

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T XXXXX-XXXX

海洋声学调查要求

Requirements for investigation of ocean acoustics

(报批稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 海洋环境噪声调查	2
4.1 仪器设备配置	2
4.2 仪器设备校准	4
4.3 调查要求	5
4.4 资料处理	6
5 海洋水声传播调查	7
5.1 仪器设备配置	7
5.2 仪器设备校准	8
5.3 调查要求	10
5.4 资料处理	10
6 海洋混响调查	11
6.1 仪器设备配置	11
6.2 仪器设备校准	12
6.3 调查要求	13
6.4 资料处理	13
7 海底声特性调查	14
7.1 调查方法	14
7.2 设备配置	14
7.3 仪器设备校准	15
7.4 调查要求	15
7.5 资料处理	16
附录 A （资料性） 海洋环境噪声统计分析	18
A.1 海洋环境噪声谱级概率密度	18
A.2 海洋环境噪声谱百分位值	18
A.3 海洋环境噪声谱级均值	18
附录 B （资料性） 海洋水声传播定量验模和声场时空特性	20

HY/T XXXXX-XXXX

B.1 海洋水声传播定量验模..... 20

B.2 声场时间空间相关特性..... 21

附录 C（资料性） 海洋混响级和混响距离计算..... 22

C.1 频带声压级..... 22

C.2 宽频带声压级..... 22

C.3 声源级..... 22

C.4 宽频带声源级..... 22

C.5 频带背景噪声级..... 23

C.6 宽频带背景噪声级..... 23

C.7 频带混响级..... 23

C.8 宽频带等效平面波混响级..... 24

C.9 基于有规脉冲直达路径的单基地界面混响级..... 24

C.10 基于有规脉冲直达路径的单基地体积混响级..... 24

C.11 基于冲激脉冲的界面混响级..... 25

C.12 基于冲击脉冲的体积混响级..... 25

C.13 基于有规脉冲的混响距离..... 26

C.14 基于冲击脉冲的混响距离..... 26

参考文献..... 27

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/TC283）归口。

本文件起草单位：自然资源部第三海洋研究所、中山大学、中国人民解放军91388部队、自然资源部第一海洋研究所。

本文件主要起草人：杨燕明、许德伟、文洪涛、李整林、陈鸿志、李官保。

海洋声学调查要求

1 范围

本文件规定了海洋环境噪声调查、海洋水声传播调查、海洋混响调查、海底声特性调查的基本要求。本文件适用于非冰区海洋声学调查的实施和水声物理的研究。

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 3223 声学 水声换能器自由场校准方法
- GB/T 4128—1995 声学 标准水听器
- GB/T 4130 声学 水听器低频校准方法
- GB/T 5265—2009 声学 水下噪声测量
- GB/T 7967 水声发射器的大功率特性和测量
- GB/T 12763.2 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测
- GB/T 12763.3 海洋调查规范 第3部分：海洋气象观测
- 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 12763.8 海洋调查规范 第8部分：海洋地质地球物理调查
- GB/T 15406—2007 岩土工程仪器基本参数及通用技术条件
- GB/T 16165 水听器相位一致性测量
- GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
- GB/T 39399 北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- GJB 692A—2012 海洋环境噪声特性测试方法
- GJB 6639—2008 海洋水声传播特性测试方法
- HY/T 0278—2019 海底沉积物声学特性原位测量方法
- SJ/T 10406 声频功率放大器通用规范
- JJG 763 温盐深测量仪检定规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水声传播起伏 underwater sound transmission fluctuation

水声传播过程中，由于各种原因而产生的声强或声压的振幅、相位随时间或空间起伏的现象。

3.2

声相关辅助参数同步调查 sound related parameters synchronous survey

在开展海洋声要素调查时，同步获取影响海洋声场特性的风、降雨、海况、水深、水温、盐度、海流、海浪、内波、中尺度涡、温度锋面、航船信息与分布等资料的科学考察活动。

4 海洋环境噪声调查

4.1 仪器设备配置

4.1.1 调查系统构成

海洋环境噪声调查系统一般由下列设备组成：

- 声接收分系统，包括测声换能器子系统、信号调理子系统、数据采集记录子系统；
- 监听与显示分系统，包括音箱子系统、示波器子系统、频谱分析子系统或带频谱分析软件的计算机子系统；
- 声相关辅助参数同步调查分系统；
- 特殊需要（用于数据相关、数据统计等）的资料处理分系统。

4.1.2 声接收分系统

4.1.2.1 测声换能器子系统

4.1.2.1.1 结构及布置

测声换能器子系统的结构及布置设计要求如下：

- 水听器宜加导流装置，导流装置对水听器指向性应无明显影响，不影响海洋固有声场，不应形成声屏障效应；
- 水听器（阵）宜有减振措施，避免产生附加噪声；
- 水听器信号传送宜使用柔软、纤细的电缆，以降低涡激抖动、电干扰和电噪声；
- 调查频段内由水流引起的自噪声应低于零级海况 Wenz 海洋环境噪声限；
- 在 20Hz ~ 40kHz 调查频段内、海流流速小于 50 cm/s 时，水流等因素引起的自噪声应低于零级海况 Wenz 海洋环境噪声限；
- 可用相关技术消除流噪声；
- 水听器附近或水听器阵可间隔绑定温深仪或温度仪。

4.1.2.1.2 水听器（阵）

水听器（阵）应满足以下要求：

a) 声频水听器

- 1) 频率范围：20Hz~20kHz；
- 2) 自由场电压灵敏度：不低于 -185dB（含前置放大器），其频率响应不均匀性应在 ± 2 dB 之内；
- 3) 水平指向性：20kHz 以下时，与理想全指向性图的偏差应在 ± 1.5 dB 之内；
- 4) 垂直指向性：20kHz 以下时，应满足 -3dB 波束宽度大于 60° ；
- 5) 采用水听器阵调查时，各水听器幅度不一致性应不超过 2 dB，相位不一致性应不超过 $2^\circ @ 3\text{kHz}$ 。

b) 高频水听器

- 1) 频率范围：15kHz~40kHz；

- 2) 自由场电压灵敏度：不低于-175 dB（含前置放大器），其频率响应不均匀性应在 ± 2 dB之内；
 - 3) 水平指向性：40 kHz 以下时，与理想全指向性图的偏差应在 ± 2 dB之内；
 - 4) 垂直指向性：40 kHz 以下时，应满足-3 dB波束宽度大于 30° ；
 - 5) 采用水听器阵调查时，各水听器幅度不一致性应不超过 2 dB，相位不一致性应不超过 $4^\circ @ 20\text{kHz}$ 。
- c) **等效噪声声压谱级**
等效噪声声压谱级应低于 Wenz 谱级低限。
- d) **其他电声性能**
其他电声性能应符合 GB/T 4128—1995 中 6.2 的规定。

