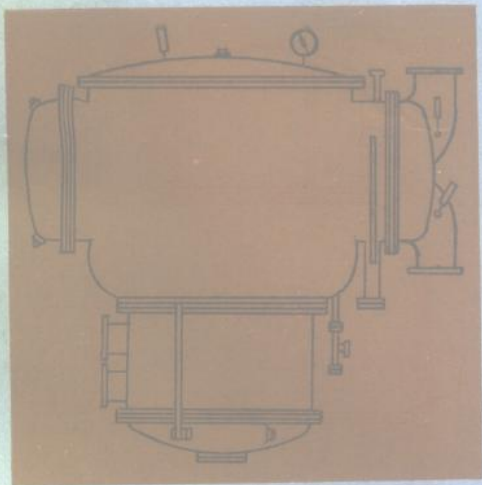


轮机业务知识丛书

(船舶辅机部分)

船用海水淡化装置

吴甲斌 编



人民交通出版社

轮机业务知识丛书

(船舶辅机部分)

船用海水淡化装置

Chuanyang Haisui Danhua Zhuangzhi

吴甲斌 编

人民交通出版社

DU77/11
内 容 提 要

本书从我国远洋船舶的实际出发,系统地介绍了表面沸腾式和闪发式船用海水淡化装置的工作原理、技术性能和具体结构,同时,也对海水淡化装置的使用、管理和维修做了详细说明。

本书可供轮机人员、从事海水淡化的工作人员及有关院校师生参考。

轮机业务知识丛书
(船舶辅机部分)
船用海水淡化装置

吴甲斌 编

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 2.625 字数: 52 千

1985年8月 第1版

1985年8月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—2,400册 定价: 0.65元

前 言

随着交通运输事业的发展，迫切需要有一支与其相适应的、具有一定科学文化水平的职工队伍。搞好全员培训，加强职工技术教育，实为当务之急。当前矛盾是：学习不能都进学校，在职自学又缺少合适的书籍。因此中国航海学会为普及和提高广大海员的航海科学技术水平，以适应航海事业现代化的需要，特倡议组织编写航海知识丛书。中国航海学会编辑委员会与人民交通出版社于1980年在上海组成了航海知识丛书编审委员会，由陈有义、印文甫分别担任正副主任，王世忠、赵国维任秘书。编审委员会开展工作以来，已组织了企事业、学校等专业人员在业余时间分别进行编写，丛书将先后出版，陆续与读者见面。

航海知识丛书根据专业性质分为《航海业务知识丛书》和《轮机业务知识丛书》两套丛书。为了方便海员学习，力求结合实际，通俗易懂，并以小册子形式分专题出版。希望这两套丛书能不断为海员们业务技术学习作出贡献，同时也希望广大海员和航运单位共同来支持它和扶植它，使这两套丛书在不断更新中成为广大海员所喜爱的读物。

《航海知识丛书》编审委员会

目 录

第一章 概述	1
§1 海水淡化的目的.....	1
§2 船用淡水的使用要求.....	3
§3 船用海水淡化装置的发展和分类.....	4
第二章 海水淡化装置的工作原理	6
§1 水的热力特性.....	6
§2 海水淡化装置的一般工作原理.....	7
第三章 表面沸腾式海水淡化装置及其系统、盐度计	14
§1 表面沸腾式淡化装置及其系统.....	14
§2 装置的自动调节及盐度计.....	21
§3 表面沸腾式淡化装置的技术管理.....	32
第四章 闪发式海水淡化装置及其系统	43
§1 尼莱克斯 (Nirex) 型海水淡化装置.....	43
§2 板式热交换器.....	48
§3 闪发式淡化装置的技术管理.....	55
第五章 提高海水淡化装置的工作性能和经济性	60
§1 保证所造淡水质量的方法.....	61
§2 海水蒸发器中的结垢及其防止.....	65
§3 提高淡化装置的经济性、保持冷凝器稳定的真空度.....	74

