

滨海核电取水工程鱼类回收遣返技术调研及分析

曹冉冉

(中国核电工程有限公司, 北京 100840)

摘要 本研究通过调研了国内外滨海核电厂取水工程鱼类回收遣返技术的研究进展, 同时调研了国内外水利工程中鱼类收集保护措施及技术核心, 基于调研成果, 分析与我国滨海核电取水现状相适应的鱼类回收遣返技术, 为提出符合我国核电发展要求的生态友好型取水设施提供基础和依据。鱼类回收遣返技术的开发与应用不仅能够降低核电取水堵塞风险, 而且能够提高取水运行的环境友好性, 为进一步响应和落实核电取水最佳实践技术提供支撑。

关键词 核电厂; 取水工程; 鱼类回流系统

中图分类号: TV67

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)03-0121-03

为应对全球气候变暖, 减少碳排放已成为世界各国的共识。核能发电几乎不产生二氧化碳等温室气体, 具有清洁低碳优势。因此, 核电将在实现碳中和过程中发挥重要作用。截至 2022 年 12 月, 中国在运核电机组数量仅次于美国和法国, 位居世界第三位, 是名副其实的世界核电大国。核电机组的安全稳定运行是其发展的根本。但是, 近年来, 我国滨海核电厂冷却水取水堵塞事件时有发生, 这可能会导致核电机组降功率乃至停堆, 严重时甚至可能会对最终热阱的可用性构成威胁, 因此核电取水堵塞事件引起了政府监管部门、核电运营方和相关从业人员的高度关注。

另外, 核电取水可能在一定程度上会造成鱼类等海洋生物的损失^[1]。国家对海洋生态环境保护越来越重视, 因此对核电取水的环境友好性提出了更高的要求。2019 年生态环境部颁布了《核动力厂取排水环境影响评价指南》(HJ 1037-2019), 对核电取水的生态影响提出了明确的要求, 在选址、建造、设计阶段, 取水设施应考虑构建鱼类回流通道等; 在运行阶段, 需开展长期的取水卷塞和卷载影响调查, 包括取水运行后局部海域鱼类死亡量等, 并根据调查结果提出相应的补救方案或改进措施。鱼类是海洋生物中非常重要的存在, 在海洋生态系统中具有调控作用。鱼类对核电取水的潜在负面影响以及核电取水对鱼类的影响均不容忽视, 急需有关工程技术提高核电取水的安全性和环境友好性。

为了降低取水和鱼类的相互影响而采取的措施即是鱼类回收遣返技术, 研究围绕国内外火/核电厂鱼类回收遣返技术研究现状、工程应用情况及可能存在问题等开展调研分析, 并且还调研了其他水利水电工程

中鱼类收集和保護技术, 如鱼道工程、集诱鱼技术等。基于以上调研结果, 为我国核电取水系统鱼类回收遣返技术的研发, 且为进一步响应和落实核电取水最佳实践技术提供支撑。

1 鱼类回收遣返技术现状

目前, 在我国, 滨海核电取水对鱼类等水生生物及生态环境的影响正在逐步受到重视, 但是在取水口的设计或海水过滤系统的设计中均缺乏对鱼类资源保护的相关考虑或措施。在国外部分核电厂中, 鱼类回收遣返技术有一定的应用, 主要以被动型技术为主。在内陆河流的水利工程中, 主要应用的是主动型技术。下文将“鱼类回收遣返技术”分为“被动型鱼类回收遣返技术”及“主动型鱼类回收遣返技术”进行其技术特点、技术构成及其应用情况的阐述。

1.1 被动型鱼类回收遣返技术

目前, 国外部分核电厂滤网卷塞的鱼类等海洋生物主要进行被动收集, 美国、英国及加拿大的多个电厂应用了鱼类回收遣返技术, 部分核电厂采用鱼类回收遣返技术后, 对减小核电取水卷塞、恢复鱼类资源具有一定的促进作用。

