

中华人民共和国国家标准

GB/T 44042—2024

船舶水下辐射噪声测量方法

Test method for underwater radiated noise from ships

2024-05-28 发布

2024-09-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 4

5 仪器设备 5

6 测量要求与测量过程 7

7 数据处理..... 14

8 测量不确定度..... 17

9 报告要求..... 18

附录 A（资料性） 1/3 倍频程与 1/10 十倍频程频率表 20

附录 B（资料性） 典型海底底质与深度对应声传播低频截止频率与临界距离 22

附录 C（资料性） 风力等级特征及换算 26

附录 D（资料性） 减少波浪及流动影响的水听器布放措施 27

附录 E（资料性） 浅水域单距离测量声源级推算方法 29

附录 F（资料性） 试验记录表格式 31

参考文献 34

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作到则 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。

本文件由全国海洋船标准化技术委员会(SAC/TC 12)归口。

本文件起草单位：中国船舶科学研究中心、中国船级社上海规范研究所、中国船舶集团有限公司第七〇八研究所、中国船舶集团有限公司第七一五研究所、中国人民解放军 91388 部队。

本文件主要起草人：庞业珍、吴文伟、裴雨晴、李志超、周亚军、王福花、胡东森、刘进、李泽成、叶曦、陈毅、秦江璇、刘玉财、曹亮、张帅、时尚。



船舶水下辐射噪声测量方法

1 范围

本文件规定了在海洋或湖泊环境条件下,进行船舶水下辐射噪声测量的仪器设备、测量要求与测量过程、数据处理方法。

本文件适用于航行状态的水面船舶水下辐射噪声测量,包括有人驾驶和无人驾驶,其他水中航行体航行状态的水下辐射噪声也可参照适用。

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 3947—1996 声学名词术语

GB 12327—2022 海道测量规范

GB/T 41311.1—2022 声学 描述船舶水下噪声的量及其测量方法 第1部分:用于比对目的的深水精密测量要求

ISO 17208-2:2019 声学 描述船舶水下噪声的量及其测量方法 第2部分:深水测量条件下的声源级确定(Underwater acoustics—Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships—Part 2:Determination of source levels from deep water measurements)

IEC 60565-1:2020 水声 水听器 水听器校准 第1部分:水听器自由场校准步骤(Underwater acoustics—Hydrophones—Calibration of hydrophones—Part 1:Procedures for free-field calibration of hydrophones)

IEC 60565-2:2019 水声 水听器 水听器校准 第2部分:低频声压场校准步骤(Underwater acoustics—Hydrophones—Calibration of hydrophones—Part 2:Procedures for low frequency pressure calibration)

3 术语和定义

GB/T 3947—1996 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

深水域 deep water

水深大于 150 m 与 1.5 倍船长的较大值。

3.2

浅水域 shallow water

水深大于 30 m,小于 150 m 与 1.5 倍船长的较大值。

3.3

背景噪声 background noise

除被测量船舶之外所有(生物和非生物)噪声源产生的噪声(包括测量的自噪声)。

3.4

舷位 beam aspect

垂直于被测船舶艏艉中纵剖面任一侧的方向。

3.5

船舶总长 overall ship length

船长

自船首最前端至船尾最后端的水平距离。

3.6

船舶参考点 ship reference point



确定距离时作为起点的船上某点。

注 1：在本文件中，船舶参考点位置横向位于船舶中纵线，纵向位于螺旋桨桨毂中心至主发动机中心的中间位置，垂向位于水面高度。

注 2：船舶参考点的位置适用于所有频率。

注 3：船舶参考点近似地视为船舶声中心对应的水面位置。

3.7

最近会遇点 closest point of approach; CPA

一次航行测试中，被测船舶参考点至水听器水平距离最近的点。

3.8

数据采集开始位置 start data location

数据采集开始时，被测船舶参考点所在的位置。

3.9

数据采集结束位置 end data location

数据采集结束时，被测船舶参考点所在的位置。

注：数据采集结束位置是数据采集开始位置之后一个数据窗长度的位置。见图 6。

3.10

数据窗长度 data window length

l_{DW}

数据采集开始位置与数据采集结束位置之间的距离。

3.11

数据窗时长 data window period

t_{DWP}

被测船舶以一定航速通过数据窗长度所经历的时间。

3.12

数据窗夹角 data window angle

被测船舶参考点在数据采集开始位置和数据采集结束位置之间，朝向水听器的角度。

3.13

现场校准 field calibration

为了验证实际测量系统的合理（即在系统声明的不确定度范围内）响应，在测量系统的输入端（或其他位置）利用已知输入进行激励的校准方法。

注：可使用物理激励（比如，经过校准和溯源的已知声或振动源）或者电输入（电荷或电压信号输入）。

3.14

测量系统 measurement system

由一个或多个换能器、适调放大器、模数转换器和数字信号处理器及辅助设备组成的数据采集

系统。

3.15

倾斜距离 **slant range**

被测船舶参考点与每个水听器的直线距离。

3.16

声速剖面 **sound speed profile**

声速沿水深方向的分布。

3.17

辐射噪声级 **radiated noise level; RNL**

L_{RN}

以被测船舶参考点为声源位置的测量距离与该测量远场均方声压的乘积,相对参考距离和声压参考值的噪声级。

3.18

均方根声压级 **root-mean-square sound pressure level; sound pressure level; SPL**

L_p

对指定参考值,用声压均方根值计算得到的声压级。

3.19

测量不确定度 **measurement uncertainty**

辐射噪声级测量值的期望离散性。

注 1: 针对给定的测量方法(如时间平均、时间带宽乘积等),测量不确定度是在以 1/3 倍频带上用分贝(dB)进行表示。

注 2: 见第 7 章。

3.20

测量重复性 **measurement repeatability**

在同一地点,利用同一测量设备在相同测量条件下进行的,对同一船舶在同一测量工况下进行连续测量得到的辐射噪声级所期望的离散性。

注: 测量重复性在 1/3 倍频程带宽上用分贝(dB)进行表示。

3.21

(标称)声源深度 **(nominal)source depth**

d_s

将产生噪声的实际声源等效为单极子点声源,其在海面以下的标称深度,标称声源深度近似取 0.7 倍吃水深度,即 $d_s=0.7D$ 。

注 1: 该深度用于将辐射噪声级转换为等效单极子声源级。

注 2: 船舶吃水深度被认为是船尾吃水深度和船艏吃水深度的平均值。

注 3: 对于仅知道船舶吃水深度(D)的船舶,标称声源深度的选取有些随意,选取平均吃水深度的 70% 作为标称声源深度代表了一种折中。标称声源深度的值要与等效的舷侧单级子声源级的值一起报告。

注 4: 船舶声中心的水平位置对应船舶参考点位置,垂直位置对应声源深度。

3.22

(等效)声中心 **(equivalent) acoustic centre**

自由场条件下,出射波面在声学远场中出现发散的声学中心点。

注 1: 声中心的位置一般取决于频率。

注 2: 指向性声源具有不同的声中心。

注 3: 很难在船上找到一个确定的点作为声中心,一般按照远场测量声压与声传播特性向声源推算,得到一个等效点声源声中心,称作船舶等效声中心。

4 符号

表 1 给出的符号适用于本文件。

表 1 符号

符号	含义	单位
A_{SEN}	水听器灵敏度的修正值	dB
α	传播衰减系数,深水域测量时, $\alpha = 20$	—
B	船宽	m
$c_w \text{ 及 } c_b$	声速, c_w 是水中的声速, c_b 是水底的声速	m/s
D	船舶吃水深度	m
D_p	船舶螺旋桨轴中心吃水深度	m
d_c	临界距离	m
d_{CPA}	最近会遇距离,最近会遇点与水听器水平距离	m
d_{Horiz}	正横位置处船舶等效声中心与水听器上方的浮标之间的水平距离	m
d_n	水听器深度	m
d_{ref}	参考距离, $d_{\text{ref}} = 1 \text{ m}$	m
d_s	标称声源深度	m
d_{Total}	船舶与水听器之间的距离	m
d	测量距离	m
f	频率	Hz
f_c	声传播截止频率	Hz
H	水深	m
H_{min}	最小测量水深	m
k	波数	m^{-1}
L_p	均方根声压级	dB
L'_p	修正过背景噪声之后的船舶水下辐射噪声均方根声压级	dB
L''_p	经过灵敏度修正的均方根声压级	dB
L_{p_n}	背景噪声均方根声压级	dB
$L_{p_{s+n}}$	每个航行单程的测量船舶的辐射噪声均方根声压级	dB
$L''_p(m)$	航行单程 m 的 N 个水听器测量声压级的能量平均值	dB
$L''_p(m, d_n)$	航行单程 m 第 n 个水听器测量声压级	dB
L_{RN}	辐射噪声级	dB
$L_{\text{RN}}(m)$	航行单程 m 的 N 个水听器的水下辐射噪声级的能量平均值	dB
$L_{\text{RN}}(m, d_n)$	航行单程 m 第 n 个水听器接收到的水下辐射噪声级	dB
L_s	声源级	dB

表 1 符号（续）

符号	含义	单位
l_{DW}	数据窗长度,数据采集开始位置与数据采集结束位置之间的距离	m
N	水听器总数	个
p_n	背景噪声均方根声压	μPa
p_{RMS}	均方根声压	Pa
p_{s+n}	水听器测量的均方根声压,该值同时包含了辐射噪声信号和背景噪声	μPa
p_0	参考声压, $p_0=1\ \mu\text{Pa}$	Pa
SNR	信噪比,每个 1/3 倍频带的信号叠加噪声与噪声之间的级差	dB
t_{DWP}	数据窗时长,被测船舶以一定航速通过数据窗长度所经历的时间	s
v	船舶航行速度	m/s
Φ_p	螺旋桨直径	m
ψ_c	水底反射临界角, $\psi_c=\cos^{-1}(c_w/c_b)$	(°)
ΔPL	声源级修正量	dB

5 仪器设备

5.1 通则

测量船舶水下辐射噪声,需要以下 3 种主要仪器或装置。

- a) 水听器和信号调理器。
- b) 数据采集、记录、处理、显示系统。
- c) 测距系统。每种测量装置的详细要求及其对应参数应符合表 2 的要求。

表 2 测量参数与要求

序号	测量参数	测量参数对应数值
1	深水中测量可达成扩展不确定度 (1/3 倍频带的适当的典型值)	5 dB(10 Hz~100 Hz 范围内的 1/10 十倍频带) 3 dB(125 Hz~16 000 Hz 范围内的 1/10 十倍频带) 4 dB($\geq 20\ 000\ \text{Hz}$ 的 1/10 十倍频带)
2	浅水中测量可达成扩展不确定度 (1/3 倍频带的适当的典型值)	6.5 dB(10 Hz~100 Hz 范围内的 1/10 十倍频带) 5.2 dB(125 Hz~16 000 Hz 范围内的 1/10 十倍频带) 5.2 dB($\geq 20\ 000\ \text{Hz}$ 的 1/10 十倍频带)
3	测量重复性(1/3 倍频带的适当的典型值)	3 dB(10 Hz~100 Hz 范围内的 1/10 十倍频带) 1 dB(125 Hz~6 000 Hz 范围内的 1/10 十倍频带) 1 dB($\geq 20\ 000\ \text{Hz}$ 的 1/3 倍频带)
4	带宽	1/3 倍频带(1/10 十倍频带)
5	频率范围,1/3 倍频带的下限频率	10 Hz
6	频率范围,1/3 倍频带的上限频率	20 000 Hz,如果指标要求可到 100 000 Hz

表 2 测量参数与要求（续）

序号	测量参数	测量参数对应数值
7	水听器个数	≥3(浅水域简易测量可使用 1 个坐底布放水听器)
8	水听器几何位置	深水域测量见图 1、图 2，浅水域测量见图 4
9	水听器深度	深水域：水听器个数为 3，深度倾角 15°、30°、45°；水听器个数大于 3，水听器深度倾角在 0°~45°均分； 浅水域：水听器将水深均分，并保证最深的水听器距离水底在 0.5 m~2 m 范围内；简易测量使用水底布放单水听器
10	水深要求	深水域：水深大于 150 m 与 1.5 倍船长的较大值； 浅水域：龙骨与水底距离大于 30 m，且满足船舶快速性试验与声传播要求，小于 150 m 与 1.5 倍船长的较大值
11	(标称)正横距离 (最小会遇距离)	深水域测量： d_{CPA} ； 浅水域测量： $d_{CPA}, 2d_{CPA}, 3d_{CPA} \sim 4d_{CPA}$ ；无法实现 3 种以上正横距离时，采用 d_{CPA} 注： d_{CPA} 为 100 m 或 1 倍船长的较大值。
12	距离测量不确定度	≤10%
13	正横距离点处的数据窗角	±30°
14	数据窗平均时间	数据窗时长的采样时间
15	有效测量航行单程	多距离测量：总共 12 次，左舷 6 次，右舷 6 次； 单距离测量：不小于 4 次，左舷不小于 2 次，右舷不小于 2 次
16	推荐天气状况/海况	不高于 3 级海况
17	便携式水听器校准	每 12 个月实验室校准，测量中每天进行现场校准
18	固定式水听器校准	安装前实验室校准；每 12 个月用校准过的声源和参考水听器进行校准；实验测量中每天进行现场校准
19	水听器灵敏度	为保证测试有足够信噪比，一般要求水听器本底噪声低于 0 级海况海洋背景噪声； 工程上对水听器灵敏度级的典型要求为：不小于-180 dB(参考灵敏度 1 V/μPa)；在满足测试信噪比前提下，该要求可适当放宽

