

# 船舶海水淡化技术及应用探讨

郭健东

(中国海警局直属第四局, 海南 文昌 571339)

**摘要** 现代远洋船舶因为航程远且航期长, 所以船舶在航行阶段对于淡水的需求量非常大, 仅仅依赖船舶携带的淡水根本无法支撑船舶实现远洋航行。因此, 为了满足船舶的航行需求, 就必须借助海水淡化装置来提高海水利用率。目前常见的海水淡化技术以蒸馏、反渗透技术为主, 其中反渗透技术在能量回收装置的支持下更是能够快速适应复杂多变的使用环境。本文对海水淡化技术进行分析, 并对船舶反渗透海水淡化技术与应用提出个人看法, 希望为关注海水淡化技术的人群提供参考。

**关键词** 船舶; 航行; 反渗透; 海水淡化

中图分类号: U66

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)03-0049-03

船舶在海中的航行离不开淡水资源的支持, 因为船舶自身携带的淡水资源有限, 所以为了满足船舶航行时的淡水需求, 就必须借助海水淡化技术来获取航行阶段可用的淡水资源。通过深入分析海水淡化技术与应用, 能够为船舶的海上航行提供很多帮助。因此, 有必要对船舶海水淡化技术及应用进行分析, 以此来让海水淡化技术在船舶海上航行中发挥出真正的价值。

## 1 船舶海水淡化技术重要性分析

在船舶进行海上航行时, 海水淡化技术已经逐渐成为船舶必不可少的关键性技术, 因为淡水资源是船上所有人员的生命线。海水本身便是一种具有复杂成分的水溶液, 而且在多种盐类的作用下, 海水含盐量基本可以达到 33000-35000mg/L。与此同时, 因为海水不仅含盐量极高, 海水中还带有其他复杂成分, 所以船舶在正常航行期间, 除了极个别情况下, 根本无法直接进行海水应用。需要注意的是, 由于淡水的用途非常广泛, 所以根据用途上的差异, 船舶对于淡水的要求往往各不相同, 例如供船员、旅客饮用的淡水, 其含盐量与氯离子含量就远远低于柴油机的冷却水。需要注意的是, 如果船舶在海水运行时, 所有淡水都将利用相同的海水淡化装置进行淡水生产, 为了满足实际使用需求, 就必须按照最高标准来安装海水淡化装置, 否则单独一台海水淡化装置将无法满足不同船舶海上航行时的真实需求<sup>[1]</sup>。

## 2 船舶航行常见的海水淡化技术分析

### 2.1 电渗析淡化法

在船舶航行过程中, 借助电渗析法可以通过相间排列的阴阳离子渗透膜来进行海水脱盐处理。在直流

电场的影响下, 海水离子将会随着渗透膜直接流入邻近的隔离室, 这种海水淡化技术在实际应用中可以保证海水淡化效果, 但是在海水淡化过程中则会消耗大量电能。而且离子渗透膜在实际应用期间还不能与氯离子进行接触, 所以原水无法通过氯来实现杀菌处理, 离子渗透膜在长时间的使用过程中将会逐渐滋生大量微生物。除此之外, 为了避免离子渗透膜在长期使用中产生水垢, 必须定期针对渗透膜开展酸洗工作并更换电极, 因此相较于其他海水淡化技术而言, 电渗析淡化技术的操作管理往往更加繁琐。

### 2.2 冷冻淡化法

海水在盐浓度未达到阈值的情况下, 如果能够将海水温度降低至冰点, 此时海水就会逐渐析出不带有盐分的冰晶, 此时溶质盐将会留存在盐水中。通过取出冰晶并利用淡水进行洗涤, 便能够直接清除晶体表面与间隙中留有的海水, 此时通过对冰晶进行加热, 冰晶融化所产生的淡水便可以应用到船舶航行中。由于冰冻淡化法在理论层面完全可行, 但是在实际操作中却具有较高的淡化难度, 因此这种海水淡化技术并未得到大规模应用。

### 2.3 蒸馏淡化法

相较于前两种海水淡化方法, 蒸馏淡化法的应用范围更加广泛, 蒸馏法在实际应用期间需要对海水进行加热处理, 通过加热能够让海水汽化, 通过将蒸汽再次冷凝便能够获得到含盐量较低的蒸馏水。需要注意的是, 因为蒸馏淡化法会导致相态发生改变, 海水本身汽化潜热相对较大, 因此蒸馏淡化同样需要消耗大量能源。而且在对加热后的海水进行处理时, 为了

保证淡化效果, 还需要针对海水淡化装置中的结垢进行重点管理<sup>[2]</sup>。由于蒸馏法可以直接利用低温热源来完成淡化处理, 所以可以借助废热两次回用来适当降低能耗。除此之外, 因为蒸馏法的类型有很多, 如多级闪蒸、膜蒸馏等方法都可以在海水淡化中得到利用, 因此在采用蒸馏法进行海水淡化时, 必须找出适合的淡化方法, 以此来满足船舶对于淡水的需求。