1.1.1 鱼类回流系统

目前较为主流的鱼类回流系统是通过改造目前的旋转滤网等拦污设施实现, 如改造后的滤网与传统滤网相比, 主要区别在于可对拦截的海生物和杂物进行收集, 主要是通过高低压结合的清洗系统将取水系统中过滤网上拦截的鱼类反冲洗回集鱼槽等收集鱼类的系统中, 进而将鱼类等海生物运送回原水体中。鱼类回流系统低压清洗将过滤网上卷载的鱼类等水生生物

送至由管道构建的鱼类回流系统, 高压清洗将黏附于过滤网上的残渣、碎片等送回水体或收集后异地处置。

美国采用鱼类回流系统的核电厂有: Pilgrim 核电厂、Millstone 核电厂、Indian Point 核电厂、Oyster Creek 核电厂、Salem 核电厂、Calvert Cliffs 核电厂、Surry 核电厂、Brunswick 核电厂、South Texas Project 核电厂。各电厂采用的鱼类回流系统原理一致, 均采用反冲洗装置将过滤网面上卷载的鱼类等生物洗脱至鱼类回流系统, 通过管道、明渠、槽室结构将鱼类收集暂存或直接输送返回至海域或指定区域。

德国西门子公司研发了以双进单出带形滤网为基础的鱼类回流系统, 该滤网水流从两侧流入, 经过筛网后从下游滤网流出, 移动条形带将粘在筛网的杂物向上携带至上部, 经过反向冲洗, 杂物和海生物被冲刷进入中间的收集斗或者生物庇护区中, 再将杂物和鱼类通过升降机提升到指定夹板水位时, 先采用低压反向水流将鱼类反冲释放至指定水槽, 然后继续提升将杂物用高压反冲至斗内。

英国部分地区要求电厂取水过程中对鳗鱼进行保护, 因此大多数核电厂安装了改进的鼓型滤网或板框滤网, 并且为了提升卷塞鱼类的存活率, 改进鼓网的鱼类收集装置的材料主要考虑生物友好型材料^[2]。

1.1.2 鱼类逃逸通道

鱼类逃逸通道是指在取水设施前端或某处设置一定宽度的通道, 使得鱼类在进入陆域过滤系统前有一定逃逸途径。如美国 Diablo Canyon 核电厂在取水设施前端设置了 2.7m 宽格栅湾提供取水卷塞鱼类逃逸, 该电厂取水运行对鱼类影响小; 美国 Pilgrim 核电厂在取水设施前端设置了撇渣墙用以去除漂浮物, 撇渣墙处以及取水结构每个端处均设置了 6-12 个孔径为 0.25m 的圆形开口以供鱼类通过该孔逃离取水系统, 管道中存在一定流速, 约为 0.046m/s, 运行观测结果表明, 该装置是有效的。

1.1.3 改进型雷氏滤网

美国部分核电厂推行使用改进型雷氏滤网, 其通常安装在粗细格栅之后。其包括一系列连续旋转面板, 当每个面板旋转出取水时, 卷塞的鱼被保留在面板底部充水的篮中, 并在通过轴时, 使用设备背面的低压喷头将鱼冲出进入光滑网格, 使鱼进入鱼回流管道, 而后使用设备前面的两个高压喷头去除碎片。鱼回流通道的直径为 30cm 管道, 鱼通过回流管道或排放渠排放到海洋或河流中。

Indian Point 核电厂、Surry 核电厂、Salem 核电厂和 Pilgrim 核电厂采用了该滤网。采用后取水监测结果表明, Surry 核电厂取水运行对环境影响小; 在 Salem

核电厂, 改进型雷氏滤网的采用使得滤网拦截到的约 94% 的卷塞鱼类在返回至詹姆士河后可以存活。

1.2 主动型鱼类回收遣返技术

主动型鱼类回收遣返技术主要是目前河道中采用的过鱼设施, 过鱼设施主要包括鱼道、升鱼机、鱼闸等。研究主要集中于水利工程中低水头差的鱼道类过鱼设施。鱼道是鱼类能通过水利枢纽等溯河障碍物的重要通路, 作为一种重要的生态保护工程, 对保护鱼类资源、恢复河流生态系统功能具有重要意义。

