

文章编号: 1674 - 5566(2016)04 - 0599 - 08

DOI:10.12024/jsou.20150401425

## 上海东海大桥海上风电场水下噪声特性分析

张 博<sup>1,2,3</sup>, 张旭光<sup>1,2,3</sup>, 郭弘艺<sup>1,2,3</sup>, 方 宁<sup>4</sup>, 宋佳坤<sup>1,2,3</sup>

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 国际海洋研究中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 海洋生物系统与神经科学研究所, 上海 201306; 4. 上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200434)

**摘 要:** 随着对清洁能源利用的逐步重视,我国海上风电产业发展迅猛。人为活动所产生的水下噪声是近几年备受关注的环境问题,而我国对海上风电场水下噪声的相关科学研究却几乎一片空白,因此实验对上海东海大桥海上风电场运行期噪声进行了实地调查采样,并进行数据分析。分别研究了不同单机容量风电机的噪声特性,并对风电场内单个风机分不同深度进行了噪声特性研究,还对不同噪音测量方法进行了对比。结果表明:风电机噪音具有低频及低能级水平的特点,主要频率在 400 Hz 以内,声压级在 81 ~ 101 dB 之间。海水流速一定时,不同深度风电机水下噪声频谱特性基本一致;当海水流速增大,会导致频谱部分主频峰值的丢失或偏移。噪声记录使用的抛锚定点测量法空间自由度高,但测量时间较被动;漂流法测量路线单一,但测量时间自由度较高。

**关键词:** 海上风电场; 运行期噪声; 频率

**中图分类号:** X 121, X 171 **文献标志码:** A

为了减少二氧化碳的排放和阻止全球变暖,自 1997 年工业化国家签署《京都议定书》以来,可再生能源的利用逐年增加<sup>[1]</sup>。自 1991 年世界上第一座海上风电场在丹麦建成以来,海上风电产业发展迅速。截至 2013 年底,全球海上风电新增装机容量达 1721 MW,占全球风电新增总装机容量的 4.8%,为历年海上风电新增装机数量之最。2013 年,全球在建的海上风电场 25 座,其中欧洲 16 座,占 64%,其装机容量占总装机容量的 95%<sup>[2]</sup>。

我国海上风电起步较晚,东南沿海地区海上风能资源最为丰富,且毗邻用电需求大的经济发达地区,可以实现就近消化,降低输送成本,发展潜力巨大。自 2007 年第一台海上风电机组建成以来,已建成并投入运营的海上风电项目包括上海东海大桥海上风电场、江苏盐城滨海潮间带风电场、龙源江苏如东海上风电场。据 Navigant Research 最新统计,2013 年我国海上风电总容量

达 355.9 MW,已成为全球第四大海上风电市场<sup>[2]</sup>。2014 年公布的《全国海上风电开发建设方案(2014 - 2016)》中涉及 44 个海上风电项目,预计 2016 年将有超过 10 GW 的装机容量<sup>[3]</sup>。无论从当前治理雾霾的现实需求,还是从国家能源结构调整的长远需要来看,可以预见,海上风电场将会越来越多地出现在我国沿海海域。

然而自然科学的发展并不能跟上技术进步的脚步(如近岸风电场建设),结果就导致我们不能充分了解人类活动对海洋生态系统造成的影响。海上风电场在其将近 30 年的生命周期中会不断地向海洋中释放噪声,可能会形成噪声污染,并对海洋生物的生理、行为造成影响<sup>[4]</sup>,这就使得可再生能源的利用与海洋资源保护相冲突。欧盟在 2008 年提出了一份议案,要求其成员国对风电场水下噪声进行防护、监控及数据库录入<sup>[5]</sup>,2010 年国家能源局、海洋局联合制定《海上风电开发建设管理暂行办法实施细则》,要求新

收稿日期: 2015-04-28 修回日期: 2015-05-30

基金项目: 国家自然科学基金(41406150); 国家重点基础研究发展计划(2011CB111608); 上海高校水产学一流学科建设项目(A2 - 2019 - 14 - 0001 - 4); 上海海洋大学国际海洋中心(A1 - 0209 - 13 - 0802)

