

A Solar Energy Distiller Combined with Vapor-Compress Plant for Seawater Desalination

Jinzeng Chen, Dongbo Wang, Guanghua Li

School of Power Engineering, Naval University of Engineering, PLA, Wuhan, China
Email: jinzengchen@163.com

Received 2013

Abstract: In the present work, a solar energy distiller was combined with vapor-compress plant for seawater desalination was designed. The advantage of the plant is the releted heat of the vapor is reused. By mechanical vapor compression, the evaporation temperature and efficiency were risen. With the mathematic models, the thermal analysis was done. Comparing with traditional solar seawater desalination plant, combined with vapor-compress solar energy distiller plant is more smaller and high efficiency.

Keywords: Solar Energy; Vapor-Compress Distillation; Desalination

一种岛礁用结合压汽蒸馏的太阳能海水淡化装置

陈金增, 王东波, 李光华

海军工程大学动力工程学院, 武汉, 中国
Email: jinzengchen@163.com

收稿日期: 2013

摘要: 本文提出一种用于海岛淡水供应的结合压汽蒸馏的太阳能海水淡化装置, 充分利用太阳能海水淡化过程中蒸汽的汽化潜热, 通过机械压缩提高装置的蒸发温度和运行效率, 建立了系统数学模型, 进行热力学分析计算; 与单纯盘型太阳能海水淡化装置相比, 本装置占地面积小、产水量大, 具有较好的推广应用前景。

关键词: 太阳能; 压汽蒸馏; 海水淡化

1 引言

海水淡化作为解决人类水资源短缺问题的方法在世界范围内获得广泛应用, 海水淡化方法目前使用最多的主要有多级闪蒸 (MSF)、多效蒸馏 (MED) 和反渗透 (RO) 技术, 海水淡化以消耗能源为代价, 目前主要应用热能和电能等。对于远离大陆的岛屿开发, 为保证淡水供应, 海水淡化装置更是必备的基础设施, 由于电力供应的限制, 太阳能成为海岛海水淡化能源的首选。但是, 与传统能源相比, 太阳能由于品位低、难于高效利用, 造成太阳能海水淡化产量很小, 目前, 普通盘形太阳能海水淡化的产水量只有

$1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{yr}$ 左右^[1]。文献^[2]对机械蒸汽压缩蒸馏海水淡化进行了热力分析, 可以看出, 对于压汽蒸馏海水淡化装置, 当蒸发温度在 $90^\circ\text{C}\sim 100^\circ\text{C}$ 范围内运行效率较高, 而对于一般集热式太阳能板而言, 难于将海水加热到 90°C 以上。文献^[3,4]对机械蒸汽压缩蒸馏海水淡化进行了实验研究, 通过离心压缩机及降膜蒸发技术, 可以提高装置的效率。根据太阳能海水淡化及压汽蒸馏海水淡化的特点, 本文提出一种结合压汽蒸馏的太阳能海水淡化装置, 充分利用蒸汽的汽化潜热, 利用压缩机提高装置的蒸发温度, 从而提高装置的运行效率。

结合压汽蒸馏的太阳能海水淡化装置如图 1 所示：装置由补给海水泵、三台热交换器、太阳能加热板、压汽机、闪发室和管道、阀门组成。

补给海水进入到装置后先经过浓海水、淡水加热，温度上升，经加热的补给海水，在太阳能加热板中吸收太阳能，温度继续上升，经过压缩蒸汽的加热，达到闪蒸温度。在压力差下，补给海水到达闪蒸室闪蒸，产生蒸汽，压缩机将蒸汽抽出并提高压力，将饱和蒸汽压缩成为过热蒸汽，且在闪蒸室形成一定的真空。过热蒸汽受到海水冷却放出显热及汽化潜热，汽化潜热得到回收利用，达到提高效率的目的。

