

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T XXXXX—XXXX

人为水下噪声对海洋生物影响评价指南

Guidelines for impact assessment of anthropogenic underwater noise on marine  
animal

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

# 目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 评价对象.....	2
5 工作程序.....	2
6 现场测量.....	3
7 分析评价.....	4
8 评价报告编制.....	4
附录 A（资料性） 海洋生物听力分组和影响阈值.....	6
附录 B（规范性） 水下噪声要素计算公式.....	8
附录 C（资料性） 海洋哺乳动物听觉加权函数.....	13
参考文献.....	15

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国海洋标准化技术委员会（SAC/TC 283）归口。

本文件起草单位：自然资源部第三海洋研究所、国家海洋环境监测中心。

本文件主要起草人：杨燕明、牛富强、于丹竹、薛睿超、陈本清、许德伟、马丽、王先艳。

# 人为水下噪声对海洋生物影响评价指南

## 1 范围

本文件提供了人为水下噪声对海洋生物影响评价涉及的评价对象、工作程序、现场测量和分析评价等方面的指导。

本文件适用于近海（岸）建设、岛礁工程和深海采矿等人为活动产生的水下噪声对海洋生物影响评价。

注：本文件中的海洋生物特指海洋哺乳动物和鱼类。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5265—2009 声学 水下噪声测量

GB/T 12763.5—2007 海洋调查规范 第5部分：海洋声、光要素调查

GB/T 12763.6—2007 海洋调查规范 第6部分：海洋生物调查

JJG 185—2017 500 Hz~1 MHz 标准水听器检定规程（自由场比较法）

JJF 1340—2012 20 Hz~2000 Hz 矢量水听器校准规范

## 3 术语和定义

GB/T 5265—2009和GB/T 12763.5—2007界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**人为水下噪声 anthropogenic underwater noise**

人为活动所产生的各种噪声源所辐射的，并在海洋中传播的噪声。

注：涉海工程建设中的水下爆破、水下打桩、水下凿岩、水下气枪阵列、水下疏浚、人造声呐等产生的噪声。

### 3.2

**脉冲噪声 impulsive noise**

具有瞬态、短暂（小于1s）、宽频带、高峰值声压、快速上升和衰减时间等特征的人为水下噪声。

### 3.3

**非脉冲噪声 non-impulsive noise**

不具有快速上升和衰减时间、高峰值声压等特征的人为水下噪声。

### 3.4

**声暴露级 sound exposure level**

人为水下噪声信号声压幅度平方与基准声压平方之比在持续时间内积分的以10为底的对数乘以10。

## 3.5

**行为响应 behavioral response**

当人为水下噪声达到一定量级时，暴露于该声环境下的海洋生物发生的行为改变。

注：包括主动规避、快速游离、呼吸模式改变、发声规律改变等行为。

## 3.6

**声掩蔽 sound masking**

当人为水下噪声达到一定量级时，暴露于该声环境下的海洋生物探测声波的能力随之下降的一种现象。

## 3.7

**暂时阈值漂移 temporary threshold shift: TTS**

当人为水下噪声达到一定量级时，暴露于该声环境下的海洋生物出现了暂时性听力阈值改变。

## 3.8

**永久阈值漂移 permanent threshold shift: PTS**

当人为水下噪声达到一定量级时，暴露于该声环境下的海洋生物出现了永久性听力阈值改变。

## 3.9

**听觉加权函数 auditory weighting function**

为强化海洋生物听觉敏感的频率和弱化海洋生物听觉不敏感的频率，采用的以频率为自变量的数学加权函数。

## 3.10

**阈值 threshold value**

海洋生物产生行为响应、声掩蔽、暂时阈值漂移、永久阈值漂移和物理损伤甚至死亡所需的最小声压级或声暴露级。

## 4 评价对象

海洋哺乳动物，依据听力分组分为低频鲸目、高频鲸目、超高频鲸目、海牛目、海豹食肉目、其他海洋食肉动物，见附录 A 中的表 A.1。

鱼类，依据听力分组分为无鱼鳔的鱼、有鱼鳔但鱼鳔与听力无关的鱼、有鱼鳔但鱼鳔与听力相关（与内耳物理隔离）的鱼、有鱼鳔但鱼鳔与听力相关（与内耳物理连接）的鱼、卵和幼体，见附录 A 中的表 A.2。