5.2 水听器

- 5.2.1 所使用的水听器包括其内部和外部的信号调理电子器件，其灵敏度、带宽应满足表 2 要求，动态范围一般要求不小于 80 dB。
- 5.2.2 测量需要用到不少于 3 只无指向性水听器，覆盖 10 Hz~20 000 Hz，甚至更高的频率范围（见表 2）。也可使用有指向性水听器，但在后处理时，需考虑其指向性修正。水听器可带或不带集成电缆。只要在测试时，能保证电缆不会对其性能产生影响。
- 5.2.3 每年应依据 IEC 60565-1:2020 和 IEC 60565-2:2019 要求对便携式水听器进行一次实验室校准。对固定式水听器（永久安装在水下的），应按照 IEC 60565-1:2020 的要求，利用一个已经过校准的水下声源，采用比较法对其所有的工作频段每年进行一次校准。也可将固定式水听器从水下取出，每年进行一次保养和实验室校准。

注：在其有效测量频率范围内，一般要求各频段灵敏度变化不超过±2 dB；水平方向上的灵敏度变化不超过±2 dB，垂直方向上±120°范围内灵敏度变化不超过±2 dB。采用校准的各频段灵敏度对水听器频率响应进行修正，能有效提升测量精度。

5.3 数据采集、记录、处理和显示系统

5.3.1 数据的采集、记录、处理和显示系统应能够稳定、精确地接收、记录、处理和显示水听器的数据。这些系统可能是磁带录音机、基于计算机的数据采集系统或硬件设备(如频谱分析仪)，或者是这几种设备的组合。数据采集系统应满足奈奎斯特(Nyquist)定律，并具有合适的采样频率和抗混叠滤波器。模拟系统或数字系统都应有适当的动态范围。所有频域平均采用与数据窗时长(DWP)一致的线性采样方式应符合 7.1 的要求。

5.3.2 每只水听器的时域信号应同步采集和记录，3 只水听器的采样精度也应相同。位置跟踪和时钟数据应符合 5.4 的要求，应与噪声数据同步记录，以实现跟踪再现和数据回放处理。

注：按照 GB/T 3241—2010 与 IEC 61260 的要求，宽带信号处理覆盖的 1/3 倍频程带宽范围为 10 Hz~20 000 Hz。在本文件中，二进制的(真正的 1/3 倍频程)或十进制的 1/3 倍频程(在 ISO 18405 中也称 1/10 十倍频程)是等价的，1/3 倍频程与 1/10 十倍频程频率对应关系见附录 A。如果对船舶噪声限值规范有特别要求，1/3 倍频程带宽范围按要求扩展到 50 000 Hz。

5.4 测距系统

5.4.1 测距系统应能够持续稳定地对测量水听器与被测船舶参考点之间的实际距离进行测量。水听器和被测船舶参考点倾角的估计不确定度不应超过 10%，修正后声源级的不确定度不应超过 1 dB。

5.4.2 直接距离测量方法(例如使用应答器或脉冲信号发射器系统)可直接确定水听器与被测船参考点之间的距离。

5.4.3 间接距离测量方法(例如激光光学、声学、卫星导航系统、雷达)可用于确定水听器上方的水面位置(如悬挂水面安装水听器电缆的装置或浮标，对应水底安装水听器的水底电缆附着点)到被测船舶参考点的水平距离。然后通过勾股定理根据水平距离和水听器深度，计算从被测船舶到水听器的倾斜距离。假设水听器电缆的漂移角度不超过 5°，则在水听器布放完成后，可不考虑水听器的偏移。在水听器下方电缆末端悬挂配重，或在锚置悬浮布放水听器上方配置大型浮体，能减小漂移角度。水听器电缆的倾角可利用指示水听器深度的深度计估算。如果漂移角度超过 5°，则在计算倾斜距离时应将其考虑在内。

5.5 声速测量仪器

可采用声速剖面仪直接测量声速，也可采用温度、盐度、深度等水文测量仪器的测量结果换算声速，换算方法按 GB 12327—2022 中的附录 Q 执行。

5.6 测量船

当采用船载布放方式开展试验时，测量船宜满足：

- a) 具备自航能力和测试海域锚泊能力，具有施放和回收测量装置的能力，具有低噪声供电系统，采用独立直流供电系统；
- b) 在测试期间停止一切非必须的机械设备运转，停止影响噪声测量的一切活动。

6 测量要求与测量过程

6.1 主要考虑因素

船舶水下辐射噪声的精确测量需要考虑几个因素：测量地点与测量海况、水听器布放、航行要求及

测量步骤。

6.2 测量地点与海况

6.2.1 深水域测量水深应大于 150 m 或者是 1.5 倍的船舶总长两者其中的较大值。深水域测量对水底没有特殊要求。

6.2.2 浅水域测量水深应大于 30 m, 小于 150 m 或者是 1.5 倍的船舶总长两者其中的较大值。浅水域测量时, 宜选取泥沙质水底的海区。

6.2.3 适合开展浅水域船舶水下辐射噪声测量的水深应足够深, 以避免对辐射噪声的影响, 从而影响辐射噪声测量。

注: 在 ITTC 7.5-04-01-01.1 中规定了船宽(B)、吃水(T)的船舶在速度为 v 时所需的最小水深是两个方程 $H_{\min} = 3 \sqrt{BT}$ 和 $H_{\min} = 2.75v^2/g$ 获得的数值中的较大值。

6.2.4 开展浅水域船舶水下辐射噪声测量的水深和水底属性应使测量最低频率等于或大于浅水域声传播截止频率(f_c), 即满足公式(1):

$$H_{\min} \geq c_w / (4f_c \sin\phi_c) \dots\dots\dots (1)$$

注: 用户参照附录 B 考虑测量最低频率适用的水深。这里的海底属性是指上层沉积层。沉积层, 特别是软沉积物覆盖在硬质基底上或水底包含气体层的地方, 会对声传播产生重大影响。

6.2.5 海洋环境条件会严重影响到测量的背景噪声, 并影响船舶操控, 对测量信噪比和重复性都有很大的干扰, 蒲福风力不大于 3 级(风力等级特征及换算表见附录 C), 浪高不大于 2 级、流速不大于 1.5 kn 时进行船舶水下辐射噪声试验。选定测量地点与海况应保证背景噪声足够低, 以进行指定频率范围内的船舶水下辐射噪声测量。

6.3 水听器布放

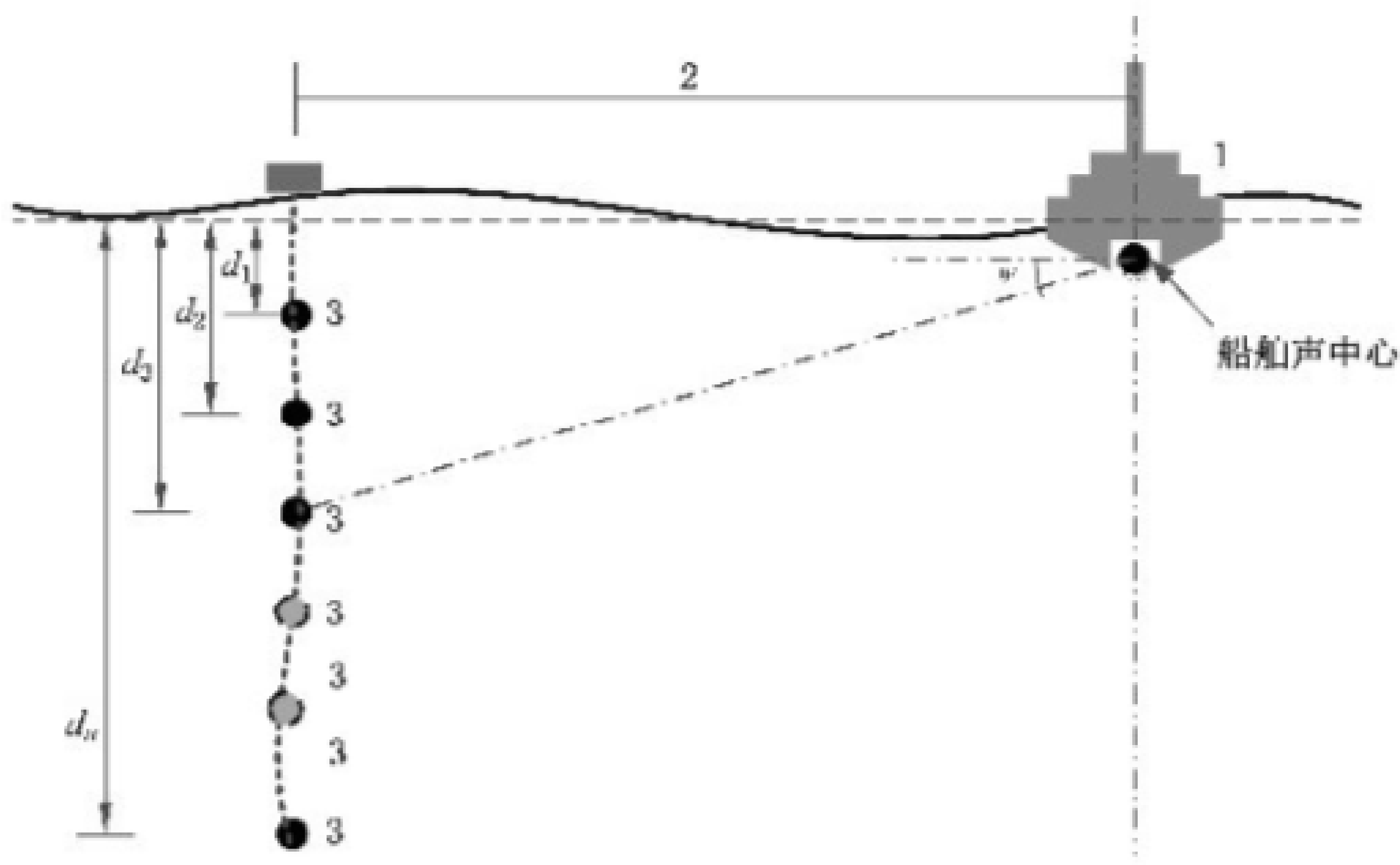
6.3.1 多水听器测量的优势

宜在垂直方向上使用不少于 3 个水听器的声阵开展船舶水下辐射噪声测量。多水听器测量用于平滑水面及水底反射带来的声场不均匀性。

6.3.2 深水域测量水听器布放

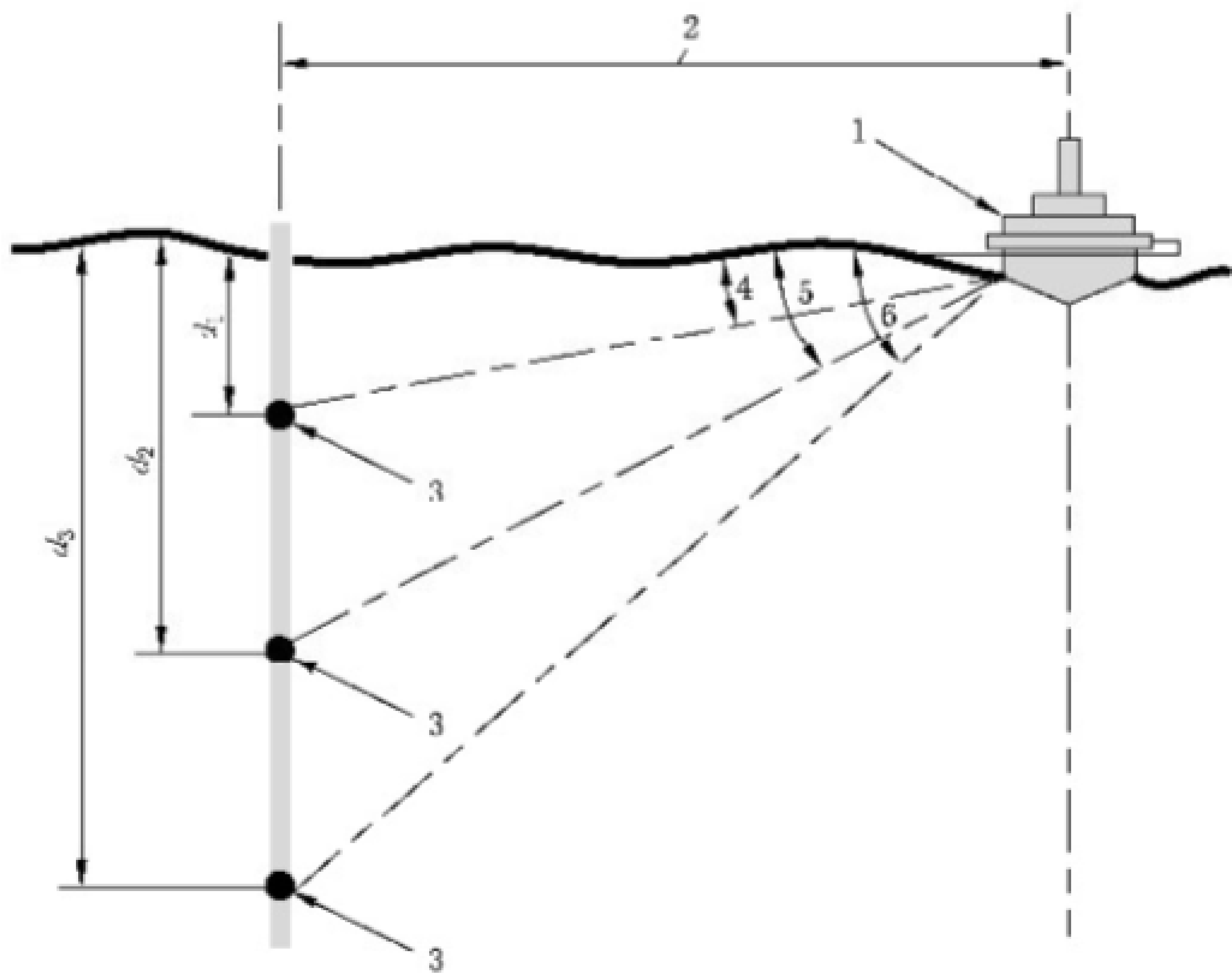
深水域应垂直布放不少于 3 个水听器, 水听器的深度倾角在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 均匀分布($45^\circ/N$ 、 $2 \times 45^\circ/N$ 、 $3 \times 45^\circ/N$ 、 \dots 、 45°), 具体见图 1(布放水听器数量为 3 个时, 深度倾角应为 15° 、 30° 和 45° , 见图 2), 水听器布放时要求水听器水平方向无指向性, 指向性图中的极小值应指向水底。