4.1.2.2 信号调理子系统

信号调理子系统主要由滤波器和放大器组成。滤波器和放大器应满足以下通用要求：

- 应设计保护电路，使得过载时仅限幅，而不阻塞响应；
- 输入端短路时，等效输出噪声应小于 $5\ \mu\text{V}$ ；
- 放大器的输入阻抗比水听器的输出阻抗至少高 100 倍，由此引入的电压耦合损失应在 ± 0.1 dB之内，否则预先用高输入阻抗的前置放大器进行阻抗转换。

在调查频率范围内，滤波器和放大器还应满足以下要求：

- 滤波器通带内频响起伏：在 ± 0.1 dB之内；
- 滤波器 3dB 通带外最小衰减：大于 60 dB；
- 滤波器各通道相位起伏：在 $\pm 1^\circ$ 之内；
- 放大器各通道幅度不一致性：在 ± 0.1 dB之内；
- 放大器各通道隔离度：小于 -60 dB；
- 放大器幅频响应起伏：在 ± 0.1 dB之内。

4.1.2.3 数据采集记录子系统

数据采集记录子系统宜指明以下指标：

- 采样率；
- 量化位数；
- 动态范围；
- 存储容量。

4.1.3 监听与显示分系统

4.1.3.1 示波器子系统

示波器子系统宜指明以下指标：

- 最长扫描时间；
- 垂直偏转系数误差；
- 扫描时间系数误差。

4.1.3.2 频谱分析子系统

频谱分析子系统应取大于 100 个样本进行线性或指数平均。线性平均时间为 $0.1\ \text{s} \sim 100\ \text{s}$ ，按需选择；指数平均以均方差小于 1 dB、68% 置信度作为选择指标。

4.1.4 声相关辅助参数同步调查分系统¹⁾

4.1.4.1 海洋水文调查子系统

海洋水文调查子系统包括调查水深、水温、盐度、海流和海浪等设备，设备的性能指标应满足 GB/T 12763.2 最低要求。

4.1.4.2 海洋气象调查子系统

海洋气象调查子系统包括调查海面风、海面空气温度、海面空气相对湿度、海平面气压和海面降水量等设备，设备的性能指标应满足 GB/T 12763.3 最低要求。

4.1.4.3 船舶信息采集记录子系统

船舶信息采集记录子系统一般指船载雷达、海事自动识别系统（AIS）和船舶跟踪系统（VTS），应满足以下要求：

- 船舶信息采集半径范围不低于 30 km；
- 子系统具备记录存储功能。

4.1.4.4 海底声特性调查子系统（可选）

海底声特性调查一般采用浅地层剖面调查与底质声特性调查相结合的方式，应符合 GB/T 12763.8 要求。底质声特性调查见第 7 章。

4.1.4.5 发声生物调查子系统（可选）

发声生物调查可采用 360° 视频记录、宽频被动声记录与生物拖网相结合的方式。

4.1.4.6 卫星遥感遥测子系统（可选）

a) 海面风速

海面风速可采用卫星散射计、微波辐射计或高度计产品，应指明以下指标：

- 空间分辨率；
- 风速准确度；
- 风向（如有）准确度。

b) 有效波高

有效波高可采用卫星高度计产品，应指明以下指标：

- 空间分辨率；
- 有效波高准确度。

c) 波浪谱

波浪谱的观测应指明观测方法。

d) 船舶信息

船舶信息可采用多源卫星 AIS 融合产品。

4.2 仪器设备校准

4.2.1 一般要求

1) 声相关辅助参数调查分接触式和非接触式调查二种。前者包括传统的风、雨、温、盐、浪、流等观测，后者包括卫星和声、光、电等平台的遥感遥测。

所有仪器设备应处于检定/校准有效期内，能正常工作。

4.2.2 具体要求

4.2.2.1 声接收分系统

4.2.2.1.1 水听器（阵）

水听器的校准应满足以下要求：

- 水听器的灵敏度按照GB/T 4130和GB/T 3223进行校准；
- 水听器的相位一致性按照GB/T 16165进行校准；
- 带前置放大器的水听器的等效噪声压谱级按照GB/T 4128—1995进行校准。

4.2.2.1.2 测声换能器、信号调理和数据采集记录子系统

采用标准信号源对声接收分系统的每个阵元的前置放大器、滤波器、测量放大器和采集记录器等进行校准，确保声接收分系统符合4.1.2.1、4.1.2.2、4.1.2.3的要求。

4.2.2.2 声相关辅助参数同步调查分系统

声相关辅助参数同步调查分系统由国家法定计量机构进行检定或校准，其中温盐深测量仪按照JJG 763的要求进行校准。

4.2.2.3 调查系统校时

调查工作开始前，应对调查系统所有设备进行统一校时。

4.2.2.4 调查系统联调和测试

调查系统在出海前可进行联调，检查各部分工作是否正常，确定调查系统的系统误差。

4.3 调查要求

4.3.1 一般要求

海洋环境噪声调查满足下列要求：

- 根据调查需求，选择合适的调查方式（船载、Argo浮标、潜标、漂流浮标、水下滑翔机、海床基和岸基方式等）；
- 水听器（阵）距岸边应不小于1km，最浅水听器应处于海面5m以下；
- 水听器（阵）应避免航道、平台和锚地等区域（特殊调查目的除外）；
- 调查船应远离自持式声接收分系统20km以上，避免调查船造成干扰；
- 当调查船必须给声接收分系统供电时，调查期间不应启动主机和辅机，使用低噪声电源供电，禁止船上开展能产生撞击声传入水中的人为活动；
- 每个测站应至少调查25h，每隔1h至少调查一次，每次调查时间不少于3min；
- 自持式声接收分系统的供电能力应满足调查时长的要求；
- 声相关辅助参数调查要求与海洋环境噪声调查时间上同步、空间上邻近。

4.3.2 特殊要求

如有条件，宜开展海洋环境噪声声接收分系统的自噪声测量。自噪声测量方法有以下两种：

- 方法1：零级海况下，将声接收分系统放入海中，测量零级海况的海洋环境噪声。当海流小于50cm/s时，声接收分系统在20Hz~40kHz频段的输出应低于零级海况的海洋环境噪声。

