

有效吸收和传递波浪能的锚泊系统的设计制作

陈永华, 李思忍

(中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 将传统定位浮标加以改进, 可以形成一种能有效吸收和传递波浪能的锚泊系统。此系统的最上端是漂浮着的海面浮标, 海面浮标下端连着锚泊钢缆, 锚泊钢缆下端到海底之间又依次连有张紧锤、储链和重物锚块。锚泊系统中的海面浮标随波浪同步上下起伏, 从而带动与其连在一起的由张紧锤绷紧的锚泊钢缆上下振动, 于是海面浮标吸收波浪能并由引导缆向下传递。20 m 长的储链可以保证整个装置在涨潮、退潮的极限水深情况下, 仍旧可以有效地传递海表面波浪能; 合适的重物锚块可以起到为整个系统定位的功能。最后给出了一个实际应用波浪能的例子。设计制作的锚泊系统可以有效吸收和传递波浪能, 为波浪能的利用提供了一种行之有效的方法。

关键词: 波浪能; 吸收与传递; 锚泊系统; 设计制作

中图分类号: O432

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)04-0095-04

海洋能是指依附在海水中的可再生能源, 海洋通过各种物理过程或化学过程接收、储存和散发能量, 这些能量以波浪、海流、潮汐、温差等形式存在于海洋之中, 从而形成潮汐能、波浪能、海洋温差能、海洋盐差能和海流能等。海洋能理论储量是目前全世界各国每年耗电量的几百倍甚至几千倍。而波浪能是其中较丰富的一种能量, 将波浪简化成正弦波, 可得单位面积的铅直水柱内平均波能功率^[1]为:

$$P_w = \frac{\rho g^2 T H^2}{32\pi} \approx \rho T H^2 \quad (1)$$

其中 ρ 为海水密度, g 是万有引力常数, T 为波周期, H 为波高。以波高 $H=1.5$ m, 波周期 $T=6$ s 为例, 海水密度 ρ 取为 $1\ 000$ kg/m³, 则单位面积的铅直水柱内平均波能功率为:

$$P_w \approx \rho T H^2 = 13.5 \text{ kW/m}$$

台风产生的巨浪, 其功率密度可达每米迎波面数兆瓦, 而波浪能丰富的欧洲北海地区, 其年平均波浪功率为 $20 \sim 40$ kW/m。中国海岸年平均波浪功率密度为 $2 \sim 71$ kW/m。据世界能源委员会的调查显示: 全球波浪能储量为 700 亿 kW, 可利用的波浪能达到 20 亿 kW, 相当于目前世界电产量的 2 倍。在能源危机日益严重和环保压力不断加大的今天, 如何能够有效利用波浪能这种巨大的环保型可再生能源, 显得尤其重要。本文提出一种以简约的方式吸收和传递波浪能的锚泊系统, 并通过实践证明此方法是

行之有效的。

1 波浪能吸收与传递系统构成和工作原理

这里设计的波浪能吸收和传递系统从上到下由三大部分组成, 分别是: 海面浮标系统、锚泊缆系和底端锚定物。其中锚泊缆系又是由锚泊缆、张紧锤和储链构成。此系统传递波浪能的原理是: 合理控制海面浮标的正浮力, 使其大约有一半体积露于水面, 事先测定锚泊区域的深度, 确定锚泊钢缆的长度, 保证在正常海况下, 能使悬挂在锚泊缆下面的张紧锤离海底有数米的距离, 让储链处于半悬状态(即储链一半悬于海底上方, 一半拖在海底上), 合理选择重物锚块的质量, 既便于投放, 又确保定位。漂浮着的海面浮标对锚泊缆有向上的拉力, 而连于锚泊缆下端的张紧锤和部分储链对其有向下的拉力, 这样锚泊缆在水中基本处于悬直状态。当波浪经过时, 海面浮标就跟着起伏运动, 连于海表面浮球下面的锚泊缆便随其一起上下振动, 从而有效地将海表面波浪能吸收并传递下去, 直达海底。见图 1。

收稿日期: 2010-07-19; 修回日期: 2012-02-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41106083; 41106084)

作者简介: 陈永华(1976-), 男, 山东枣庄人, 博士, 从事海洋监测技术研究, 电话: 0532-82898990, E-mail: yonghuachen@yahoo.cn

