

论述船舶压载水处理系统的技术分析

李亚楠

(海德威科技集团(青岛)有限公司, 山东 青岛 266000)

【摘要】作为外来物种入侵的重要方式,船舶压载水已成为当今全球海洋生态系统的四大隐患之一。为了应对这一问题,制订关于压载水的规范,并在2019年9月6日开始实施。文章阐述目前国际上关于压载水公约的规定以及我国压载水处理的发展状况,在对不同类型的压载水处理工艺进行比较后,提出了船舶压载水处理系统选型须考虑的若干重点因素,为选择合适的压载水处理设备提供一定依据。

【关键词】船舶;压载水;处理系统;技术分析

伴随着海上交通事业的持续发展,世界范围内的船舶规模越来越大,而压载水是维持船只平稳与均衡的重要组成部分,对其安全运行具有重要意义。但近年来,由于大量的压载水进入及排出,使得大量的浮游生物、细菌、病菌等被携带并迁移到其他海域,从而给我国生态环境与公共卫生带来极大危害。在世界范围内对海洋环境的重视程度日益提高背景下,由一些国家发起并批准相关规定。为有效地预防、减少甚至杜绝其对我国生态和公共卫生造成的威胁,从根本上解决这一问题。

一、压载水公约的实施要求

为实现对压载水排海行为的有效调控,国际海事组织(IMO)把船舶压载水进行分类,分为D-1压载水置换标准和D-2压载水处理标准。压载水置换标准仅是一种暂时的过渡性手段,压载最终控制目的是在排放之前一定要达到D-2处理标准。目前我国推行D-2级压载水治理规范,是通过在船舶装配压载水处理装置,使其达到IMO规定,必须对压舱水进行处理。

二、船舶压载水的概述

船舶压载水是为了防止船舶横倾、纵倾、吞水、稳定或应力,而在船舶上附加的水和悬浮物。在船舶压载水中,存在着许多的生物,如浮游生物、微生物、细菌,甚至是一些小鱼,其卵、幼虫、孢子都是由不同种类生物组成的,一部分会在跟随船舶行驶的途中由于温度和盐度的改变,它们会逐渐死去,但也有一些可以存活,并伴随着压载水排放到新海域。在此过程中,某一水域中的生物会跟随船舶迁移到其他海域,从而对该海域的水生态系统(周围)造成巨大的破坏,有时还会造成该区域的物种绝灭。

因此,船舶压载水具有危险性,目前已经被GEF列入了四大对海洋的潜在危险,必须及时和彻

底地治理。

三、国内外船舶压载水处理的关键技术分析

(一)物理处理技术

1. 加热处理法。在40~45℃之间,可以实现对压载水内有害生物的灭活,并且在较低温度下较高的短期杀菌效率更高。在38~50℃的高温下,保持2~4个小时,可以有效地杀灭船上的大多数生物,但如果里面的生命以休眠孢子的形态出现,就需要提高加热的温度,而且,杀菌的效率也比较低。

2. 紫外线处理法。实验表明,在240~260nm波长下,紫外线可有效杀灭大部分的致病菌和有机物。然而,压载水中含有大量的悬浮颗粒和可溶性有机物质,这些物质不但阻碍紫外线对细菌和微生物的辐射,而且对紫外线(尤其是254nm的紫外线)也产生一定影响,从而降低对紫外线的灭活作用。在这种情况下,为了确保消毒的有效性,一定要先对压载水进行预处理。此外,如果压载水中含有大量的铁,很容易在石英灯管的部位发生聚集,从而导致对其进行紫外线消毒的效果不佳。

3. 超声波处理。利用超声波的直接反射作用,可以对压载水中的各种有机物进行灭活,是一种长期应用的压载水治理技术。就超声波而言,它可以产生热量、压力波偏移,以此形成真空或是半真空的状态,这使得压载水里的生物体在缺氧条件下死去。但超声波处理并不只是噪声,而且对船舶和船员身体也有不同程度的伤害,所以不适合作为压载水的最佳处理方式。

(二)化学处理技术

1. 氯化处理。在被处理的压载水里,可以通过添加氯或者次氯酸盐来实现对水体的生物灭活。实际应用证明,在压载水中添加次氯酸钠,有效氯浓度为1、3、5、10ppm,可获得良好的杀菌效果。在本研究

中,所测得的最大水生生物(浮游动植物)的死亡率为76.8%;在不同的有效氯含量下,得到的灭活效果差别很小,其最大致死率相差小于5%。

2. 臭氧处理。臭氧的稳定性不高,但具有很高的氧化能力,可以快速灭活压载水里的各种病毒和细菌,包含难以灭活的孢子。在水质良好的情况下,1~2mg/L的臭氧与压载水作用5~10分钟即可获得比较满意的除菌结果;当水质不佳时,应加大臭氧的含量。在实际应用中应指出,高pH会降低对臭氧的灭活效果;在pH6.5~8.0范围内,对生物降解有较好的抑制作用。

