

Performance Analysis of Marine Multi-Stages Flash Desalination Plant with Different Power Reserve Plants

Jinzeng Chen, Dongbo Wang

College of Power engineering, Naval University of Engineering, Wuhan
Email: wangdongbo88@163.com

Received: Jun. 14th, 2013; revised: Jun. 21st, 2013; accepted: Jul. 4th, 2013

Copyright © 2013 Jinzeng Chen, Dongbo Wang. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Aiming at the marine seawater desalination plant with multi-stages flash, the thermodynamic analysis model is established to conclude the heating steam consumption in different seawater temperatures at two recovery units, which are Part of the concentrated seawater recycling and Concentrated seawater waste heat. The results of calculation show that the heating steam consumption is roughly same under different seawater temperature in two solutions, but Part of the concentrated seawater recycling has some advantages as its initial investment is small and easy maintained. It is more economy than Concentrated seawater waste heat.

Keywords: Multi-Stages Flash (MSF); Thermodynamic Analysis; Heat Recovery

不同热回收措施对船用多级闪蒸海水淡化装置性能影响分析

陈金增, 王东波

海军工程大学动力工程学院, 武汉
Email: wangdongbo88@163.com

收稿日期: 2013年6月14日; 修回日期: 2013年6月21日; 录用日期: 2013年7月4日

摘要: 针对船用多级闪蒸海水淡化装置, 建立热力分析模型, 分别分析了部分浓海水直接循环利用和浓海水预热回收两种热回收方案在不同环境海水温度条件下加热蒸汽消耗量, 计算表明, 两个方案在不同环境海水温度条件下的蒸汽消耗量大致相同, 但浓海水直接循环利用方案的初期投资小、维修方便, 经济性优于浓海水预热方案。

关键词: 闪蒸式海水淡化; 热力学分析; 热回收

1. 引言

大中型船舶在海上航行时, 设备和人员的淡水用量很大, 为保证船舶上的淡水供应, 大中型船舶上都装备有海水淡化装置。海水淡化主要有反渗透法和蒸馏法。反渗透法海水淡化因操作简单而广泛应用于船员的生活用水供应^[1]。但对于蒸汽动力船舶来说, 因其热源比较充分, 动力循环水质要求比较高, 因此大多采用蒸馏法^[2]。蒸馏法有多级闪蒸、多效蒸馏和压

汽蒸馏等, 其中多效蒸馏和压汽蒸馏由于存在结垢和腐蚀问题, 需经常停机除垢, 无法连续工作。而多级闪蒸技术由于在淡化过程中加热面和蒸发面不接触, 基本上不存在结垢现象, 且产水量大, 在大型船舶上得到广泛应用^[3-5]。本文结合 100 t/d 海水淡化装置, 以浓海水直接循环利用和浓海水预热回收两种热回收方案, 计算各自的加热蒸汽消耗量, 分析装置的经济性。

船用 5 级闪蒸式海水淡化装置如图 1 所示。

装置由五级闪蒸室 1), 冷凝器 2), 外加热器 3), 喷射器 4), 后冷凝器 5), 海水补给泵 6), 浓海水排出泵 7) 和淡水泵 8) 以及各种管道、阀门组成。闪蒸室闪蒸前一级出来的海水, 冷凝器冷凝闪蒸出来的蒸汽, 喷射器对闪蒸室内形成一定的真空, 外加热器加热补给海水。喷射器的工作蒸汽和外部加热器的加热蒸汽是经过减温减压的蒸汽。海水给水泵将补给海水泵入系统中的五级冷凝器, 冷凝闪蒸得来的蒸汽, 使蒸汽凝结成淡水; 补给海水吸收蒸汽的热量后, 进入后冷凝器冷却工作蒸汽, 进一步升高温度; 而后进入外部加热器, 吸收加热蒸汽的热量成为过热水。由于外部加热器内压力高, 过热水不会蒸发, 外部加热器出来的补给海水进入到逐级降压的五级闪蒸室, 部分海水闪蒸产生蒸汽, 蒸汽上升到冷凝器被冷凝形成淡水。依靠两级喷射器保证各级闪蒸室内的真空度, 浓海水依靠各级闪蒸室之间的压差在系统中流动, 到末级由浓海水排出泵排出。收集到的淡水由淡水泵输送到淡水柜。