第一章 概 述

淡水和空气一样，是人类赖以生存和工农业生产的必需物质之一。虽然地球上水域广阔，约占地球总面积的四分之三，但地球的总水量中，海水占 97.2%，陆地水占 2.8%，而可供利用的淡水仅占 0.64%，随着现代工业的迅速发展和城市人口的增加，用水量激增，工业污水也随之增加，如处理不当，又将造成严重的水域污染，因此，缺乏淡水就成了许多国家和地区的严重问题。

海水淡化是解决这一问题的一个重要途径。近年来不少国家为了开发海洋或军事目的，也都在积极研究和发展海水淡化技术。

航行或工作在辽阔海洋上的船舶，淡水，不论对其动力装置的运行或船上工作人员的生活来说，都是极为重要的消耗性物资。淡水的储存或制造，又是决定船舶运输能力的重要条件之一。所以，海水淡化装置（又称造水装置或淡化装置）是远洋船舶的必备附属设备。

我国为了适应国民经济和国防建设的发展而研制和生产的各种淡化装置，已能基本满足远洋船舶的需要。在实际运行中，广大船员也已取得了丰富的实践经验。

§1 海水淡化的目的

船舶动力装置需要消耗大量淡水，主要用作柴油机冷却水、锅炉给水、蓄电池用水等。另外，船员及旅客的饮用、

洗濯等生活用水，也需要消耗大量淡水。

这些淡水当然可设专用水舱储存，但是，对于远洋船舶，由于连续航行时间长，离开补给基地远，要储备足够多的淡水，必然要减少载货吨位，影响运输能力的充分利用；同时淡水储存时间长，也容易被水柜或细菌污染而变质；远洋船舶航行的生命力，也要求能源源不断地补充淡水，以适应海上航行多变的气象和工作条件，而单纯用水舱所储存的淡水，就难于达到这个目的。

据统计资料来看，一般船舶动力装置的淡水消耗量（以主发动机每1000马力（735.5千瓦）计算）约：柴油机船为0.15~0.23吨/天；汽轮机船为0.4~1.0吨/天；蒸汽机船为3.0~6.0吨/天。

船员生活所用淡水约为每人150~250公斤/天。

目前，万吨级远洋柴油机货船，通常主机功率为10000马力（7355千瓦）左右，船员以50人计，每天消耗淡水即需9.0~14.8吨，如续航力为30天，那末这个航程必须供给淡水270~444吨，这是一个不小的数量。如是远洋客轮，则淡水消耗量就更大，如我国“耀华”轮船舶定员800人，每天耗水量达150吨，因此，目前几乎每一艘远洋船舶都装有海淡化装置，我国自行设计制造的万吨级远洋柴油机货轮，装有一台容量为15吨/天的淡化装置，至于大型客轮，则须装设几台容量较大的淡化装置，以满足人员对生活用水的需要。

当然，淡化装置车身也有一定重量，制取淡水通常也要消耗能源，但这些重量与需要的淡水重量相比是很小的，而且还可用柴油机的排气或冷却水作为热源，进一步利用废热而提高动力装置的经济性。在五十年代，船用淡化装置多采用压力蒸发式（海水蒸发压力为1个大气压即 $9.80665 \times 10^5 \text{ Pa}$ ），

其主要缺点是在浸管式蒸发器加热系统中，大量沉积坚硬的水垢。到五十年代末期，真空技术有了进一步发展，压力式蒸发器随之为真空式蒸发器所取代，后者则可以利用主柴油机冷却水废热来加热。目前我国远洋船舶中所采用的海水淡化装置基本上都已是真空式装置，运行中消耗的能量仅为水泵所需的功率，经济性和工作性能都较优良。