——方法 2: 将声接收分系统放入可以造流的水池内, 首先测量无水流条件下声接收分系统的输出, 该输出可认为是零节海流下的系统自噪声。水池的造流状态稳定后, 避开各种泵机干扰, 测量声接收分系统的自噪声。需注意的是, 声接收分系统的布放状态尽量与海上使用状态相一致, 当水池较小时, 尽量保证水听器及其支架应受到水流的充分激励。

在声接收分系统的自噪声测量中, 上述两种方法可联合使用, 以增加自噪声测量的可信度。如果在方法 1 测量的结果中去掉水池测量中 50 cm/s 水流下的系统自噪声, 所得结果与零级海况的海洋环境噪声数据相一致, 则认为水池中的测量是可信的, 零级海况下的海上测量结果有效。

4.4 资料处理

4.4.1 数据处理

4.4.1.1 信号提取

回放海洋环境噪声数据, 监听是否存在奇异声音, 包括某些可判定的人工信号、已知的航船干扰信号和生物发声信号等, 然后提取平稳有效的噪声信号。当中心频率小于 160 Hz 时, 每小时的累积有效信号长度应不短于 30 s, 当中心频率大于 200 Hz 时, 每小时的累积有效信号长度应不短于 10 s。

4.4.1.2 噪声级计算

对截取的噪声数据, 进行加窗滑动连续分段, 每段数据与前段数据可有 50% 的重叠, 然后求和平均。数据的加窗分析长度可根据截取的噪声数据长度灵活确定。分段数据计算噪声声压谱级时, 按照 GB/T 5265—2009 中附录 A 的要求进行背景干扰噪声消除修正。计算时应考虑海洋环境噪声接收分系统特性, 如接收系统放大倍数、水听器灵敏度的影响, 计算公式见 GB/T 5265—2009 的附录 B。海洋环境噪声频带声压级和总声级的计算方法见 GJB 692A—2012 的 9.3 和 9.4。

4.4.1.3 海洋环境噪声统计分析

海洋环境噪声统计分析方法见附录 A。

4.4.1.4 海洋环境噪声时空相关特性

海洋环境噪声时空相关特性的计算方法按照 GJB 692A—2012 的 9.5。

4.4.1.5 海洋环境噪声空间指向性

海洋环境噪声空间指向性包括垂直指向性和水平指向性。对于随机平稳的海洋环境噪声场, 垂直指向性可利用垂直水听器阵进行测试, 水平指向性可利用圆形水听器阵进行测试。数据处理可在时域或频域内计算, 方法见 GJB 692A—2012 的附录 C。

4.4.1.6 海洋环境噪声调查不确定度分析

海洋环境噪声调查不确定度分析方法见 GB/T 5265—2009 的附录 D, 分析调查过程中的声场起伏、调查仪器及设备误差等主要不确定因素。

4.4.2 专题图件

专题图件主要包括:

- 海洋环境噪声级随频率变化图;
- 海洋环境噪声级随时间起伏图;
- 海洋环境噪声级随声接收深度分布图;

- 海洋环境噪声级概率密度分布图；
- 声相关辅助参数图件。

4.4.3 调查报告

报告内容包括：

- 调查范围、调查站位基本信息；
- 调查海区环境特征，包括气象、水文、声速、海底地形和底质等；
- 调查方法和技术途径，包括调查方法、调查系统结构和性能、外业调查过程、资料处理、质控措施等；
- 海洋环境噪声调查结果的综合分析与讨论。

4.4.4 资料归档

汇总调查中获取的原始资料、资料处理结果、专题图件、报告等，经分类和整理后归档。

5 海洋水声传播调查

5.1 仪器设备配置

5.1.1 调查系统构成

海洋水声传播调查系统主要由下列设备构成：

- 声发射分系统；
- 声接收分系统；
- 监听与显示分系统；
- 声相关辅助参数同步调查分系统；
- 测距分系统。

5.1.2 声发射分系统²⁾

5.1.2.1 爆炸声源

爆炸声源包括手榴弹、声弹、气枪、电火花和灯泡几种。较为常用的声弹声源宜指明以下指标：

- 爆炸当量；
- 爆炸深度；
- 爆炸深度准确度；
- 总声源级起伏；
- 1/3 倍频程带宽声源级起伏；
- 爆炸可靠率。

5.1.2.2 换能器声源

根据布放方式，换能器声源可分为吊放式、拖曳式和锚系潜标式三种。换能器声源宜指明以下指标：

- 工作频段；
- 信号发射形式；
- 功率放大器输出波形失真度；

2) 声发射分系统用于产生声信号。一般用于海洋水声传播调查的声源有爆炸声源和换能器声源两类。

- 功率放大器 2h 内信号幅值波动度；
- 声源级；
- 工作深度。

5.1.3 声接收分系统

声接收分系统应满足以下要求：

- 测声换能器子系统的设备要求见 4.1.2.1；
- 信号调理子系统的设备要求见 4.1.2.2；
- 数据采集记录子系统的设备要求见 4.1.2.3。

5.1.4 监听与显示分系统

监听与显示分系统的设备要求见 4.1.3。

5.1.5 声相关辅助参数同步调查分系统

5.1.5.1 海洋水文调查子系统

海洋水文调查子系统的设备要求见 4.1.4.1。

5.1.5.2 海洋气象调查子系统

海洋气象调查子系统的设备要求见 4.1.4.2。

5.1.5.3 海底声特性调查子系统

海底声特性调查子系统的设备要求见 4.1.4.4。

5.1.5.4 海洋中尺度调查子系统

海洋中尺度现象调查子系统要求如下：

- 内波调查宜采用合成孔径雷达（SAR）卫星和温度链系统相结合的方式获取；
- 中尺度涡调查宜通过卫星高度计方式获取；
- 温度锋面调查宜采用水温扫描仪和微波辐射计相结合的方式获取；
- 宜使用多源融合和同化产品。

5.1.6 测距分系统

测距分系统要求如下：

- 当调查船作为声发射分系统或声接收分系统的平台时，宜采用实时卫星差分系统进行定位。测量卫星天线与调查设备布放位置之间的距离，以校正发声—收声之间的距离；
- 当声发射分系统或声接收分系统的平台为潜标时，宜采用水下定位系统对声学潜标进行定位，以计算发声—收声之间的距离。

5.2 仪器设备校准

5.2.1 一般要求

所有仪器设备应处于检定/校准有效期内，能正常工作。

5.2.2 具体要求

5.2.2.1 声发射分系统

5.2.2.1.1 换能器声源校准

换能器声源校准要求如下：

- 对信号源、功率放大器和发射换能器组成发射设备进行校准，保证声源级达到调查要求；
- 功率放大器校准按照 SJ/T 10406 进行；
- 发射换能器校准按照 GB/T 7967 进行；
- 发射机与发射换能器连接工作稳定后，在海水中适当距离、适当深度放入标准水听器，观察接收到的发射波形，确定发射波形不畸变的发射机电功率值。