3. Seakleen 处理。美国科学家已经从一种自然材料中提炼出一种叫做“Seakleen”的天然杀虫剂成分。该物质可用于压载水生物(如:甲壳动物、双壳动物幼体、水蚤、弧菌、鱼幼体与卵、双鞭毛藻和芽孢)的灭活。

(三) 机械分离技术

该方法目的是对压载水进行深度处理,与其他加工方式相比,机械分离相对容易,并且具有很好的处理能力。采用高速流动、过滤、稀释、旋流分离和浮选沉淀等方法对海洋生态系统产生较小的不利影响。在这些方法中,最常见的就是过滤与旋流分离。

在过滤方面,能够高效地去除压载水里的病菌和生物,采用的滤网网目愈多,其处理的效率也愈高。实际应用证明,运用过滤可以对压载水微米级的浮游生物去除率可达93%,微米级的浮游生物可达100%,纳米级的浮游生物可达62%。而旋流分离则是利用管道内流体的高流速产生的分选效应,达到脱除水体中微生物的目的。试验结果证明,旋流分离器在运行流量200m³/h时,可以高效地去除压载水中40μm的细菌。

(四) 其他处理技术

1. 船舶压载水的置换。(1)排空法。将压载舱中的压载水逐一排放,然后将海水再次注入。其实现的关键是逐个排出,而不是一次排出。若是采用一次排放和注入新鲜海水的方法,可以将95%的压载水进行升级,但仍然有25%左右的原始压载水生物残留,造成不利影响的危险很大,通过逐个排放可以解决这个问题。采用排水方法治理船舶压载水过程中,需实时监测并保持其稳定度及吃水差,以防止其对船舶的固有剪力及弯曲等不利因素。此外,为确保航行安全,在恶劣的天气情况下不宜采用排空方法。(2)巴西稀释法。与注入顶出法相反,压载舱底部需要排放压载水,并将海水从上方灌入。这种新方案可以有效地防止船舶在低温环境中发生覆冰现象,而且可以更好

地对船舶进行压载水处理。

2. 加热电解电催化法。目前,国内对船舶压载水的研究以电解技术为主,并通过长期的研究和验证,得到世界各国的普遍认同。(1)电催化法。首先,通过压载泵将压载水打入压载水处理装置的专用过滤器,去除所含较大颗粒物质;之后通过电解单元进行电催化高级氧化,产生高活性氧化物质(例如高活性的羟基自由基)去除细菌、病毒、藻类及休眠中的卵,从而达到处理压载水的效果,其电催化过程中无氯气生成,对船上人员安全较为友好;高级氧化技术中产生的羟基自由基是活性最强的物质之一,也是氧化性最强的物质之一。它几乎能和所有的生物大分子,有机物或无机物发生各种不同类型的化学反应,并有极快的反应速率和极强的负电荷亲电性。反应的最终产物为二氧化碳、水和微量无机盐,不存在有害的残留物,实现了高效杀菌及零污染排放。

(2)加热电解法。流向热交换器的压载水是用来供热的;将压载水加热后进入过滤器,去除所含较大颗粒物质;滤后的废水通过压载水泵,在旋流分离器的支撑下进行分选,以恒定的速度通过电解池;整流电路将交流电压转换为直流电压,给电解发生器供电,并调节压载水的转速;在此过程中,通过电解法将海水循环到压载舱中,在氯作用下,剩余的细菌和藻类可以被完全杀灭。

实际应用中发现,将原始压载水与氯气联合使用,对4种藻均有不同程度的杀藻效果,其杀藻效率分别为72%和99.99%,并能同步杀死纤毛虫;采用电解加氯的方法,在48h内对压载水进行消毒,对海水中的卤代物杀灭效率在95%以上;24个小时后生物体进行杀灭,当加氯浓度升高时,对压载水进行12h以上的消毒,其杀灭效率可达99.99%。

四、压载水处理系统选型

(一) 船舶类型

不同种类的油轮、散装货船对压载水的依赖性也不尽相同,高依存于压载水的油轮、散装货船,其压载水量及压载水泵能力均较高,且需频繁地进行压载或排水作业。相对较少依靠压载水的船舶及客运船舶,其压载水操纵非常受限,通常采用的是简易的转驳方式。所以,压载量和压载水泵的容积对选型有很大的影响。

此外,一些船舶也会同时设置2个或多个压载系统,例如,一些油船通常是双压载,货运区和电机区都有两个以上的压载水系统,所以,对于使用于高危地区的压载水处理设备,必须充分考虑其使用场所的危险性。有些船舶也采用喷射泵排放残余压载水,