## 5 工作程序

人为水下噪声对海洋生物影响评价的工作程序如下。

## a) 资料收集与评价方案制定：

- 1) 收集与评价工程相关的技术文件、历史环境资料和海洋生物资料等；
- 2) 开展评价工程分析和现场踏勘，确定评价的人为水下噪声源类型和目标海洋生物；
- 3) 根据人为水下噪声源类型，参考以往同类工程参数，预估人为水下噪声等效源强和频带范围；
- 4) 采用经验公式或声场计算模型，计算评价区的声能传播损失；
- 5) 编制评价方案。

## b) 现场测量：

- 1) 开展评价工程所在区域的海洋环境（背景）噪声测量；

- 2) 开展评价工程所在区域的海洋生物调查；若工程所在区域具有近 24 个月内的海洋生物资料，可不开展调查，但需注明资料来源和时间；
  - 3) 开展评价工程所在区域的人为水下噪声及同步环境参数的现场测量。
- c) 分析评价：
- 1) 数据处理；
  - 2) 人为水下噪声等效源强和声能传播损失计算；
  - 3) 不同阈值下影响区域分析。
- d) 评价报告编制。

## 6 现场测量

### 6.1 测量要素

测量要素宜有以下两种：

- a) 主要要素：声压时间序列；
- b) 辅助要素：测量站位的经纬度，人为水下噪声源信息，测量时间，评价区域的海洋环境参数，如水深、海况、风速、降雨、温盐剖面、声速剖面、周边航船等。

### 6.2 测量设备

测量设备宜符合以下内容：

- a) 频率范围宜覆盖人为水下噪声频带范围，兼顾目标海洋生物的敏感听力频段和海深，通常为 20 Hz~20 kHz；
- b) 测量前宜按照 JJG 185—2017 和 JJF 1340—2012 的规定进行设备校准，设备校准有效期为 24 个月。

### 6.3 测量技术

测量技术宜符合以下内容：

- a) 海洋环境（背景）噪声，宜按照 GB/T 12763.5—2007 第 6 章的规定执行；
- b) 海洋生物调查，宜按照 GB/T 12763.6—2007 第 9 章和第 14 章的规定执行。

### 6.4 测量站位、深度和频次

#### 6.4.1 施工前期测量站位、深度和频次如下：

- a) 测量站位宜覆盖全部评价区或代表性区域，测量站位宜不小于 6 个，包括（2~3）个测量断面，每个断面（2~3）个测量站位；
- b) 测量深度宜分布在水深的 1/2 和 3/4，兼顾目标海洋生物活动的水深，测量深度宜不小于 2 个；
- c) 工程施工周期不大于 24 个月时，测量频次宜不小于 2 次，须包含夏、冬二个季节；工程施工周期大于 24 个月时，测量频次宜不小于 4 次，须覆盖春、夏、秋、冬四个季节；
- d) 根据评价工程特殊需求，可适当增减测量频次，调整测量站位、深度和季节。

#### 6.4.2 施工期和拆除期测量站位、深度和频次如下：

- a) 测量站位宜分布在人为水下噪声源的不同方位上，测量站位宜不小于 5 个，方位宜不小于 3 个，其中沿水深无显著变化的方位须布设不小于 3 个测量站位。测量站位最小距离须不小于 3 倍作业点水深；
- b) 测量深度宜分布在水深的 1/2 和 3/4，兼顾目标海洋生物活动的水深，测量深度宜不小于 2 个；
- c) 测量频次宜不小于 2 次，包括评价工程的初期和高峰期；
- d) 根据评价工程特殊需求，可适当增减测量频次，调整测量站位、深度和季节。

