

基于蓄能器的液压传动系统研究

华军,李德堂,陈丽雪,申宏群,赖文斌

(浙江海洋大学 舟山 316022)

摘要:为充分利用海洋可再生能源,文章针对波浪能具有不稳定和不连续的特点,设计采用带有蓄能器的液压传动系统,保障波浪能发电装置稳定地输出电能;利用 AMESim 对液压系统进行仿真,分别研究蓄能器对电能输出的影响以及蓄能器的释放压力对永磁发电机的影响,并搭建应用蓄能器的摇臂式波能发电平台进行实验验证。仿真与实验结果表明:具有蓄能器的液压传动系统电能输出稳定,且合适的释放压力可优化液压系统和发电机的输出,可为实海况应用提供理论支持。

关键词:蓄能器;液压传动;波浪能;永磁发电机;释放压力

中图分类号:TK02;P743.2;TM313

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2019)12-0080-05

Hydraulic Transmission System Based on Accumulator

HUA Jun, LI Detang, CHEN Lixue, SHEN Hongqun, LAI Wenbin

(Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: In order to make full use of the marine renewable energy and for the unstable and discontinuous characteristic of wave energy, the design adopted the hydraulic transmission system with accumulator to make the electric energy output of the wave generator platform stable. In this paper, AMESim was used to simulate the hydraulic system, the effect of the accumulator to electricity output and size of permanent magnet generator system in the accumulator to relieve pressure were studied respectively. After that, the rocker arm wave energy generation platform with accumulator was built for experimental verification. The results of simulation and experiment showed that the power output of hydraulic drive system with accumulator was stable and the output of hydraulic system and generator could be optimized with appropriate pressure, which could provide theoretical support for the real sea application.

Key words: Accumulator, Hydraulic drive, Wave energy, Permanent magnet generator, Release pressure

收稿日期:2019-06-21;修订日期:2019-11-21

基金项目:江苏高校高技术船舶协同创新中心项目(HZ20180007)。

作者简介:华军,硕士研究生,研究方向为海上安全保障技术

通信作者:李德堂,教授级高级工程师,研究方向为海洋能开发与利用

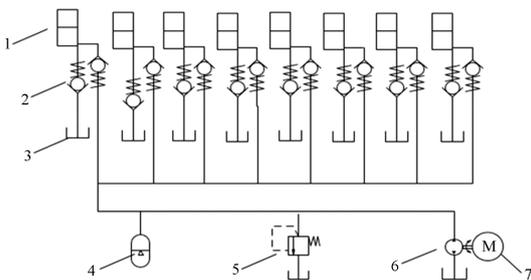
0 引言

21 世纪以来,波浪能发电技术逐渐成为可再生能源技术领域的热点,各种形式的波浪能发电装置不断涌现^[1-3]。日本科学家最初设计并制造振荡浮子式波浪能发电装置,利用浮子在波浪作用下的上下振荡,通过机械传动系统带动发电机发电^[4]。目前根据波浪能发电装置的结构形式,可将其分为振荡水柱式、越浪式、阀式和浮力摆式等^[5]。早期的波浪能发电系统大多运用机械齿轮之间的咬合转动,带动发电机转子转动发电,而机械传动的过程存在齿轮箱易损坏、水下维修困难和传动效率低等缺点^[6]。根据众多科学家的研究成果,液压动力传动系统具有传动平稳、调速方便和功率体积比大等优良特性^[7-9]。

本研究提出基于蓄能器的液压传动系统波浪能发电装置,利用 AMESim 软件对液压回路进行仿真,研究蓄能器的作用;在预设压力一定的条件下,研究释放压力对输出电能的影响,搭建以液压传动为基础的摇臂式波浪能发电平台,验证仿真数据的正确性,从而为蓄能器的应用提供有力支持。

1 液压系统的组成部分和工作原理

液压系统的主要组成部分如图 1 所示。



1—液压油缸;2—单向阀;3—高置油柜;4—蓄能器;
5—溢流阀;6—液压马达;7—永磁同步发电机

图 1 液压系统

在液压传动系统中,波浪作用于浮子,浮子推动油缸,单向阀控制高置油柜中的液压油进出,液压油缸进行吸油和排油循环。这种油缸设计在浮子上升和下降时都能推动油缸运动以获取波浪能,

提高波浪能的利用率。本系统采用蓄能器储能技术,既可储存能量,又可保证系统压力稳定:在波浪较大时,多余的能量会进入蓄能器;在波浪较小时,蓄能器将释放储能,使永磁发电机稳定输出;在波浪特别大时,液压系统内的压力处于过高的状态,溢流阀将开启并将压力释放,保证系统稳压,同时保护系统。

