分析

不同结构形式的深水网箱受水流及波浪的作用不同。即使相同结构形式的网箱在不同的配重条件下,其锚绳受力特性也可能表现出很大的差异。表 2、表 3 是漂浮和下潜状态下,各种网箱模型在纯流、纯波及波流联合作用下的锚绳受力、网箱参数及价格的综合比较,分析比较以大波浪大流速条件为依据。

表 2 漂浮状态下各网箱模型的综合比较(比值)

Tab. 2 Comprehensive comparison of each cage model under floating condition (ratios)

模型	型式	纯流/(cm s ⁻¹)			纯波(H=35 cm)			波流联合(H=35 cm) + (S ₂ =17.29 cm/s)			直径	容积	价格
		11.5	15.5	17.2	T=1.6 s	T=1.8 s	T=2.0 s	T=1.6 s	T=1.8 s	T=2.0 s			
模型	重力式	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
模型	重力式	0.83	0.83	0.83	1.24	1.12	1.16	—	—	—	1.0	1.0	1.0
模型	碟形	0.97	1.02	1.04	1.16	1.00	1.04	1.24	1.04	1.18	1.57	1.03	4~5
模型	拟碟形	2.11	2.08	2.06	1.27	1.06	1.14	1.84	1.58	1.71	1.57	2.27	>5

表 3 下潜状态下各网箱模型的综合比较(比值)

Tab. 3 Comprehensive comparison of each cage model under submerged condition (ratios)

模型	型式	纯流/(cm s ⁻¹)			纯波(H=35 cm)			波流联合(H=35 cm) + (S ₂ =17.29 cm/s)			直径	容积	价格
		11.5	15.5	17.2	T=1.6 s	T=1.8 s	T=2.0 s	T=1.6 s	T=1.8 s	T=2.0 s			
模型	重力式	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
模型	重力式	1.61	1.51	1.48	—	—	3.29	—	—	—	1.0	1.0	1.0
模型	碟形	0.84	1.12	1.11	1.43	1.63	1.16	0.64	0.63	0.81	1.57	1.03	4~5
模型	拟碟形	1.96	1.92	1.90	1.40	1.97	1.50	1.41	1.40	1.51	1.57	2.27	>5

本文的研究分析表明,配重形式及下潜形式对重力式网箱的锚绳受力具有显著影响。比较表 2 及表 3 可见,模型 的受力较为不利,尤其是在下潜后受力大幅度增加,实际应用中应对采用底圈及沉降圈设置的

利弊作审慎的分析。

漂浮状态下,体积相近的碟形网箱和重力式网箱的锚绳受力差异不大。下潜后,重力式网箱在纯流及纯波浪时的受力总体上小于碟形网箱的受力,但在波流联合作用下却大于碟形网箱的受力,因此总体来看,碟形网箱的锚绳受力较稳定。受网箱尺度及结构形式的影响,拟碟形网箱无论在漂浮或下潜状态下均表现出较大的受力特性。单从受力的角度来看,碟形网箱并不比重力式网箱(无底圈及沉降圈配置)具有明显优势,因为网箱的操作性及价格问题将在形式选择中起决定作用。由表 2 可见,相同容积条件下的碟形网箱的价格为重力式网箱价格的 4~5 倍^[1],国内仿制生产的重力式网箱的价格较引进网箱可降低约 40%,每台约 7~8 万元,而且规模化生产后还有可能降低成本。

4 结 语

综上所述,深水网箱作为近海养殖设备,其安全性及适用性需要相互协调。合理的选择网箱设备的布置场地、结构形式、规模大小以及锚碇形式等,在很大程度上取决于现有的养殖条件、设置区域海况条件以及网箱附属设施的配套等条件。目前我国深水网箱养殖事业处于初级阶段,与挪威、美国、日本等国在深水养殖领域存在相当差距。当前,在网箱的结构形式选择上采用安装、管理较为方便而且价格较低廉的重力式网箱将更适合我国国情。对于网箱设施的场址建议选择于具有一定天然屏障的半开放式水域,以尽量减小可能带来的损失。因为海况条件过于恶劣,即使网箱自身具备足够的抗浪流能力,也会对鱼类的生长带来很大影响。网箱的规模大小可以根据所处水域条件进行选择,周长最好在 50 m 以内,以克服安装及换网、起捕等配套设备不完善的现实国情。为了克服网衣的变形,试验表明可以对配重大小及形式进行优化,适当地增加沉子的重量具有一定的效果,但其重量需视所处海域条件及配套管理设施和能力而定。同时新型重力式网箱的设计也有待开展。

为了使深水网箱的发展与应用具有坚实的理论与技术基础,深入研究深水网箱的水动力特性是一项重要的基础工作,应给予充分重视和加大投入,以推动深水网箱产业的顺利发展。

参考文献:

- [1] 桂福坤,王炜霞,张怀慧. 网箱工程发展现状及展望[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(1): 70 - 78.
- [2] D B Colbourne, J H Allen. Observations on motions and loads in aquaculture cages from full scale and model scale measurements[J]. Aquacultural Engineering, 2001, 24: 129 - 148.
- [3] Gary Loverich. A summary of the case against the use of gravity cages in the sea farming industry[J]. Aquaculture Pacific Exchange Campbell River, British Columbia, Canada, 1997, (9): 65 - 78.
- [4] Gary Loverich, Langley Gace. The affect of current and waves on several classes of offshore sea cages[J]. Open Ocean Aquaculture 97, Maui, Hawaii, 1997, (4): 32 - 43.
- [5] David Fredriksson. Open ocean fish cage and mooring system dynamics[M]. United States: UMI, 2001.
- [6] 李玉成, 宋 芳. 碟形网箱水动力特性[J]. 中国造船, 2003, 44(增刊): 332 - 339.
- [7] 李玉成, 宋 芳, 张怀慧, 等. 拟碟形网箱水动力特性的研究[J]. 中国海洋平台, 2004, 19(1): 1 - 7.
- [8] 章守宇, 刘洪生. 飞碟形网箱的水动力学数值算法[J]. 水产学报, 2002, 26(6): 17 - 22.
- [9] 李玉成, 宋 芳, 董国海, 等. 碟形网箱水动力特性的研究[J]. 海洋工程, 2004, 22(4): 19 - 25.