

一种近岸波浪能发电装置及数值计算

童军杰¹, 凌长明¹, 马晓茜²

(1. 广东海洋大学 工程学院 江苏 湛江 524006; 2. 华南理工大学 电力学院 广东 广州 510641)

摘 要:一种近岸波浪能发电设备,其特有的双通道结构可将海水的双向流动转化为叶轮的单向旋转。针对该通道结构,利用 Fluent 6.3 软件 MRF 模型进行了二维数值计算,分析了 4 个叶片转过不同角度时,通道内流体的速度和压力分布,研究了通过发电设备的水流量和设备的压力输出功率,并进而研究了叶轮叶片转过角度对波浪能利用性能的影响。计算结果表明,当叶轮转动角度较小时,叶轮区间压差明显,通过设备的流量较少。随着叶轮转动角度增加,叶轮间压差先减小,然后增加;与之相对应,通过设备的流量及输出功率先增加,然后逐渐减小。

关 键 词: 双通道; 波浪能; 数值计算

中图分类号: TV139.2 文献标识码: A

引 言

波浪能是海洋能中分布最广的一种可再生能源。占海洋能源利用率高达 50% 以上^[1-2]。近年来,出现了以波浪能发电为代表的一类海洋能源机械强劲发展的势头。然而,目前对波浪能的利用主要为远离海岸的深海区域^[3-6],对近岸波浪能的利用较少。

与深海区域波浪能表现的海水位能不同,近岸波浪能主要表现为海水的动能,流动形式表现为海水的双向流动。本研究介绍了一种近岸波浪能发电设备的设计,其特有的双通道结构将海水的双向流动转化为单向旋转,使得装置内的叶轮始终沿着同一方向旋转,提高了能量输出的稳定性。同时,为了分析叶轮叶片转过角度对波浪能利用性能的影响,以 Fluent6.3 软件为工具,采用 MRF(多重参考坐标系)模型对通道结构进行了二维数值计算,研究了 4 叶片叶轮转过不同角度时通道结构内海水的速度和压力分布。

1 双通道发电设备结构及工作原理

双通道海流能发电设备结构主要由变速装置、叶轮、发电机和阀门等部件组成,其结构和工作原理分别如图 1 和图 2 所示。 x 和 y 分别表示设备的长度方向和宽度方向。

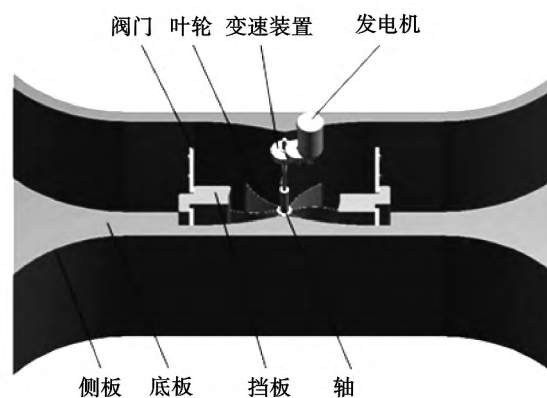


图 1 双通道发电设备结构图(去掉顶板)
Fig. 1 Drawing of the structure of a dual-channel power generation equipment item (with the plate on the top being removed)

海水向右流动或者向左的通道形成过程如图 2 所示。当流体从左侧流入时,由于流体的推动作用,阀门 1 和阀门 2 在挡板位置封闭;阀门 3 和阀门 4 向右旋转打开,形成海水向右流动的通道,海水推动叶轮逆时针旋转做功。同理,当流体从右侧流入时,由于流体的推动作用,阀门 3 和阀门 4 在挡板位置封闭;阀门 1 和阀门 2 向左旋转打开,形成海水向左流动的通道,海水推动叶轮逆时针旋转做功。

收稿日期: 2014 - 01 - 23; 修订日期: 2014 - 04 - 17

基金项目: 国家重点基础研究发展项目(2011CB201500); 广东省博士启动项目(1209386)