2 数学建模

实验采用气囊式蓄能器,结构为圆柱形外刚体,由内部气囊、进油口和充气口等部分组成,充气气体(氮气)和工作液体(液压油)由气囊隔离。此种蓄能器的优点是惯性小、反应迅速、重量轻、占用空间小和安装维护方便。

蓄能器的工作过程包括充液阶段(蓄存能量)和排液阶段(释放能量),其工作状态满足理想气体状态方程,计算公式为:

$$PV^n = C$$

$$P_0 V_0^n = P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

式中: P 表示蓄能器的瞬时工作压力(Pa); P_0 表示蓄能器的初始充气压力(Pa); P_1 表示液压系统的最低工作压力(Pa); P_2 表示液压系统的最高工作压力(Pa); V_0 表示蓄能器的总容积(m^3); V 表示蓄能器气囊中气体的瞬时体积(m^3); V_1 表示在液压系统最低工作压力下,蓄能器气囊中气体的体积(m^3); V_2 表示在液压系统最高工作压力下,蓄能器气囊中气体的体积(m^3); C 为常数; n 为多变指数。

蓄能器的有效工作容积为:

$$V_w = V_2 - V_1$$

3 液压系统的仿真和实验

3.1 仿真模型

利用液压软件 AMESim 进行仿真,仿真元件库分别为 Signal control、Mechanical 和 Hydraulic。首先进入 sketch mode 选取各个库中的元件并连线,然后进入 submode mode 选取元件函数模型,本次仿真没有特殊元件可进入 premier mode 为元件分配常规函数模型。建模过程中均忽略温度和系统管道的影响^[10](表 1)。

表1 元件参数设置

元件	参数
液压油缸	直径 68 mm, 最大行程 220 mm
单向阀	开启压力 0.05 MPa
蓄能器	最大容积 60 L, 预设压力 0.6 MPa
溢流阀	开启压力 20 MPa
液压马达	排量 0.08 L/r, 转速 1 800 rev/min
其他	默认值

波浪的传播形式类似于正弦函数,因此输入信号为 \sin 函数,频率为 1 Hz,幅值为 0.2 m,相位分别为 $\frac{\pi}{4}$ 、 $\frac{\pi}{2}$ 、 $\frac{3\pi}{4}$ 、 π 、 $\frac{5\pi}{4}$ 、 $\frac{3\pi}{2}$ 、 $\frac{7\pi}{4}$ 、 2π ,不同相位的正弦函数信号叠加可模拟真实波浪的不规则性。液压仿真系统如图 2 所示。

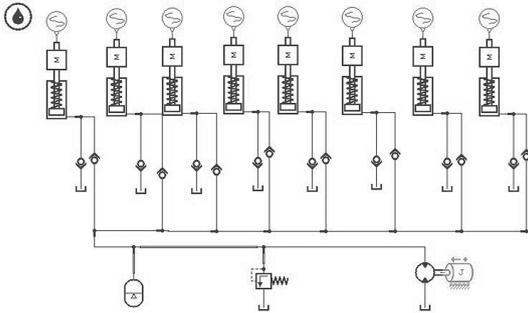


图2 液压仿真系统

3.2 蓄能器对永磁发电机的影响

当液压仿真系统中未加入蓄能器时,波峰推动浮子平台获取波浪能,液压系统内部的压力瞬间增大,液压油进入管道直接带动液压马达转动;波谷时液压系统内部失去压强,液压油几乎停滞,液压马达失去动力并停止转动。末端永磁发电机的转速非常不稳定,短时间内最高转速与最低转速相差 25 rev/min;刚启动情况下扭矩在 3 s 内最高达到 60 Nm,稳定情况下最高扭矩与最低扭矩相差 34~36 Nm,在 2 s 内又几乎降为 0,期间发电机间歇转动,设备极易损坏且发电效果差(图 3)。