应采取措施减弱电缆摆动和水面对测量的影响。图 3 推荐了 3 种不同的水听器布放方式。附录 D 给出了 2 种较为实用的减少波浪及流动影响的水听器布放措施。



- 标引序号说明：
- 1 —— 被测船；
 - 2 —— 最近会遇距离(d_{CPA})，(d_{CPA} 为 100 m 或者是船长两者其中的较大值)；
 - 3 —— 水听器；
 - ϕ —— 水听器深度倾角(以船舶等效声中心为参考点)；
 - d_1 —— 第 1 个水听器深度；
 - d_2 —— 第 2 个水听器深度；
 - d_3 —— 第 3 个水听器深度；
 - d_n —— 第 n 个水听器深度。

图 1 深水域多水听器布放几何示意图



- 标引序号说明：
- 1 —— 被测船；
 - 2 —— 最近会遇距离(d_{CPA})，(d_{CPA} 为 100 m 或者是船长两者其中的较大值)；
 - 3 —— 水听器；
 - 4 —— 水面和第一个水听器之间 15° 倾角；
 - 5 —— 水面和第二个水听器之间 30° 倾角；
 - 6 —— 水面和第三个水听器之间 45° 倾角；
 - d_1 —— 第 1 个水听器深度；
 - d_2 —— 第 2 个水听器深度；
 - d_3 —— 第 3 个水听器深度。

图 2 深水域 3 水听器布放几何示意图

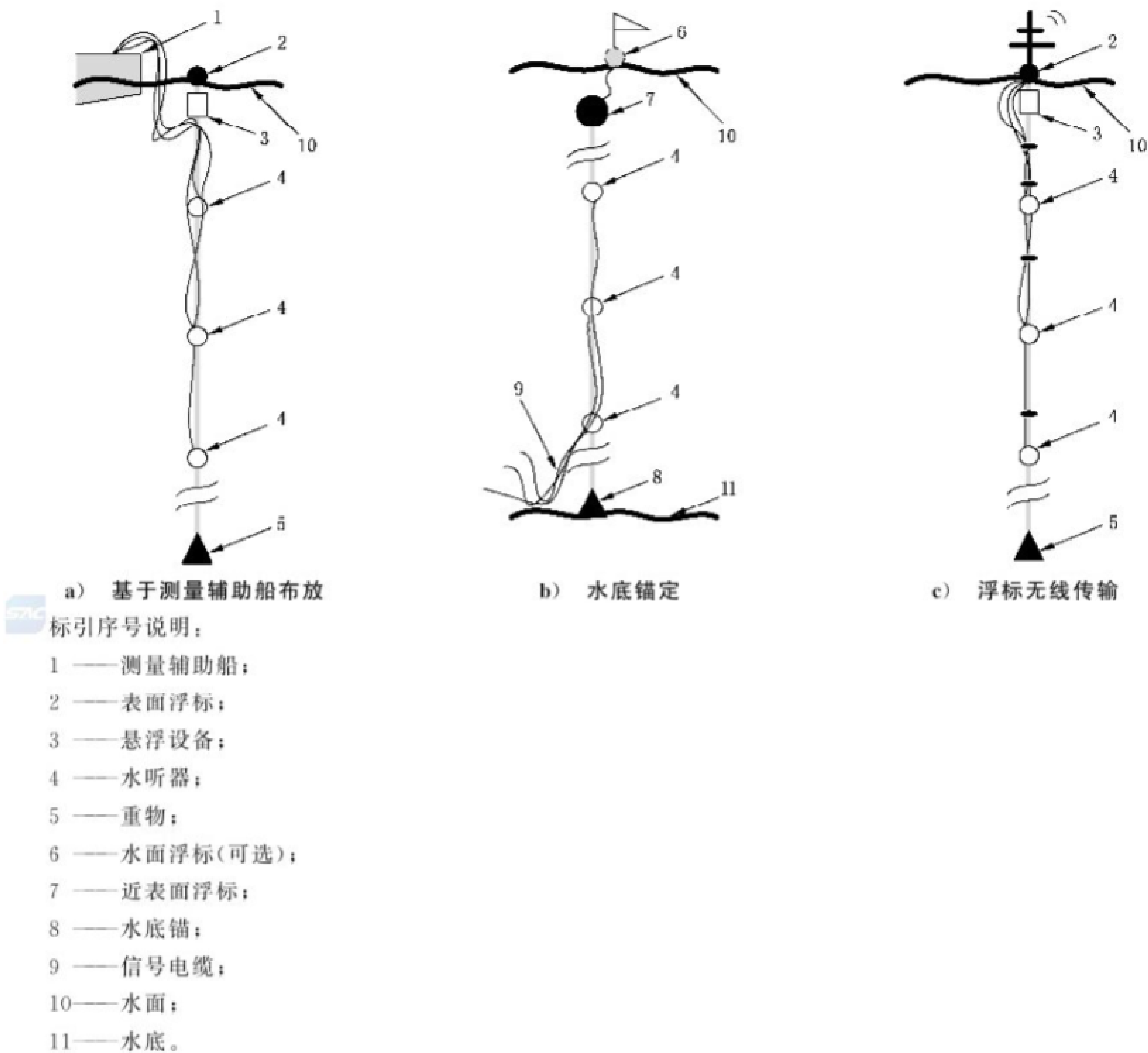


图 3 水听器布放方式示意图

6.3.3 浅水域测量水听器布放

宜在浅水域进行船舶水下辐射噪声测量,应布放不少于 3 个水听器。当水深大于要求的正横距离时,水听器布放参考深水域布放要求,见 6.2.1 及图 1;当水深小于要求的正横距离时,水听器在水深范围内按图 4 均匀垂直布放,水听器布放深度(d_n 、 d_N)按公式(2)计算。

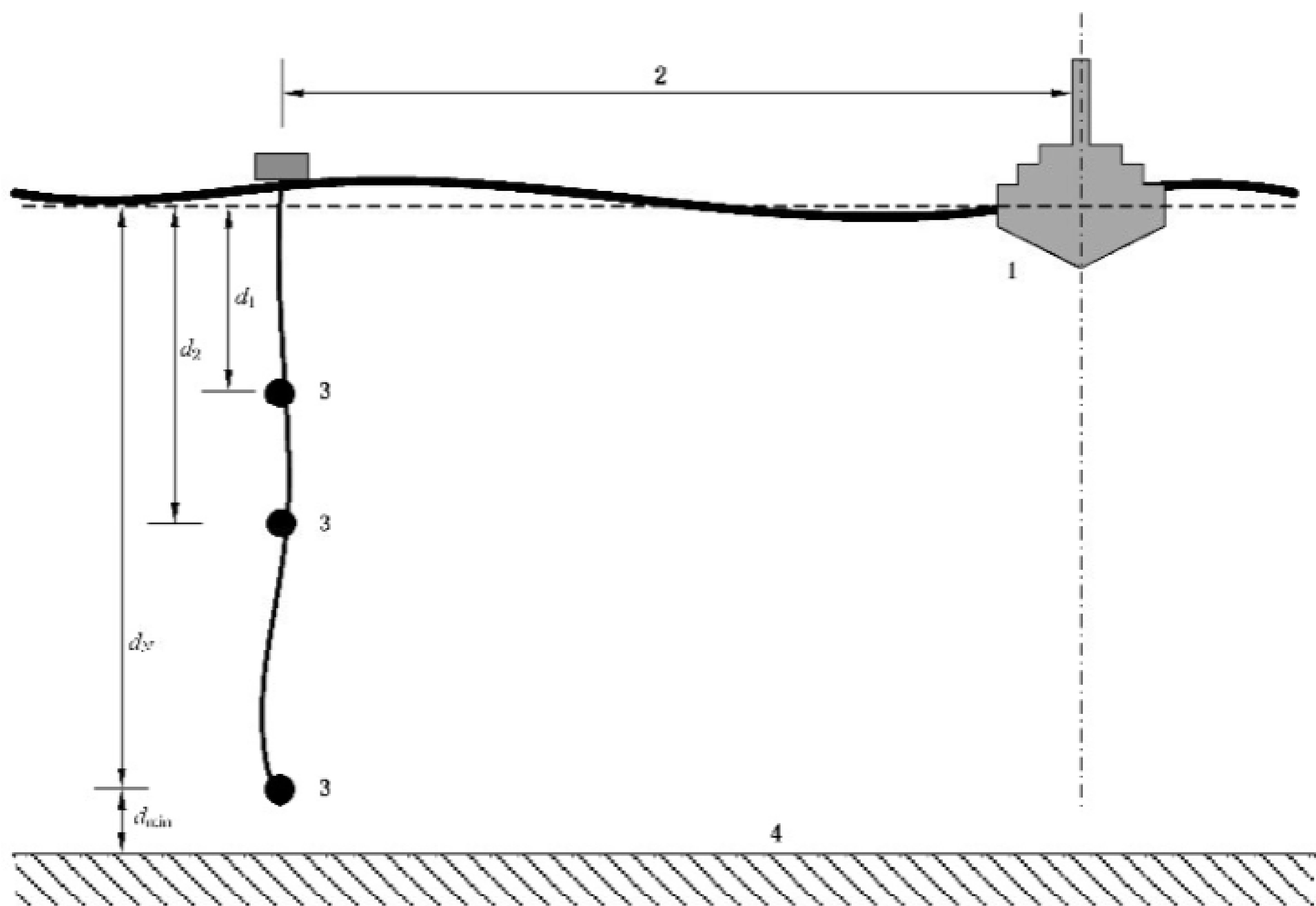
$$\begin{aligned} d_n &= \frac{n}{N}d_N & 1 \leq n \leq N-1 & \dots\dots\dots (2) \\ d_N &= H - d_{\min} & 0.5 \text{ m} \leq d_{\min} \leq 2 \text{ m} & \end{aligned}$$

式中：

n —— 水听器序号；

d_{\min} —— 最下面水听器距离水底的最小距离,单位为米(m)。

浅水域水听器布放方式与深水域相同,见图 4。



- 标引序号说明：
- 1 —— 被测船；
 - 2 —— 正横距离(d_{CPA})；
 - 3 —— 水听器；
 - 4 —— 水底；
 - d_1 —— 第 1 个水听器深度；
 - d_2 —— 第 2 个水听器深度；
 - d_N —— 第 N 个水听器深度；
 - d_{min} —— 最下面水听器距离水底的最小距离。

图 4 浅水域测量多水听器测量方式布放几何示意图

6.4 航行要求

6.4.1 一般要求

测量过程中测量船固定，被测船按照航线要求航行，被测船航速为船舶主机最大持续功率工况(MCR)的 85%所对应航速或持续使用功率工况(CSR)对应的推进器转速与航速，试验大纲指定航速时按照指定航速对应推进器转速航行，如图 5 所示，多次航行应保证推进器转速一致。为保证航速稳定，在船舶到达开始试验位置前要留有足够的助航距离。

6.4.2 深水域测量航行要求

被测船舶直线航行，航行至最近会遇点时的正横距离(最小会遇距离)应满足表 2 的要求。每个航行单程的起始位置与结束位置和正横位置的距离应不小于两倍数据窗长对应的距离。

试验开始前，被测船应达到要求的运行状态，船舶行驶到达试验结束位置前应保持恒定速度，设备状态稳定，尽量不操舵或少操舵。

- h) 每个工况测量的开始和结束时进行背景噪声测量。遇到天气突变或测试海域有其他船舶靠近,测量应停止,背景噪声应重新测量以确定背景噪声是否依旧满足测试需要。

7 数据处理

7.1 基本要求

数据处理通过包括背景噪声修正、灵敏度修正、距离归一化以及多个水听器和多次航行单程的组合分析,获得辐射噪声级与辐射噪声源级。

7.2 数据长度选取

7.2.1 数据窗角应为 $\pm 30^\circ$,正横距离点处的测量不确定度应小于10%。

7.2.2 船舶行驶的数据窗长(l_{DW})按公式(3)计算。

$$l_{\text{DW}} = 2d_{\text{CPA},i} \tan(\theta) \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$d_{\text{CPA},i}$ ——第*i*次航行正横距离,单位为米(m);

θ ——数据窗夹角,规定取值为 30° 。

7.2.3 船舶行驶的数据窗时长为船舶行驶过数据窗长所用时间(t_{DWP}),按公式(4)计算。

$$t_{\text{DWP}} = \frac{l_{\text{DW}}}{v} \dots\dots\dots (4)$$

7.2.4 数据窗时长应作为整体样本进行分析,由此得出辐射噪声级。

7.3 背景噪声修正

7.3.1 信噪比评价与修正应针对1/3倍频程频谱。信噪比(SNR)按公式(5)计算。

$$\text{SNR} = L_{p_{s+n}} - L_{p_n} = 10 \log_{10} \left(\frac{p_{s+n}^2}{p_n^2} \right) \dots\dots\dots (5)$$