#### 6.4.3 营运期测量站位、深度和频次如下：

- a) 测量站位宜分布在人为水下噪声源的不同方位上，测量站位宜不小于 5 个，方位宜不小于 3 个，其中沿水深无显著变化的方位宜布设不小于 3 个测量站位；
- b) 测量深度宜分布在水深的 1/2 和 3/4，兼顾目标海洋生物活动的水深，测量深度宜不小于 2 个；
- c) 营运期初期前 12 个月内，测量频次宜不小于 1 次，每次测量包括平均和额定工况；
- d) 根据评价工程特殊需求，可适当增减测量频次，调整测量站位、深度和季节。

注：营运期，适用于具有长期影响的工程，如海上风电、海底隧道、跨海大桥等。

## 7 分析评价

### 7.1 数据处理

对现场测量数据进行频响校正和声压换算，根据人为水下噪声类型，采用如下方法对换算后的声压数据进行处理：

- a) 非脉冲噪声和脉冲噪声声压谱级，宜按附录 B 中的公式 (B. 1) 计算；
- b) 非脉冲噪声均方根声压级，宜按附录 B 中的公式 (B. 2) 计算；
- c) 脉冲噪声峰值声压级，宜按附录 B 中的公式 (B. 3) 计算；
- d) 脉冲噪声声暴露级和累积声暴露级，宜分别按附录 B 中的公式 (B. 4) 和 (B. 5) 计算；
- e) 脉冲噪声加权声暴露级，宜分别按附录 B 中的公式 (B. 6) 计算。

### 7.2 人为水下噪声等效源强和声能传播损失计算

根据人为水下噪声现场测量结果，拟合计算评价区人为水下噪声等效源强。评价区不同海深（含不同潮位）的人为水下噪声声能传播损失等值线计算宜采用如下两种方法：

- a) 经验公式方法，宜按附录 B 中的公式 (B. 8) 计算；
- b) 声场计算模型方法，宜根据评价区的海洋环境特点、噪声源的频率等，选择合适的模型，包括抛物方程模型、有限元模型、简正波模型、射线模型；计算输入参数包括人为水下噪声源深度、频率、评价区的水深、海水声速剖面 and 海底声学特性等。

### 7.3 不同阈值下影响区域分析

人为水下噪声对海洋生物影响分析步骤如下：

- a) 海洋生物影响阈值见附录 A 中的表 A. 3 和表 A. 4。评价海洋哺乳动物时，宜采用听觉加权函数对海洋哺乳动物的影响阈值进行加权，听觉加权函数见附录 C；
- b) 根据人为水下噪声等效源强和声能传播损失值，计算人为水下噪声声场衰减到各阈值的等值线距离，确定影响区域。

## 8 评价报告编制

评价报告宜包括以下主要内容：

- a) 前言；
- b) 评价工程概况；
- c) 评价方案：
  - 1) 评价内容；
  - 2) 评价依据；
  - 3) 技术路线。
- d) 资料收集；
- e) 现场测量描述；
- f) 影响评价：
  - 1) 数据处理；
  - 2) 人为水下噪声等效源强和声能传播损失计算；
  - 3) 不同阈值下影响区域分析。
- g) 参考文献。



