

文章编号: 1671-8909(2010)12-0012-05

高压水射流海洋水下清洗的应用

杨天君

(格兰高环保设备有限公司, 上海 201812)

摘要: 在海上作业中, 船底很容易附着海洋生物垢层, 可使用高压水射流进行水下清洗。本文主要介绍了高压水射流系统、清洗过程的控制、以及清洗前后的效果对比等。

关键词: 海洋环境; 海洋生物腐蚀; 高压水射流; 水下清洗

中图分类号: TK79 文献标识码: A

Application of high pressure water jet cleaning underwater

YANG Tianjun

(Shanghai Jianzhong Environmental Protection Equipment Co., Ltd., Shanghai 201812, China)

Abstract During the operation on the sea, fouling of marine organism always attaches to the hull bottom, people can clean the hull bottom by use of the high pressure water jet. This article introduced the high pressure water jet system, the control of the cleaning process and the effect comparison before and after the cleaning.

Key words environment of sea corrosion of marine life high pressure water jet cleaning underwater

1 水下清洗的必要性

船底附着海洋生物, 易产生氧浓度差电池而引起坑蚀。同时, 海洋生物的排泄物除了助长腐蚀之外, 随其积累, 还会侵入船底涂膜中, 从而将涂膜破

坏, 造成严重后果。

相对于非生物环境下的腐蚀, 海洋生物腐蚀是一个更加复杂的过程。它涉及到附着、繁殖过程, 电化学腐蚀过程和界面化学过程等使金属表面能够吸附更多的碳源和能量物质。

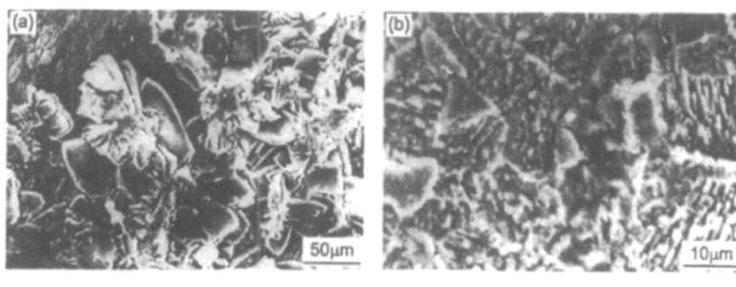


图 1 海洋生物腐蚀照片

收稿日期: 2010-09-27

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

海水中的生物如藤壶、牡蛎、石灰虫、苔藓虫和藻类等,附着在船上会造成船只航行速度减慢并加速水线以下船体的腐蚀。船底产生污底(海生附着物)的危害是极大的。

据统计,一艘船由于污底造成船体的平均粗糙度每增加 $10\mu\text{m}$,就会导致燃料消耗增加1%左右,而且还会导致船舶性能下降。船底被海洋生物附着,形成污损,除造成经济损失外,对军事上造成的威胁更大。船底附着生物后,会使船速降低,耗油量增加,甚至于贻误军舰的战机,另外附着生物还会使声纳失灵。为防止此类现象产生,一般的处理办法就是在水线以下船体及船底涂上防污漆,以图杀死或驱散附着海生物,使之不再附着在船体上^[1]。然而此举伴随而来的就是造成海洋污染,随着各国环保部门对产生海洋污染的防污漆的重视,防污漆正逐渐被禁用或限制使用。

海洋生物腐蚀,影响的不仅仅是船的使用性能,而且还在加速缩短船的使用寿命,由钢铁材料建成的航船行驶在海洋中,船底遭受海洋生物腐蚀,是不可避免的,但其腐蚀的速度是可以控制的,能够有效控制海洋生物的腐蚀速度,也就等于延长了船的使用寿命,如果能控制其腐蚀速度为原来应该发生的腐蚀速度的 $1/10$ 则船的寿命将延长为原来的10倍^[2],为了既能保证船的使用性能,又能延长船的使用寿命,现在最有效地方法就是定期清洗船底腐蚀垢层。

传统的清洗方法是,在船驶进船坞后,将船吊起,用化学药剂清洗或者人工用简单的器具敲打腐蚀垢层,这样的方法就存在很多的缺点:1)只有等船驶入船坞后,才可以进行清理工作,由于清洗不及时,即可能造成降低船的使用寿命的后果;2)使用化学药剂清洗,清洗后的放心液会污染环境,也有可能加剧船的腐蚀,且清洗效率较低;3)人工敲打不光效率低,而且还会损坏船的涂膜,造成严重的后果。4)会消耗大量的人力和物力。

