

吴晗,路超君,滕柯延.核电厂环评中影响生物多样性保护的因素研究[J].环境工程技术学报,2022,12(6):1852-1859.

WU H.L, LU C.J, TENG K.Y. Study on the factors affecting biodiversity protection in environmental impact assessment of nuclear power plants[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2022, 12(6): 1852-1859.

核电厂环评中影响生物多样性保护的因素研究

吴晗¹, 路超君², 滕柯延^{1*}

1.生态环境部核与辐射安全中心
2.中国环境科学研究院

摘要 核电厂环境影响评价是对核电厂建设项目可能造成的环境影响进行分析、预测和评估,进而提出预防的对策或降低影响的制度。核电厂环评实践中,评价要素非常广,不仅关注厂址特征、气象、水文等方面,也高度关注生物多样性保护,主要体现在评价体系、评价因素及分析论证流程的规范方面。基于此背景,指出核电厂环评中影响生物多样性的因素有卷吸效应、温排水、余氯、季节等,分析提出核电厂环评实践中存在相关规定少、温升评价方法局限性等问题;提出核电厂环评需综合考虑影响生物多样性的相关因素,建立健全法规标准体系,明确余氯、温排水排放标准,并提出利用遥感监测弥补评价方法的局限性及时开展后评价等建议。

关键词 环境影响评价;生物多样性;温排水;卷吸效应;核电厂

中图分类号:X82 文章编号:1674-991X(2022)06-1852-08 doi:10.12153/j.issn.1674-991X.20220457

Study on the factors affecting biodiversity protection in environmental impact assessment of nuclear power plants

WU Han¹, LU Chaojun², TENG Keyan^{1*}

1.Nuclear and Radiation Safety Center
2.Chinese Research Academy of Environmental Sciences

Abstract The environmental impact assessment of nuclear power plants is the process of analyzing, predicting and evaluating the possible environmental impacts caused by the construction projects of nuclear power plants, and then putting forward measures to prevent and reduce the impacts. In the practice of environmental impact assessment of nuclear power plants, the assessment elements are very wide, not only focusing on the site characteristics, meteorology, hydrology and other aspects, but also paying great attention to biodiversity protection, which is mainly reflected in the standardization of assessment system, assessment factors and analysis and demonstration process. Based on this background, it was pointed out that the factors affecting biodiversity in nuclear power plant environmental assessment included entrainment effect, thermal discharge, residual chlorine, seasons and other factors. The problems of environmental impact assessment of nuclear power plants were analyzed, such as the lack of relevant regulations in practice and the limitations of temperature rise assessment methods. It was suggested that the environmental impact assessment of nuclear power plants should comprehensively consider the related factors affecting biodiversity, establish a sound legal and standard system, and clarify the discharge standards of residual chlorine and thermal drainage. Other suggestions such as making up for the limitations of evaluation methods by remote sensing monitoring and carrying out post-evaluation timely were also proposed.

Key words environmental impact assessment; biodiversity; thermal discharge; entrainment effect; nuclear power plant

核电厂环境影响评价(简称环评)指通过对核电厂选址、建造、运行和退役进行环境影响分析、预测

和评估,根据评估结果,提出应对措施,减轻环境影响。核电厂环评的主要法律法规标准由以《中华人

收稿日期:2022-05-11

基金项目:国家重点研发计划项目(2020YFC1806600)

作者简介:吴晗(1985—),女,高级工程师,硕士,主要从事核与辐射安全监管能力建设及政策研究, wuhanjlu@163.com

* 责任作者:滕柯延(1983—),男,高级工程师,硕士,主要从事核设施环评文件审查及法规标准研究, tengkeyan@chinansc.cn

民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》为顶层的上位法引导,由一系列技术导则组成。制度体系中,不仅规定了需对核电厂项目在设计、建造、运行等阶段拟采取的环境污染防治措施和生态破坏控制措施的合理性、可行性进行评价,而且强调了需全面预测评价核电厂建设和运行可能造成的生态环境影响,评价要素包含放射性流出物、工业废水、生活污水和大气污染物、噪声、电磁辐射以及循环冷却水取排水等,评价内容覆盖核电厂项目所有工程,包括主体工程、配套工程和辅助工程等。

核电厂对海洋生物的影响是一个复杂的过程,在核电厂环评过程中需要综合考虑取排水、温排水及余氯对水生生物的综合影响,充分考虑环境因素、工程因素、经济因素等,结合海域情况,分析生态敏感性,优化核电厂取排水方案。世界主要发达国家持续关注量化核电厂冷却系统对海洋生物的热影响、取水卷吸机械作用以及余氯的影响。我国高度重视生物多样性保护,在环评实践中,不断完善评价体系、探索评价因素、健全评价流程,将生物多样性统一考虑,如大亚湾等数个核电基地陆续发布了生物多样性保护报告。然而针对核电厂取排水生态效应的研究不多,仅有部分学者关注典型核电厂温排