**附录 A**  
(资料性)  
**海洋生物听力分组和影响阈值**

### A.1 海洋哺乳动物听力分组

海洋哺乳动物听力分组及代表属种见表 A.1。

表 A.1 海洋哺乳动物听力分组及代表属种

听力分组	代表属种
低频鲸目	露脊鲸科（露脊鲸属，真露脊鲸属）；须鲸科（长须鲸，蓝鲸，小须鲸，南极小须鲸，塞鲸，布氏鲸，大村鲸，大翅鲸）；小露脊鲸科（小露脊鲸属）；灰鲸科（灰鲸属）
高频鲸目	抹香鲸科（抹香鲸属）；喙鲸科（贝喙鲸属，瓶鼻鲸属，印太喙鲸属，中喙鲸属，塔喙鲸属，鹅喙鲸属）；海豚科（虎鲸属，真海豚属，小虎鲸属，领航鲸属，灰海豚属，坛喙海豚属，大西洋斑纹海豚，白喙斑纹海豚，太平洋斑纹海豚，暗色斑纹海豚，露脊海豚属，短吻海豚属，瓜头鲸属，伪虎鲸属，土库海豚属，白海豚属，原海豚属，糙齿海豚属，瓶鼻海豚属）；一角鲸科（白鲸属，一角鲸属）；恒河豚科（恒河豚属）
超高频鲸目	海豚科（矮海豚属，沙漏斑纹海豚，皮氏斑纹海豚）；鼠海豚科（江豚属，鼠海豚属，无喙鼠海豚属）；亚河豚科（亚河豚属）；小抹香鲸科（小抹香鲸属）；白鬻豚科（白鬻豚属）；拉河豚科（拉河豚属）
海牛目	海牛科（海牛属）；儒艮科（儒艮属）
海豹食肉目	海豹科（冠海豹属，髯海豹属，灰海豹属，带纹海豹属，豹海豹属，威德尔海豹属，食蟹海豹属，象海豹属，僧海豹属，新僧海豹属，罗斯海豹属，竖琴海豹属，海豹属，环斑海豹属）
其他海洋食肉动物	海象科（海象属）；海狮科（南海狗属，北海狗属，北海狮属，新海狮属，海狮属，胡氏海狮属，加州海狮属）；熊科（北极熊）；鼬科（海獭属，秘鲁水獭）

### A.2 鱼类听力分组

鱼类听力分组及代表类群见表 A.2。

表 A.2 鱼类听力分组及代表类群

听力分组	特征	代表类群
无鱼鳔	对质点运动和窄带频率声压敏感	鲨鱼（侧孔总目）、比目鱼（鲽形目）
有鱼鳔，鱼鳔与听力无关	对质点运动和窄带频率声压敏感	鲑鱼（鲑科）、金枪鱼、鲭鱼（鲭科）
有鱼鳔，鱼鳔与听力相关，但与内耳物理隔离	对质点运动和声压都很敏感，并且具有更宽敏感频率范围，大约 500 Hz	鳕鱼（鳕科）、鳗鱼（鳗鲡科）、部分石首鱼（石首鱼科）
有鱼鳔，鱼鳔与听力相关，并且与内耳物理连接	主要对声压敏感，具有更宽的频率范围，并且通常表现出更高的声压敏感性	金鳞鱼（金鳞鱼科）、石首鱼（石首鱼科）、鲱鱼（鲱科）
卵和幼体	承受质点运动和声压能力差	——

## A.3 影响阈值

A.3.1 人为水下噪声对海洋哺乳动物影响阈值见表 A.3。

表 A.3 人为水下噪声对海洋哺乳动物影响阈值

听力分组	非脉冲噪声		脉冲噪声	
	TTS	PTS	TTS	PTS
低频鲸目	179 dB SEL <sub>w</sub> <sup>a</sup>	199 dB SEL <sub>w</sub>	168 dB SEL <sub>w</sub> 或 213 dB SPL <sub>pk</sub> <sup>b</sup>	183 dB SEL <sub>w</sub> 或 219 dB SPL <sub>pk</sub>
高频鲸目	178 dB SEL <sub>w</sub>	198 dB SEL <sub>w</sub>	170 dB SEL <sub>w</sub> 或 224 dB SPL <sub>pk</sub>	185 dB SEL <sub>w</sub> 或 230 dB SPL <sub>pk</sub>
超高频鲸目	153 dB SEL <sub>w</sub>	173 dB SEL <sub>w</sub>	140 dB SEL <sub>w</sub> 或 196 dB SPL <sub>pk</sub>	155 dB SEL <sub>w</sub> 或 202 dB SPL <sub>pk</sub>
海牛目	186 dB SEL <sub>w</sub>	206 dB SEL <sub>w</sub>	175 dB SEL <sub>w</sub> 或 220 dB SPL <sub>pk</sub>	190 dB SEL <sub>w</sub> 或 226 dB SPL <sub>pk</sub>
海豹类食肉目	181 dB SEL <sub>w</sub>	201 dB SEL <sub>w</sub>	170 dB SEL <sub>w</sub> 或 212 dB SPL <sub>pk</sub>	185 dB SEL <sub>w</sub> 或 218 dB SPL <sub>pk</sub>
其他海洋食肉动物	199 dB SEL <sub>w</sub>	219 dB SEL <sub>w</sub>	188 dB SEL <sub>w</sub> 或 226 dB SPL <sub>pk</sub>	203 dB SEL <sub>w</sub> 或 232 dB SPL <sub>pk</sub>
<sup>a</sup> SEL <sub>w</sub> 宜按B.5计算。 <sup>b</sup> SPL <sub>pk</sub> 宜按B.3计算。				

