
Research on Design of Power Generation Breakwater

Han Xiaonan, Sun Shuhong*, Gu Jianyong, Hu Yinan

College of Hydraulic Engineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin, China

Email address:

1025672209@qq.com (Han Xiaonan)

*Corresponding author

To cite this article:

Han Xiaonan, Sun Shuhong, Gu Jianyong, Hu Yinan. Research on Design of Power Generation Breakwater. *Science Discovery*. Vol. 6, No. 6, 2018, pp. 477-480. doi: 10.11648/j.sd.20180606.26

Received: November 5, 2018; **Accepted:** November 29, 2018; **Published:** December 12, 2018

Abstract: Tidal energy is a kind of new renewable energy with abundant potential and clean and pollution-free, and its exploitation and utilization can effectively alleviate the problem of energy shortage and environmental pollution in China. The utilization of modern tidal energy is mainly reflected in the generation of tidal power. This design aims to study a kind of power generation breakwater, to utilize tidal energy and reduce the erosion damage of wave on the breakwater. It provides reasonable reference for the future study of tidal energy development and utilization. The knowledge of hydraulics and wave energy generation is used for calculation. The wave impact force is calculated and the power generation device structure is optimized. Tidal energy is transformed into electric energy by installing a generating unit on the breakwater, and at the same time, the turbine of the unit is used to slow down the wave washing, which plays a protective role on the breakwater, and can be applied in the breakwater project. In this study, innovative new design concept is proposed for the deficiencies in the research and development of power generation breakwater in China, and the future development trend of power generation breakwater is prospected. The development of wave energy according to local conditions will become the future research and development direction of China in this field.

Keywords: Breakwater, Tidal Power, Wave Energy Generation, Design Research

发电式防波堤设计研究

韩晓楠, 孙书洪*, 谷建永, 胡一楠

天津农学院水利工程学院, 天津市, 中国

邮箱

1025672209@qq.com (韩晓楠)

摘要: 潮汐能是一种蕴藏量丰富且无污染的再生新能源, 对其进行开发利用可以有效缓解我国能源紧缺问题。对现代潮汐能的利用, 主要体现在潮汐能发电上, 设计研究一种发电式防波堤, 将潮汐能加以利用, 同时减少波浪对防波堤的冲刷破坏。运用水力学、波能发电等知识进行计算, 通过模拟测算岸边波浪、波速、波高等水力要素, 计算波浪冲击力, 优化发电装置结构。通过在防波堤上安装发电机组, 将潮汐能转化成电能, 同时利用机组叶轮对波浪冲刷的减缓, 对防波堤起到一种保护作用, 可实际应用于防波堤工程中。针对中国在发电式防波堤研发上存在的不足提出创新设计理念, 并对发电防波堤的未来发展趋势进行了展望, 波能发电将成为中国在该领域未来的研发方向。

关键词: 防波堤, 潮汐能, 波能发电, 设计研究

1. 前言

全球海洋中潮汐能的理论蕴藏量约有27亿kw,可开发利用的约为5400万kw。我国潮汐能资源丰富,理论蕴藏量约为1.1亿kw,可开发利用的约为2179万kw[1]。

国外潮汐能发电现状早在20世纪初,欧、美一些国家就开始研究潮汐发电,现今世界上适于建设潮汐电站的许多国家和地区都在研究和建设潮汐电站。国外在特定开发和勘探模式下运行不同条件下的长串联水能调节的计算方法[2]对潮汐能发电进行开发利用,目前世界上已建成并运行发电的潮汐发电站总装机容量为26.6万kw,年发电量达6.125亿kw·h[3]。

我国是一个能源生产与消费的大国,也是世界上主要的潮汐研究开发国家之一[4]。我国有广阔的海洋资源,波浪能的理论存储量为7000万kw左右,沿海波浪能流密度大约为每米2 kw~7 kw,波能开发潜力巨大。根据我国1978年对156个坝址的普查分析表明,技术上可开发的潮汐能蕴藏量为21万kw和4万kw·h。

国内的波能发电装置的研究主要集中在微型波能领域,大型的波能发电装置的研究还不是很多,并且已投入使用的波能电站类型也较为单一,比较先进的波能发电技术目前几乎都处于初步研究阶段[5]。我国沿海城市电力供应出现缺口,电力不足的问题越来越严重,在一些有条件的海岸线上修筑发电式防波堤,在抗击海浪对海岸带来冲击的同时,可以缓解沿海电力供应,能利用防波堤防浪、消浪[6],立足于沿海地区的可再生清洁能源的开发利用成为解决电力供应不足的重要途径。

