

# 核电站取水口海生物堵塞的成因、影响和智能防控体系研究

岳冲, 任根民, 汪井春

中广核陆丰核电有限公司, 广东 汕尾 516599

**摘要 :** 随着全球核电事业的蓬勃发展, 滨海核电站作为主要的核电类型, 其取水口海生物堵塞问题日益凸显。本文深入剖析核电站取水口海生物堵塞的成因, 详细阐述其对核电运行安全、经济效益及海洋生态环境产生的影响, 并全面探究智能防控体系在解决这一问题中的应用。通过对海洋生态环境变化、核电站取水系统特点等多方面因素的分析, 揭示海生物堵塞的内在机制; 从多个角度阐述堵塞问题带来的严重后果; 同时, 对当前智能防控体系中的监测技术、预警模型、智能决策系统以及拦污与清理技术等进行深入研究, 旨在为核电站取水口海生物堵塞问题提供科学、有效的解决方案, 确保核电站的安全稳定运行。

**关键词 :** 核电站; 取水口; 海生物堵塞; 智能防控体系

## Study on the Cause, Influence and Intelligent Prevention and Control System of Sea Biological Blockage at the Water Intake of Nuclear Power Plant

Yue Chong, Ren Genmin, Wang Jingchun

CGN Lufeng Nuclear Power Co., LTD. Shanwei, Guangdong 516599

**Abstract :** With the rapid development of global nuclear power, coastal nuclear power plants, as a primary type of nuclear facility, increasingly face the challenge of marine organism blockage at their water intakes. This paper conducts an in-depth analysis of the causes of marine organism blockage at nuclear power plant water intakes, elaborates on its impacts on operational safety, economic efficiency, and marine ecosystems, and comprehensively explores the application of intelligent prevention and control systems to address this issue. By analyzing factors such as changes in marine ecological conditions and the structural characteristics of nuclear plant water intake systems, this study reveals the underlying mechanisms of marine organism blockage. It further examines the severe consequences of blockage from multiple perspectives. Additionally, the paper investigates current technologies within intelligent prevention and control systems, including monitoring technologies, predictive models, intelligent decision-making systems, and interception and cleanup technologies. The research aims to provide scientific and effective solutions to mitigate marine organism blockage at nuclear power plant water intakes, ensuring the safe and stable operation of nuclear facilities.

**Keywords :** nuclear power plant; water intake; marine organism blockage; intelligent prevention and control system

### 引言

核电作为一种清洁、高效的能源, 在全球能源结构中占据着越来越重要的地位。滨海核电站因靠近海洋, 具有取水便利等优势。然而, 这种地理位置也带来了独特的挑战, 其中取水口海生物堵塞问题尤为突出。近年来, 国内外多个核电站都遭遇了此类问题, 如某核电厂因附近海域海月水母异常爆发, 导致四台机组取水口海生物拦截网部分主钢丝绳松弛失效, 大量水母进入泵站前池, 最终四台机组循环水过滤系统旋转滤网压差持续升高, 机组自动停运。这些事件不仅严重影响了核电站的正常运行, 造成了巨大的经济损失, 还对周边海洋生态环境产生了负面影响。因此, 深入研究核电站取水口海生物堵塞的成因、影响, 并构建有效的智能防控体系具有重要的现实意义。

## 一、核电站取水口海生物堵塞的成因

### (一) 海洋生态环境变化

#### 1. 富营养化

随着工业废水、生活污水的大量排放以及农业面源污染的加剧，近海海域的营养物质含量不断增加，导致水体富营养化。这种富营养化的环境为海生物的生长和繁殖提供了充足的养分，使得海生物的数量急剧增加。例如，在一些赤潮频发的海域，由于海水中氮、磷等营养物质过剩，引发了赤潮生物的爆发性繁殖。这些赤潮生物不仅会对海洋生态系统造成破坏，还可能大量聚集在核电站取水口，堵塞取水设施。