#### 2.4 反渗透淡化法

由于反渗透法在实际应用中具有明显优势, 所以在如今的船舶海水淡化中, 反渗透法的利用率非常高。反渗透法在实际应用中, 可以通过加压的方式让海水中的淡水通过反渗透膜来析出盐分等大分子物质。需要注意的是, 在反渗透淡化过程中, 渗透压与水温、盐分浓度有直接关系, 一旦淡水与海水溶液被反渗透膜分隔, 就会因为压力差异而导致淡水向一侧析出。反渗透法在实际应用中, 因为海水中的悬浮物、盐分等物质多且复杂, 所以反渗透膜在长期使用中必须加强反渗透膜清理, 以此来避免杂物对膜造成污染。而且反渗透膜在使用过程中还容易在膜的表面不断繁殖微生物, 微生物的大量生成将会导致海水淡化效率大幅下降, 因此为了进一步延长反渗透膜的使用寿命, 在利用反渗透淡化工艺对海水进行处理时, 需要借助海水预处理的方式来降低海水淡化工艺对膜的伤害。从海水淡化工艺的本质出发, 反渗透淡化工艺属于以压力为核心驱动力的一种淡化工艺模式, 由于反渗透工艺的便捷性与淡化效果良好, 因此反渗透淡化法如今已经成为海水淡化领域的焦点技术, 反渗透工艺如今不仅在船舶行业得到了广泛利用, 在其他领域同样得到了广泛关注, 而且因为反渗透淡化工艺的优势明显, 所以在必要时还可以与其他淡化工艺相结合, 以此来进一步提高海水淡化效果。

### 3 海水淡化技术在船舶中的应用

海水淡化技术是保证船舶航行淡水资源供给的关键性技术, 通过分析船舶海水淡化技术应用, 可以让海水淡化技术的实际应用效果得到进一步优化, 避免船舶在长时间航行中因为淡水资源不足而影响到航行能力。

船舶在航行期间, 需要将淡水含盐量控制在 1000mg 以内, 洗涤水需要将氯离子浓度控制在 200mg/L, 硬度要控制在 7mg/L 以内。饮用水则在保证清澈的同时要将含盐量控制在 500–1000mg, 氯离子浓度为 250–500mg/L, pH 值为 6.5–9.5。若条件允许, 还需要在淡化后的饮用水中加入微量矿物质。假设 1 艘 2000t 排水量的船舶水

舱为 150t, 携带船员 100 人, 计划航行 1 个月, 在无法补给淡水的情况下, 平均每人每天需要消耗生活用水 50L 左右。而在安装两台产水量为 500L/H 的反渗透海水淡化装置后, 则可以将人均用水量提升至 240L, 可满足航行过程中人员的基本生活用水需求。

#### 3.1 反渗透预处理技术分析

反渗透预处理技术目的是降低海水对于反渗透膜的影响。海水淡化设备的运行质量与预处理工艺质量息息相关, 一旦预处理质量无法满足海水淡化设备的需求, 就会导致反渗透膜的使用寿命大幅下降<sup>[3]</sup>。反渗透海水淡化设备在实际使用期间, 最为显著的缺陷就是设备对于污染物的敏感程度相对较高, 只有开展严格的预处理作业, 才能保证反渗透膜的性能足够稳定。在海水淡化工艺中, 能够影响反渗透膜性能的因素有很多, 水中的微生物、矿物质等都会在设备运行中影响到反渗透工艺质量。

反渗透工艺在传统操作中, 一般会通过消毒、沉淀、多介质过滤的方式来进行预处理, 这种传统工艺能够显著降低水体本身的污染指数与浊度, 但是因为海水不同于其他水体, 所以利用这种方式进行预处理, 往往无法对胶体、悬浮固体进行截留, 所以出水流量、质量无法保障稳定性。有学者针对海水开展了 SDI 测定, 并在测定中发现海水中存在大量亚微米物质, 这些物质的存在会导致常规传统预处理工艺往往无法直接将海水处理到满足反渗透工艺的需求。而通过对超滤预处理工艺进行分析, 则可以保证预处理的最终效果成功满足反渗透海水淡化设备的实际需求, 因此为了提高反渗透工艺质量, 就需要结合超滤技术来开展海水预处理。

#### 3.2 杀菌灭藻系统

为了提高反渗透海水淡化质量, 就需要解决海水中的各种微生物、藻类、细菌等物质。在反渗透海水淡化装置运行期间, 各种细菌、藻类等物质会在繁殖过程中为取水设施造成非常多的麻烦, 严重时还将会影响到反渗透海水淡化装置与管道的正常运行。若要提高工艺质量, 就必须解决这部分杂质所带来的负面影响。在反渗透海水淡化工艺中, 可以通过加入液氯、硫酸铜等化学制剂来达到杀菌灭藻的效果。

#### 3.3 过滤系统

由于海水本身具有周期性潮水变化的特性, 涨潮与退潮都会带来非常多的泥沙, 大量泥沙会导致海水的浊度发生改变, 一旦海水浊度出现了明显变化, 就会导致海水预处理系统运行稳定性受到影响。所以在

