

一种漂浮式直驱波浪能发电装置的设计

孙建军¹, 张 静^{2*}

(1. 世健国际贸易(上海)有限公司, 江苏 南京 211105;

2. 金陵科技学院机电工程学院, 江苏 南京 211169)

摘 要:海洋波浪中蕴藏着巨大的能源,为了有效利用海洋表面的波浪能源,提出了一种漂浮式直驱波浪能发电装置,该结构主要包括浮子结构、直线电机和连杆装置。首先根据发电原理设计了圆筒形浮子的基本结构和参数,分析常规波浪下浮子所受的波浪力计算方法。其次,根据浮子在竖直方向的推力和电机的电磁负荷,提出了一种应用于该装置的圆筒形永磁直线发电机。该电机具有体积小、功率密度大、输出效率高等特点。最后,根据有限元法分析出直线发电机的输出特性数据,并验证理论计算与数值计算方法的正确性。提出的设计模型和方法适用于同类波浪能发电的研究领域中。

关键词:筒形直线电机;永磁体阵列;海浪发电;有限元法

中图分类号: TM35

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2018)01-0037-04

Design of Direct Drive Wave Energy Conversion System

SUN Jian-jun¹, ZHANG Jing^{2*}

(1. Excelpoint International Trading (Shanghai) Co., Ltd., Nanjing 211105, China;

2. Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

Abstract: Coastal waves represent a vast renewable and pollution-free energy source. In order to make efficient use of wave energy on the ocean surface, this paper presents a direct drive wave conversion system with permanent magnet linear generator, floater and linkage structure. The wave force and the hydrodynamic parameters of the floater in the direct drive wave conversion are analyzed on the basis of potential flow theory. The tubular linear generator with slot structure is designed based on the push force and electromagnetic loading. The generator has the characteristics of small volume, high power density, high output efficiency. Finally, the output characteristics of the generator are analyzed by finite element method. The method and model can be applied in the field of wave energy conversion.

Key words: linear PM generator; Halbach PM arrays; wave energy generation; finite-element method

随着工业技术的发展和能源消耗的加快,新型可持续的清洁型能源的开发已成为各国科学研究的热点。海洋约占地球表面积的 70.8%,海浪能是海洋能源中蕴藏最为丰富的能源之一,作为一种清洁无污染的可再生能源已被众多科学研究者重视^[1-3]。根据波浪的运动参数和外形,可以将海洋的波浪分成行

收稿日期:2018-03-17

基金项目:江苏省青年自然科学基金(BK20150115);金陵科技学院孵化项目(jit-fhxm-2017-2)

作者简介:孙建军(1979—),男,内蒙古集宁人,工程师,硕士,主要从事电机控制及优化设计研究。

通信作者:张静(1980—),女,辽宁锦州人,讲师,博士,主要从事海浪发电、电机系统及其控制研究。

进波和驻波。波浪在传播过程中,波浪质点沿传播方向向前传递成为行进波;驻波是由两个波浪参数相同、振动方向相同但沿相反方向传播的波浪叠加形成,从外观上看没有较为明显的传播运动,只有水质点在竖直方向上的振荡运动。

根据波浪运动特征和海洋局部海况,由波能发电原理可以将发电装置大致分成三种类型:一是由波能发电装置的两个结构部分的相对运动来驱动发电装置;二是将发电装置一部分固定,利用波浪运动驱动发电部分进行发电;三是利用蓄波产生的波浪势能进行发电。波能发电用的电机主要包括传统的涡轮发电机、直线电机和新型特种电机^[4-6]。从能量转换角度上讲,主要是先利用能量俘获装置将波浪的运动动能转换成机械能,再由中间传动机构将机械能转换成电能。当前已经出现的波能发电装置主要由波浪能俘获装置、传动机构和涡轮发电机组成,直驱式波浪发电技术是利用直线发电机直接将波浪垂直运动的动能转换成电能的一种新型发电技术。与传统的发电技术相比省掉中间的能量转换装置,使能量转化效率明显提升^[6-8]。我国海岸线较长,但波浪能密度相对较小。我国波浪发电的研究起步较晚,仍停留在发电量为千瓦级的研究水平上。

本文提出一种漂浮式波浪能发电装置,该装置属于点吸式直驱波浪能发电形式。主要由漂浮的浮体结构和直线电机组成,利用波浪与浮体产生气室的压强驱动直线电机发电。由于省略了中间的传动机构,提高了装置的能量转换效率。此外该装置的发电机部分采用圆筒形的永磁直线电机,通过采用 Halbach 永磁体结构提高了电机的磁能密度,利用电机的齿槽结构与极距结构的配比来减小电机内部的磁阻力波动,增加了电机运行的稳定性,从而提高了整个发电装置的发电效率。