A.3.2 人为水下噪声对鱼类影响阈值见表 A.4。

表 A.4 人为水下噪声对鱼类影响阈值

听力分组	致死或潜在致死	损害			行为响应
		物理损伤	TTS	声掩蔽	
无鱼鳔	219 dB SEL <sub>cum</sub> <sup>a</sup> 或 213 dB SPL <sub>pk</sub>	216 dB SEL <sub>cum</sub> 或 213 dB SPL <sub>pk</sub>	186 dB SEL <sub>cum</sub>	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔, 鱼鳔与听力无关	210 dB SEL <sub>cum</sub> 或 207 dB SPL <sub>pk</sub>	203 dB SEL <sub>cum</sub> 或 207 dB SPL <sub>pk</sub>	186 dB SEL <sub>cum</sub>	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔, 鱼鳔与听力相关	207 dB SEL <sub>cum</sub> 或 207 dB SPL <sub>pk</sub>	203 dB SEL <sub>cum</sub> 或 207 dB SPL <sub>pk</sub>	186 dB SEL <sub>cum</sub>	(近) 高	(近) 高
				(中) 高	(中) 高
				(远) 中等	(远) 中等
卵和幼体	210 dB SEL <sub>cum</sub> 或 207 dB SPL <sub>pk</sub>	(近) 中等	(远) 中等	(近) 中等	(近) 中等
		(中) 低	(中) 低	(中) 低	(中) 低
		(远) 低	(远) 低	(远) 低	(远) 低
<sup>a</sup> SEL <sub>cum</sub> 宜按B.4.2计算。					

附 录 B  
(规范性)  
水下噪声要素计算公式

B.1 声压谱级  $L_{ps}$

按照公式 (B.1) 计算:

$$L_{ps} = 20 \log_{10} \left( \frac{p_f}{p_{ref}} \right) - 10 \log_{10} \left( \frac{\Delta f}{f_{ref}} \right) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$L_{ps}$  ——人为水下噪声声压谱级, 单位为分贝 (dB);

$p_f$  ——测量获得的一定带宽人为水下噪声声压, 单位为帕 (Pa);

$p_{ref}$  ——基准声压, 1 $\mu$ Pa;

$\Delta f$  ——相对于1Hz的带宽, 单位为赫兹 (Hz);

$f_{ref}$  ——基准带宽, 1Hz。

B.2 均方根声压级  $SPL_{rms}$

按照公式 (B.2) 计算:

$$SPL_{rms} = 20 \log_{10} \left( \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_T p(t)^2 dt}}{p_{ref}} \right) \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$SPL_{rms}$  ——人为水下噪声均方根声压级, 单位为分贝 (dB);

$T$  ——信号时间, 单位为秒 (s);

$p(t)$  ——测量获得的一定时间人为水下噪声声压, 单位为帕 (Pa);

$dt$  ——以时间为变量的微分因子, 单位为秒 (s);

$p_{ref}$  ——基准声压, 1 $\mu$ Pa。

### B.3 峰值声压级 $SPL_{pk}$

按照公式 (B.3) 计算:

$$SPL_{pk} = 20 \log_{10} \left( \frac{\max(|p(t)|)}{p_{ref}} \right) \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

$SPL_{pk}$  ——人为水下噪声峰值声压级, 单位为分贝 (dB);

$p(t)$  ——测量获得的一定时间人为水下噪声声压, 单位为帕 (Pa);

