

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD28-2018



中国船级社

船舶水下辐射噪声指南

2018

生效日期：2018年10月15日

北京

出版说明

近年来，随着配备有水声设备的船舶以及要求降低水下辐射噪声对环境影响船舶的出现，业界对于船舶水下辐射噪声技术标准的需求越来越迫切。为了满足业界需求并提升我国船舶设计、建造领域的水下辐射噪声控制水平，CCS在《船舶水下辐射噪声检测指南》（2016）基础上，对水下辐射噪声的技术要求与测量程序做了进一步的研究，结合我国造船实际制定了《船舶水下辐射噪声指南》2018，并以此为基础为业界提供船舶入级服务。《船舶水下辐射噪声指南》2018生效后，将替代《船舶水下辐射噪声检测指南》2016。

本社鼓励船舶设计者、船厂、船东、产品厂等反馈经验和信息，以不断完善本指南。

目录

第 1 章 通则	1
1.1 适用范围	1
1.2 附加标志	1
1.3 文件资料要求	1
1.4 符号与定义	2
第 2 章 水下辐射噪声衡准	4
2.1 一般规定	4
2.2 水下辐射噪声限值	4
第 3 章 水下辐射噪声测量	6
3.1 一般规定	6
3.2 测量设备	6
3.3 测量条件	7
3.4 被测船舶状态	7
3.5 背景噪声	8
3.6 测量程序	8
第 4 章 数据处理及测量报告	14
4.1 一般规定	14
4.2 背景噪声修正	14
4.3 传播损失修正	15
4.4 测量报告	15
附录 船舶水下辐射噪声测量报告格式	16

第 1 章 通则

1.1 适用范围

1.1.1 本指南旨在提供船舶水下辐射噪声的入级规定及进行测量的程序和技术要求。

1.1.2 本指南适用于申请以下 1.2 CCS 船级附加标志的以水声设备操作实现其重要服务功能的船舶以及要求降低水下辐射噪声对环境影响的船舶。

1.1.3 若船舶经过可能影响船舶水下辐射噪声的重大改装，本指南规定的附加标志应重新予以确认。

1.2 附加标志

1.2.1 经测量满足本指南第 2 章相关要求的船舶可授予下列船舶水下辐射噪声附加标志：

Underwater Noise N

N 为水下辐射噪声等级，N=1, 2 或 3，其中 1 表示水下辐射噪声最高等级。

1.2.2 对于船舶水下辐射噪声附加标志，当仅在指定频段（10-100Hz、100-1000Hz、1000-100000Hz）满足要求时，可分频段授予，但应在附加标志中注明。

1.3 文件资料要求

1.3.1 在进行船舶水下辐射噪声测量前，应将测量大纲提交 CCS 审批。测量大纲至少应包括下述内容：

- ①测量设备，如声学测量设备、距离测量设备、航速测量设备等；
- ②测量条件，包括测量海域位置、测量海域水深与海底条件、海况信息（如风、浪等）；
- ③被测船舶运行状态，如螺旋桨或侧推的转速、螺距、功率；主机功率、机器转速；航速；船舶装载状态等；
- ④测量程序，如水听器布置、船舶航行路径等。

1.3.2 测量完成后，应将测量报告提交 CCS 审批。测量报告至少应包括下述内容：

- ①测量设备；
- ②测量条件、船舶运行状态、开启设备列表；
- ③与测量大纲的差异，如所需的测量条件、船舶运行状态、测量程序等。

- ④背景噪声频谱、背景噪声修正方法；
- ⑤1/3 倍频程的声源频带声压级结果与衡准。

1.4 符号与定义

1.4.1 声压级 L_p ：声压与参考声压之比的以 10 为底的对数乘以 20，dB，按下式计算：

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

式中： p ——有效声压，Pa；

p_0 ——参考声压，水中参考声压为 $1\mu Pa$ 。

1.4.2 $\frac{1}{3}$ 倍频程：用频程来表示声音的两个频率之间的间隔或频带宽度，以上限频率 f_u

和下限频率 f_l 之间的对数来表示，此对数通常以 2 为底，单位为倍频程，即：

$$n = \log_2 \frac{f_u}{f_l}$$

当 $n = \frac{1}{3}$ 时，对应为 $\frac{1}{3}$ 倍频程。

1.4.3 声源级 L_{p1m} ：换算得到的距离等效声中心 1m 处的声压级，dB。

1.4.4 传播损失 (L_T)：声波在海水介质中的传播损失，因声压随着离声源的距离的增加而减少，则传播损失随着离声源的距离的增加而增加，假定位置 1 比位置 2 离声源近，传播损失为：