1.2.1 鱼道的类型和特点

鱼道按其结构型式及水力特征可分为近自然型鱼道(仿自然鱼道)、槽式鱼道(包括简单槽式鱼道和丹尼尔式鱼道)、隔板式鱼道(包括溢流堰式、淹没孔式、竖缝式和组合式)等^[3]。各种型式的鱼道主要特点如下:

1. 近自然型鱼道。近自然型鱼道是目前国际上十分流行的鱼道布置型式, 其典型特点是基本没有池室和阻水设施, 主要通过缓坡设计, 利用漂石与天然河床砂质构建, 尽可能接近天然河道的水流流态^[4]。其不足是适用水头范围较小, 要求有合适的地形。

2. 槽式鱼道。前期的槽式鱼道是一条连接上下游的水槽, 不设有任何消能设施, 此类型鱼道长度大, 坡度缓, 运用水位差较小, 只能用于水头小且目标鱼种游泳能力强的情况^[5]。后期槽式鱼道的发展主要为丹尼尔式鱼道, 在池室中设立间距相等的挡板和底坎, 水流通过时形成反向水流冲击主流, 增加紊动以降低流速。其特点是宽度小、坡度陡、长度短, 因而投资相对于隔板式鱼道较少。鱼类可在池室的任何水深中通过, 上溯途径不弯曲, 过鱼速率快, 鱼道流量较大^[6]。丹尼尔式鱼道的缺点是流态较差、水流紊动严重以及对上游水位的变化比较敏感。此外, 由于隔板会截留漂浮和半浸没的垃圾, 丹尼尔式鱼道的维护也比较困难。

3. 隔板式鱼道。隔板式鱼道是利用隔板将鱼道上下游的总水位差分成许多梯级, 并利用水流对冲、水垫及沿程摩阻来消能, 以达到改善流态、降低过鱼孔流速的要求。按隔板过鱼孔的形状及位置, 可将隔板式鱼道分为溢流堰式、淹没孔口式、竖缝式和组合式四种。目前应用较为广泛的隔板式鱼道为竖缝式鱼道。竖缝式鱼道的过鱼孔是从上到下的一条竖缝, 利用两侧隔板挡住水流, 促使水流从竖缝下泄。该隔板又可分为不带导板的一般竖缝式和带导板的竖缝式(导竖式)两种。导竖式又可分为双侧和单侧两种。这种型式的鱼道能适应较大的水位变化, 能适应多种不同水层的鱼类洄游。

综上所述, 不同型式的鱼道具有不同的水流特征, 适合的目标鱼种也各不相同。在进行鱼道设计时, 应

综合所保护鱼类的生活习性、拦河建筑物的种类和规模以及当地地形条件等实际因素选择合适的鱼道类型。

1.2.2 集诱鱼技术

为增加鱼道进口的进鱼效果,可利用鱼类对水流、光、声、色、气等诱鱼技术的生理反应,引诱鱼类聚集至鱼道进口附近,再通过鱼道下泄水流导引下进入鱼道进口。

1. 水流诱鱼技术。在工程实践中,最常见的集鱼技术是水流诱鱼。北京上庄新闸鱼道和老龙口水利枢纽都在集鱼系统进口处设置了喷射水流^[7],以此增加进口的吸引力,达到诱鱼目的。目前,虽然已经意识到鱼道进口水流对于诱鱼、集鱼具有重要作用。但是对于诱鱼水流的研究还是十分不足,研究成果仍以工程实践和经验性结论为主,理论成果很少。此外,声、光等鱼类诱捕技术在渔业领域已经表现出良好的效果,将这些诱鱼技术移植到鱼道进口,也能提高鱼道过鱼效率。

