

【DOI】10.12315/j.issn.1673-8160.2020.33.079

# 新型环保防污涂层在核电站的应用

丁振杰,何利娜

(核工业第八研究所,上海 201800)

**摘要:**近年来,由于海洋水域环境的变化,沿海核电站出现海洋微生物侵入堵塞冷源取水口突发事件的已屡见不鲜,这对核电站安全运行造成了极大威胁。为了减少海洋微生物富集对取水口的影响,确保核电站的安全,新型环保防污涂层技术是一种经济高效的防污手段。本文介绍了海洋生物污损形成的过程及其对核电站可能造成的危害,阐述了防污涂层材料的研究现状和发展趋势,讨论了防污涂层技术在核电站的应用案例,最后对环保涂层防污技术进行了展望。

**关键词:**环保涂层;海洋防污;核电站

在全球“碳中和”背景下,清洁稳定的核电是一个有效的低碳解决方案。通常,我国沿海核电站以海水为冷却水,在拦截过滤设施上会附着藤壶、贝壳等海洋微生物,情况严重时导致堵塞。核电站长期运行过程中,一旦海洋微生物大量附着,导致取水压头和流量减小,影响核电站安全运行<sup>[1-2]</sup>。因此,了解海洋微生物生长附着形成过程及危害,开发阻止和减少海生物附着生长的环保涂层防污技术方法,对于核电站冷源系统的安全稳定运行非常重要。

## 一、海洋生物污损形成过程及危害

海洋生物生长附着,大致分为基膜的生成、微型细菌生物膜的生长和大型海洋生物污损的形成<sup>[3]</sup>。

### (一)基膜的形成

污损海洋生物与基体表面之间并不是直接接触的,而是通过一层基膜连接的。基膜是由蛋白质、氨基酸等有机分子在极短的时间内,迅速聚集在基体表面形成的,给海洋生物提供营养。在基膜形成和海生物污损初期,聚集过程是可逆的,在海洋环境中不断进行着吸附和解吸附。

### (二)微型细菌生物膜的形成

随着细菌和藻类微生物在基膜上越来越多,找到适合的附着点位后,并进行繁殖生长。它们的代谢活动产生的粘性胞外聚合物,这种生物膜可以吸引海洋微生物,有利于海洋污损微生物的附着、生长和变异。最终,细菌和藻类微生物由浮游生物的可逆吸附变成在生物膜上稳定吸附的状态。因此,在防污产品和技术的开发中,通过各种方法来抑制强力粘附阶段尤为重要。

### (三)大型海洋生物污损形成

当微型细菌生物膜逐渐生成之后,在基材表面就形成了一层粘液。诸如藤壶、苔藓虫等海洋污损生物的幼虫,便逐渐会附着在粘液表面,随着不断地聚集、繁殖,最后在海水中固体设施表面演变成大型的海洋污损生物。因此,在浮游生物幼虫寻求微型细菌生物膜附着过程中就进行抑制和干预,这样才能最有效地防止和控制海洋生物污损。

随着海洋勘探、核电事业、远航运输等领域快速发展,海洋生物污损对海洋活动开发的影响越来越大<sup>[4]</sup>。海洋生物污损对沿海核电站来说,具有以下几类危害:

(1)增加沿海核电站取水口设施的自身重量,导致重心上的移。当遇到台风、海啸等自然灾害时,可能造成取水口海洋设施重心倾斜,甚至坍塌。

(2)堵塞冷却水系统管道:当海生物附着生长变厚,导致

管道直径减小,使得管道海水流量减小,造成核电站供水下降。污损物如果掉落,极有可能堵塞阀门。这些危害将直接影响到核电站的安全稳定运行。

(3)加快冷却系统金属部件腐蚀:核电站的冷却系统的很多金属结构设施,虽然有防腐涂层,但是附着在其表面的海洋污损生物会加速金属部件的电化学腐蚀过程。

(4)影响核电站冷源系统的仪器和设施使用:核电站冷却系统中,随着污损生物在仪器仪表上的附着,可能导致仪表仪器失灵,性能变差。另外,还会影响拦网工具、阀门、海上浮标等设施的正常使用。

## 二、防污涂层材料的发展现状

随着人们环保意识越来越强,我国已经禁止使用含有机锡等强毒性防污剂的防污涂料,未来防污涂料的发展方向是开发无污染环保绿色的新型防污涂料。下面介绍几类防污涂料的发展现状。