$$L_T = 20 \lg \frac{p_1}{p_2}$$

式中：

p_1 —位置 1 的声压，Pa；

p_2 —位置 2 的声压，Pa；

当两个位置之间的传播距离为 r 时，传播损失为：

$$L_T = X \lg \frac{r}{r_{1m}}$$

式中： r ——声源与水听器距离，取 $\sqrt{D_H^2 + D_V^2}$ ，m；

D_H ——水听器的最小会遇距离，m；

D_V ——水听器到声学中心点的垂直距离，m

r_{1m} ——距离声源参考距离 1m 处，取 1m；

X ——根据实际真实声场得出，当声波以球面波传播时，取 20；当声波以柱面波传播时，取 10。对于船舶，当测量水深 $d > 100\text{m}$ 时，取 20；当测量水深 $d \leq 100\text{m}$ 时，取 18。

1.4.5 声中心：假设点声源所处的位置。声中心纵向取为推进器与主机的距离中点，垂向为水线下 2/3 吃水处。

1.4.6 最小会遇点 (CPA)：水下辐射噪声测量中，从水听器向船舶声中心轨迹作垂线得到的垂足。

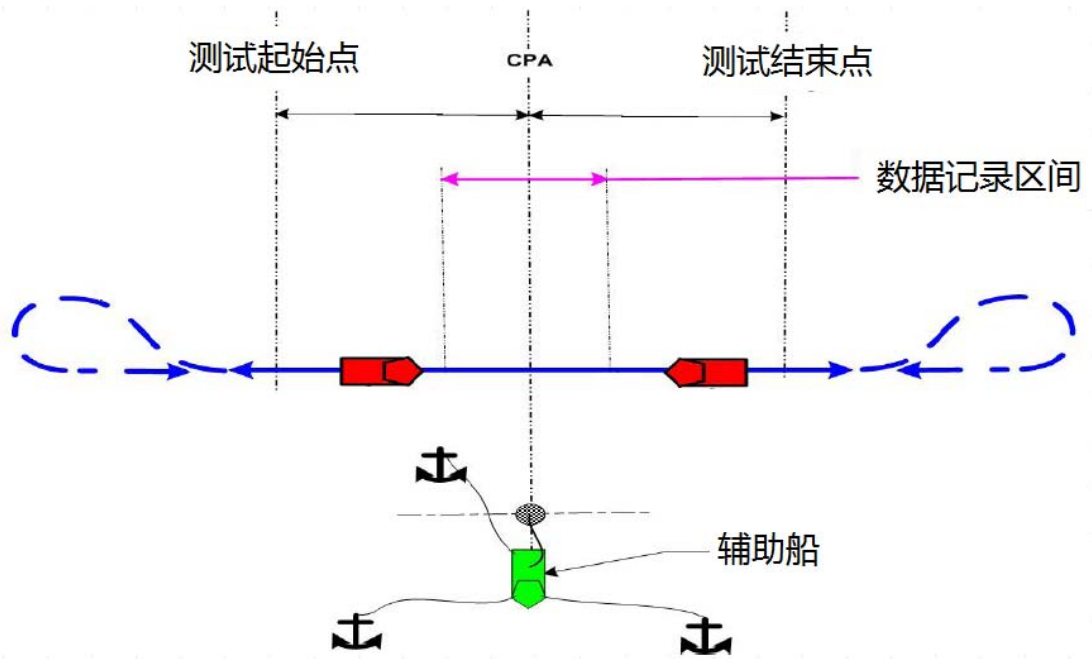


图 1.4.6 最小会遇点示意图

1.4.7 最小会遇距离 (d_{cpa})：最小会遇点至水听器的水平距离，m。

1.4.8 背景噪声：水听器接收到的无被测船舶噪声影响的水中环境噪声。

1.4.9 声速剖面：声速随水深变化的曲线。

第 2 章水下辐射噪声衡准

2.1 一般规定

2.1.1 本章规定了船舶水下辐射噪声附加标志（Underwater Noise N, N=1, 2, 3）允许的水下辐射噪声限值。对于以水声设备操作实现其重要服务功能的船舶，其水下辐射噪声限值见 2.2；对其它要求降低水下辐射噪声对环境影响的船舶，其水下辐射噪声限值由 CCS 另行考虑。

