

## 一种波浪能转换器的控制系统

### 技术领域

本发明属于波浪能转换器的发电控制领域，特别是涉及一种波浪能转换器的控制系统。

### 背景技术

中国海岸线长，波浪能平均理论可开发功率达到 12.85GW。作为一种清洁的可再生能源，大规模开发波浪能可以减少温室气体的排放，而且在各种海洋能资源中，波浪能有较高的能流密度，更容易实现小型化，有助于海洋开发和海防建设，因此利用波浪能发电是解决能源问题的有效措施，进一步提高波浪能装置的转换效率及稳定性是波浪能利用技术发展的重要趋势。

波浪能装置可分为两个部分。第一部分为波浪能俘获系统，作用是将波浪能转换为往复机械能(一级转换)；第二部分是能量转换器，其作用是把往复机械能转换为电能或其他形式的能量。

液压式的浪能转换器适用于大功率和大扭矩的传输低频波，具有快速的频率响应，在波浪能转换器中最为常用。波浪能转换器的动力输出（PTO）的可变排量油压泵必须工作在最大排量的 80% 以上，才能使总能量转换效率达到大约为 94.5% 的高效率。这需要通过在油压功率波动时控制可变排量油压泵的转速来实现的。由于海洋海况在实时进行变化，波浪带动浮子上下运动的频率、幅度也是实时的变化，导致液压缸捕获的液压能的功率、液压油的流量和压力也是出于实时的变化状态，较不稳定，导致液压系统内的压力波动频繁，工作稳定性差，能量转化的效率低。

基于现有技术中液压式的浪能转换器的具体技术现状，本发明要解决现有技术中液压式的浪能转换器的下列技术问题：

1、目前的波浪能转换器中驱动发电机的可变排量液压泵缺乏有效的速度控制机构，导致其工作的排量不能够保持在其最大排量的80%以上，波浪能的转换效率低； 2、现有的波浪能转换器其发电液压回路不能进行连续的相位控制，连接发电机的可变排量液压泵不能够始终处于持续发电的状态，发电效率低，电能输出不稳定；3、缺乏可以对发电液压回路所有的液压管路进行系统全面的补油稳压的机构，导致管路中的油压稳定性不够，影响发电效率；4、现有的波浪能转换器的液压管路通常采用皮囊式蓄能器，其适应的工作压力范围小，适用性差，并且在吸收压力波动和释放压力时响应迟滞。

## 发明内容

本发明为了克服现有技术中驱动发电机的可变排量液压泵缺乏有效的速度控制机构，并且波浪能转换器的液压管路中压力不稳定，电能输出不稳定，能量转换的效率低等技术问题。提供了一种波浪能转换器的控制系统来提高波浪能转换的效率和稳定性。

为了解决上述技术问题，本发明是这样实现的：如附图 1 所示，一种波浪能转换器的控制系统，其可以对浮力波浪能转换器的液压系统进行速度控制，具有主液压缸 1a 和浮子 2a，主液压缸 1a 的上油腔连接有油路 a，油路 a 上设置有第一液控单向阀 8a 和高压蓄能器 11，液压缸 1a 的上油腔连接有油路 b，油路 b 上设置有第二液控单向阀 9a；在油路 a 与油路 b 之间分别由设置有对向设置的一对溢流冲洗阀 3a、第一对向设置的一对单向阀 4a、5a、第一四象限泵 7a；所述的一对溢流冲洗阀 3a 连接到液压油箱，第一四象限泵 7a 通过联轴器连接第一可变排量泵 10，第一可变排量泵 10 与第二可变排量泵 12 在油路 a 和油路 c 之间并联连接，油路 c 上连接有低压蓄能器 13；第二可变排量泵 12 通过联轴器连接第一发电机 14，第一发电机 14 连接逆变器 16 输出电能；其中第一四象限泵 7a、第一液控单向阀 8a、第二液控单向阀 9a、第一可变排量泵 10a 组成辅助单元。