2 热力学分析

为计算方便，做如下假设：

- 1) 认为海水、淡水比热为常数；
- 2) 装置采取保温措施，运行过程无能量损失；

压缩机入口处蒸汽的温度、压力为 t_1 、 p_1 ，按绝热压缩过程计算，压缩比为 ε ，为此可得出压缩机出口处温度和压力分别为 t_2 、 p_2 ，

$$p_2 = \varepsilon \cdot p_1$$

$$t_2 = t_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

压缩机出口处过热蒸汽的焓值， $h_2 = f(t_2, p_2)$

压缩蒸汽加热补给海水，自身凝结为常压下的饱和水，蒸汽冷凝过程释放的热量为：

$$Q_s = h(p_2, t_2) - h(p_2) + \lambda + Q_1$$

式中： $h(p_2)$ 压力 p_2 下饱和蒸汽的焓值， λ 为压力 p_2 下的汽化潜热， Q_1 为凝水释放的显热。

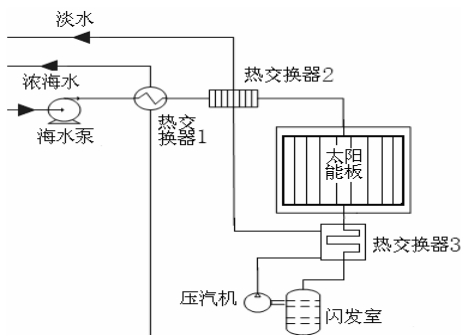


Figure1. the sketch of vapor compression distillor desalination with solar energy

图 1. 结合压汽蒸馏的太阳能海水淡化装置流程图

p_1 海水闪蒸所需要的热量（对应压力 p_1 ）：

$$Q_x = \lambda(p_1, t_1)$$

太阳能板吸收的热量：

$$AH(\tau\alpha) = AU_L(T_p - T_a) + Q_y$$

式中： A 太阳能板面积； H 太阳能板的辐射强度； U_L 总传热系数； $\tau\alpha$ 盖板透过率与吸热板吸收率的乘积， T_p 为吸热板温度， T_a 为环境温度， Q_y 为海水加热到闪蒸温度需吸收的热量。

则淡水产量 m_2

$$m_2 = \frac{Q_s + Q_y - C_p m_1 \Delta t}{C_p \Delta t + \lambda(p_1, t_1)}$$

式中： m_1 为浓海水流量， Δt 为太阳能板将海水提升的温度， C_p 海水比热。

热交换器 3 的能量平衡方程为：

$$Q_s - Q_x = C_p m \Delta t$$

式中： m 为海水流量；

设补给海水进口温度为 t_i ，经热交换器 1、2 后温度为 t_x ，则有：

$$C_p m_1 (t_1 - t_x) + C_p m_2 (t_1 - t_x) = C_p m (t_x - t_i)$$

C_p 海水、淡水比热， m_1 浓海水流量， m_2 淡水流量；

压缩机耗功：

$$W = \frac{k}{k-1} RT \left(1 - \varepsilon^{\frac{k-1}{k}} \right)$$

以产水量 1 吨/天的淡化装置为例计算，装置每天工作 10 小时，按全国三等地区太阳平均辐射热计算，结果如表 1。

Table 1. The comparison of nomal solar desalination plant and vapor compression distillor desalination with solar energy plant
表 1. 结合压汽蒸馏的太阳能淡化装置和普通盘式太阳能淡化装置比较

	结合压汽蒸馏的太阳能淡化装置	普通盘式太阳能淡化装置
补给海水温度℃	25	25
经太阳能加热后海水温度℃	93	97
海水闪蒸压力、温度	0.0912 MPa, 97℃	0.0912 MPa, 97℃
经压缩过热蒸汽压力、温度	0.1095 MPa, 116.8℃	/
压缩机功率 kW	1.8	/
泵功率 kW	2	2
太阳能板面积 m ²	61	330.8

3 结论

通过表 1 可以看出,当淡水产量为 1 吨/天时,相同的环境条件下,在普通的盘式太阳能海水淡化装置的基础上增加压汽蒸馏过程,所使用的太阳能板面积只有普通盘式太阳能淡化装置的 20%,大大减少了装置的占地面积和投资费用,改进后的装置增加了换热器和压缩机,需增加压缩机耗电 1.8 kW,装置的运行成本稍有增加。

参考文献 (References)

- [1] H. F. Zheng, K. Y. He, Z. Q. Chen. Solar desalination technology, Beijing: Beijing University of science and technology Press, 2006.
- [2] J. Z. Chen, G. H. Li, Y. F. Li. An analysis of marine mechanical vapor-compress desalination plant . Ship science and technology, 2011.12.
- [3] N. H. ALY, A. K. EL-FIQI. Mechanical vapor compression desalination system-a case study, Desalination, 2003, 158(1-3): 143-150.
- [4] D. S. Jiao, J. Wang, An analysis of mechanical vapor- compress desalination system, Jernal of Chinese Science and Technology University, 2009, 39(1): 76-82.