

文章编号: 1004-7271(2004)01-0338-05

振荡浮子式波浪能转换装置研究

苏永玲, 谢晶, 葛茂泉

(上海水产大学食品学院, 上海 200090)

摘要: 在 Froude 数相同的情况下, 取相似因子为 10, 对振荡浮子式波浪能转换装置进行了模型设计, 并在中国科学院广州能源研究所的造波水槽中对装置做了模型试验, 试验在规则正弦波浪作用下进行, 实验数据由计算机采集。实验结果显示, 振荡浮子式波浪能转换装置具有与常规的振荡水柱式波浪能转换装置相当的俘获宽度比, 但其总转换效率较后者高很多, 建造成本较低, 是一种很有发展前途的波能装置。尽管装置的可靠性有所降低, 但在波能密度比较低的区域, 如中国, 在采取有效保护措施条件下, 装置的性能不受影响。

关键词: 波浪能转换装置; 振荡浮子式; 振荡水柱式; 俘获宽度比; 总转换效率

中图分类号: TK79 文献标识码: A

Investigation on the oscillating buoy wave power device

SU Yong-ling, XIE Jing, GE Mao-quan

(College of Food Science, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: Considering the Froude number of the model and of the prototype identical, with a scale factor of 10, a model of oscillating buoy (OD) wave power device was designed and built, and a model test was carried out in a wave tank of Guangzhou Institute of Energy Conversion. In the test, the incident waves were simple harmonic, and computers collected the experimental data. The result of experimental data processing shows that the capture width ratio of the OD is nearly equal to that of an oscillating water column (OWC) wave power device, the total efficiency of the OD is much higher than that of the OWC, and the cost of the OD is lower than that of the OWC in the same dimensions. Therefore the OD is a promising wave power device, although it is at the cost of the reliability of the device. If the OD is used in China where the wave energy stream is lower, with effective protection the device could run in the most effective way.

Key words: wave power device; oscillating buoy; oscillating water column; capture width ratio; total efficiency

海洋波浪能作为一种清洁的可再生能源, 长期以来, 世界各国投入了大量的人力和财力对其进行了研究。振荡水柱 (OWC) 式波浪能转换装置就是利用海洋波浪能来发电的一种波能装置。它以气室里的空气作为媒介传递波浪能, 从而避免了较脆弱的机电部分直接与波浪接触, 降低了波浪的破坏性, 使装置的可靠性大大增加, 这对于工作在波能密度高的区域的波能装置来说是非常重要的, 因此, 欧洲许多国家都优先发展这种装置。但这种装置目前也存在着明显的缺点, 主要表现在以下两个方面: ①建造费用昂贵、施工困难。②装置总转换效率低下。这两大缺点, 大大限制了装置的发展, 很难在市场上形成竞争力。

中国附近海域的波能密度与欧洲国家相比要低得多,为他们的 20% ~ 25%^[1],在中国采用振荡水柱式波能装置就显得不太理想。为此,本文研究了一种新型的岸式波能装置——振荡浮子式波能装置(OD),它用一个放在港内的浮体作为波浪能的吸收载体,然后将浮体吸收的能量通过一个放在岸上的机械或液压装置转换出去,用来驱动发电机发电。理论分析认为,将浮子吸收的能量转换为电能的效率应该高于振荡水柱式波能装置中的威尔透平的效率,也就是说,振荡浮子式波能装置的总效率应该高于振荡水柱式装置的总效率。本文利用模型试验,期望能对振荡浮子式波能装置的结构、系统、性能进行有效的探索、研究,并能通过实验数据验证上述的理论分析结果。

1 材料与方法

1.1 实验装置

实验在中国科学院广州能源研究所的造波水槽中进行。水槽长 40m,宽 1.2m,水深 0.85m,一端装有计算机控制的变频电源伺服电机驱动的推板式造波机,可按给定函数造出规则波或非规则波,实验模型装在水槽中距造波机 28m 处。本实验在规则正弦波浪下进行。波高由距造波机 7.6m 的 1# 水位传感器测得,2# 水位传感器安装在浮子上,用来测量浮子运动位移,浮子输出力由安装在绳索中间的拉力传感器测得。各传感器将测得信号输入计算机中进行数据处理。实验装置简图如图 1 所示。浮子采用厚 5 mm 的有机玻璃制成,几何尺寸为 0.3m × 0.4m × 0.4m,浮子吃水深度 0.25 m。港长 0.7 m,港宽 0.41 m,港内水深 0.4 m。港放在造波机的对面,浮子放在港的后端,港开口两旁及以下部分均用板封死,使波浪无法通过。实验时浮子在波浪的作用下起伏运动,将其从波浪中吸收的能量通过钢绳传到手动试压泵的泵柄上,手动泵将泵水箱中的水压到高位水箱中。