#### 2. 气候变化

全球气候变化导致海水温度、盐度等环境参数发生改变。海水温度的升高可能使一些原本不适宜在该海域生存的海生物得以繁衍，扩大了它们的生存范围。比如，某些热带和亚热带海域的海生物可能随着海水温度的上升，向温带海域扩散，进而增加了核电站取水口遭遇海生物堵塞的风险。同时，盐度的变化也会影响海生物的生存和分布，一些对盐度敏感的海生物可能会因为盐度的改变而聚集在特定区域，包括核电站取水口附近。

### (二) 核电站取水系统特点

#### 1. 水流特性

核电站取水系统通常会形成一定的水流场，这种水流特性对海生物具有吸引作用。取水口的水流速度相对较快，会形成一股强大的吸力，将周围的海生物吸入其中。而且，取水口附近的水流紊乱，会使海生物在水流的作用下更容易聚集。例如，一些游泳能力较弱的海生物，如小型水母、毛虾等，在取水口水流的影响下，难以自主游动离开，从而大量堆积在取水口，导致堵塞。

#### 2. 温度差异

核电站在运行过程中会向周围海域排放大量的温排水，使得取水口附近海域的水温升高。这种温度差异会吸引一些对水温较为敏感的海生物。例如，某些鱼类和浮游生物喜欢在温暖的水域活动，它们会被温排水吸引到取水口附近，增加了取水口海生物堵塞的可能性。

### (三) 海生物自身特性

#### 1. 繁殖习性

许多海生物具有快速繁殖的能力，其繁殖周期短、繁殖量大。一些浮游生物在适宜的环境条件下，短时间内就能大量繁殖，形成高密度的种群。一旦这些高密度繁殖的海生物靠近核电站取水口，就容易引发堵塞问题。例如，某些藻类在富营养化的海水中，几天内就能数量翻倍，迅速在取水口聚集。

#### 2. 集群行为

部分海生物具有集群行为，它们会聚集在一起形成庞大的群体。这种集群行为使得海生物在移动过程中容易被取水口吸入。例如，成群的毛虾在洄游时，一旦经过核电站取水口附近海域，就可能被取水口的水流大量吸入，造成取水口堵塞。

## 二、核电站取水口海生物堵塞的影响

### (一) 对核电运行安全的威胁

#### 1. 冷却系统故障

取水口被海生物堵塞后，会导致冷却海水的供应量不足，影

响核电站冷却系统的正常运行。冷却系统无法有效地带走反应堆产生的热量，会使反应堆温度升高，严重时可能引发堆芯熔毁等重大事故，对核电站的安全造成毁灭性打击。

#### 2. 设备损坏

海生物进入取水系统后，可能会对水泵、阀门、管道等设备造成损坏。它们的身体或外壳可能会卡住设备的运转部件，导致设备故障。例如，海蛎子等贝类生物附着在管道内壁，会增加管道的粗糙度，影响水流的顺畅性，同时也可能导致管道腐蚀，缩短设备的使用寿命。

### (二) 对经济效益的影响

#### 1. 发电损失

海生物堵塞取水口导致核电站停机或降功率运行，会造成巨大的发电损失。核电站的发电量直接关系到电力供应和经济效益，停机或降功率期间，无法满足电网的用电需求，同时也减少了发电收入。据统计，一次因海生物堵塞导致的核电站停机事件，可能造成数百万甚至上千万元的经济损失。

#### 2. 维护成本增加

为了解决海生物堵塞问题，核电站需要投入大量的人力、物力进行清理和维护。包括使用专业的设备进行水下清理，派遣潜水员进行人工清理，以及对受损设备进行维修和更换等。这些额外的维护工作会显著增加核电站的运营成本。

### (三) 对海洋生态环境的破坏

#### 1. 生物入侵

为了防止海生物堵塞，核电站可能会采取一些物理、化学或生物的防控措施，这些措施在一定程度上可能会对海洋生态环境造成破坏。例如，使用化学药剂进行消杀时，可能会误杀其他有益的海洋生物，破坏海洋生物的多样性。同时，一些防控措施可能会改变海洋生态系统的结构和功能，导致生物入侵等问题的发生。

