

滨海核电厂冷却水取水鱼类影响分析研究

曹冉冉

(中国核电工程有限公司, 北京 100840)

摘要 滨海核电厂冷却水取水堵塞事件频发, 海生物是影响核电取水安全的重要威胁, 其中具有游泳能力的鱼类是导致核电取水堵塞的较为重要的一类海生物。研究通过总结分析国内外核电取水鱼类影响事件, 分析易造成核电取水堵塞的鱼类的特征, 并给出我国典型核电厂取水周围海域鱼类资源调查情况, 基于以上研究结果, 提出有关核电取水鱼类防控措施的建議, 旨在对核电取水堵塞防治策略有所裨益。

关键词 核电厂; 冷却水; 取水安全; 鱼类影响

中图分类号: TQ08

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)03-0121-03

2020 年, 我国提出“双碳目标”。在此背景下, 电力行业低碳化是实现碳中和的重要基础, 其中, 核电作为一种清洁且高效的能源, 是实现“双碳目标”的重要选择。

根据中国核能行业协会发布的统计报告^[1], 截至 2022 年 12 月 31 日, 我国在运的核电机组共 55 台, 2022 年核电累计发电量占全国总累计发电量的 4.98%, 比 2021 年上升了 2.52%, 可见, 核电在我国电力结构中的占比稳步增长。核电机组的安全性是核电发展的关键。

但是, 近年来, 我国滨海核电厂发生了多起冷却水取水堵塞事件, 导致了核电机组降功率运行, 甚至停机停堆。这不仅会威胁核电机组的安全性, 而且会影响核电机组的正常发电, 从而对电网产生冲击, 造成巨额经济损失, 因此, 核电厂冷却水取水堵塞事件引起了政府部门以及行业内外广泛关注。

在世界范围内, 各地区的核电站也时常发生取水堵塞事件。据世界核电运营者协会(WANO)统计, 2004 年到 2015 年间核电取水发生了一百多起堵塞事件, 其中有 58% 是由海洋生物导致的, 海洋生物成为影响核电安全稳定运行的主要威胁^[2]。在引发取水堵塞的海生物中, 鱼类是较为常见的, 鱼类是海洋生物中非常重要的一类, 并且鱼类具有强游动能力, 在其生活史的不同阶段具有不同的特征。因此, 核电厂取水堵塞防控需要重点考虑鱼类带来的影响。

研究通过总结国内外核电厂冷却水取水过程中鱼类影响事件, 分析对核电取水影响较大的鱼类特征, 并总结了我国典型滨海核电厂周围海域的鱼类资源, 加以归纳分析核电取水需要防范的鱼类, 并给出了核电取水鱼类防控措施建议。

1 国内外核电厂鱼类影响分析

1.1 卷塞和卷载影响

鱼类作为一种游泳动物, 具有自主游动能力, 在核电冷却水取水过程中, 可能会受到卷塞和卷载影响^[3]。对于体型较大的鱼类, 其进入核电冷却水取水口可能无法通过某些拦截设施, 若没有及时被移出滤网、格栅或其他取水拦截设备, 则会受到卷塞影响, 对于体型较小的鱼类, 其可能能够穿过拦截设施, 从而进入核电冷却水系统里, 即会受到卷载影响。卷塞和卷载效应不仅会影响核电取水安全, 也会造成鱼类的损失, 因此有必要对核电取水的鱼类影响事件分析和研究。

1.2 国外核电厂鱼类影响分析

国外核电机组开始运行时间较早, 因此对于核电取水堵塞事件关注与研究也比较早。美国电力研究院(EPRI)曾经对 77 个发电机组(包括核、化石和生物质电厂)进行关于取水问题的调研, 结果表明, 55% 的发电机组遇到过生物或杂物影响取水相关问题, 调研得到的影响取水的因素包括: 台风、冰、树叶、鱼类、大型藻/微型藻、树枝、水母、贝类、其他等。鱼类是影响取水系统安全的重要因素之一, 鱼类引发的关闭机组 2 次, 降功率运行多达 9 次, 这些事件最终导致系统可靠性和电厂经济性下降。

