

压汽闪蒸海水淡化方法的研究与进展

俞乔力¹, 金从卓^{1,2}, 束鹏程²

(1. 合肥天鹅制冷科技有限公司, 安徽 合肥 230088; 2. 西安交通大学 能源科学与动力工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 分析、比较、归纳出现有海水淡化方法中, 多级闪蒸法和多效蒸馏法在开路热焓过程中, 有二次蒸汽的凝结潜热损失问题、蒸馏法的结垢与腐蚀问题、反渗透法的海水前处理与产品水质不稳定问题。进而综合其优点, 首次提出: 由热效率最高的压汽法, 来驱动产品水质最好的闪蒸法, 这样一种全新、最优、集成的压汽闪蒸法海水淡化工艺, 兼具投资成本最低、独立闪蒸操作、模块化组合生产等技术优势。由于集成技术成熟而全面, 装置运行安全而可靠, 必将以卓越的技术性、经济性, 逐步取代现有各种方法, 统一海水淡化市场, 引导海水淡化技术发展。

关键词: 压汽; 闪蒸; 海水淡化; 装置

中图分类号: TU991.26

文献标识码: A

引言

目前占据国际市场主导地位的几种海水淡化方法: (1) 多效蒸馏法和压汽蒸馏法的市场占有率分别仅为 4%, 尽管其产品水质均达饮用标准; 而相比之下, 无蒸馏引发结垢问题的多级闪蒸法和反渗透法, 其市场占有率就分别高达 41%; 这充分说明: 结垢问题已成为制约蒸馏法海水淡化装置普及应用的首要矛盾; (2) 反渗透法的初投资和造水成本虽然最低, 但其产品水质的不稳定性, 使其难以持续满足饮用标准, 故而应用多局限在工业冷却循

环; (3) 多级闪蒸法的产品水质虽然达饮用标准, 但其初投资和造水成本太高, 热效率太低, 限制其进一步普及应用; (4) 多级闪蒸法和多效蒸馏法在开路热焓过程中存在二次蒸汽凝结潜热损失; (5) 反渗透法的海水前处理与产品水质不稳定。

因此, 规避现有海水淡化几种方法的缺点, 整合其技术优势, 从而开发新一代海水淡化装置—压汽闪蒸法, 以使海水淡化技术真正跨入市场经济的门槛, 必将成为海水淡化技术重要的发展趋势。

1 压汽闪蒸法的技术现状

压汽闪蒸法海水淡化机是由合肥天鹅制冷科技有限公司于 2006 年 9 月间, 在国际上首创的中国发明专利, 现已完成其热力学概念设计、热物理过程分析、工艺过程的计算模型、工艺参数的优化计算、总体优化方案设计等

