

具有海生物保护功能的旋转滤网技术及产品综述

王印忠, 李雪, 李治洁, 张连强, 尹建华
(自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所, 天津 300192)

摘要: 针对我国尚未开发和使用具有海生物保护功能的旋转滤网的现状,根据国外相关研究成果,从滤网网面材料、水流过网流速、海生物捕集和暂存、冲洗压力和海生物洄游等方面详细介绍了具有防海生物撞击功能的旋转滤网相关技术,并在此基础上介绍了国外3款旋转滤网产品的结构特点和性能参数,以此促进我国海生物保护型旋转滤网的自主研发和大规模工程应用。

关键词: 海水取水; 旋转滤网; 撞击和夹带

中图分类号: P742 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)14-0110-04

A Review of Traveling Screen Technology and Products with Marine Organisms Protection Function

WANG Yin-zhong, LI Xue, LI Zhi-jie, ZHANG Lian-qiang, YIN Jian-hua
(The Institute of Seawater Desalination and Multipurpose Utilization, MNR <Tianjin>, Tianjin 300192, China)

Abstract: To change the current situation that the traveling screen with function of protecting marine organisms was not developed and applied yet in China, some relative technologies about traveling screen with function of protecting marine organisms from impingement and entrainment, including screen mesh material, velocity through screen, marine life capture and storage, flush pressure and marine migration were introduced. At the same time, the structural characteristics and performance parameters of three other traveling screen products were illustrated to promote the independent research and extensive use of traveling screen with the function of protecting marine organisms in China.

Key words: seawater intake; traveling screen; impingement and entrainment

由取水构筑物导致的海生物撞击和夹带死亡是海水利用工程影响海洋生态的重要方面。2010年,美国加利福尼亚州水资源控制委员会(California State Water Resources Control Board)发布的相关研究报告指出,海水取水构筑物每年因撞击和夹带杀死的鱼类、虾类和蟹类的数量高达21亿尾(以一年龄鱼类计)^[1]。我国的相关研究则表明,一座海水用量平均为11 706 m³/h的液化天然气(LNG)接收

站因夹带效应每年能够导致 8.8×10^7 枚鱼卵、 1.16×10^8 尾仔鱼以及 5.4246×10^6 尾小虾死亡^[2];一台平均取水量为33 941.5 m³/h的燃煤发电机组则因夹带效应能造成鱼卵、仔鱼、小虾的损失量分别为 1.42×10^7 枚/a、 2.616×10^8 尾/a和 1.4985×10^6 尾/a^[3]。

旋转滤网是海水取水中重要的拦污设备,它能够将格栅不能拦截的细小杂物从进水中分离出来,

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFC0404100); 2015年中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(K-JBYWF-2015-G07)

通信作者:尹建华 E-mail:yinhjtj@163.com

从而防止取水水泵和其他海水利用设施堵塞。然而,由于传统旋转滤网的设计和运行没有考虑对海生物的保护,在旋转滤网处产生的撞击死亡较为显著。针对这一问题,美国早在1977年就开始了具有防海生物撞击功能的旋转滤网的开发和使用,并在2014年修改的《净水法案》(Clean Water Act) 316(b)条中将相关滤网技术作为现有最佳技术(the best technology available)进行推广应用。

我国是一个海水利用大国,原国家海洋局发布的全国海水利用报告指出,仅作为工业冷却水的海水量在2016年就已达到 $1.2 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 以上。然而,我国现行的旋转滤网技术标准,如《板框式旋转滤网》(DL/T 458—1999)和《鼓形旋转滤网》(DL/T 1257—2013),均未对防止海生物撞击死亡提出相关要求,已有的海水取水工程也未见到应用海生物保护型旋转滤网的实际案例^[4]。因此,学习和借鉴国外关于旋转滤网防海生物撞击的先进技术,开发具有自主知识产权的相关产品并尽快应用,是我国加强海洋生态环境保护,实施海洋强国战略的迫切要求。

