

# 空化水射流技术在海洋污损生物清除领域的应用研究

张丽婷,张莹,徐栋,苏婕

(国家海洋局北海海洋技术保障中心 青岛 266033)

**摘要:**文章从海洋污损生物的危害分析入手,首先概述海洋污损生物的清除方法,并结合空化水射流技术的原理与优势开展实例应用研究,指出空化射流清洗技术是一种切实可行的新型清洗技术,可以在不破坏设施表面完整防腐层的基础上,高效、安全地清洗水下设施表面附着的海洋生物污垢层;最后对空化水射流技术进行展望,指出其关键技术在于空化射流喷嘴的设计和ROV自动控制系统的研制。

**关键词:**海洋工程技术;水下机器人;污损清洗;自动化;海洋科技

中图分类号:P741

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2016)08-0070-03

## Application of Cavitation Water Jet in the Fields of Marine Fouling Organisms Removal

ZHANG Liting, ZHANG Ying, XU Dong, SU Jie

(North China Sea Marine Technical Support Center of State Oceanic Administration, Qingdao 266033, China)

**Abstract:** The paper analyzed the harm of marine fouling organisms and summarized the removing methods of marine fouling organisms. It was concluded that cavitation water jet is a new removal technology without destroying the surface of equipment in the process. In the future, the key point of cavitation water jet will be the design of nozzle and development of automatic control system about ROV.

**Key words:** Marine engineering technology, Remote Operated Vehicle, Marine Fouling Organisms Removal, Automation, Marine science and technology

### 1 海洋污损生物的危害

海洋污损生物也称海洋附着生物,是附着丛生在 水下人工设施及船舶等海洋结构物表面并导致其损坏或产生不良影响的动物、植物和微生物的总称<sup>[1]</sup>。一直以来,海洋污损都是困扰航运和 水下设施的难题。

海洋污损生物造成的危害主要体现在以下 4 个方面:①对于水产养殖业,容易造成养殖网箱和 捕捞网衣等网孔堵塞、与养殖贝类争夺附着基和 饵

料、影响牡蛎等养殖贝类生长及产量等。②对于 海洋石油平台,会增加平台支架体积和粗糙度,加 大外载荷,增加平台自重并提高平台重心,增加平 台发生倾斜或倒塌的可能性。③对于海洋仪器,会 导致海水中仪器仪表传动机构失灵、信号收发受 到影响、信号失真、性能降低等。④对于船舶的 影响受到广泛关注<sup>[2]</sup>,一方面会增加船舶的阻力, 造成燃料消耗增加、船速下降;另一方面还会增 加管道内壁的粗糙面,缩小管道的管径甚至造成 完全堵塞,使

船舶进坞维修次数增多;此外,还会加快金属的电化学腐蚀过程和速度。由此可见,海洋污损生物的危害性不容小觑。

## 2 海洋污损生物清除方法概述

目前海洋污损生物的防治方法多种多样,按防污技术原理可将其分为物理防污法、化学防污法和生物防污法<sup>[1]</sup>。其中,物理防污法主要采用物理手段,如提高流速、过滤、超声波等来达到防污除污的目的;化学防污法主要采用化学物质对海洋污损生物进行毒杀,阻止其附着,是目前使用最广的方法;生物防污法则是采用生物活性物质作为防污剂来减少海洋污损生物的不良影响。

具体来说,物理防污法包括人工或机械清除法、空化水喷射流除污法、低表面能涂料防污法、过滤法、加热法、超声波防污法等,属于传统防污方法,操作简单方便、时效性较强、无毒环保,但清除效率较低、易损坏船体构件、清除成本较高;化学防污法包括直接加入法、电解法、化学防污涂料法等,是目前最成熟的防污方法,已被广泛应用,与涂料技术相结合可以实现较长时间的防污效果,但对已产生的污损难以去除,其采用的有毒物质会污染海洋环境,对人类本身也有较大危害;生物防污法包括生物防污剂涂料、仿生涂料等,属于新兴的防污方法,防污周期较长、效果明显、无毒无公害,但尚处于实验研究阶段,与实际应用还有一定距离。

## 3 空化水射流技术的原理与优势

### 3.1 技术原理

空化水射流技术属于物理防污法的范畴,是近年来备受广泛关注的防污方法之一,是在高压水射流的研究基础上,为进一步提高清污效率而引申出来的一种新型技术。利用空化原理的射流称为空化射流,在喷嘴出来的水射流中诱发空泡,适当地控制喷嘴出口截面与靶材表面之间的距离,使空泡在运动过程中长大并在射流冲击的靶材表面上溃灭,进而达到冲洗甚至破碎靶材的目的<sup>[3]</sup>。

研究表明,若射流速度一定,即水泵压力一定时,空化射流的冲击压力可为相同流量的普通连续射流冲击压力的 8.6~124 倍,即如果普通连续射流

的冲击压力为 10 MPa,则相同条件下空化射流的冲击压力可高达 86~1 240 MPa<sup>[4]</sup>。如此高的冲击压力足以清洗、切割甚至破坏岩石、金属之类的坚硬材料。换言之,空化射流可以将普通连续射流的压力等级提高 1~2 个数量级。