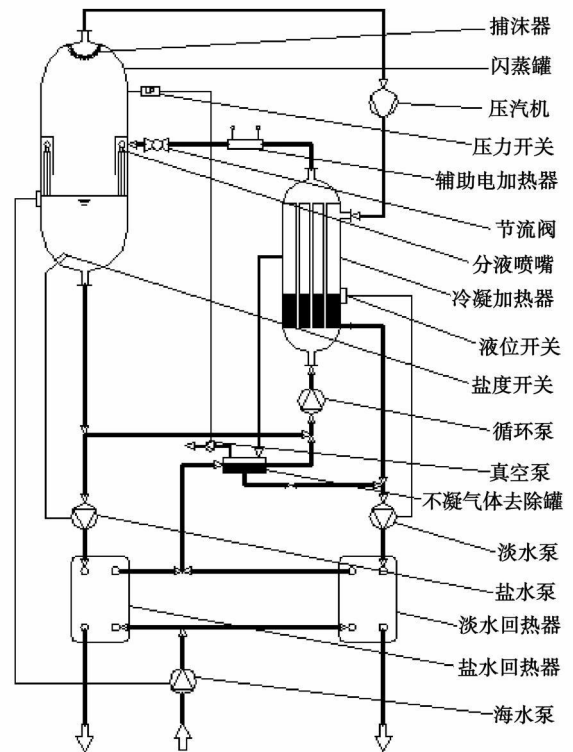


图 1 压汽闪蒸法海水淡化装置

正在纳入中国航空工业集团公司的技术创新基金项目, 并且试验准备工作已经全面展开。

1.1 装置的组成

压汽闪蒸法海水淡化装置的组成, 如图 1 所示。

1.2 装置的工艺流程

如图 1 所示, 本研究提出一种由热效率最高的压汽法, 来驱动产品水质最好的闪蒸法, 这样一种全新、集成的压汽闪蒸法海水淡化工艺, 其工艺流程有以下几方面组成。

1.2.1 二次蒸汽流程

装置运行后, 闪蒸罐的上部空间, 使闪蒸形成的二次蒸汽, 依惯性和重力与盐雾上、下初步分离; 再经捕沫器的二次分离, 进一步去除盐雾夹带, 以提高产品淡水纯度; 经分离后的二次蒸汽, 从闪蒸罐的顶部出口由压汽机吸出并压缩, 提高压力和温度, 以成为过热蒸汽; 并送至冷凝加热器的蒸汽侧, 对另侧下一周期的循环盐水, 释放蒸汽过热显热、凝结潜热、淡水过冷显热后, 凝结成淡水; 当冷凝加热器中部安装的液位开关, 所指示的淡水液位达上限值时, 开启淡水泵, 以增大取用淡水流量, 进行淡水液位控制, 防止其满液; 而当液位开关所指示的淡水液位达下限值时, 关闭或关小淡水泵, 以停止或减少取用淡水流量, 进行淡水液位控制, 防止其抽空; 由冷凝加热器底部出口所取用的高温淡水, 经汇流三通与不凝气体去除罐中所取用的高温淡水相混合, 再由淡水泵送至淡水回热器的淡水侧, 充分释放显热来预热另侧的补充海水, 然后排出装置以供取用。

1.2.2 循环盐水流程

循环盐水被循环泵送至冷凝加热器的盐水侧, 被另侧前一周期加压二次蒸汽所释放的蒸汽过热显热、凝结潜热、淡水过冷显热重新加热; 然后流经辅助电加热器, 被继续加热到节流前盐水温度 T_{top} ; 由于闪蒸罐上部空间的二次蒸汽压力, 始终被压汽机、循环泵、真空泵维持在低于节流前盐水温度 T_{top} 所对应的饱和蒸汽压力; 因此当循环盐水经节流阀减压至闪蒸罐内的二次蒸汽压力, 并由分液喷嘴分散、喷淋到闪蒸罐内; 因减压而形成的过热盐水, 少部分瞬间闪蒸为二次蒸汽,

其余大部分增浓盐水则降至饱和温度, 并释放自身显热, 来提供闪蒸潜热, 以实现绝热闪蒸过程; 闪蒸罐底部的增浓盐水, 由出口管流经分流三通, 再由盐水泵排放少部分增浓盐水; 其余大部分经汇流三通与预热后的补充海水相混合, 重新成为循环盐水。

1.2.3 盐水流程

当闪蒸罐底部出口处的盐度开关, 所指示的盐水浓度达上限值时, 开启或开大盐水泵, 经出口管分流三通, 引出少部分高温增浓盐水, 排至盐水回热器的盐水侧; 而当盐度开关指示的盐水浓度达下限值时, 关闭或关小盐水泵, 停止或减少排放盐水流量; 排至盐水回热器盐水侧的高温增浓盐水, 充分释放显热来预热另侧的补充海水, 然后排入大海。

1.2.4 海水流程

当闪蒸罐中下部安装的液位开关, 所指示的盐水液位达下限值时, 开启或开大海水泵, 吸引预处理过的补充海水; 而当液位开关指示的盐水液位达上限值时, 关闭或关小海水泵, 停止或减少补充海水; 经分流三通, 送至两台并联的淡水回热器和盐水回热器的海水侧; 被另侧降温的淡水显热所预热, 及被另侧降温的盐水显热所预热, 再经汇流三通相混合; 然后流经不凝气体去除罐的海水侧, 被另侧真空泵所抽不凝气体中, 所含水蒸气的凝结潜热继续预热; 最后经汇流三通, 与循环盐水混合, 重新注入循环泵进口。