与辅助单元并联设置有电驱动单元。该电驱动单元被限定为：具有与主液压缸 1a 和浮子 2a 平行且并排设置的辅助液压缸 1b 和辅助浮子 2b，辅助液压缸 1b 的上油腔连接有油路 d，辅助液压缸 1b 的下油腔连接油路 e，油路 d 上连接有第三液控单向阀 8b，油路 e 上连接有第四液控单向阀 9b；油路 d 与油路 e 之间连接有第二对象设置的一对单向阀（4b，5b）、第二四象限泵 7b；第二四象限泵 7b 通过联轴器链接第二发电机 17，第二发电机连接逆变器输出电能；并且油路 d 通过油路 f 分别连接油路 a 和油路 b，其中油路 f 与油路 a 的连接点在第一可变排量泵 10 与第二可变排量泵 12 之间。

波浪能转换器的控制系统还具有补油稳压单元，该补油稳压单元被限定为：具有伺服变量泵 6，伺服变量泵 6 有电动机 15 驱动，伺服变量泵 6 与油路 c 连接，伺服变量泵 6 还通过一个分支油路连接到第一对向设置的一对单向阀（4a、5a）之间，伺服变量泵 6 还通过另一个分支油路连接到第二对向设置的一对单向阀（4b、5b）之间。

并且，高压蓄能器 11 和低压蓄能器 13 均为金属波纹管式蓄能器。第一四象限泵 7a、第一可变排量泵 10a、第二可变排量泵 12、第二四象限泵 7b 均为可变排量的斜盘泵。浮子 2a 和辅助浮子 2b 均为球形浮子，主液压缸 1a 和辅助液压缸 1b 均为双作用液压缸。伺服变量泵 6 为容积式的齿轮泵，伺服变量泵 6 由波浪能发电获得一部分能源作为驱动电源。高压蓄能

## 说明书

器和低压蓄能器均为金属波纹管式蓄能器。主液压缸 1a 和辅助液压缸 1b 均为双腔直动型液压缸。

本发明的波浪能转换器的控制系统工作原理如下：

如图2、图3，示出了浮子2a和辅助浮子2b在浮起和下沉状态下，液压管路中油液的流动方向。当浮子2a浮起时，主液压缸1a上油腔为高压出油腔，下油腔为低压进油腔，上油腔的压力油经第一液控单向阀8a流入第二可变排量泵12使其旋转带动第一发电机14发电，并且上油腔的压力油流入第一四象限泵7a，带动第一四象限泵7a旋转并驱动第一可变排量泵10旋转，第一可变排量泵10将压力油输入到第二可变排量泵12使其旋转带动第一发电机14发电。

当浮子2a下沉时，主液压缸1a下油腔为高压出油腔，上油腔为低压进油腔，下油腔的压力油经第二液控单向阀9a、油路f流入第二可变排量泵12使其旋转带动第一发电机14发电，并且下油腔的压力油流入第一四象限泵7a，带动第一四象限泵7a旋转，通过第一四象限泵7a四象限模式的转换，控制第一可变排量泵10轴单向转动，保持油路输出方向不变，第一可变排量泵10将压力油输入到第二可变排量泵12，使其旋转带动第一发电机14始终处于持续发电的状态。

当辅助浮子2b浮起时，辅助液压缸1b上油腔为高压出油腔，下油腔为低压进油腔，上油腔的压力油流入第二四象限泵7b，带动第二四象限泵7b旋转并驱动第二发电机17发电；同时辅助液压缸1b上油腔的一部分压力油经油路d、第三液控单向阀8b和油路f流入第二可变排量泵12，对第二可变排量泵12的转速进行控制，进而控制第二可变排量泵12的排量。

当辅助浮子2b下沉时，辅助液压缸1b下油腔为高压出油腔，上油腔为低压进油腔，下油腔的压力油流入第二四象限泵7b，带动第二四象限泵7b旋转并驱动第二发电机17发电；同时第二四象限泵7b的出油口的压力油一部分流入辅助液压缸1b的上油腔，另一部分压力油经油路d和油路f流入第二可变排量泵12，对第二可变排量泵12的转速进行控制，进而控制第二可变排量泵12的排量。