水对浮游生物生态效应的个例研究^[1]。因此,通过深入开展核电厂建设项目中评价体系、评价因素研究,有益于科学评价核电厂建设项目对海洋生物的影响,为完善核电厂环评标准、保护生物多样性提供依据和技术支撑,进而实现核能在为社会提供清洁能源的同时,注重与周边生态和谐共生。

1 环境影响评价实践

生物多样性一般来说指地球上陆地、海洋等生态系统的生物多样化程度,通常分为生态系统多样性、物种多样性和遗传多样性3个层面。生态系统多样性是指一个国家或区域生态多样化的程度;物种多样性主要指物种现状、形成及进化的原理;遗传多样性是进化和适应的基础,即物种遗传性越丰富,对环境的适应能力就越强。核电厂对海域生态系统的影响主要体现在取水装置的卷吸效应、温排水排放温升以及冷却水加氯对核电厂所在海域物种多样性的影响等方面。

1.1 评价体系

近年来,在《中华人民共和国环境影响评价法》的指导下,核电厂环评的法规标准体系不断完善。系列环评导则中均有专门要求(表1),引导核电厂建设项目开展环评过程中关注生物多样性保护问题。

表1 部分导则中关于生物多样性保护的有关要求

Table 1 Relevant requirements of some guidelines on biodiversity protection

| 标准号 | 标准名称 | 主要内容 | 生物多样性保护的部分具体要求 |
|--------------|-------------------------------|-----------------------------|--|
| HJ 19—2022 | 《环境影响评价技术导则 生态影响》 | 明确生态影响评价的原则、工作程序、内容、方法及技术要求 | 生态影响评价应能够充分体现生态完整性和生物多样性保护要求 |
| HJ 808—2016 | 《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》 | 要求描述取水、温排水对水生生物的影响 | 明确受纳水体环境质量现状调查与评价要求,说明厂址半径15 km范围内的环境保护目标等事项 |
| HJ 1037—2019 | 《核动力厂取排水环境影响评价指南》 | 开展核动力厂取水、温排水环境影响分析 | 对冷却水取水设施、卷塞、重要代表物种等做了定义,明确重要代表物种的选择方法 |
| HJ 1213—2021 | 《滨海核电厂温排水卫星遥感监测技术规范》 | 明确技术原理、监测技术与方法、质量控制 | 列出核电厂温排水卫星遥感监测示例 |

HJ 19—2022《环境影响评价技术导则 生态影响》适用于建设项目的生态影响评价,将生态影响评价分为3个阶段:1)收集资料、现场踏勘,确定评价等级、评价范围;2)开展生态现状评价和影响预测分析;3)提出对策及措施,制定管理和监测计划,给出生态影响评价结论。在生态影响评价的总体要求下,核电厂建设项目主要依据HJ 808—2016《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》开展环评工作。然而,作为核电厂环评工作的总体指导性文件,HJ 808—2016并未细致针对核电厂取排水环境影响开展细化,只是要求概括性描述取

水、温排水对水生生物的影响。HJ 1037—2019《核动力厂取排水环境影响评价指南》提出了取水环境影响分析,指出应通过对比历史数据、运行前的调查资料以及其他核动力厂的运行经验,获得可信的生物损失量估算。同时,该指南提出了温排水的生物影响评价方法、评价标准以及热扩散区设置和范围的要求,为科学评判核电厂取水及温排水环境影响提供基础^[2],为核电厂温排水环评中混合区范围如何确定、生物影响评价困难等问题提供了解决方法。HJ 1213—2021《滨海核电厂温排水卫星遥感监测技术规范》侧重于滨海核电厂温排水的卫星遥感监测,

通过明确卫星遥感监测方法、技术流程等内容,为核电厂建设项目环评提供技术支撑。

相较于核电厂取水,关于核电厂温排水的规定较为详细。《中华人民共和国水污染防治法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》、GB 3838—2002《地表水环境质量标准》、GB 3097—1997《海水水质标准》等多从水质标准方面对核电厂温排水加以约束(表 2)。

表 2 部分法规标准中关于温排水的规定

Table 2 Provisions on thermal discharge in some regulations and standards

| 名称 | 内容 |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 《中华人民共和国水污染防治法》 | 向水体排放含热废水,应当采取措施,保证水体的水温符合水环境质量标准 |
| 《中华人民共和国海洋环境保护法》 | 向海域排放含热废水,应采取措施,避免热污染对水产资源的危害 |
| GB 3838—2002《地表水环境质量标准》 | 人为造成的水温变化周平均最大温升应不得超过1℃ |
| GB 3097—1997《海水水质标准》 | 根据四类水体情况,分夏季及其他季节,对人为造成的温升限制加以规定 |