5.2.2.1.2 声源级测量

换能器和爆炸声源宜在调查海域开展声源级测量，要求如下：

- 声源级测量海域水深应大于 70m，且海流较缓；
- 水听器应位于声源的球面波扩展区内；
- 对于手榴弹和声弹声源，水听器的深度应保证爆炸冲击波、气泡一次脉动和界面反射信号在时间上相互分离。对于其他人工短脉冲声源（如气枪、电火花和灯泡等），亦参照这一要求；
- 测量声发射站位与声接收站位的水平距离，测量误差应小于 3%；
- 每种声源的发声次数应不少于 6 次，以满足声源级测量的统计平均要求。

5.2.2.2 声接收分系统

5.2.2.2.1 水听器（阵）

水听器（阵）校准要求见 4.2.2.1.1。

5.2.2.2.2 测声换能器、信号调理和数据采集记录子系统

采用标准信号源对声接收分系统的每个阵元的前置放大器、滤波器、测量放大器和采集记录器等进行校准，保证声接收分系统的幅频和相频特性符合调查任务要求，声信号传播时间的测量准确度在 0.1 s 以内。

5.2.2.3 声相关辅助参数同步调查分系统

声相关辅助参数同步调查分系统校准要求见 4.2.2.2。

5.2.2.4 测距分系统

测距系统校准要求如下：

- GPS 定位设备校准按照 GB/T 18314 进行；
- 北斗定位设备校准按照 GB/T 39399 进行；
- 水下定位系统校准可通过在圆心部署信标，并围绕圆周和圆心航行开展。

5.2.2.5 调查系统校时

调查系统校时要求见 4.2.2.3。

5.2.2.6 调查系统联调和测试

调查系统联调和测试要求见 4.2.2.4。

5.3 调查要求

5.3.1 一般要求

进行海洋水声传播调查时，一般要求如下：

- 根据调查需求，选择合适的调查方式（双船、单船—浮标、单船—潜标和双潜标方式等）；
- 海洋水声传播调查前，应进行声接收站位的海水声速调查；
- 海洋水声传播调查宜在声场数值预报的指导下进行；
- 根据海洋背景场确定声传播测线上海水声速调查间距，在声速变化剧烈的位置宜加密调查；
- 浅海区，声接收分系统至少在浅水层与深水层各布设一个水听器；深海区，至少在跃层上、下和声道轴各布设一个水听器；
- 若使用水听器阵，无论是垂直阵还是水平阵，可布设等间距或非等间距的水听器，以形成多种间距的水听器组合进行声信号接收；
- 若使用水听器阵，则每个阵元或间隔几个阵元附近必须间隔布设温深仪或深度仪；
- 调节声接收分系统的增益和量程，避免信号过载或过小；
- 自持式声接收和声发射分系统的供电能力和存储能力应同时满足调查时长的要求；
- 声发射分系统与声接收分系统之间的水平距离测距误差应在5%之内；
- 声相关辅助参数调查要求与海洋水声传播调查时间上同步、空间上邻近。

5.3.2 特殊要求

进行海洋水声传播调查时，应满足以下特殊要求：

- 开展声起伏调查时，在同一站位发射多组相同信号，信号样本数应满足统计平均处理要求；
- 开展声起伏调查时，声信号发射时间应不低于两个全日潮周期，如研究时间尺度更大的海洋过程，则需要相应延长声发射时间；
- 对于垂直水听器阵，可利用倾角仪或声学导航系统连续测量阵列的倾角和方向；
- 对布放在海底的水平水听器阵，可利用声学导航系统精确测量阵列或水听器的位置。

5.4 资料处理

5.4.1 数据处理

5.4.1.1 信号提取

回放海洋水声传播调查数据，依据声发射系统的发声时间搜寻信号，选取信噪比大于6 dB信号作为有效声信号，再根据信号的多途传播特点，截取合适的声信号长度。

5.4.1.2 海洋水声传播损失计算

选择合适的处理带宽进行滤波，滤波后信号进行积分，得到有效声压，以计算水声传播损失，计算公式见GJB 6639—2008附录D。

5.4.1.3 海洋水声传播定量验模

海洋水声传播定量验模方法见附录B。

5.4.1.4 海洋水声传播时间空间相关特性

海洋水声传播时空相关特性的计算公式见附录B。

5.4.1.5 海洋水声传播起伏计算

海洋水声传播起伏一般用闪烁指数 (SI) 和声强对数方差 (σ_l) 表示, 分别按照公式 (1)、(2) 计算。

$$SI^2 = \frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_l = \langle l^2 \rangle - \langle l \rangle^2 \dots\dots\dots (2)$$

式中:

I ——声强, 单位为瓦每平方米 (W/m^2);

$\langle \rangle$ ——统计平均;

l ——对数声强, 按照公式 (3) 计算:

$$l = 10 \lg \frac{I}{\langle I \rangle} \dots\dots\dots (3)$$

5.4.2 专题图件

专题图件主要包括:

- 海水声速垂直分布图;
- 海洋水声传播损失随传播距离变化图;
- 海洋水声传播损失等值线图;
- 海洋水声传播起伏闪烁指数随声接收深度变化图;
- 声相关辅助参数图件。

5.4.3 调查报告

报告内容包括:

- 调查范围、调查站位基本信息;
- 调查海区环境特征, 包括气象、水文、声速、海底地形和底质等;
- 调查方法和技术途径, 包括调查方法、调查系统结构和性能、外业调查过程、资料处理、质控措施等;
- 海洋水声传播调查结果的综合分析讨论。

5.4.4 资料归档

资料归档要求见 4.4.4。

6 海洋混响调查

6.1 仪器设备配置

6.1.1 调查系统构成

海洋混响调查系统主要由下列设备构成:

HY/T XXXXX-XXXX

- 声发射分系统；
- 声接收分系统；
- 监听与显示分系统；
- 声相关辅助参数同步调查分系统；
- 测距分系统。

6.1.2 声发射分系统

6.1.2.1 爆炸声源

爆炸声源的设备要求见 5.1.2.1。

6.1.2.2 换能器声源

换能器声源宜指明以下指标：

- 工作频段；
- 信号发射形式；
- 信号脉宽；
- 发射换能器指向性图；
- 声源级；
- 工作深度。

6.1.3 声接收分系统

声接收分系统应满足以下要求：

- 测声换能器子系统的设备要求见 4.1.2.1；
- 信号调理子系统的设备要求见 4.1.2.2；
- 数据采集记录子系统的设备要求见 4.1.2.3。

6.1.4 监听与显示分系统

监听与显示分系统的设备要求见 4.1.3。

6.1.5 声相关辅助参数同步调查分系统

- 海洋水文调查子系统的设备要求见 4.1.4.1；
- 海洋气象调查子系统的设备要求见 4.1.4.2；
- 海底声特性调查子系统的设备要求见 4.1.4.4。