作者简介: 童军杰(1976 -),男,山西洪洞人,广东海洋大学博士,副教授。

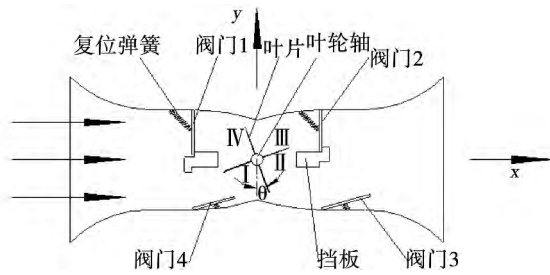


图 2 双通道发电设备工作原理图
(海水向右流动)

Fig. 2 Chart showing the working principle of the dual-channel power generation equipment item (seawater flows to the right)

波浪能在近岸的主要表现形式为海水的双向流动,当海水向左或向右流动时,双通道发电设备分别形成海水向左或者向右流动的通道,使得叶轮向同一个方向旋转,因而减小了能量输出的不稳定性。

双通道发电设备的进出口设计为渐缩型通道结构,能有效增加海水的输入能量。

2 数值计算

为了分析叶轮叶片转动角度对上述发电装置性能的影响。利用 Fluent 6.3 软件中多重参考坐标系 MRF 模型进行二维数值计算,叶片采用平直叶片类型,分别选取 4 叶片数目的叶轮进行分析,分析了叶轮转速为 3 rad/s 时,叶轮叶片逆时针旋转 10°-90° 情况的通道内流场分布及性能。

2.1 计算区域及网格划分

考虑到通道外部海水对通道内海水流动的影响,将通道内流体流动区域和通道外流体流动区域作为计算区域。同时,根据海水往复流动的对称性,仅考虑流体向右流动的工作状况。

此外,由于阀门厚度和挡板凹凸部分尺寸相对挡板尺寸很小,不考虑阀门的厚度与挡板的凹凸部分对海水流动的影响,全计算区域大小为 62 m × 28 m,通道内计算区域大小为 1.5 m × 0.7 m,计算区域划分如图 3 所示。

计算区域网格划分:通道内的网格划分采用四边形网格,通道结构外网格划分采用三角形网格,在壁面及叶片附近进行加密。叶轮叶片数目分别为 4 叶片时对应的通道内网格数目分别为 21048,对应的全计算区域网格数目分别为 73752。通道结构内计算区域网格(4 叶片叶轮)划分如图 4 所示,全计

算区域网格划分如图 5 所示。

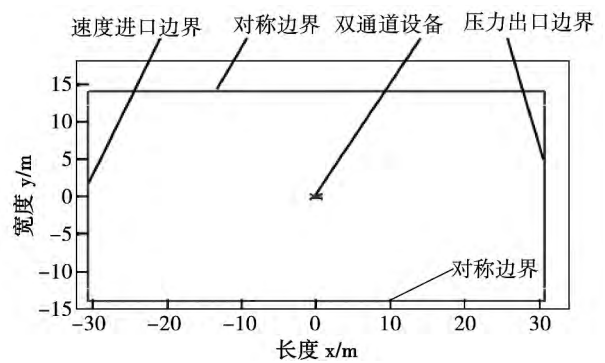


图 3 计算区域划分图

Fig. 3 Chart showing the computation region division

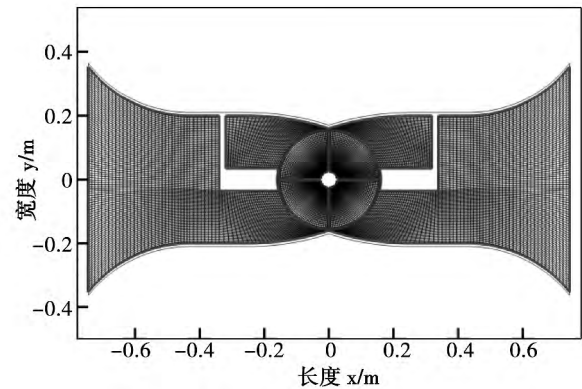


图 4 双通道设备计算区域网格划分图
(叶轮旋转 0 度)