7.3.2 当信噪比大于10 dB时,背景噪声对船舶水下辐射噪声测试结果的影响可忽略。

7.3.3 当信噪比小于3 dB或没有信噪比时,测试结果无效。

7.3.4 当信噪比大于3 dB且小于10 dB时,按公式(6)对水下辐射噪声测试结果进行背景噪声修正。

$$L'_p = 10 \log_{10} [10^{(L_{p_{s+n}}/10)} - 10^{(L_{p_n}/10)}] \dots\dots\dots (6)$$

7.4 灵敏度修正

对7.2中的 L'_p 值进行灵敏度修正。灵敏度修正(L''_p)按公式(7)计算。

$$L''_p = L'_p + A_{\text{SEN}} \dots\dots\dots (7)$$

7.5 深水域测量的辐射噪声级与声源级计算

7.5.1 深水域测量的距离归一化

7.5.1.1 灵敏度修正过的声压级(L''_p)还应进行最终的距离归一化修正。

7.5.1.2 根据使用的测量技术(GPS,声呐或者激光测距)确定船舶和水听器之间的距离,船舶与水听器之间的距离(d_{Total})按公式(8)计算。

$$d_{\text{Total}} = \sqrt{d_{\text{Horz}}^2 + d_n^2} \dots\dots\dots (8)$$

7.5.1.3 每个水听器的水下辐射噪声级[$L_{\text{RN}}(m, d_n)$]按公式(9)计算。

$$L_{\text{RN}}(m, d_n) = L''_p + \alpha \log_{10} \left(\frac{d_{\text{Total}}}{d_{\text{ref}}} \right) \dots\dots\dots (9)$$

7.5.2 深水域测量的多水听器组合分析

对单个航行单程的 $N(N \geq 3)$ 个水听器测量得到的辐射噪声级进行能量平均,按公式(10)计算得到单个航行单程多水听器组合的辐射噪声级 $[L_{RN}(m)]$ 。

$$L_{RN}(m) = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_{n=1}^{n=N} 10^{L_{RN}(m, d_n)/10}}{N} \right] \dots\dots\dots (10)$$

7.5.3 深水域测量的多个航行单程的组合分析

7.5.3.1 该数据组由不少于 3 个水听器进行不少于 4 次测量航行单程,其中每个方位(左舷方位和右舷方位)至少 2 个航行单程完成。单独计算左舷方位和右舷方位航行单程的辐射噪声级。总共 M 次航行单程的数据按公式(11)计算得到最终的辐射噪声级 (L_{RN}) 。

$$L_{RN} = \frac{\sum_{m=1}^{m=M} L_{RN}(m)}{M} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

M ——航行单程总数,深水域测量时 M 为 4 次或者 2 次(单独计算左舷方位和右舷方位),浅水域测量时 M 为 12 次或者是 6 次(单独计算左舷方位和右舷方位)。

7.5.3.2 对于每种船舶状态, L_{RN} 应首先单独计算船舶两侧(左舷方位和右舷方位),然后两侧合并计算。 L_{RN} 是每种船舶航行状态的辐射噪声源级,该数据是在 1/3 倍频程带上表示和报告,然后与限值或参考要求量值进行比较。

7.5.4 深水域测量声源级的推算方法

7.5.4.1 声源级 (L_S) 按公式(12)计算。

$$L_S = L_{RN} + \Delta PL \dots\dots\dots (12)$$

7.5.4.2 工程上对于采用 3 个水听器的测量配置方式,可采用多项式拟合的方式进行表达。声源级修正 (ΔPL) 按公式(13)计算。

$$\Delta PL = -10 \log_{10} \left[\frac{2(kd_s)^4 + 14(kd_s)^2}{14 + 2(kd_s)^2 + (kd_s)^4} \right] \dots\dots\dots (13)$$

7.5.4.3 对于采用大于 3 个水听器测量配置,声源级修正 $[\Delta PL(n)]$ 按公式(14)计算。

$$\Delta PL(n) = \begin{cases} -10 \log_{10} (4 \sin^2(kd_s \sin \varphi(n))) & kd_s \sin \varphi(n) \leq \frac{3\pi}{4} \\ -10 \log_{10} 2 & kd_s \sin \varphi(n) \geq \frac{3\pi}{4} \end{cases} \dots\dots\dots (14)$$

7.5.4.4 声源级 (L_S) 按公式(15)计算。

$$L_S = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\left(\frac{L_{RN}(n) + \Delta PL(n)}{10} \right)} \right] \dots\dots\dots (15)$$

7.6 浅水域测量的辐射噪声级与声源级计算

7.6.1 浅水域测量的多水听器组合分析

对于 1/3 倍频程辐射噪声级,参考声压为 $1 \mu Pa$,频率范围从 10 Hz~20 000 Hz(如需要,可到 50 000 Hz,见表 2)。由不少于 3 个水听器的测量数据处理完成。对单个航行单程的 $N(N \geq 3)$ 个水听器测量得到的声压级进行能量平均,标记为 $L''_p(m)$ 对应每个航行单程按公式(16)计算。

$$L''_p(m) = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_{n=1}^{n=N} 10^{L''_p(m, d_n)/10}}{N} \right] \dots\dots\dots (16)$$

7.6.2 多距离测量回归分析声传播衰减系数推算辐射噪声级与声源级

7.6.2.1 当在浅水域开展船舶水下辐射噪声测量能够获得不少于 3 个正横距离测试结果时,可利用多水听器能量平均声压级推算出水下辐射噪声源级。当在浅水域开展船舶水下辐射噪声测量仅有 1 个正横距离测试结果时,可按照附录 E 中 E.1 所述方法推算声源级,也可依据 E.2 所述方法采用受控声源对试验海域声传播特性开展标定,获得声传播衰减系数(α),用于声源级的推算。

7.6.2.2 浅水域测量时,水下辐射噪声级(L_{RN})按公式(17)计算。

$$L_{RN}(f) = L''_p(m) + \alpha \log_{10} \left(\frac{d_{Horiz}}{d_c} \right) + 20 \log_{10} \left(\frac{d_c}{d_{ref}} \right) \dots\dots\dots (17)$$

7.6.2.3 水下辐射噪声源级(L_S)按公式(18)计算。

$$L_S(f) = L''_p(m) + \alpha \log_{10} \left(\frac{d_{Horiz}}{d_c} \right) + 20 \log_{10} \left(\frac{d_c}{d_{ref}} \right) + \Delta PL \dots\dots\dots (18)$$

7.6.2.4 浅水域测量时,声传播衰减系数(α)应通过多距离测量声压级回归分析获得。利用不少于 3 个正横距离 $d_{CPA,1}$ 、 $d_{CPA,2}$ 、 $d_{CPA,3}$ 、 \dots 、 $d_{CPA,M}$ 测量获得的声压级,经过灵敏度修正后,中心频率(f)对应的声压谱级 $L_{p,d_{CPA,1}}''(f)$ 、 $L_{p,d_{CPA,2}}''(f)$ 、 $L_{p,d_{CPA,3}}''(f)$ 、 \dots 、 $L_{p,d_{CPA,M}}''(f)$ 与测试距离的对数($\lg R$)进行线性拟合,利用经过灵敏度修正的均方根声压级(L''_p)按公式(19)拟合得到推算声源级(L_0)和频段衰减系数(β_f)。

$$L''_p = L_0 + \beta_f \lg R \dots\dots\dots (19)$$

7.6.2.5 将各频段对应的(β_f)进行算术平均,平均的声传播衰减系数(α)按公式(20)计算。

$$\alpha = - \frac{\sum_{n=1}^{N_f} \beta_f}{N_f} \dots\dots\dots (20)$$

7.6.2.6 将标准最近会遇距离(d_{CPA})对应的多水听器能量平均声压级(L''_p)代入公式(17)进行距离修正,获得水下辐射噪声级;代入公式(18)考虑水面反射修正后,获得水下辐射噪声源级。

7.6.2.7 在实际航行试验中,由于不同航行单程最近会遇距离具有一定的离散性,将所有航行单程的数据放在一起进行处理对降低衰减系数不确定度有一定好处。对于左舷和右舷噪声测量结果差别较大的船舶,左舷和右舷的航行单程可分别处理。


7.6.3 浅水域测量的多个航行单程的组和分析

7.6.3.1 该数据组由不少于 3 个水听器进行不少于 4 次测量航行单程[其中每个方位(左舷和右舷)至少两个航行单程]完成。左舷和右舷的航行单程应分开处理。总共 M 次航行单程的数据通过对辐射噪声级进行算术平均的方式得到最终的辐射噪声级(L_{RN}),按公式(21)计算。

$$L_{RN} = \frac{\sum_{m=1}^{m=M} L_{RN}(m)}{M} \dots\dots\dots (21)$$

7.6.3.2 总共 M 次航行单程的数据通过对声源级进行算术平均的方式得到最终的声源级(L_S),按公式(22)计算。

$$L_S = \frac{\sum_{m=1}^{m=M} L_S(m)}{M} \dots\dots\dots (22)$$

式中: 

M ——航行单程总数,深水域测量时 $M=4$ 或者 $M=2$ (单独计算左舷和右舷),浅水域测量时 $M=12$

或者 $M=6$ (单独计算左舷和右舷)。

7.6.3.3 对于每种船舶状态, L_{RN} 应首先单独计算船舶两侧(左舷方位和右舷方位), 然后两侧合并计算。 L_{RN} 是每种船舶航行状态的辐射噪声源级, 该数据是在 1/3 倍频程带上表示和报告, 然后与限值或者参考要求量值进行比较。

8 测量不确定度

8.1 船舶水下辐射噪声测量不确定度的一般说明

本文件只是给出了船舶水下辐射噪声源级测量不确定度的(典型)指导性数值, 并不是适用于具体某一次测量的精确数值。一些声源的不确定度将不可避免地取决于测试方法的具体实施。例如, 由测量仪器和水听器校准产生的不确定度取决于使用的特定设备的校准不确定度。本文件建议用户自己根据不确定度表达方法评估不确定度, 可参考 ISO/IEC Guide 98-3:2008。

- 注 1: 采用多水听器配置的测量方法, 多水听器能够起到平滑声场起伏分布的效用, 这能够大大降低辐射噪声的测量不确定度。
- 注 2: 被测船舶声源状态的变化将会影响声压级和声源级测量的重复性和复现性。
- 注 3: 声压级测量不确定度取决于测试设备的质量及测试过程。采用高质量的测量仪器并且依照特定的校准程序对测量系统进行校准以降低测量不确定度。窄带分析和低频倍频程分析时频谱变换的不确定度与频率有关。
- 注 4: 平均时间同样会影响声压级的测量, 因为在一次航行单程中被测船与水听器之间的距离会发生变化。由于直达声与水面反射声路径发生变化, 接收到的声压也将随时间发生变化。

8.2 深水中声源级测量的不确定度

8.2.1 深水辐射噪声测量不确定度的一般说明

深水中辐射噪声测量不确定度应按照 GB/T 41311.1—2022 与 ISO 17208-2:2019 中关于深水中辐射噪声级与声源级测量不确定度的表述开展分析。

8.2.2 辐射噪声级测量不确定度

辐射噪声级测量不确定度主要来自于声源状态、声压级的测量不确定度以及辐射噪声级计算过程的不确定度。深水中辐射噪声级(RNL)测量结果的扩展不确定度由低频、中频、高频三个频带范围给出。低频带(10 Hz~100 Hz)中 1/10 十倍频带内的(典型)扩展不确定度为 5 dB, 中频带(125 Hz~16 000 Hz)中每 1/10 十倍频带内的(典型)扩展不确定度为 3 dB, 高频带(>20 000 Hz)中每 1/10 十倍频带内的(典型)扩展不确定度为 4 dB。这些值代表每倍频程带宽内的典型值。

- 注: 合成不确定度由各合成分量综合分析得到, 它描述了随机误差和在测量中引入系统偏差的效应引起的误差。将通常采用的基于大量观察数据进行统计学分析评估不确定度的方法(在 ISO/IEC Guide 98-3:2008 中定义为“A类”), 用于辐射噪声级的测量是不现实的。

8.2.3 (等效单极子)声源级测量不确定度

声源级的不确定度由辐射噪声级的不确定度(见 8.1)、声源级修正公式的不确定度和将船舶描述为水面下单极子声源的相关不确定度组合获得。声源级修正公式的不确定度来自于 kd_s 的不确定度以及修正公式对劳埃德镜像效应完整公式的拟合。由于假定了声源深度(d_s), 因此 kd_s 中的不确定度由假定声速的不确定度决定。声速的最大不确定度为 10%, 导致转换的不确定度小于 1 dB。拟合转换公式相对于全公式的不确定度在几乎所有 1/3 倍频程频段内均小于 2 dB。假设将船舶描述为水面下的单极子声源有关的不确定度取决于正在测试的船舶的具体情况, 一般无法量化。本文件的使用者可利用已发表的经验公式及其应用和文献中描述的测量不确定度表示方法, 确定不确定度评定。

注：所提出的从实测辐射噪声级到等效单极子声源级的转换，旨在为基于单极子声源描述的长距离声传播模型提供输入。其出发点是假设水面船舶的远场辐射噪声近似描述为来自水面下的全向点声源的辐射噪声。船舶辐射噪声是由多种声源机制产生的，大致分为机械、螺旋桨和水动力噪声源。每个源在船上有位置和频谱。而且，船舶周围的水面充当了声音的强反射体。因此，水面船舶在垂直面和水平面都是一个指向声源，而且这个指向性是跟频率相关的。针对本文件的目的，这些影响在很大程度上被忽略。只有与水面的相互作用，即劳埃德镜像效应，被看作一个位于水面以下指定深度的单极子声源。为此提出了一个跟频率无关的单一深度。报告的声源级附带声源深度，以便跟声传播模型进行适当的交互。

