

# 滨海核电厂取水安全防范及海生物保护工作调研

水力学研究所 韩瑞, 纪平, 赵懿珺, 刘彦

安全发展核电是我国应对全球变化的能源战略措施, 滨海核电厂运行通常以附近海域海水作为冷却水源, 但随着海洋环境变化及工业发展对海湾开发利用程度的加深, 近岸海域暴发性海生物堵塞电厂取水系统, 造成机组冷源丧失导致停机的事件频发, 成为核电安全运行的重要隐患。全面深入调研滨海核电厂取水安全防范是保障国家核电安全发展的重要内容, 也是核电安全生态运行的必须。

本专项主要通过对调研科研文献、核电行业总结报告、相关科研单位研究报告, 收集核电取水安全新闻报道, 参与学术交流会议等开展研究, 调研内容主要包括: 国内外取水堵塞事件及成因调研、主要堵塞海生物习性调研、取水防范工程技术及改进措施调研等。获得的主要结论如下:

## (1) 核电厂取水堵塞事件调研及分析

本研究调查了发生取水堵塞事件的核电厂及其他电厂的发生时间、原因、堵塞源、后续处理处置措施等及发生相关事件的核电厂分布, 图 1 表明了国内外发生取水堵塞事件的核电厂分布情况。



图 1 国内外发生取水堵塞事件核电厂分布图

①从事件发生的原因分析：发生取水堵塞事件的原因复杂多样，除了少数事件是由于人为原因或突发气候原因等，多数事件都是由于在核电厂设计、建设时对海洋环境的变化及海洋生物的生物习性、生长和暴发条件了解有限；

②从不同类型电厂分析：内陆核电厂及滨海核电厂均存在取水安全会面临威胁的情况，核电厂防范生物、杂物堵塞取水系统是一个综合性的议题；

③从事件发生的时间和地点分析：堵塞事件发生在时间和地域上具有高度的重现性，这与电厂所处海域环境富营养化加剧关系密切；

④从取水堵塞事故发生的国家和地区分布分析：中国渤海湾及东南沿海、日本周边海域（日本海、太平洋西部）、美国西部海域（太平洋东部）、菲律宾周边海域、阿拉伯半岛附近海域（阿拉伯海北部）、英国东北部海域（北海）等是事故的频发区，与水母等暴发性海生物的暴发区域重叠性较高；

⑤从堵塞源分析：造成取水系统堵塞的物质有生物和非生物两类，生物类主要有浮游藻类、海草、水葫芦、水母、海地瓜、海瓜子、石莼、沙蛰、虾、鱼等，其中以水母导致的堵塞事件居多；非生物类要有冰、垃圾、泥沙、麦秸秆等。其中，水母占到约 59%，是国内外发生取水堵塞事件的主要生物堵塞源；

⑥从应急处理方案分析：在事件发生后应急方案通常为人工清理、紧急安装临时拦污网、安装临时冲洗滤网装置、化学喷杀生物等，暂时缓解由于堵塞造成的安全问题和经济损失；

⑦从防控措施分析：主要采用改善后的过滤技术，增加拦污网自动清理装置，增加鱼类回收装置，增加监控系统和监测设备等。

## (2) 核电厂周边海域水质及生物信息调研及分析

我国滨海核电厂分布邻近不同海域，各工程邻近海域的潮流、水质、主要生物均有所差别。研究归纳了我国滨海核电厂周边海域关键水质与生物信息，如表

1. 由表可见：

1) 我国近海海水水质均呈现不同程度富营养化状况，其中靠近杭州湾、珠江口地区水质由于受到周围入海河流输送营养盐的影响，富营养化状况更为严重；

2) 从我国已发生取水堵塞事件（并有相关记录）的滨海核电厂分布海域分析：处于不同海域的核电厂均有取水堵塞事件发生，此类事件在我国的发生较为普遍，事件发生与否的地域性差异较小；

3) 从我国已发生取水堵塞事件的滨海核电厂堵塞源分析：核电厂的生物堵塞源与所处海域的主要生物有一定联系，但并不一定是工程海域海生物优势种或研究关注物种；

4) 从防范海生物分析：以工程海域海生物历史调研为基础，生物堵塞源主  
要包括：浮游植物、浮游动物、其它生物；

5) 从保护性海生物分析：调查中并未发现工程海域中有珍惜鱼种被调查到或堵塞取水口的记录，因此，需保护的海生物主要为各海域，尤其是作为我国重要渔场的主要经济鱼种和其他渔业资源。

表 1 我国滨海核电厂周边海域主要生物

编号	核电厂	所处海域	水质信息	生物信息
1	红沿河核电厂	渤海辽东湾	已达到富营养化	海蜇、沙蜇、水母、夜光藻、叉角藻、红色中缢虫
2	海阳核电厂	黄海北部	已达到富营养化	赤潮高发区，硅藻、甲藻
3	石岛湾核电厂			
4	田湾核电厂	黄海海州湾	中度富营养化	赤潮多发海域，赤潮藻种较多，其中以硅藻占多；水母影响小；著名渔场
5	秦山核电厂	东海杭州湾	严重富营养化	赤潮高发区，不同季节有是藻类不同，主要赤潮种为甲藻、硅藻；水母暴发的报道较少；国内主要渔场
6	秦山第二核电厂			
7	秦山第三核电厂			
8	方家山核电厂			
9	三门核电厂	东海三门湾	中度富营养化	赤潮主要种为中肋骨条藻；水母暴发记录较少
10	宁德核电厂	东海晴川湾	总体较好，局部海域已达富营养化	东海赤潮高发区南缘
11	福清核电厂	东海兴化湾		
12	大亚湾核电厂	南海大亚湾	中度富营养化	水母暴发的报告较少；赤潮暴发记录较多，主要赤潮种

13	岭澳核电厂			类有甲藻、夜光藻
14	台山核电厂	南海北部	重度富营养化	靠近珠江口赤潮高发区；水母种类较多，暴发记录较少；渔业资源良好
15	阳江核电厂			
16	防城港核电厂	南海北部湾防城港	中度富营养化	暂无水母暴发记录；赤潮高发区，赤潮主要种类有夜光藻、棕囊藻等；重要渔场
17	昌江核电厂	南海北部湾东部		

### (3) 核电厂取水防范工程技术调研分析

核电厂取水防范工程技术可分为事前预防设计和事后补救装置设计。按照对海生物和漂浮物的处理方式分，技术措施可以划分为四大类型：行为驱导技术，阻拦清除技术（拦污网设置），回收遣返技术和转移技术。目前的技术手段主要落脚于专门性装置器械的发明设计和升级改造，结合取水水动力条件研究拦污网自清洁效应的较少。

本调研围绕核电取水安全防范及海生物保护开展，研究表明造成取水堵塞的原因多元化，各核电厂堵塞涉及的关键海生物有一定差别，相应取水防范方案需有针对性开展；应协调取水安全与海生物保护技术、措施，加强水动力条件改变对海生物行为影响的研究。调研成果为后续相关研究工作的开展奠定了良好的基础。本项目拟孵化的项目有：①国家自然科学基金申请：滨海核电厂取水安全涉及海洋生物学、水力学、水工学等多学科研究的融合，具有重要的理论意义及其实际应用价值，具有依托基金开展研究的需求；②行业合作研究专项申请：研究团队

已将调研成果向中核、广核等主要核电单位以及设计单位推介，效果较好，已逐步与各单位合作申请专项研究等。