作者简介: 张 博(1989—),男,硕士研究生,研究方向为鱼类感觉生物学。E-mail: 15121049919@163.com

通信作者: 宋佳坤, E-mail: jksong@shou.edu.cn

建项目施工前必须通过科学的环境评估,包括海上风电场在施工期和风电机运行期的噪声对海洋生物的影响评估<sup>[6]</sup>。国外针对海上风电场噪声以及噪声对海洋生物的影响已经展开了相关研究<sup>[4,7-14]</sup>,而我国在这方面的工作还比较欠缺,因此我们迫切需要对风机噪声特性及多个风机的累积影响进行研究。

## 1 调查地区与调查方法

### 1.1 调查地区概况

东海大桥 100 MW 海上风电场位于上海市浦东新区近海海域,是亚洲第一个大型海上风电场,为我国海上风电建设示范项目,2009 年建成投产,风电场海域平均水深 10 m,平均风速 8.4 m/s。风电机组分布于临港新城至洋山深水港的东海大桥东侧 1 000 m 以外沿线,北端、南端分别距南汇嘴岸线 8 km、13 km,全部位于上海市境内,距离上海海洋大学直线距离仅 16 km,调查条件十分便利。风电场由 34 台华锐风电 SL3000 型 3 MW 海上风电机组成,总机容量 102 MW(图 1)。

实验还对东海大容量试验风场进行了调查,试验风场位于东海大桥西侧,于 2011 年建成,风场安装有上海电气 W3600 型 3.6 MW 海上风电机组(F1)及华锐风电 SL5000 型 5 MW 海上风电机组(F2)两台风电机(图 1、图 2)。

### 1.2 调查设备与方法

实验室于 2014 年 12 月至 2015 年 1 月期间

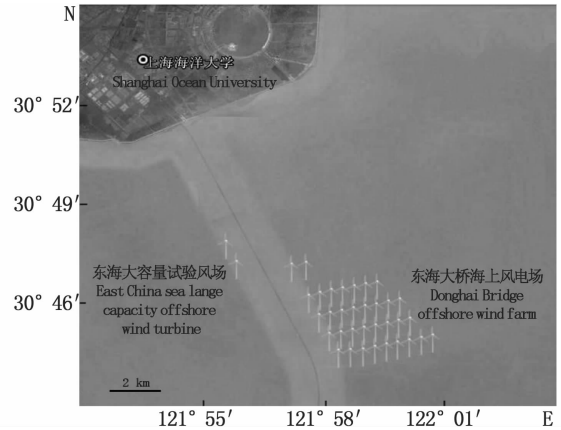


图 1 上海东海大桥海上风电场地理位置示意图  
Fig. 1 Geographical location of Shanghai Donghai Bridge offshore wind farm

租用渔船(沪浦渔 49917)对东海大桥风电场进行实地噪声测定,期间风速 1.5 ~ 4.5 m/s,风力 1 ~ 3 级,水深 8 ~ 10 m。

噪声信号使用 RESON TC4032 - 1 型水听器(灵敏度 - 170 dB re 1 V/ $\mu$ Pa)进行采集,声音文件使用 NAGRA-SD 录音机(Audio technology Switzerland S. A.)储存为 WAV 格式,比特率 16 bits/s,采样频率 48 kHz。使用 AWA6291 型声级计(杭州爱华仪器有限公司)和 AVM-01 型风速仪(台湾泰仕电子工业股份有限公司)记录实时声压和风速。每个采样点分不同深度进行噪声测定,每个深度测定 2 次,每次测定时间为 1 min。