为缓解全球资源紧缺,响应绿色环保潮流,最大力度的开发了绿色能源,设计开发一种发电式防波堤。在防波堤上安装发电机组,将潮汐的能量转化成电能,同时利用机组叶轮对潮汐冲刷的减缓,对防波堤起到一种保护作用,转水害为水利,充分利用潮汐能[7],为绿色环保能源的利用开创新篇章。

2. 研究方法与装置结构

通过波浪对板的冲力,带动连接板的一根支架的向后运动,支架上连有一个齿轮和一个弹簧,齿轮与发电机组的转子相连,支架运动可以带动转子的转动,进而进行发电,而当波浪退去后,弹簧可以使整个装置回到初始位置,这样进行往复运动,可持续的发电。

本项目作为初步研究,探讨利用波浪的冲刷进行发电的可行性设计研究及其控制技术。本研究所选择的主要材料是钢材,旨在确定在不同大小的风浪作用对防波堤发电情况的影响。波浪能发电装置种类繁多,首先建立发电式防波堤波能发电装置的简易模型,利用装置的运动部件,在波浪的推动下,将其从波浪能转化为机械能,对在不同波况下装置的波能发电量以及本装置的受力状况进行研究。通过模拟与模型试验,研究了波能发电装置与防波堤结合时[8],装置发电量、波浪冲击力以及水力效率的变化,探讨了波能发电装置和防波堤结合的显著优势[9],同时,

试验结果也为研究发电式防波堤波能发电装置的水力性能和结构稳定性分析提供了依据。

2.1. 测试方法

本研究项目采取模拟及模型试验的方法,在不同波速、不同波高等实验条件下进行测试和分析。

对于波浪要素的计算,其现行方法大多属于经验和半理论半经验的且各自具有一定的局限性,利用SMB法不易取得资料及分析技巧且较费时,故可采用经验式推算法[10]。若收集并建立往昔波速及相应的波高的关系,即波高对波速的递归公式,即可推算波浪冲击力[11]。在有限波域,波高及周期与波速的计算公式为:

$$H_s = C_1 U \sqrt{F} \tag{1}$$

$$T_s = C_2 U \tag{2}$$

式中, C_1 、 C_2 为系数, H_s 为波高(m), U 为波速(m/s), T_s 为周期(s), F 为吹程(m)。

假定海浪壅高为波高,近似面板上的水浪为水平向下延伸的形式,用静水压力计算浪压力为:

$$F' = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} \tag{3}$$

$$P_x = \rho g \left(H_s - \frac{h}{2} \right) s \tag{4}$$

$$P_z = \rho g \left[(H_s - h) \frac{h}{\tan \alpha} + \frac{h^2}{2 \tan \alpha} \right] \tag{5}$$

式中, F' 为波浪冲击力(N), P_x 为水平方向水压力(N), P_z 为铅直方向水压力(N), α 为面板的倾角(kg), h 为面板的高度, H_s 为波高(m), U 为波速(m/s), s 为面板的面积(m^2), ρ 为水的密度(kg/m^3)。

根据力矩守恒[12]推算杆上的力,杆在面板中心位置与板相连,因为浪压力的合力距离板底 $\frac{1}{3}$ 位置,所以 $\frac{1}{3} F'$

$$= \frac{1}{2} F_{反}, \text{ 即 } F_{反} = \frac{2}{3} F'.$$

杆末连接的弹簧弹性系数为 k ,弹簧压缩长度为 l_0 ,则

$$F = k \cdot l_0 \tag{6}$$

其带动上部发电机转子转动圈数等于水平齿轮的圈数,有

$$N = \frac{l_0}{l_1} = \frac{F}{kl_1} \tag{7}$$

$$n = \frac{N}{T} = \frac{N}{\frac{2N}{C_2 U}} = \frac{2N}{C_2 U} \quad (8)$$

$$N = F \cdot r_1 \quad (9)$$

$$P = \frac{N \times n}{9550} \quad (10)$$

式中, N为发电机扭矩 (N·m), l_0 为弹簧压缩长度(m), l_1 为水平齿轮周长(m), F为弹簧的弹力(N), $F_{反}$ 为弹簧弹力的反作用力(N), n为转动速度(r/s), k为杆末连接的弹簧弹性系数。 r_1 为水平齿轮的半径(m), P为发电机输出功率(kw)。

依据推求出的水力学理论公式, 对一定设计要求的发电式防波堤水力要素进行模拟实验[13], 探求满足足够发电量下最佳的波速、波高组合方式, 最大程度上开发绿色、经济、环保的潮汐能源。

2.2. 模拟及模型试验的设计

本课题模型试验的面板设计尺寸为: 1.5m×1.0m, 取4级波状况进行试验, 平均波速为5.5~7.9m/s, 波浪高度取为1.6~2.7m, 波浪高度大于平板在垂直投影面的高度, 按整个板面浪压力进行研究。