2.1.2 应对船舶的水下辐射噪声 1/3 倍频程频带声压级进行测量，并换算得到的距离等效声中心 1m 处的声源级。

2.1.3 水下辐射噪声限值为 1/3 倍频程形式，且折算至船舶声中心 1m 远处。

2.1.4 对于侧推工况，不作为水下辐射噪声的考核工况。

2.2 水下辐射噪声限值

2.2.1 水下辐射噪声限值为 1/3 倍频程频带声压级，见图 2.2.1。

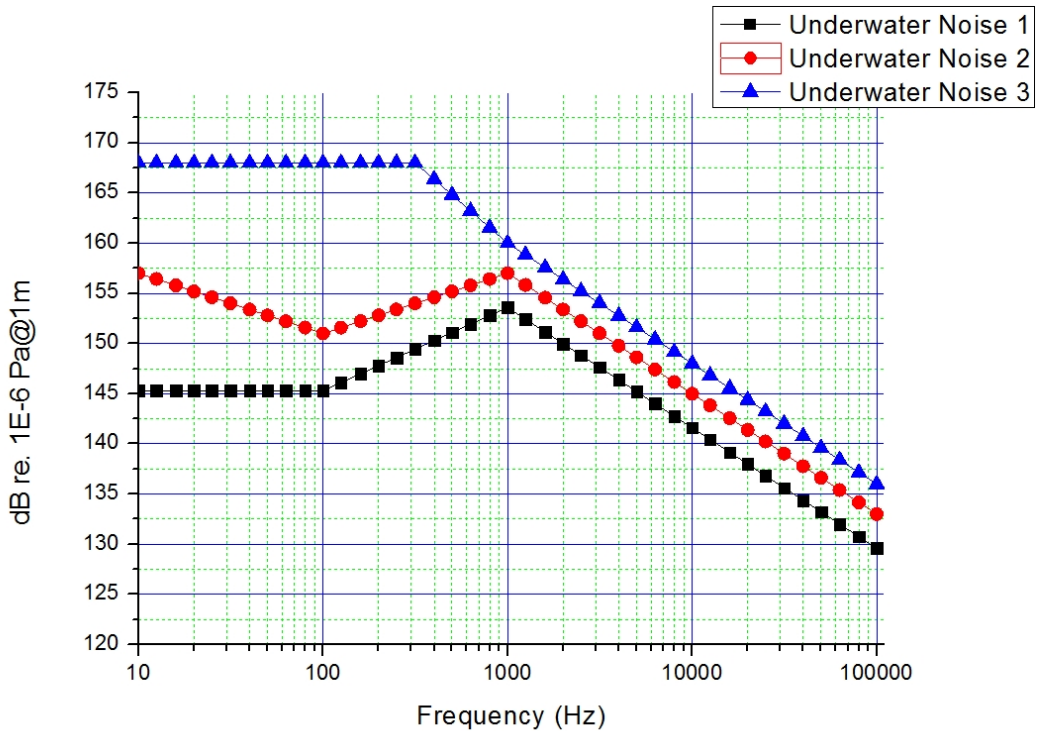


图 2.2.1 水下辐射噪声限值

2.2.2 水下辐射噪声限值公式见表 2.2.2。

表 2.2.2 水下辐射噪声限值

附加标志分类	限值标准 dB (参考声压 1 μ Pa)	频率范围
Underwater Noise 1	145.3	10 Hz-100 Hz
Underwater Noise 1	128.7+8.3 lg f(Hz)	100 Hz-1kHz
Underwater Noise 1	153.6-12 lg f(kHz)	1 kHz-100 kHz
Underwater Noise 2	163-6 lg f(Hz)	10 Hz-100 Hz
Underwater Noise 2	139+6 lg f(Hz)	100 Hz-1kHz
Underwater Noise 2	157-12 lg f(kHz)	1 kHz-100 kHz
Underwater Noise 3	168	10 Hz-315Hz
Underwater Noise 3	208-16 lg f(Hz)	315Hz-1 kHz
Underwater Noise 3	160-12 lg f(kHz)	1 kHz-100 kHz