1 海生物保护型旋转滤网相关技术

与传统旋转滤网不同,具有海生物保护功能的环保型旋转滤网在设计 and 制造时,不仅要考虑从进水中滤除固体杂物这一基本功能,还要根据取水海域附近的海生物类型、个体大小、分布丰度等因素,从滤网网面材料、水流过网流速、海生物捕集和暂存、冲洗压力及海生物洄游等方面进行综合考虑,使旋转滤网对海生物的伤害最小。为此,美国环保署(U.S. EPA)在2014年发布了《关于316(b)条现有设施规定最终修订的技术发展文件》(Technical Development Document for the Final Section 316 Existing Facilities Rule),全面综述了海生物保护型旋转滤网在设计 and 制造方面的技术要求。

1.1 滤网网面材料

滤网网面材料的选择既要保证滤网在运行过程中的结构强度和耐腐蚀性,又要尽量降低海生物与其接触时产生的碰撞伤害。传统滤网一般采用不锈钢、铜合金或具有防腐涂层的碳钢材料,但其坚硬的质地往往给海生物造成致命伤害。具有防海生物撞击功能的环保型旋转滤网一般采用具有光滑和柔韧特性的编织网、塑性涂料扁钢丝或塑料聚合物作为滤网网面材料,同时伴以其他传统硬质材料作为网

面支撑,从而最大限度地减少对海生物的撞击伤害。

1.2 水流过网流速

目前,我国规定的板框式旋转滤网过网流速为 $0.7 \sim 1.0 \text{ m/s}$,鼓形旋转滤网最大允许过网流速为 0.6 m/s ,而海生物保护型旋转滤网的水流过网流速要求 $< 0.15 \text{ m/s}$ 。研究表明,根据不同身长的鱼在不同水温下的游泳速度数据,当水流过网流速在 0.3 m/s 左右时,仅有78%的鱼类能够返回安全区域;而当水流过网流速 $< 0.15 \text{ m/s}$ 时,96%以上的鱼类能够逆流游离危险区域,从而显著避免撞击伤害。因此,为了使更多的鱼类得到保护,要求海生物保护型旋转滤网的水流过网流速 $< 0.15 \text{ m/s}$ 。

1.3 海生物的捕集和暂存

海生物的捕集和暂存是指将不能自行逃离取水构筑物的海洋生物由旋转滤网无害化地捕捉、收集,并将其安全暂存至洄游系统的过程。与传统滤网平整的网面结构不同,具有防海生物撞击功能的旋转滤网具有能够捕集和暂存海生物的专门装置,且一般满足以下要求:①适应目标海生物的大小,特别是能够盛装较大的海生物;②有足够的空间暂存大量的海生物;③装置边缘具有防止海生物逃逸的拦截装置;④装置内具有稳流装置并采用柔性材料,保证在滤网运行时不对海生物产生二次撞击。

此外,暂存时间也是影响海生物死亡率的重要因素。研究表明,即使有充足的暂存空间和水量,海生物最多也只能忍耐30 min,而且在此时间内随着暂存时间的延长,海生物死亡率不断增加。但是,当暂存时间 $< 10 \text{ min}$ 时,海生物没有发现明显的死亡。从以上结果看,具有海生物捕集和暂存装置的旋转滤网应采用连续运行方式,尽快将捕集和暂存的海生物输送至洄游系统,这样才能真正保证海生物的存活。

1.4 冲洗压力

无论是传统旋转滤网,还是环保型旋转滤网,水流冲洗装置都是必不可少的重要组成部分。但是,传统旋转滤网所采用的高压冲洗水(冲洗管道压力一般为 $0.41 \sim 0.55 \text{ MPa}$,我国鼓形旋转滤网采用 $0.17 \sim 0.30 \text{ MPa}$,板框式旋转滤网采用 $0.3 \sim 0.4 \text{ MPa}$)往往会对海生物造成严重伤害或将海生物直接杀死。因此,具有防海生物撞击功能的旋转滤网采用先高压后低压的两级冲洗过程。先由高压水冲洗黏附或缠绕在滤网面上的杂物(这一过程应保证