8.3 浅水域声源级测量不确定度

浅水中声源级的扩展不确定度由低频、中频、高频三个频带范围给出。低频带(10 Hz~100 Hz)中每 1/10 十倍频带内的(典型)扩展不确定度为 6.5 dB,中频带(125 Hz~16 000 Hz)中每 1/10 十倍频带内的(典型)扩展不确定度为 5.2 dB,高频带(>20 000 Hz)中每 1/10 十倍频带内的(典型)扩展不确定度为 5.2 dB。

注：浅水域声源级测量不确定度由辐射声压级的不确定度(利用实测结果分析)、声传播衰减系数的不确定度(一般小于 1 dB)、声源级修正公式的不确定度和将船舶描述为水面下单极子声源的相关不确定度组合获得。扩展不确定度由各合成分量综合分析得到,它描述了随机误差和在测量中引入系统偏差的效应引起的误差。声源级测量不确定度的主要来自于声源状态、声压级的测量不确定度以及使用传播模型计算声源级过程的不确定度。

9 报告要求

9.1 测试报告记录格式

测试报告记录格式见附录 F。

9.2 船舶参数

船舶参数包括：

- a) 名称,分类,国际海事组织识别号;
- b) 测量目的;
- c) 造船厂和建造年份;
- d) 船舶尺寸及状态:
 - 1) 船型;
 - 2) 船总长;
 - 3) 船宽;
 - 4) 吃水;
 - 5) 吨位(总吨位和载重吨位);
 - 6) 压载状态。
- e) 推进器特征:
 - 1) 动力源;
 - 2) 传动系统;
 - 3) 轴数;
 - 4) 桨叶数;
 - 5) 螺旋桨直径、额定转速;
 - 6) 最近测量之后推进线的修改;
 - 7) 影响水下噪声级的已知问题或者有关问题;
 - 8) 船体状态,船体和螺旋桨最近清洗的时间。



9.3 测量参数

测量参数包括：

- a) 位置,环境:
 - 1) 日期;
 - 2) 经纬度;
 - 3) 环境状态:
 - i) 波高,海况,风况,雨况;
 - ii) 船舶交通;
 - iii) 水深,水底类型;
 - iv) 名义盐度,温度,声速剖面;
 - v) 水流方向(参照船舶)和流速(m/s)。
- b) 测量系统:
 - 1) 悬浮系统描述,示意图;
 - 2) 水听器深度;
 - 3) 水听器类型,型号,指向性,标称灵敏度;
 - 4) 系统组件描述,示意图;
 - 5) 出厂校准细节(校准人,日期和认证证书);
 - 6) 现场校准方法和结果。
- c) 数据处理参数:
 - 1) 名义正横距离点;
 - 2) 积分窗中心的选取;
 - 3) 航线图;
 - 4) 背景噪声级。
- d) 船舶状态(每个航行单程):
 - 1) 对地船速(kn);
 - 2) 对水船速(kn);
 - 3) 轴转速(r/min);
 - 4) 桨距(百分比),各个轴(可调螺距螺旋桨系统);
 - 5) 辅机和设定参数;
 - 6) 船舶吃水状态;
 - 7) 压载水舱位。

9.4 测试结果报告

测试结果报告内容如下：

- a) 1/3 倍频程带的辐射噪声级:
 - 1) 所有航行单程的平均值[公式(11)的结果];
 - 2) 所有航行单程中的最小值;
 - 3) 所有航行单程中的最大值;
 - 4) 所有航行单程的范围;
 - 5) 单个水听器的辐射噪声级。
- b) 1/3 倍频程带的辐射噪声源级。
- c) 经过修正和平均后的船舶辐射噪声源级。



附 录 A
(资料性)

1/3 倍频程与 1/10 十倍频程频率表

GB/T 3241—2010 中定义了以 2 为底的 1/3 倍频程滤波器、以 10 为底的 1/10 十倍频程滤波器，二者所对应中心频率及频带上下限频率如表 A.1 所示，其中频带上下限频率以 1/10 十倍频程中心频率为基准计算得到。

表 A.1 1/3 倍频程与 1/10 十倍频程频率表

标称中心频率 Hz	1/3 倍频程 中心频率 Hz	1/10 十倍频程		
		频带下限频率 Hz	中心频率 Hz	频带上限频率 Hz
10	9.921 3	8.91	10.000	11.2
12.5	12.500	11.2	12.589	14.1
16	15.625	14.1	15.849	17.8
20	19.686	17.8	19.953	22.4
25	24.803	22.4	25.119	28.2
31.5	31.250	28.2	31.623	35.5
40	39.373	35.5	39.811	44.7
50	49.606	44.7	50.119	56.2
63	62.500	56.2	63.096	70.8
80	78.745	70.8	79.433	89.1
100	99.213	89.1	100.00	112
125	125.00	112	125.89	141
160	157.49	141	158.49	178
200	198.43	178	199.53	224
250	250.00	224	251.19	282
315	314.80	282	316.23	355
400	396.85	355	398.11	447
500	500.00	447	501.19	562
630	629.96	562	630.6	708
800	793.70	708	794.33	891
1 000	1 000.0	891	1 000.0	1 122
1 250	1 259.9	1 122	1 258.9	1 413
1 600	1 587.4	1 413	1 584.9	1 778
2 000	2 000.0	1 778	1 995.3	2 239
2 500	2 519.8	2 239	2 511.9	2 818

表 A.1 1/3 倍频程与 1/10 十倍频程频率表（续）

标称中心频率 Hz	1/3 倍频程 中心频率 Hz	1/10 十倍频程		
		频带下限频率 Hz	中心频率 Hz	频带上限频率 Hz
3 150	3 174.8	2 818	3 162.3	3 548
4 000	4 000.0	3 530	3 961.1	4 444
5 000	5 039.7	4 467	5 011.9	5 623
6 300	6 349.6	5 623	6 309.6	7 079
8 000	8 000.0	7 079	7 943.3	8 913
10 000	10 079	8 913	10 000	11 220
12 500	12 699	11 220	12 589	14 130
16 000	16 000	14 130	15 849	17 780
20 000	20 159	17 780	19 953	22 390

附录 B
(资料性)

典型海底底质与深度对应声传播低频截止频率与临界距离

为了方便用户考虑测量最低频率适用的水深,本附录给出了典型海底底质与不同深度下对应声传播低频截止频率与临界距离。

表 B.1 列出了 3 种典型海底底质对应的声学参数。

表 B.1 典型海底底质对应声学参数表

海底底质	典型密度值 kg/m ³	典型声速值 m/s
中等淤泥	1 601	1 572
中砂	2 086	1 797
粗砂	2 401	1 960

图 B.1~图 B.3 给出了中砂、粗砂以及中等淤泥底质情况下不同水深对应声传播低频截止频率。图 B.4~图 B.6 给出了中砂、粗砂以及中等淤泥底质情况下不同水深对应临界距离。