Fig. 4 Chart showing the grid division in the computational region of the dual-channel equipment item (impeller rotates for 0 degree)

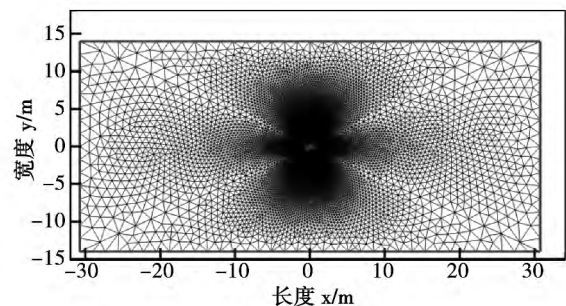


图 5 全计算区域网格划分图

Fig. 5 Chart showing the grid division of the whole computational region

以 Fluent6.3 软件为工具进行二维稳态数值计算,采用隐式耦合双精度湍流 $k-\varepsilon$ 模型。

如图 3 所示,计算区域左侧设置为速度入口边界条件,进口速度为 2.0 m/s;计算区域右侧设置为压力出口边界条件,设为 50Pa;计算区域的上下侧设置为对称边界条件。如图 4 所示,叶轮所处的中心区域设置为移动区域,旋转速度为 3 rad/s,其余区域设置为固定区域。

迭代收敛残差精度对于连续性方程和动量方程设置为 1×10^{-4} ,能量方程设置为 1×10^{-6} 。

选取叶轮转速为 3 rad/s 时,叶轮叶片数目为 4 叶片,转过角度为 80° 时,网格数目为 73752,112962 和 140324 3 种算例情况进行分析比较,其通过通道的流量计算结果分别为 45.73、45.87 和 45.93 kg/s,相对误差分别为 0.44%、0.13% 和零,说明增加网格,对数值计算的精度影响较小,但是增加了计算时间。

2.2 控制方程

计算区域内流体的流动满足 $N-S$ 方程,其通用形式为^[7]:

$$\text{div}(\rho U\varphi) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\varphi) + S \quad (1)$$

式中: ρ —流体密度 kg/m^3 ; U —流体速度矢量 m/s ; Γ —广义扩散系数; S —广义源项; φ —通用变量,可以代表流体速度矢量 U 在 x 方向和 y 方向的速度分量 (m/s)、流体热力学温度 T (K) 等求解变量,通用控制方程涵盖了求解运用到的连续方程、动量方程和能量方程。

海水推动叶轮的功率 w_t W 与叶轮的角速度 ω rad/s 和叶轮的转动惯量 T $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ 关系为:

$$w_t = T \times \omega \quad (2)$$

2.3 计算结果

2.3.1 速度分布计算结果

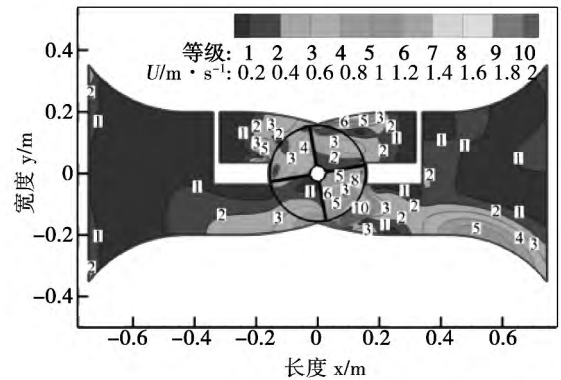
图 6 为叶轮逆时针旋转 10° 、 40° 和 80° 时,双通道装置内部流体速度分布。