1.2 实验方法

考虑到在实际海域中波周期 T_a 在 3.0 ~ 9.5 s,实验中相似因子取为 10,在 Froude 数相同的情况下,

由 $T = \frac{T_a}{\sqrt{10}}$ 确定实验中入射波周期 T 在 1 ~ 3 s。

在不同的入射波周期 T 下,实验按如下过程进行:

(1) 造波机在计算机控制下造出给定周期 T 的波。

(2) 改变钢绳在手动泵柄上的位置,从而确定系统输出功率最佳点,每一周期在其对应的最佳点上的实验重复 3 次。

(3) 改变入射波周期 T ,重复前面 1、2 步骤,直到实验结束。

2 结果与分析

2.1 实验数据处理

实验数据处理以入射波周期 $T = 1.887$ s 为例。图 2 为周期 $T = 1.887$ s 时入射波的波形曲线。图 3、图 4 分别为在其最佳点上浮子输出力和浮子位移曲线。为了避免试验装置所产生的反射波对实验数据的影响,同时考虑到用于数据处理的点应是稳态点,实验中数据处理在各图中用点标识的段内进行,各段内数据是未受反射波影响时间段内测得的数据。

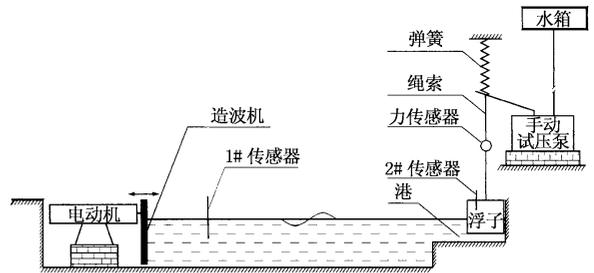


图 1 实验装置简图

Fig. 1 Scheme of experimental equipment

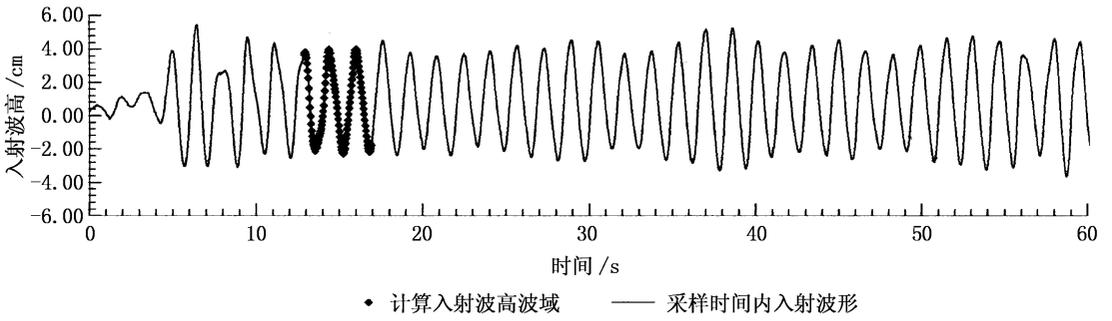


图 2 入射波波高曲线 ($T = 1.887s$)

Fig.2 Time history of incident wave height($T = 1.887s$)

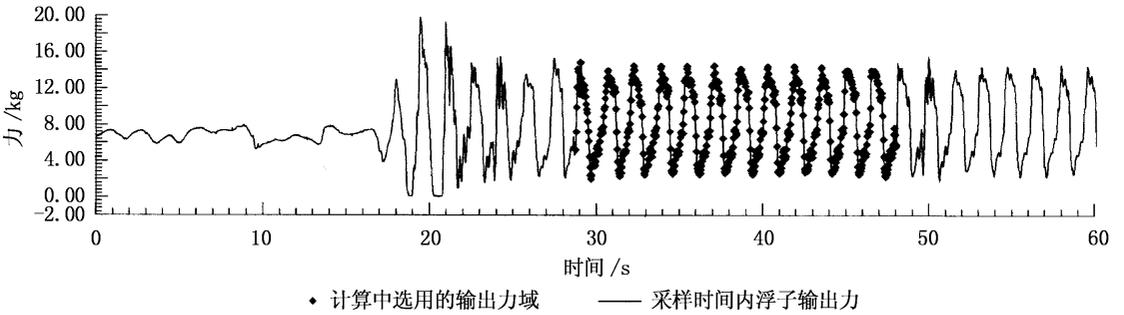


图 3 浮子输出力曲线 ($T = 1.887s$)