注：f — 1/3 倍频程中心频率。

第 3 章 水下辐射噪声测量

3.1 一般规定

3.1.1 水下辐射噪声测量应由 CCS 或 CCS 认可的机构完成，测量过程应有 CCS 验船师在场。

3.1.2 水下辐射噪声测量方法可采用单水听器方法和多水听器方法。

3.2 测量设备

3.2.1 船舶水下辐射噪声测量系统包括声学测量设备、距离测量设备、航速测量设备，各测量设备之间应同步进行。

3.2.2 声学测量设备

3.2.2.1 当采用单水听器方法时：

(1) 声学测量设备包括 1 个无指向性水听器与数据采集设备（必要时可加装测量放大器）。当测量在远海或当陆地测量受限时，测量设备可放置在辅助船上。

(2) 水听器辅助结构不应影响测试结果，可采用开放式钢架，支架一般为细长构件，钢架结构底座面积应为 $0.4\sim 0.7\text{m}^2$ 。

3.2.2.2 当采用多水听器方法时，声学测量系统至少由 3 个无指向性水听器及数据采集设备（必要时可加装测量放大器）构成。

注：船载布放的声学测量系统至少由 1 个无指向性水听器构成，实施船载布放的船舶应具有自航、施放及回收声学测量系统的能力。

3.2.2.3 数据采集设备的采样频率至少为最大分析频率的 2 倍。

3.2.2.4 水听器应内装前置放大器，在 10Hz 到 50kHz 范围内，水听器灵敏度的最大不确定度应在 3dB 之内。

3.2.2.5 采集和分析设备的动态范围应不小于 90dB。

3.2.2.6 水听器、数据采集设备应由有资质的机构进行校准，并处于有效期内。

3.2.3 距离测量设备

(1) 应进行距离测量，以确定被测船舶与水听器之间的距离。

(2) 距离测量精度应在 ± 5 米之内。

(3) 距离测量应在每个完整航次中以 2 秒为周期进行连续记录。

3.2.4 应记录每一测量航次的船舶航速。一般情况下，可采用安装在船上的航速测量设备。

3.2.5 声速剖面测量设备（如使用）及校准

3.2.5.1 为了更精确进行传播损失计算，可使用 CTD（电导率、温度、深度）设备或声速剖面仪。

3.2.5.2 如使用声速剖面测量设备，应对其每两年进行一次校准。

3.3 测量条件

3.3.1 测量区域水深

1) 当采用单水听器方法时，龙骨下水深一般应不小于 40m 与 $0.64v^2$ 的大者， v 为测量时被测船舶的航速，m/s。

2) 当采用多水听器方法时，测量地点最小水深一般应不小于 60 米或 $0.3V^2$ 的大者， V 为测量时被测船舶的航速，m/s。

3.3.2 测量海域的海底应尽可能平坦，不应影响水声测量结果。海底土质应松软，以减小海底反射的影响；但应保证水听器的固定辅助装置不发生下沉。

3.3.3 测量区域应海域开阔，远离航道，以保证被测船舶有充足的机动范围。同时周围 5 海里内无机动船干扰，海流流速小于 1.5kn。

3.3.4 测量应在海况不大于 3 级，且风力不大于蒲氏风级 4 级的条件下进行。

3.4 被测船舶状态

3.4.1 应在船舶舾装完成，并在正常航行状态下进行测量。

3.4.2 除水声设备之外，正常工况所有可能使用的设备应同时开启，并处于正常工作状态。测量时，水声设备应处于关闭状态，除非水声设备是安全航行所必须的。如用于安全航行的水声设备处于开启状态，设备类型与信号的频率范围应在测量报告中记录。

3.4.3 测量过程中，所有开启的机械设备运行状态应予以记录。

3.4.4 应在能够代表船舶典型或预期航行状态的工况下进行测量。

3.4.5 应在测量前将代表船舶典型航行状态的工况以及船舶水声设备（如配备）工作时

的航速资料提交 CCS。航速资料应包括水声设备使用时的最大航速以及主要航行工况下的航速。航速资料中还应明确侧推是否使用。

对于以水声设备操作实现其重要服务功能的船舶：

(1) 对于船长 50m 以上的船舶，一般应在航速 11kn，且不使用侧推、不拖带任何物体的工况下测量。

(2) 对于船长 50m 及以下的船舶，一般应在航速 8kn，且不使用侧推、不拖带任何物体的工况下测量。

对于要求降低水下辐射噪声对环境影响的船舶，其航速由 CCS 另行考虑。

3.4.6 测量时，推进系统应处于稳定工作状态。在侧推工况，测量时侧推应处于 40% 额定功率。对于明确规定在水声设备工作时不使用侧推的船舶，测量时侧推可不开启。

3.4.7 对于设计具有拖曳能力的船舶，还应在正常拖曳航速拖曳测量设备或等效拖曳载荷的工况下进行测量。等效拖曳载荷程序应在测量前提交 CCS。

3.4.8 拖曳载荷应通过计算或其它设有类似装置船舶的测量经验数据得到。

3.5 背景噪声

3.5.1 在船舶水下辐射噪声测量开始前及测量结束后，应对背景噪声进行测量。背景噪声测量时，被测船舶应在远离水听器的区域停机漂泊。背景噪声应至少测量 2 分钟，在测量期间，应检查实时信号的稳定性，以确保测量的可靠性。