$p_{ref}$  ——基准声压, 1 $\mu$ Pa。

### B.4 声暴露级 $SEL$

B.4.1 单个信号, 按照公式 (B.4) 计算:

$$SEL_{ss} = 10 \log_{10} \left( \frac{\int_T p(t)^2 dt}{p_{ref}^2 t_{ref}} \right) \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

$SEL_{ss}$  ——人为水下噪声声暴露级, 单位为分贝 (dB);

$T$  ——信号时间, 单位为秒 (s);

$p(t)$  ——测量获得的一定时间人为水下噪声声压, 单位为帕 (Pa);

$dt$  ——以时间为变量的微分因子, 单位为秒 (s);

$p_{ref}$  ——基准声压, 1 $\mu$ Pa;

$t_{ref}$  ——基准积分时间, 1s。

B.4.2 多个信号, 按照公式 (B.5) 计算:

$$SEL_{cum} = 10 \log_{10} \left( \frac{\sum_{i=1}^N \int_T p_i(t)^2 dt}{p_{ref}^2 t_{ref}} \right) \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

$SEL_{cum}$  ——人为水下噪声累积声暴露级, 单位为分贝 (dB);

$N$  ——信号个数;

$i$  ——信号序号;

$T$  ——信号时间, 单位为秒 (s);

$p_i(t)$ ——第*i*个信号的声压，单位为帕（Pa）；

$dt$ ——以时间为变量的微分因子，单位为秒（s）；

$p_{ref}$ ——基准声压，1 $\mu$ Pa；

$t_{ref}$ ——基准积分时间，1s。

### B.5 加权声暴露级 $SEL_w$

按照公式（B.6）计算：

$$SEL_w = 10 \log_{10} \left( \frac{\int_T p_w(t)^2 dt}{p_{ref}^2 t_{ref}} \right) \dots\dots\dots (B.6)$$

式中：

$SEL_w$ ——人为水下噪声加权声暴露级，单位为分贝（dB）；

$T$ ——信号时间，单位为秒（s）；

$p_w(t)$ ——加权后的人为水下噪声均方根声压，单位为帕每根号赫兹（Pa/ $\sqrt{Hz}$ ），由公式（B.7）

给出：

$dt$ ——以时间为变量的微分因子，单位为秒（s）；

$p_{ref}$ ——基准声压，1 $\mu$ Pa。

$$p_w(t) = \sqrt{\int_{f_{min}}^{f_{max}} 10^{\frac{W(f)}{10}} \frac{p_f^2}{\Delta f} df} \dots\dots\dots (B.7)$$

式中：

$f_{min}$ ——信号最小频率，单位为赫兹（Hz）；

$f_{max}$ ——信号最大频率，单位为赫兹（Hz）；

$W(f)$ ——每个频率的加权幅度，单位为分贝（dB），由公式（C.1）和公式（C.2）给出；

$p_f$ ——测量获得的一定带宽人为水下噪声声压，单位为帕（Pa）；

$\Delta f$ ——相对于1Hz的带宽，单位为赫兹（Hz）。

### B.6 声能传播损失 $TL$

按照公式（B.8）计算：

$$\left\{ \begin{array}{ll} TL = 20\log_{10}(r) + \alpha r + 60 - k_L & r < R \\ TL = 15\log_{10}(r) + \alpha r + a_T \left(\frac{r}{H} - 1\right) + 5\log_{10}(H) + 60 - k_L & R \leq r \leq 8R \\ TL = 10\log_{10}(r) + \alpha r + a_T \left(\frac{r}{H} - 1\right) + 10\log_{10}(H) + 64.5 - k_L & 8R < r \end{array} \right. \dots\dots\dots (B.8)$$

式中：

$TL$  ——传播损失，单位为分贝（dB）；

$r$  ——距声源的距离，单位为千米（km）；

$\alpha$  ——海水吸收系数，单位为分贝每千米（dB/km），由公式（B.9）给出；

$k_L$  ——近场传播异常修正值，单位为分贝（dB），见表B.1；

$R$  ——距离参数，单位为千米（km），由公式（B.10）给出；

$a_T$  ——浅海界面衰减系数，单位为分贝每千米（dB/km），见表B.2；

$H$  ——水深，单位为米（m）。

$$\alpha = \frac{0.102f^2}{1+f^2} + \frac{40.7f^2}{4100+f^2} + 3.06 \times 10^{-4} f^2 \dots\dots\dots (B.9)$$