通过对不同波浪大小的模拟, 探索整个装置往复运动的最优波速与最适水面高度试验条件, 推算防波堤发电功率的高低, 进而得出最优发电功率, 实现可持续的发电与控制技术的革新。

2.3. 测试装置与设备展示

测试装置: 如图1所示。受力分析: 如图2所示。

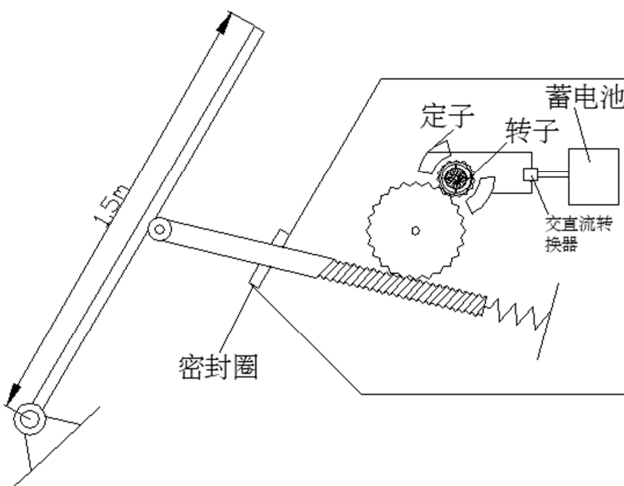


图1 发电式防波堤试验装置图。

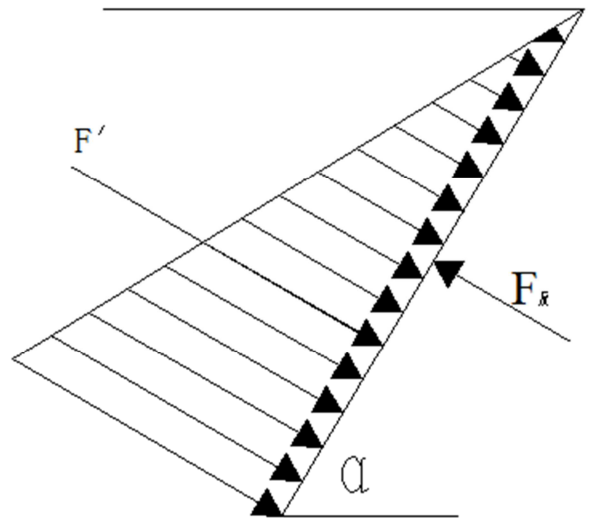


图2 水力受力分析图。

3. 测试结果分析

经过多次模拟及模型试验, 通过改变波速的大小与波浪高度, 即改变波浪的作用, 改变防波堤发电的功率, 发现:

最小临界值5.9m/s波速, 1.8m波浪高度的试验条件下: 在一定的时间内, 浪对板面的冲刷力过小, 平板传递给杆的作用力不明显, 齿轮转动的速度与圈数均受到严重的约束, 电机定子所产生的磁场与转子产生的磁场的相互作用较微弱, 转子很难实现高速的运转, 发电机发电效果不理想, 蓄电池存储的电能较少。

最大临界值7.6m/s波速, 2.5m波浪高度的试验条件下: 超过此临界值后发电效率将呈几何下降, 在一定的时间内, 随着波速的增大与波浪水面的抬高, 浪对面板的冲刷力过大, 齿轮转动的速度过快, 造成发电机的温度过高, 弹簧过快收缩使整个装置回到初始位置持续时间过短, 转子虽实现了高速的运转, 但对发电机的功能造成了较大程度上的损坏, 致使发电效果不理想。

当波速、波高等水力要素降低至最小临界值之下时, 在此范围内随着波速的增大与波高的抬升, 浪对面板的冲刷力并未呈现明显的波动, 仅仅局限在很小的区间内变动, 面板摆动的空间范围较小, 转子和齿轮运动的速度较底, 远远达不到发电机组的额定功率, 发出的电能较少, 潮汐能的利用率不能满足设计要求, 因此不能实现发电效益的最大化。

当波速、波高等水力要素值超过最大临界值时, 虽然波速、波高的交互作用使波浪对面板的压强足够大, 但波浪冲击力与发电机组发电效果却未呈现正相关关系, 反之, 波浪的巨大压力会造成发电设备工作的不稳定性与不易操作性, 引发安全隐患, 另外, 波浪对机组的叶轮产生侵蚀效应, 降低机组运转的寿命。

通过对比试验分析得出: 过大过小的波速与水面高度都对防波堤的发电效果产生不利的影响, 影响浪对平板的冲刷力, 发电功率较小, 开发力度不足。而6.8m/s波速, 2.3m波浪高度恰好中和两种试验条件的特性, 将两者的不