1.2 评价因素

核电厂建设项目环评实践中,评价体系是制度保障,评价因素的确定则使环评工作更为标准化、规范化,而不是简单的一项目一议。一般来说,影响生物多样性保护的因素主要有生物因核电厂抽取循环冷却水而进入核电厂冷却系统的卷吸效应、核电厂温排水对周围海域的温升因素、核电厂冷却系统低浓度氯的因素、季节因素等。

1.2.1 卷吸效应

卷吸效应是指生物因核电厂抽取循环冷却水而进入核电厂冷却系统,在其中受到压力、机械撞击等因素影响而死亡的现象。核电厂冷却系统一般采用直流供水冷却方式,利用海水作为介质进行热交换。核电厂运行过程中,需抽取大量的海水作为循环冷却水,对周围海域生物存在一定的卷吸效应。一般认为,卷吸效应与取水口附近的生物密度、种类以及取水量、取水流速、取水口的布置等因素有关^[3]。但也有研究表明,卷吸效应所致的海洋生物损失是较小的。如美国某实验室采用数学模型对一家核电厂的卷吸效应进行分析论证,结果表明核电厂取水所致的卷吸效应在 4.7% 左右,远低于鱼卵、仔鱼 10% 的自然存活率^[4]。

HJ 808—2016 要求核电厂在选址及建设阶段开展核电厂直流系统与二次循环系统的比选,对取水方案予以明确。近年来我国在环评审批中要求建设单位就取水方案对水生生物的影响予以论证,并根据论证情况开展取水口生态监测,以分析评估取水

的实际影响。

核电厂环评中卷吸效应的评价主要采取分析预测与实际监测相结合的方法。以北方某核电厂为例,该核电厂在运行阶段环评报告中分析预测核电厂运行后卷吸效应造成的鱼卵损失为 5.78×10^8 个、仔鱼损失 2.97×10^8 个,考虑到核电厂取水口附近受卷吸效应影响的海洋生物在附近海域中均有大量分布,得出取水造成的卷吸影响较小,不会影响物种种群水平发展的结论。但由于环评报告中仅给出鱼卵/仔鱼损失数量,没有给出鱼卵/仔鱼损失率,因此,环评审评部门判定,核电厂关于取水造成的卷吸影响较小和不会影响物种种群水平发展的分析预测不成立,要求建设单位辅以生态监测等手段,综合考虑取水的实际影响。建设单位依照要求,对核电厂运行机组可能引发浮游藻类、浮游动物、鱼类、仔虾等的卷吸效应进行了现场实测(表 3)。结果表明,进入冷却系统的浮游藻类的机械损伤率不高,并且可以在较短时间内(72 h)达到自然海水中的数量;浮游动物的机械损伤率较高,但其繁殖快,生殖周期短,30~144 h 内即可恢复至自然海水中数量;对于进入核电厂冷却系统的鱼类,受卷吸效应影响的幼鱼致死率与其体长呈负相关,仔虾的致死率则与密度呈正相关。

表 3 北方某核电厂卷吸效应现场连续 2 年监测结果

Table 3 Field monitoring results of entrainment effect in a nuclear power plant in northern China

| 类别 | 机械损伤率/% | 平均值/% |
|------|-------------|-------|
| 浮游藻类 | 11.98~27.08 | 20.33 |
| 浮游动物 | 42.13~64.12 | 55.80 |
| 鱼类 | 31.62~46.23 | 43.88 |
| 仔虾 | 24.31~56.91 | 40.70 |

一般来讲,卷吸效应可以通过工程措施来减缓。如在取水口外设置拦污网、建设导流堤,对大型海洋生物进行拦截,从而在防止海洋生物堵塞取水口的同时,保护海洋生物免受机械损伤。

1.2.2 温排水

核电厂冷却系统通过海水的直流供水冷却后,大量冷却水直排入海与海水充分混合,造成局部海域水温升高,视为温排水^[5]。通过温升模型分析,在选址、建造、运行阶段持续开展温排水对海洋生物的影响评价,并适时开展后评价工作,是将生物多样性保护纳入环评的重要探索实践。实践中常通过物理模型和数学模型 2 种研究手段来预测温排水的掺混扩散规律。物理模型试验是将原型按照一定比例

缩小, 通过建立与原型相似的温度场、流场来模拟原型, 并通过对模型中温排水行为特征的观测和数据分析, 推导确定温排水的扩散特征; 数值模拟计算是通过建立数学模型, 计算水流运动, 得到具体数值, 从而对温度场、流场进行定量描述^[6]。2 种方法特征不同, 具有一定的互补性。数学模型计算可以模拟大范围海域的潮流场和温排水扩散特性; 物理模型试验能较为准确地模拟取、排水口近区水域的三维水力、热力特性, 可较好地预测近区温升场和机组的取水温升。

在核电厂环评实践中, 常将数学模型与物理模型相结合对核电厂环评中温排水影响范围进行综合预测, 如排水口近区影响范围通常采用物理模型试验结果, 排水口远区影响范围往往采用数学模型计算结果。