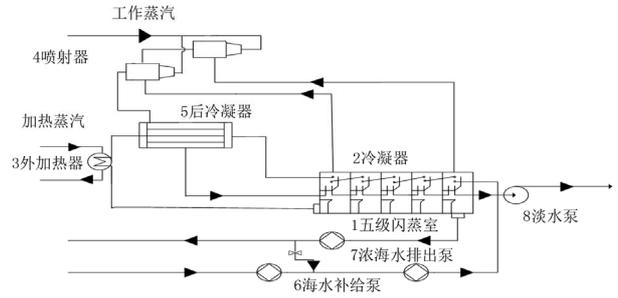


Figure 1. The sketch of MSF with brine re-circle
图 1. 五级闪蒸装置海水直接循环系统流程图

后冷凝器能量守恒^[2]:

$$q_{ml}c_p(t_o - t_l) = q_z\lambda_z \quad (6)$$

外部加热器放出的能量^[3] Q :

$$Q = q_{ml}c_p(t_{mj} - t_o) = q_{mj}\lambda_j \quad (7)$$

式中: c_p 海水热容, λ 蒸汽的汽化潜热, t_i 第 i 级蒸汽饱和温度, t_j 冷凝蒸汽后补给海水温度, t_o 喷射器后补给海水温度, t_{mj} 外部加热器后补给海水温度, q_{ml} 外部加热器内补给海水流量, q_z 工作蒸汽流量, q_{mj} 加热蒸汽流量。

采用浓海水直接循环利用, 即一部分浓海水与供给海水混合作为补给海水, 如图 1, 混合后的海水温度为 T_x , 则有:

$$c_p(t_5 - T_x)q_1 = c_p(T_x - T)q_2 \quad (8)$$

如果采用浓海水预热回收方案, 即用末级排出的浓海水加热补给海水, 如图 2, 通过热交换器后海水温度为 T_y , 则有:

$$c_pq_m(t_5 - T_y) = c_mq_m'(T_y - T) \quad (9)$$

式中: t_5 末级浓海水排出温度, q_1 需要混合的浓海水流量, q_2 补给海水流量, q_m 末级浓海水排出流量, q_m' 补给海水流量, T 环境海水温度, 其装置如图 2。

以目前某船实际运行 100 t/d 五级闪蒸海水淡化装置为例, 加热蒸汽压力为 100 KPa, 工作蒸汽压力为 1600 KPa。五级闪蒸室内的压力分别为 15.75 KPa、12.34 KPa、9.59 KPa、7.38 KPa、5.63 KPa, 海水加热器采用 $\Phi 16/\Phi 13.5$ mm 的加热管, 海水流程采用 2 次流, 有效管长 1775 mm, 总传热面积为 14.85 m², 海水加热器的壳体直径 325 mm, 后冷凝器有效管长 1680 mm, 传热面积为 15.52 m²。新旧海水以不同比例混合时, 环境海水温度变化的条件下, 计算结果如图 3、图 4。

2. 热力分析

为计算方便, 本文做如下假设: 1) 海水温度、浓度变化时比热不变; 2) 忽略蒸发器、冷凝器、喷射器、管道等于环境热交换; 3) 流体流量均匀, 忽略流体流动损失; 4) 冷凝后的淡水温度和蒸发的海水温度相同。

装置第 i 级的产水量^[3] V_i :

$$V_i = R_{i-1}c_p(t_{i-1} - t_i)/\lambda_i \quad (1)$$

流入到下一级的循环盐水量^[3] R_i :

$$R_i = R_{i-1} - V_i \quad (2)$$

淡水总产量^[3] D :

$$D = \sum_{i=1}^5 V_i \quad (3)$$

第 i 级冷凝器的热负荷^[2] Q_i :

$$Q_i = V_i\lambda_i = q_{ml}c_p(t_{j-1} - t_j) \quad (4)$$

第 i 级闪发器内的能量守恒^[2]:

$$\left(q_{ml} - \sum_1^{i-1} V_{i-1}\right)c_p t_{i-1} = V_i\lambda_i + \left(q_{ml} - \sum_1^i V_i\right)c_p t_i \quad (5)$$