1.2.5 不凝气体流程

当闪蒸罐中上部压力开关指示的二次蒸汽压力达上限值时, 开启或开大真空泵, 把冷凝加热器中部所富集的不凝气体, 抽吸到不凝气体去除罐的气体侧; 而

当压力开关指示的二次蒸汽压力达下限值时, 关闭或关小真空泵, 停止或减少抽吸不凝气体; 其中所含水蒸气释放凝结潜热而成为淡水, 从不凝气体中分离出来, 在重力作用下沉集在不凝气体去除罐的气体侧底部; 当淡水累积到一定水位后, 开启引水管阀门, 经汇流三通与冷凝加热器的取出淡水相混合, 再由淡水泵排至淡水回热器的淡水侧; 直到不凝气体去除罐的水位探底, 而关闭引水管阀门; 所含水蒸气释放凝结潜热, 来预热不凝气体去除罐另侧的补充海水; 分离出的不凝气体, 则由真空泵抽离装置而排入大气。

2 与现有海水淡化方法的比较

目前, 国际市场上占据主导地位的海水淡化方法, 为多效蒸馏法、多级闪蒸法、反渗透法、压汽蒸馏法。

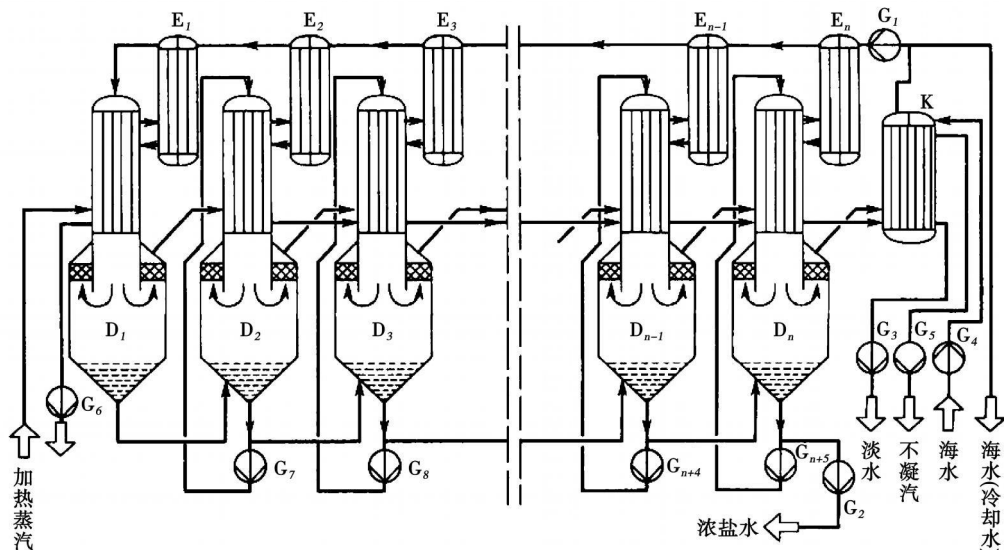
2.1 多效蒸馏法

如图 2 所示^[1], 由多组横管或竖管降膜蒸发器及其预热器, 经分别、多点串联所组成的多效蒸馏海水淡化装置中, 只需对第一效蒸发器及其预热器输入加热蒸汽, 并回收凝结淡水; 从此开始的每一效: 均把前效蒸发器中, 喷淋预热海水或喷淋循环盐水时回收凝结潜热而蒸馏出的二次蒸汽, 引入后效蒸发器及其预热器, 在其中凝结成产品淡水的同时, 凝结潜热被分别回收, 以作为循环喷淋盐水的蒸馏热源, 及补充海水的预热热源; 前效蒸发器及其预热器中产生的产品淡水和循环喷淋盐水, 利用前后效的压力差, 分别引入后效蒸发器的两侧对应点……如此重复进行, 所产生的二次蒸汽, 在多效蒸馏过程

中被逐效降温、降压，并重复利用，直到二次蒸汽的温度和压力已接近环境状态时，在末效蒸发器中所蒸馏出的二次蒸汽，引入冷凝器中凝结成产品淡水，而二次蒸汽的凝结潜热，只能被大量的冷却海水排放环境中；通过多

效、降温、重复的蒸馏、凝结、预热过程，可获得多倍于加热蒸汽量的产品淡水。由于盐水的加热、蒸馏、增浓、饱和过程，是在蒸发器换热管表面同时、同地进行，因此必然导致溶质析出、积淀、结垢