无论浮子和辅助浮子在上升还是下沉时，流入第二可变排量泵12的压力油的方向始终保持相同，因此，即便浮子和辅助浮子的上升和下沉不同步，第二可变排量泵12依然可以带动电机14同向旋转发电，补油稳压单元以及与所述辅助单元并联设置的电驱动单元，可以持续为第二可变排量泵12提供方向相同的压力油，控制第二可变排量泵12的转速和排量。

高压蓄能器11和低压蓄能器13分别安装在高压油路a和低压油路c上，在管路中压力高于工作压力时，吸收流量，缓冲压力；在管路中压力低于工作压力时，补偿流量，释放压力；促使液压管路中压力的稳定。

# 说明书

第一对溢流冲洗阀3a和第二对溢流冲洗阀3b均与油箱连通，作为波浪能转换器的控制系统的液压油路的过载保护装置。

波浪能转换器通过电驱动单元控制所述第二可变排量泵 12 的转速、并且补油稳压单元对第二可变排量泵 12 的补油增速，二者相互协同作用将所述第二可变排量泵 12 实时工作排量控制在第二可变排量泵 12 的最大排量的 80%以上，以提高波浪能转换的工作效率，并且保证液压油路中工作压力的稳定性。并且即便补油稳压单元的伺服变量泵 6 在运行过程中消耗了一部分能量，但是本发明波浪能转换器整体的能量转化效率仍然比现有技术的波浪能转换器的能量转化效率得到提高，并且电能的输出更加稳定。

通过数值模拟、实验验证和工程应用，本发明的波浪能转换器的控制系统的实施，可以获得如下技术效果：

1、通过设置与辅助单元并联的电驱动单元，利用电驱动单元既可以带动发电机发电，还可以作为速度控制机构对第二可变排量泵的转速进行控制，并且补油稳压单元对第二可变排量泵（12）的补油增速，二者协同作用使第二可变排量泵的实时排量处于其最大排量的 80%以上，保证波浪能的转换效率。

2、可变排量液压泵均选取为四象限泵，实现相位的连续控制，使浮子在上下运动时，保证第二可变排量泵带动电动机连续发电，提高发电效率，并且通过调节四象限操作泵的排量，控制管路中的压力，保证压力稳定。

3、设置了补油稳压单元，在液压管路发生泄漏或者实际压力低于工作压力时，利用伺服变量泵对辅助单元、电驱动单元以及连接发电机的可变排量液压泵中的液压油都可以进行补充，有利于提高管路中油压的稳定性。

4、通过设置高压蓄能器和低压蓄能器，对液压管路的油压进行吸收或者补偿，有利于保持管路中油压的稳定，并且波浪能转换器中液压油压力的波动非常频繁，根据波浪能转换器这种特殊的工作情况，将所有的蓄能器均设计为金属波纹管式蓄能器，其适用的工作压力范围比较大，蓄能效果好，可以快速吸收压力脉动，释放压力时响应迅速，进一步提高了液压管路中油压的稳定性。

## 说明书附图

图1：本发明波浪能转换器的控制系统的液压回路图；

图2：本发明波浪能转换器浮子、辅助浮子上升时液压油流动方向示意图；

图3：本发明波浪能转换器浮子、辅助浮子下降时液压油流动方向示意图；

## 具体实施方式

下面结合附图对本发明的实施方式做进一步的说明。

如附图 1 所示，一种波浪能转换器的控制系统，其可以对浮力波浪能转换器的液压系统进行速度控制，具有主液压缸 1a 和浮子 2a，液压缸 1a 的上油腔连接有油路 a，油路 a 上设置有第一液控单向阀 8a 和高压蓄能器 11，液压缸 1a 的上油腔连接有油路 b，油路 b 上设置有第二液控单向阀 9a；在油路 a 与油路 b 之间分别由设置有对向设置的一对溢流冲洗阀 3a、第一对向设置的一对单向阀 4a、5a、第一四象限泵 7a；所述的一对溢流冲洗阀 3a 连接到液压油箱，第一四象限泵 7a 通过联轴器连接第一可变排量泵 10，第一可变排量泵 10 与第二可变排量泵 12 在油路 a 和油路 c 之间并联连接，油路 c 上连接有低压蓄能器 13；第二可变排量泵 12 通过联轴器连接第一发电机 14，第一发电机 14 连接逆变器 16 输出电能；其中第一四象限泵 7a、第一液控单向阀 8a、第二液控单向阀 9a、第一可变排量泵 10a 组成辅助单元。

