

原油运输中 VOC 的回收

王雪

(南通中集太平洋海洋工程有限公司船舶开发部, 上海 200052)

摘要: 随着对海洋环境和大气污染的重视, 挥发性有机物 (VOC) 的排放近年来受到了越来越多的关注, 本文主要从原油运输挥发性有机物的成分特性, 排放标准, 挥发性有机物的回收装置及新型 VOC 回收船的应用等方面做了论述。

关键词: 挥发性有机物; 特性; 回收装置; 回收船

中图分类号: X736.3 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2023) 01—0073—04

近年来, 虽然经济全球化的趋势有所放缓, 但全球原油海运量仍然逐年上升, 2021 年全年的原油海运量高达 19 亿吨, 参与运输的原油轮约为 2900 艘。如何控制海运造成的环境污染, 已成为全球各国关注的焦点, 其中油船挥发性有机物 (VOC) 排放也受到了越来越多的重视。据统计, 挪威 VOC 的年排放量为 350,000 吨, 其中约 200,000 吨由穿梭油轮及其它原油运输船所排放。为了保护环境, 减少全球 (VOC) 排放刻不容缓, 同时减少 VOC 排放也减少了船东的货损, 增加了经济效益。由于 VOC 回收装置高昂的投资成本, 导致安装主动 VOC 回收装置的原油运输船少之又少, 一种主要用于回收原油船在装卸和运输过程中排放挥发性有机物 (VOC) 的新型船舶进入大众视野。

1 原油运输中挥发性有机物 (VOC) 的形成及特性

对于挥发性有机物 (VOC) 这一概念, 不同的国家不同标准有不同的定义:

比如, 世界卫生组织 (WHO) 对 VOC 的定义为熔点低于室温而沸点在 50~260℃之间的挥发性有机化合物的总称; 美国联邦环保署 (EPA) 将 VOC 定义除 CO、CO₂、H₂CO³、金属碳化物、金属碳酸盐和碳酸铵以外任何参加大气光化学反应的碳化合物。

本文讨论的挥发性有机物 (VOC) 仅限于 MARPOL Annex VI Reg15 中涵盖的由油船在运输及装卸货时排放的部分。

原油船 VOC 的主要成分为甲烷气体和非甲烷气体 NMVOC (Non Methane Volatile Organic Compounds), 其中甲烷是一种温室气体, 对大气温室效应的影响高于二氧化碳, 而 NMVOC 中含有的多种成分和大气中的氮氧化物在阳光 (特别是紫外线) 的作用下会发生化学反应, 产生光化学氧化物和 PM 等污染物, 形成“光化学污染”。光化学氧化物主要包括醛和臭氧等有害物质, 其对人体的危害远远高于其成因物 NMVOC, 而 PM 则是形成雾

霾天气的主要原因之一。

原油船在装油, 卸油及运输过程中, 由于舱内的液位变化, 船体运动都会导致舱内气体空间的压力变化而导致油蒸汽的产生, 由于 VOC 属于原油中的轻质部分, 此时更容易从原油中挥发出来, 当舱内的气体空间的压力值超过设定值时, VOC 就会随蒸汽一起排放到大气当中, 造成大气污染。

2 原油船 VOC 的控制排放标准

2.1 国际海事组织 (IMO)

根据 MEPC.176(58) 决议修订的 MARPOL73/78 附则 VI 第 15.6 条的规定, 载运原油的液货船舶, 应具备有并实施经主管机关或授权组织批准的 VOC 管理计划, 计划应根据 IMO 制定的相关指南编写, 管理计划的要求已于 2010 年 7 月 1 日起实施。为此, IMO 2009 年 7 月 17 日批准了《VOC 管理计划编制指南》, 即 MEPC.185 (59), 具体的技术细节可参考 MPEC.1/Circular.680。

VOC 管理计划的主要目的是通过优化操作程序以最大限度减少 VOC 的释放, 以及利用装置、设备或设计的改变防止或最大限度减少 VOC 排放。

优化操作程序主要通过货舱的手动压力释放程序, 高速透气阀的日常维护, 管子及舱盖垫圈的状态检查, 惰性气体的注入程序, 装载顺序, 流速和舱内液位控制等方面来减小 VOC 的排放。具体可参见以上指南文件, 本文不再赘述。

2.2 欧盟

欧洲经济委员会在 1999 年的哥特堡草案中决定 2010 年之前将 NMVOC 的排放量在 1990 年的基础上减少 30%。

2.3 美国

美国于 1990 年要求在美国国内码头卸货的原油船需安装蒸汽排放控制装置 (USCG 46 CFR Part 39), 并在各装船港口配备 VOC 接收装置, 目前, 美国海岸港口已