这类船在选择时要特别留意不要选择采用后处理工艺的压载水。

（二）船舶营运航线

在选用压载水处理设备时，应考虑其作业路线。当前一些国家和地区在压载水的监管上已经采用了比IMO更高的单边行动，对于那些需要单方面排污的码头，应该考虑满足相应的规定；如果没有在这些国家和地区停靠，则无需选择较大容量的压载水处理设备；而那些很少到有特定排污需求的地区航行的船舶，出于经济原因，可以考虑采用压载水管理方式来防止排污，也可以使用陆地上的设备。

此外，在航行过程中，由于其停靠港内的压载水质量，对压载水的选择也有一定的影响。当船舶停靠港水体通常含有大量的含沙物质或较高的压载水时，在选用压载水处理设备时，必须充分考虑沉积物及浑浊度等因素的影响。对于频繁停靠内陆港或低盐港的处理系统，在选用处理系统时，必须充分考虑含盐量的变化。

（三）系统的安装和布置要求

在选择压载水处理设备时，还应注意其在实际船舶中的布局和后期的维修需求。采用各种工艺，其工艺规模相差较大，相同工艺条件下，其规模也相差较大。因此，在选择前应尽量选择合适的工艺设备，尤其对于目前的船舶而言，工艺设备的布局是一个巨大的难题。应该参考船舶布局和压载水管线的布局，确定装备的安放地点，并且要考虑到所要设置的压载水处理装置尽量与目前已有的压载装置共享，从而使该装置的改造更加简单。另外，对于已安装的工艺设备，还要预留适当的维修渠道，以便于以后的维修。

（四）系统使用的能耗要求

处理量必须与压载水泵的最大容量相等或稍大，这将直接影响到处理系统的能量消耗，对既有船舶而言，附加动力需求是其选择的主要限制条件。此外，对于各种工艺，如紫外线、电解、还原等，其能源消耗也存在较大差异，因此需要关注船舶用电负荷是否能够达到需求。

（五）对压载舱及管系的腐蚀

一些压载水工艺会导致压载水的化学组成发生变化，压载水内部的气体组成发生变化，从而导致其具有较强的侵蚀能力，若不合理使用，加上湿气和化学物质的侵入，从而加快其腐蚀速度。所以，在选择处理系统的时候要注意这一点。

（六）系统控制和监测的便利性

通常情况下，各处理装置都应该在压载装置的主控面板上安装远程操纵面板，或者把主控面板与压载

水系统相结合。遥控操作板通常包括处理系统的控制模块和系统操作的状况指示。为了方便在处理中心运行及监控系统运行状态，大部分处理系统均设有一组主控板。在选择时，应将控制系统、报警系统和监控系统结合起来，便于对其进行监控。

（七）系统维护保养的可靠性

在选择压载水处理设备时，要注意后期维修的需要。压载水处理工艺较为完善，其后续维修维护较为可靠，而一些尚未成熟的工艺，因缺乏实际操作经验，往往以其复杂程度反映，越是复杂的工艺，其可靠性就越是低下。选择可靠性高、维修要求低的设备，不仅可以减轻机组人员维修维护工作的压力，还可以降低维修费用，同时还可以极大地减少PSC检验过程中出现故障的概率。

（八）系统使用和管理的安全性

船舶压载水处理中所采用的活性材料不仅会对船舶造成严重的污染，而且还会对船员的人身和财产造成危害。储存和利用此类物品也加重船舶人员对危险材料的控制压力。不同的港务局对压载水的有效成分含量有不同的规定，因此，定期在比较敏感区域行驶的船舶，在选用相应的处置方式时，应该予以足够的重视。在选择设备时，要注意检查被处理过的压载水是否满足船舶作业区的相关法规。此外，还应该考虑到船舶人员的技术、训练和应对安全危险的能力。

结论：

总之，如何对这些海域压载水进行合理处置，对于维护我国的海洋生态系统具有十分重要的意义。与此同时，国内外有关单位和学者都在积极地进行有关的研究和研制工作，并已获得一定的成绩。尤其是在国内率先通过加热电解技术的研究，使我国船舶行业在世界地位得到提高。

参考文献：

- [1] 陈雷，胡小林，于再红，邹雄. 大型半潜船压载水处理系统解决方案[J]. 船舶，2019，30（4）：7-14.
- [2] 刘泽吉，王树山，都基旭. 压载水处理装置的实船应用问题[J]. 船舶标准化工程师，2018，51（5）：30-33.
- [3] 谢承利，翁平，李小军，刘喜元. 船舶压载水处理技术应用综述[J]. 船海工程，2010，39（6）：86-90.
- [4] 罗东浩，童军. 科考船压载水系统改装设计[J]. 中国修船，2017，30（1）：12-14.
- [5] 苏宇. 某运营船舶压载水管理系统改装探讨[J]. 中国修船，2019，32（3）：33-35.