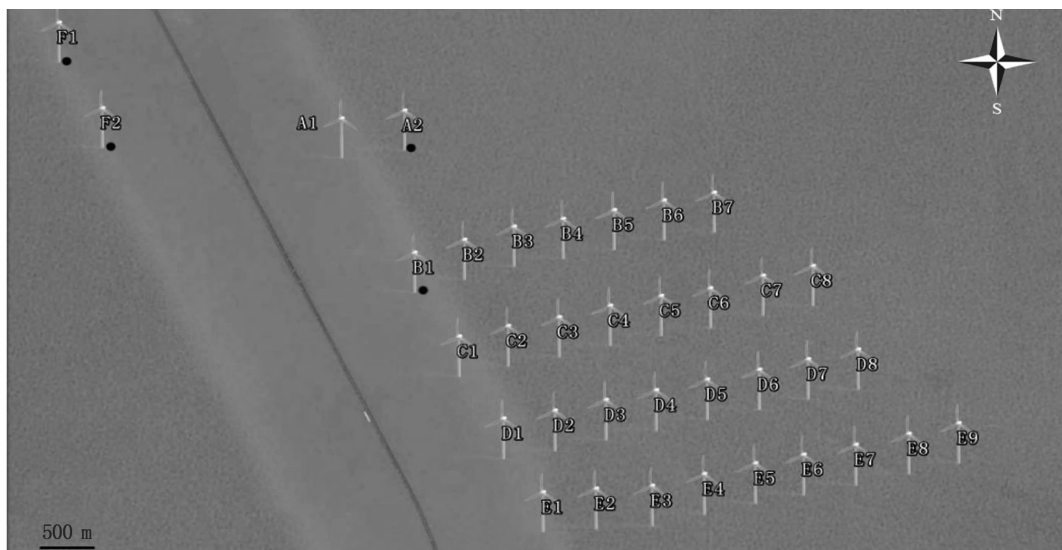


图 2 风电机噪声测量点示意图

Fig. 2 The site (dark spot) of the measurement vessel when taking measurement of operational noise

记录噪声时调查船发动机及任何可能产生声音信号的设备全部关闭,船上所有工作人员避免走动并保持安静。水听器保护架末端系一个约 10 kg 的重物将水听器沉入水中并保持垂直,水听器电缆悬于船舷一侧,并通过电缆上的标记确定测量水深。调查船的坐标通过船载 GPS 定

位仪记录。

单个风机噪声测量时调查船抛锚定点,且在平潮时测量,避免潮汐水流对测量的影响,具体测量点见图 2,测量数据参数见表 1。背景噪声测量于 2014 年 12 月 24 日,风速 2 m/s,测量深度 3 m。文中所有声压级参考声压均为 1  $\mu$ Pa。

表 1 不同风电机组水下噪声现场测量参数  
Tab.1 Parameters during underwater noise measurement

风机 wind turbine	型号 type	功率/MW power	基础类型 fundamental type	风速/(m/s) wind speed	测量水深/m water depth	距离/m distance	测量时间 measurement date
A2	SL3000	3	高桩承台	3	3/5/10	15	2014.12.24
B1	SL3000	3	高桩承台	1.5	3/5/10	15	2014.12.28
F1	W3600	3.6	高桩承台	3.5	3/5/10	15	2014.12.27
F1	W3600	3.6	高桩承台	4.5	10	20	2014.12.28
F2	SL5000	5	高桩承台	1.5	5	15	2014.12.28
F2	SL5000	5	高桩承台	2	5	15	2015.01.04

注:2014 年 12 月 28 日对 W3600 型风机噪音采用漂流法测定。

Note: We used the method of drifting when collect the noise from wind turbine W3600 On December 28, 2014.

### 1.3 噪声文件分析

记录的噪声文件首先通过人耳分辨,去除一些干扰强烈(如船舶噪音)的文件并估计流速快慢,其余性噪比较高的文件由 Cool Edit Pro 2.0 软件(Syntrillium Software Corporation, Phoenix, Arizona)将声音文件中的干扰信号去除,然后由声音分析软件 Praat(Phonetic Sciences, University of Amsterdam)进行快速傅里叶变换(FFT),生成噪声频谱图。

## 2 结果

### 2.1 背景噪音

背景噪音频谱见图 3,其中黑色频谱图为风电场外 2 km 处背景噪声频谱图,红色频谱图为风电场外 3 km 处背景噪音频谱图。从图中可知,距风电场 2 km 处背景噪音在 14 Hz 处出现明显峰值,声压级约 107 dB,其他频段并未出现明显峰值。距风电场 3 km 处背景噪音在 22 Hz 处峰值较明显,声压级约 92 dB。2 km 处背景噪声声压级在 0~1000 Hz 频率范围内均高于 3 km 处背景噪音,0~45 Hz 频率范围内高于 3 km 背景噪音 15 dB; 45 Hz 之后高于 3 km 背景噪音 3~5 dB。

### 2.2 单个风机运行期水下噪声特性分析

#### 2.2.1 B1 风电机组(3 MW)运行期噪音特性分析

图版-1 为距离 B1 风电机组 15 m,水深 3 m

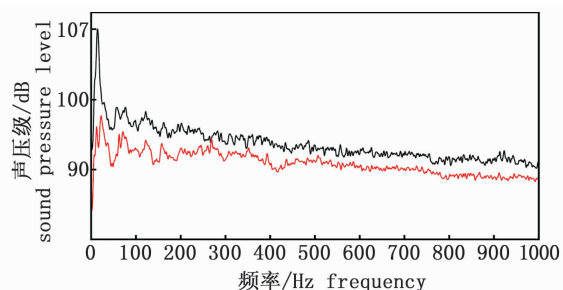


图 3 风电场东北方向 2 km(黑线)、3 km(红线)处背景噪音频谱

Fig.3 The frequency spectrum of background noise recorded 2 km( black line) and 3 km( red line) away from the northeast of wind farm