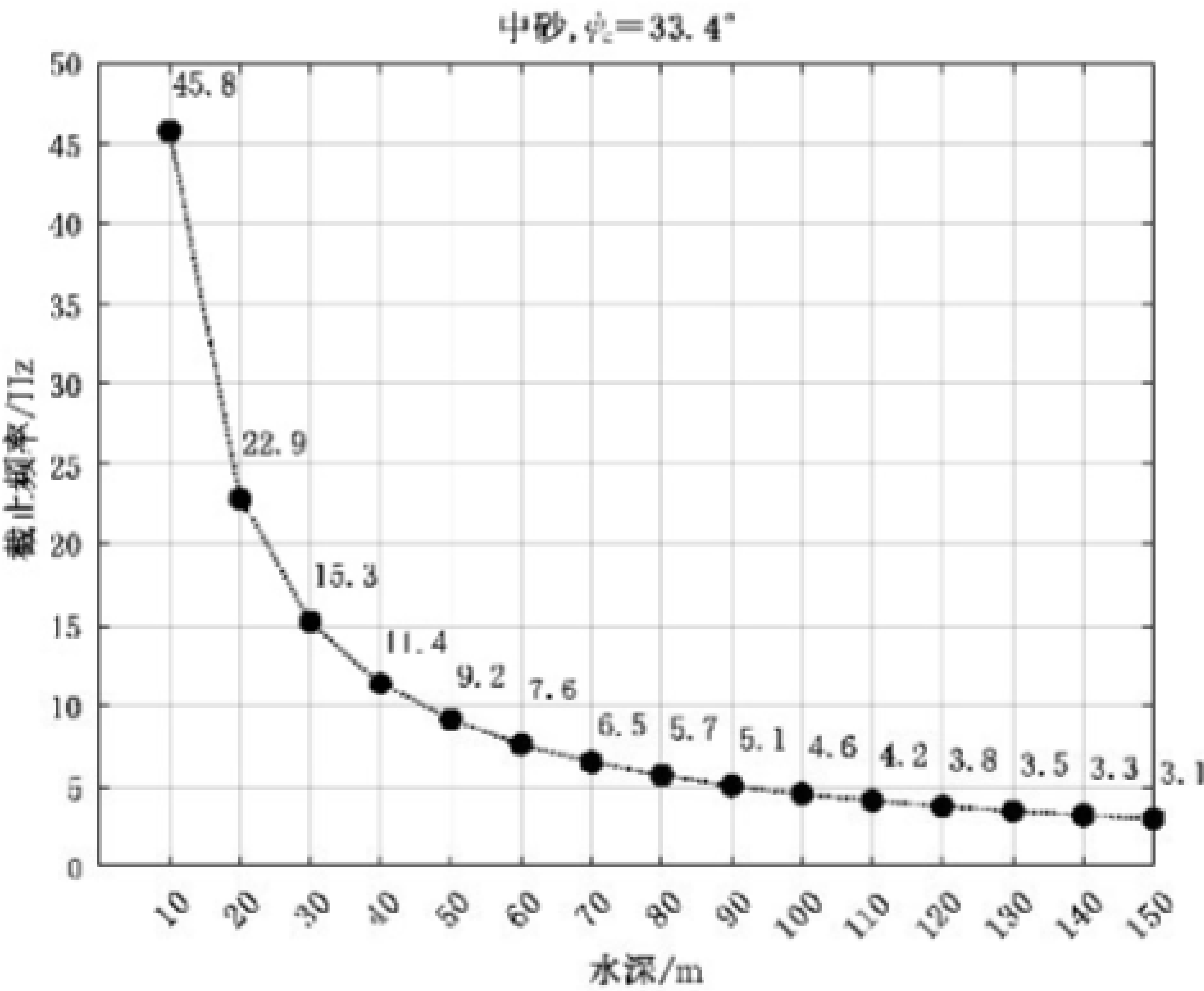


图 B.1 中砂底质不同水深对应声传播低频截止频率



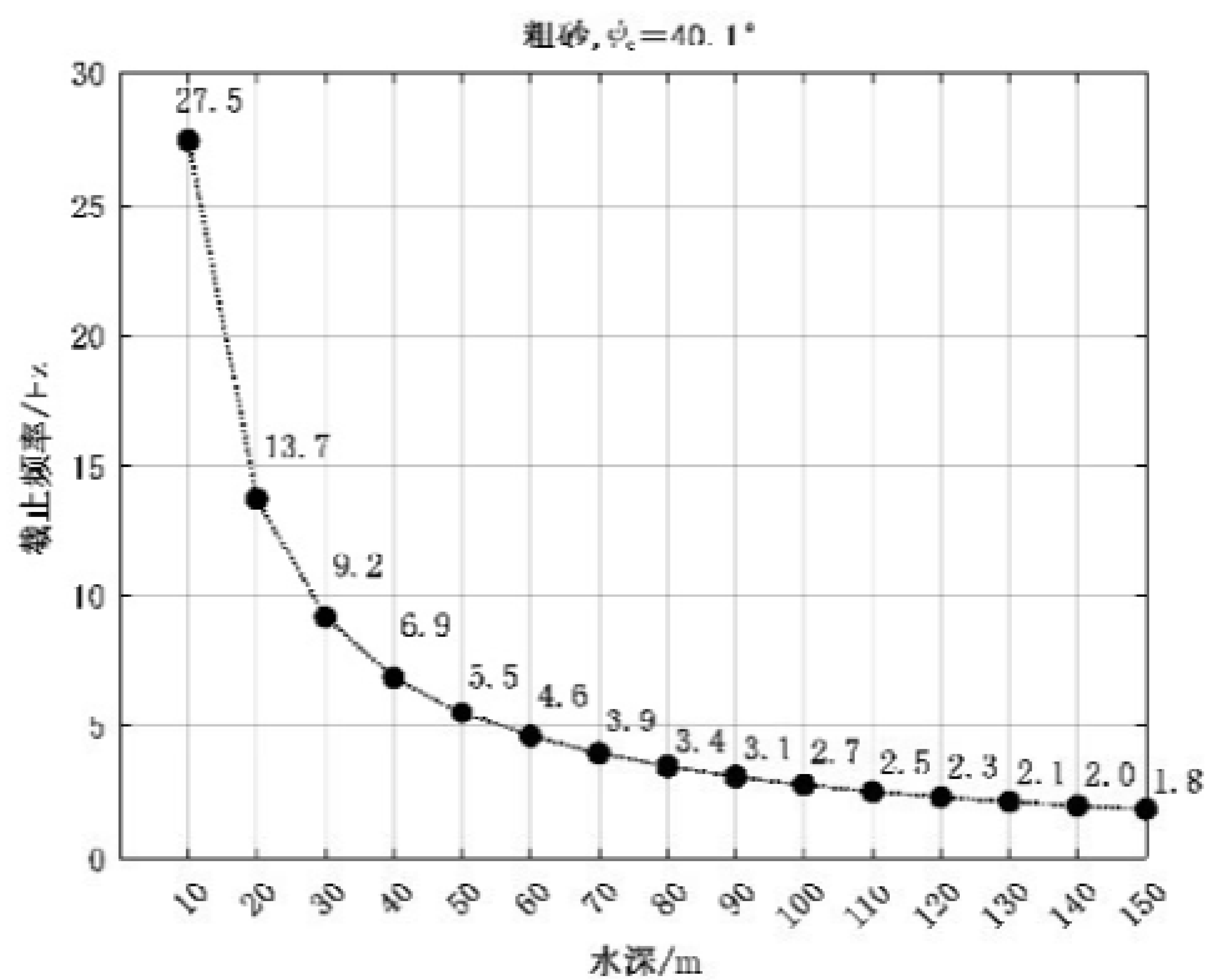


图 B.2 粗砂底质不同水深对应声传播低频截止频率

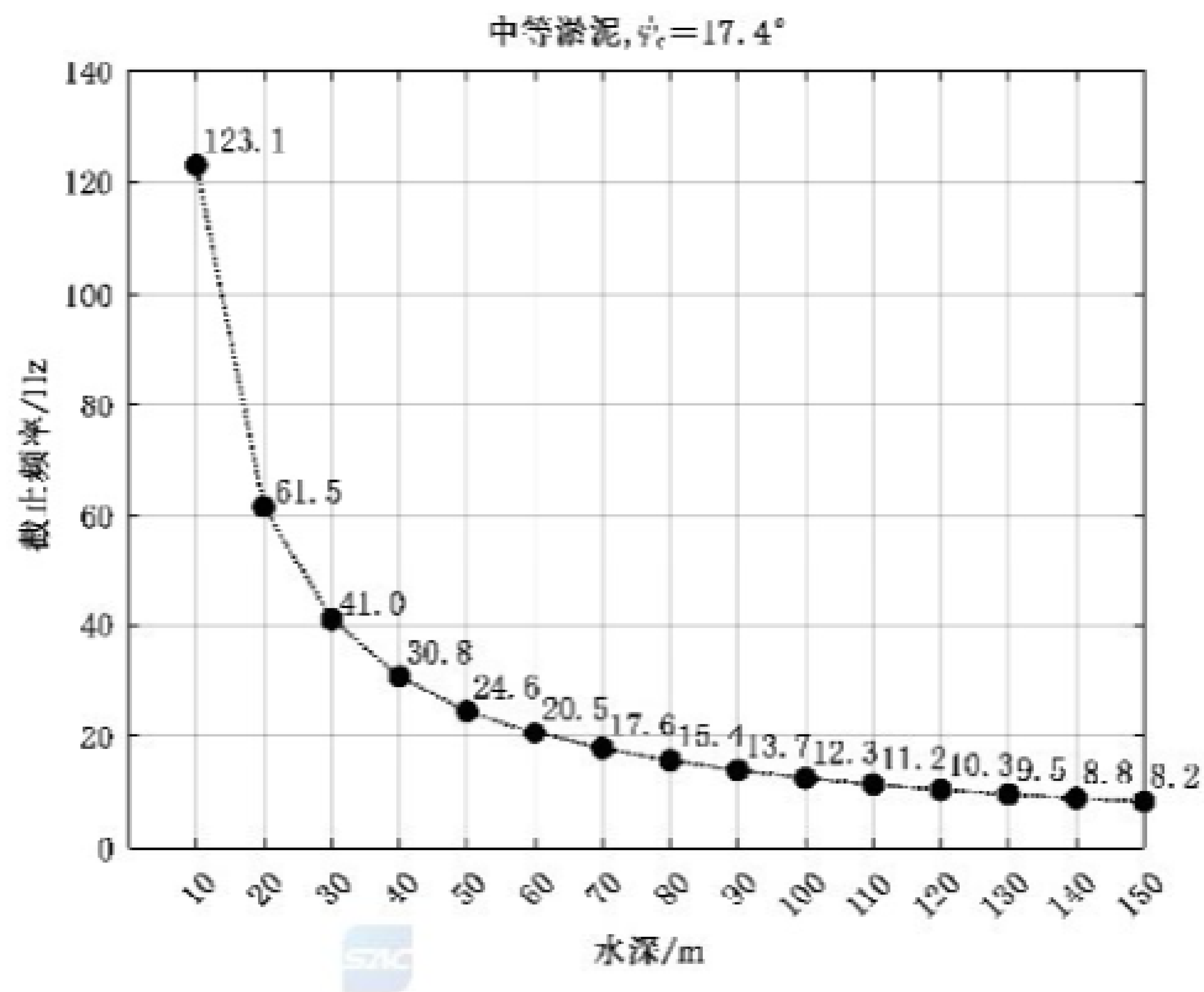


图 B.3 中等淤泥底质不同水深对应声传播低频截止频率

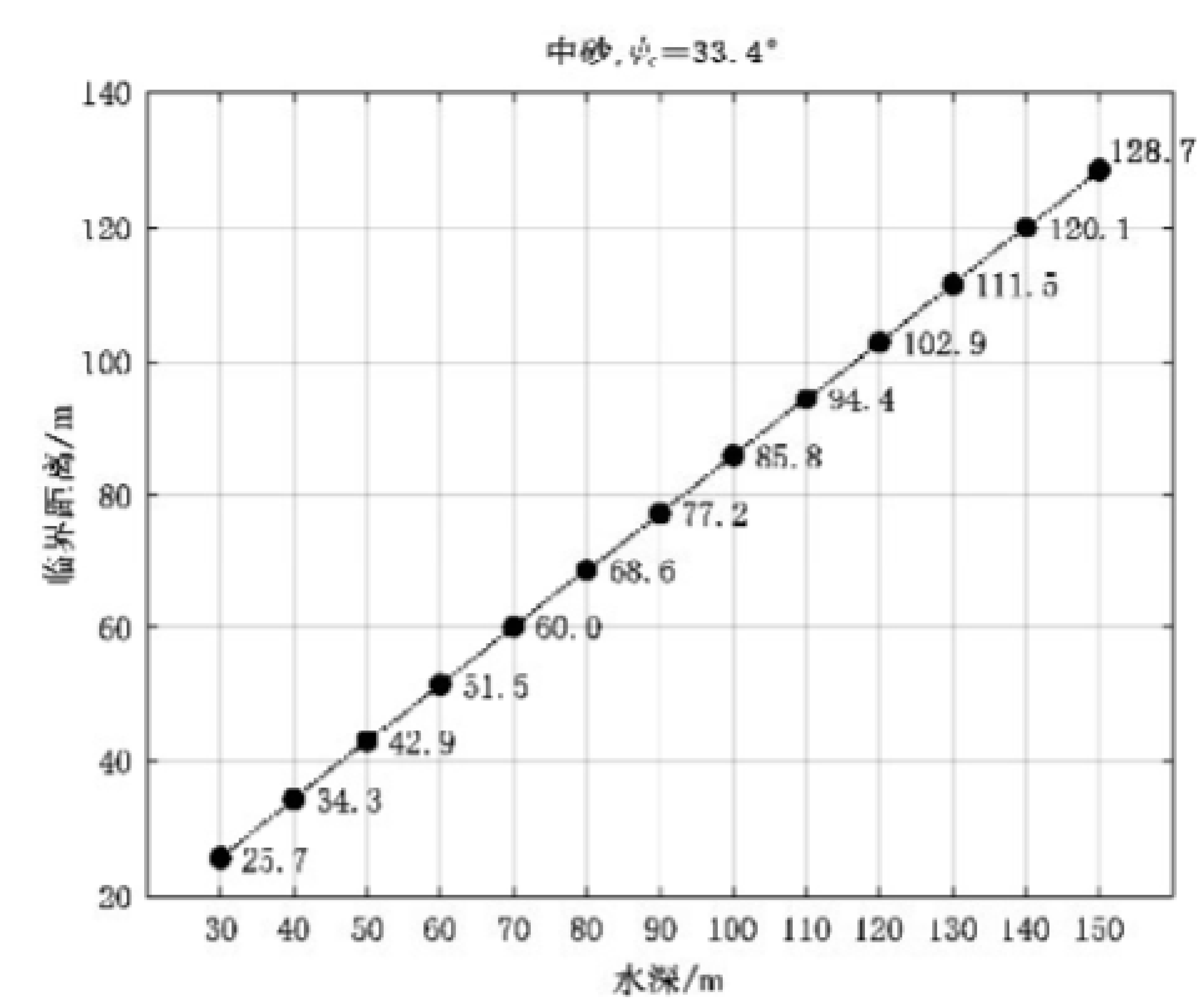


图 B.4 中砂底质不同水深对应临界距离

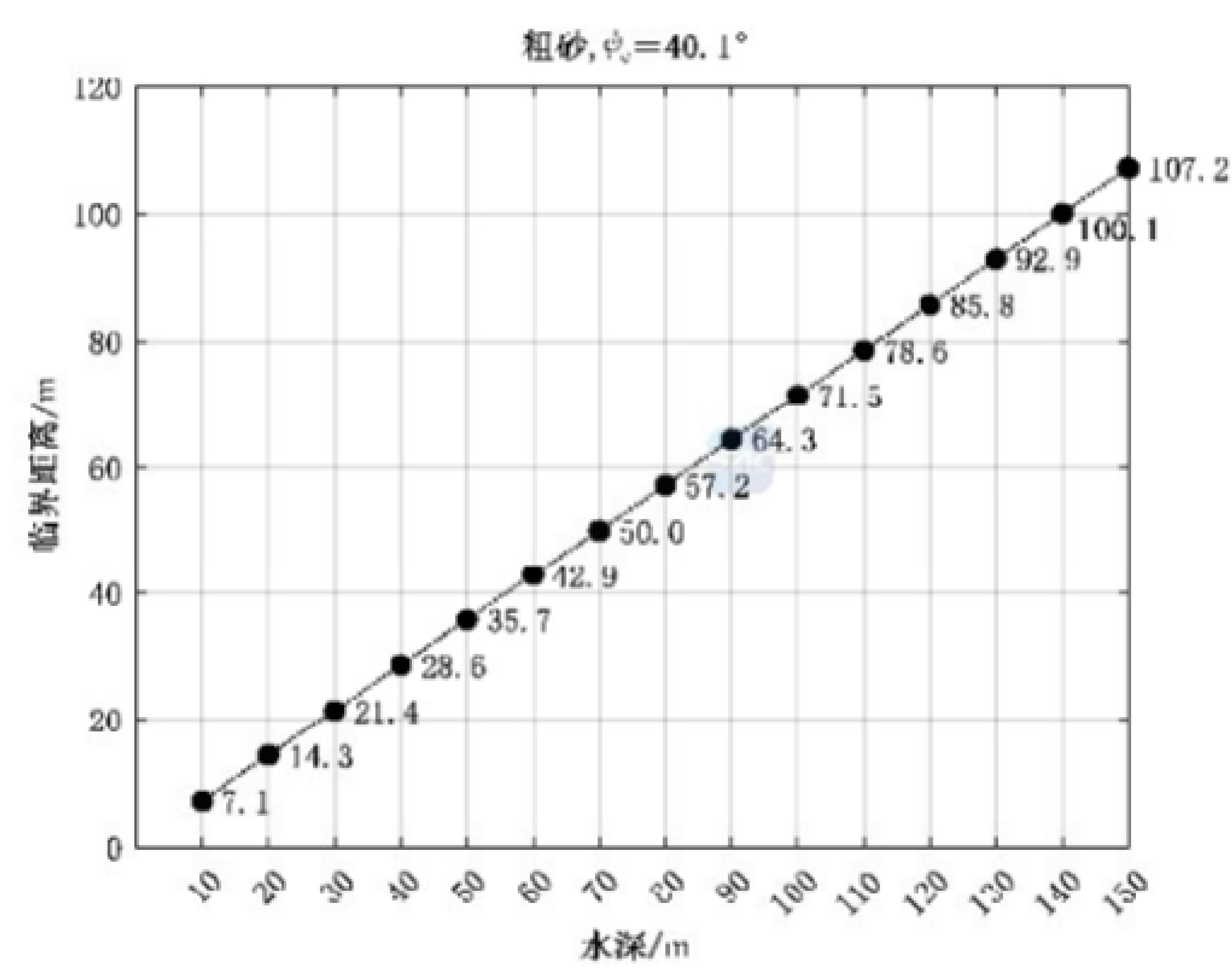


图 B.5 粗砂底质不同水深对应临界距离

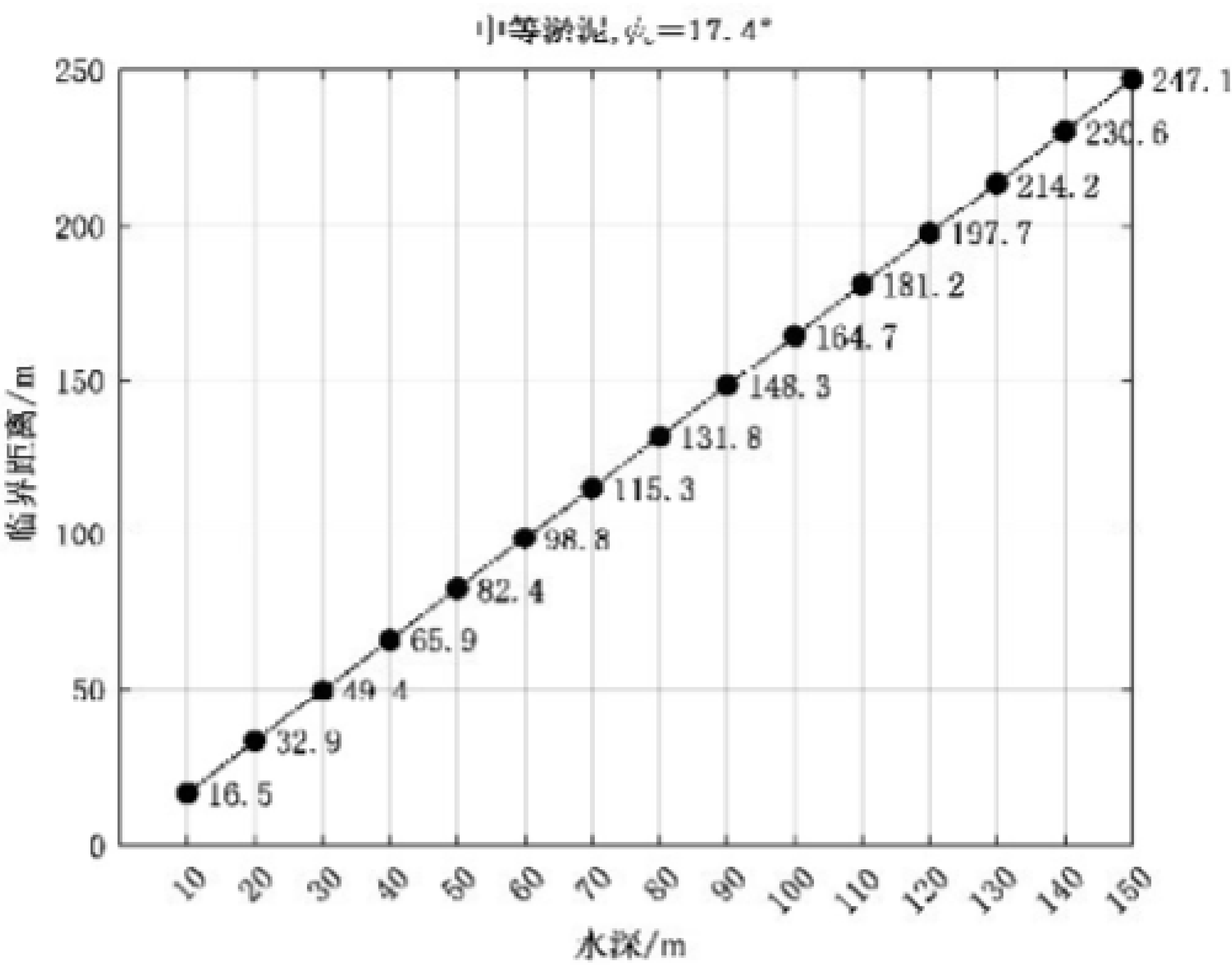


图 B.6 中等淤泥底质不同水深对应临界距离

附录 C
(资料性)
风力等级特征及换算

参照 GB/T 19201—2006，常用风力等级特征及换算表见表 C.1。

表 C.1 风力等级特征及换算表(蒲福风力等级表)

风力 级数	名称	海面状况		海岸船只 征象	陆地地面 征象	相当于空旷平地上标准高度 10 m 处的风速		
		海浪				n mile/h	m/s	km/h
		一般/m	最高/m					
C	静稳	—	—	静	静，烟直上	小于1	0~0.2	小于1
1	软风	0.1	0.1	平常渔船略摇动	烟能表示风向，但风向标不能动	1~3	0.3~1.5	1~5
2	轻风	0.2	0.3	渔船张帆时，每小时可随风移行 2 km~3 km	人面感觉有风，树叶微响，风向标能转动	4~6	1.6~3.3	6~11
3	微风	0.6	1.0	渔船渐觉颠簸，每小时可随风移行 5 km~6 km	树叶及微枝摇动不息，旌旗展开	7~10	3.4~5.4	12~19
4	和风	1.0	1.5	渔船满帆时，可使船身倾向一侧	能吹起地面灰尘和纸张，树的小枝摇动	11~16	5.5~7.9	20~28
5	清劲风	2.0	2.5	渔船缩帆（即收去帆之一部）	有叶的小树摇摆，内陆的水面有小波	17~21	8.0~10.7	29~38
6	强风	3.0	4.0	渔船加倍缩帆，捕鱼注意风险	大树枝摇动，电线呼呼有声，举伞困难	22~27	10.8~13.8	39~49
7	疾风	4.0	5.5	渔船停泊港中，在海者下锚	全树摇动，迎风步行感觉不便	28~33	13.9~17.1	50~61
8	大风	5.5	7.5	进港的渔船皆停留不出	微枝折毁，人行向前感觉阻力甚大	34~40	17.2~20.7	62~74