3.5.2 被测船舶水下声压级应高于背景噪声至少 3dB，在背景噪声应低于原始水下声压级 3-10dB 范围内，基于能量原理进行背景噪声修正。

3.5.3 辅助船应按测量大纲抛锚或漂泊。

3.5.4 在测量过程中，辅助船应停止一切非必要的机械设备运转，停止影响噪声测量的所有活动，且保证低噪声供电。

3.6 测量程序

3.6.1 水听器布放

(1) 当采用单水听器方法时，应按图 3.6.1 (1) 布放，并保证水听器距离海底的距离不大于 0.5m。

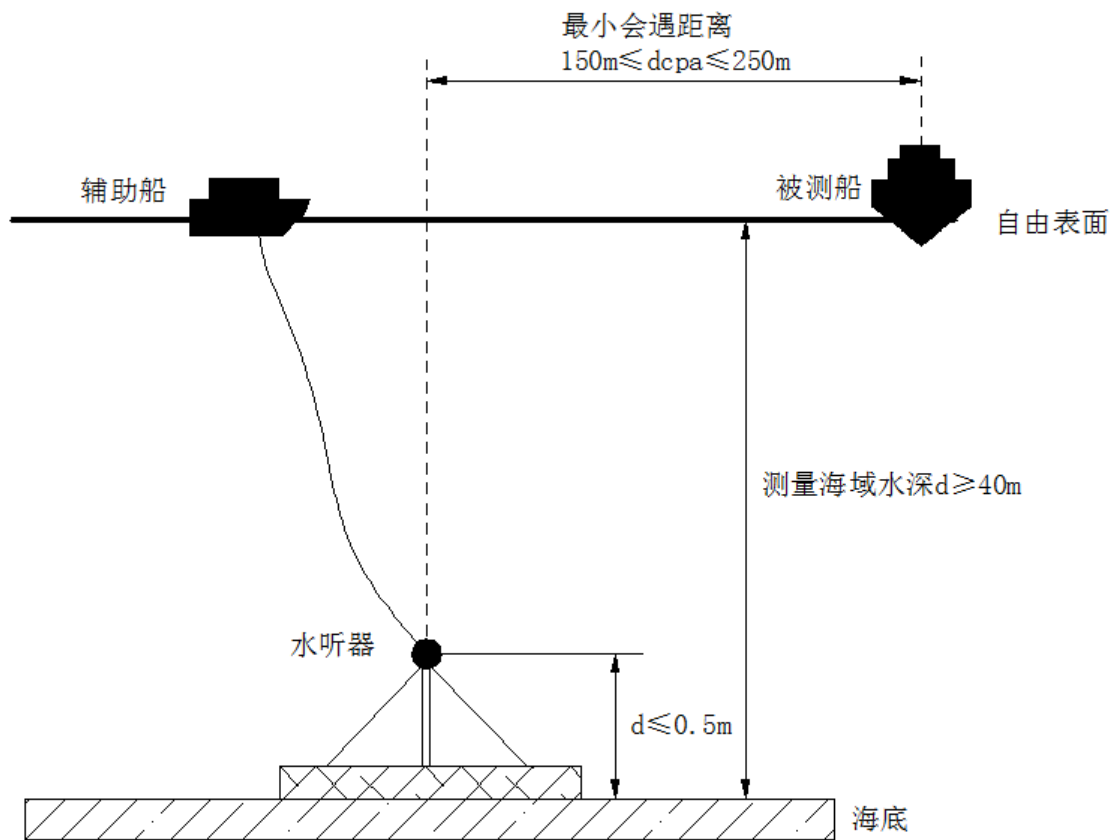


图 3.6.1 (1) 水听器布放示意图

(2) 当采用多水听器方法时，可采用坐底式布放或船载布放进行测量。坐底布放水听器布放要求见图 3.6.1 (2)；船载式布放要求见图 3.6.1 (3)，水听器应远离测量船，距离不小于 100 米。

