

· 管理与改革 ·

海洋风电场水下噪声评估与管理研究

陶毅¹, 王强², 许肖梅^{1*}

(1. 厦门大学海洋与地球学院, 水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 福建 厦门 361102;
2. 长江三峡集团福建能源投资有限公司, 福建 福州 350001)

摘要:总结了海洋风电场建设中水下噪声的主要类型与声学特性, 基于国内外水下噪声对海洋生物影响的最新研究成果, 分析了海洋风电场噪声对生态环境的可能影响, 尤其是近岸海域海洋风电施工期冲击式打桩噪声对海洋生物的影响。在此基础上, 参考《海上风电工程环境影响评价技术规范》的相关内容, 提出了海洋风电场水下噪声测量与评估方法, 以及控制与降低噪声的措施建议。

关键词: 海洋风电; 噪声测量; 噪声评估; 水下打桩; 海洋生物

中图分类号: X827; P76 **文献标志码:** B **文章编号:** 1006-2009(2021)02-0001-04

Study on Underwater Noise Assessment and Management of Offshore Wind Farms

TAO Yi¹, WANG Qiang², XU Xiao-mei^{1*}

(1. *Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technology of the Ministry of Education, College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361102, China;*
2. *Three Gorges Group Fujian Energy Investment Ltd., Fuzhou, Fujian 350001, China*)

Abstract: This paper overviewed the main types and acoustic characteristics of underwater noise in the construction of offshore wind farms, and analyzed the possible effects of the noise from offshore wind farms on the ecological environment, especially the impact of percussive piling noise on marine lives during the construction period of offshore wind power, based on the latest research at home and abroad. Referring to “Technical Guidelines for Environmental Impact Assessment of Offshore Wind Power Projects”, this paper established the measurement and assessment method for underwater noise of offshore wind farms, and put forward the measures and suggestions of controlling and reducing underwater noise.

Key words: Offshore wind power; Noise measurement; Noise assessment; Underwater piling; Marine lives

传统化石能源存量少, 不可再生, 污染严重。为实现资源可持续发展, 开发绿色能源, 大规模推进海上风电工程建设已成为我国能源建设的重点方向^[1-2]。相比于陆上风电场, 海上风电场具有更多优势: 避免占用陆上土地资源; 沿海风速大, 具有充足的风能资源; 风电机组的单机容量大, 理论年发电量及年上网电量等效满负荷小时数多等^[3-4]。2010 年上海东海大桥 100 MW 海上风电场示范工程并网发电, 是我国第一个也是亚洲第一个海上风电场, 标志着我国基本掌握了海上风电工程建设技术, 为我国海上风电场的大规模发展积累了宝贵经

验。2016 年 11 月, 国家能源局正式印发的《风电发展“十三五”规划》提出, 到 2020 年底, 计划海上风电累计并网装机容量达到 5 GW 以上, 重点推动江苏、浙江、福建、广东等省的海上风电建设。

海上风电工程建设对生态环境的影响不容忽视^[5-6], 水上、水下噪声场因风电场而引起的变化

收稿日期: 2020-07-27; 修订日期: 2021-02-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41676024, 41976178)

作者简介: 陶毅(1973—), 男, 重庆人, 助理教授, 博士, 主要从事海洋声学研究。

* 通信作者: 许肖梅 E-mail: xmxu@xmu.edu.cn

值得关注。海洋风电工程在施工和营运阶段会产生不同特点的噪声场^[7]。由于拥有丰富的浅海域风资源,丹麦、瑞典、荷兰、英国等国家于20世纪80年代最早进行海上风电开发,也较早对海上风电场引起的水下噪声开展研究。如英国2003年建成North Hoyle海上风电场,Nedwell等^[8]较为深入地开展了营运期水下噪声监测。还有学者开展了海上风电场水下噪声对海洋哺乳动物和鱼类的影响研究,如Kastelein等^[9]分析了海上风电场桩基施工声源级及对鲑鱼的影响。2017年国际标准化组织(ISO)发布了海上打桩噪声测量的国际标准^[10]。我国原国家海洋局于2014年发布了《海上风电工程环境影响评价技术规范》(以下简称《技术规范》)^[11],针对海上风电场建设施工期和营运期水下噪声监测及评估提出了相应的要求。由于海洋环境的复杂性、多变性及海洋生物的丰富性,仍然需要进一步开展水下噪声对不同海洋生物的影响研究,根据最新科研成果及时解决水下噪声评估与管理中的关键问题,同时提高相关从业单位和人员的认知。今总结海洋风电场建设中水下噪声的类型与声学特性,分析海洋风电场噪声对生态环境的可能影响,尤其是近岸冲击打桩噪声对海洋生物的影响。在此基础上,参考《技术规范》的相关内容,提出海洋风电场水下噪声测量与评估方法,以及控制与降低噪声的措施建议。