6.1.6 测距分系统

测距分系统的设备要求见 5.1.6。

6.2 仪器设备校准

6.2.1 声发射分系统

对信号源、功率放大器和发射换能器组成的声发射分系统进行校准，提供发射换能器的指向性图案，保证声源级满足调查要求。

6.2.2 声接收分系统

- 水听器（阵）校准要求见 4.2.2.1.1；
- 对于水听器阵，应提供阵接收指向性图案；
- 测声换能器、信号调理和数据采集记录子系统校准要求见 5.2.2.2.2。

6.2.3 测距分系统

测距分系统校准要求见 5.2.2.4。

6.2.4 调查系统校时

调查系统校时要求见 4.2.2.3。

6.2.5 调查系统联调和测试

调查系统联调和测试要求见 4.2.2.4。

6.3 调查要求

6.3.1 一般要求

海洋混响调查应满足以下要求：

- 远程混响可采取措施尽量降低平台自噪声的影响，比如调查时关闭调查船主、辅机等；
- 调节声接收分系统的增益和量程，以使“有前放水听器对应通道的远程混响尽量明显，无前放水听器对应通道的近程混响尽量不限幅”；
- 每种脉冲信号（包括爆炸声信号）应发射 10 次以上；发射间隔宜设置为 1 min，对于高声源级发射（含大当量爆炸信号）情况，可延长至 2 min；
- 若存在声速跃层，宜在跃层上下两种深度进行声信号发射；
- 对于换能器声源，应记录其工作过程的姿态变化。

6.3.2 特殊要求

6.3.2.1 海面混响调查

针对深海环境，海面混响调查要求如下：

- 声源应采用宽带脉冲声源；
- 声接收可采用单水听器或水听器阵；
- 选择合适的声源深度和声接收深度，以使海面反射信号先于海底反射信号到达，并保证海面混响信号与海底混响信号不会互相混叠。

6.3.2.2 海底混响调查

针对深海环境，海底混响调查要求如下：

- 声源应采用宽带脉冲声源；
- 声接收可采用单水听器或水听器阵；
- 选择合适的声源深度和声接收深度，以使一次海底反射信号到达与二次海底反射信号到达之间存在一定的时间差。

6.4 资料处理

6.4.1 数据处理

6.4.1.1 信号提取

回放海洋混响调查数据，依据声发射系统的发声时间搜寻信号，提取信号的要求如下：

- 应提取不过载又不过小的完整记录信号；
- 应提取远程混响过小但近程混响不过载的信号；
- 应提取近程混响限幅但远程混响不过小的信号。

6.4.1.2 海洋混响级与混响距离计算

海洋混响级与混响距离计算见附录C，以获取不同频段或频点、深度上混响强度随时间衰减的规律。

6.4.2 专题图件

专题图件主要包括：

- 海面混响强度随时间变化图；
- 海底混响强度随时间变化图；
- 声相关辅助参数图件。

6.4.3 调查报告

报告内容包括：

- 调查范围、调查站位基本信息；
- 调查海区环境特征，包括气象、水文、声速、海底地形和底质等；
- 调查方法和技术途径，包括调查方法、调查系统结构和性能、外业调查过程、资料处理、质控措施等；
- 海洋混响调查结果的综合分析与讨论。

6.4.4 资料归档

资料归档要求见 4.4.4。

7 海底声特性调查

7.1 调查方法

7.1.1 反射和折射法

测量相同深度、不同水平距离（相对于水平阵）或相同水平距离、不同深度（相对于垂直阵）的多个接收换能器接收的来自不同海底分层的直达波、折射波和反射波的传播时间，根据反射和折射定律，计算海底各层的声速。由直达波、反射波和折射波的传播路径以及声能差计算各层的声衰减系数。

7.1.2 原位法

将安装有声学换能器（包括发射换能器和接收换能器）的调查设备吊放至海底，通过液压驱动或设备自重将声学换能器插入到沉积物中某一深度，根据接收换能器记录到的声波信号的传播时间和振幅确定其传播速度和衰减系数。

7.1.3 实验室法

在实验室测量声波（或剪切波）通过一定长度的海底沉积物柱状样品的传播时间，进而计算其声速（或剪切波速）。并通过测量在该距离上的声波能量衰减，确定其声衰减系数。

7.2 设备配置

7.2.1 反射和折射法

发射和折射法调查系统应满足以下要求：

- 声发射分系统的设备要求见 5.1.2；
- 水听器（阵）的设备要求见 4.1.2.1.2；
- 信号调理子系统的设备要求见 4.1.2.2；
- 数据采集记录子系统的设备要求见 4.1.2.3；
- 海洋水文调查子系统的设备要求见 4.1.4.1；
- 浅层剖面仪的设备要求应符合 GB/T 12763.8 的规定；
- 测距分系统的设备要求见 5.1.6。

7.2.2 原位法

原位法的设备要求应符合 HY/T 0278—2019 的 6.1。

7.2.3 实验室法

7.2.3.1.1 声波检测仪

声波检测仪宜指明以下指标：

- 发射波形；
- 发射电压；
- 脉冲宽度；
- 采样间隔；
- 采样长度。

7.2.3.1.2 物理力学参数测试仪器

物理力学参数测试仪器的设备要求应符合 GB/T 15406—2007。

7.3 仪器设备校准

7.3.1 反射和折射法

发射和折射法设备的校准要求见 5.2。

7.3.2 原位法

原位法设备的校准要求应符合 HY/T 0278—019 的 6.3。

7.3.2.1 实验室法

实验室法设备应按照 GB/T 15406—2007 中附录 C 的要求进行校准。

7.4 调查要求

7.4.1 一般要求

海底声特性调查应满足以下要求：

- 站位布设应考虑海底地形和底质条件，调查站位的沉积结构应具有代表性；
- 对于底质变化剧烈的区域，应加密调查站位。

7.4.2 特殊要求

7.4.2.1 反射和折射法

发射和折射法应满足以下要求：

- 水听器阵声接收阵元数量应不少于10个；
- 距离接收站位1.5~15倍水深(浅海)的水平距离内,应至少在10个不同的距离上测量直达波、反射波和头波的传播时间；
- 传播时间的测量误差应小于0.5%；
- 随着收发距离的变化,应调整放大倍数以避免记录反射波的通道信号过载或信号太弱；
- 对每个声源发射站位,应至少有一个完整的回波记录；
- 海水声速测量绝对误差不大于 ± 0.75 m/s。