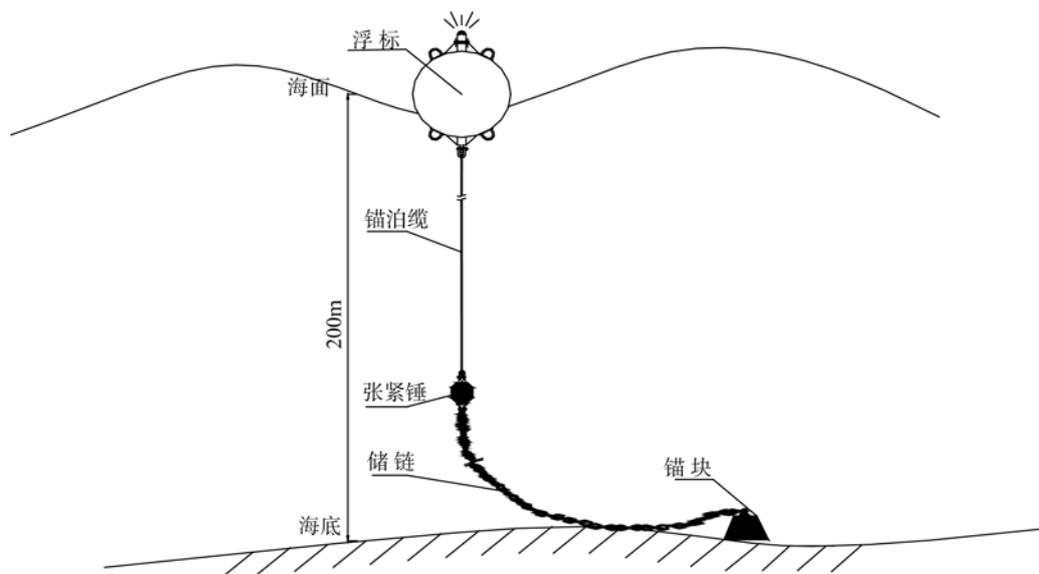


图 1 波浪能传递装置组成图

Fig. 1 The formation of the mooring system

当台风过境或者涨潮退潮时，锚泊地点的海水深度变化较大，张紧锤至重物锚块之间二十几米长的钢质储链保证系统仍然有效地吸收并传递波浪能。比如，当台风经过时，海面波峰会有十几米甚至二十几米，依靠海面浮标的浮力，储链会被拉起，使海表面浮球继续漂浮在海表面随波浪起伏运动，整个系统也可以继续传递波浪能；再如当退潮时，储链的绝大部分接触着海底，这时锚泊缆依靠张紧锤的作用，仍然处于比较悬直的状态。可以看出，储链起到了在需要的时候间接增长或缩短锚泊缆系垂直长度的目的，从而使海面浮标始终漂浮在海表面吸收传递波浪能。

2 系统组成部件的设计与制作

2.1 海面浮标

海面浮标包括锚灯、不锈钢球壳和链接机构等，具体机械结构如图 2 所示。所设计的海面浮标主要是由两个不锈钢半球拼焊而成的球壳，球壳厚度要在保证构成浮标一定刚性的前提下，尽可能地薄，这样可以减轻质量，增强其随波性。为了便于链接锚泊缆和固定锚灯以及增加不锈钢球壳的刚性，过球心从上到下穿有主拉钢管；为了便于运输，对称地焊接着四个拉环；为了防止浮标变形，球壳内外的吃力部位都焊接着加强筋。海面浮标制作装配完成后，在实际应用前，要进行密封性能和压力性能测

试。由于海面浮标体积一般较大，进行外压试验需要较大的压力试验容器，受此条件限制，可以从内部进行加压试验^[2-3]。在制作的时候可以在浮球上留出尺寸合适的两个圆孔(如孔的直径为 2 cm)，从外部加压试验。确定密封和耐压性能良好后，将圆孔密封。

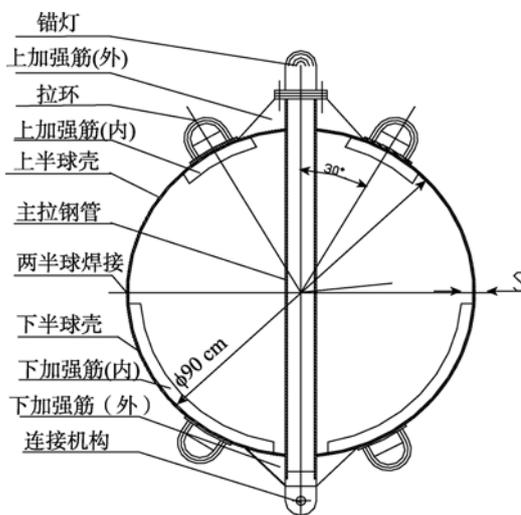


图 2 海面浮标结构组成

Fig. 2 The formation of surface float

2.2 辅助锚件

2.2.1 锚泊缆

锚泊缆的设计制作是基于三方面的考虑：(1)锚泊缆的承载力：由于海面浮标体积较小，排水量有

限, 锚泊缆上的张力有限, 但考虑到内波和台风经过等恶劣海况的影响, 应该选取较大的保险系数。

(2) 锚泊缆自身质量和水中质量: 由浮标带动锚泊缆随波浪起伏运动, 钢缆不能过重, 尤其水中质量要严格控制。(3) 锚泊缆防腐性能: 由于锚泊缆长时间在海水中浸泡, 外表面要进行防腐处理^[4]。