1 海洋风电噪声的类型与特性

海上风电场建设按照施工周期,可分为准备期、施工期、营运期和退役期4个阶段,每个阶段都会产生不同类型和特性的噪声。

在施工前的准备期,主要工作是对施工海域进行物理勘探和生态调查。准备期噪声主要来源包括在测量施工区域深度和底质情况时使用的测深和侧扫声呐设备、勘探和调查使用的各种船只等,部分海域还会进行爆破清淤施工^[12]。

施工期是海上风电噪声产生最为密集的阶段,海上风电场施工作业特别是水下打桩会在水下产生较强的噪声场分布,典型的工程作业包括桩基打桩作业和驳船作业。施工期水下主要噪声源包括:①桩基打桩。水下打桩分为冲击打桩和振动打桩两类,冲击打桩使用桩锤对桩施加冲击力将其沉入地下,振动打桩使用旋转偏心块对桩施加交变力,通过振动将其沉入地下。随着桩基直径的不断加

大,水下冲击打桩施工成为海上风电场施工期的主要强噪声源。其特点为高声源级,单次冲击表现为脉冲式宽频波形,对于一根桩柱需要多次冲击打桩才能完成作业,因而表现为连续多个的脉冲串噪声。桩基施打的水下噪声源强主要取决于桩柱管径、重锤敲击能量、海域水深、海底地质等参量。冲击打桩噪声在时域上表现为连续脉冲串,单脉冲持续时长约100 ms,间隔时间约1 s~2 s,能量主要集中在低频段,水下噪声峰值声源级可达235 dB(re 1 μ Pa)(2 m直径钢管桩),强度比同频率的背景噪声增加30 dB~50 dB(re 1 μ Pa)^[13]。②施工机械。施工现场的各类机械设备包括装载机、吊装机械、挖掘机等,电气接线埋设和疏浚也会产生噪声,此类机械工程噪声是主要的海上施工噪声源^[14]。③运输船只。施工中土石方调配及设备 and 材料等运输会动用大量船只,其频繁行驶经过将对施工海域产生较大的干扰噪声。船舶噪声包括机械噪声、螺旋桨噪声和水动力噪声,其中,机械噪声和螺旋桨噪声为主要噪声源。船舶机械噪声是船上各种机械振动通过基座传递引起船壳振动并辐射至水下产生的噪声,包括机械运动不平衡产生的噪声、机械碰撞噪声及轴承噪声等,与船速的关联度较低。在低速情况下,螺旋桨噪声和水动力噪声的强度相对较小,船舶噪声主要为机械噪声;在高速情况下,船舶噪声主要为螺旋桨噪声。

营运期的水下噪声主要由风机运转而产生,尤其是低频噪声通过结构振动,经塔筒、风机桩基等不同路径传入水中而产生水下噪声。风机运行向水下辐射噪声的声传播路径有3条,分别为风机运行的噪声源从空气中直接通过海面折射到水下、通过风机塔架传导到水中,以及从风机塔架到海底再辐射到水中。厦门大学对营运期水下噪声的类比监测结果表明,风机运行中水下噪声的频谱级分布基本相似,总体强度随频率增加而明显减小,在1 kHz~20 kHz范围内功率谱级分布在65 dB~150 dB(re 1 μ Pa)之间,在120 Hz~1.5 kHz范围内有一较宽的裙带状谱,强度增加为10 dB~20 dB(re 1 μ Pa)^[15]。由于水下噪声时间-空间-频率随时变化的特性,测量船只在远离风电场近4 km处也能测量到裙带状的低频背景噪声分布,因而该部分噪声是由远处的船运噪声所致。总体而言,因海上风机运行而引起的水下噪声强度变化不明显,与海域其他点位测量的背景噪声基本相近,与自然

环境状况变化(如下雨、动物移动、船运)所带来的噪声级改变相比,在特定频段(120 Hz ~ 1.5 kHz)的噪声级并未提高更多。

2 水下噪声对海洋生物的影响

水下噪声对海洋生物的影响分为3类,即掩蔽动物之间的通讯、不断引起动物的警觉-生理变化,以及短暂或永久的听力伤害^[16-17]。已有研究表明,海洋生物可以从水中声传播的微质元振动察觉出声源方向,也可以用声音交流、确认和回避捕食者所在的位置,以及对周围环境获得认知^[18]。人为活动所产生的水下噪声掩蔽了海洋生物在生物学上重要的声信息,引起海洋生物行为的变化,甚至导致其伤亡。虽然目前对海洋哺乳动物如海豚、海豹等已有一些研究,但人为噪声对石首鱼等声敏感鱼类及其他非哺乳物种如鱼卵、幼鱼等的影响尚不明确。水下噪声污染与很多海洋动物行为转变之间存在着某些联系,在强噪声环境下,海洋动物离开喜爱的栖息地,改变浮游和潜水规律,改变发音形式、音量和节奏,大规模搁浅,以及与船只发生碰撞等各种表现都与噪声干扰增加有关。