液压系统内部压强的变化导致发电机转速和扭矩的变化,三者变化趋势基本一致,符合实际情况(图 4)。

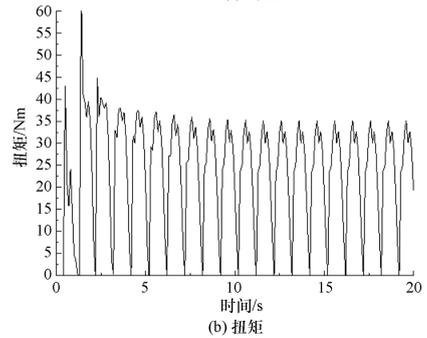
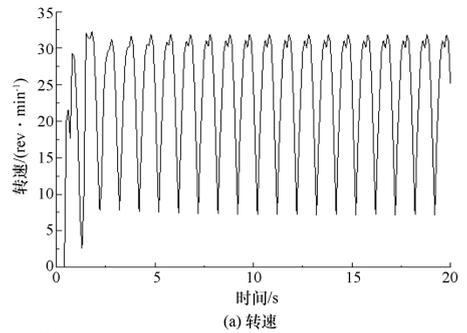


图3 无蓄能器时发电机的转速和扭矩

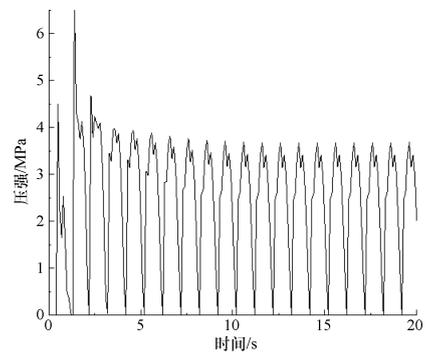


图4 无蓄能器时液压系统的内部压强

在液压仿真系统中加入蓄能器,蓄能器的容积为 60 L,预设压力为 0.6 MPa,释放压力为 1.6 MPa。永磁发电机的转速稳定在 13 rev/min,扭矩为 13 Nm(图 5)。

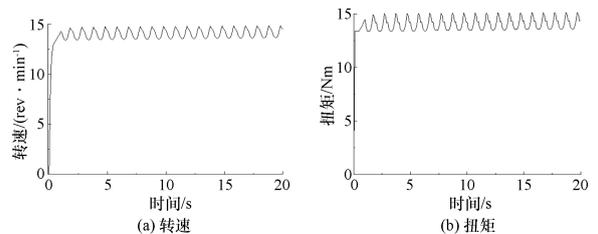


图5 蓄能器释放压力为 1.6 MPa 时永磁发电机的转速和扭矩

当波峰作用于浮子时,一部分波浪能带动液压马达转动,另一部分波浪能则储存在蓄能器中。当波谷时,储存的波浪能被释放,因此管道内部压强较稳定(图 6)。

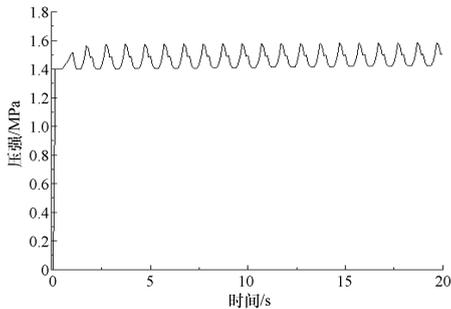


图 6 蓄能器释放压力为 1.6 MPa 时
液压系统的内部压强

根据对仿真曲线的比较,有蓄能器的液压系统明显优于无蓄能器的液压系统,蓄能器为整个平台提供稳定的输出保障,有利于能量的传递和运用。

3.3 蓄能器的释放压力对永磁发电机的影响

蓄能器的预设压力为 0.6 MPa,将其释放压力分别设置为 1.8 MPa 和 2.0 MPa。经比较可知,蓄能器的释放压力越大,永磁发电机的转速和扭矩越大,且波动幅度越小,其中:蓄能器的释放压力为 1.8 MPa 时,永磁发电机的转速和扭矩分别为 15.2 rev/min 和 15.0 Nm;蓄能器的释放压力为 2.0 MPa 时,永磁发电机的转速和扭矩分别为 17.5 rev/min 和 17.5 Nm。此外,当释放压力为 1.8 MPa 时系统内部压强为 1.6 MPa,当释放压力为 2.0 MPa 时系统内部压强为 1.8 MPa,且随着释放压力的增大,液压系统内部压强越来越稳定(图 7)。

当其他条件相同时,蓄能器的释放压力越大,其出油量越大,管道内液压油的流量变大,导致液压马达和发电机的转速变快。同时,系统内部压强越大,抗干扰能力越强,波浪小幅变化对电能输出的影响越小。但蓄能器的释放压力不能无限度地增大,液压系统压力过高将由于反作用力而无法工作。因此,应根据设备情况选择合适的释放压力。