并且与辅助单元并联设置有电驱动单元；该电驱动单元被限定为：具有与主液压缸 1a 和浮子 2a 平行且并排设置的辅助液压缸 1b 和辅助浮子 2b，辅助液压缸 1b 的上油腔连接有油路 d，辅助液压缸 1b 的下油腔连接有油路 e，油路 d 上连接有第三液控单向阀 8b，油路 e 上连接有第四液控单向阀 9b；油路 d 与油路 e 之间连接有第二对向设置的一对单向阀（4b, 5b）、第二四象限泵 7b；第二四象限泵 7b 通过联轴器链接第二发电机 17，第二发电机连接逆变器输出电能；并且油路 d 通过油路 f 分别连接油路 a 和油路 b，其中油路 f 与油路 a 的连接点在第一可变排量泵 10 与第二可变排量泵 12 之间。

波浪能转换器的控制系统还具有补油稳压单元，所述补油稳压单元被限定为：具有伺服变量泵 6，伺服变量泵 6 有电动机 15 驱动，伺服变量泵 6 与油路 c 连接，伺服变量泵 6 还通过一个分支油路连接到第一对向设置的一对单向阀（4a、5a）之间，伺服变量泵 6 还通过另一个分支油路连接到第二对向设置的一对单向阀（4b、5b）之间。

并且，高压蓄能器 11 和低压蓄能器 13 均为金属波纹管式蓄能器。第一四象限泵 7a、第一可变排量泵 10a、第二可变排量泵 12、第二四象限泵 7b 均为可变排量的斜盘泵。浮子 2a 和辅助浮子 2b 均为球形浮子，主液压缸 1a 和辅助液压缸 1b 均为双作用液压缸。伺服变量泵 6 为容积式的齿轮泵，伺服变量泵 6 由波浪能发电获得一部分能源作为驱动电源。高压蓄能器和低压蓄能器均为金属波纹管式蓄能器。主液压缸 1a 和辅助液压缸 1b 均为双腔直动型液压缸。

本发明的波浪能转换器的控制系统工作原理如下：

如图2、图3，示出了浮子2a和辅助浮子2b在浮起和下沉状态下，液压管路中油液的流动

方向。当浮子2a浮起时，主液压缸1a上油腔为高压出油腔，下油腔为低压进油腔，上油腔的压力油经第一液控单向阀8a流入第二可变排量泵12使其旋转带动第一发电机14发电，并且上油腔的压力油流入第一四象限泵7a，带动第一四象限泵7a旋转并驱动第一可变排量泵10旋转，第一可变排量泵10将压力油输入到第二可变排量泵12使其旋转带动第一发电机14发电。

当浮子2a下沉时，主液压缸1a下油腔为高压出油腔，上油腔为低压进油腔，下油腔的压力油经第二液控单向阀9a、油路f流入第二可变排量泵12使其旋转带动第一发电机14发电，并且下油腔的压力油流入第一四象限泵7a，带动第一四象限泵7a旋转，通过第一四象限泵7a四象限模式的转换，控制第一可变排量泵10轴单向转动，保持油路输出方向不变，第一可变排量泵10将压力油输入到第二可变排量泵12，使其旋转带动第一发电机14始终处于持续发电的状态。