对海生物没有影响),然后再由冲洗压力 < 0.14 MPa 的低压水从滤网侧面冲洗捕集的海生物。

1.5 海生物洄游

不言而喻,只有将旋转滤网捕集和暂存的海生物安全地送归海洋才能真正实现旋转滤网的防海生物撞击功能,因此海生物洄游通道必不可少。海生物洄游通道不仅要由地理上连接旋转滤网和洄游水体,而且还要保证海生物洄游的过程安全。因此,海生物洄游通道必须达到如下要求:①通道材料内表面应尽量光滑、平顺,并具有耐腐蚀特性,因此玻璃纤维强化塑料、PVC 和不锈钢较为适宜;②通道尺寸应能够使最大海生物在数量较多时也能顺畅通过;③水流流速应能将海生物携带至水体;④通道路由不应出现锐角或小转弯半径,并且沿途没有水跃或断流区;⑤应采用封闭性通道,避免海生物遭到天敌和人为捕捞;⑥最终的洄游水体应在取水口影响范围之外。

2 海生物保护型旋转滤网产品介绍

为应对日益严格的环保要求,国外多家旋转滤网供应商已生产出成型产品,并在实验室测试和实际应用中表现出良好的防海生物撞击效果。以下介绍的3款旋转滤网产品在达到显著保护效果的同时,采用了不同的设计和制造工艺,具有较高的参考价值。

2.1 Hydrolox S6000 型立式旋转滤网

Hydrolox S6000 型立式旋转滤网由美国 Hydrolox 公司生产制造。该旋转滤网的主要结构特点和设计参数如下:①滤网网面由模块化的块状聚合材料通过互锁机构拼接而成。在满足结构强度、耐腐蚀性和易维护的同时,光滑而具有弹性的表面特性能够减少对海生物的接触伤害;②滤网孔眼尺寸较小,且能在 $1.75\text{ mm} \times 7.62\text{ mm}$ 和 $1.75\text{ mm} \times 22.35\text{ mm}$ 之间可选(开孔比为 30%);③鱼类捕集槽同样由聚合材料制成,分为基本模块、附件和连接杆3部分,高度为 96.5 mm,最小缩进 102 mm,推荐缩进 152 mm,能够较好地满足海生物捕集和暂存要求;④分别设置杂物收集通道和海生物洄游通道,实现杂物和海生物的去向分离。

实验室测试表明,该型旋转滤网对金体美洲鲈鱼、鲤鱼、蓝鳃鱼、斑点叉尾鲶具有 90% 以上的撞击存活率。Hydrolox S6000 型立式旋转滤网结构如图 1 所示。

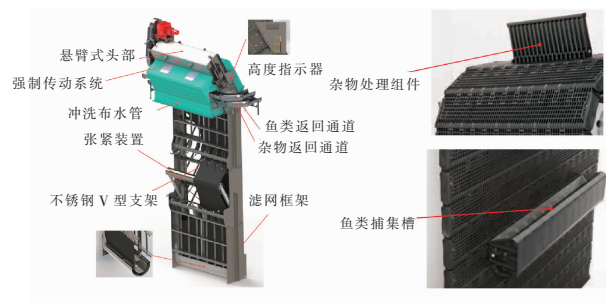


图1 Hydrolox S6000 型立式旋转滤网结构

Fig.1 Structure of Hydrolox S6000 vertical traveling screens

2.2 盖革旋转滤网

盖革滤网由德国 Aqseptence 集团生产制造,其结构特点和设计参数如下:①滤网由一系列镰刀型网面组成(见图2),并按椭圆形路径旋转(类似于机场的椭圆形行李传送带);②网眼大小范围为 0.5 ~ 4 mm,常用大小为 1 ~ 3 mm;③每个镰刀型网面上设置有海生物捕集装置,能够将海生物安全送回水体中;④滤网框架材料通常采用不锈钢,网面材料可以采用钻孔塑料、尼龙或金属丝网;⑤由于水流仅需流经网面一次,因此过流水头损失较低。

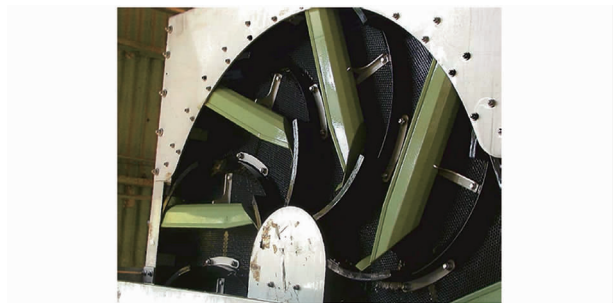


图2 盖革旋转滤网的网面结构

Fig.2 Screen panel structure of Geiger screen

在以河水为冷却水源的某电厂取水构筑物实用测试表明,盖革旋转滤网在配备低压冲洗装置和鱼类洄游装置的情况下,能够使蓝鳃鱼的撞击存活率达到 95% ~ 100%,斑点叉尾鲶为 50% ~ 94%,斑尾蛇为 54% ~ 95%,白鲈为 30% ~ 56%。