3.4 实验

本实验在浙江海洋大学水动力实验室的水池内进行,水池深为 3.5 m,造波机造波的波高为

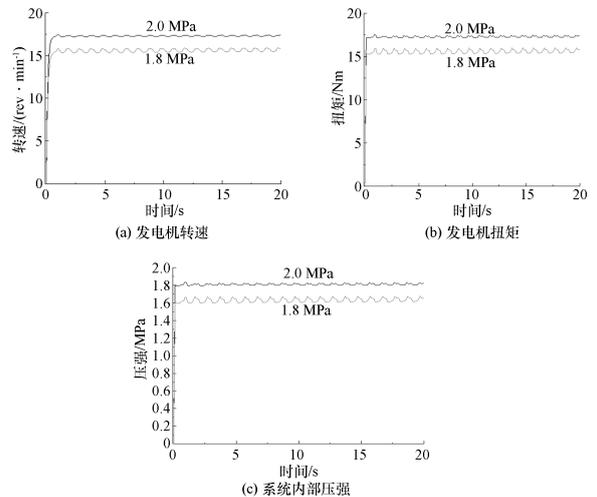


图 7 蓄能器释放压力分别为 1.8 MPa
和 2.0 MPa 时的仿真结果比较

0.16 m、周期为 3 s。蓄能器的容积为 60 L,预设压力为 0.6 MPa,释放压力为 1.8 MPa。利用电压电流传感器,测量摇臂式波浪能发电装置的输出电压和电流(图 8)。

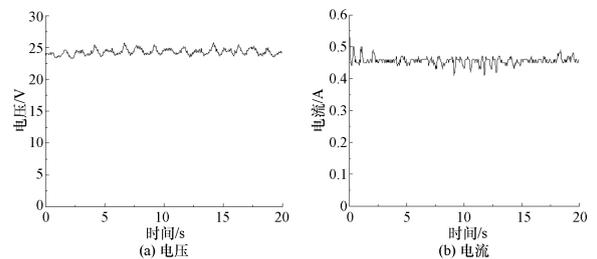


图 8 波浪能发电装置的输出电压和电流

开启造波后,当负载 LED 稳定发亮时打开测试软件,平台输出电压约为 25 V、电流约为 0.46 A。曲线有波动但整体稳定,表明有蓄能器的波浪能发电系统具有良好的稳定性。

4 结语

可再生能源是未来新能源的发展趋势,其中波浪能的获取相对简单。本研究利用 AMESim 软件对液压系统进行仿真,并分别研究蓄能器的作用及其释放压力对永磁发电机的影响。通过仿真和实验验证,蓄能器可让发电机间歇发电转变为连续发电,并减少快速启停对设备的损耗。在蓄能器的预设压力一定时,随着蓄能器释放压力的增大,液压系统的输出功率趋向平稳。

参考文献

- [1] 吴必军,邓赞高,游亚戈.基于波浪能的蓄能稳压独立发电系统仿真[J].电力系统自动化,2007,31(5):50-56.
- [2] ZHANG D H, LI W, LIN Y G. Wave energy in China: current status and perspective[J]. *Renewable Energy*, 2009, 34(10): 2089-2092.
- [3] WU F, ZHANG X P, JU P. Application of battery energy storage in the direct-drive wave energy conversion farm integrated in to power grid[J]. *电力系统自动化*, 2010, 34(14): 31-36.
- [4] 单长飞.单浮子式波浪能发电装置的水动力性能研究[D].镇江:江苏科技大学,2013.
- [5] 石茂顺,刘宏伟,李伟,等.基于液压变压器原理的海流发电液压传动系统[J].浙江大学学报(工学版),2014,48(5):746-769.
- [6] MURRENHOF H, 吴根茂.液压控制技术发展趋势(1)[J].工程设计,1999,7(3):20-29.
- [7] 彭天好,徐兵,杨华勇.变频液压技术的发展与研究综述[J].浙江大学学报(工学版),2004,38(2):215-221.
- [8] ZHANG L Z, YANG X S, WANG S M, et al. Research status and developing prospect of ocean wave power generation device [J]. *Hubei Agricultural Science*, 2011, 5(1): 161-164.
- [9] 石晶鑫,李德堂,李达特,等.自升式波浪能发电装置设计与实验研究[J].中国造船,2014,55(2):138-145.
- [10] 刘绪儒,黄连忠,林煌翔,等.基于 AMESim 船舶风翼回转液压系统仿真分析[J].液压气动与密封,2013(4):30-34.