禁止没有油气收集系统的船舶停靠。IMO 1992 年颁布的 MSC/Circ.585 参考了 USCG 标准, 1997 年 MARPOL ANNEX VI reg15 涵盖了 MSC/Circ.585 并使之成为强制标准。

3 利用装置、设备减少 VOC 排放

VOC 回收一般有两种方法, 即主动和被动回收技术。

被动式回收装置中最为人所知的是 KVOCS 系统, 其基本原则是在油舱内安装一个依据装载速率设计的额外的注入管, 以降低注入时的货油流速, 从而保持货舱内饱和蒸汽的体积, 以减小 VOC 的排放。

主动 VOC 回收包括运用压缩冷凝原理, 吸收原理, 吸附原理来进行 VOC 的回收:

3.1 凝结回收系统

该系统的工作原理与 LPG 运输船的再液化装置类似。通过 VOC 回收装置里的压缩机、冷凝器以及分离器, VOC 被冷凝、加压后存储在液态储存罐中。随着相关技术的不断完善成熟, VOC 液化后可以作为燃料被锅炉、主机等使用。

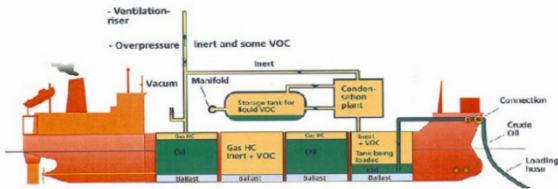


图 1 凝结系统

3.2 吸收回收系统

系统的主要设备是吸收柱。油舱内的 VOC 蒸汽和惰气混合物被压缩机加压后, 从吸收柱底部进入; 一部分原油被油泵从装油主管路上的支路吸入, 加压后从吸收柱上部进入, 吸收逆流的 VOC 蒸汽, 然后从管柱底部回到装油主管路上, 与装载原油混合后进入油舱内; 未被吸收的气体 (主要成分为惰气) 通过货油透气桅杆排放至大气。

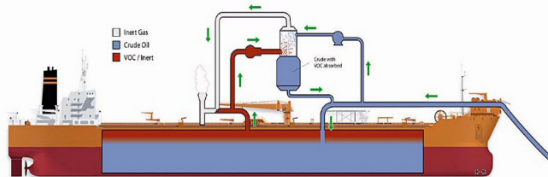


图 2 吸收系统

3.3 活性炭吸收系统

系统的主要设备是炭过滤器、真空泵和吸收器。基本工作原理是炭真空吸附技术, 首先由炭过滤器过滤吸

收舱内产生的油气; 随后该炭过滤器由一个真空泵降压再生, 以恢复其吸附能力, 并在下一环节吸附油气; 最后所释放出来的高浓油气进入吸收器, 被舱内来的原油吸收后返回到舱内。

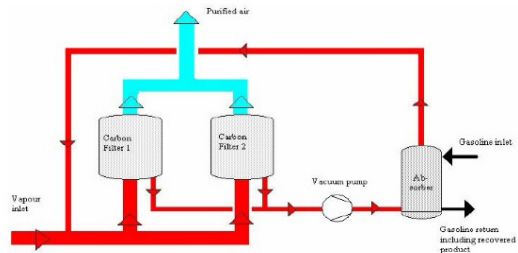


图 3 活性炭吸收系统

表 1 VOC 回收方式比较

类型	主动回收技术			被动回收技术
	吸收	吸附	压缩冷凝	KVOS
回收率	80%	80%	100%	50%
初投资	中	中	高	低
使用成本	低	中	高	低
操作复杂度	中	中	高	低

4 压缩冷凝 VOC 主动回收装置的系统构成

本文将着重介绍压缩冷凝原理的回收装置, 该回收装置一般由以下几个子系统组成:

- (1) 气体清洁系统: 去除 VOC 携带的所有杂质, 包括从货舱中剥离的铁锈。
- (2) 压缩系统: 清洁后, VOC 需要以液体形式压缩。
- (3) 气体冷凝系统: 冷凝分为两个阶段: 第一阶段为冷凝和干燥: 去除淡水/海水; 第二阶段冷凝: 丙烯。典型的系统框图如下, 市面上也有成熟的系统甚至撬块可供选择, 如瓦锡兰的 VOC 回收撬块:

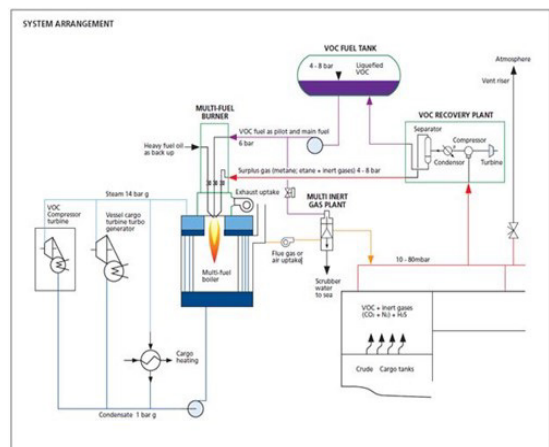


图 4 主动回收系统布置

5 VOC 回收船

5.1 目前在油船港口安装主动 VOC 回收装置的难点

(1) 很多码头为非油船专用码头，回收装置利用率低。

(2) 很多码头离市区距离近，环境评估通过难度高。

(3) 如需严格控制 VOC 排放，只能选择压缩冷凝系统，投资高，回报低，压缩冷凝系统的初期投资高达一千万美元左右。

在此背景下，移动式 VOC 回收装置的概念应运而生。由于 VOC 处理装置的大小和油船的装卸速率相关，中大型油轮的移动回收装置的选择只能是 VOC 回收船。目前的 VOC 回收船一般是将具有动力定位能力的近海供应船的船体加装 VOC 回收装置实现对油轮的 VOC 回收及再利用。VOC 回收系统可以回收 VOC 排放物，并使用液化后的 VOC (LVOC) 作为船上电力燃料，或回注回油轮，或将 LVOC 存储在船上的储罐中，再回卸到岸上的收集设施。这种设计能在装卸过程中完全回收排放的 VOC 气体，并取代了传统燃料，从而减少原油油轮的整体碳排放。

VOC 排放物在经过清洗，压缩和冷凝后，最终形成没有被液化的 (SVOC) 和被液化的 (LVOC)。SVOC 会作为燃气轮机或带有涡轮发电机组的锅炉的燃料，用于发电。而 LVOC 将与液化天然气混合，为主辅助发动机提供燃料，并产生电力和惰性气体（在码头卸载时）。

对 VOC 回收船的一般要求如下：

船舶需要具备动力定位能力（2 级以上更好），具备与原油船 / 穿梭油轮一起以动力定位模式执行 VOC 回收操作。

甲板下需要布置一个装载 LVOC 的货舱，考虑一定的经济性，通常罐子容积可装载回收 3-4 条原油油轮释放的 LVOC。

通常 LVOC 储罐为 type C 类型的罐子，需要根据货品类型保持一定的压力值，且满足 IGC 规范的相关要求。

该船需要配备有快速释放能力的蒸汽回流软管以对接原油油轮和 VOC 船上的回收装置。

具备一定的甲板面积，以安装 VOC 回收单元。

配备用于储存沉淀物的缓冲罐。

5.2 工作原理

(1) 由原油油轮的歧管吊连接到蒸汽回流歧管。

(2) 动力定位传感器可以保持装有 VOC 回收装置的平台供应船和连接了软管的原油油轮在任何时间保持安全及位置恒定，当原油油轮与连接着歧管的吊一起转动时，平台供应船将保持相对于原油油轮的精确定位。

(3) 在原油油轮一边的软管将配备盲板法兰，另一边平台供应船的接头需要带有集成快速释放的能力，以便在紧急情况下可以快速释放。

(4) 当软管被安全的连接到原油油轮的歧管上时，VOC 开始通过软管被输送到平台供应船，此时原油油轮上的立管阀将被关闭。

(5) VOC 经过处理后，清洁的气体会进入缓冲罐。

(6) 清洁的 VOC 进入由两个压缩机组成的回收装置，碳氢化合物被分为两个阶段进行液化：第一阶段，去除海水；第二阶段：冷凝释放碳氢化合物中较重的部分进入船上的压力容器罐中，LVOC 是一种轻烃燃料，可用作发电模块和惰性气体发生器单元中的清洁燃料。

(7) 较轻的不能冷凝的碳氢化合物（剩余 VOC-SVOC）被送入回收系统的发电模块，确保 100% 的 VOC 回收率和零排放。

(8) 当装载完成，软管断开连接，储存在软管卷盘中。

(9) 此时平台供应船可以在原油油船单点系泊的附近作为拖船使用。

6 设计难点

6.1 适用规范

目前船级社尚未颁布适用的专用船级符号，一般按照工程船入级。由于船上有用气体作为燃料，且有装载液化气他的独立液罐，系统设计，布置要求，隔离要求也需要参考 IGC 和 IGF 的相关要求。

6.2 电站的配备

装卸过程中不能冷凝的碳氢化合物会持续送入汽轮机中以提供需要的电力；当单靠汽轮机不足以提供船上需要的电力时，船上的柴油发电机需启动并网以保证提供全船用电；当装卸油完成，气轮机断开，此时柴油发电机需提供全船的电力需求；由于汽轮机和柴油发电机的启动、并网的频率比较高，配备电池 PI 系统可保证电力系统的平稳供电，也能使柴油发电机工作在燃油经济点。