§2 船用淡水的使用要求

如前所述，船用淡水是供给船舶动力装置及船上人员生活用水等需要的，由于海水含盐量较多，一般在大洋中约达35,000毫克/升，pH值为7.5~8.4，所以必须进行淡化并达到一定的淡水品质后，才能使用。一般含盐量低于1000毫克/升以下就称作淡水。所谓淡水品质，主要指淡水中所含的杂质、盐量和硬度等数量指标。用途不同，对淡水品质的要求也不同。现分别叙述如下：

1. 锅炉给水

锅炉给水应不含任何杂质，特别对高参数的汽轮机动力装置更是如此，对船舶辅助锅炉要求可以低些。例如，对中、高压锅炉的给水，要求总含盐量①小于5~20毫克/升，硬度②小于0.01~0.05毫克当量/升，对火管式辅助锅炉则要求总含盐量小于150毫克/升，硬度小于0.7毫克当量/升，水管式辅助锅炉的给水要求总含盐量小于30~60毫克/升，硬度小于0.15毫克当量/升。

一般由于造水装置本身的性能，凝汽器管子渗漏，空气等混入热水井以及淡水储存日久会变质等原因，要获得纯净

① 总含盐量是指淡水中含 Cl^- ， SO_4^{2-} ， HCO_3^- ， SiO_3^{2-} 离子含量总数。

② 硬度是指淡水中含 Ca^{2+} ， Mg^{2+} 离子的量。

的水是不可能的。事实上，只要用各种化学或物理的方法，将给水品质控制在一定范围内，就可满足锅炉运行的要求。

2. 饮用水

饮用和食用淡水，必须是清澈的，没有不良气味和滋味，并且不含有任何对人体有害的杂质、重金属污染物、有机物、氮化物和细菌等。

由淡化装置得到的高品质蒸馏水，非常接近于纯水，通常要加入一些矿物质，并使总含盐量不大于500~1000毫克/升，盐度不大于250~500毫克/升 NaCl，pH 值为6.5~9.5，才能供人们长期饮用而不致影响健康。

每人的饮用水消耗量，应视劳动强度和工作环境而定，一般每人一昼夜为10~15升。

3. 洗濯水

洗濯衣服、洗澡、洗刷食具等所用水的要求，较锅炉给水和饮用水的要求低得多，只要水中不含传染疾病的微生物，未被放射性微粒污染，没有恶臭，盐度不超过300毫克/升，硬度不大于7毫克当量/升（如硬度超过40~42毫克当量/升，洗濯时肥皂即不起泡沫）就可用于洗濯。

4. 柴油机冷却水

一般淡水即可，无特殊要求。

5. 其它用水

包括用于充装蓄电池和医疗用的蒸馏水，其品质要求较上述均高，但所需数量很少，一般由岸上制备或经造水装置制得的淡水再加工处理后使用。

§3 船用海水淡化装置的发展和分类

十六世纪末，人类利用大型帆船远涉重洋时，曾用蒸

馏器（海水淡化器）补充日常所需的淡水。到十九世纪初，蒸馏器的进一步发展，使船用锅炉的给水由海水转为淡水。随着船舶蒸汽动力装置参数和结构的不断提高和改进，船舶吨位和航速相应获得提高，这些发展，又反过来要求蒸馏器能提供数量越来越多，品质越来越高的淡水，以满足船舶动力装置和人员对淡水的需要。本世纪六十年代以来，世界上工业发达的国家耗水量激增，城市工业和生活用水十分紧张，因此，海水淡化技术作为提供淡水和纯水的重要手段之一，更为世界各国所重视。海水淡化技术有了较快的发展。不久以前，在船上几乎还全是用浸管式蒸发器的沸腾蒸发装置（因为有蒸发表面所以又称表面式），而现在闪发式海水淡化装置（海水在闪发室中因过热而闪发，无蒸发表面）日益盛行。利用电渗析法、压汽式蒸馏法、离子交换法等原理制成的淡化装置已有在船上应用，另外，反渗透法、冷冻法等也在大力研究试验。在装置系统的改进方面，则有用低能废热以降低制淡成本；改进结构，增强传热以提高效率和缩小装置尺寸；使用真空蒸发，控制盐度和给水处理以防止结垢以及采用组合式结构实现系统的自动控制等等都取得了显著的成绩。