于换热管表面，从而使装置运行不稳定，可靠性与安全性较差。每组蒸发器及其预热器称一效，从而构成双效、三效……多效等。而海水可以逆流、平流、并流等多种方式进入装置。



D-蒸发器；E-预热器；G-泵；K-冷凝器

图 2 多效蒸馏法海水淡化装置

多效蒸馏法的优点是生产的淡水达饮用标准，但许多缺点也制约其发展：(1) 在开路热焓的工艺过程中，须补充大量的二次蒸汽凝结潜热损失，补充热量折合加热蒸汽量 55 kg/m^3 ，故而需电厂抽汽维持，限制了装置的热效率；(2) 换热管表面结垢严重，需采取防垢措施，并经常清洗；(3) 耗电达 $7 \sim 15 \text{ kWh/m}^3$ ，造水成本达 $20 \sim 30 \text{ 元/m}^3$ ；(4) 单机规模限于 $10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ ，不适合大规模运行；(5) 结垢严重和热效率低下，导致其目前国际市场的占有率仅为 4% 。

2.2 多级闪蒸法

多级闪蒸法是针对多效蒸馏法结垢严重的缺点而发展起来的海水淡化工艺。其中，循环盐水

在被加热时，因加热器的高压而尚未开始盐水的闪蒸、增浓、饱和过程，就不会有溶质的析出和积淀，及换热管表面结垢；而循环盐水在逐级节流、过热、闪蒸时，虽逐级增浓到饱和，并导致溶质的析出，但有鉴于闪蒸过程的绝热性质而无需加热面，因此析出溶质就随增浓盐水排放，而不是在换热管表面积淀和结垢；从而使多级闪蒸法具有防垢性能好的重要优势。

如图 3 所示^[2-3]，经逐级预热的循环盐水，再被蒸汽加热到顶温后，依次流经多个饱和温度、压力逐级降低的闪蒸室，当上级闪蒸室的饱和盐水，经孔板节流进入下级闪蒸室瞬间，因减压而成为过热盐水，少部分瞬间闪蒸为二次蒸汽，其余大部分增浓盐

水则降至该闪蒸室压力下的饱和温度，并释放自身显热，来提供闪蒸潜热，以实现绝热闪蒸过程；闪蒸出的二次蒸汽，又在上部冷凝器管外凝结成产品淡水，并以凝结潜热逐级预热循环盐水；凝结出的淡水利用前后级的压力差，逐级流入下级闪蒸室，且各级闪蒸室中的淡水流量，与其循环盐水流量的总合为常量……如此过程重复进行。虽然在热回收段的各级闪蒸室中，所产生二次蒸汽的凝结潜热，以逐级预热循环盐水的方式得以回收利用；但在排热段的闪蒸室中，由于饱和温度、压力已接近环境，因此二次蒸汽的凝结潜热只能任由大量的冷却海水经上部冷凝器而排放环境中。

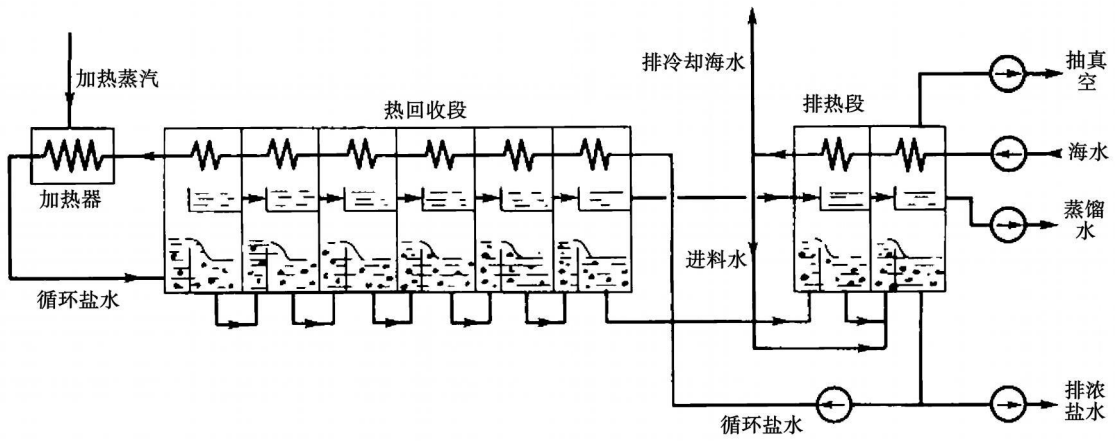


图 3 多级闪蒸法海水淡化装置

多级闪蒸法具有技术优势如下: (1) 循环盐水的加热过程, 与其绝热闪蒸过程前、后分离, 从而使防垢性能优异; (2) 装置运行安全、稳定、可靠, 特别适合大规模生产, 单机容量可达 $10^5 \text{ m}^3/\text{d}$; (3) 工艺成熟, 操作弹性大, 可利用低位热能, 产品水质达饮用标准; (4) 广泛应用于海水淡化、电厂锅炉给水、工业废水与矿井苦咸水的处理和回收, 以及印染业和造纸业中废碱液的回收等; (5) 防垢性能优异, 使其成为海水淡化中的普及技术, 目前国际市场的占有率高达 44%。