核电厂运行后, 需要对温排水影响范围进行观测, 与预测结果进行综合分析, 并及时开展后评价。一般来讲温排水影响范围观测主要有直接观测、航空遥感观测、卫星遥感观测, 3 种方法因其特点不同而各有利弊(表 4)。

表 4 核电厂温排水影响范围观测方法比较

Table 4 Comparison of monitoring methods for the scope of thermal discharge in nuclear power plants

| 方法名称 | 优点 | 缺点 |
|--------|---|---------------------------|
| 直接观测 | 能够反映海水点位的真实温度, 垂向分布情况也可以体现出来 | 观测精确度取决于实际布点密度, 成本高 |
| 航空遥感观测 | 能够进行大范围实时观测 | 受空域使用、观测飞机起降、天气等因素影响, 成本高 |
| 卫星遥感观测 | 利用卫星影响的热红外波段数据来推导海面温度, 能够反映较大区域内海域温度场变化情况, 实现实时观测 | 受观测当日气候、潮型等因素影响较大 |

1.2.3 余氯

核电厂一般通过在冷却系统中加入低浓度氯, 用以阻止海洋中软体动物如贝类的幼体在管壁内的附着, 因此核电厂冷却水中含有一定浓度的余氯。国内外已有研究主要通过研究余氯对生物群落的影响, 积累余氯对浮游植物、浮游动物、贝类、鱼类等的基础资料, 进而分析核电厂对海域生态环境的负面影响(表 5)^[7]。

一般来讲, 余氯对冷却系统中水生生物的主要致毒影响为浓度水平、作用时间、水体温度、盐度、pH 等综合因素的作用。较低的 pH 及较高的温度都促使余氯毒性增强, 而光照会引起余氯毒性降低。也有学者认为, 由于海水运动对余氯排放区域有强

表 5 余氯对部分水生生物的影响研究^[7]

Table 5 Effects of residual chlorine on some aquatic organisms

| 种类 | 特点 | 对余氯的耐受性 |
|------|-----------|--|
| 浮游植物 | 具有较强的恢复能力 | 余氯主要通过抑制光合作用来影响浮游植物生长, 浮游植物损伤后能较快恢复, 但种类组成可能发生变化 |
| 贝类 | 对氯较敏感 | 主要影响因素为浓度水平: 当余氯浓度较低时, 贝类仍可以打开外壳摄食, 但外壳开闭频率明显降低; 随着余氯浓度升至较高时, 贝类被迫关闭外壳, 只能依靠体内积蓄的能量生存 |
| 浮游动物 | | 主要影响因素为浓度水平、作用时间等。在余氯浓度较高时, 通过影响并阻碍鱼鳃与水中溶解氧的交换来对鱼类造成损害, 但同时也发现有些鱼类可以通过自身的调节, 对氯产生一定的抗性 |
| 鱼类 | 鱼鳃对氯较敏感 | |

稀释作用, 同时由于氯产生的残余氧化剂在海水中衰减很快, 因此余氯对海洋生物的影响十分微弱。

国外研究人员通过对浮游植物、浮游动物(贝类和鱼类)在内的百余种水生生物的余氯耐受性进行研究, 证明浮游植物受余氯影响较大。当水中余氯浓度达到某一限值时, 浮游植物光合作用显著降低; 当余氯浓度继续升高, 可以直接杀死水中 60%~80% 的藻类。贝类对余氯浓度较为敏感, 当余氯浓度达到某一限值时, 贝类外壳关闭, 无法摄食, 只能通过消耗自身能量维持生存; 鱼类受余氯影响较大, 主要体现为阻碍鱼鳃与水中溶解氧的交换来对鱼类造成损害。由此可见, 不同水生生物对氯的忍受性有所不同。为了保护海域生态环境, 核电厂环评审评部门要求核电厂建设项目综合考量生态结构完整性和生物多样性保护, 以接纳海域主要生物的耐受值为依据开展环评。

我国关于余氯对水生生物影响的研究起步较晚, 我国法规标准中缺乏冷却水余氯的排放标准^[8], 因此, 在确定冷却水余氯排放标准的基础上, 开展氯对水生生物的影响研究, 进而分析其对生态演替的影响, 积累不同水生生物影响的环境基础资料, 具有重大生态学意义。

1.2.4 季节因素

除卷吸效应、温排水、余氯等因素外, 核电厂环评中也考虑了地理因素和季节因素对海域生物多样性的影响。我国南方地区季节性变化较小, 但季节温度最大值差值较大, 因此达到敏感生物温度上限的可能性大, 而排放口和接纳水体之间则维持较稳定的温度梯度^[9]。我国北方地区季节性变化较大, 接纳水体环境温度较低, 排放口和接纳水体之间有较强烈的温度梯度。