#### 2. 生态失衡

取水口海生物堵塞事件的发生，会影响海洋生态系统中物质和能量的循环。大量海生物聚集在取水口，改变了它们在海洋中的自然分布，可能导致某些区域的生物量过高或过低，从而破坏海洋生态系统的平衡。例如，水母大量繁殖并堵塞取水口后，会捕食大量的浮游生物，影响其他海洋生物的食物来源，进而引发整个海洋生态系统的连锁反应。

## 三、核电站取水口海生物堵塞的智能防控体系

### (一) 智能监测技术

#### 1. 声学监测

声学监测技术利用声波在水中传播的特性，通过发射声波并接收反射回来的信号，来探测海生物的存在和分布情况。例如，声学多普勒流速剖面仪(ADCP)可以测量海水的流速和流向，同时也能检测到海生物的回波信号。通过分析这些信号，可以确定海生物的种类、数量和运动轨迹。声学监测具有监测范围广、实时性强等优点，能够在大面积海域内对海生物进行快速监测。

#### 2. 光学监测

光学监测技术包括水下摄像头、荧光传感器等设备。水下摄像头可以直接拍摄海生物的图像，通过图像识别技术对海生物进行分类和计数。荧光传感器则利用海生物体内的荧光物质特性，检测海生物的浓度和分布。光学监测具有直观、分辨率高的特

点，能够准确识别海生物的种类，但监测范围相对较小，受海水透明度等因素的影响较大。

### 3. 卫星遥感监测

卫星遥感监测利用卫星搭载的传感器，从高空对海洋进行观测。通过分析卫星图像中的光谱信息，可以获取海生物的分布范围和密度等信息。卫星遥感监测具有覆盖范围广、宏观性强的优势，能够对大面积海域进行长期、连续的监测，为海生物堵塞的预警提供宏观的数据支持。

## (二) 智能预警模型

### 1. 数据融合与分析

智能预警模型首先需要来自各种监测设备的数据进行融合和分析。将声学、光学、卫星遥感等不同监测手段获取的数据进行整合，综合考虑海生物的种类、数量、分布以及海洋环境参数等因素，提高数据的准确性和可靠性。例如，通过数据融合，可以更全面地了解海生物的动态变化，避免单一监测手段的局限性。

### 2. 预测算法

利用机器学习、深度学习等技术构建预测算法，对海生物的生长、繁殖和移动趋势进行预测。例如，基于神经网络的预测模型可以根据历史数据和当前的海洋环境参数，预测海生物在未来一段时间内的数量变化和分布情况。通过准确的预测，能够提前发出预警信号，为核电站采取防控措施争取时间。

### 3. 预警阈值设定

根据核电站的实际运行情况和安全要求，设定合理的预警阈值。当监测数据超过预警阈值时，系统自动发出预警信号。预警阈值的设定需要综合考虑多种因素，包括海生物的种类、数量对取水口堵塞的影响程度，以及核电站冷却系统的承受能力等，确保预警的准确性和及时性。

## (三) 智能决策系统

### 1. 防控策略制定

智能决策系统根据预警信息和核电站的实际情况，制定科学合理的防控策略。防控策略包括物理防控、化学防控和生物防控等多种手段。例如，当海生物数量较少时，可以采用物理拦截的方式，如在取水口设置拦污网；当海生物数量较多时，可能需要结合化学消杀或生物防治的方法，如使用环保型的消杀药剂或引入海生物的天敌等。

### 2. 资源优化配置

智能决策系统还需要对防控资源进行优化配置，确保防控措施的高效实施。根据海生物的分布情况和堵塞风险的大小，合理分配人力、物力和财力资源。例如，在海生物容易聚集的区域增加监测设备和防控设施的投入，提高防控效果，同时避免资源的浪费。