由于水下噪声对海洋生物影响评估的复杂性,尽管有人工卫星监测、仪器探测和人为目测等研究方法,但是海上风电场水下噪声场对海洋生物数量,特别是对渔业资源“三场一通道”如洄游、产卵繁衍、生长等的影响还需要开展进一步研究^[19]。

3 海洋风电场水下噪声测量与评估

测量和分析海上风电场施工特别是冲击式打桩产生的水下噪声,其主要目的在于评估水下噪声对海洋生物和生态环境的影响^[20]。虽然德国、荷兰、英国、美国等国家给出了海上风电场建设中需要监测的项目内容和要求,但并未提出专门针对水下噪声的测量和控制措施^[21]。我国在海上风电工程水下噪声测量方面已经走在国际前沿,原国家海洋局就海上风电场建设发布了《技术规范》。今结合厦门大学海上风电场水下噪声监测实践,基于国内外在海上风电场水下噪声研究方面的新进展,根据《技术规范》的要求,总结了一套测量和分析近海风电场打桩施工水下噪声的方法,包括测量和分析两部分内容。

测量内容包括辅助数据和水下噪声。辅助数据主要用于分析影响声源结构和声传播的条件,包

括:①工程信息(桩、桩锤、施工船、施工步骤);②气象条件(天气状况、风向、风速、温度);③水体信息(海流、海浪、水深、密度、声速剖面);④海底环境(底质类型、地形);⑤现场信息(有无其他施工、船舶经过及其他可能声源)。水下噪声是测量的主体部分,包括:①仪器设置,最大声压不小于50 kPa,频率范围建议选择20 Hz ~ 20 kHz;②水听器深度,至少包含水体上、中、下3个位置,建议分别设置为离水面1 m、0.5倍水深、0.8倍水深,研究噪声纵向分布;③测量位置,至少设置1个固定点和若干移动点,移动点建议至少设置3个,且距离均不小于10倍水深,以拟合传播模型,固定点与移动点同步测量,研究噪声横向分布;④测量时间,背景噪声每个点位测量时间不少于3 min,打桩噪声测量时间由施工过程决定。声压和频率的动态范围设置应符合打桩施工的水下噪声特性,在有鲸豚等动物活动的海域,测量频率范围可扩展至20 Hz ~ 500 kHz,用于分析噪声对齿鲸高频发声的影响。在不同深度放置水听器,可以全面了解打桩噪声在水下的分布情况。背景噪声是海洋无打桩施工时的水下噪声,其测量可以为分析施工时的水下噪声提供对比基线。

分析主要在测量的基础上进行,包括时域分析、频域分析和传播模型分析。时域分析内容包括打桩噪声的持续时间、时间间隔、打桩次数,时域声压,以及统计不同测量点的峰值声压级和暴露声级。时域分析旨在了解水下噪声声压随时间的变化规律,至少要分析峰值声压级和暴露声级,以了解声压的最大值和单位时间内能量的积累情况。此外,还可根据实际情况增加分析其他声级,如有效声压级、有计权的声级、累计暴露声级、累计百分数声级等。频域分析内容包括不同深度频带声压级和不同距离频带声压级。频域分析旨在了解打桩水下噪声的频率组成,根据《技术规范》的要求使用1/3倍频程频带声压级,便于不同打桩过程对相同频带内声压级的比较,以及研究打桩水下噪声对海洋动物发声与听力的影响。传播模型分析包括利用移动点测量数据拟合噪声传播模型及推断声源级和传播损失信息。传播模型可以利用声压随传播距离的衰减直接拟合得到,利用实测结果(如10 m处声压级)或水声传播模型(如射线模型、简正波模型等)可以验证拟合结果的准确性。

由于海洋声信道随不同海域深度、海底地质、

海况条件而变化所带来的复杂性和多变性,打桩施工水下噪声研究无论从声源还是从声传播角度都是一个相对复杂的过程。上述方法仅包含对水下噪声测量和分析过程的最低要求,其他要求可根据具体情况灵活增加或调整。

4 控制与降低海洋风电场噪声的措施建议

针对水下噪声影响海洋生物的问题,荷兰依据国际水下噪声管理的反噪声法提出,禁止在7月1日—12月31日之间进行支撑桩的建设活动,以避免打桩工程噪声对哺乳季鼠海豚的影响。在美国东海岸,由于鲸类在1月—5月之间常出没在目标海域,已达成在此期间禁止从事发电机建设的协议。此外,物理声音壁垒也被用来降低发电机产生的噪声,该方法利用水和空气屏障间声阻抗的不匹配来削弱噪声能量^[22]。控制与降低海洋风电场噪声的措施一般包括划定安全区域、管理标准和缓冲过程、其他管理和缓冲措施。

