

波浪能海水淡化的应用研究

孙业山^{1,2}, 游亚戈¹, 马玉久¹, 吴必军¹, 王利生¹, 盛松伟¹, 何再明^{1,2}

(1.中国科学院 广州能源研究所, 广东 广州 510640; 2.中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 简要介绍了“十五”期间在广东省汕尾市研建的波浪能海水淡化系统的组成和工作原理。为了验证波浪能海水淡化装置运行的实用性和可靠性,在国内外波浪能海水淡化研究的基础上,对汕尾波浪能海水淡化装置进行了不同操作压力情况下的试验研究。研究结果表明,随着高压海水压力的升高,产出淡水量会明显增加,淡水质量提高,装置产出淡水的能耗较低。

关键词: 波浪能; 海水淡化; 海岛供水

中图分类号: TK7; P743.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2007)02-0076-03

Research on wave-powered seawater desalination applications

SUN Ye-shan^{1,2}, YOU Ya-ge¹, MA Yu-jiu¹, WU Bi-jun¹, WANG Li-sheng¹, SHENG Song-wei¹, HE Zai-ming^{1,2}

(1.Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, China; 2.Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: The paper briefly introduces the makeup and working principle of the wave-powered seawater desalination system of the wave-powered station built in Shanwei city, Guangdong province during the tenth five-year plan of China. To validate the practicability and reliability of the wave-powered seawater desalination device, we carried out experiments on Shanwei wave-powered seawater desalination device in various operating pressure on the basis of the present domestic and overseas study status of wave-powered seawater desalination. The experiment result indicates that the output freshwater flow rate will be increased and the quality of the fresh water will be improved with the increase of the pressure of high-pressure seawater. The whole seawater desalination device has lower energy consumption in fresh water producing.

Key words: wave power; seawater desalination; freshwater supply to sea island

0 引言

海水淡化作为现有水源的补充措施,在很大程度上缓解了部分地区的缺水状况。尤其在中东地区和许多岛屿,淡化水已成为其基本水源。

目前,全世界每天淡化水总量约4 000万m³,这些淡化的海水维持了一些干旱地区和沿海地区人民的生活、生产以及工业的发展。海水淡化技术经过半个多世纪的发展,目前采用的淡化方法主要有反渗透(SWRO)、多级闪蒸(MSF)、多效蒸馏(MED)、压气蒸馏(VC)和电渗析(EDR)等方法,但是大规模应用的目前只有SWRO,MSF,MED等几种方法^[1]。所有的海水淡化方法均需要较大

的能源消耗。

波浪能是海洋能中品位最高、分布最广的能源;波浪能的能流密度大,在太平洋、大西洋东海岸纬度40~60°区域,波浪能可达到30~70 kW/m,某些地方达到100 kW/m。波浪能可以为边远海域的国防、海洋开发等活动提供能量和淡水,发挥其自身独特的优势。

1 国内外波浪能海水淡化概况

波浪能是指海洋表面波浪所具有的动能和势能。海洋中绝大部分的波浪是由风对海面的扰动引起的,风的能量来自太阳,所以说海洋波浪能是一种可再生能源。目前国内外波浪能的研究主要

收稿日期: 2006-09-11。

基金项目: 国家“十五”“863”项目(2001AA516010);广东省科技计划项目(2004B33401001);广东省科技计划项目(2005B33301005)。

作者简介: 孙业山(1980-),山东潍坊人,硕士研究生,主要从事海洋能转换及海水淡化技术方面的研究。E-mail: sunys@ms.giec.ac.cn

集中于波浪能的发电,对波浪能海水淡化的研究比较少。波浪能发电系统一般包括能量吸收装置和能量转换装置,能量吸收装置吸收波浪能并将其转换成规则运动形态(如直线运动、圆周运动)的机械能,再通过能量转换装置将规则运动形态的机械能转换成电能输出。世界能源委员会的调查显示,全球可利用的波浪能达到 20 亿 kW,相当于目前世界发电装机容量的 2 倍,所以利用波浪能来进行海水淡化对于现在的能源危机以及环境恶化有一定的缓解作用。

在印度喀拉拉邦有一套正在运行的波浪能海水淡化系统,该系统先将波浪能转换为电能,然后用电机驱动反渗透海水淡化系统。该系统每天能产淡水 14.4~21.6 m³,产水质量达到饮用水标准^[2]。该系统的能量转换装置是振荡水柱式波能装置,其工作原理是波浪的上升和下降使装置内的空气柱压缩和膨胀,与之相连通的冲击式透平会从压缩的空气柱中吸收能量,推动永磁无刷同步发电机发电,输出 130 V 的直流电,经过整流以后,一部分给 120 V/300 Ah 的铅酸蓄电池组充电,另一部分经过逆变器变为 230 V 的交流电,驱动反渗透海水淡化系统工作。系统的流程见图 1。