无锡自抛光涂料是目前市场上最常用的防污涂料。它的原理是通过不断牺牲掉涂层材料中能够水解的结构链段,不断更新海洋设施表面的涂层,所以涂层厚度会随着水解不断变薄,效果变差。但是,仅仅依靠自抛光水解,防污性能还不够,还会添加氧化亚铜。随着涂料的逐渐水解,涂料中的铜元素会释放在海洋中,对海洋自然生物造成威胁<sup>[5]</sup>。

导电涂料是一种特殊的功能涂料,与传统的绝缘海洋防污涂料完全不同。美国科学家在20世纪50年代,首次发布导电涂料专利。涂有导电涂料的设施表面会形成电流,电流可以电解海水产生可以杀菌的次氯酸根离子,毒杀涂层表面的海洋微生物,防止其生长和附着。

无毒仿生涂层是通过模仿海豚的皮肤的表面沟槽结构,开发的新型防污涂层。人们发现海洋生物表皮可以通过微米级结构分泌抑制污损的物质,由此受启发,构建具有特殊微米沟槽表面结构的仿生涂层,由此实现防止海生物附着的功能。

天然防污剂涂料是采用从生物体内提取出的无毒且能生物降解的天然防污物质作为防污剂,开发的一种防污涂料。海洋生物中的生物碱、辣椒的辣椒素等物质,可以作为天然防污剂,加入到防污涂层材料中,用来对抗驱逐微生物的附着,实现防污功能。但是天然防污剂往往存在毒性弱的问题,通常需要在防污涂层中配合其他防污剂共同作用,才有较好的防污性能。

低表面能涂料是通过设计一类低于 $25\text{mJ}/\text{m}^2$ 的表面能的涂层材料,来实现防污效果。这是因为当材料表面的能量越

低时,污损物越难以附着。目前已经开发出一类表面能较低且疏水的有机硅低表面能防污涂料,但是有机硅涂料存在附着力差的问题,因此需要在防污面漆下面增加底漆和连接漆来改善其附着力。这种涂料没有有毒物质释放的问题,安全环保,所以这类防污涂料是研发的热点<sup>[6]</sup>。

我们采用自行开发的国产新型环保有机硅防污涂层(图1c)与市面上的普通氧化亚铜防污涂层(图1b)、进口防污涂层(图1d)在南海海域进行挂板试验,时间选取海生物生长旺盛的6月、7月、8月进行实验。结果表明,国产新型环保有机硅防污涂层经历了3个月的试验,具有很好的防污效果。国产新型环保有机硅涂层采用生物抗菌剂作为涂层防污剂,环保性能好,同时兼具有有机硅低表面能的效果。

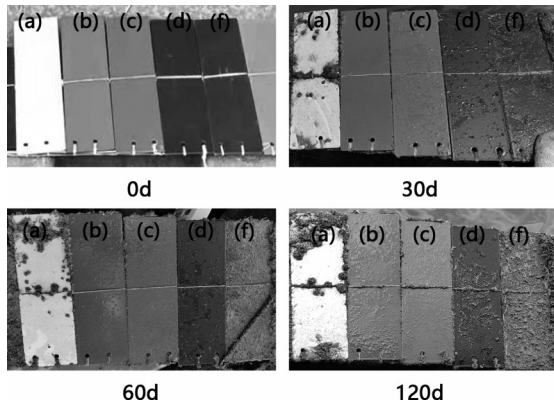


图1 防污涂层进行挂板试验

### 三、防污涂层技术在核电站的应用

在“碳中和”战略背景下,我国的核电事业朝着安全高效方向发展,核电是优化我国能源结构,助力“双碳”目标达成的重要手段。但是,由于大多数核电站都临海建设,对于海洋生物污损的防治技术还存在不足。在海洋设施表面涂覆环保防污涂料是防止海洋生物污损最经济和最广泛的手段,下面介绍防污涂料在核电站的典型应用案例。

#### (一)泰山核电站

由于核电站的RSW系统吸水管设施平常都在海水中,时间一长,其表面通常会附着生长海洋污损生物。2017年,采用海虹老人防污涂层涂装RSW系统吸水管,用来抑制海生物的生长污损。2018年检修时,对比试验表明,没有进行涂覆的区域(图2蓝色部分)的整个表面附着了很多海洋微生物,而涂覆防污涂层的区域(图2红色部分)表面良好光亮,无附着<sup>[7]</sup>。