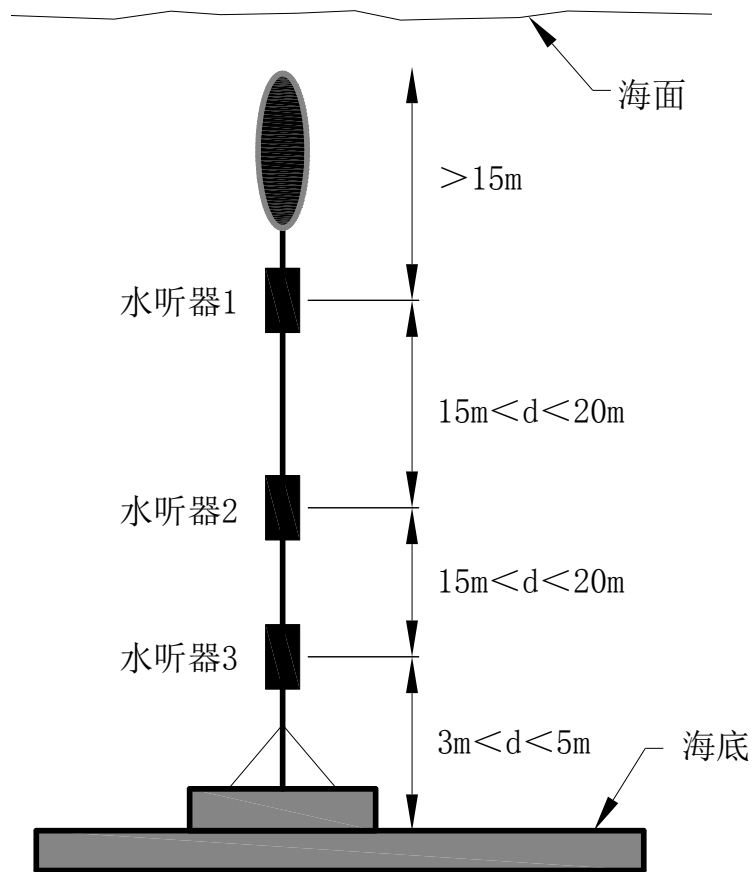


图 3.6.1 (2) 坐底式布放的声学测量系统

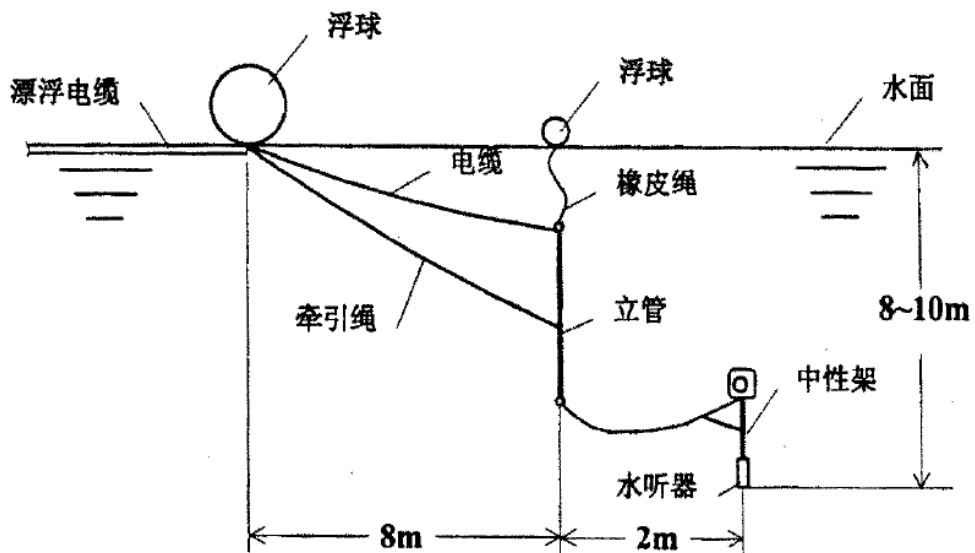


图 3.6.1 (3) 船载布放的声学测量系统

3.6.2 船舶机动方式

3.6.2.1 对于以水声设备操作实现其重要服务功能的船舶:

(1) 测量时最小会遇距离应大于 150m，并小于 250m。

(2) 对于自由航行船舶，被测船舶应按图 3.6.2.1 (1) 通过水听器。航行过程中应尽可能不使用舵和侧推并保证直线航行。

(3) 侧推工况时，船舶应按图 3.6.2.1 (2) 通过水听器。在设定的测量范围内船舶应尽可能靠近传声器回转航行，但须使得船舶至水听器的最小水平距离在 150~250m 之间。