2.3 博德雷W型取水防护滤网

博德雷 WIP 旋转滤网由法国 Beaudrey 公司生产制造。该型滤网的结构特点及设计参数如下:①滤网网面整体呈轮盘状,并由金属隔板作为径向支撑;②滤网工作时沿轴心转动,杂物及海生物进入捕集和洄游管道,并由专用鱼类输送泵输送至安全水体;③鱼类在捕集和洄游管道内的停留时间 < 1 min;④适用进水渠道宽度为 1.2 ~ 4.6 m;⑤网眼大

小范围为0.5~10 mm;⑥单台流量最大为36 000 m³/h;⑦框架、转轮和网面材料为304L、316L、双相体不锈钢或超级双相体不锈钢。

试验表明,蓝腮鱼、黑头呆鱼和斑点叉尾鲷存活率均为79.3%~99.0%。WIP旋转滤网结构和专用鱼类输送泵及洄游管道分别见图3、4。



图3 WIP 旋转滤网结构

Fig.3 Structure of WIP screen



图4 WIP 旋转滤网专用鱼类输送泵及洄游管道

Fig.4 Special fish pump and channel of WIP screen

3 结语

海水冷却、海水淡化和海水化学元素提取等海水利用工程取水量较大,传统的取水方式和设备给海生物的生存造成了显著的威胁,而采用具有海生物防护功能的旋转滤网能够明显改善取水构筑物的环境友好性。针对我国尚未开发和使用具有海生物保护功能的旋转滤网的现状,积极学习和借鉴国外已有技术和产品的先进经验,从滤网网面材料、水流过网流速、海生物捕集和暂存、冲洗压力和海生物洄游等方面综合考虑相关技术方案,研发具有自主知识产权的环保型旋转滤网和相关产品是我国发展海水利用事业、实施海洋强国战略的有益之路。

参考文献:

[1] 王印忠,李雪,久岚颖,等.《海水循环冷却系统设计规

范第1部分:取水技术要求》创新点[J].中国给水排水,2017,33(14):22-24.

Wang Yinzong, Li Xue, Jiu Lanying, et al. Innovative points of Code for Design of Recirculating Cooling Seawater System—Part 1: Requirement of Intake Technology[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(14):22-24(in Chinese).

[2] 徐兆礼,张凤英,陈渊泉.机械卷载和余氯对渔业资源损失量评估初探[J].海洋环境科学,2007,26(3):246-251.

Xu Zhaoli, Zhang Fengying, Chen Yuanquan. Assessment on fishery resource loss owing to mechanical entanglement and residual chlorine[J]. Marine Environmental Science, 2007, 26(3):246-251(in Chinese).

[3] 李铁军,郭远明,鲍静娇,等.舟山电厂二期工程余氯和机械卷载对渔业资源损失量评估[J].现代渔业信息,2011,26(8):16-19.

Li Tiejun, Guo Yuanming, Bao Jingjiao, et al. Assessment on fishery resource loss owing of the second engineering on Zhoushan power plant to mechanical entanglement and residual chlorine[J]. Modern Fisheries Information, 2011, 26(8):16-19(in Chinese).

[4] 魏新渝,熊小伟,王一川,等.美国滨海核电厂取水设施及生态影响分析和启示[J].海洋工程,2017,35(6):143-154.

Wei Xinyu, Xiong Xiaowei, Wang Yichuan, et al. Analysis of water intake structures and their ecological impacts of NPPs in American coastal areas and the enlightenment[J]. The Ocean Engineering, 2017, 35(6):143-154(in Chinese).



作者简介:王印忠(1981-),男,河北霸州人,硕士,高级工程师,主要从事海水取排水技术和海水处理技术研究。

E-mail:498388455@qq.com

收稿日期:2019-01-14