式中：

$f$  ——频率，单位为千赫兹（kHz）。

$$R = \left[ \frac{1}{3}(H + L) \right]^{1/2} \dots\dots\dots (B.10)$$

式中：

$L$  ——浅海混合层深度，单位为米（m）。

表 B.1 近场传播异常修正值

海况/频率 kHz	0		1		2		3		4		5	
	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底
0.1	7.0	6.2	7.0	6.2	7.0	6.2	7.0	6.2	7.0	6.2	7.0	6.2
0.2	6.2	6.1	6.2	6.1	6.2	6.1	6.2	6.1	6.2	6.0	6.2	6.0
0.4	6.1	5.8	6.1	5.8	6.1	5.8	6.1	5.8	6.1	5.8	4.7	4.5
0.8	6.0	5.7	6.0	5.6	5.9	5.6	5.3	5.0	4.3	3.9	3.9	3.6
1.0	6.0	5.6	5.9	5.5	5.7	5.3	4.6	4.2	4.1	3.7	3.8	3.4
2.0	5.8	5.4	5.3	4.9	4.2	3.8	3.8	3.4	3.5	3.1	3.1	2.8
4.0	5.7	5.1	3.9	3.5	3.6	3.1	3.2	2.8	2.9	2.4	2.6	2.2
8.0	4.3	3.8	3.3	2.8	2.3	2.5	2.6	2.2	2.3	1.9	2.1	1.7
10.0	3.9	3.4	3.1	2.6	2.7	2.2	2.4	2.0	2.2	1.7	2.0	1.6

表 B.2 浅海界面衰减系数值

海况/频率 kHz	0		1		2		3		4		5	
	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底	沙底	泥底
0.1	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3
0.2	1.3	1.7	1.3	1.7	1.3	1.7	1.3	1.7	1.3	1.7	1.4	1.7
0.4	1.6	2.2	1.6	2.2	1.6	2.2	1.6	2.2	1.7	2.4	2.2	3.0
0.8	1.8	2.5	1.8	2.5	1.9	2.6	2.2	3.0	2.4	3.8	2.9	4.0
1.0	1.8	2.7	1.9	2.7	2.1	2.9	2.6	3.7	2.9	4.1	3.1	4.3
2.0	2.0	3.0	2.4	3.5	3.1	4.4	3.3	4.7	3.5	5.0	3.7	5.2
4.0	2.3	3.6	3.5	5.2	3.7	5.5	3.9	5.8	4.1	6.2	4.3	6.4
8.0	3.6	5.3	4.3	6.3	4.5	6.7	4.7	6.9	5.0	7.3	5.1	7.5
10.0	4.0	5.9	4.5	6.8	4.8	7.2	5.0	7.5	5.2	7.8	5.3	8.0

附 录 C  
(资料性)  
海洋哺乳动物听觉加权函数

### C.1 M 加权函数

按照公式 (C.1) 计算:

$$W(f) = K + 20 \log_{10} \left[ \frac{f_1^2 f^2}{(f_1^2 + f^2)(f_2^2 + f^2)} \right] \quad \text{.....(C.1)}$$

式中:

$W(f)$ ——每个频率的加权幅度, 单位为分贝 (dB);

$K$ ——常数, 单位为分贝 (dB), 参数值见表 C.1。

$f_1$ ——听力分组听力范围的下限频率, 单位为赫兹 (Hz), 见表 C.1;

$f$ ——频率, 单位为赫兹 (Hz);

$f_2$ ——物种听力范围的上限频率, 单位为赫兹 (Hz), 见表 C.1。

表 C.1 M 加权函数参数值

听力分组	K dB	$f_1$ Hz	$f_2$ Hz
低频鲸目	0	7	22 000
中频鲸目	0	150	160 000
高频鲸目	0	200	180 000
鳍足类	0	75	75 000