1 发电装置模型

本文设计的漂浮式海洋波浪能发电装置属于点吸式波能转换器,如图 1 所示。该装置由浮体装置、气室、活塞和连杆、直线电机组成。主要运行原理为:利用波浪竖直方向的振荡运动,压缩浮体气室内的空气,空气体积减小压强变大,推动活塞上下运动,通过连杆结构直驱动电动机定子往复运动,在交变磁场作用下,电机绕组里面就会产生感应电动势。

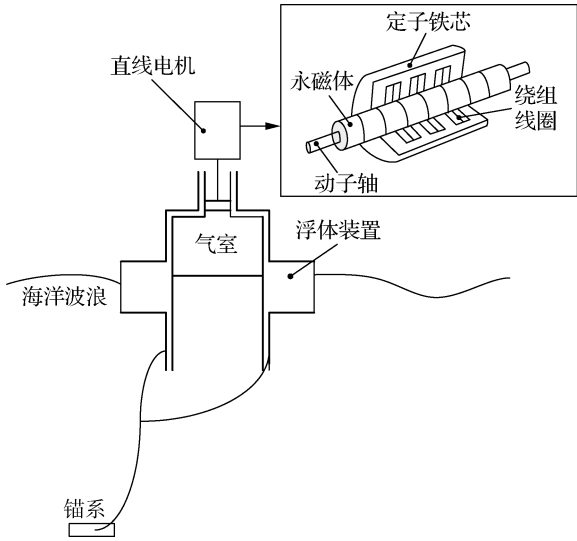


图 1 漂浮式波浪发电装置

本文的浮体结构采用圆筒形的空心浮筒,当浮筒体积大于波长 λ 两倍以上时,浮筒就不能当做一个质点来进行受力分析。在本文中采用绕射理论来分析发电装置浮筒结构的受力情况。此时,液体为理想的不可压缩流体,流体的运动为势流运动。系统浮体采用圆柱空心体,其外形结构如图 2 所示。

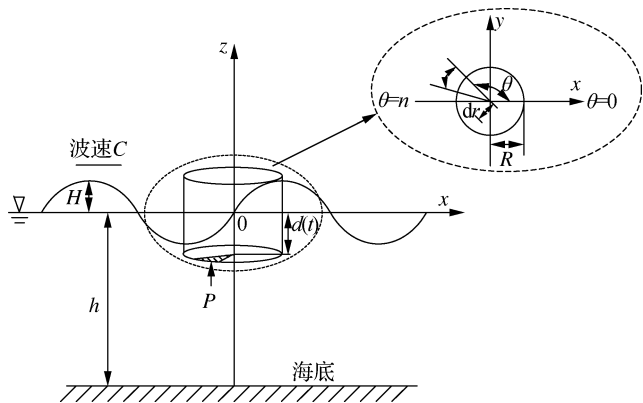


图 2 圆柱形浮体结构

其中对浮体的分析采用对称的圆柱坐标系。根据水动力学分析原理得出浮筒上任意一点在圆柱坐标系上的表示如式(1)所示。

$$\begin{cases} x=r\cos\theta \\ y=r\sin\theta \\ z=z \end{cases} \quad (1)$$

在波高 H 与圆柱底部半径 R 的比值 $H/2R$ 无限小的条件下,流体的黏滞效应可以忽略,此时浮体上的任意一点的波浪力的竖直方向的分量表达式如式(2)所示。

$$F_V = C_V \iint_S P dS = 2C_V \int_0^R \int_0^\pi p r d\theta dr = C_V \frac{\rho g \pi H J_1(kR)}{k} \cdot \frac{chk(h-d(t))}{chkh} \cos \omega t \quad (2)$$

式中, C_V 是绕射系数, P 为浮体上任意一点压强, R 为浮筒半径, ρ 为液体密度, g 为重力系数, H 为波高, $J_1(x)$ 为一阶贝塞尔函数, ω 为波浪角频率, k 为波数。

2 直线电机模型

本文采用的电机为圆筒形的永磁直线电机,主要构成为动子结构、定子结构和气隙,具体结构如图 3 所示。由于电机为圆筒形对称结构,故图 3 采用二分之一的电机剖面图来表示电机结构。其中动子结构由动子轴、轴上的永磁体阵列环组成,动子与发电装置的气室活塞相连,动子的往复运动在电机内产生交变磁场。定子部分为筒状的铁芯,铁芯的齿槽内为电机的绕组线圈,在变化的磁场作用下,电机绕组内产生感应电动势。

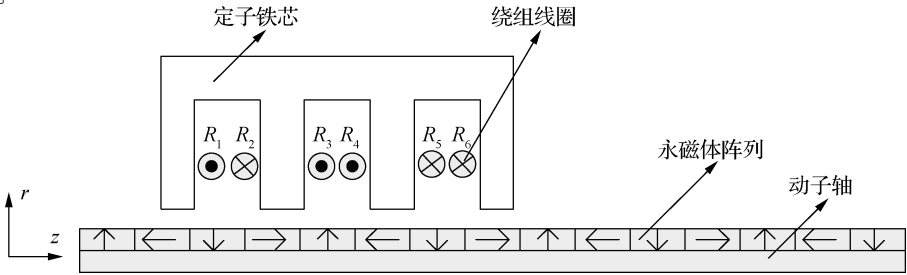


图 3 直线电机剖面图

根据法拉第电磁感应定律得出,电动势的计算公式如式(3)所示。

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = \frac{- \int B_z \cdot n ds}{dt} \quad (3)$$