7.4.2.2 原位法

原位法应符合 HY/T 0278—2019 中 6.4 的要求。

7.4.2.3 实验室法

实验室法应满足以下要求：

- 应尽可能保持取样、运输、分样过程样品的原始状态不受破坏；
- 样品应密封良好,存储于恒温恒湿的样品库。外业取样工作完成后,应尽快安排样品测试；
- 截取柱状样品时,截取长度应在0.25 m左右,且尽量保持截取的样品两端横截面平整；
- 柱状样品测量声速后,应进行沉积物的类型描述和密度的测量。

7.5 资料处理

7.5.1 数据处理

7.5.1.1 反射和折射法

反射和折射法的数据处理应按照 GB/T 12763.5—2007 中附录 C 的要求。

7.5.1.2 原位法

原位法的数据处理应按照 HY/T 0278—2019 中 4 的要求。

7.5.1.3 实验室法

实验室法数据处理应按照 GB/T 12763.5—2007 中 7.3.1 的要求。

7.5.2 专题图件

专题图件主要包括：

- 海底沉积物声速垂直变化图；
- 海底沉积物声衰减系数垂直变化图；
- 海底沉积物声阻抗垂直变化图；
- 海底沉积物密度垂直变化图。

7.5.3 调查报告

报告内容包括：

- 调查范围、调查站位基本信息；
- 调查海区环境特征,包括气象、水文、声速、海底地形和底质等；

- 调查方法和技术途径,包括调查方法、调查系统结构和性能、外业调查过程、实验室测试过程、资料处理、质控措施等;
- 海底声特性调查结果的综合分析与讨论。

7.5.4 资料归档

资料归档要求见 4.4.4。

附录 A
(资料性)
海洋环境噪声统计分析

A.1 海洋环境噪声谱级概率密度

海洋环境噪声谱级的概率密度按照公式 (A.1) 计算:

$$SPD(f_i) = \frac{H(PSD(f_i, m), h)}{Mh} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- $SPD(f_i)$ ——频率 f_i 处噪声谱级的概率密度;
- $H(PSD(f_i, m), h)$ ——频率 f_i 处噪声谱级在 h 内的个数;
- $PSD(f_i, m)$ ——频率 f_i 处的第 m 个噪声谱级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu Pa^2 Hz^{-1}$;
- m ——频率 f_i 处噪声谱级的序号, $1 \leq m \leq M$;
- h ——频率 f_i 处噪声谱级的划分间隔;
- M ——频率 f_i 处噪声谱级的总数。

A.2 海洋环境噪声谱百分位值

海洋环境噪声谱百分位值按照公式 (A.2)、(A.3) 和 (A.4) 计算:

$$Ns_i = S(PSD(f_i)) \dots\dots\dots (A.2)$$

$$Nx = R\left(M \times \frac{x}{100}\right) \dots\dots\dots (A.3)$$

$$Nsx_i = Ns_i(Nx) \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

- Ns_i ——排序后的噪声谱级序列, 单位为分贝 (dB);
 - S ——将 M 个 $PSD(f_i)$ 从小到大排序;
 - $PSD(f_i)$ ——频率 f_i 处的噪声谱级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu Pa^2 Hz^{-1}$;
 - Nx —— M 个数中, 对应 $x\%$ 的序号;
 - R ——四舍五入取整;
 - M ——频率 f_i 处噪声谱级的总数;
 - x ——取 1 到 100 的任意正整数;
 - Nsx_i ——频率 f_i 处对应 $x\%$ 的噪声谱级, 单位为分贝 (dB)。
- Nsx_i 按照频率变化作图, 则得到噪声谱级的百分位曲线图。

A.3 海洋环境噪声谱级均值

海洋环境噪声谱级均值按照公式 (A.5) 计算:

$$\overline{Ns_i} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M PSD(f_i, m) \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

$\overline{Ns_i}$ ——噪声谱级均值，单位为分贝（dB）；

M ——频率 f_i 处噪声谱级的总数；

$PSD(f_i, m)$ ——频率 f_i 处的第 m 个噪声谱级，单位为分贝（dB），基准值 $1 \mu Pa^2 Hz^{-1}$ ；

m ——频率 f_i 处噪声谱级的序号， $1 \leq m \leq M$ ；

$\overline{Ns_i}$ 按照频率变化作图，则得到海洋环境噪声谱级的均值曲线图。

附录 B

(资料性)

海洋水声传播定量验模和声场时空特性

B.1 海洋水声传播定量验模

B.1.1 累计精度法

首先按照公式 (B.1) 计算模型与实测的水声传播损失差值:

$$\Delta TL(r, z) = TL(r, z) - TL_{STD}(r, z) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$\Delta TL(r, z)$ ——模型与实测的水声传播损失差值, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu Pa^2 Hz^{-1}$;

$TL(r, z)$ ——模型计算的水声传播损失, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu Pa^2 Hz^{-1}$;

$TL_{STD}(r, z)$ ——调查实测的水声传播损失, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu Pa^2 Hz^{-1}$ 。

再按照公式 (B.2) 和 (B.3) 进行精度的综合评估:

$$CAM_{\mu} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_c} N_{R_i}} \sum_{i=1}^{N_c} \sum_{j=1}^{N_{R_i}} |\mu_{ij}| W_{ij} \dots\dots\dots (B.2)$$

$$CAM_{\sigma} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_c} N_{R_i}} \sum_{i=1}^{N_c} \sum_{j=1}^{N_{R_i}} \sigma_{ij} W'_{ij} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

CAM_{μ} ——以均值计算的累积精度量度;

N_c ——总的算例数目;

i ——测试算例序号;

N_{R_i} ——对于第 i 个算例的水平距离分段数目;

j ——距离分段序号;

μ_{ij} ——水平距离分段 (ΔR_{ij}) 范围内水声传播损失误差 ΔTL 的均值;

W_{ij} ——加权函数;

CAM_{σ} ——以标准差计算的累积精度量度;

σ_{ij} ——水平距离分段 (ΔR_{ij}) 范围内水声传播损失误差 ΔTL 的标准差;

W'_{ij} ——加权函数。

B.1.2 匹配场法

按照公式 (B.4) 计算复声压值:

$$\varepsilon_{(r)} = 1 - \frac{\left| \sum_n p(r, z_n) p_{STD}^*(r, z_n) \right|^2}{\sum_n |p(r, z_n)|^2 \sum_n |p_{STD}(r, z_n)|^2} \dots\dots\dots (B. 4)^{3)}$$