世界多个地区均发生过鱼类入侵取水系统的事件。在欧洲, 影响发电厂运行的取水堵塞事件涉及的鱼类包括鲱鱼目的鱼类, 例如黍鲱和大西洋鲱鱼, 主要是成群的幼鱼(体长 50mm~100mm); 还有尖嘴海龙, 其游泳能力较弱, 容易受到撞击, 在温暖的浅水季节性产卵期间, 偶尔会数量巨大而造成取水系统堵塞, 在某些案例中, 尖嘴海龙堵塞了冷凝器的管板。在美国, 大量鱼类涌入取水口通常与水温(热冲击或冷冲

击)或者水质(低溶解氧)剧变有关。环境剧变造成了周围鱼类种群死亡或发病,通常最易受到影响的是非常脆弱的鱼类(比如鲱和鳕等)。在中东和亚洲地区,也会发生与鱼类有关的堵塞事件(比如大群沙丁鱼)。

1.3 国内核电厂鱼类影响分析

研究统计了我国近15年以来核电冷却取水发生过的取水异常事件30余起,包括堵塞事件及潜在堵塞事件。通过分析可知,引起核电冷却取水异常事件的影响因素包括水母、大型藻/微藻、虾类、鱼类、台风、杂物/垃圾和泥沙^[4]。鱼类是其中常见且重要的种类,大约占比13%。

代丽等人报道^[5],2016年某核电厂取水系统出现了大量康氏小公鱼,导致鼓型滤网堵塞,并引发循环水泵跳闸。2007年某核电厂由于小鱼小虾、浒苔等入侵,导致核电机组发生降功率事件。可见,鱼类对核电取水以及核电机组运行的影响已不容忽视。

通过梳理我国核电取水鱼类影响事件,我国核电曾发生过中国花鲈、康氏小公鱼、鲎鱼、小沙丁鱼和各类仔稚幼鱼等引起的冷却水取水堵塞或异常事件。归纳如下:位于渤海湾附近的H核电厂在进行泵房反冲洗作业时,打捞出大量的鲈鱼,说明鲈鱼通过卷载效应进入了核电取水系统;位于东海晴川湾附近的N核电厂2014年发生过体型较小的鱼虾进入取水系统事件,致使海水相关过滤器压差上涨、堵塞,现场通过持续打捞、提高过滤器冲洗频率、提高鼓型滤网运行速度等措施,将小鱼虾清理干净,取水系统才恢复正常运行状态;同年,该核电厂还发生过大量鲎鱼进入取水过滤系统,鲎鱼主要是堵塞在细格栅上,导致细格栅水位差开始持续缓慢上涨,在引发循环水泵停泵临界值前,电厂工作人员通过手动打捞,消除了水位差高的问题;2016年,N核电厂也发生过取水过滤系统的反冲洗水槽出现大量康氏小公鱼、海地瓜等异物,导致鼓型滤网堵塞,引发循环水泵跳闸。据报道^[6],小公鱼是小型、暖温性的中上层鱼类,个体不大,产量高,在我国东、南沿海近岸河口浅水区有一定数量的小公鱼,小公鱼属中以康氏小公鱼产量最大,各阶段小公鱼体长约8.5mm~50mm。

另外,通过调研国内其他核电厂的主要威胁物发现,位于南海东平湾附近的某核电厂主要威胁物包含小沙丁鱼,位于南海北部湾附近的某核电厂主要威胁物包含中华小公鱼。

综上可知,由于小型鱼类喜好集群以及小型鱼类体长较小,仔稚幼鱼游泳能力较弱,这些特征导致小公鱼、小沙丁鱼和各类仔稚幼鱼非常容易进入核电取水系统。

2 典型核电厂取水海域鱼类资源分析

研究收集了我国典型核电厂邻近海域鱼类群落资料,重点关注鱼类优势种和常见种以及鱼卵仔稚鱼的情况。

2.1 渤海辽东湾A核电厂

A核电厂位于渤海辽东湾附近,2021年4月到10月,该核电厂对附近海域的鱼类资源进行了调研,结果如下:

1. 鱼类优势种与常见种:2021年4月和5月,鱼类优势种共有1种,为焦氏舌鳎;2021年6月,鱼类优势种共有4种,分别为焦氏舌鳎、矛尾虾虎鱼、绯鳞和鲷;2021年7月,鱼类优势种共有1种,为焦氏舌鳎;2021年8月,鱼类优势种共有3种,分别为黄鲫、斑鲫和焦氏舌鳎;2021年9月,鱼类优势种共有2种,分别为焦氏舌鳎、矛尾虾虎鱼;鱼类常见种共有4种,分别为白姑鱼、斑尾刺虾虎鱼、小黄鱼、六丝钝尾虾虎鱼。2021年10月,鱼类优势种共有3种,分别为焦氏舌鳎、小黄鱼和白姑鱼;鱼类常见种共有3种,分别为六丝钝尾虾虎鱼、皮氏叫姑鱼、棘头梅童鱼。