当辅助浮子2b浮起时，辅助液压缸1b上油腔为高压出油腔，下油腔为低压进油腔，上油腔的压力油流入第二四象限泵7b，带动第二四象限泵7b旋转并驱动第二发电机17发电；同时辅助液压缸1b上油腔的一部分压力油经油路d、第三液控单向阀8b和油路f流入第二可变排量泵12，对第二可变排量泵12的转速进行控制，进而控制第二可变排量泵12的排量。

当辅助浮子2b下沉时，辅助液压缸1b下油腔为高压出油腔，上油腔为低压进油腔，下油腔的压力油流入第二四象限泵7b，带动第二四象限泵7b旋转并驱动第二发电机17发电；同时第二四象限泵7b的出油口的压力油一部分流入辅助液压缸1b的上油腔，另一部分压力油经油路d和油路f流入第二可变排量泵12，对第二可变排量泵12的转速进行控制，进而控制第二可变排量泵12的排量。

无论浮子和辅助浮子在上升还是下沉时，流入第二可变排量泵12的压力油的方向始终保持相同，因此，即便浮子和辅助浮子的上升和下沉不同步，第二可变排量泵12依然可以带动电机14同向旋转发电，补油稳压单元以及与所述辅助单元并联设置的电驱动单元，可以持续为第二可变排量泵12提供方向相同的压力油，控制第二可变排量泵12的转速和排量。

高压蓄能器11和低压蓄能器13分别安装在高压油路a和低压油路c上，在管路中压力高于工作压力时，吸收流量，缓冲压力；在管路中压力低于工作压力时，补偿流量，释放压力；促使液压管路中压力的稳定。

第一对溢流冲洗阀3a和第二对溢流冲洗阀3b均与油箱连通，作为波浪能转换器的控制系统的液压油路的过载保护装置。

波浪能转换器通过电驱动单元控制所述第二可变排量泵12的转速、并且补油稳压单元对第二可变排量泵12的补油增速，二者相互协同作用将所述第二可变排量泵12实时工作排量

控制在第二可变排量泵 12 的最大排量的 80% 以上，以提高波浪能转换的工作效率，并且保证液压油路中工作压力的稳定性。并且即便补油稳压单元的伺服变量泵 6 在运行过程中消耗了一部分能量，但是本发明波浪能转换器整体的能量转化效率仍然比现有技术的波浪能转换器的能量转化效率得到提高，并且电能的输出更加稳定。

通过数值模拟、实验验证和工程应用，本发明的波浪能转换器的控制系统的实施，可以获得如下技术效果：

1、通过设置与辅助单元并联的电驱动单元，利用电驱动单元既可以带动发电机发电，还可以作为速度控制机构对第二可变排量泵的转速进行控制，并且补油稳压单元对第二可变排量泵（12）的补油增速，二者协同作用使第二可变排量泵的实时排量处于其最大排量的 80% 以上，保证波浪能的转换效率。

2、可变排量液压泵均选取为四象限泵，实现相位的连续控制，使浮子在上下运动时，保证第二可变排量泵带动电动机连续发电，提高发电效率，并且通过调节四象限操作泵的排量，控制管路中的压力，保证压力稳定。

3、设置了补油稳压单元，在液压管路发生泄漏或者实际压力低于工作压力时，利用伺服变量泵对辅助单元、电驱动单元以及连接发电机的可变排量液压泵中的液压油都可以进行补充，有利于提高管路中油压的稳定性。

4、通过设置高压蓄能器和低压蓄能器，对液压管路的油压进行吸收或者补偿，有利于保持管路中油压的稳定，并且波浪能转换器中液压油压力的波动非常频繁，根据波浪能转换器这种特殊的工作情况，将所有的蓄能器均设计为金属波纹管式蓄能器，其适用的工作压力范围比较大，蓄能效果好，可以快速吸收压力脉动，释放压力时响应迅速，进一步提高了液压管路中油压的稳定性。

上述的实施例仅为本发明的优选技术方案，而不应视为对于本发明的限制，本发明的保护范围应以权利要求记载的技术方案，包括权利要求记载的技术方案中技术特征的等同替换方案为保护范围。即在此范围内的等同替换改进，也在本发明的保护范围之内。