使用高压水射流清洗就会避免这些缺点,在远洋作业中,可以随时随地启动高压水泵,两名工作人员操作即可进行,一名工作人员在船上操作控制高压水泵并监视高压水泵的正常运行,另外一名工作人员携带高压软管及手持枪潜入到水下,通过手持枪、喷嘴射出高速水流。能量强大的水射流对船底污底表面产生冲刷、契劈、磨削及空化等作用,可立即将结垢物打碎脱落。根据结垢物的坚硬程度以及腐蚀垢层的厚度,船上的工作人员可以通过调压阀调节水的压力,避免了水射流压力过低,清洗效率不高;或者水射流压力过高,损坏船底的现象。高压水射流清洗清洗及时,和传统方法相比,有效的延长了船的使用寿命,减少了大量的人力和物力,操作控制简单,可以随时随地进行,速度快,效率高,环保,而且还能保护船体免受意外的损坏。

2 高压水射流清洗介绍

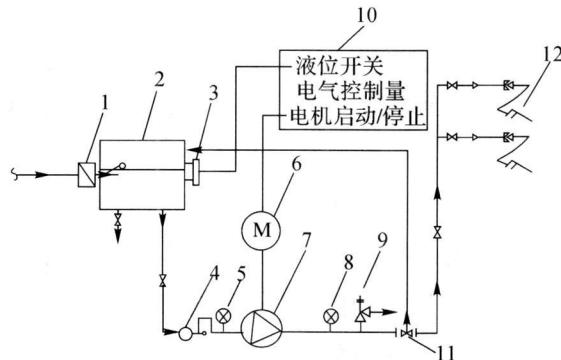
(1)高压水射流清洗的介质一般是纯水或者是海水,成本低,不添加任何化学药剂,是环保清洗。高压水射流清洗通常采用定型设备,标准器材。电动机通过减速机构,直接驱动高压柱塞泵,通过控制箱或者远程控制柜操作,操作方便,现场准备时间短,投入作业速度快,开车时间短,效率非常高。并且高压水射流清洗设备是一次性投入,长周期运转,增创经济效益特别客观。

(2)高压水射流设备结构简单,如图2所示。

(3)高压水射流设备无需大量的备品备件,仅需备用一些简单的易损件,例如柱塞填料,O型圈,喷嘴,过滤袋等等,减少了库存,降低了费用。

(4)高压水射流设备应用范围广,不但可以用于水下清洗,也可以通过改变压力或者添加磨料,从而实现水下切割。

(5)高压水射流设备具备自动保护控制功能,当压力超过安全设定值,安全阀可以自动泄压保护;水箱水位低于安全位置,设备会自动停止运行;泵过载



1—过滤器; 2—水箱; 3—液位开关; 4—增压泵; 5—低压进水压力表; 6—电机; 7—高压柱塞泵;
8—高压出水压力表; 9—安全阀; 10—电气控制盘; 11—三通调压阀; 12—水枪

图 2 高压水射流设备示意

运行,控制系统会自动过载保护;电气系统对地短路,控制系统会自动断开保护;在设备工作时,如发现有异常,也可以直接按下紧急停止按钮,设备自动停止运行。

3 水下清洗过程实施

实施水下清洗之前,高压水射流设备操作人员要准备清洗前的工作,核对清洗相应参数,对清洗过程中可能出现的问题做好安全防范,水下清洗操作人员对清洗对象及清洗目的要有很好的了解。

3.1 清洗前的准备工作

(1)定制清洗计划,在清洗工作开始之前,要做前期工作安排。工作人员要熟悉即将清洗的对象,要熟悉工作环境,并且以提纲的形式列出工作计划及工作区域潜在的危险因素,需要注意的问题。

(2)根据《海洋水下作业的安全预防清单》检查安全项目及预防和应对措施,根据《高压水射流设备检查清单》检查高压水射流系统。

(3)围绕高压水射流系统建立防护屏障,以醒目的信息警告无关人员不得随意进入高压水操作区域。

(4)检查高压水射流系统所有管件和接头是否处于良好状态,压力等级是否符合高压喷水组的操作压力。

(5)在安装高压软管和适配器之前,要检查软管的压力等级和尺寸是否正确,检查软管的外表面是否有破损,检查适配器接头是否有过度磨损或者损坏的迹象。安装时,要避免软管在连接处过度张紧,不允许软管有打结的现象,软管要固定,防止摇摆,另外对软管还要进行保护,以避免软管和接触的物体造成摩擦,不允许在软管上踩踏或者碾压。