### 3. 实时调整与优化

在防控过程中，智能决策系统会根据实际情况实时调整防控策略。通过对防控效果的评估和反馈，及时发现问题并进行优化。例如，如果发现某种防控措施效果不佳，系统会及时调整方案，采用其他更有效的防控手段，以确保取水口的安全。

## (四) 智能拦污与清理技术

### 1. 智能拦污网

智能拦污网采用先进的材料和结构设计，具有自动感应和调节功能。当检测到海生物靠近时，拦污网可以自动调整网孔大小或形状，增强拦截效果。同时，拦污网还可以配备自清洁装置，定期清理附着在网上的海生物，保持网的畅通。例如，一些智能

拦污网利用水流的冲击力或超声波技术，清除网面上的海生物。

### 2. 水下机器人清理

水下机器人可以在复杂的水下环境中作业，对取水口和管道内的海生物进行清理。它们配备了各种工具，如机械臂、高压水枪等，能够高效地清除海生物。水下机器人具有操作灵活、适应性强的特点，可以到达人工难以到达的区域进行清理。例如，在狭窄的管道内，水下机器人可以利用其小巧的身形，顺利完成清理任务。

### 3. 自动化清理设备

自动化清理设备可以根据预设的程序，自动对取水口和相关设施进行清理。这些设备通常集成了多种清理技术，如过滤、冲洗、吸附等，能够实现对海生物的全面清理。例如，一些自动化清理设备采用旋转滤网和高压水冲洗相结合的方式，在过滤海生物的同时，通过高压水冲洗将滤网上的海生物清除，提高清理效率。

## 四、结论与展望

核电站取水口海生物堵塞问题是影响核电安全和可持续发展的重要因素。通过对其成因的深入分析，我们认识到海洋生态环境变化、核电站取水系统特点以及海生物自身特性等多方面因素的综合作用导致了这一问题的发生。而海生物堵塞带来的对核电运行安全、经济效益和海洋生态环境的影响也不容忽视。

智能防控体系的构建为解决这一问题提供了有效的途径。智能监测技术能够实现对海生物的实时、全面监测；智能预警模型通过准确的预测和合理的预警阈值设定，为防控措施的实施提供了科学依据；智能决策系统能够制定科学合理的防控策略，并对资源进行优化配置；智能拦污与清理技术则高效地解决了海生物堵塞的实际问题。

然而，目前的智能防控体系仍存在一些不足之处，如监测技术的精度有待提高，预警模型的准确性还需要进一步验证，防控技术的成本较高等。未来，需要进一步加强相关技术的研究和创新，提高智能防控体系的性能和可靠性，为核电事业的安全、稳定发展提供有力保障。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 颜国呈, 吕文婷. 基于电厂取水外来物堵塞的预防管理[J]. 科技创新与应用, 2016.
- [3] 杜伟东, 李海森, 陈宝伟, 等. 一种基于声散射特性的有鳃鱼特征获取方法[J]. 应用声学, 2014, 33(6):505-511.
- [4] Smith J, et al. Dynamic filter optimization in nuclear cooling systems[J]. Nuclear Engineering and Design, 2022, 385:111542.
- [5] 国家核安全局. 关于近期海洋生物或异物影响核电厂取水安全事件的通报[R]. 北京: 国家核安全局, 2016.
- [6] EPRI. Cooling Water Intake Structure Biofouling Control: Technology Evaluation and Case Studies[R]. EPRI Report 1020524, 2019.
- [7] 中广核集团. 核电厂冷源安全保障技术白皮书[R]. 深圳: 中广核研究院, 2021.
- [8] 生态环境部. 中国近海富营养化状况公报[R]. 北京: 科学出版社, 2023.
- [9] IAEA. Safety Standards Series No. SSG-39: Cooling Water System Reliability[C]. Vienna: IAEA Publications, 2021.
- [10] 红沿河核电站技术团队. 智能浮标系统在冷源监测中的应用[J]. 核科学与工程, 2024, 44(3): 45-52.