以北方某核电厂为例, 冬季和夏季核电厂 6 台机组运行期间温升包络面积如图 1 所示。由图 1 可

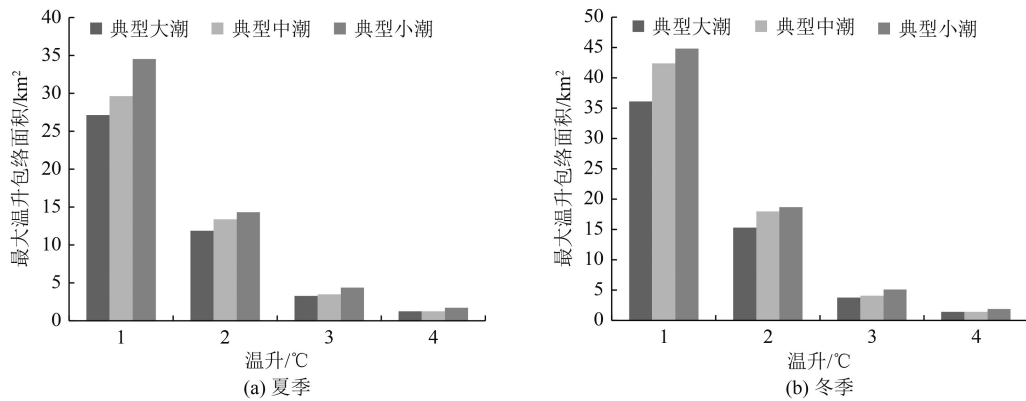


图 1 北方某核电厂夏季、冬季 6 台机组运行期间各典型潮条件下温升包络面积

Fig.1 Envelope area of temperature rise under typical tidal conditions during the operation of six units of a nuclear power plant in northern China in summer and winter

见,典型大潮下潮流最强,掺混最充分,因而高温升温区面积最小,温升影响面积也较小;中潮次之;小潮与大潮相反,高温升温区面积最大。冬季因水面综合蒸发散热能力相对较小,所以温升包络面积较夏季有所增大。

核电厂建设项目用海批复对用海面积、范围、用途均有明确规定。核电厂环评审批实践中,通常依据环评报告中核电厂温排水的温升预测范围及面积,对照建设项目用海批复,判断温升包络面积是否在用海范围内。同时,根据核电厂建设项目所在海域附近是否划定海域功能区、自然保护区、海洋生态红线等情况,综合判断核电厂建设项目对水生生物的影响。

1.2.5 综合影响因素

在核电厂建设项目实施中往往综合考虑取水、温排水及余氯对水生生物的综合影响。例如美国水晶河(Crystal River)核电厂设置机械通风冷却塔,以避免温排水破坏排放口周围的浮游动物及浮游植物^[10]。相反,美国圣奥诺弗雷(San Onofre)核电厂经过评估其温排水影响较小,则通过增加排水温度而减小取水量,以降低取水卷吸效应。也有研究认为水生生物受损伤程度因生物种群耐受能力不同而不同。如法国格拉沃利纳(Gravelines)核电厂的监测表明,卷吸及热效应对浮游动物造成的死亡率较低,对鱼类的卵及幼鱼造成的死亡率较高。具体来讲,鲱鱼对撞击较为敏感,受影响程度较大,比目鱼、鳗鱼、鲈鱼则对卷吸抗力较强,受影响程度较小^[11]。

HJ 1037—2019 提出了最佳实践技术的理念,即从减少冷却水取水和温排水对环境的负面影响优化方案中,比选确定最优技术方案。实践中通常要求判定取水、温排水设施对海洋生物直接或潜在的影响,综合考虑海洋生物在水体中的区域价值,判定核

电厂建设项目对海洋生物的影响,从而优化核电厂取排水方案。

1.3 环境影响分析论证流程

生物多样性保护纳入环评实践除了体现在评价体系和评价因素方面外,也体现在系列导则中的环境影响分析论证流程上。根据核电厂建设项目影响区域的生态敏感性和影响程度,HJ 19—2022 明确 3 个评价等级,要求环评过程中开展评价等级及评价范围判定。涉及国家公园、自然保护区、世界自然遗产等情况时评价等级为一级;涉及自然公园、生态保护红线等情况时,评价等级为二级或不低于二级;除一级、二级外,其余情况为三级。根据不同评价等级的技术要求开展生态现状评价和影响预测分析,进而依照评价和预测结果,确定工程方案,并制定相应的生态监测计划,得出生态影响评价结论。

在核电厂取水方面,HJ 1037—2019 明确,取水环评分析的总体目标是获得充分的环境影响信息,以确定冷却水取水设施的位置,判定最佳实践技术。同时,该导则详细规定了取水环评分析论证流程,尤其是要求建设项目在建造阶段环境影响报告书中要收集资料,初步判定取水影响。对于初步判断环境影响为小的几种情况,将其归为简要分析类型;其他情形则需要开展文献调研、现场调查和试验研究,通过估算或模型计算进行取水环境影响分析和评价(图 2)。