根据装置结构和工作原理的不同，海水淡化装置主要有下列几类：

1. 真空沸腾式制淡装置；
2. 真空闪发式制淡装置；
3. 压汽式制淡装置；
4. 电渗析制淡装置；
5. 离子交换制淡装置。

不过目前，不论是船用或陆用的海水淡化装置，主要还

是采用改进后的蒸馏装置，即真空沸腾式或真空闪发式淡化装置。

第二章 海水淡化装置的工作原理

§1 水的热力特性

在说明淡化装置工作原理之前，有必要了解一些水的基本热力特性。

水在大气压力下被加热到 100°C （实际是 99.09°C ）时，就开始沸腾，这个温度就叫作在大气压力下的饱和温度。如继续加热，水中就有蒸汽气泡从加热面产生并不断上升扩大，直至水面气泡破裂逸出水蒸汽，即形成沸腾过程，而水温始终不变，直到水全部沸腾蒸发成蒸汽。水蒸发所需的热

表 1

绝对压力 公斤力/厘米 ² (千帕)	真空度 毫米 汞柱	饱和 温度 $^{\circ}\text{C}$	液体热 千卡/公斤 (焦耳/公斤)	汽化潜热 千卡/公斤 (焦耳/公斤)
0.05(4.90)	723.2	32.55	32.57(136364)	578.9(2423739)
0.75(7.36)	704.8	39.95	39.96(167305)	574.7(2406154)
0.10(9.81)	686.3	45.45	45.45(190290)	571.6(2393175)
0.20(19.61)	612.6	59.67	59.65(249743)	563.4(2358843)
0.30(29.42)	538.9	68.68	68.66(287466)	558.1(2336653)
0.40(39.23)	465.2	75.42	75.41(315727)	554.1(2319906)
0.50(49.04)	395.5	80.86	80.86(338545)	550.7(2305671)
0.60(58.84)	347.8	85.45	85.47(357846)	548.0(2294366)
0.70(68.65)	244.1	89.45	89.49(374677)	545.6(2284318)
1.00(98.07)		99.09	99.19(415289)	539.6(2259197)
1.50(147.11)		110.79	110.99(464693)	532.1(2227796)
2.00(196.14)		119.62	119.94(502165)	526.4(2203932)

量称为水的“汽化潜热”，而在一定压力下将水加热到饱和温度所需的热量称为“液体热”或水的“显热”。在某种特定的暂时情况下，水也可能出现所谓过热状态，即其温度高于饱和温度，当然这是不稳定的，能立即汽化而水温随之降到饱和温度为止。表 1 所列为水的热力性质。

水被加热或冷却时要吸收或放出液体热；水在汽化时要吸收汽化热；反之，水蒸汽被冷凝时就要放出汽化热。冷凝和冷却时，水所放出的汽化热和液体热，其数值与加热时要吸收的汽化热和液体热相等。

§2 海水淡化装置的一般工作原理

根据淡化装置的构造和工作原理的不同，将海水蒸发进行淡化的装置主要有两种：

一、表面沸腾式淡化装置的工作原理

蒸发器内装有浸沉的加热盘管构成的加热表面，海水供入蒸发器后，被流经加热盘管的外部热源（蒸汽或热水）加热。海水在相当于蒸发器中压力的饱和温度下沸腾蒸发，然后在冷凝器中水蒸汽被凝结成淡水。