综合以上要求, 图 3 是所设计的一种用作锚泊缆的注塑钢缆的截面, 其内芯为优质钢丝绳, 外面进行注塑封装处理。通过合适的尺寸和比例选择, 使其刚性、水中浮力和韧性恰到好处。

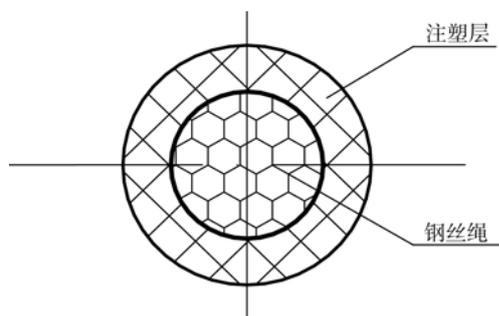


图 3 锚泊缆断面图

Fig. 3 Sketch of line's section

2.2.2 张紧锤

锚泊装置中的张紧锤缀于锚泊缆下部, 起到绷直锚泊缆的作用, 它采用流线型设计, 主要由中轴处有孔的圆柱形和圆台形铅砖串套在中心轴杆上构成, 它在水中质量数十公斤(根据水深和海况进行调节), 可以有效地使锚泊钢缆处于可上下振动的悬直状态。具体结构组成如图 4 所示。

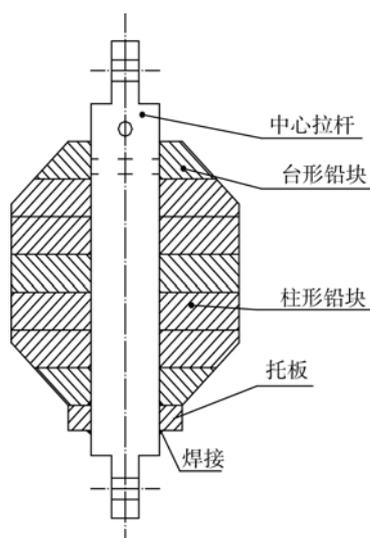


图 4 张紧锤设计图

Fig. 4 Design of pendulum

2.2.3 储链和锚块

张紧锤和锚块之间连接一 20 m 左右的储链, 储链可以购置现成的不锈钢链条。

锚泊重物起到定位的作用, 为了方便运输和海上投放, 锚泊重物采用分体组装的方法, 组装块采用铸铁材料, 其结构如图 5 所示。

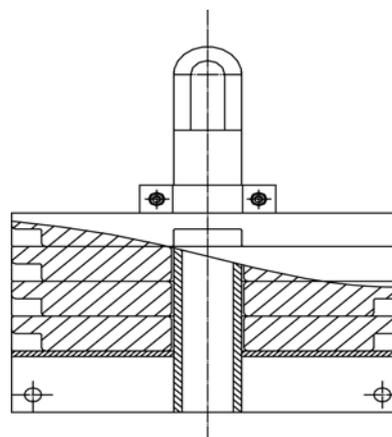


图 5 锚泊重物设计图

Fig. 5 Sketch of gravity anchor

3 应用举例

本锚泊装置能够随着波浪的起伏而上下运动, 从而将波浪能转化成锚泊缆系的动能, 在锚泊缆周围放置永磁铁, 可以用其来发电^[5-6]。另外也可以用其来作单向驱动, 配以适当的单向步进传动机构和测量平台, 可以构成海洋要素垂直剖面循环测量系统^[7]。

由图 6 可以看出, 搭载传感器的测量平台借助棘爪机构攀附在引导缆上, 棘爪机构的主要部分是两个夹槽, 一个固定在底板上(固定底板又紧固在测量平台的一侧), 另一个可以随转动臂在一定范围内转动, 引导缆穿过两个夹槽相对的部分。整套垂直剖面测量系统的工作原理是: 海面浮标随波浪起伏, 带动一定长度的引导缆在海水中上下振动。当引导缆向下运动时, 依靠摩擦力带动棘爪的可动夹槽下行, 从而使两夹槽夹紧引导缆, 随缆下滑, 而测量平台与传动棘爪是连在一起的, 所以测量平台也被引导缆带着下滑; 当缆向上运动时, 它带动可动转臂斜向上转动, 两夹槽松开引导缆, 因此棘爪和测量平台依靠惯性滞留原位。当缆绳被波浪带动反复上下振动时, 不断重复上面的过程, 这样测量平台就被一步步带到海底, 此时, 由电机带动凸轮推动转动棘爪上的可动夹槽脱离引导缆, 使棘爪彻底松开,