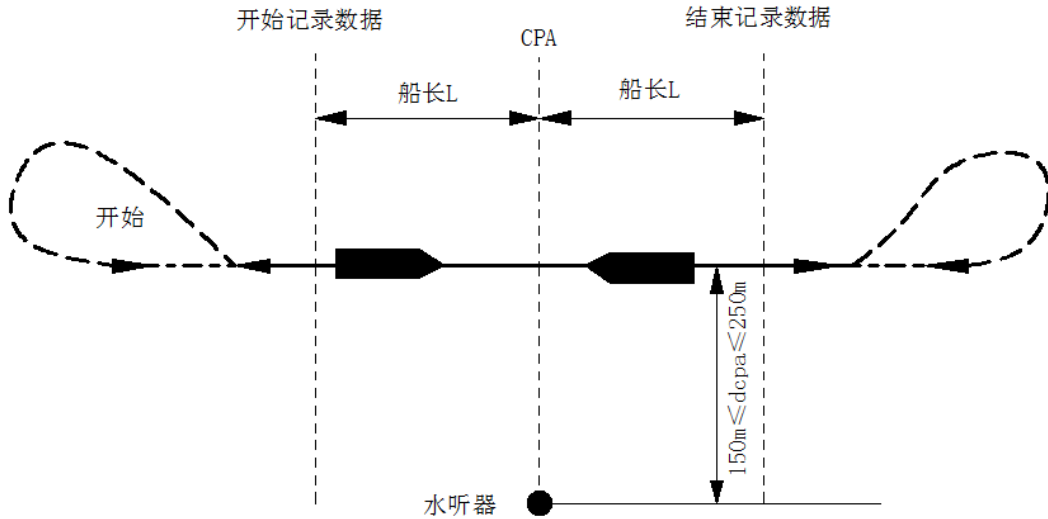


图 3.6.2.1 (1) 自由航行示意图

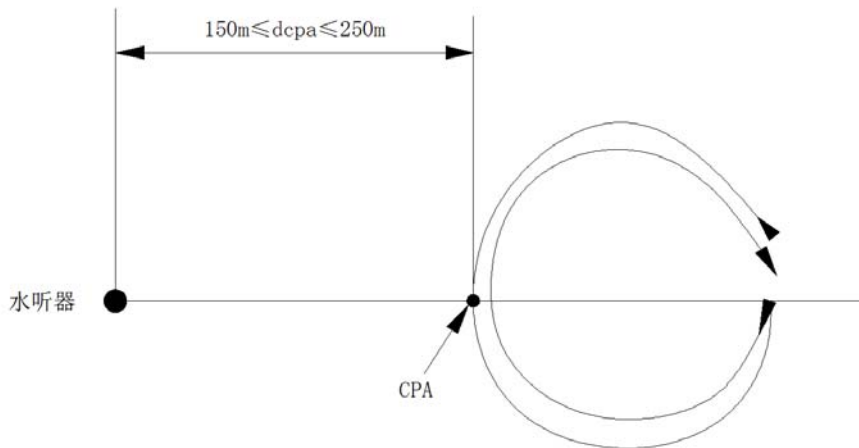


图 3.6.2.1 (2) 侧推工况航行示意图

3.6.2.2 对于自由航行，当被测船舶船艏在距 CPA 点船长长度航程时开始数据记录，当被测船舶通过 CPA 点后，且船艉距 CPA 点船长长度航程时结束数据记录。在船舶到达开始数据记录位置时，船舶应达到所要求的航行状态。

3.6.2.3 对于自由航行，船舶应在同一工况下，分别在往返方向进行测量，测量结果应为往返方向测量数据的能量平均。

3.6.2.4 对于侧推工况，首部朝向水听器位置时开始回转，稳定后开始数据采集。以时域信号最大值两侧各取 15s 时间的数据进行平均。约每 10s 进行一次距离修正，整个工况的距离修正取各段修正距离的平均值。

3.6.2.5 对于侧推工况，船舶应在同一工况下，分别在顺时针和逆时针的回转方向进行测量，测量结果应为顺时针和逆时针方向测量数据的能量平均。

3.6.2.6 测试前，水听器的位置和深度误差应在 $\pm 2\text{m}$ 以内。船舶位置应使用差分 GPS 或等效导航设备进行记录。

3.6.3 对其它要求降低水下辐射噪声对环境影响的船舶：

(1) 在船舶水下辐射噪声测量进行过程中，被测船舶以图 3.6.3 规定的方式进行机动，共需执行 6 个航次的测量。

当被测船舶船艏在距 CPA 点 800 米或 4 分钟航程时（取两者之中的最小值）开始记录数据，当被测船舶通过 CPA 点后，且船艏距 CPA 点 800 米或 4 分钟航程时（取两者之中的最小值）结束记录数据。在船舶到达开始记录数据位置时，船舶应达到所要求的航行工况。当被测船舶超过 10000 总吨时，只需对被测船舶在 CPA 点距离为 d_{cpa} 时进行两个航次的测量即可，在此情况下，测量不确定度将要升高 1.5dB。