但多级闪蒸法的缺点也限制

其进一步发展:

(1) 在开路热焓的工艺过程中, 须补充大量的二次蒸汽凝结潜热损失, 补充热量折合加热蒸汽量 $125 \text{ kg}/\text{m}^3$, 故而需电厂抽汽维持, 限制了装置的热功效率, 因此绝大部分应用仅局限在石油丰富的中东地区; (2) 造水成本高达 $15 \sim 18 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

2.3 反渗透法

如图 4 所示^[4], 能让海水中的淡水通过, 而阻止其它组分的选择性膜, 称反渗透膜。当用其隔开淡水和海水时, 淡水会通过反渗透膜自发向海水侧流动, 该现象称渗透。若在海水侧施加压

力来阻止淡水的渗透, 则渗透速率随之下降; 而当所施加的压力增加到渗透停止时, 达渗透平衡, 此时海水侧所施加的压力称渗透压。它属海水的物理性质, 而与反渗透膜无关。若在海水侧继续增加压力, 则渗透平衡破坏, 淡水反向渗透, 该技术称为反渗透法。

反渗透法的优点如下:

(1) 造水成本仅为 $10 \text{ 元}/\text{m}^3$; (2) 无须电厂抽汽维持; (3) 单机容量可达 $10^5 \text{ m}^3/\text{d}$, 适合大规模运行; (4) 目前国际市场占有率高达 42%; (5) 技术成熟且安全、可靠。

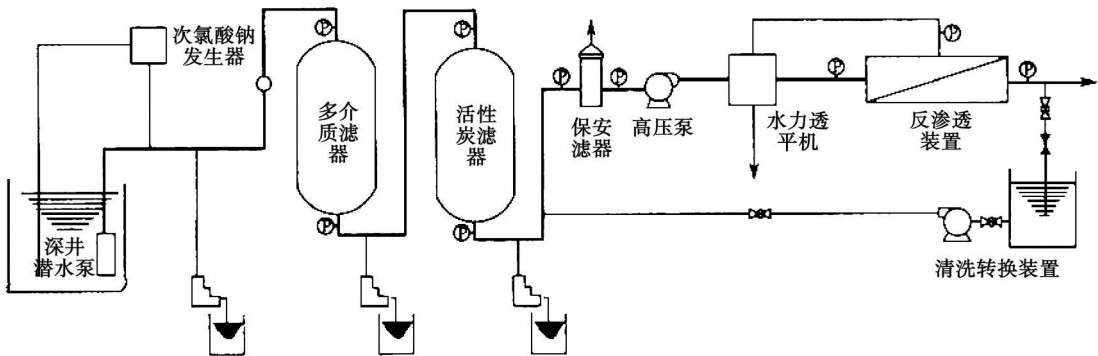


图 4 反渗透法海水淡化装置

但是, 反渗透法也存在不足之处: (1) 海水预处理: 在海水

淡化过程中, 由于反渗透膜还会截留海水中, 除盐分以外的绝大

部分离子、胶体、病毒、细菌、大分子有机物和悬浮固体微粒, 因此

必将受到污染并损害,从而使海水预处理非常重要,而且是装置运行安全的关键,其初投资和运行费也各占反渗透法的一半;一旦海水预处理不当,反渗透膜就会几天内损坏;而各种反渗透膜的特性,以及海水在时间和地域分布上的多变性与多样性等不确定因素,又为海水预处理的针对性和有效性增加难度;(2)反渗透膜脱盐率会自然衰减,从而使单级反渗透法的产品水质很不稳定,难以持续满足饮用标准,故而多数只用作工业用循环冷却水;国际上最大的反渗透法海水淡化装置,生产能力达 $3.7 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,它把来自农业灌区的海水,淡化后放回科罗拉多河,以降低河水的含盐量,而产生的增浓盐水则由管道排入加利福尼亚海湾;(3)海水预处理时,添加剂会二次污染淡水,产品水质达不到饮用标准;(4)不能处理受有机物污染的海水;(5)海水预处理使工艺复杂,难以成为模块化的舰载、车载等便携式海水淡化装置。