式中:

$p(r, z_n)$ ——模型计算的声压值;

$p_{STD}(r, z_n)$ ——标准声压值⁴⁾。

B.2 声场时间空间相关特性

时间和空间相关特性分别按照公式 (B.5) 和 (B.6) 计算:

$$\rho(\tau | t, \vec{r}) = \frac{\langle p^*(t | \vec{r}) p(t + \tau | \vec{r}) \rangle}{\sqrt{\langle p^*(t | \vec{r}) p(t | \vec{r}) \rangle \langle p^*(t + \tau | \vec{r}) p(t + \tau | \vec{r}) \rangle}} \dots\dots\dots (B. 5)$$

式中:

$\rho(\tau | t, \vec{r})$ ——在空间场点位置 \vec{r} 和观察时刻 t 的时间相关函数;

$p(t | \vec{r})$ ——在测量场点 \vec{r} 处、观测时刻 t 得到的接收声信号波形, 其中信号波形相关取结果最大值;

τ ——观测时间间隔或时间延迟;

*

$\langle \rangle$ ——统计平均。

$$\rho(d | \vec{r}, t) = \frac{\langle p^*(\vec{r} | t) p(\vec{r} + d | t) \rangle}{\sqrt{\langle p^*(\vec{r} | t) p(\vec{r} | t) \rangle \langle p^*(\vec{r} + d | t) p(\vec{r} + d | t) \rangle}} \dots\dots\dots (B. 6)$$

式中:

$\rho(d | \vec{r}, t)$ ——在空间场点位置 \vec{r} 和观察时刻 t 的空间相关函数;

$p(\vec{r} | t)$ ——在观测时刻 t 、测量场点 \vec{r} 处得到的接收声信号波形, 其中信号波形相关取结果最大值;

d ——场点的空间间隔, 一般为水平距离间隔或垂直深度间隔, 分别对应水平和垂直相关特性;

*

$\langle \rangle$ ——统计平均。

3) 因为考虑了声场相位变化, 该方法更能反映模型计算精度的实际情况: $\varepsilon_{(r)}$ 越小, 同标准数据的差异越小, 当等于零时, 二者完全一样。

4) 可以是解析解、实验数据或者是标准算法模型的计算结果。也可以是固定接收深度, 对不同接收水平距离离散点数据进行比较, 甚至整个空间分布离散节点上的比较。

附 录 C
(资料性)
海洋混响级和混响距离计算

C.1 频带声压级

频带声压级按照公式 (C.1) 计算:

$$L_i = 20\lg(U_i/U_0) - M_i - m_i \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- L_i ——第*i*个频带声压级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$;
- i ——频带序号;
- U_i ——第*i*个频带对应的接收信号有效电压, 单位为伏 (V);
- U_0 ——基准电压, 通常取 $U_0 = 1\text{V}$;
- M_i ——第*i*个频带对应的水听器灵敏度, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1\text{V}/\mu\text{Pa}$;
- m_i ——第*i*个频带对应的接收系统增益, 单位为分贝 (dB)。

C.2 宽频带声压级

宽频带声压级按照公式 (C.2) 计算:

$$L = 10\lg\left(\sum_{i=1}^N 10^{0.1L_i}\right) \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

- L ——宽频带声压级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$;
- N ——宽频带内包含的频带数量;
- i ——频带序号;
- L_i ——第*i*个频带声压级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$ 。

C.3 声源级

声源级按照公式 (C.3) 计算:

$$SL_i = L_i + 20\lg(r/r_0) \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

- SL_i ——第*i*个频带声源级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$;
- i ——频带序号;
- L_i ——第*i*个频带声压级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$;
- r ——接收水听器到发射声源中心的距离, 单位为米 (m);
- r_0 ——基准距离, 通常取 $r_0 = 1\text{m}$ 。

C.4 宽频带声源级

宽频带声源级按照公式 (C.4) 计算:

$$SL = 10\lg\left(\sum_{i=1}^N 10^{0.1SL_i}\right) \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

SL ——宽频带声源级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$;

N ——宽频带内包含的频带数量;

i ——频带序号;

L_i ——第 i 个频带声压级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$ 。

C.5 频带背景噪声级

频带背景噪声级按照公式 (C.5) 计算:

$$NL_i = L_i \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

NL_i ——第 i 个频带背景噪声级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$;

i ——频带序号;

L_i ——第 i 个频带声压级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$ 。

C.6 宽频带背景噪声级

宽频带背景噪声级按照公式 (C.6) 计算:

$$NL = 10\lg\left(\sum_{i=1}^N 10^{0.1NL_i}\right) \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

NL ——宽频带背景噪声级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$;

N ——宽频带内包含的频带数量;

i ——频带序号;

NL_i ——第 i 个频带背景噪声级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$ 。

C.7 频带混响级

频带混响级按照公式 (C.7) 计算:

$$RL_i(r) = SL_i - [20\lg(U_i(r)/U_0) - M_i - m_i] \dots\dots\dots (C.7)$$

式中:

$RL_i(r)$ ——第 i 个频带混响级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$;

i ——频带序号;

SL_i ——第 i 个频带声源级, 单位为分贝 (dB), 基准值 $1 \mu\text{Pa}$;

$U_i(r)$ ——第 i 个频带对应的距离 r 处的混响信号有效电压, 单位为伏 (V);

U_0 ——基准电压, 通常取 $U_0 = 1\text{V}$;

- M_i ——第*i*个频带对应的水听器灵敏度，单位为分贝（dB），基准值1V/μPa；
- m_i ——第*i*个频带对应的接收系统增益，单位为分贝（dB）。

C.8 宽频带等效平面波混响级

宽频带等效平面波混响级按照公式（C.8）计算：

$$RL(r) = 10\lg\left(\sum_{i=1}^N 10^{0.1RL_i(r)}\right) \dots\dots\dots (C.8)$$

式中：

- RL ——宽频带等效平面波混响级，单位为分贝（dB），基准值1μPa；
- N ——宽频带内包含的频带数量；
- i ——频带序号；
- $RL_i(r)$ ——第*i*个频带混响级，单位为分贝（dB），基准值1μPa。

C.9 基于有规脉冲直达路径的单基地界面混响级

基于有规脉冲（有一定持续时间的发射脉冲）直达路径的单基地界面混响级，按照公式（C.9）计算：

$$RL_U = SL - 30\lg R + S_U + 10\lg \psi_U(\varphi) + 10\lg\left(\frac{c\tau}{2}\right) \dots\dots\dots (C.9)$$