表面沸腾式淡化装置主要由蒸发器、冷凝器及一些泵等附属设备，管道附件和控制系统等组成，有的还设有海水预热器，以便利用废热，提高装置的经济性。

装置的基本组成和工作原理示于图 1。

图中：蒸发器 1，由壳体、蒸发管束及汽水分离器等组成。海水供入蒸发器壳体后，被加热而产生蒸汽（称二次蒸汽）。蒸汽流经汽水分离器 7 后，进入冷凝器。

冷凝器 2，由壳体、冷凝管束等组成。由海水泵 4 送来

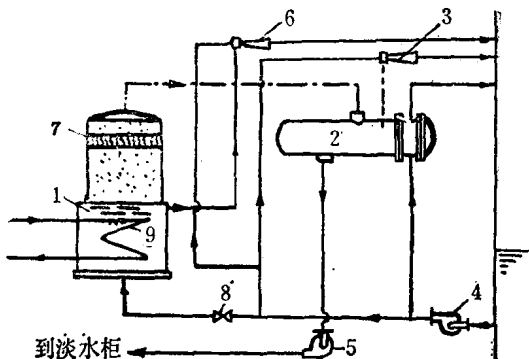


图1 表面沸腾式淡化装置系统简图

1-蒸发器；2-冷凝器；3-空气抽除器；4-海水泵；5-凝水泵；6-盐水泵；7-汽水分离器；8-给水调节阀；9-加热盘管

的海水将蒸汽冷却和冷凝，制成蒸馏水。

空气抽除器3，用来连续抽出冷凝器内留存的空气和蒸汽，使蒸发器及冷凝器内均保持一定的真空度。

海水泵4，向冷凝器连续供应冷却水，同时向蒸发器供应给水。

凝水泵5，用来抽出冷凝器中的淡水，并将其送入淡水柜。

盐水泵6，用来连续地将蒸发器内的浓盐水排走，使蒸发器内海水的含盐量保持在一定限度内。一般采用喷射泵。

当装置工作时，加热介质（热水或蒸汽）进入蒸发器内的蒸发管束，将管外海水加热，使之沸腾蒸发，然后返回自己的工作系统。从海水中蒸发出来的蒸汽（二次蒸汽）则上升经蒸发器上部的汽水分离器7，分离蒸汽中含有的微小水滴以净化蒸汽，随后进入冷凝器，被冷凝管束内的循环海水

所冷却，凝结成蒸馏水，便成为符合一定盐度要求的淡水，最后由凝水泵 5 抽送至淡水舱。循环冷却水就是海水泵 4 泵入的舷外海水。

为了使装置能连续工作，必须使海水泵不断地向蒸发器补充海水，以维持一稳定的蒸发水位。为了使蒸发器中海水含盐量不致因海水的不断蒸发而浓缩过高，影响二次蒸汽质量，就需要盐水泵将盐度较高的海水排出舷外。通常选用喷射泵作为盐水泵。

为了使装置能利用船舶动力装置中温度不高的废热（如温度仅为 $55\sim 65^{\circ}\text{C}$ 的柴油机缸套冷却水）和改善结垢情况，目前广泛应用真空式蒸馏装置，即蒸发器壳体内具有相当高的真空度，例如一般船用海水淡化装置的真空度为 93% ，这时相应的海水蒸发温度即为 38°C ，所以维持一定的真空度就非常重要。一般用喷射泵作为空气的抽除器来实现这一目的。

按照上述简单系统工作的装置，称为单效应表面式蒸馏装置，是当前柴油机货船采用最广的一种海水淡化装置。为了简化制造和维修管理工作，缩短管系长度和布置紧凑，现在的淡化装置都已采用整体安装结构，即冷凝器放在蒸发器上方组装在一个壳体内，形成一个蒸馏器，而为它服务的一些泵等辅助设备，管道的附件及控制系统均安装在蒸馏器壳体的周围及基座上，详细情况将在后面介绍。

由于船舶内燃动力装置有大量温度较高的废热可以利用，如柴油机冷却水，废汽锅炉的蒸汽等，都可用来作为海水淡化装置的热源，因此，装置的经济性主要决定于制造成本，辅助设备的耗油量和日常维护费用。