### C.2 通用带通滤波加权函数

按照公式 (C.2) 计算:

$$W(f) = C + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(f/f_1)^{2a}}{\left[1 + (f/f_1)^2\right]^a \left[1 + (f/f_2)^2\right]^b} \right\} \quad \text{.....(C.2)}$$

式中:

$W(f)$ ——每个频率的加权幅度, 单位为分贝 (dB);

$C$ ——常数, 单位为分贝 (dB), 参数值见表 C.2;

$f$ ——频率, 单位为赫兹 (Hz);



$f_1$ ——听力分组听力范围的下限频率，单位为赫兹（Hz），见表 C.2；

$a$ ——低频衰减指数，见表 C.2；

$f_2$ ——听力分组听力范围的上限频率，单位为赫兹（Hz），见表 C.2；

$b$ ——高频衰减指数，见表 C.2。

表 C.2 通用带通滤波加权函数参数值

听力分组	$f_1$ Hz	$f_2$ Hz	C dB	a	b
低频鲸目	200	19000	0.13	1	2
高频鲸目	8800	110000	1.2	1.6	2
超高频鲸目	12000	140000	1.36	1.8	2
海牛目	4300	25000	2.62	1.8	2
海豹类食肉目	1900	30000	0.75	1	2
其他海洋食肉动物	940	25000	0.64	2	2

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 3947—1996 声学名词术语.
- [2] GB/T 19485—2014 海洋工程环境影响评价技术导则.
- [3] 国家海洋局.(2002). 建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程.
- [4] 刘伯胜,雷家煜(1993). 水声学原理.
- [5] Ainslie, M. A. (2011). Standard for measurement and monitoring of underwater noise, Part I: physical quantities and their units. TNO-DV C235.
- [6] de Jong, C. A. F., Ainslie, M. A., and Blacquiére, G. (2011). Standard for measurement and monitoring of underwater noise, Part II: procedures for measuring underwater noise in connection with offshore wind farm licensing. TNO-DV C251.
- [7] Hawkins, A. D., Johnson, C., and Popper, A. N. (2020). How to set sound exposure criteria for fishes. *The journal of the Acoustical Society of America*, 147, 1762-1777. <https://doi.org/10.1121/10.0000907>.
- [8] ISO 18406—2017 Underwater acoustics—Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving
- [9] NMFS (2016). Technical guidance for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammal hearing: Underwater acoustic thresholds for onset of permanent and temporary threshold shifts (NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-55). Washington, DC: National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce.
- [10] NMFS (2018). 2018 Revisions to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts, U.S. Department of Commerce.
- [11] NOAA (2016). National oceanic and atmospheric administration, Draft guidance for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammal hearing: underwater acoustic threshold levels for onset permanent and temporary threshold shifts. Silver Spring, Maryland: NMFS Office of Protected Resources.
- [12] Popper, A. N., and Hawkins, A.D. (2019). An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. *Journal of Fish Biology*, 94, 692-713. <http://doi/10.1111/jfb.13948>.
- [13] Popper, A. N., Hawkins, A. D., Fay, R. R., Mann, D. A., Bartol, S., Carlson, T. J., Coombs, S., Ellison, W. T., Gentry, R. L., Halvorsen, M. B., Lokkeborg, S., Rogers, P. H., Southall, B., Zeddies, D., and Tavolga, W.A. (2014). ASA S3/SC1. 4 TR-2014 Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI (Springer, New York).
- [14] Southall, B. L., Bowles, A. E., Ellison, W. T., *et al.* (2007). Marine mammal noise exposure criteria: Initial Scientific Recommendations. *Aquatic Mammals*, 33, 273-275. <https://doi.org/10.1578/AM.33.4.2007>.
- [15] Southall, B.L., Finneran, J.J., Reichmuth, C., *et al.* (2019). Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals*, 45, 125-232, <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019>.
- [16] Van der Graaf, A. J., Ainslie, M.A., Andre, M., *et al.* (2012). European Marine Strategy Framework Directive – Good Environmental Status (MSFD GES): Report of the Technical subgroup on Underwater noise and other forms of energy.