其中, e 为感应电动势, ψ 为电机磁链, B_z 为轴向磁通密度。

在动子永磁体环的作用下,由电机的定子铁芯、齿槽、气隙和动子轴构成电机的一个单槽的磁路,见图 4(a)。磁路结构见图 4(b),其中 F_P 为永磁体磁动势, R_m 为永磁体磁阻, R_g 为电机气隙磁阻。根据有限

元法对电机磁场进行计算与分析,得出电机的磁场分布情况,如图 4(c)所示。

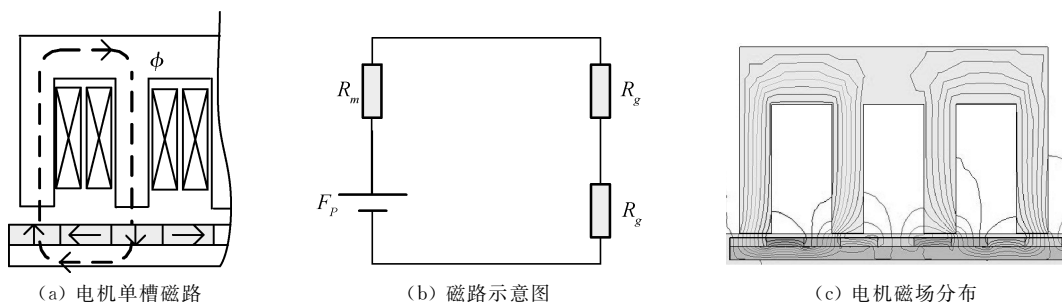


图 4 电机磁场分析

根据电机的优化分析得出电机动子分别采用普通径向充磁方式(R-magnetized)和 Halbach 永磁阵列时的电机线圈内的感应电动势输出波形如图 5。由图可见,采用普通径向充磁方式时获得的感应电动势波形的幅值可以达到 28 V,而采用 Halbach 永磁阵列时获得的感应电动势波形的幅值可以达到 35 V,故 Halbach 永磁阵列可以有效提高电机感应电动势输出幅值。

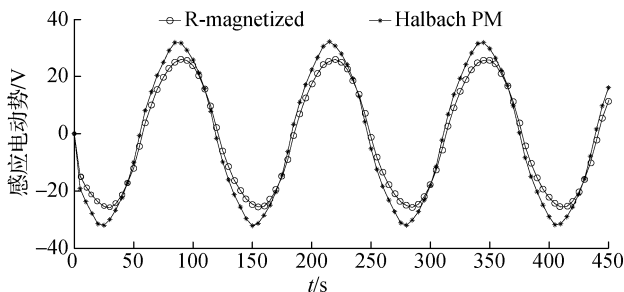


图 5 电机感应电动势波形

3 结 语

本文提出了一种漂浮式直驱波浪能发电装置,给出了装置的主要结构,对海洋波浪的基本参数进行阐述,对采用的圆筒形浮体结构进行了波浪力计算,并提出了一种应用于该发电装置的直线电机,给出了电机的基本结构,分析了电机的单槽磁路组成,并根据有限元法对电机的磁场分布进行计算。通过分析可知该直驱式波浪能发电装置在我国海域及相似领域具有一定的应用前景。

参考文献:

- [1] Coll V D, Cancelliere P, Marignett F, et al. A tubular generator drive for wave energy conversion[J]. IEEE Transactions, 2006, 53: 1152 - 1159
- [2] 袁榜,余海涛,胡敏强. 海浪发电用 Halbach 磁体结构圆筒直线发电机性能分析[J]. 微电机, 2011(2): 20 - 23
- [3] 戴魏,余海涛,胡敏强. 基于虚功法的直线同步电机电磁力计算[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(22): 110 - 114
- [4] 王秀和. 永磁电机[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007
- [5] Jabbar M A, Liu Z J, Dong J. Time-stepping finite-element analysis for the dynamic performance of a permanent magnet synchronous motor[J]. IEEE Trans. Magn., 2003, 39(5): 2621 - 2623
- [6] 黄学良,张前,周赣. 一种无铁 Halbach 型永磁直线电机[J]. 电工技术学报, 2010, 25(6): 1 - 6
- [7] 陈卫宝,范承志,叶云岳. 低速大力矩圆筒永磁直线电机齿槽力分析[J]. 机电工程, 2010, 27(2): 86 - 88
- [8] 张静. 一种短初级、长次级永磁直线发电机的设计分析[J]. 金陵科技学院学报, 2015(4): 27 - 31