(1) 在叶轮旋转过程中,在叶轮叶片与左侧挡板、右侧挡板和上下顶点等间隙处形成了泄漏流,其中,叶轮叶片与下顶点间隙处泄漏流速度最大。

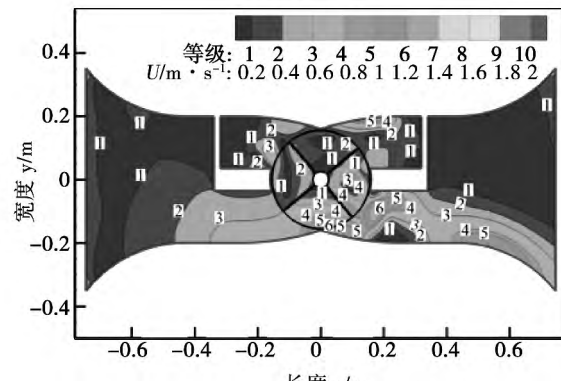
(2) 相对于叶轮旋转角度为 10° 和 80° 时,叶轮旋转 40° 时,设备下顶点间隙比较大,下顶点附近速度较小;说明当叶轮叶片与下顶点的间隙越大,则流体速度越小。

(3) 根据叶轮叶片及设备下顶点附近流体的速度梯度,当叶轮旋转角度为 10° 时,设备下顶点附近流体主要向 II 区域流动,而当叶轮旋转角度为 40° 和 80° 时,该间隙处流体主要向通道出口流动。说

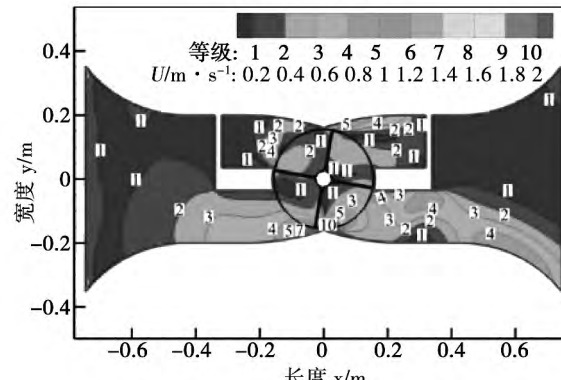
明当叶轮叶片旋转角度较小时,叶轮叶片与下顶点间隙处流体的主要流动为由 I 区域向 II 区域流动,而当旋转角度增大时,叶轮叶片与下顶点间隙处流体的主要流动将逐渐变化为向通道出口流动。



(a) 叶轮旋转 10°



(b) 叶轮旋转 40°



(c) 叶轮旋转 80°

图 6 叶轮转过不同角度时双通道设备内流体速度分布

Fig. 6 Distribution of the flow speed of the fluid inside the dual-channel equipment item when the impeller turns for various degrees

