



# 双自由度海浪发电实验机

徐远焕 卓伟荣 陈俊弟 钟配东 徐祥福

(广东石油化工学院理学院 广东 茂名 525000)

(收稿日期:2019-07-07)

**摘要:**通过对海浪的研究,设计出一种二维的海浪发电装置,并使用经典波浪模型对装置的发电效率进行计算以及探索如何提高发电效率.此装置可用于研究浮子结构对发电效率的影响,并可作为实验教学仪器供学生探索研究,弥补了海浪发电教学环节的空白,对提高教学质量和激发学生创新能力有着重要的意义.

**关键词:**波浪能 海浪发电 双自由度

波浪能是海洋能源中蕴藏最为丰富的能源之一,以其分布广泛、清洁无污染、能源密度大、有规律可循、易装换等优点成为新能源家族中备受关注的一员,也是近期海洋能利用开发中研究最多的海洋能源<sup>[1]</sup>.波浪虽然只是海水质点在原地的起伏运动,但其运动能量十分巨大,据估算一平方公里海面上的波浪能可达到25万千瓦的功率<sup>[2]</sup>.如果要对波浪能进行能量转换使用,波浪发电机是核心之一.但目前,在实验教学环节,很少有此发电教学设备,为了推广波浪能发电技术、提高波浪能发电普及,本论文设计了一种研究型实验教学装置,利用该装置,可以定量测量波浪发电效率,同时,通过改进浮子结构,提高发电效率,供学生探索研究.

## 1 实验机的设计

实验机的目的是将波浪能转换成电能,本文设计的实验机结构较为简单,组成主要包括浮子设计、造浪设计、导轨设计、传动设计和电路设计等.各组成部分具体设计如下.

### (1) 浮子设计

浮子的长宽高分别为(24.30 cm × 15.30 cm × 7.84 cm),根据装置的特点以及在水箱里产生的波

浪的特点,在浮子底部加装了“倒V”字形的挡板,提高浮子迎浪时在水平方向和垂直方向的相对运动,增加装置对波浪能量的吸收.

### (2) 造浪设计

造浪设计的主要部分是木箱和支架,木箱的一边安装了转动结构与支架相连,使箱子半露在空中,在箱子下方用两根弹簧与支架连接,使得箱子大部分在水中,同时弹簧会对箱子有向下的拉力,在箱子一边装上粗铁线与圆盘相连,结构类似曲柄连杆机构,转动圆盘使得木箱获得向上的力,直杆通过两个定滑轮后,其一端与圆盘连接,另一端与铁杆相连,当拨动铁杆时木箱就会来回运动挤压水箱中的水,从而产生波浪,用于发电.

### (3) 导轨设计

当使用一根直杆作为浮子上下浮动的传送杆时,浮子在上下浮动的过程中会左右旋转,以至于对传动轮造成损伤,同时不能很好地收集能量.因此在竖直方向由两根直杆平行放置,一端和浮子连接在一起,用两根平行的直杆可以构成一个平面,同时在亚克力板上的一个面安装4个滑块,每两个滑块套在一根杆上,这样增加了直杆运动的稳定性.同样,在水平方向上也是采用两根直杆平行放置,两端固

作者简介:徐远焕(1997-),男,在读本科,研究方向为物理实验设备设计.

通讯作者:徐祥福(1981-),男,硕士,助教,研究方向为光伏材料与器件.

定在支架上,用两根杆的好处是可以防止浮子迎浪时前后运动时产生左右晃动,增加了装置的稳定性.直杆采用镀铬金属直杆,抗腐蚀能力强.

#### (4) 传动设计

在一个凹形槽轮的凹槽中套上橡皮带,在轮子上粘接上一个皮带轮,通过皮带传送到一个由两个皮带轮同轴组成的变速装置,最后再通过皮带连接到发电机的转轴上.由于皮带具有弹性,且直杆在传动轮和变速装置的中间,可以通过皮带的弹性使传动轮紧靠直杆,避免了装置长时间使用因压力不够而缺少足够的静摩擦力而发生相对滑动.同时由于皮带的弹性具有储能作用,当传送轮由正向变为反向转动时,皮带能吸收一部分机械能转为弹性势能,在转动过程中又将其释放转为机械能,既能提高实验机的发电效率又能起到缓冲作用,避免发生机械损伤.

#### (5) 电路设计

电路部分发电机采用的是12 V直流电机,由于装置中电机正反转,为了实现直流输出,每一个电机的输出使用4个二极管构成整流电桥,最后将两个整流电桥的输出并联在一起输出.

实验机的实物图如图1所示.