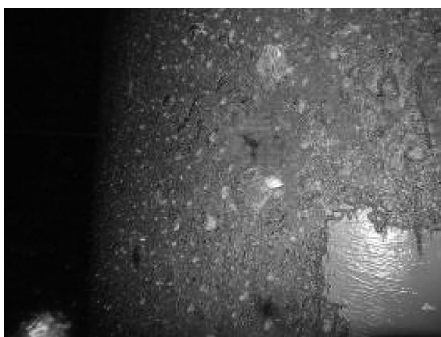


图2 未涂装防污漆部位与涂装防污漆形貌对比<sup>[7]</sup>

核电站的旋转滤网通常设置在冷却系统入口处,是用来拦截海水杂物的设施,确保热交换器、循环水泵等的安全工作。2017年,采用PPG防污涂层涂覆在旋转滤网框架表面,用来防止海洋污损生物的附着。2019-2020年,对其进行检查

时,发现旋转滤网框架表面光洁,没有海生物附着,实现了较好的防污功能<sup>[7]</sup>。

#### (二)阳江核电站

核电站粗格栅是冷却系统入水口的拦截过滤装置。虽然外部的取水口处拦污网已经拦截了大多数的杂物和海洋生物,但是随着运行时间的增加,一些细小的贝类、海藻等生物仍然附着生长在粗格栅表面,形成一层厚厚的污损层<sup>[8]</sup>。

2015年,采用安全环保的特殊防污涂层涂覆在粗格栅表面上,在一年后的检修时,发现采用防污涂层的粗格栅表面光洁,基本没有海生物的附着,状态良好,确保了冷却系统的安全可靠,对保障核电站安全运行具有重要意义

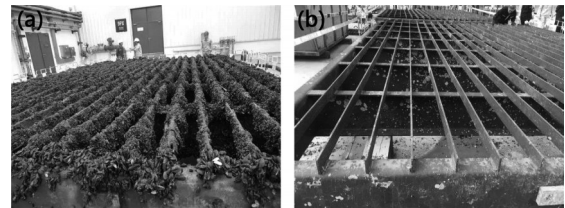


图3 附着海生物的粗格栅(a)采用防污漆工艺一年后的粗格栅(b)

### 四、总结与展望

(1)海洋微生物的污损是人们普遍关心的问题。因为海洋微生物的多样性、复杂性,海洋生物污损的形成附着机理仍然只能定性描述,海生物防污技术取得一定的进展,还需要进一步深入探讨;

(2)目前,国内外已经开发了很多类型的防污涂层材料。可以看出,未来的防污材料的技术方向是开发无毒性、安全环保的低表面能涂层材料,从超疏水和仿生功能的角度,提升涂层材料抑制海洋微生物的附着的性能;

(3)涂层防污技术已经在不少核电站进行了实际运行验证,效果良好。但是,由于我国核电站由南向北沿海分布,各地海域环境和海洋微生物都不同,因此,需要针对性地进行防污涂层的开发,继而有效防护核电站冷却系统的设施,保障核电站的安全。

#### 参考文献

- [1]詹孝传,范柄辰,黄成.福清核电站冷源海生物控制问题分析[J].中国核电,13(3):5.
- [2]刘毅,陈丰,王洋,等.核电平台海水系统防海洋生物污损技术[J].船海工程,49(6):5.
- [3]张金伟,蔺存国,许风玲,等.抗蛋白吸附材料及其在海洋防污领域的应用前景[J].材料开发与应用,2013,28(003):123-126.
- [4]於凡,许波涛,李勇,等.海生物暴发对核电厂冷源系统的影响分析及对策探讨[J].给水排水,2018,44(02):61-64.
- [5]王建华,范寅娣,李勇,等.某滨海核电厂防污涂料对海洋环境的影响[J].海洋环境科学,36(1).
- [6]柏芳,王泽华,王国伟,等.防海生物污损材料研究现状[J].腐蚀与防护,2014,35(05):420-424.
- [7]江锋,赵卫东,刘洪群.泰山核电海水系统防污漆的应用[J].全面腐蚀控制,35(3):5.
- [8]李熹,王琪,朱武,等.核电站海水过滤系统粗格栅防污漆失效分析与挂片试验评估[J].全面腐蚀控制,2016,v.30;No.190(01):43-46+52.

作者简介:丁振杰(1992-),男,工程师,研究方向:高分子新材料的研发。