2.3.2 压力分布计算结果

图 7 为叶轮逆时针旋转 10° 、 40° 和 80° 时,双通

道设备内部流体压力分布。

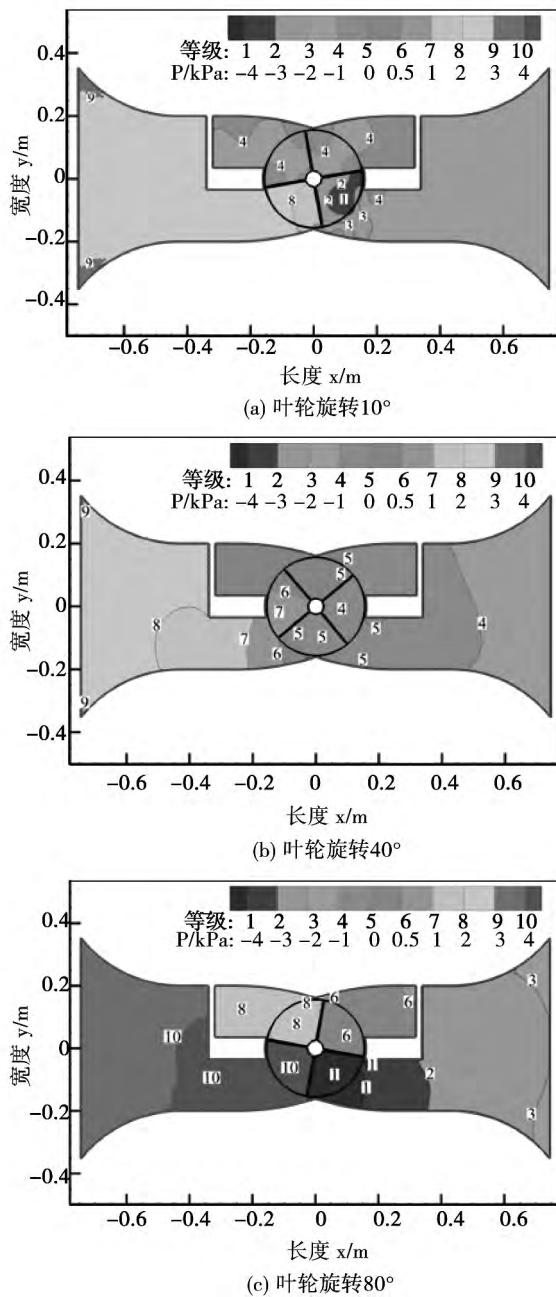


图 7 叶轮转过不同角度时双通道设备内流体压力分布

Fig. 7 Distribution of the pressure of the fluid inside the dual-channel equipment item when the impeller turns for various degrees

(1) 当海水从左侧流入时,海水的动能转变为压力能,在叶轮叶片两侧形成压差,使得叶轮旋转。

(2) 相对于叶轮旋转角度为 10°和 80°,叶轮旋转 40°时,叶片间所包含的区域 I 区、II 区、III 区和

IV 区间的压差较小。主要是因为当叶轮旋转 40°时,叶轮叶片与左侧挡板、右侧挡板和上下顶点等间隙较大。

(3) 相对于叶轮旋转角度为 10°,叶轮旋转 80°时,叶片间所包含的 I 区、II 区、III 区和 IV 区的压差较大,尤其是 I 区和 II 区间流体压差较大,此时通过双通道装置的流量较大,因而在流体的出口区域形成较强的引射作用,使得 I 区和 II 区的压差较大。

2.3.3 性能计算结果

图 8 和图 9 分别为叶轮转速为 3 rad/s,叶轮叶片数目为 4,叶轮逆时针旋转 10°-90°等不同旋转角度时,发电设备深度为 0.5 m 时通过双通道设备的流量及通道设备的输出功率。

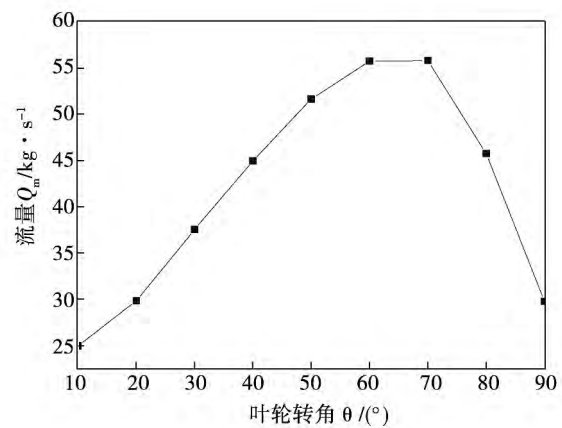


图 8 叶轮转过不同角度时双通道设备流体流量
Fig. 8 Flow rate of the fluid passing through the dual channel equipment item when the impeller turns for various degrees

从图 8 中可以看出:在叶轮叶片旋转角度在 10°-90°范围时,随着旋转角度的增大,通过双通道设备的流体流量先逐渐增大,然后逐渐减小。旋转角度在 60°-70°时,通过双通道设备的流体流量达到最大值。