(6)在安装喷嘴及“T”型管件(在水枪的末端就会产生以一定的角度喷射的相反的两股水流,以抵消射流反冲力对潜水员的影响)之前,检查喷嘴及“T”型管件规格是否正确,检查喷嘴是否有堵塞,损坏。

(7)在安装喷嘴之前,检查手持枪的扳机机械结构及枪杆,以确保清洗工作安全进行。

(8)在安装喷嘴之前,启动设备进行预清洗,水流通过整个系统,以确保清除泵阀及管道内的空气和杂质。

(9)检查操作人员的人身防护装备,除了潜水员标配的氧气瓶及潜水服外,还要装配操作高压水射流设备,需要配备的头盔、手臂保护套、足部保护靴、以及护目镜等。

(10)检查高压水射流的电气控制系统,尤其是裸露在外部的连接头,接线盒,开关及电源电缆等等,电气系统要做好防潮,防水。确认电机正确的转

向标识。

3.2 高压水射流海洋水下清洗相应参数

高压水射流水下清洗的参数主要依据柱塞泵的参数, 能够反映高压柱塞泵的主要技术指标就是压力和流量。

压力和流量的选择: 泵压力的大小对清洗效果有直接影响。如果压力小了不能将附着层有效去掉, 压力过大就可能破坏基体, 而且也会使能量损耗加大。因此要根据被清洗附着层及其粘附强度、清洗方式进行综合考虑选择压力与流量。

对清除基体上坚硬而脆的海洋生物附着层, 必须使其破裂以产生裂缝。当二条或多条裂缝扩大并相互交叉时, 就会有碎粒剥落下来。在脆性材料中, 裂缝的产生几乎不产生塑性变形, 因此裂缝产生后只需较小的压力就能使其扩大, 继而使附着层与基体间裂开, 附着层剥落。

泵流量选择得恰当与否将影响到清洗速度的快慢, 从而对清洗效率产生影响。因此在选择清洗设备时, 泵的压力与流量的合理选择与匹配是很重要的。泵的基本性能参数压力、流量与电机功率的关系如下: $P_c = pq / 5Q$ (P_c 电机功率, kW; p 泵额定压力, MPa q 泵流量, L/m in), 根据工作目的确定压力与流量, 求得动力源的电机功率。

对于连续射流, 在喷嘴出口截面内外两点间应用伯努利方程, 忽略两点之间的高度差。对工程应用水射流, 由于 $P_1 \geq P_2$: (P_1, P_2 喷嘴内外静压力), $v_t = 4.477\sqrt{P}$ (v_t 射流流速, m/s P 射流压力, MPa), 即已知射流速度, 可由 $q = v_t \cdot A$ 计算出射流流量, 即射流流量等于射流出口速度乘喷嘴出口截面积。泵的排出压力额定值仅取决于结构强度、往复密封及原动机额定功率, 而与流量基本无关。对于高压水射流, 压力成了技术水平的主要标志之一, 因为压力高意味着作业效率和功能的提高, 同时也对机组和系统的可靠性提出了更高的要求^[3]。

经验指出: 一般海洋水下清洗用射流压力为 50

~ 70MPa 流量为: 145~230L/m in 喷嘴口径为 1.0 ~ 3.6mm, 水射流靶距为 100~150mm, 冲蚀时间为 3 ~ 8s 参考水深: 6~11m, 水下射流参数受很多因素的影响, 例如: 海水区域, 海水深度, 海洋生物附着层的组成结构, 污底表面的厚度与硬度, 粘附强度, 材料脆性等等。

3.3 海洋水下清洗操作程序

(1) 封闭高压水射流区域, 并在封闭区域边缘或者入口, 提供明显的警示标志: “远离危险, 高压水射流正在操作”。

(2) 清理现场工作区域, 以防止工作人员被绊倒或者摔倒。并且要提供充分的排水系统和照明器材。

(3) 在工作进行当中, 严禁没有经过授权的人进入高压水射流区域。如果有人不经过批准进入, 所有工作立即取消。

(4) 只有培训合格的人才可以操作高压水射流设备。

(5) 进行水下清洗的高压水射流设备至少应有两个人配合操作, 根据使用的设备和工作种类分配人员数量。所有的操作人员要服从一个成员指挥。

(6) 船上或者岸上的高压水射流操作者应当注意观察高压水设备运行状况, 密切注意水枪操作人员所传递的信息, 例如是否困难或者疲劳, 周围环境是否有干扰因素, 或者不安全的因素存在。