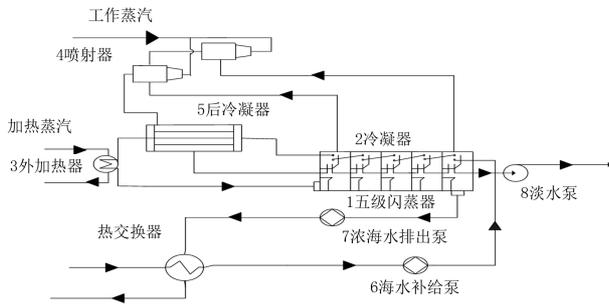


Figure 2. The sketch of MSF with heat exchanger
图 2. 五级闪蒸装置浓海水预热回收方案图

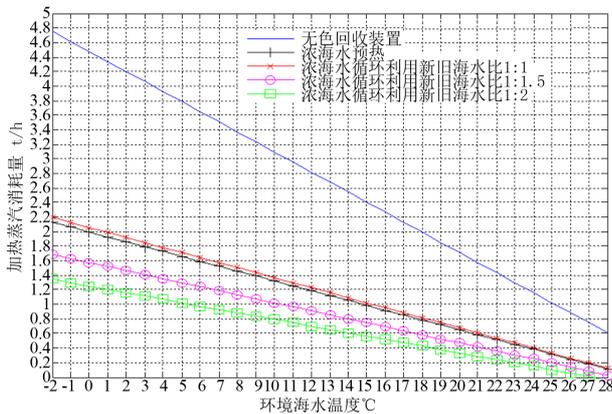


Figure 3. The steam consumption with different power reserve plant
图 3. 不同能量回收条件下的工作蒸汽耗量

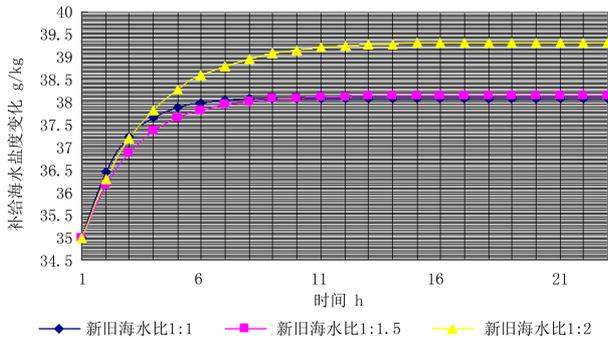


Figure 4. The sanity changing curve at different percent of brine
图 4. 不同浓海水回收率时的给水盐度变化

环境海水温度为 15℃, 新旧海水混合比为 1:1 时, 运行参数和理论计算值作比较, 如表 1。

3. 结论分析

1) 与无热回收装置时, 不能充分利用加热蒸汽的热量, 浓海水吸收的热量损失严重, 为提高装置效率, 降低加热蒸汽消耗量可以考虑加装热回收装置。

2) 采用浓海水预热装置, 回收浓海水热量时, 补

Table 1. The data comparing of calculation and operation
表 1. 运行参数与理论计算值比较

主要参数	产水量 t/h	海水补给量 t/h	加热蒸汽压力、温度	加热蒸汽耗量 t/h
运行参数	4.17 t/h	80 t/h	0.1 MP 190℃	1.33
计算值	4.1894 t/h	80 t/h	0.1 MP 201.4℃	1.02314
误差/%	0.47			23.08

给海水温度越低, 装置节能效果越显著。如在环境海水温度为 15℃, 理论加热蒸汽消耗量只有无热回收装置的 40% 左右。

3) 采用浓海水循环利用, 即将一部分浓海水作为上水, 与舷外补给海水混合, 此时根据海区不同, 海水含盐量大小各异, 可适当调节混合比。如图所示, 新旧海水混合比越小, 蒸汽消耗量越低, 对船舶来说越经济, 环境海水温度为 15℃, 新旧海水比分别为 1:1、1:1.5、1:2, 此时含盐量上升, 满足补给海水含盐量要求(小于等于 40,000 ppm), 加热蒸汽耗量为 1.02314 t/h、0.7466 t/h、0.56226 t/h。当新旧海水比为 1:1 时, 两种热回收方案加热蒸汽消耗量基本相等。但浓海水循环利用热回收装置初期投资小、维修方便, 尤其海水含盐量小时节能效果显著, 在舰船日常使用维护上具有一定的优势。

4) 由表 1 可知, 理论计算值小于实际运行参数, 分析原因, 主要是因为系统在热力分析过程中忽略了海水比热随温度盐度的变化、系统散热损失和流体阻力。在实际运行中应予以考虑。

参考文献 (References)

- [1] J. Z. Chen, G. H. Li. Marine reverse osmosis desalination plant a case study. Desalination, 2005, 174: 299-303.
- [2] 陈金增, 黄素逸. 舰船真空海水淡化装置热力分析[J]. 海军工程大学学报, 2003, 5: 33-36.
- [3] 王世昌. 海水淡化工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [4] 赵国华, 童忠东. 海水淡化工程技术与工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [5] 陈金增, 李光华. 船用多级闪海水淡化装置热力分析[J]. 船海工程, 2010, 39(1): 151-152.