分析认为,通过双通道设备的流量主要由设备下顶点附近区域处流体的流动方向和间隙共同影响的。随着叶轮旋转角度的增大,设备下顶点附近区域流体的主要流动方向趋近于设备的出口方向,同时由于设备下顶点附近间隙增大,因而通过双通道设备的流量增大。当旋转角度达到一定角度时,增大旋转角度,设备下顶点间隙减小,对流量的影响起主要作用,因而通过双通道设备的流量减小。

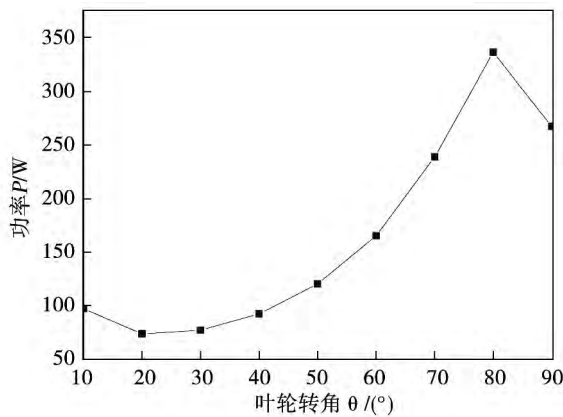


图 9 叶轮转过不同角度时双通道设备的输出功率

Fig. 9 Output power of the dual channel equipment item when the impeller turns for various degrees

3 结 论

(1) 介绍了一种利用近岸波浪动能的双通道波浪能发电装置,并分析了双通道结构的工作原理。波浪能在近岸的主要表现形式为海水的双向流动,当海水向左或者向右流动时,分别形成海水向左或者向右流动的通道,使得叶轮向同一个方向旋转,因而减小了能量输出的不稳定性。

(2) 针对双通道波浪能发电设备结构,利用 Fluent 6.3 软件中多重参考坐标系 MRF 模型对叶轮转速为 3 rad/s 的 4 叶片平直叶片叶轮工作状态进行了二维数值计算,数值计算结果表明了叶轮旋转角度对通道内流场、双通道设备流量和输出功率有重要的影响。

(3) 当叶轮转过的角度较小时(如 10°),叶轮叶片与左侧挡板、右侧挡板和上下顶点等间隙较小,叶片间所包含的区间 I、区间 II、区间 III 和区间 IV 具有明显的压差。设备下顶点附近的流体主要流动方向为向区间 II 流动。此时,通过设备的流体的流量较小,双通道设备的输出功率较小。

(4) 当叶轮转过一定的角度时(如 40°),叶轮叶片与左侧挡板、右侧挡板和上下顶点等间隙较大。叶片间所包含的区间 I、区间 II、区间 III 和区间 IV 的

压差较小,此时,通过设备的流体的流量较大,双通道设备的输出功率较小。

(5) 当叶轮转过的角度较大时(如 80°),叶轮叶片与左侧挡板、右侧挡板和上下顶点等间隙较小,叶片间所包含的区间 I、区间 II、区间 III 和区间 IV 的压差较大。设备下顶点附近的流体主要流动方向趋近双通道设备的出口方向。此时,通过设备的流体流量较大,双通道设备的输出功率较大。