2. 声诱鱼技术。鱼类可能会对某一频率段的声波比较敏感,适宜的声音对鱼类有一定的诱导作用。从鱼类对声响的行为反应来看,主要分为以下三类^[8]:正反应,即游向声源;负反应,即游向背离声源的方向;无动于衷或起初有所反应但很快适应后无反应。根据鱼类对声响的反应,可以水下播放人工声响来诱集鱼群,诱鱼音源通常为录制或模拟的鱼群游泳声、摄食声,如渔民在捕捞金枪鱼时,通过播放沙丁鱼的录音,引诱金枪鱼来追食,再用渔轮围捕金枪鱼。

3. 光诱鱼技术。据报道,不同种类、不同阶段的鱼对于光照会呈现不同的行为反应,大致可分成三种类型:趋光行为、避光行为、无反应。由于部分鱼类具有较强的趋光反应,可以通过光来引诱鱼群到某特定地点。影响光诱集鱼效果的主要因素包括光源强度、灯光颜色、灯具的配置等^[9]。因此,要获得理想的光诱效果,需要探明不同鱼种及其生理发育阶段所喜好的光色和光强。此外,声光相结合鱼类诱捕方法也正逐步得到应用。

2 结论与展望

通过调研了核电厂的鱼类回收遣返技术研究及应用现状,以及水利工程过鱼设施和集诱鱼设施的研究及应用现状,主要结论如下:

1. 现阶段,我国在运核电厂取水设施尚未设置鱼类回收遣返设施,相关技术的研究也处于起步阶段。

2. 国外核电厂研究和应用较多的主要为“被动型鱼类回收遣返技术”,包括:鱼类回流系统、鱼类逃逸通道、改进型雷氏滤网等。鱼类回流系统通常在滤

网基础上优化改进,增加鱼类收集功能。电厂长期运行监测结果表明,鱼类回收遣返技术可以在一定程度上减少取水卷塞鱼类的死亡率。

3. 水利工程中的鱼道等过鱼设施主要为“主动型鱼类回收遣返技术”,其设计和研究充分考虑了鱼类的习性及其游泳能力,关键水力参数包括:鱼道进口设计流速、池室内主流分布形态等。此外,鱼道的选型、进口、槽室及出口的设置均与过鱼目标的洄游习性、栖息水层、适宜水深等密切相关。

4. 集诱鱼技术可作为核电鱼类回流系统构建的技术储备,其对鱼类的引导主要是基于鱼类对相应刺激的生理行为应激反应。

5. 未来,建议我国核电厂借鉴水利工程中过鱼、集诱鱼设施技术,针对核电取水明渠型式,深入开展明渠内部基于鱼类行为或生理趋性(趋流性、趋光性等)的鱼类回流技术研究,探索可使鱼类主动回避取水口或使其主动或被动回溯至外部海域的鱼类回流系统,以降低取水堵塞风险、提高取水的环境友好性。

核电取水设施的环境友好性是国家生态文明建设的一部分,降低核电取水卷载和卷塞效应更是需要取水设施的持续优化。从核电安全生态运行的层面出发,明晰核电运行的生态环境效应,保护鱼类资源任重而道远。

参考文献:

- [1] 魏新渝,等. 电厂取水设施运行对水生生物影响与减缓措施[J]. 水生态学杂志,2017,38(04):1-10.
- [2] Rogers N R. A review of technologies employed on some recent UK power plant projects to mitigate the impact of the cooling water intake on aquatic life[M]. WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering,2014.
- [3] 水利部. 水利水电工程鱼道设计导则[Z].2013.
- [4] 孙双科,张国强. 环境友好的近自然型鱼道[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2012,10(01):41-47.
- [5] 董哲仁,孙东亚,等. 生态水利工程原理与技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.
- [6] C. Katopodis, N. Rajaratnam. A review and laboratory study of the hydraulics of Denil fishways[R]. Aquat. Sci.,1983.
- [7] 宋德敬,姜辉,关长涛,等. 老龙口水利枢纽工程中鱼道的设计研究[J]. 渔业科学进展,2008,29(01):92-97.
- [8] D.R. 兰伯特,刘忠清. 水电站使鱼群改变游向的音响系统[J]. 水利水电快报,1997(10):4-7.
- [9] 杨杏. 诱鱼灯的原理及实际应用[J]. 江西水产科技,1995(03):41.