处记录到的时长约 35 s 的水下噪声文件波形图,从图中可以看出,风电机组噪声波形无明显特征,并未发现可以辨别出高强度人为噪声的单音波或者电压瞬变。由噪声声谱图(图版-2)可以看出风电机组水下噪声主要能量集中在 500 Hz 以下。

图版-3 为距离 B1 风电机组 15 m,水深 3 m 处运行期水下噪声的频谱图,从该图可知,在 119 Hz、351 Hz 处峰值较明显,且在 119 Hz 处峰值最高,声压级约 89 dB。在 11 Hz、38 Hz、60 Hz、235 Hz 处也具有峰值。

#### 2.2.2 A2 风电机组(3 MW)运行期噪音特性分析

图版-4 为距离 A2 风电机组 15 m,水深 3 m 处运行期水下噪声的频谱图,从该图可知,在 325

Hz 处峰值最高,声压级约 81 dB。在 12 Hz、62 Hz、124 Hz、238 Hz、379 Hz 处峰值也较明显。

### 2.2.3 F1 风电机(3.6 MW)运行期噪音特性分析

图版-5 中黑色频谱图为距离 F1 风电机 15 m,水深 10 m 处采用抛锚定点法测得的运行期水下噪声的频谱图,红色频谱图为距离 F1 风电机 20 m,水深 10 m 处采用漂流法测得的运行期水下噪声的频谱图。采用定点法测得的频谱图中可知,此处噪声在 22 Hz、62 Hz、139 Hz、186 Hz、359 Hz 处峰值明显,并且在 22 Hz 处峰值最高,声压级约 99 dB;采用漂流法测得的频谱图中可知,在 11 Hz、60 Hz、121 Hz、182 Hz、255 Hz、352 Hz 处出现峰值,且在 11 Hz 处峰值最高,声压级约 101 dB。两种方法所测得的噪声频谱特征基本一致。

### 2.2.4 F2 风电机(5 MW)运行期噪音特性分析

图版-6 为距离 F2 风电机 15 m,水深 5 m 处运行期水下噪声的频谱图,从该图可知,该处噪声在 10 Hz、69 Hz 处峰值明显,且在 69 Hz 处峰值最高,声压级约 90 dB。

### 2.3 风电机不同深度水下噪声特性对比

图版-7 为 B1 风电机不同深度水下噪声频谱图,将距离 B1 风电机 15 m,深度分别为 3 m、5 m、10 m 处所记录的水下噪声文件进行频谱分析,所得结果见表 2。

表 2 B1 风电机不同深度噪声频谱分析结果  
Tab.2 The results of spectral analysis of the underwater noise from wind turbine B1

深度/m depth	出现峰值的频率/Hz peak frequency	声压级/dB sound pressure	海水流速 flowing speed
3	11 38 60 119 235 351	89	较慢
5	11 60 118 238 348	90	较慢
10	11 30 59 117 200 237 348	88	较慢

从图版-7 及表 2 可以看出,B1 风电机不同深度噪声声压级没有显著差异,0~500 Hz 范围内 3 者频谱非常接近,在 500 Hz 以后 5 m 深度噪声声压级高于 3 m、10 m 水深噪音。3 条频谱曲线上 11 Hz、60 Hz 左右、120 Hz 左右、237 Hz 左右、348 Hz 左右均出现明显峰值。

图版-8 为 A2 风电机不同深度水下噪声频谱图,将距离 A2 风电机 15 m,深度分别为 3 m、5 m、10 m 处所记录的水下噪声文件进行频谱分

析,所得结果见表 3。

表 3 A2 风电机不同深度噪声频谱分析结果  
Tab.3 The results of spectral analysis of the underwater noise from wind turbine A2

深度/m depth	出现峰值的频率/Hz peak frequency	声压级/dB sound pressure	海水流速 flowing speed
3	12 62 87 124 198 238 325 379 396	81	较慢
5	13 58 172 366	104	中等
10	16 197 240 331 395	117	较快