由于海水往复流动的对称性,仅考虑流体向右流动的工作状况。对于海水往复双向流动,需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 王传崑,卢 苇. 海洋能资源分析方法与储量评估 [M]. 北京: 海洋出版社 2009.
WANG Chuan-kun, LU Wei. Methods for analyzing the oceanal energy resources and evaluation of their reserves [M]. Beijing: Ocean Press 2009.
- [2] Westwood A. Ocean power: Wave and tidal energy review [J]. Re-focus 2004, 5(5): 50-55.
- [3] Zhang D, W Lin and Y Lin. Wave energy in China: Current status and perspectives [J]. Renewable Energy 2009, 34(10): 2089-2-92.
- [4] 林江波. 浮子式海浪发电船的动态分析与仿真 [D]. 秦皇岛: 燕山大学 2006.
LIN Jiang-bo. Dynamic analysis and simulation of a float-type wave power generation boat [D]. Qinhuangdao: Yanshan University 2006.
- [5] 李仕成. 振荡浮子式波能转换装置性能的实验研究 [D]. 大连: 大连理工大学 2006.
LI Shi-cheng. Experimental investigation of the performance of an oscillating float type wave energy conversion device [D]. Dalian University of Science and Technology 2006.
- [6] 王凌宇. 海洋浮子式波浪发电装置结构设计及试验研究 [D]. 大连: 大连理工大学 2008.
WANG Ling-yu. Structural design and experimental study of an ocean float type wave energy power generation device [D]. Dalian: Dalian University of Science and Technology 2008.
- [7] 王福军. 计算流体动力学分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004, 7-13.
WANG Fu-jun. Analysis of computational fluid kinemics [M]. Beijing: Tsinghua University Press 2004, 7-13.

(陈 滨 编 辑)

1.0 ρ to 0.15 ρ to 0.45 and 0 to 0.08 respectively. When the H/C ratios of the solid fuels are constant μ nder the condition of O/C ratio being low μ he H₂ and CO content will be kept constant. Under the condition of the O/C ratio being high μ o increase the O/C ratio will decrease both equivalent oxygen ratio and gasification temperature. The exergy efficiency of the gasifier will decrease with an increase of O/C ratio. When the O/C ratios of the solid fuels are constant μ he gasification temperature will decrease with an increase of the H/C ratio μ he CO content will also drop while the H₂ ,CO₂ and H₂O content will increase. **Key Words:** Gibbs free energy ,Van Krevelen coordinates , oxygen gasification μ exergy efficiency

一种近岸波浪能发电装置及数值计算 = **An Alongshore Wave Energy Power Generation Device and Its Numerical Calculation** [刊 汉] TONG Jun-jie ,LING Chang-ming (College of Engineering ,Guangdong Oceanology University Zhenjiang ,China ,Post Code: 524006) ,MA Xiao-qian (College of Electric Power ,South China University of Science and Technology ,Guangzhou ,China ,Post Code: 510641) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(5) . -567 -571

Described was an alongshore wave energy power generation device μ of which the special dual-channel structure could convert the flow of sea water in dual directions into the rotation of the impeller in a single direction. A two-dimensional numerical calculation of the structure of the dual-channel was performed by utilizing the MRF (moving reference frame) model in the software Fluent 6.3. The velocity and pressure distribution of the fluid inside the channel were analyzed when the number of blades was 4 and the fluid turned various angles. The water flow rate through the power generation equipment item and its output power were also studied. Furthermore μ he influence of the angle that the blades on the impeller turn on the utilization efficiency of the wave energy was investigated. The calculation results show that when the turning angle of the impeller is relatively small μ he pressure difference between any two zones of the impeller is conspicuous μ thus the flow rate passing through the equipment item is relatively small. With an increase of the turning angle of the impeller μ he pressure difference between any two zones of the impeller will first decrease and then increase. Corresponding with this μ he flow rate passing through and the output power of the equipment item will first increase and then decrease gradually. **Key Words:** dual channel ,wave energy , numerical calculation

新疆棉杆直燃特性分析 = **Analysis of the Direct Combustion Characteristics of Xinjiang-originated Cotton Stalk** [刊 汉] CHENG Wei-liang ,LI Bai-jie (College of Energy Source ,Power and Mechanical Engineering ,North China University of Electric Power ,Beijing ,China ,Post Code: 102206) ,WANG Li-cheng (Utility Engineering Workshop ,COFCO Biochemical Energy Source (Yushu) Co. ,Ltd. ,Changchun ,China ,Post Code: 130401) //