完善反渗透海水淡化装置时,需要在预处理系统中融入混凝过滤,这样便可以提前清除海水中留有的胶体以及其他悬浮杂质,进而实现对海水浊度的控制。通常情况下,反渗透海水淡化作业会通过污染指数来分析海水情况,只有将进入反渗透海水淡化装置的水体污染指数控制在  $SDI < 4$  以内,才能满足反渗透海水淡化装置的实际运行需求。而且因为海水比重偏大且 pH 值高,因此混凝剂可以更多选用三氯化铁,这种混凝剂在应用期间并不会受到温度所带来的影响,能够有效提高沉降效率。

相较于混凝过滤而言,砂碳过滤同样是反渗透海水淡化装置必须关注的焦点环节,砂碳过滤能够显著降低海水浊度,进一步提高反渗透海水淡化装置的进水质量。通常情况下,反渗透海水淡化系统可以在混凝过滤后的环节加入砂碳过滤器,以此来实现对水中悬浮物与细小颗粒物的清除<sup>[4]</sup>。

由于海水成分十分复杂,无论是硬度还是碱度,都普遍高于其他水体,因此为了让反渗透海水淡化装置得以顺利运行,就必须避免系统在运行阶段出现结构问题,只有结合水质情况添加阻垢剂,才能有效降低水垢所带来的负面影响。需要注意的是,如果在进水环节利用氧化剂进行杀菌,则在进水环节还必须通过还原剂来进行水体还原,以此来实现对反渗透海水淡化装置进水余氯的控制。

### 3.4 反渗透海水淡化装置的应用

反渗透海水淡化装置在实际应用中,可以针对海水进行过滤,降低海水中的盐分以及其他物质的比例。为了让反渗透海水淡化装置在运行中实现能量转换并强化节能效果,还应该完善机组中的高压泵与能量回收设备。能量回收设备能够借助反渗透排放浓缩海水压力来达到提高反渗透进水压力的目的。只要能够加强浓水能量利用率,就可以在降低能耗的同时控制经费支出。

在反渗透海水淡化装置运行期间,反渗透膜是淡化海水的主要元器件,只有选择与系统相应的反渗透膜,才能保证反渗透海水淡化效果满足过滤要求。反渗透膜的脱盐率、耐压性等能力都是必须关注的重要性能,反渗透海水淡化装置中的元器件在高压区域需要采用不锈钢材质,这样能够在一定程度上避免高含盐水质对高压管路造成腐蚀。

反渗透海水淡化装置在应用期间可以利用可编程控制器来实现分散采样控制。通过集中管理操作系统,并结合相关工艺参数来明确高压、低压保护开关,可以在流量、压力达到阈值之后自动实现连锁报警,以

此来实现对高压泵以及反渗透膜的保护。通过变频控制高压泵的启停,还可以进一步实现高压泵软控制,在降低能耗的同时避免因为水锤、反压等问题而损坏元器件。在自动程序设计期间,可以在装置开机、停机前后进行自动低压冲洗,而且在停止运行时还能够浓缩海水亚稳定的状态来转化沉淀。所有低压淡化水在冲洗过程中将会置换出很多浓缩海水,避免反渗透膜受损并进一步延长反渗透膜的运行寿命。而且通过对系统温度、水质等性能参数进行显示、统计,还可以在反渗透海水淡化装置运行期间直观感受到工艺流程,并在系统控制下实现对人工操作程序的简化,提高系统运行稳定性。

相较于其他海水淡化技术,反渗透技术具有设备结构紧凑、操作方便等优势,能够满足绝大多数船舶对于海水淡化功能的需求。在实际应用中,可以将反渗透海水淡化技术划分为海水预处理与海水淡化两项工作,前者能够为后者提供服务,避免因为海水成分过于复杂而影响反渗透海水淡化装置的运行效果。在反渗透工艺的支持下,排水量达到 2000 吨的船舶、载员 100 人、续航时间超过 1 个月的情况下,能够成功满足海水淡化需求。需要注意的是,由于海水成分复杂,具有较强的腐蚀性,所以在选择反渗透海水淡化装置的元部件时,需要针对管道、阀门等部件的材质进行重点筛选,只有具备足够的耐腐蚀性才能满足船舶长期航行的要求。

## 4 结论

总而言之,船舶海水淡化技术是保障船舶航行稳定性、持续性的关键性技术,反渗透海水淡化技术作为常见海水淡化工艺,可以在保证海水淡化效果的同时实现成本控制。相信随着更多人意识到船舶海水淡化技术的价值,海水淡化技术将会变得更加完善。

### 参考文献:

- [1] 唐小东,姚磊,孙建清.船舶海水淡化二级反渗透深度处理试验[J].船舶与海洋工程,2022,38(04):24-28.
- [2] 袁越锦,赵泽颖,徐英英,等.远洋船舶用蒸馏海水淡化系统试验研究[J].机械设计与制造,2021(11):69-73.
- [3] 何祥宁,周新院,靳忠华,等.船舶主柴油机排烟余热海水淡化装置设计[J].电子质量,2020(08):38-41.
- [4] 纪运广,刘璐,刘永强,等.船舶反渗透海水淡化工艺研究[J].舰船科学技术,2020,40(03):119-123.