测量平台就在自身正浮力的作用下上浮到海面，此后，电机松开棘爪上的可动夹槽，传动棘爪又起作用，依靠波浪能又使测量平台步进下潜，如此反复，就可以使测量平台不断地沿着引导缆反复上下循环，实现海洋要素的长期、连续、循环测量。

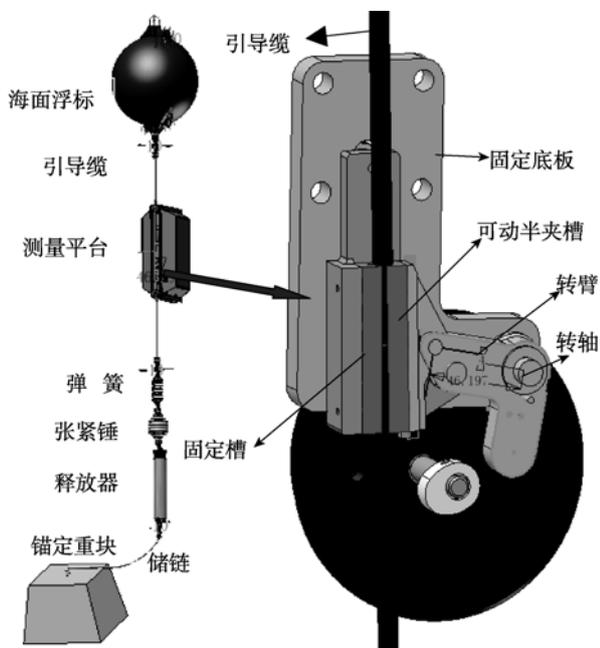


图6 波浪驱动垂直剖面测量系统工作原理

Fig. 6 The working principle of a vertical profiler

4 小结

有效吸收和传递波浪能的锚定装置已经在近海

试验中取得了成功，从中可以看出该装置的特征为：
 (1)球形的海面浮标随波浪上下起伏性能较好，同时，海面浮标采用加内、外加强筋结构，增加了抗拉伸性能，确保浮球不变形。
 (2)锚泊缆是经过特殊制作的注塑钢缆，具有一定的抗拉伸性能，同时又具有较高的防腐能力。
 (3)张紧锤缀于锚泊缆下部，起到绷直锚泊缆的作用，使其处于可上下振动的悬直状态。
 (4)二十多米长的储链可以保证整个系统在海上海潮起潮落以及较大风浪的情况下，有效地吸收并传递海表面波浪能。
 (5)锚灯可以在夜间使过往船只等海上交通工具注意到浮标的存在，从而避免整个装置被船只撞坏。

参考文献:

- [1] Arne R. Wave-power absorption by an oscillating water column[J]. Physica Scripta, 1991, 43(1): 60-67.
- [2] 李永泰, 黄金国, 谭继锦, 等. 球罐整体结构水平刚度及支柱拉杆应力分析[J]. 压力容器, 2006, 34(3): 19-24.
- [3] 电子工业专用设备设计手册编写组. 机械设计手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1979.
- [4] 中国钢丝绳网. 不旋转钢丝绳技术参数[EB/OL]. [2007-09-15]. <http://www.gangsisheng.net.cn/html/429/>.
- [5] Emmanuel B A. A direct-drive wave energy converter with contactless force transmission system[D]. Oregon: Oregon State University, 2005.
- [6] Eriksson M, Isberg J, Leijon M. Hydrodynamic modelling of a direct drive wave energy converter[J]. International Journal of Engineering Science. 2005, 43: 1377-1387.
- [7] 李思忍, 陈永华, 龚德俊, 等. 有效传递波浪势能的锚定装置[P]. 中国专利: 200610135091.5, 2006-12-27.

Design and development of a mooring system for the absorption and transmission of wave energy

CHEN Yong-hua, LI Si-ren

(Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Jul., 19, 2010

Key words: wave energy; absorption and transmission; mooring system; design and development

Abstract: On the basis of traditional buoy, the new mooring system for the absorption and transmission of wave energy can be obtained. On the top of the system is the surface float which is connected by tether line. At the lower part of the system are pendulum, chain and anchor, which are connected end to end to the other side of the tether line. The surface float drifts well with the wave and the tether line is vertical between the surface float and the pendulum. The surface float falls with the passage of a wave trough and rises with the passage of a wave crest, which makes the mooring line heave together. Thus the surface float absorbs the wave energy and the mooring line transfer the energy down. The 20 meters long chain makes sure that the system can work effectively even at high and low tides. An anchor with proper weight fastens the whole system to seabed. In the end, the author gives an example of wave energy application. The designed mooring system can absorb and transfer the wave energy providing a useful way to make use of the wave energy.

(本文编辑: 刘珊珊)