从图版-8 及表 3 可以看出,随着海水流速的增加声压级显著增加,并且峰值成分存在丢失与偏移。3 条频谱曲线上除 366 Hz 左右峰值声压级未随流速增加而变化,其余峰值声压级均明显增加。

## 3 讨论

### 3.1 风电机噪声测定

风电机附近的海域通常会出现较强的电流干扰,会被灵敏度较高的水听器记录到,从而在噪声频谱中出现由电流引起的“伪峰值”。电流引起的峰值较易辨认,一般都是工频(50 Hz)及其第三谐波(150 Hz),本次噪声测量均未受到电流干扰。

调查选取了风电场内 B1、A2 风电机(3 MW)及 F1(3.6 MW)、F2(5 MW)两台大功率风电机进行噪声特性分析,结果表明:B1 风电机水下噪声主要频率为 60 Hz、119 Hz、235 Hz、351 Hz,声压级约 89 dB;A2 风电机水下噪声主要频率为 62 Hz、124 Hz、238 Hz、325 Hz,声压级约 81 dB;F1 风电机水下噪声主要频率为 62 Hz、139 Hz、186 Hz、359 Hz,声压级约 99 dB;F1 风电机水下噪声主要频率为 69 Hz,声压级约 90 dB。可以发现,所有单个风机噪声主要频率均在 400 Hz 以内,并且 B1、A2、F1 风机主要频率相差不大,但 F2 风机噪声频谱只在 69 Hz 处发现峰值。F2 风机在所有测量单个风机中单机容量最大,其风机高度、叶片长度与其他风机均存在差异,虽然 4 台风机基础类型相同,但由于 F2 风机承台高度更高,且支撑支柱数量也较多,因为风电机水下噪音主要由风机塔身传递至水中,而 F2 风机即使在涨潮平潮时也有一定高度的支撑部分处在水面之上,因此可能导致其传入水下的噪声发生了改变。

国外的相关研究也表明风电机水下噪声频

率主要为低频:DEGN<sup>[7]</sup>在风速约为 13 m/s 的条件下对两个不同基础的风电机噪声进行了记录分析。其中 Vindeby 风电机(450 kW, 丹麦)以混凝土为基础,风电机噪声频谱集中在 400 Hz 以内,峰值为 25 Hz;Gotland 风电机(550 KW, 瑞典)具有钢制单桩基础,其噪声峰值为 160 Hz、630 Hz。Andersson 在距离风电机(2.3 MW)1 m 处进行了噪声测定,噪声主要频率为 24 Hz、130 Hz,声压级分别为 126 dB、142 dB<sup>[8]</sup>。

本研究所有噪声频谱中 0 ~ 50 Hz 范围声音受风速及海况影响较大,且在背景噪声中也有明显峰值,因此推测主要由水流及海浪产生。WESTERBURG 对风电机(220 kW)运行期间水下噪声的测量结果表明:在距风机 100 m, 风速 12 m/s 时,在 8 Hz 以及 16 Hz 处出现峰值;风速 6 m/s 时只在 16 Hz 处出现峰值。在风速 6 m/s 和风速 12 m/s 时,16 Hz 处的绝对声压级分别为 102 dB 和 113 dB<sup>[4]</sup>。本次调查中,单个风电机噪声声压级范围为 81 ~ 101 dB,甚至低于背景噪声,这表明风电机水下噪声能级水平较低,在风速较高、海况较差的情况下,其噪声完全会被背景噪声掩盖。因此结合本次调查结果判断, WESTERBURG 测量水下噪声时风速较大,风电机噪声很可能被海浪声音掩盖,因此只分析出海浪声音的频谱。上述 DEGN 和 ANDERSSON 的调查中 50 Hz 以下风机噪声峰值都应是水流噪声,而不应算作风机噪声。

背景噪声测定时,由于 2 km 处有一定海浪,因此声压级较高(107 dB),3 km 处海况好转,声压级降低(92 dB)。不同深度风机水下噪声的测定表明,在潮汐流速较慢的情况下,3 个深度所得频谱基本一致,表明噪声频谱与测量深度关系不大,而当水流逐渐加快时,会出现一些主要频率成分的偏移及丢失。在对 F1 风机的水下噪声进行测量时使用了抛锚定点和调查船随水漂流的方法测定,所得到的结果基本一致,说明这两种方法在噪声测定时都是可取的。抛锚定点法可以对任意设定测量点进行测量,但受测量时间的限制,因为测量一般在平潮期水流较慢的情况下进行,而由于一天中平潮期总共只有大约 3 h 左右,且两个平潮期间隔 6 h 左右,因此测量时间具有很强的被动性。漂流法基本不受时间限制,但其漂流路线单一,短时间内不能实现空间上的大