在单效应蒸馏装置中，二次蒸汽在凝结过程中放出的大

军舰，为减少消耗于淡化装置的加热蒸汽，以提高动力装置的经济性，常使用多效应蒸馏装置，对一般货船则多采用单效应装置，最多也只用双效应。

二、闪发式淡化装置的工作原理

蒸发器（常称闪发室）内无加热表面，海水先进入另一个常压的加热器中，经加热，但不达到沸腾状态，使其温度略高于闪发室压力下的饱和温度，随后此海水进入高度真空的闪发室，由于其温度已高于该处的饱和温度，呈过热状态而使部分海水吸收过热水的热量，自行骤然蒸发，直到海水温度降到稳定的饱和温度为止。因闪发室内没有传热表面，这种装置又有无表面式之称。

现以单级闪发式淡化装置为例介绍如图 3 所示。海水由海水泵 6 输入，经冷凝器 2 使二次蒸汽凝结，一部分海水排至舷外，一部分海水作为给水，再流过加热器 3 进一步提高海水温度，以保证海水进入闪发室后，能高于与闪发室压力相应的饱和温度。由于这部分水已处于过热状态，当它喷入闪发室后，一小部分水立即汽化即实现闪发蒸发过程。闪发室中产生的二次蒸汽在冷凝器 2 内放出潜热后被凝结成淡水，最后用凝水泵 4 送往淡水舱。剩下大量未汽化

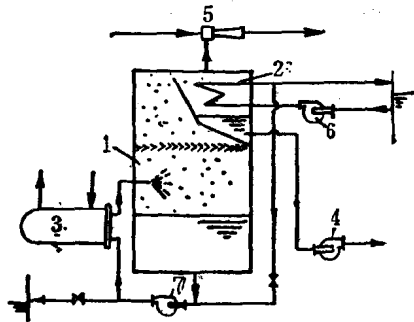


图 3 单级闪发式淡化装置示意图

1-闪发室；2-冷凝器；3-加热器；4-凝水泵；5-空气抽除器；6-海水泵；7-盐水泵

的浓缩海水落至闪发室底部，由盐水泵 7 抽出排至舷外。闪发室中的真空度由空气抽除器 5 产生，抽除器常采用射水抽气器和蒸发喷射器或其它真空泵。

单级闪发式装置的经济性不高，与一般蒸发式相差不多，为提高其经济性，常设计成多级装置，即采用强制循环使热海水连续流过几个闪发室，如图 4 所示。各级闪发室压

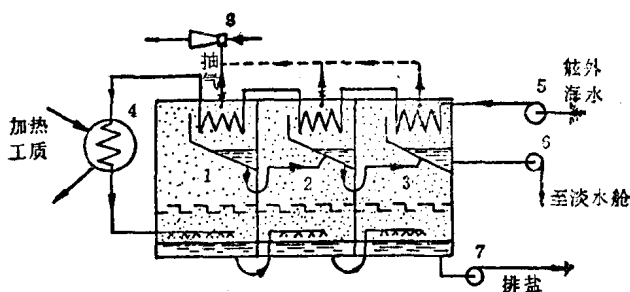


图 4 多级闪发式淡化装置原理图

1-1 级蒸发器；2-2 级蒸发器；3-3 级蒸发器；4-加热器；5-海水泵；
6-凝水泵；7-盐水泵；8-真空泵

力依次降低，在上一级闪发室内没有被汽化的海水在下级继续蒸发成蒸汽，与此同时，余下的盐水则逐级冷却至相当于各闪发室的饱和温度。从最后一级闪发室出来的浓缩海水则由盐水泵（排污泵）排至舷外。这样排至舷外的热量就减少了，通过冷凝器的冷却水也全部作为给水，充分利用了蒸汽凝结时的潜热，所以这种多级装置经济性大为提高，但装置构造变得复杂，体积也增加，所以除陆用大容量装置有采用 20~30 级外，船上一般只采用二级，最多也有四~五级并组装在一个长方形整体内。这种多级装置在需要淡水量较多的大型客轮和某些专用船舶上（如渔业加工船等）使用比较合