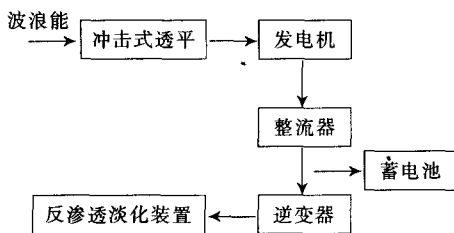


图1 振荡水柱式海水淡化系统结构图
Fig.1 Structural diagram of the OWC seawater desalination system

位于爱尔兰的波浪能海水淡化系统的波能吸收装置是由 3 个浮于海面上的驳船铰接而成,其中 2 个振荡的驳船作为双臂对称地铰接于中间的那个定位于下悬式惯性减幅板的驳船上。2 个振荡的驳船和中间的驳船的铰接处会产生很大的力,这些地方安装有活塞,将机械能转换为与之相连的液压系统的液压能,用来发电或者提供海水淡化系统的能量。这套波能吸收装置已经运行了 4 a,每年能提供 275 000 m³,压力为 7.0 MPa 的海水用于反渗透海水淡化。该装置吸收的波能的 35%用于海水淡化,65%用于发电。在波高为 1.5 m 的时候,该系统每天可生产 260 m³淡水和输出

30 kW 的电。

我国已开展了多年的波浪能研究,中科院广州能源研究所“十五”期间在广东省汕尾市遮浪镇建造了 1 座波浪能电站,进行了波浪能海水淡化方面的研究,并取得了一定的成果。

2 汕尾波浪能海水淡化系统

2.1 系统结构介绍

该系统的工作原理:振荡浮子吸收波浪能,通过锚链驱动液压泵,将液压能经蓄能稳压系统输出到液压马达,液压马达驱动发电机发电,同时也可驱动反渗透海水淡化系统的泵来生产淡水(图 2)。其中,液压马达输出的用于发电的能量和海水淡化的能量的比例可以按照要求进行控制调节。其中蓄能稳压系统作为能量缓冲区储存液压能,可以消除液压泵带来的脉动压力,实现液压马达的平稳输出。

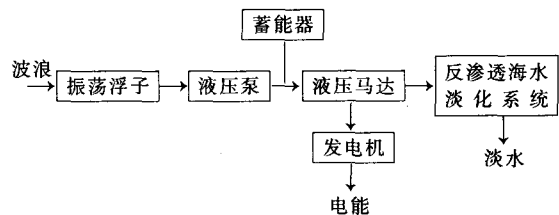


图2 波浪能海水淡化系统原理图

Fig.2 Schematic diagram of the wave-power seawater desalination system

2.2 波浪能量计算

根据波浪理论,波浪能量与波高的平方、波浪的运动周期以及迎波面的宽度成正比。因此,深水中单位宽度迎波面波浪的功率 P 可由下式求得^[3]:

$$P = (\rho g^2 H^2 T) / (64\pi) \quad (1)$$

式中 ρ 为海水密度, H 为波高, T 为波浪的运动周期。

波长 λ 与波浪周期 T 的关系:

$$\lambda = (gT^2) / (2\pi) \quad (2)$$

波长和波高的关系如下:

$$\beta = \lambda H \quad (3)$$

β 为波浪的滑移系数。

由式(1)~(3)可以得到:

$$P = \frac{\rho H^{2.5}}{64} \sqrt{\frac{2g^3}{\pi\beta}} \quad (4)$$

测量得到的 β 值为 0.03~0.05,一般取 $\beta=0.04$,可以得到只与波高值有关的波浪功率简化式:

$$P = 2H^{2.5} \quad (5)$$

可以估算,当某地波浪波高为 5 m 时,单位宽度的波浪的功率为 $P=112 \text{ kW/m}$; 当某地波浪高为 1 m 时,单位宽度的波浪的功率为 $P=2 \text{ kW/m}$ 。如果反渗透海水淡化的产水比能耗(生产每吨淡水需要的能量 kWh/m^3) 为 Q ,则可以计算出波能装置(在波浪为单位宽度并且波高为 H 的情况下)每天产水量 V 为

$$V=48H^{2.5}/Q \quad (6)$$

汕尾电站附近的波高一般为 1.3 m 左右,波浪能流密度一般为 3~5 kW/m ,海水淡化机产出淡水的能耗为 5.0 kWh/m^3 。如果单位宽度波浪的能量完全用来淡化海水,根据式(5),(6)可以计算出淡水产量为 14.4~24 m^3/d 。