2. 鱼卵仔稚鱼:渤海主要经济鱼类为鲈、黄鲫、梭鱼、小黄鱼、蓝点马鲛等。辽东湾是渤海重要产卵场之一。辽东湾产卵场主要产卵种类为鲈、短吻红舌鳎、叫姑鱼、斑鲈、蓝点马鲛、赤鼻棱鳀和花鲈等。

2.2 东海三门湾B核电厂

B核电厂位于东海三门湾海域附近,B核电厂于2015~2017年间对周围海域的鱼类资源进行了调研,主要结果如下:

1. 鱼类优势种与常见种:春季(2015年5月和2016年5月)渔获物中鱼类优势种为棘头梅童鱼、焦氏舌鳎、孔虾虎鱼、龙头鱼和六丝钝尾虾虎鱼;秋季(2015年9月和2016年9月)渔获物中鱼类优势种为龙头鱼、棘头梅童鱼、海鳗、皮氏叫姑鱼和六指多指马鲛;冬季(2016年1月和2017年1月)渔获物中鱼类优势种为凤鲚、棘头梅童鱼、孔虾虎鱼、拉氏狼牙虾虎鱼和鲢。

2. 鱼卵仔稚鱼:东海产卵场主要分布在禁渔线附近海域,重要产卵场包括长江口-舟山水域产卵场、鱼山-温台水域产卵场和闽中-闽南水域产卵场。B核电厂位于鱼山-温台水域产卵场邻近水域,鱼山-温台水域产卵场主要产卵种类为小沙丁鱼、黄姑鱼、舵鲈、侧带小公鱼、鲈、带鱼等。在B核电厂取水海域进行四季调查,鱼卵仔稚鱼的主要优势种为侧带小公鱼属 spp.、黄姑鱼、拉氏狼牙鰕虎、龙头鱼等。

2.3 东海东山湾C核电厂

C核电厂位于东海东山湾海域附近,在2012~2013

年, C 核电厂对周围海域进行了鱼类资源调研, 主要结果如下:

1. 鱼类优势种与常见种: 2012~2013 年春、夏、秋、冬季调查海域渔获物中, 春季优势种为带鱼、二长棘犁齿鲷、林氏团扇鲷、鹿斑鲷、中国团扇鲷; 夏季优势种为白姑鱼、短尾大眼鲷、黄斑篮子鱼、林氏团扇鲷、细纹鲷; 秋季优势种为林氏团扇鲷、六指马鲛、日本单鳍电鲷、条纹叫姑鱼、中国团扇鲷; 冬季优势种为林氏团扇鲷、日本单鳍电鲷、条尾燕魮、条纹叫姑鱼、中国团扇鲷。

2. 鱼卵仔稚鱼: 2012~2013 年春、夏、秋、冬季调查共鉴定出鱼卵 15 种, 仔稚鱼 8 种, 较为优势的鱼卵种类有鲷科、侧带小公鱼属、鲷科、鲷科和鲷科等, 仔稚鱼有斑鲷、侧带小公鱼属种类。春季出现较多鱼卵、仔稚鱼, 共采集到鱼卵 6 种, 仔稚鱼 3 种, 鱼卵以鲷科和鲷科种类为主, 仔鱼以斑鲷为主。夏季调查定性和定量样品共采集到 5 种鱼卵、5 种仔稚鱼, 定量样品中仅采集到 4 种鱼卵, 仔稚鱼仅在定性样品中出现。大潮时的优势种为鲷科 sp. 和侧带小公鱼属 sp., 小潮时优势种为鲷科 sp. 和鲷科 sp.。秋季和冬季两航次未采集到仔稚鱼, 分别采集到鱼卵 3 种和 1 种, 主要有鲷科种类等。

2.4 南海北部湾 D 核电厂

D 核电厂位于东海东山湾海域附近, 该核电厂周围海域的鱼类资源调研结果如下:

1. 鱼类优势种与常见种: 春季渔获物中, 鱼类优势种有褐菖鲉、二长棘犁齿鲷、短吻鲷、花斑蛇鲷、六丝钝尾虾虎鱼; 夏季渔获物中, 鱼类优势种有二长棘犁齿鲷、斑鲷、真鲷、黄斑鲷、及达叶鲈; 秋季渔获物中, 鱼类优势种有细纹鲷、印度鲷、短吻鲷、二长棘犁齿鲷、弯棘鲷; 冬季渔获物中, 鱼类优势种主要有斑鲷 sp. (因个体太小, 分类特征不明显, 故只鉴定到属)、鲷、细蛇鲷、六丝钝尾虾虎鱼、康氏小公鱼。

2. 鱼卵仔稚鱼: 南海北部海域鱼类产卵场分布广泛, 但以近岸海域为主要产卵场所, 重要鱼类产卵场包括珠江口-大亚湾水域产卵场、粤西雷州半岛-海陵岛水域产卵场和北部湾近岸水域产卵场。D 核电厂位于北部湾近岸产卵场邻近水域。北部湾北部海域产卵场主要产卵种类有蓝圆鲈、二长棘鲷、金线鱼、鲷、白姑鱼、鲷类和鲷类等。

2.5 小结

我国典型核电厂附近海域的鱼类以近岸性类型为主, 大致可分为以下 3 种生态类型:

1. 近岸性类型: 中小型鱼类基本属于该类型, 种

类多, 分布广、数量大, 一年四季均有分布, 如石首鱼科棘头梅童鱼、鲷科的小公鱼、舌鲷类、虾虎鱼科、鲷、鲷、鲷等, 其特点是适应性和生命力强, 繁殖和生长快, 生命周期短, 资源易于恢复。此外, 鲷类也多分布于近岸。

2. 河口性类型: 既有大型鱼类, 也有中小型鱼虾类, 主要有鲷科的风鲚、鲷科的中国花鲈、鲷科的鲷等, 其特点是分布广、生长快, 其中一些是增养殖的种类, 也是捕捞对象。

3. 洄游性类型: 包括底层性鱼类和中上层鱼类, 多数为经济种, 底层鱼类主要有: 石首鱼科的小黄鱼、大黄鱼、白姑鱼, 鲷科的二长棘犁齿鲷等; 中上层鱼类包括鲷科的鲷、赤鼻棱鲷, 鲷科的斑鲷, 鲷科的蓝点马鲛等。

3 结论与展望

基于对核电厂冷却水取水鱼类影响事件的分析总结, 以及对国内典型核电厂取水周围海域的鱼类资源调查分析。得出以下主要结论, 并结合核电取水海生物防治前沿技术给出适当的鱼类防控措施建议:

1. 核电厂应每年对取水口周围海域的鱼类进行了调查, 形成鱼类调查数据库, 识别重点防范鱼类, 并针对重点防范鱼类制定风险月历, 将对核电厂的取水安全防控措施产生重要的指导意义。

2. 核电厂取水设计方面可以针对重点鱼类的防范和保护进行鱼类回流通道或鱼类回流系统设计等。

3. 核电厂也可采用驱离技术进行核电取水鱼类防治, 针对重点防范鱼类, 开展电驱离技术、声驱离技术、光驱离技术、气泡幕技术等将鱼类驱赶至远离核电取水口位置。

参考文献:

- [1] 中国核能行业协会. 全国核电运行情况 (2022 年 1-12 月) [R/OL]. (2023-02-02) [2023-02-20]. <https://www.china-nei.cn/site/content/42324.html>.
- [2] 代丽, 杨嘉, 张荣勇, 等. 某核电厂周围海域游泳动物调查研究 [J]. 给水排水, 2022, 48(S1): 815-820, 825.
- [3] 魏新渝, 张琨, 熊小伟, 等. 电厂取水设施运行对水生生物影响与减缓措施 [J]. 水生生态学杂志, 2017, 38(04): 1-10.
- [4] 陈坤, 许波涛, 孙世民. 滨海电厂取水自清洁拦污方案物模试验研究 [J]. 给水排水, 2019, 55(05): 86-89.
- [5] 同 [2].
- [6] 鲍静姣, 郭远明, 朱剑, 等. 尤炬炬. 浙南沿海地区康氏小公鱼仔鱼的鉴定研究 [J]. 现代农业科技, 2020(13): 204-206.