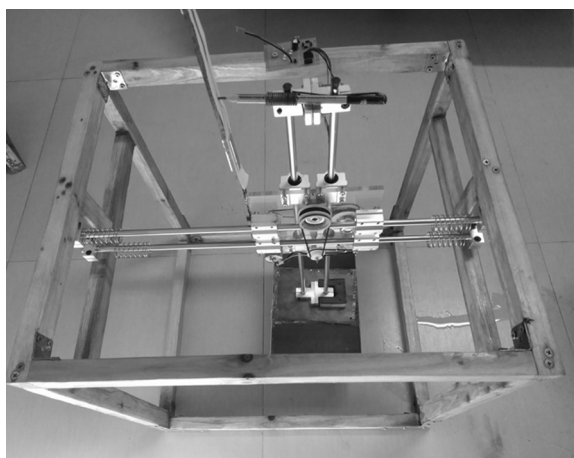
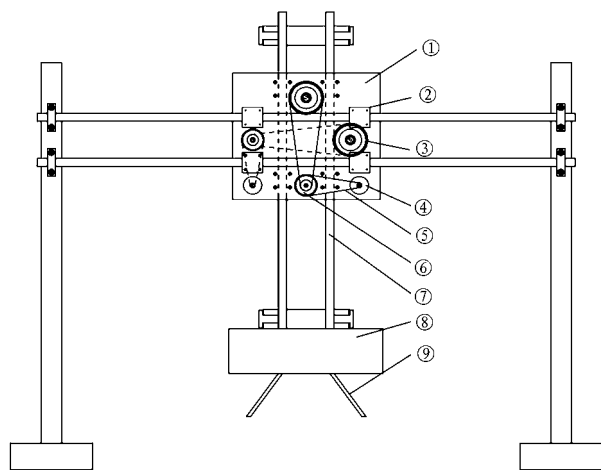


图1 双自由度海浪发电实验机整体实物图

## 2 实验机的工作原理

实验机的工作原理是利用了浮子在波浪的作用下与装置发生上下、前后相对运动,在上下和前后方

向各有两根相互平行的直杆,并且不同方向的直杆互相垂直.如图2所示,在一个亚克力板上放置有8个滑块,每4个滑块为一个方向的两根直杆提供滑动,两条直杆互相平行固定在支架上,另外两条竖直的直杆与浮子相连,并分别在亚克力板上的两个方向中的其中一根直杆旁边加装一个传动轮,使轮子边缘与直杆有压接触,并且传动轮的平面是与直杆平行,当浮子上下或者前后运动时,直杆和亚克力板之间发生相对运动,从而使加装在直杆旁边的传动轮转动,由于传动轮上方带有皮带轮,通过皮带传送至变速装置,最后将能量传到发电机,由发电机产生电能,两个发电机的输出分别通过整流电桥后再并联输出.目前市场上还未出现海浪教学设备的产品,因而本实验装置可以填补海浪发电教学设备在市场上的空白,满足与时俱进的教学的迫切需求.



①亚克力板 ②固定滑块 ③传动轮 ④发电机 ⑤皮带  
⑥变速轮 ⑦直杆 ⑧浮子 ⑨挡板

图2 双自由度海浪发电实验机装置原理图

设计出一种简易的实验机,然后通过测量间接的物理量,运用相关公式计算出实验机的发电效率,再改变实验机的部分结构,如浮子的大小或者形状等,研究影响实验机发电效率的因素以及如何提高海浪发电的效率.

## 3 测试与分析

首先计算波浪的功率,一个典型波浪的最大功率为

$$P_{\max} = \frac{1}{2} H^2 T \quad (1)$$

单位为(kW/m),  $H$  为浪高,  $T$  为浪的周期, 装置的最大输入功率

$$P_{\max\lambda} = P_{\max} \times L \quad (2)$$

$L$  为浮子迎浪的长度. 最大输出功率

$$P_{\max\text{出}} = \frac{U^2}{R} \quad (3)$$

单位为(W), 其中  $U$  为示波器测出的最大电压. 由此可以求出装置的效率

$$\eta = \frac{P_{\max\text{出}}}{P_{\max\lambda}} \times 100\% \quad (4)$$

因此只需测量 3 个物理量就可以通过计算得到

装置的发电效率. 将 8 个不同阻值的电阻分别接入到输出中, 测量  $H, T, U_{\max}$ , 重复 8 次. 在输出负载  $100 \Omega$  的电阻时, 将 4 个不同大小且底部未安装挡板的浮子安装到装置上, 测量  $H, T, U_{\max}$ , 重复 4 次. 由于在实验中尺寸的限制, 通过装置的波浪并不完整, 因此在本文中对周期进行修正, 使公式中的周期  $T$  为测量到的平均周期的  $\frac{3}{4}$ .

根据接入电路中不同的电阻测出的数据  $H, T, U_{\max}$ , 并且求出对应的功率和效率平均值汇总到表 1 中, 分别画出电阻与功率平均值和效率平均值的关系图如图 3 所示.