可见,用波浪能进行海水淡化,对于解决一些地区尤其是波能丰富的偏远海岛的缺水问题是非常有效的,是一种比较理想的选择。

2.3 海水淡化系统

目前研制的波浪能海水淡化样机(图 3)日产淡水 10 t。样机采用了新型差动式能量回收装置,

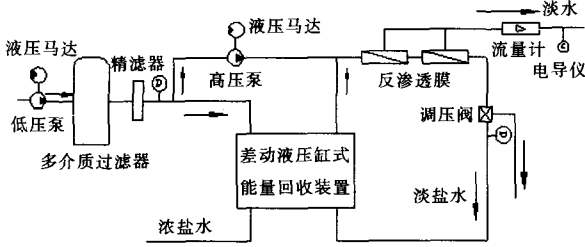


图 3 海水淡化反渗透系统试验装置图

使生产淡水的能耗有了明显的降低,反渗透本体高压能耗折合为电能只有 2.5 kWh/m^3 ,综合能耗(包括海水取水、海水预处理)只有 5.5 kWh/m^3 。反渗透系统的高压运行压力可以通过调压阀调节,由此可以控制淡水的产量,淡水的水质和产量采用电导仪和流量计进行实时测量。

海水淡化系统的高压泵以及低压泵用液压马达代替电机来直接驱动,这样能量可以不用经过“液压能—电能—机械能”的转换,减少了许多中间损耗,大大提高了能量的利用效率。

通过试验可以测得在不同高压操作条件下的系统产水量和产水质量。由图 4 可以看出反渗透系统的产水规律,波浪能海水淡化系统在压力达到 3.0 MPa 时开始产出淡水,随着压力的增大,淡水产量增加。在压力达到 6.0 MPa 时,淡水产量为

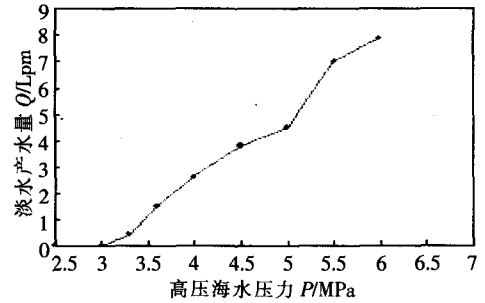


图 4 淡水产量曲线

Fig.4 Flow rate curve of the output fresh water

7.9 L/min,达到了反渗透膜的额定出水量。

水的电导率是衡量水纯净程度的一项重要指标,一般天然水的电导率为 50~500 $\mu\text{S/cm}$ 。图 5 是产出淡水的电导率曲线,随着高压海水压力的增加,产出淡水的电导率在下降。

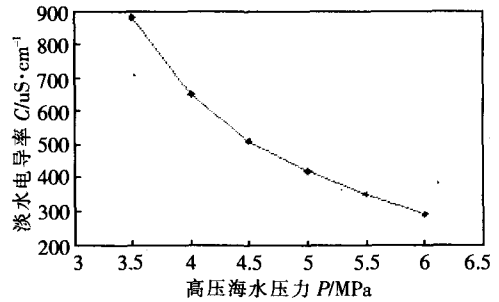


图 5 淡水电导率曲线

Fig.5 Conductivity curve of the output fresh water

这是因为在较高的压力下,更多的盐离子被反渗透膜截留,反渗透膜的脱盐率较高。可以看出,在高压海水压力达到 4.5 MPa 时,淡水电导率是 500 $\mu\text{S/cm}$,压力继续升高到 6.0 MPa 时,电导率会降低到 290 $\mu\text{S/cm}$,产水质量比较好。

3 结论

波浪能海水淡化技术对于一些波浪能较丰富,但是淡水短缺的沿海和海岛地区有着非常重要的意义,发展波浪能海水淡化将会大大降低这些地区的淡水价格,有力地促进海洋的开发。汕尾波浪能海水淡化系统的示范项目对我国波浪能海水淡化的发展将起到积极的促进作用。

参考文献:

[1] 王世昌.海水淡化工程[M].北京:化学工业出版社,2003.
 [2] N SHARM, PURNIMA JALIHAL. Wavepowered desalination system[J].Energy,2003,29:1659-1672.
 [3] P ADAVIES.Wave -powered desalination:Resource assessment and review of technology [J].Desalination, 2005,186:97-109.