(1) 划定安全区域,旨在降低造成海洋哺乳动物听力损伤的可能性。安全区域应该在哺乳动物的繁殖地、栖息地和迁徙路径等重要地点划定。划定观察区和禁止区,在观察区监控海洋哺乳动物的运动轨迹,当发现其接近或进入禁止区时,打桩活动必须尽快停止;在禁止区允许海洋哺乳动物短时间暴露在打桩噪声中,鳍足类上限为30 min,鲸豚类上限为2 min。在打桩活动中,附近的海洋哺乳动物很可能发出一种回避反应的噪声,降低其同类因接近噪声源而进入听力损伤区域的可能性。当打桩施工前或施工过程中有海洋哺乳动物接近时,可以采取声驱赶等措施使其远离噪声源。安全区域的范围可以通过比较打桩水下声暴露级阈值与海洋哺乳动物听阈值来决定。

(2) 管理标准和缓冲过程,包括桩活动、预启动操作和记录报告3个部分。桩活动包括打桩持续时间、打桩方式等;预启动操作是在打桩前对安全区进行监控,若有哺乳动物出现,则跟踪观测或驱赶;记录报告指在打桩期记录的各种信息。

(3) 其他管理和缓冲措施,虽然是非必要项,但应予以重视。在打桩前,施工方应考虑降低噪声对当地环境造成影响的最佳措施,如减噪措施等。建议采用“软”启动方法,即前几桩先用小功率打桩,用于驱赶动物,达到保护动物的目的,同时兼顾自身成本。

海上风电工程建设对海洋声场和生态环境影响的机理目前尚不明确,特别是水下噪声对鱼卵、幼鱼仔鱼、洄游路线等的影响还有待进一步研究。欧美国家虽然已针对海上风电场工程建设对海洋环境的影响评估提出了一些规范要求,但都标注为“临时性”。目前,在海上风电场施工和营运期水下噪声对海洋生态环境的影响及长期累积效应等调控机制方面尚缺乏深入、系统的研究,近海海域优势生物物种、濒危动物物种及重要经济鱼类的声感能力及其受水下噪声影响的研究也处于空白,迫切需要开展针对性的研究。

[参考文献]

- [1] 王宝森,徐春红,陈华. 世界海洋可再生能源的开发利用对我国的启示[J]. 海洋开发与管理,2014(6):60-63.
- [2] 孙绪廷,杨丹良,马纯杰. 海上风电基础研究现状与可持续发展分析[J]. 山西建筑,2019,45(18):64-65.
- [3] 杨薇,孔昊. 基于低碳经济的福建省海洋能源产业发展可行性研究[J]. 海洋开发与管理,2017(11):61-65.
- [4] 赵世明,姜波,徐辉奋,等. 中国近海海洋风能资源开发利用现状与前景分析[J]. 海洋技术,2010,29(4):117-121.
- [5] 许燕华,钱谊,陈雁,等. 东沙沙洲离岸间带风电场建设对鸟类的影响[J]. 环境监测管理与技术,2010,22(2):19-23.
- [6] 宋文玲,钱谊,苏晓星. 大丰风电场建设对盐城自然保护区的生态影响分析[J]. 环境监测管理与技术,2011,23(4):32-36.
- [7] 上海市勘探设计研究院. 东海大桥海上风电场工程 工程概况和环境影响评价的初步结论[EB/OL]. [2010-06-10]. <https://ishare.iask.sina.com.cn/f/8153912.html>.
- [8] NEDWELL J R, PARVIN S J, EDWARDS B, et al. Measurement and interpretation of underwater noise during construction and operation of offshore windfarms in UK waters[M]. Newbury: COWRIE, 2007.
- [9] KASTELEIN R A, VERBOOM W C, MUIJSERS M, et al. The influence of acoustic emissions for underwater data transmission on the behaviour of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in a floating pen[J]. Mar Environ Res, 2005, 59(4): 287-307.
- [10] ISO. ISO 18406 Underwater acoustics—Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving[S]. Geneva: ISO, 2017.
- [11] 国家海洋局. 海上风电工程环境影响评价技术规范[S]. 北京:国家海洋局, 2014.
- [12] 马海毅,曾亮,丁金伟,等. 海上风电环境与勘测[J]. 南方能源建设, 2016, 3(S1): 151-153.
- [13] 苏冠龙,许肖梅. 水下打桩和船舶噪声对斑海豹听觉影响的初步分析[J]. 应用海洋学学报, 2013, 32(2): 178-183.

(下转第8页)