Fig.3 Time history of force output($T = 1.887s$)

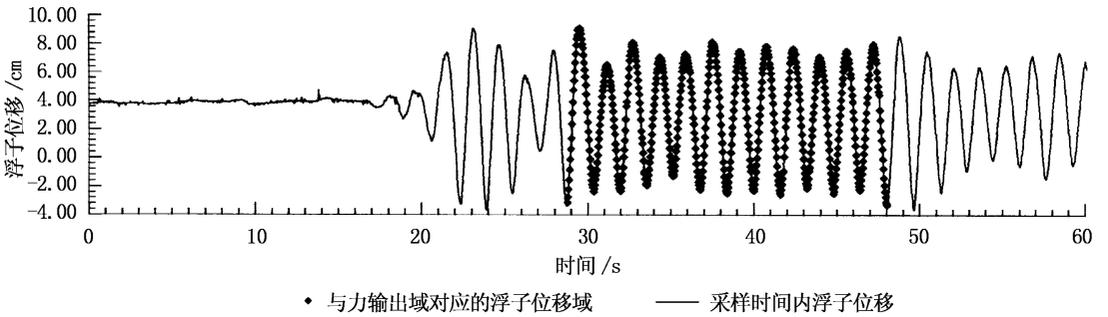


图 4 浮子位移曲线 ($T = 1.887s$)

Fig.4 Time history of displacements($T = 1.887s$)

2.1.1 入射波高及浮子宽度内波浪输入的功率的计算

入射波高由图 2 中选定三个周期波的平均波高值来表示, 根据实验数据得入射波幅(半波高) $A = 0.00307m$ 。参照文献 [2] 得式 (1) \ (2):

$$N_w = \frac{\omega A^2 \rho g}{4k} \times \left[1 + \frac{2kH}{\sinh(2kH)} \right] \times B \tag{1}$$

$$\omega = \sqrt{gk \tanh(kH)} \tag{2}$$

式中, A 为入射波幅, B 为浮子宽度, H 为水槽中水深, k 为波数, N_w 为浮子宽度域内波浪输入的功率, ρ 为水密度, ω 为角速度, 代入数据可算出 $N_w = 3.268W$ 。

2.1.2 浮子平均输出功率的计算

浮子输出功率用单位时间内浮子输出的力与浮子位移的乘积来表示。而浮子平均输出功率指一段时间内浮子输出功率的平均值,即

$$N_c = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} F v dt \approx \frac{1}{N \Delta t} \sum_{i=1}^N F_i \frac{(u_{i+1} - u_{i-1}))}{2 \Delta t} \Delta t = \frac{1}{2 N \Delta t} \sum_{i=1}^N F_i (u_{i+1} - u_{i-1})$$

式中, F 为浮子输出的力,取向下为正, N 为选择计算时间段 T_c 内总采样点数, u 为浮子瞬间位移,取向下为正, v 为浮子瞬间速度, Δt 为采样周期,试验中取 $1/30$ s。由图 3、图 4 选定区域计算得到的浮子输出功率为 $N_c = 4.670$ W。

值得注意的是,在图 1 中,由于弹簧和悬挂拉力传感器的绳索一直处于拉伸状态, F 总为正,当浮子向上运动时,浮子输出功率为负,向下时为正。从物理上讲,当浮子向下运动时,浮子拉伸弹簧,将一部分能量储存在弹簧中,同时大部分能量通过水泵对外做功。当浮子向上运动时,弹簧中的弹性势能释放出来,帮助泵柄复位,使悬挂拉力传感器的绳索始终处于拉伸状态。因此,在浮子先向下、后向上运动一个周期内,弹簧做功为零,体现了弹簧的保守特性。

2.1.3 俘获宽度比的计算

实验中研究的俘获宽度比是以浮子吸收的能量与浮子宽度域内波浪的输入能量之比来定义的。所以可得 $T = 1.887$ s 时系统的俘获宽度比 $\eta = \frac{N_c}{N_w} = 1.429$ 。