9	烈风	7.0	10.0	汽船航行困难	建筑物有小损（烟囱顶部及平屋摇动）	41~47	20.8~24.4	75~88
10	狂风	9.0	12.5	汽船航行颇危险	陆上少见，见时可使树木拔起或使建筑物损坏严重	48~55	24.5~28.4	89~102
11	暴风	11.5	16.0	汽船遇之极危险	陆上很少见，有则必有广泛损坏	56~63	28.5~32.6	103~117
12	飓风	14.0	—	海浪滔天	陆上绝少见，摧毁力极大	64~71	32.7~36.9	118~133

附录 D
(资料性)

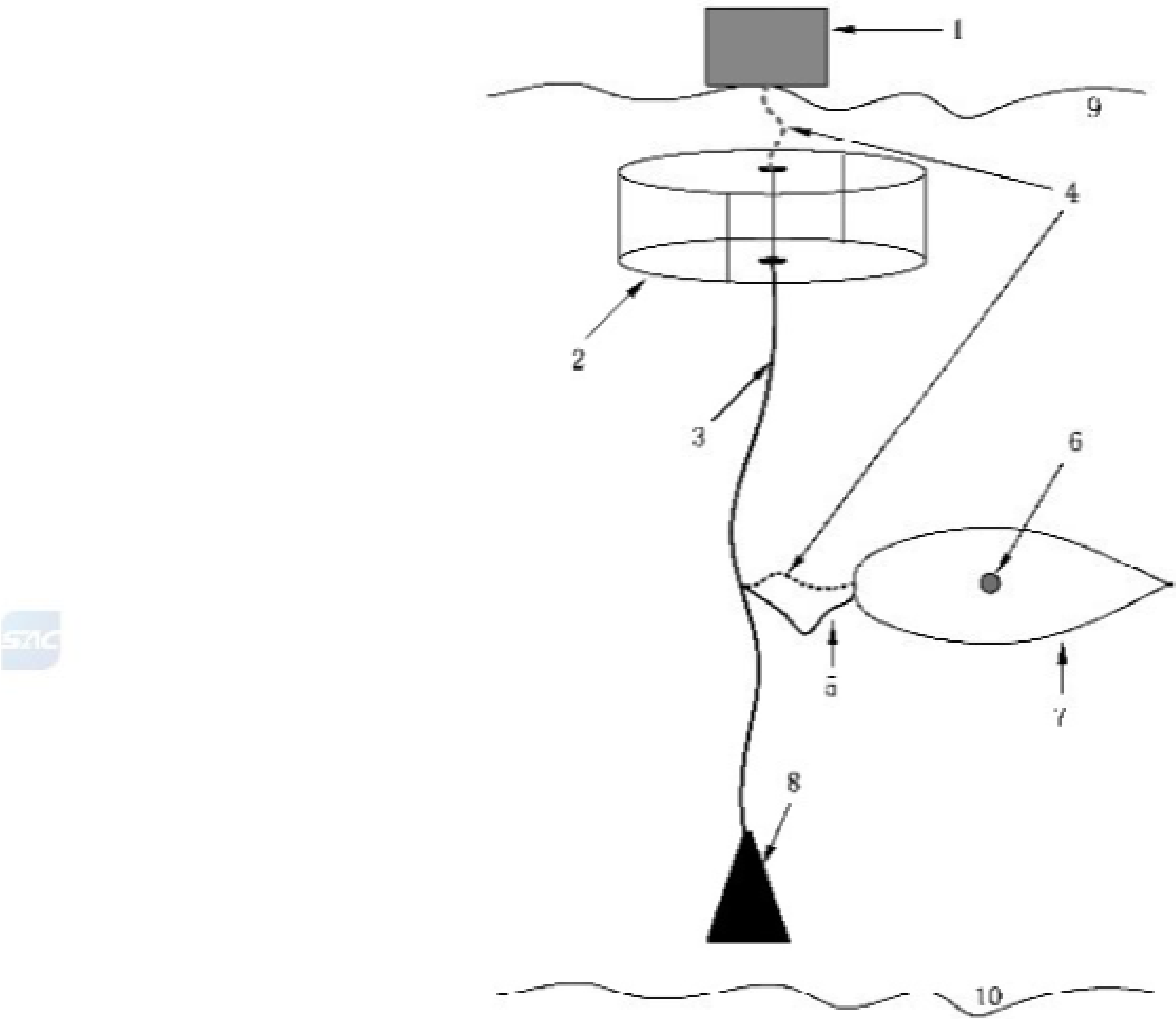
减少波浪及流动影响的水听器布放措施

采取措施减弱电缆摆动和水面对测量的影响。图 3 推荐了 3 种不同的水听器布放方式,其中“a 基于测量辅助船布放”和“c 浮标无线传输”都属于水面布放方式。采用水面布放方式,海浪带动整个测量系统的抖动会导致低频噪声显著增加,宜采取一定的措施减小海浪的影响;同时对于水面和水底布放方式,布放在水中的水听器受水流的冲击,存在较强的流噪声干扰,宜采用导流措施减少流噪声干扰。

具体用于减少波浪及流动影响的水听器布放措施有:

- a) 水面布放载体下面增加减措施板;
- b) 水听器与牵引主缆绳之间采用弹性绳软连接;
- c) 采用水听器导流罩。

具体布放方式示例见图 D.1 和图 D.2。



标引序号说明:

- 1 ——水面浮力载体;
- 2 ——阻力减振板;
- 3 ——主缆绳;
- 4 ——弹力绳;
- 5 ——安全绳;
- 6 ——水听器;
- 7 ——导流罩;
- 8 ——重物;
- 9 ——海面;
- 10——海底。

图 D.1 带有减振板和导流罩的水面布放方式示意图

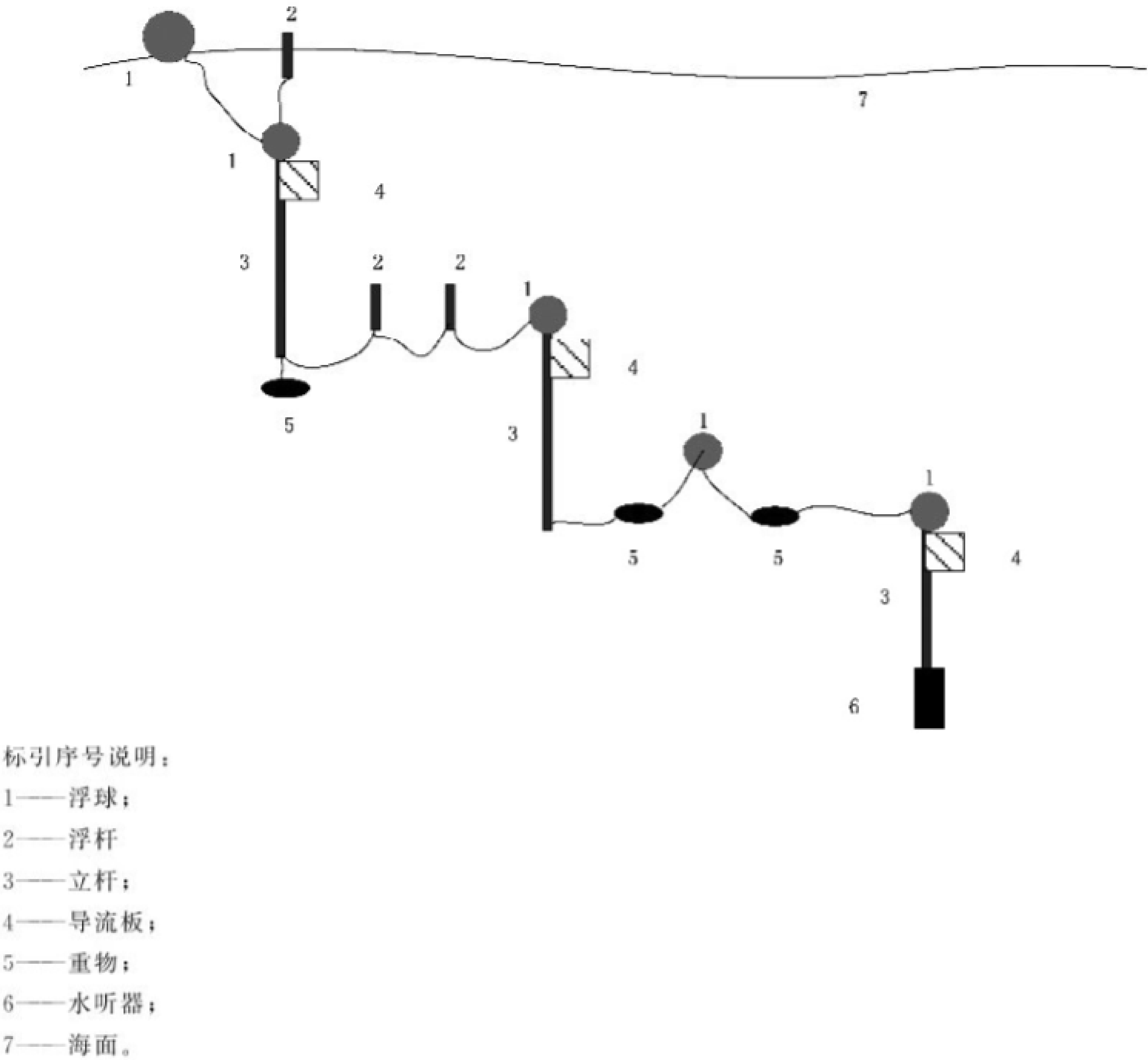


图 D.2 考虑多级减振的水面布放方式示意图



附录 E
(资料性)
浅水域单距离测量声源级推算方法

E.1 概述

当在浅水域开展船舶水下辐射噪声测量仅有 1 个正横距离(100 m 与 1 倍船长的较大值)测试结果时,可依据以下两种方法推算声源级。

E.2 经验转换公式法

本方法针对 1/3 倍频程频谱。用于测量浅水船舶辐射噪声。尽管它可能适用于其他传感器几何形状,但它是为 3 个水听器垂直布放阵列测量而设计的,其几何示意图见图 2。依据 ISO 17208-2:2019 的方法,根据该阵列测量的辐射噪声级计算声源级,以适应浅水环境。转换基于拟合数值模拟结果的经验校正公式。