2.4 压汽蒸馏法

如图5所示^[2,4],仅需外界输入 9 kJ/kg 轴功,稍加压缩从循环喷淋盐水中蒸馏而出的二次蒸汽,以提高其压力、温度、热焓后,再输入到装置换热器的另一侧,作为加热蒸汽使用,便可重复利用 2244 kJ/kg 汽化潜热;由于构成闭路二次蒸汽潜热循环,就使装置在稳定运行时的驱动能耗降到最低,从而可进行独立的蒸馏操作;同时补充海水还充分回收淡水和盐水中的排放显热,以使热效率进一步提高。压汽蒸馏法又可分为机械压缩和热力压缩两类;其中机械压缩利用压汽机压缩二次蒸汽,适合日产淡水 $10^2 \text{ m}^3/\text{d}$ 的小规模装置,压汽机有轴

流式、离心式、罗茨式、螺杆式等;热力压缩则利用喷射式真空泵中的蒸汽,吸引并压缩二次蒸汽,适合日产淡水 $10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ 的中等规模装置。

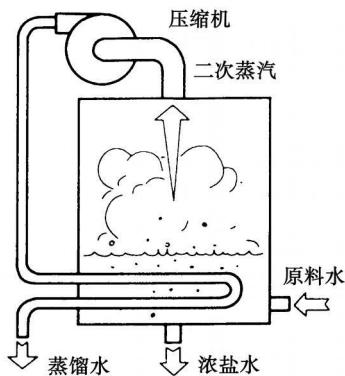


图5 压汽蒸馏法海水淡化装置

压汽蒸馏法的优点如下:

(1) 闭路二次蒸汽潜热循环使装置的驱动能耗降到最低,其中二次蒸汽的压缩功恰好补偿取用淡水和排放盐水所带走的部分显热以及装置热损,从而比多级闪蒸法或多效蒸馏法需补偿二次蒸汽凝结潜热的开路热焓过程要经济许多,从而实现独立的蒸馏操作;(2) 耗电仅为 $7 \sim 11 \text{ kWh}/\text{m}^3$,造水成本仅为 $4.5 \sim 8.5 \text{ 元}/\text{m}^3$;(3) 产品水质达饮用标准;(4) 可处理有机物污染过的海水;(5) 装置简单、紧凑、模块化,可设计成舰载、车载等便携式装置。

然而压汽蒸馏法的流程,看似简单却成倍提高多项技术要求,从而制约其发展:(1) 由于盐水的加热过程,与其蒸馏、增浓、饱和过程,是在蒸发器换热管的表面同时、同地进行,导致溶质析出、积淀并结垢于换热管表面,从而使装置运行极不稳定,可靠性与安全性较差;因此急需攻克由特种铝合金经表面特别处理的A5052换热管材,以满足特殊的

机械性能和化学性能;(2) 降膜蒸发过程,需根据不同地区、不同季节、不同盐水浓缩比 α 时的海水粘度,设计出专用的盐水分布器,以满足减小流阻、喷淋均匀、防止堵塞等技术要求;(3) 蒸发、冷凝器的管板与换热管,须设置良好的弹性连接,以同时满足胶圈的密封和绝缘等技术要求;(4) 单机规模限于 $10^3 \text{ m}^3/\text{d}$,不适合大规模运行;(5) 目前国际市场占有率仅为4%。

3 压汽闪蒸法与其它方法的比较

压汽闪蒸法海水淡化装置,与现有其它海水淡化方法的技术、经济比较如表1所列,其优点分述如下:

(1) 闭路二次蒸汽潜热循环使装置的驱动能耗降至最低,耗电仅为 $7 \sim 15 \text{ kWh}/\text{m}^3$,造水成本仅为 $4.5 \sim 8.5 \text{ 元}/\text{m}^3$;其中二次蒸汽的压缩功耗,恰好补偿取用淡水和排放盐水所带走的部分显热及装置热损,从而比多级闪蒸法或多效蒸馏法,需补偿二次蒸汽凝结潜热的开路热焓过程要经济许多,从而实现独立的闪蒸操作;(2) 循环盐水的加热过程与闪蒸过程前、后分离,使防垢性能优异;(3) 装置简单、紧凑、模块化,可设计成舰载、车载等便携式装置;(4) 模块化组合的规模生产容量可达 $10^5 \text{ m}^3/\text{d}$;(5) 集成技术成熟且操作弹性大,装置运行安全、稳定、可靠,可利用低位热能;(6) 无需海水预处理,没有添加剂对淡水的二次污染,可处理有机物污染过的海水,产品水质达饮用标准;(7) 虽在流程上比压汽蒸馏法多出一台设备,却成倍降低多项技术要求,从而提高产品的普适性。

表 1 压汽闪蒸法与现有其它海水淡化方法的技术、经济比较

	闪蒸		反渗透	蒸馏	
	压汽闪蒸	多级闪蒸		多效蒸馏	压汽蒸馏
	VC-F	MS-F		ME-D	VC-D
产品水质 TDS/ mg·L ⁻¹	纯净水 ≤3		脱盐水 100—200	饮用水 20~100	
级/效	1	7~30	—	10~45	1
蒸发比	∞	5~10	—	5~10	∞
所需条件					
加热蒸汽/ kg·m ⁻³	0	100~200	0	100~200	0
冷却海水/ kg·m ⁻³	0	5000	0	5000	0
耗电量/ kWh·m ⁻³	7~15	4.6	4.0	4.4	7~15
造水成本元/元·m ⁻³	4.5~8.5	11.6~18.1	7.5	9.9~16.4	4.5~8.5
投资/(×10 ⁴)元·(m ³ ·d ⁻¹) ⁻¹			0.7~1.5		
海水前处理	—	√	√	√	√
添加剂二次污染	—	√	√	√	√
有机物污染失效	—	√	√	√	√
简单、紧凑、模块化	√	—	—	—	√
车载便携式	√	—	—	—	√
结垢与腐蚀	—	—	—	√	√
生产规模/(×10 ⁶)m ³ ·d ⁻¹	100	100	100	1	1
2000 年国际市场占有率/%	—	44	42	4	4

4 海水淡化方法集成化发展的展望

通过本项目关键技术的研究和产品开发,将带来的显著社会效益和经济效益:

(1) 作为全新、集成的海水淡化工艺,压汽闪蒸法兼具各种海水淡化方法的主要技术优势:热效率最高、投资成本最低、产品水质最好、独立闪蒸操作及模块化组合生产,由于所集成的技术成熟而全面,装置运行安全、可靠;必将以卓越的技术性、经济性逐步取代现有各种方法。

舰载淡化水补给:由于无需海水前处理工艺段,结构简单而紧凑;因此压汽闪蒸法海水淡化机适用于海军及远洋舰船的淡化水补给。

海岛、沙漠地区的淡化水补给:由于模块化组合后的生产规模可达 10⁵ m³/d 以上;因此压汽闪蒸法海水淡化机适合于海岛、沙漠地区的淡化水补给。

陆地野外净水补给:由于结

构简单而紧凑;因此压汽闪蒸法海水淡化机还适用于野战军、救灾、野外考查的净水补给。

(2) 压汽闪蒸法海水淡化机由于构成闭路热焓循环,就使驱动电耗比多级闪蒸法或多效蒸馏法,以及电热水等的开路热焓过程减少近 90%;实现以自来水价格提供饮用水,若以全世界 65 亿人口每天最低饮水 1 升计算,每天就可节省电耗 6.6×10⁸ kWh,折合 27.5×10⁶ kW 的发电容量,同时大幅降低 CO₂、SO₂ 排放量,每年仅节省电费就折合人民币 1 206 亿元。

为各种饮料产品提供原料:由于无需海水前处理,没有添加剂的二次污染,可处理有机物污染的海水,产品水质达饮用标准;因此压汽闪蒸法海水淡化机可为饮料产品提供原料,其成本仅为 4.5—8.5 元/m³;即使与最便宜的住宅燃气烧开水成本 381.9 元/m³ 相比也几可忽略。