(7) 水下清洗操作者控制着水枪及装配在水枪上的出水软管, 他的基本职责就是指引水的喷射方向。

(8) 在进行水下清洗之前, 安装高压软管及水枪, 船上或者海岸上操作者将设备启动, 调节调压阀, 系统压力慢慢增加, 水枪操作者打开水枪检查使用状况, 测试压力正常后, 设定压力值, 水枪操作者关闭水枪, 水通过泄压阀排出。如果水下垢层距离水平面小于 2m, 操作人员在水面上使用加长的喷杆或喷枪即可进行清洗。此时选用一个“T”型接头在

上面安装两个 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的扇型喷头进行清洗。对于较深的水下待清洗面或不便于在水面上用加长喷枪进行清洗的表面, 可由潜水员进行水下清洗作业, 此时须注意所选用的喷头必须是平衡型的圆柱状射流喷头, 以抵消射流反冲力对潜水员的影响^[4]。

(9) 潜水员入水进行清洗工作, 需要注意以下几点内容:

1) 有资质并有水下清洗工作经验的员工, 经相关部门批准才可以入水执行清洗工作。

2) 考核合格, 在有经验的老员工带领下, 经相关部门批准, 新员工才可以入水。

3) 新员工在水下要服从老员工指挥, 在老员工的指导下, 进行清洗工作。

4) 潜水员在入水之前, 须再次确认随身携带装备以及高压水枪、高压软管的状态。

5) 潜水员入水时, 不得利用高压软管支撑自己的身体, 以避免损坏软管。

6) 自高压设备出水口拖到水里的高压软管, 应避开船体或者水下尖锐的地方, 避免在使用时, 加剧磨损。

7) 潜水员在水下作业时, 不得将软管缠绕在身上, 避免在水下出现人身危险。

8) 潜水员和水上人员必须时刻保持密切配合, 及时将水下清洗的情况反馈给水上人员, 以达到完成清洗任务并避免发生意外。

9) 潜水员在水下作业时, 水枪枪口不得随意对准非清洗目标, 避免发生事故。

10) 潜水员一旦遇到水压不稳、软管破裂、或者水枪使用不便等情况时, 首先必须保持冷静, 将水枪泄压, 并将情况及时反馈给水上人员, 进行处理。

(10) 水下清洗任务结束

1) 在清洗作业结束后, 首先潜水员将水枪泄压, 并通知水上人员停机。

2) 如果高压水射流设备使用海水做清洗介质, 在清洗任务完成后, 需要再次启动设备, 用淡水流过

整个系统, 冲刷泵阀及管道内留存的海水盐类晶体。

3.4 水下清洗效果的评判

清洗结束后, 对船底清洗面检查结果如下:

1) 船底表面清洁, 无残留物, 无船底涂膜粗晶析出的过洗现象, 除垢率 > 97%。

2) 被清洗表面完整, 均匀。

实施水下清洗后的航船, 达到了明显的节能提速效果。从实际清洗的十多艘内燃机油轮的清洗效果看, 在同等工况下, 清洗后的运行参数, 包括燃油油耗、航速等均为达到了较为理想的状态。由表 1 可以看出, 以 675kW, 800 吨级的内燃机油轮为例, 清洗前后燃油油耗降低 31.7%。

表 1 675kW, 800 吨级的内燃机
油轮清洗前后主要性能对比

运行参数	航速 /kn	燃料消耗 / (L · nm ⁻¹)
清洗前	10	2.9
清洗后	11.5	1.98

4 结束语

目前, 高压水射流已经广泛的应用于海洋水下清洗作业中。实践证明, 该技术利用自身使用效率高、清洗介质成本低而且环保、节省人力物力、持续经济效益明显等特点突破了传统的清洗方法和观念, 为人类开发海洋事业, 创造出更多的价值。

参 考 文 献

- [1] 董言治, 周晓东, 沈同圣, 等. 舰面设备盐雾防护及其试验技术研究 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2004 (1): 32- 35.
- [2] 王兵. 舰船防腐技术及发展 [J/OL]. 2005.
- [3] 盛敬超. 液压流体力学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1980
- [4] K Kalimuck et al Development of a DYNA JETTM Cavitation Water Jet Cleaning Tool for Underwater Marine Fouling Removal. In Proceedings of the 9th American Waterjet Conference, Dearborn, August 23- 26, 1997 St Louis WJTA, 1997: 541- 554.