在核电厂温排水方面,HJ 1037—2019 要求,在分析评价温排水影响时,应证明温排水限值能够满足水体质量的管理要求,以及基本上不影响受纳水体中关键物种和经济物种的生长和繁育。同时,HJ 1037—2019 对温排水环评分析论证流程有了详细的规定。尤其是要求建设项目在建造阶段环境影响报告书中要收集必要的资料,初步判定温排水的环境

影响。对于初步判断环境影响为小的几种情况, 将其归为潜在影响小的分析论证类型; 除此以外, 归

为选择重要代表物种 (RIS) 保护的分析论证类型 (图 3)。

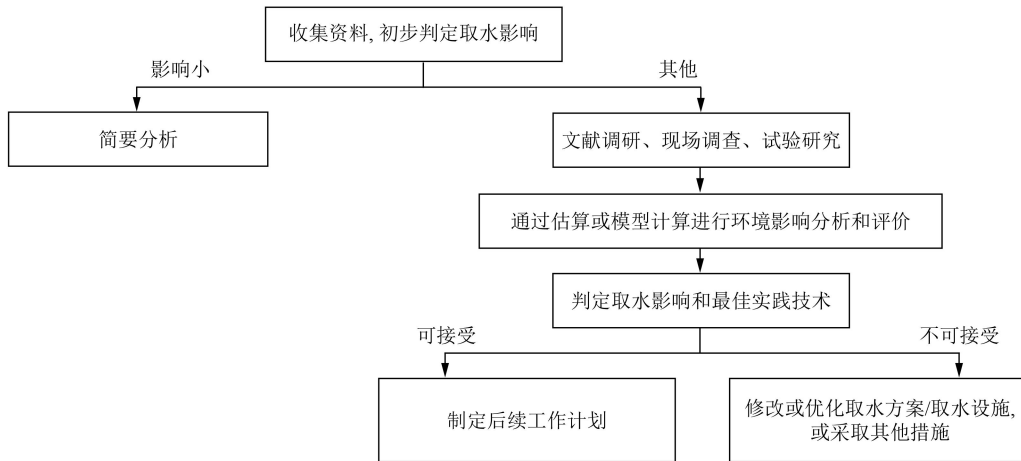


图 2 核电厂建造阶段取水环评分析论证流程

Fig.2 Analysis procedure of environmental impact assessment of water intake in the construction stage of nuclear power plant

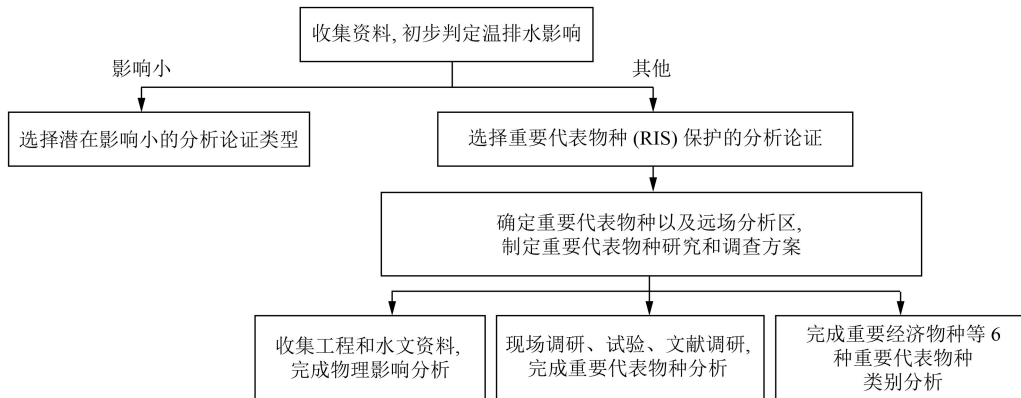


图 3 核电厂建造阶段温排水环评分析论证流程

Fig.3 Analysis procedure of environmental impact assessment of thermal discharge in the construction stage of nuclear power plants

2 存在的问题与建议

2.1 问题

2.1.1 现行法规或标准中涉及取水、温排水环评的内容较少

现行法规或标准中涉及取水与温排水环评及温升控制的内容大多为原则性规定。如 GB 3097—1997 对海水水质标准提出了一般性规定, 但缺乏温度上限值的要求, 更没有区域差异及地方标准。GB 3097—1997 根据近岸海域使用目标的不同, 划定 4 类环境功能区, 明确了不同环境功能区的海水水质标准, 但没有明确受温排水热影响混合区的划定方法及范围, 也没有设定定量指标。

目前我国法律法规中缺乏余氯、温排水的排放标准, 同时, 热污染控制标准体系中的混合区参数不明确, 导致在环评实践中缺乏可行性。由于缺少环境背景资料和水体中代表性水生生物各生命阶段生