式中：

- RL_U ——界面混响级，单位为分贝（dB）；
- SL ——声源级，单位为分贝（dB）；
- R ——单程距离，单位为米（m）；
- S_U ——单位面积散射强度，单位为分贝（dB）；
- c ——海水声速，单位为米/秒（m/s）；
- τ ——脉宽，单位为秒（s）；
- $\psi_U(\varphi)$ ——等效收发平面角，单位为弧度（rad），按照公式（C.10）计算：

$$\psi_U(\varphi) = \int_0^{2\pi} B_T(\theta, \varphi) B_R(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta \dots\dots\dots (C.10)$$

式中：

- θ ——方位角，单位为弧度（rad）；
- φ ——俯仰角，单位为弧度（rad）；
- $B_T(\theta, \varphi)$ ——发射指向性函数；
- $B_R(\theta, \varphi)$ ——接收指向性函数。

C.10 基于有规脉冲直达路径的单基地体积混响级

基于有规脉冲（有一定持续时间的发射脉冲）直达路径的单基地体积混响级，按照公式（C.11）计算：

$$RL_V = SL - 20\lg R + S_V + 10\lg \psi_V(\varphi) + 10\lg\left(\frac{c\tau}{2}\right) \dots\dots\dots (C.11)$$

式中：

- RL_V ——体积混响级, 单位为分贝 (dB);
 SL ——声源级, 单位为分贝 (dB);
 R ——单程距离, 单位为米 (m);
 S_V ——单位体积散射强度, 单位为分贝 (dB);
 c ——海水声速, 单位为米/秒 (m/s);
 τ ——脉宽, 单位为秒 (s);
 $\psi_V(\varphi)$ ——等效收发立体角, 单位为弧度 (rad), 按照公式 (C. 12) 计算:

$$\psi_V(\varphi) = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi B_T(\theta, \varphi) B_R(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi \dots\dots\dots (C. 12)$$

式中:

- θ ——方位角, 单位为弧度 (rad);
 φ ——俯仰角, 单位为弧度 (rad);
 $B_T(\theta, \varphi)$ ——发射指向性函数;
 $B_R(\theta, \varphi)$ ——接收指向性函数。

C. 11 基于冲激脉冲的界面混响级

基于冲击脉冲 (爆炸声) 界面混响级按照公式 (C. 13) 计算:

$$RL_U = SL_E - 30 \lg R + S_U + 10 \lg \psi_U + 10 \lg \left(\frac{c}{2}\right) \dots\dots\dots (C. 13)$$

式中:

- RL_U ——界面混响级, 单位为分贝 (dB);
 SL_E ——能流密度源级, 单位为分贝 (dB);
 R ——单程距离, 单位为米 (m);
 S_U ——单位面积散射强度, 单位为分贝 (dB);
 c ——海水声速, 单位为米/秒 (m/s);
 ψ_U ——等效收发平面角, 单位为弧度 (rad)。

C. 12 基于冲激脉冲的体积混响级

基于冲击脉冲 (爆炸声) 体积混响级按照公式 (C. 14) 计算:

$$RL_V = SL_E - 20 \lg R + S_V + 10 \lg \psi_V + 10 \lg \left(\frac{c}{2}\right) \dots\dots\dots (C. 14)$$

式中:

- RL_V ——体积混响级, 单位为分贝 (dB);
 SL_E ——能流密度源级⁵⁾, 单位为分贝 (dB);
 R ——单程距离, 单位为米 (m);
 S_V ——单位体积散射强度, 单位为分贝 (dB);

5) 100gTNT 爆炸声的能流密度源级约为 195dB, 1000gTNT 爆炸声的能流密度源级约为 205dB。

c ——海水声速，单位为米/秒（m/s）；

ψ_V ——等效收发立体角，单位为弧度（rad）。

对于全向发射-接收结构： $\psi_U = 2\pi$ ， $\psi_V = 4\pi$ 。对于浅海，起主要作用的是界面混响中的海底混响，可以海底混响级 RL_B 近似混响级 RL ；对于深海，起主要作用的是界面混响中的海面混响，可以海面混响级 RL_A 近似混响级 RL 。

C.13 基于有规脉冲的混响距离

基于有规脉冲（有一定持续时间的发射脉冲）的混响距离按照公式（C.15）计算：

$$R_r = 10^{\frac{SL-NL+S_B+10\lg\psi_B+10\lg\left(\frac{c\tau}{2}\right)}{30}} \dots\dots\dots (C.15)$$

式中：

R_r ——有规脉冲信号混响距离，单位为米（m）；

SL ——声源级，单位为分贝（dB）；

NL ——有规声信号频带噪声级，单位为分贝（dB）；

S_B ——单位面积海底散射强度，单位为分贝（dB）；

τ ——脉宽，单位为秒（s）；

c ——海水声速，单位为米/秒（m/s）；

ψ_B ——等效收发平面角，单位为弧度（rad）。

C.14 基于冲激脉冲的混响距离

基于冲激脉冲（爆炸声信号）的混响距离按照公式（C.16）计算：

$$R_r = 10^{\frac{SL_E-NL+S_B+10\lg\psi_B+10\lg\left(\frac{c}{2}\right)}{30}} \dots\dots\dots (C.16)$$

式中：

R_r ——冲激脉冲信号混响距离，单位为米（m）；

SL_E ——能流密度源级，单位为分贝（dB）；

NL ——噪声级，单位为分贝（dB）；

S_B ——单位面积海底散射强度，单位为分贝（dB）；

c ——海水声速，单位为米/秒（m/s）；

ψ_B ——等效收发平面角，单位为弧度（rad）。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3947—1996 声学名词术语
 - [2] GB/T 12763.7 海洋调查规范 第7部分：海洋调查资料交换
 - [3] J.A.DeSanto, Ocean Acoustics, Springer-Verlag, 1979
 - [4] Boris Katsnelson, Valery Petnikov, James Lynch, Fundamentals of Shallow Water Acoustics, Springer, 2012
 - [5] Beaumont M.Buck and Charles R.Greene, A two-hydrophone method of eliminating the effects of nonacoustic noise interference in measurements of infrasonic ambient noise levels, J. Acoust. Soc. Am. 68(5), 1980, 1306-1308
 - [6] HY/T 147.7—2013 海洋监测技术规程 第7部分：卫星遥感技术方法
 - [7] Q/HBJ 03.142—2011 海水声速仪校准方法
 - [8] 国海环字[2011]536号 海底沉积物原位声学特性测量方法
 - [9] “全球变化与海气相互作用专项”《海洋声学调查技术规程》
-