利因素较低到最小,在保证了足够发电效益的同时,浪对平板的冲刷力也合适,并且减缓波浪对堤坝的冲刷,使防波堤的使用寿命比一般防波堤更长。

4. 结论与展望

4.1. 结论

本设计采用模拟与模型试验的方法综合分析研究了发电式防波堤结构的波压力特性并得出以下主要结论:

(1)试验分析发现设计的发电式防波堤在一定的风速与波浪高度的要求下可以实现自行发电,实现控制技术的可操作性。

(2)试验分析发现发电装置能够减少波浪对防波堤的冲刷,减缓防波堤的损耗又能利用潮汐能量发电,使防波堤的使用寿命长于一般防波堤,实现对防波堤起到保护作用。

(3)通过模拟分析发现对发电防波堤可将潮汐冲刷力的收集利用转化为电能,缓解电力需求。

本课题创造性的提出将防波堤与发电站相结合的理念,变水害为水利,高效能利用潮汐能,开创了绿色环保能源利用的新篇章,应用前景广阔。

4.2. 展望

需要指出的是,发电式防波堤是一种新型的结构型式,目前在此方面的国内的理论研究和工程实践较少,因此,要使这种新型结构尽快得到广泛使用,还需要进一步深入探讨。本设计模拟与模型试验对发电式防波堤波压力特性进行了研究,但仍存在不足之处,在以后的研究中可从以下几方面考虑:

(1)本设计以规则波为载体进行的试验为基础,但在实际工程中,波浪通常为不规则波,因此,以后的研究应从不规则波作用下产生的效应进行。

(2)本设计经过计算得到的浪压力计算公式受到堤防结构型式和波浪条件的限制,具体体现在公式中参数的变化。在以后的研究需在不同的波浪和水位条件下对不同的结构型式进行研究,以调整参数的变化范围,使得经验公式具有普遍适用性。

(3)为简化问题,本设计在研究堤上部结构波浪力特性的过程中未考虑地基的影响,显然此类堤防而言,地基对堤的受力有不可忽略的影响。

(4)可考虑物理模型与数学模型相结合的方法进行研究。

项目内容

天津市高等学校大学生创新创业训练计划项目(201510061017)。

参考文献

- [1] 张晓君,程振兴,张兆德,潮汐能利用的现状与浙江潮汐能的发展前景[J].中国造船,2010,S1:144-147。
- [2] Shu Q, Xiaoyan L U, Zheng X. Energy estimation of tidal power station and its software design and application[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2015, 34(6):65-70.
- [3] [石洪源,郭佩芳,我国潮汐能开发利用前景展望[J].海岸工程,2012,31(1):72-80。
- [4] 张宪平,海洋潮汐能发电技术[J].电气时代,2011(10):30-32。
- [5] 阳洋.潮汐电站短期预测及优化调度[D].华北电力大学(北京),2016。
- [6] 杨志坚,唐诗雨,王彬,等.喇叭型防波堤兼作波浪发电装置设计研究[J].中国管理信息化,2017,20(16):81-82。
- [7] 武贺,王鑫,李守宏.中国潮汐能资源评估与开发利用研究进展[J].海洋通报,2015,34(4):370-376。
- [8] 徐国,纪君娜,曲恒良,等.分层斜坡越浪式波能发电装置结构受力试验研究[J].海岸工程,2017,36(2):48-57。
- [9] 杨宗宇,刘晓鹏.一种越浪式波能发电装置越浪量和波压力的试验研究[J].海岸工程,2016,35(3):63-73。
- [10] 王为国,窦震海,刘小煜,等.基于模糊理论和逆推算法改进均值生成函数的短期风速预测研究[J].电测与仪表,2018(13)。
- [11] 尤志国,葛凯,盛传明,等.滑动挡板式越浪发电装置结构受力研究[J].太阳能学报,2017,38(6):1699-1705。
- [12] 葛凯.防波堤兼滑动挡板式越浪发电装置结构性能研究[D].华北理工大学,2017。
- [13] 刘树洁,赖旭,邹金,等.基于云模型理论的短期风速预测方法[J].武汉大学学报(工学版),2017,50(1):69-74。

作者简介



韩晓楠(1996-),女,汉族,本科生,专业为水利水电工程。任水利工程学院团委书记,参加天津市高等学校大学生创新创业训练计划项目,并担任主持人。



孙书洪(1963-),男,汉族,教授,硕士生导师,研究方向:水利工程。任中国水利学会水力学专委会委员、中国农业工程学会农业水土工程专业委员会委员,主持和参加国家级、省部级项目20余项,发表论文60余篇。