### 3.2 技术优势

空化水射流技术具有以下优点:①节约能源,利用廉价的自来水或工业用水为介质,从而节省大量的清洗剂或喷沙,使清洗成本大为降低;②无环境污染,对人体没有伤害,属于绿色环保产品;③清污效率高,经一次清洗后,锈蚀、油漆、防腐涂层即可去除,无需二次处理;④对设备、工件等具有一定保护性,不改变工件表面物理机械性能;⑤便于清洗形状和结构复杂的各种设备和零部件;⑥不受场地、天气条件的限制,可随时随地作业;⑦易于实现机械化、自动化,清洗效率高。

由于空化水射流清洗技术具备上述优势,具有非常广阔的开发与应用前景。

## 4 空化水射流技术的应用案例

### 4.1 选用设备和主要技术指标

选用国内某研究所研制的电动空化清洗系统,其主要技术指标如表 1 所示。

表 1 电动空化清洗系统主要技术指标

名称	指标
压力/MPa	16
流量/(L·min <sup>-1</sup> )	50
主机重量/kg	180
主机尺寸/m	1.55×0.65×1.05
潜水泵扬程/m	20

### 4.2 清洗对象

(1)石油平台。主要清洗石油平台桩脚的海洋污损生物,污损生物以海蛎子为主;水上部分海洋污损生物厚度达到 10 cm,水下部分海洋污损生物厚度普遍达到 30 cm 左右,最厚处达到 50 cm。

(2)海警船舶。主要清洗海警船舶底部的海洋污损生物,污损生物以贝类为主,厚度约为 10 cm。

### 4.3 清洗过程

(1)人员要求。甲板操作人员 1 名,水下操作人员 1 名。

(2)操作要求。选取平潮期进行作业;清洗方式:将喷枪枪头与清洗目标物表面相切面成 $10^\circ$ 夹角;水下作业安全距离:潜水员在水下佩戴潜水手套距离喷头20 cm;喷射距离:枪口距污损生物10 mm左右喷射效果最佳。

#### 4.4 结论

(1)石油平台。在海况允许的情况下,平潮期作业每天使用时间约为4~6 h,设备有效使用时间约为200 h;在此期间空化水清洗系统运行正常,高压枪枪头出水压力保持在17 MPa左右,清洗效率基本稳定在 $10\text{ m}^2/\text{h}$ ;基本上对石油平台桩腿上附着的污损生物进行有效清洗,清洗效率在90%以上。

(2)海警船舶。同样选取平潮期作业,设备有效使用时间约为6 h;工作期间空化水清洗系统运行正常,实际清洗效率为 $30\sim 50\text{ m}^2/\text{h}$ ;可以对船底污损生物进行有效清洗,清洗效率在95%以上,并且没有对船舶漆面造成损伤。

## 5 展望

海洋污损生物的清除技术具有广阔的发展前景,既可以军用(如清扫各种战舰和潜艇)也可以民用(如清扫商船、钻井平台等海洋设施)。与美国等发达国家相比,我国的清除技术还比较落后,尤其是空化水射流技术,对其研究目前仅停留在理论阶段。

空化射流清洗技术是一种切实可行的新型清洗技术,可以在不破坏设施表面完整防腐层的基础上,高效、安全地清洗水下设施表面附着的海洋生物污垢层。鉴于空化水射流技术具有较大优势,今后研究的关键技术主要在于空化射流喷嘴的设计和ROV自动控制系统的研制方面。

### 5.1 空化射流喷嘴设计

空化射流要求在喷嘴中诱发气泡,并使气泡在

接触到靶面时发生溃灭而产生冲洗力。诱发气泡的关键则是要产生一个低压区,形成低压区主要有3种方式:液体对于固壁的绕流、不稳定的界面(以淹没射流为代表)的剪切作用以及流场(指风琴管等内部的流场)的自激振荡。因此,结合形成低压区的3种方式设计高效的空化射流喷嘴非常关键<sup>[5]</sup>。

### 5.2 ROV自动控制系统研制

由于大型船体或海底建筑设施的清洗对效率和质量要求较高,应将整个清洗系统智能化、集成化,即做成水下自动清洗机器人。目前国外已经研制出成型的水下自动清洗机器人并进行良好应用。一般的壁面机器人需要实现吸附和自由移动两个功能,而水下清洗ROV除需具备这两个功能外,还要满足自动识别已清扫和未清扫区、自动规划路径等功能需求<sup>[6]</sup>。这些都是今后ROV自动控制系统的研究方向。

## 参考文献

- [1] 胥震,欧阳清,易定和. 海洋污损生物防除方法概述及发展趋势[J]. 腐蚀科学与防护技术,2012,24(3):192-198.
- [2] 李锋. 空化水射流船舶清洗技术的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2009.
- [3] 王萍辉. 空化射流在管道清洗中的应用[J]. 电力科学与工程,2002,21(4):21-24.
- [4] 夏宝莹,刘望,郑金豹. 空化射流清洗技术及其在水下设施清洗中的应用[J]. 油气储运,2011,30(10):729-731.
- [5] 周文会. 高压水射流喷嘴内外部流场的数值模拟研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2008.
- [6] 任梦鸿. 水下船体表面清刷机器人复合吸附方法的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2009.