活习性资料以及温度耐受参数^[12], 难以准确评价各种受纳水体中温排水对水生生物的影响。我国目前对核电厂取水、温排水、余氯等因素对生态环境影响评价的审查, 只能通过“一事一议”的办法确定可接受性, 这严重制约着核电厂环评的发展及生物多样性保护进展。因此制定中国的余氯及温排水排放标准极为必要, 同时, 根据当地水生生物的适温习性, 制定有地域特性的温升限值, 具有重大的生态环境保护意义。

2.1.2 核电厂环评评价方法具有局限性

核电厂环评中, 通常采取物理模型和数学模型 2 种手段进行论证分析。作为温升预测手段的物理模型和数学模型具有相似的表现形态, 即在排放口附近掺混较剧烈而温降快, 因而高温区面积较小; 随着温排水向离岸扩散, 出流动能逐渐减弱, 其分布形态则受潮流作用而形成狭长状。然而物理模型与数

学模型都有局限性,物理模型能较为准确地模拟取水、排水口的三维水力、热力特性,但模拟范围较小,热量在边界上容易溢出使得模拟失真;而数学模型可以模拟大范围海域的潮流场和温排水扩散特征^[13],但有学者认为该模型属于远区模型,无法准确模拟排水近区的三维特性。从核电厂近年来开展的监测实践和相关研究成果来看,通过卫星遥感监测手段反映的扩散规律,往往温升包络面积小于物理模型和数学模型预测的面积,这基本符合模型预测偏向保守的认知。除此之外,全三维紊流模型可以精准模拟核电厂温排水的热力等特征,但实践中因为该模型较为复杂、计算量较为庞大,而并未普及应用。

2.1.3 核电厂环评缺乏海域使用论证的综合考虑

HJ 1037—2019 要求在核电厂选址阶段,收集历史数据和文献资料,开展详细而全面的生物调查,描述水生生物资源的历史和现状;在核电厂建造和运行阶段,在生物调查的基础上,进行取水现场调查和温排水模型试验,并对数据进行分析 and 评价,综合说明核电厂取排水对水生生物的影响。

近年来,我国已经通过海洋生态调查在海洋生态系统的基本群落结构方面积累了大量的环境数据。基于海洋生态调查的海域使用论证是对建设项目海域使用的必要性、合理性和可行性进行综合分析评估的过程。在核电厂环评实践中依据海洋生态调查数据开展海域使用论证情况较少,无法综合利用生态资料量化核电厂环境影响,无法进一步提高环评的科学性及权威性。

2.2 建议

2.2.1 积极开展生态系统和生态功能整体影响评价

核电厂环评是生物多样性保护的重要手段,未来,除了侧重于有重要经济价值而受社会关注的物种,还应进一步研究核电厂取排水对生态系统整体结构和生态功能的整体影响,完善基础环境数据库,开展生态系统整体研究,加强生物多样性保护。

2.2.2 有序实施核电厂温排水监测

核电厂环境影响预测评价所用的数学模型和物理模型存在着一定的局限性,因此,需要利用卫星遥感监测技术开展实测,通过数据检验和反馈,提高建模的合理性和结果的准确度,为环评提供更加准确的技术依据^[14]。卫星遥感监测侧重于在核电厂运行后,对附近海域的实际温升情况进行监测,从不同点位对结果进行分析验证^[15],包括监测实际温升范围与运行核电机组的关系,评价温升范围内水质是否符合近岸海域环境功能区划水质标准,分析温升对

附近水产养殖的影响等^[16]。

2.2.3 适时进行后评价

后评价是核电厂建设项目采取改进措施的重要环节。核电厂运行一段时间后,为了评价取水和温排水对生物的实际影响,需要进行环境影响后评价,用以深入推进生态环境保护及提高风险防范措施的有效性。对于取水来讲,根据卷吸效应的监测结果和水生生物调查结果,评价现有取水设施的环境影响,现有设施环境影响大时,提出补救方案和改进措施;现有设施环境影响小时,后评价分析论证结束。对于温排水来讲,需要在核电厂运行后 5 年内,整理、收集温排水的物理影响、生物影响的监测结果,根据监测结果开展综合分析 and 评价,现有设施环境影响大时,提出改进补救方案和改进措施,现有设施环境影响小时,后评价分析论证结束。