6.3 船体稳性及破舱

由于本船大部分的回收模块，缓存舱和气轮机均布置在甲板以上部分，因此船体重心会较高，给完整稳性及破舱稳性带来一定的难度。

此船是作为回收液化气体的海工辅助船使用，在破损时首先需要满足 MSC235(82) 的破舱稳性要求，其次需要满足散装运输液化气体船 (IGC) 的相关破舱稳性要求。分舱上会有一定难度，部分活动区域会比较狭小。

风电运维船作为特殊新船种管理的可行性研究

刘建业, 郝林, 许长荣

(南通海事局, 江苏南通 226002)

摘要: 海上风电的开发运行离不开风电运维船。为有效支持海上风电的正常运行, 风电运维船必须配备专业设备, 完成特定作业, 而普通货船、交通船、工程船不完全具备相应条件。目前, 我国尚未出台有关海上风电运维船的专门监管法规, 现有法规不完全适用风电运维船的监管。本文结合南通海上风电运维船现状及特点, 分析了海上风电运维船与其他船舶的不同, 提出了海上风电运维船作为一种特殊船舶种类的可行性及其管理新模式。

关键词: 风电运维船; 新船种; 管理; 可行性

中图分类号: U674.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 01—0076—04

在退补抢装背景下, 2021 年我国海上风电异军突起, 全年新增装机量 16.90GW, 占全球新增投产规模的 87%, 并一举实现“赶德超英”的目标, 目前已成为全球最大的海上风电市场, 仅南通 2021 年就有 14 个海上风电项目完成施工并网发电。海上风电场的开发运行离不开风电运维船的支持, 然而, 目前尚未出台有关海上风电运维船的监管法规, 现有法规不完全适用风电运维船的监管。随着海上风电行业的快速发展, 尽快理清明确风电运维船的种类、属性、定位功能非常重要, 也十分迫切。

1 南通海上风电运维船现状及特点

1.1 风电运维船现状性能

海上风电场运维涉及的对象较多, 如风电机组、基

础、升压站、海缆等, 需要采取不同的运维策略来配套相应的运维设备。在国外, 海上风电运维市场已经非常成熟, 而国内则起步较晚, 缺乏运行维护管理经验, 设备研制也处于摸索阶段。通常, 专业风电运维船是指用于日常维护或小部件更换的运维船, 包括双体风电运维船和三体风电运维船两类, 具有甲板面积大、布置宽敞、航速较高、稳性好等优点。放眼国内, 当前能被称为海上风电运维船的船只仅有少数, 现有的风电运维船多以工作艇、交通艇等为主。

据统计, 截止 2022 年 3 月, 南通沿海 23 个风电场共有 130 多艘风电运维船。经过比较分析, 上述风电运维船受江苏潮间带和近沿海自然环境影响, 多采用双体式的结构, 结构稳定, 一般可承受 0.5–1.5m 的有义波高, 船长在 20–30 米之间, 载人数量一般为 12 人, 船

表 2 MSC235(82) & IGC 破损范围对比表

			纵向破损范围	横向破损范围	垂向破损范围
MSC235(82)		一舱制	3m+3%L	760mm	基线到货物甲板及其延伸
IGC	边部破损	两舱制	1/32/3 或 14.5m, 取小者	1/5 船宽或者 11.5m, 取小者	垂向无限制
	首部至 0.3L	两舱制	1/32/3 或 14.5m, 取小者	1/6 船宽或者 10m, 取小者	1/15 船宽或 6m, 取小者
	船体其它区域	两舱制	1/32/3 或 5m, 取小者	1/6 船宽或 5m, 取小者	1/15 船宽或 6m, 取小者

7 VOC 回收船缺点

作为新的概念设计, 减少 VOC 的排放可以有益于我们的环境和气候, 也有助于可持续的利用能源。但是从经济性角度出发, VOC 船的造价高是可以遇见的缺点, 无论是甲板上的 VOC 回收模块, 甲板下的 LVOC 压力储罐, 还是船上的气轮机和电池组都会使整船价格偏于昂贵, 然而靠回收 VOC 带来的效益会相对较低, 也会

相对较慢, 保守估计至少需要 3–5 年的时间才能收回成本。过去两年油价波动幅度大, 那么这种高造价的新型船舶, 是否会吸引船东的眼球, 还有待于进一步观望。

参考文献:

- [1] OCIMF, Volatile Organic Compound Emissions from Cargo Systems on Oil Tankers[S].
- [2] IMO MSC.370(93), International Code the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk[S].
- [3] 瓦锡兰 .VOC Recovery System[P].
- [4] 叶朝阳. 原油船 VOC 排放控制 [J], 世界海运, 2014/05, 37 (227) .
- [5] 武士坤. 油船油气挥发的危害与处理措施的研究 [J], 中国水运, 2011 (10) .