由自来水厂直接为市政提供饮用水:由于模块化组合后的生

产规模可达 10⁵ m³/d 以上,因此压汽闪蒸法海水淡化机可用于沿海地区的自来水厂,直接为市政提供饮用水产品;其饮用水成本仅为 4.5—8.5 元/m³,无论与住宅燃气烧开水成本 381.9 元/m³、住宅电热烧开水成本 585.9 元/m³,或与旅馆电热烧开水成本 939.7 元/m³ 相比较,均可忽略。

(3) 压汽闪蒸法海水淡化机,会从现有国际海水淡化市场年销售额数十亿美元,大幅延伸、拓展、升级为国际饮用水市场、国际水务市场和国际能源市场等相并列的崭新格局,从而年销售额会增长,并逐步突破千亿美元,进而引导人类崭新生活方式。

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] 高从塔, 陈国华. 海水淡化技术与工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004
- [3] 王世昌. 海水淡化多级闪蒸过程参数分析[J]. 海水淡化 1979(1): 1—17.
- [4] 王世昌. 化工百科全书—第六卷海水淡化[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994.

燃蒸联合循环单轴发电机布置的启发 = **Edification from a Single-shaft Layout of Gas-steam Combined Cycle Power Generators** [刊, 汉] / WANG Zhi-tao, LI Shu-ying, SUN Yu-feng (College of Power and Energy Source Engineering, Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(5). — 549 ~ 553

Proceeding from the empirical data of various single-shaft layouts of latest gas-steam combined cycle power generator units supplied by GE, Mitsubishi, Siemens and Alstom company etc. for the world power markets, a preliminary argumentation was conducted of a version in which an IFEP (integrated full electric propulsion) marine combined power plant was used as a primer mover module. Moreover, the feasibility of the module in question based on a combined power plant was investigated and the improvement for full electric propulsion versions published for two warships of USA and one CVN (carrier vessel nuclear) warship of Great Britain was compared with some meaningful viewpoints being obtained. Summing up various circumstances, the authors have concluded that the use of a single generator can reduce the total weight by over 10% compared with the use of two generator sets having the same power output. The version thus obtained can reduce the number of generators by one half and decrease the land area occupied by over 10%, resulting in weight reduction and significant simplification of relevant equipment items. In the meantime, the reliability and maintainability of the system can be improved. **Key words:** gas-steam combined cycle power generator unit, integrated full electric propulsion (IFEP), combined power plant, prime mover module

压汽闪蒸海水淡化方法的研究与进展 = **Recent Advances in the Study of a Pressurized-steam Flash Evaporation Method for Seawater Desalination** [刊, 汉] / CHOU Qiao-li, JIN Cong-zhuo (Hefei Swan Refrigeration Science and Technology Co. Ltd., Hefei, China, Post Code: 230088), JIN Cong-zhuo, SHU Peng-cheng (Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(5). — 554 ~ 559

Analyzed, compared and summed up were the following problems in an open heat enthalpy process among the currently available seawater desalination methods, including the multistage flash evaporation method and multi-effective distillation one. The problems are: condensate latent heat loss of the secondary steam, fouling and corrosion of the distillation method, seawater pretreatment and unstable water quality of its product when a reverse osmosis method is adopted. Summing up all the merits of the methods under discussion, the authors have presented for the first time the flash evaporation method with the highest thermal efficiency to attain the best water quality of its product. Such a wholly new, optimum and integral pressurized-steam and seawater desalination process features low investment cost, and an independent flash evaporation operation coupled with a modularized combination production and other technical advantages. Due to the proven and comprehensive integration technology and the plant safe and reliable operation, the method in question will certainly replace the various currently available methods step by step with its excellent technology and cost-effectiveness, unifying the seawater desalination markets and initiating the further development of seawater desalination technologies. **Key words:** pressurized steam, flash evaporation, seawater desalination, plant

气膜孔形状对涡轮叶片气膜冷却效果的影响 = **Influence of Air-film Hole Shapes on Turbine Blade Air-film Cooling Effectiveness** [刊, 汉] / DAI Ping (College of Power and Energy Source Engineering, Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001), LIN Feng (Gas Turbine Research Department, CSIC (China Shipbuilding Industrial Corporation) Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(5). — 560 ~ 565

On the basis of a bulk flow control method, discretized was a three-dimensional steady incompressible $N-S$ equation. By using a non-structured grid and two-layer $k-\epsilon$ turbulent flow model and under the condition of the air blowing ratio M being 0.6 and 1.2, numerically simulated was the influence of air-film hole shapes on turbine blade air-film cooling effect-