参考文献

- [1] 唐森铭,严岩,陈彬.春夏季大亚湾核电厂温排水对海洋浮游植物群落结构的影响[J]. *应用海洋学学报*, 2013, 32(3): 373-382.
TANG S M, YAN Y, CHEN B. Impacts of thermal effluent on the phytoplankton community structures nearby Dayawan Nuclear Power Station in spring and summer[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2013, 32(3): 373-382.
- [2] 吴庆旺.新形势下滨海核电厂取排水方案研究[J]. *给水排水*, 2017, 53(10): 68-71.
- [3] WU Q E, LI C H, SUN D R. Discussion on feasibility of adjustment program for Jiangmen Chinese White Dolphin Provincial Nature Reserve[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2010, 11(5): 144-147.
- [4] 魏新渝,张琨,王韶伟,等.美国滨海核电厂温排水混合区的设置及启示[J]. *海洋科学*, 2017, 41(8): 53-63.
WEI X Y, ZHANG K, WANG S W, et al. Insights on the development of thermal discharge mixing zones from US nuclear power plants in coastal regions[J]. *Marine Sciences*, 2017, 41(8): 53-63.
- [5] 张爱玲,王韶伟,赵懿珺,等.滨海核电厂温排水环评关键问题分析[J]. *环境影响评价*, 2015, 37(3): 57-60.
ZHANG A L, WANG S W, ZHAO Y J, et al. Analysis of key issues in environmental impact assessment of thermal discharge from coastal nuclear power plant[J]. *Environmental Impact Assessment*, 2015, 37(3): 57-60.
- [6] 高燕芳.潮汐水域水力热力特性模拟及工程应用[J]. *水资源与水工程学报*, 2012, 23(1): 153-156.
GAO Y F. Simulation and application about hydraulic and thermal characteristic in tidal area[J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2012, 23(1): 153-156.
- [7] 刘永叶,杨阳,乔亚华,等.关于国内温排水生态影响研究的建议[J]. *环境与可持续发展*, 2017, 42(3): 47-49.

- LIU Y Y, YANG Y, QIAO Y H, et al. Suggestions on the research of ecological impact of thermal discharge in China[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2017, 42(3): 47-49.
- [8] 曾江宁, 陈全震, 郑平, 等. 余氯对水生生物的影响[J]. *生态学报*, 2005, 25(10): 2717-2724.
- ZENG J N, CHEN Q Z, ZHENG P, et al. Advanced in effect of residual chlorine on hydrobios[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2717-2724.
- [9] 王璐, 熊乐航, 张远, 等. LNG接收站冷排水的温降及余氯对水环境影响的数值模拟: 以湄洲湾东吴港区为例[J]. *环境工程技术学报*, 2021, 11(5): 962-969.
- WANG L, XIONG L H, ZHANG Y, et al. Numerical simulation of temperature drop and residual chlorine effect on water environment in LNG receiving station: a case study in Dongwu Port area of Meizhou Bay[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2021, 11(5): 962-969.
- [10] 魏新渝, 张琨, 党煜钦, 等. 美国滨海核电厂温排水及生态影响分析和启示[J]. *科技导报*, 2017, 35(23): 94-102.
- WEI X Y, ZHANG K, DANG Y Q, et al. Analysis and enlightenment from thermal discharges and their ecological impacts of American nuclear power plants in coastal regions[J]. *Science & Technology Review*, 2017, 35(23): 94-102.
- [11] ZHANG H, JARIĆ I, ROBERTS D L, et al. Extinction of one of the world's largest freshwater fishes: lessons for conserving the endangered Yangtze fauna[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 710: 136242.
- [12] 柏育材, 李鸣, 徐兆礼, 等. 冷排水中余氯对鱼类毒理效应和资源损失量估算方法的研究[J]. *生态毒理学报*, 2011, 6(6): 634-642.
- BAI Y C, LI M, XU Z L, et al. Toxic effects of residual chlorine from cooling water on fish and evaluation method of fishery resources loss[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2011, 6(6): 634-642.
- [13] 魏国良, 魏新渝, 刘永叶, 等. 核电厂温排水环境影响评价现状及问题探析[J]. *科技导报*, 2016, 34(15): 66-71.
- WEI G L, WEI X Y, LIU Y Y, et al. The current situations and problems in environmental assessment of thermal discharge from nuclear power plant in China[J]. *Science & Technology Review*, 2016, 34(15): 66-71.
- [14] 刘永叶, 刘森林, 陈晓秋. 核电站温排水的热污染控制对策[J]. *原子能科学技术*, 2009, 43(增刊1): 191-196.
- LIU Y Y, LIU S L, CHEN X Q. Control countermeasures about thermal pollution of thermal discharge from nuclear power plants[J]. *Atomic Energy Science and Technology*, 2009, 43(Suppl 1): 191-196.
- [15] 杨红艳, 朱利, 吴传庆, 等. 核电厂温排水遥感监测及环境影响分析[J]. *环境保护*, 2018, 46(21): 18-22.
- YANG H Y, ZHU L, WU C Q, et al. Remote sensing monitoring and environmental impact analysis of nuclear power plant thermal discharge[J]. *Environmental Protection*, 2018, 46(21): 18-22.
- [16] FORZIERI G, ALKAMA R, MIRALLES D G, et al. Satellites reveal contrasting responses of regional climate to the widespread greening of Earth[J]. *Science*, 2017, 356(6343): 1180-1184. ◇