表 1 接入不同电阻的数据平均值汇总

$R/\Omega$	$H/\text{cm}$	$T_{\text{ave}}/\text{s}$	$U_{\max}/\text{V}$	$P_{\max\lambda}/\text{W}$	$P_{\max\text{出}}/\text{W}$	$\eta/\%$
5	4.73	1.25	0.752	0.341 6	0.021 5	6.31
10	3.98	1.26	0.752	0.246 1	0.021 5	8.73
22	4.79	1.25	0.752	0.350 9	0.034 3	9.86
33	5.01	1.24	1.128	0.377 7	0.038 6	10.22
100	5.22	1.24	2.260	0.414 4	0.051 1	12.32
200	4.89	1.25	3.070	0.365 0	0.047 5	12.96
510	5.06	1.26	4.230	0.392 6	0.035 2	9.02
910	5.60	1.25	0.752	0.476 2	0.025 4	5.33

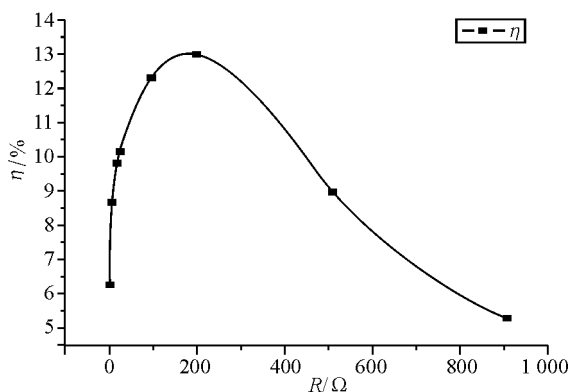


图 3 负载电阻与效率的关系图

由图 3 可以看出, 在本实验中, 电阻与效率是非线性关系, 效率先随着电阻大小的增加而增大, 曲线的曲率大, 当电阻为  $100 \sim 200 \Omega$  之间时, 效率最大

约为 13%, 其后效率随着电阻的增加而减小, 曲线的曲率较小.

为了研究实验机在加装不同浮子大小的情况下效率的变化, 将不带挡板的浮子安装到实验机上, 并改变浮子的迎浪长度  $L$ , 再进行效率测量, 如表 2 所示.

由表 2 可以看出, 装置的输出功率与接入装置的浮子的  $L$  成正比关系,  $L$  越大, 装置的输出功率越大, 而效率跟接入装置的浮子的  $L$  的关系不明显. 但可以明显看出, 在本实验中, 加底部挡板时装置的发电功率将增加 7% 左右. ( $L$  为 23.4 cm 且加挡板的发电效率为 12.32%)

表2 负载为100Ω时接入不同L且底部未加挡板的浮子的数据平均值汇总

平均值	L/cm	H/cm	$T_{ave}/s$	$U_{max}/V$	$P_{max浪}/W$	$P_{max出}/W$	$\eta/\%$
1	21.1	4.10	1.74	1.280	0.308 6	0.016 4	5.31
2	23.4	4.34	1.73	1.410	0.403 7	0.020 3	5.04
3	29.0	4.61	1.72	1.610	0.541 1	0.026 6	4.88
4	33.4	4.56	1.78	1.730	0.618 7	0.030 3	4.99

#### 4 总结

本文设计并制作出一种双自由度的海浪发电实验机,并以经典波浪模型进行效率计算,探索了提高发电效率的方法,得到了较高的发电效率.此实验机可用于研究浮子结构对发电效率的影响,并可作为实验教学仪器供学生探索研究,弥补了海浪发电教学实验环节的空白,对提高教学质量和激发学生创新能力有着重要的意义.

#### 参考文献

- 1 谭思明,秦洪花,赵霞,等.海洋波浪能领域国际专利竞争态势分析[J].现代情报,2011(6):14
- 2 苏永玲,谢晶,葛茂泉.振荡浮子式波浪能转换装置研究[J].上海水产大学学报,2003(04):338~342
- 3 杜小振,赵继强,张燕,等.振荡水柱式波能转换系统气室压强理论研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2017(07):135~141

- 4 王冬姣,邱守强,叶家玮.底铰摆式波能装置在斜向波中的水动力性能[J].太阳能学报,2016(08):2056~2061
- 5 李坤.浮标式海浪发电装置的研制[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012
- 6 赵裕明,李岩,王志岩.国外海浪发电装置的研究现状[J].农机使用与维修,2018(01):17~18
- 7 Karthik Yerrapragada,M H Ansari,M Amin Karami. Enhancing power generation of floating wave power generators by utilization of nonlinear roll - pitch coupling[J]. Smart Materials and Structures,2017,26(9)
- 8 程波.海浪发电实验装置设计与研究[D].济南:山东大学,2012
- 9 阿地力·吐尔逊,吴建琴,张艳燕.大学物理实验教学现状与教学改革构想[J].实验教学与仪器,2019,36(01):12~13
- 10 古迪,吴红梅,周青云,等.物理实验竞赛提高学生自主学习能力的[J].教育现代化,2019,6(33):149~151

## Experimental Machine of Waves Power Generation with Double - degrees - of - freedom

Xu Yuanhuan Zhuo Weirong Chen Jundi Zhong Peidong Xu Xiangfu

(College of Science,Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming,Guangdong 525000)

**Abstract:** Through the study of the waves,a two - dimensional wave power generation device is designed,which uses the float to collect the up and down motion of the wave and the energy of the back and forth movement. In order to improve the power generation efficiency,a baffle is attached to the bottom of the float,and the device is Calculatepower generation efficiency and explore how to increase power generation efficiency. This device can be used to study the influence of the float structure on power generation efficiency,and can be used as an experimental teaching instrument for students to explore and study.

**Key words:** wave energy; wave power generation; double degrees of freedom