步骤为:

- a) 按照 7.5 的方法,根据 3 个水听器测量的声压计算频带综合声压级谱。相应的均方根声压记为 p_1, p_2, p_3 ;
- b) 对于每个水听器,确定水听器到船舶参考点的距离(r_i)与均方根声压(p_i)的乘积($p_{i,corr}$),按公式(E.1)计算:

$$p_{i,corr} = p_i \times r_i \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:
 r_i ——水听器到船舶参考点的斜距,单位为米(m), $r_i = \sqrt{(d_i - d_s)^2 + d_{CPA}^2} (i = 1, 2, 3)$ 。

- c) 根据 3 个水听器的能量平均值按公式(E.2)计算辐射噪声级(L_{RN}):

$$L_{RN} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{3} \frac{p_{1,corr}^2 + p_{2,corr}^2 + p_{3,corr}^2}{p_0^2} \right) \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

- d) 基于辐射噪声级,按公式(E.3)计算声源级:

$$L_S = L_{RN} + \Delta L \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

$$\Delta L(f) = -10 \lg \left[\frac{\epsilon \cdot K}{\left| \left(\frac{f_0}{f} \right)^2 + \frac{i}{Q} \cdot \left(\frac{f_0}{f} \right) - 1 \right|} \right] \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

式中:
 ΔL ——声源级修正;
 K ——经验参数, $K = 2 \max \left(\sqrt{\frac{d_{CPA}}{H}}; 1 \right)$;
 f_0 —— $f_0 = \frac{c_w}{2\pi \cdot d_s} \cdot \sqrt{K}$;
 Q ——经验参数, $Q = 0.75$;
 ϵ ——经验参数, $\epsilon = 0.14\chi_z + 0.74$, 其中 $\chi_z = \frac{\rho_b \cdot c_b}{\rho_w \cdot c_w}$, ρ_w 为水的密度,单位为千克每立方米(kg/m³), ρ_b 为沉积物密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

E.3 采用受控声源对试验海域声传播特性开展标定法

E.3.1 标定方法

根据所提出的测量来计算船舶的声源级需要确定声源参考位置(在假定的标称源深处)和水听器位

置之间的传播损失。带有受控声源的测试运行,布放到被测容器的标称声源深度,可用于直接测量传播损失或验证计算的传播损失。要求该声源的声源级是已知的,要么来自之前的校准,要么来自测试过程中对其输出的直接监测。受控声源运行的测试流程与被测船只的测试流程一致(见第 5 章和第 6 章),并用相同的数据处理方法(见第 7 章)。

E.3.2 声源要求

声源在 3 倍正横距离范围内,测量声压在 200 Hz~2 kHz 频段具有足够的信噪比。因此,对于 2 级海况(Beaufort 3 级),理想的环境噪声谱级为 60 dB(200 Hz)和 54 dB(2 kHz),基于球形扩展,当船长(L)为 150 m, $3\times L$ 为 450 m 时,传播损失为 53 dB,信噪比为 10 dB 时,最小源谱级为 123 dB(200 Hz)和 117 dB(2 kHz)。在实际中,由于“平台噪声”的原因,测量的背景噪声会比海洋环境噪声至少大 10 dB,因此最小源谱级大于 133 dB(200 Hz)和 127 dB(2 kHz)。

声源具有全向性为测试频段。在相同的布放深度下对声源的声源级进行标定。

E.3.3 声源布放

声源的布放深度可与被测船只的标称声源深度相同,或者实际设置为 10 m。

为了从经验上确定传播损失推导源的源水平,测量可作为源距离的函数。名义 CPA 距离可覆盖 $L\sim 3L$ 的范围。

E.3.4 数据处理

传播损失可用 $\alpha\log(d)$ 描述,其中 α 通常取值在 10~20。传播衰减系数 $\alpha(f)$ 由实测声压谱级 $L_p(f)$ 与距离对数 $\log(d)$ 的函数回归得到。声源级经验见公式(E.5)。

$$L_s(f) = L_p + 20 \log_{10}(d_c) + \alpha \log_{10}(d_{\text{Horiz}}/d_c) + \Delta PL(f) \dots\dots\dots (E.5)$$

式中:

- $\bar{\alpha}$ ——频带平均传播衰减系数;
- d_c ——临界距离,单位为米(m), $d_c = H/2\phi_c$;
- $\Delta PL(f)$ ——水面反射修正量,采用深水测量的修正公式,见公式(12)。

注:一般情况下采用中低频声源能在 200 Hz~2 kHz 频段内获得较好的平均衰减系数;也能采用组合声源分段测量,例如 200 Hz~2 kHz 频段、2 kHz~20 kHz 频段分别给出平均传播衰减系数;200 Hz 以下频段计算声源级采用 200 Hz~2 kHz 频段平均传播衰减系数,并结合水面反射修正。



附录 F
(资料性)
试验记录表格式

试验记录表格式见表 F.1～表 F.5。

表 F.1 试验船舶主要参数表


试验船舶 IMO 代号			
试验船舶型号			
设计单位			
建造单位			
建造年代			
船体参数			
船长/m		船宽/m	
型深/m		正常排水量/t	
主机参数		螺旋桨参数	
种类		型号	
型号		桨数	
台数		桨叶数	
建造年份		直径/m	
缸数		桨叶倾斜角/(°)	
额定功率/kW		螺距/m	
额定转速/(r/min)		螺距比	
减速比		盘面比	
		最高转速/(r/min)	
备注			
参试人：		填表人：	
审核人：		试验日期：	

表 F.2 水文气象及试验船舶状态记录表

项 目			试验海区		
天 气			水深/m		
试验条件	试验前	试验后	试验船舶状态	试验前	试验后
风速/(m/s)			横倾角/(°)		
风级			纵倾/m		
浪向/(°)			排水量/t		
浪级					
流向/(°)					
流速/(m/s)					
海水温度/℃					
海水密度/(kg/m³)					
参试人：			填表人：		
审核人：			试验日期：		



表 F.3 测量系统配置表

测点 编号	测点 位置 描述	传感器			信号调理器			数据记录仪			备注
		型号	器号	导线号	型号	器号	通道号	型号	器号	通道号	
参试人：						填表人：					
审核人：						试验日期：					

表 F.4 噪声工况记录表

工况编号	航速/kn	主机转速/(r/min)	螺旋桨转速/(r/min)	备注
参试人：			填表人：	
审核人：			试验日期：	

表 F.5 1/3 倍频程频谱数据表格式

水听器位置			
1/3 倍频程中心 频率/Hz	工况		
	工况 1	工况 2
10			
12.5			
16			
.....			
40 000			
50 000			
频带总声级 (10 Hz~50 kHz)			
频带总声级 (100 Hz~50 kHz)			
参试人：		填表人：	
审核人：		试验日期：	

参 考 文 献

- [1] GB/T 3241—2010 电声学 倍频程和分数倍频程滤波器
- [2] GB/T 19201—2006 热带气旋等级
- [3] ISO 17208-1:2016 Underwater acoustics—Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships—Part 1: Requirements for precision measurements in deep water used for comparison purposes
- [4] ISO/DIS 17208-3:2023 Underwater acoustics—Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships—Part 3: Requirements for measurements in shallow water
- [5] ISO 18405:2017 Underwater acoustics—Terminology
- [6] ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement—Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement
- [7] IEC 61260-1:2014 Electroacoustics—Octave-band and fractional-octave-band filters—Part 1: Specifications
- [8] IMO MEPC.1/Circ 883: Guidelines For The Reduction Of Underwater Noise From Commercial Shipping To Address Adverse Impacts On Marine Life, 2014.
- [9] IMO MEPC.1/Circ 906: Revised Guidelines for the reduction of Underwater Radiated Noise from shipping to address adverse impacts on marine life, 2023.
- [10] ITTC-Recommended Procedures and Guidelines 7.5-04-01-01.1 Preparation and Conduct of Speed/Power Trials.
- [11] ITTC-Recommended Procedures and Guidelines 7.5-04-04-01 Underwater Noise from Ships, Full Scale Measurements, 2017, Wuxi.
- [12] ITTC-Recommended Procedures and Guidelines 7.5-04-01-01.1 Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials, 2017, Wuxi.
- [13] ANSI/ASA S12.64-2009/Part 1, Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships—Part 1: General requirements
- [14] National Physical Laboratory, NPL Good Practice Guide No. 133, Underwater Noise Measurement, 2014.
- [15] ICES Cooperative Research Report No. 209 Underwater Noise of Research Vessels—Review and Recommendations, 1995.
- [16] Ainslie, M. A. Principles of Sonar Performance Modeling, Springer—Verlag Berlin Heidelberg 2010.
- [17] Ainslie, M. A., et al. International harmonization of procedures for measuring and analyzing of vessel underwater radiated noise. Marine Pollution Bulletin 174, 113124, 2022.
- [18] Ainslie, M. A., Propagation loss for shallow water vessel URN measurement, Presentation to ISO TC43 SC3 WG1, dated 22 February.
- [19] American Bureau of Shipping (ABS), Guide for the classification notation—Underwater Noise, 2018.
- [20] Bureau Veritas (BV), Underwater Radiated Noise (URN), Bureau Veritas Rule Note NR614, 2014.
- [21] China Classification Society (CCS), Guideline for ship underwater radiated noise, 2018.

- [22] David Hannay, Comparison of Class Society Quiet Notation maximum noise levels with ECHO program measurements, JASCO Applied Sciences, Quieting Ships to Protect the Marine Environment, London, U.K. February 1, 2019.
- [23] D. Ross, Mechanics of Underwater Noise. Los Altos, CA: Peninsula Publishing, 1987.
- [24] Dekeling R.P.A., Tasker M.L., Van Der Graaf A.J., Ainslie M.A., Andersson M.H., André M. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas—Part II: Monitoring Guidance Specifications, JRC Scientific and Policy Report EUR 26555 EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2014., 10.2788/27158.
- [25] Det Norske Veritas and Germanischer Lloyd (DNV GL), Rules for Ships—Silent Class Notation, 2010.
- [26] Humphrey, V. Yin Cen, Robinson S., Wang, L. International standards for the measurement of underwater noise from vessels; numerical modelling in support of a shallow water standard, J. A. S. A, 146, 3061, 2019.
- [27] Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B and Schmidt, H. Computation Ocean Acoustics, Springer, 2011.
- [28] Korean Register (KR), Guidance for underwater radiated noise, 2021.
- [29] Lloyd's Register (LR), ShipRight—Design and Construction—Additional Design and Construction Procedure for the Determination of a Vessel's Underwater Radiated Noise, 2017.
- [30] MacGillivray, A. O., Martin, S. B., M. A. Ainslie, J. N. Dolman, Z. Li, G. A. Warner, C. B. Lawrence, F. Pace, M. Schuster, and D. Wittekind. Towards a Standard for Vessel URN Measurement in Shallow Water; Final Report on Transport Canada Innovation Centre Project MMP2. Document 02427, Version 2.0. Technical report by JASCO Applied Sciences for Transport Canada Innovation Centre, 2022.
- [31] Meyer, V and Audoly, C. “A comparison between experiments and simulation for shallow water short range acoustic propagation”, ICSV24, London, 23-27 July 2017.
- [32] Meyer, V and Audoly, C. “Simulation of ship radiated noise measurement in shallow waters—Parametric study for the influence of environment and sensor configuration”, Naval Group, Technical Report CRT/CEMIS/R-18013, 2018.
- [33] Meyer, V and Audoly, C. A parametric study of the environment and the array configuration for underwater noise measurement from ships in shallow water. ICSV26, Montréal, 2019.
- [34] Meyer, V and Audoly, C. Influence of the measurement configuration for the assessment of underwater noise radiated from ships in shallow water. OCEANS19, Marseille, 2019.
- [35] Meyer, V and Audoly, C. Accounting for sea floor properties in the assessment of underwater noise radiated from ships in shallow water. ICUA2020, in the Proceedings of Meetings on Acoustics.
- [36] Pang, Y. and M. Yu, Source level measurement method of underwater radiated noise in shallow water based on regression propagation loss using multi-distance arrays, Journal of Ship Mechanics, Vol. 27, No. 4, 2023.
- [37] R. Urick, Principles of Underwater Sound for Engineers. New York: McGraw-Hill, 1967.
- [38] Registro Italiano Navale (RINA), Amendments to Part A and Part F of “Rules for the Classification of Ships”—New additional class notation: “DOLPHIN QUIET SHIP” and “DOLPHIN TRANSIT SHIP”, 2017.
- [39] Wang, L., S. Robinson and P. Theobald. Calculation of ship source level in shallow water

by propagation modelling. Proc. Inter-noise, Hamburg, 2016.

[40] Weston, D. E. Intensity-range relations in oceanographic acoustics. Journal of Sound and Vibration 18(2), 271-287, 1971.

[41] Wittekind, D. and M. Schuster, 2022. DW's shallow water measuring procedure. DW-Ship-Consult GmbH Memorandum to ISO TC43 SC3 WG1, dated 23 February 2022.

[42] Yezhen Pang, Jin Liu, Mengsa Yu, and Wenwei Wu, "Propagation loss analysis using ship radiated noise in shallow water", Proc. Mtgs. Acoust. 40, 070010 (2020).