尺度变换测量。

综上所述,风电机水下噪声具有低能级水平和低频的特点,风电机噪声测定极易受到外界干扰,如果要对风电机噪声进行精确测定,所需要的测量条件较其他高强度噪声(如打桩、船舶噪声)测定严格。风电机噪声测定时,由于不同风电场的风速、风机功率、风机基础、海床基底等均存在差异,因此所得噪声数据也存在一定差异。并且目前也缺乏风电机水下噪声测量的标准,不同文献测量距离、深度均存在差异,因此也给数据的比较增加了难度。

### 3.2 风电机噪声对海洋生物的影响

本文对上海东海大桥海上风电场噪声的初步测定结果表明,本风电场机组所产生的噪声强度能级水平还较低。根据能引起内耳损伤的标准<sup>[9]</sup>,本风电场风电机所产生的噪声强度可能还不足以导致海洋生物内耳结构的损坏。但是否可能会在风电机附近对海洋生物的行为产生影响尚未可知。因为根据 KOSCHINSKI 报道,将根据记录到的 2 MW 风电机噪声,通过水下扩音器回放风电机噪声的实验,对斑海豹(*Phoca vitulina*)及鼠海豚(*Phocoena phocoena*)的反应进行了观察,发现:斑海豚可以听到风电机噪声,在面对噪声刺激时显得很警觉并用生物声呐来确定声源位置;而鼠海豚并未表现出逃避反应<sup>[10]</sup>。另有报道称在风速较高的情况下,大菱鲆会产生绕开风电场的反应<sup>[11]</sup>。WESTERBERG 发现在风电机附近(100 m 以内),鲑鱼及斜齿鳊的捕获率要高于距离风电机较远的地方,鳗鱼的捕获率却没有任何区别<sup>[12]</sup>。被标记的银鳗游过风电场时,并没有观察到游动速度及方向的任何变化<sup>[8]</sup>。ANDERSSON 等向三刺鱼和斜齿鳊回放风电场噪声时观察到明显的惊吓反应<sup>[13]</sup>。因此,尽管本实验所测得的风电机噪声强度可能还不足以引起海洋生物内耳结构的破坏,但该噪声是否会对在风电机附近的海洋生物的行为产生影响?还有待进一步的行为实验研究验证。

### 参考文献:

- [1] KRUPP F, HORN M. Earth: The Sequel: The Race to Reinvent Energy and Stop Global Warming[M]. New York, NY: W. W. Norton & Company, Inc., 2008: 86-87.
- [2] 苏晓. 2013 年全球海上风电发展简析[J]. 风能, 2014(6): 40-44.