2.1.4 系统总转换效率

在试验中,泵水箱中的水被提升到高位水箱,提升高度为 25.5 m。通过测量水的流量 $q = 5.909 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$,可以得到装置提供的转化为高位水箱中水势能的功率 $N_p = q \times 25.5 \rho g = 1.478$ W。如果用水箱中的水进一步驱动水轮发电机发电(一般国产水轮发电机组的效率大于 90% ,多在 95% 左右),系统单位时间内输出的电能约为 $N_t = N_p \times 90\% = 1.33$ W,系统的总效率 $\eta = \frac{N_t}{N_w} = \frac{1.33}{3.268} = 0.407$ 。

2.2 实验结果

通过实验,在不同入射波周期 T 下,装置的俘获宽度比如下图 5 所示。从图中可看出,当 $T = 1.887$ s 时装置的俘获宽度比最大。当 $T = 1.887$ s 时,原型所对应的入射波的周期为 $T_a = T \times \sqrt{10} = 5.967$ s,正好与中国南海附近海域波浪的常波周期 5.5 s 接近,所以,该模型试验按 10 倍比例放大后,原型可很好地工作在中国南海的实海域中。

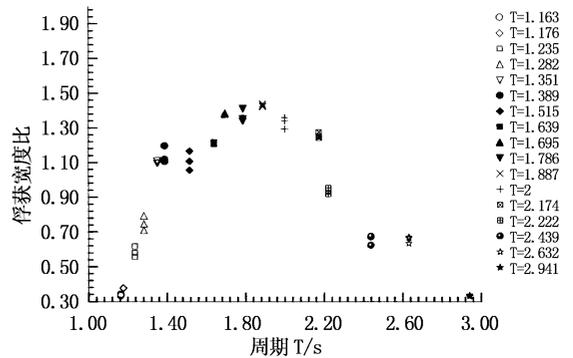


图 5 不同周期下的俘获宽度比

Fig.5 Capture width ratios for different wave periods

3 讨论

3.1 俘获宽度比

如果振荡浮子装置和振荡水柱装置有相同的水下几何形状,按照水动力学理论,两者的水动力学特性在小振幅时应该十分接近。而实验也说明了这一点,在相同实验条件下,振荡水柱式波能装置的俘获宽度比(或气室效率)的最大值为 $\eta = 1.41^{[3]}$,与本文所描述的振荡浮子装置的俘获宽度比 $\eta = 1.429$ 差不多。

3.2 总转换效率

从本文所设计的试验可以看到,振荡浮子装置最大的总转换效率达到 40.7% ,而振荡水柱装置的总转换效率一般在 $10\% \sim 30\%^{[4,5]}$ 。可见,振荡浮子装置的总转换效率较振荡水柱装置有显著的提高。同时,以下两点值得特别注意:

(1) 实验中的实验模型较小,使用的手动泵又比较粗糙,系统能量损耗相对较大。如果用较大的模型做试验,总效率还会有较大提高。

(2) 上述试验是在 3 倍于模型宽度的水槽中进行的,而实际工程中,装置所面对的海域是无限宽的,因此,实际装置的总转换效率应该较实验中的总转换效率高。

3.3 进一步研究工作

(1) 振荡浮子式波能装置与振荡水柱式装置相比较,可靠性较差,尽管这对于在低波能密度区域工作的装置来说不是致命的,但也是很重要的。因此,在将来的工作中,要加强对装置在恶劣气候条件下保护措施的研究。

(2) 试验中,浮子设计成立方体,在波浪作用下,浮子有以一边为轴旋转的趋势,结果造成浮子与港不断撞击,对浮子有很大的破坏性。在后期研究中,可考虑将浮子的背面以及与此背面相接触的港的迎波面设计成斜面,使浮子在港内平稳运动。

参考文献:

- [1] Claeson L, Energi från havets vågor[M]. Stockholm(Sweden): Published by Energiforskningsnämnden, 1987. 175 - 193.
- [2] 许维德. 流体力学[M]. 北京:国防工业出版社,1979. 165 - 187.
- [3] 梁贤光,孙培亚,游亚戈. 100kW 波力电站气室模型性能试验[A]. 国家“九五”科技攻关计划专题(96 - A17 - 06 - 01)100kW 岸式波力电站研建验收文件汇编[C]. 广州:中国科学院广州能源研究所,2000,55 - 61.
- [4] Yu Z, Jiang N D, You Y G. Power output of an onshore OWC wave power station at Dawanshan island[A]. Proc. European Wave Energy Symposium[C]. Edinburgh(England), 1993, 271 - 276.
- [5] Hotta H. R&D on wave power in Japan[A]. Proceedings of the second European wave power conference[C]. Glasgow(England), 1996, 12 - 13.