- SU X. The statistics and analysis of global offshore wind power development in 2013 [J]. *Wind Energy*, 2014(6): 40–44.
- [3] 吴珊. 《全国海上风电开发建设方案(2014–2016)》公布 [DB/OL]. (2014–08–29) [2015–04–22]. <http://www.nationalee.com/html/news/guona/2014/0829/15162.html>.
- WU S. The development and construction of the offshore wind power in China(2014–2016) [DB/OL]. (2014–08–29) [2015–04–22]. <http://www.nationalee.com/html/news/guona/2014/0829/15162.html>.
- [4] NEDWELL J, HOWELL D. A review of offshore windfarm related underwater noise sources, Report No. 544R0308 [R]. COWRIE, 2004: 1–57.
- [5] KIKUCHI R. Risk formulation for the sonic effects of offshore wind farms on fish in the EU region [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(2): 172–177.
- [6] 国家能源局. 国家海洋局关于印发《海上风电开发建设管理暂行办法》的通知 [DB/OL]. (2013–10–11) [2015–04–22]. [http://www.nea.gov.cn/2013-10/11/c\\_132789848.htm](http://www.nea.gov.cn/2013-10/11/c_132789848.htm).
- National Energy Administration. The notice about print and distribute of the interim measures of offshore wind power development and construction management [DB/OL]. (2013–10–11) [2015–04–22]. [http://www.nea.gov.cn/2013-10/11/c\\_132789848.htm](http://www.nea.gov.cn/2013-10/11/c_132789848.htm).
- [7] DEGN U, Offshore Wind Turbines VVM (EIA). Underwater noise measurements analysis and predictions, Tech. Rep. 00.792 rev. 1, Report. to: SEAS Distribution AmbA, Slagterivej 25, 4690 [R]. Haslev, Danmark, 2000.
- [8] ANDERSSON M H, LAGENFEL I, SIGRAY P. Do ocean-based wind farms alter the migration pattern in the endangered European silver eel (*Anguilla anguilla*) due to noise disturbance? [M]//POPPER A N, HAWKINS A. *The Effects of Noise on Aquatic Life*. New York: Springer, 2012, 730: 393–396.
- [9] MCCAULEY R D, FEWTRELL J, POPPER A N. High intensity anthropogenic sound damages fish ears [J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2003, 113(1): 638–642.
- [10] KOSCHINSKI S, CULIK B M, HENRIKSEN O D, et al. Behavioural reactions of free-ranging porpoises and seals to the noise of a simulated 2 MW windpower generator [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 265: 263–273.
- [11] ENGELL-SORENSEN K. Possible effects of the offshore wind farm at Vindeby on the outcome of fishing: The possible effects of electromagnetic fields and noise, Doc. No. 1920–003–001–rev. 2 [R]. Denmark: SEAS, 2002.
- [12] WAHLBERG M, WESTERBERG H. Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2005, 288: 295–309.
- [13] ANDERSSON M H, DOCK-AKERMAN E, UBRAHEDE-NBERG R, et al. Swimming behavior of roach (*Rutilus rutilus*) and three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) in response to wind power noise and single-tone frequencies [J]. *AMBIO-A Journal of the Human Environment*, 2007, 36(8): 636–638.

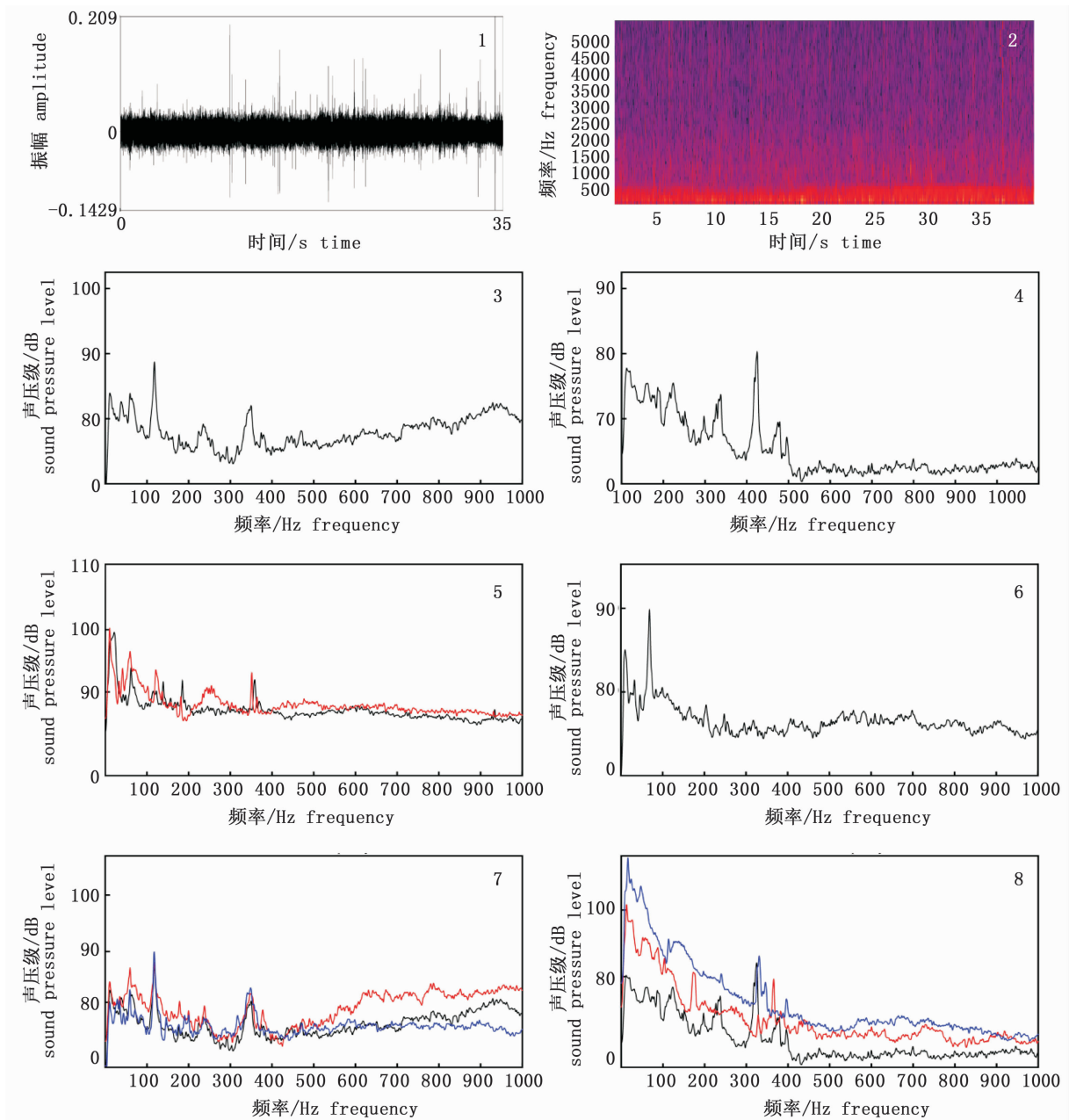
## Characteristics of underwater noise from Shanghai Donghai Bridge offshore wind farm

ZHANG Bo<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Xuguang<sup>1,2,3</sup>, GUO Hongyi<sup>1,2,3</sup>, FANG Ning<sup>4</sup>, SONG Jiakun<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. International Center of Marine Study, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Institute for Marine Biosystem and Neurosciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Shanghai Investigation, Design&Research Institute CO., LTD. Shanghai 200434, China)

**Abstract:** As the use of clean energy increasingly gains attention, China's offshore wind power industry has been developing rapidly in recent years. However, the underwater noise from the wind power station has not been studied in our country while the noise from human activities as an environmental issue has attracted much concern around the world in the last few years. In this study, we collected the operational noise data from the offshore wind turbines in the vicinity of the Shanghai Donghai Bridge and studied the characteristics of different wind turbines. We compared the noise data from different depths of water, as well as compared the data collected by using different measurement methods. The results show that the noise data from each single wind turbine shares the characteristics of low frequency and low sound pressure level; the main frequency range is within 400 Hz and the sound pressure level is between 81 dB and 101 dB. The characteristics of underwater noise from different depths are basically the same when seawater flowing speed keeps constant, but when the speed increased, some of the main frequency lost or shifted. The fixed-point method we used can measure any location we set, but the measurement time is limited. Drift method can measure at any time but the measurement line is limited.

**Key words:** offshore wind farm; operational noise; frequency analysis



图版 单个风机水下噪声特性分析

## Plate Characteristics of underwater noise from single wind turbine

1. B1 风电机(距离 15 m,水深 3 m)水下噪声文件波形图; 2. B1 风电机(距离 15 m,水深 3 m)水下噪声声谱图; 3. B1 风电机水下噪声频谱图(距离 15 m,水深 3 m); 4. A2 风电机水下噪声频谱图(距离 15 m,水深 3 m); 5. F1 风电机水下噪声频谱图; 6. F2 风电机水下噪声频谱图(距离 15 m,水深 5 m); 7. B1 风电机不同深度水下噪声频谱图; 8. A2 风电机不同深度水下噪声频谱图(黑色. 3 m; 红色. 5 m; 蓝色. 10 m 水深处)。

1. The oscillogram of the underwater noise from wind turbine B1 (distance = 15 m, water depth = 3 m); 2. The spectrogram of the underwater noise from wind turbine B1 (distance = 15 m, water depth = 3 m); 3. The frequency spectrum of the underwater noise from wind turbine B1 (distance = 15 m, water depth = 3 m); 4. The frequency spectrum of the underwater noise from wind turbine A2 (distance = 15 m, water depth = 3 m); 5. The frequency spectrum of the underwater noise from wind turbine B1; 6. The frequency spectrum of the underwater noise from wind turbine F2 (distance = 15 m, water depth = 5 m); 7. The frequency spectrum of the underwater noise from wind turbine B1 in 3 m (black line), 5 m (red line) and 10 m (blue line) depth; 8. The frequency spectrum of the underwater noise from wind turbine A2 in 3 m (black line), 5 m (red line) and 10 m (blue line) depth.