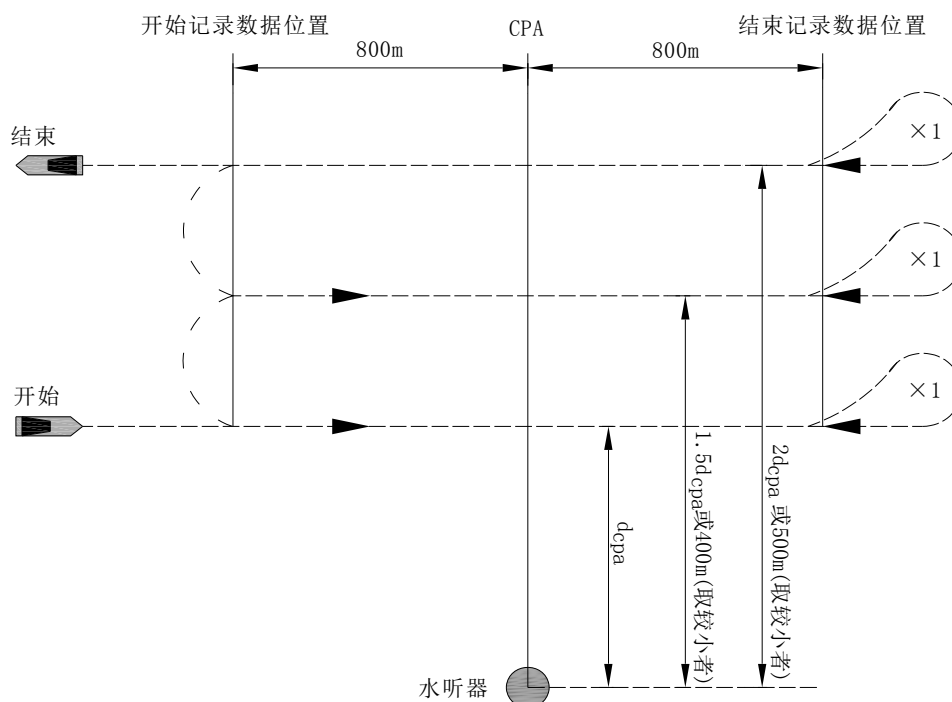


图 3.6.3 被测船舶的机动方式

(2) 最小会遇距离 (d_{cpa}) 最小值应为 200 米或 1 倍船长, 取两者之中的大值。

(3) 在船舶水下辐射噪声测量中, 当在远距离处信噪比不足 3dB 时, 或被测船舶进行过减振降噪设计时, d_{cpa} 应被降低到 100 米或 1 倍船长, 取两者之中的大值。

第4章 数据处理及测量报告

4.1 一般规定

4.1.1 应对水听器记录的数据整体作为样本进行分析。

4.1.2 测试所得水下辐射噪声声压级和背景噪声声压级均换算为1/3倍频程频带声压级，按1/3倍频程频带声压级进行背景噪声修正和传播损失修正。

4.1.3 在实际测量中，当高频段（50k-100kHz）难以测量时，也可根据测得10k-50kHz的数据进行推算。

4.2 背景噪声修正

对每个1/3倍频程的频带声压级按下列步骤进行修正：

①背景噪声的算术平均值 L_n 按下式计算：

$$L_n = \frac{L_{n,s} + L_{n,e}}{2}$$

式中： $L_{n,s}$ ——水听器在测量开始前测得的背景噪声频带声压级；

$L_{n,e}$ ——水听器在测量结束后测得的背景噪声频带声压级。

②测量开始前与结束后测得的背景噪声变化量 ΔL_n 为：

$$\Delta L_n = |L_{n,s} - L_{n,e}|$$

③测得的原始水下噪声声压级（含背景噪声） L_{pn} 与背景噪声 L_n 差值应按下式计算：

$$\Delta = L_{pn} - L_n$$

对于所有的1/3倍频程：

①当 $\Delta > 10dB$ ，无需进行背景噪声修正；

②当 $3 < \Delta \leq 10dB$ 且足够平稳，应按下式进行背景噪声修正：

$$L_p = 10 \lg [10^{\frac{L_{pn}}{10}} - 10^{\frac{L_n}{10}}]$$

式中： L_p ——经背景噪声修正的频带声压级；

由背景噪声修正引起的误差应按下式计算：

$$Error = 10 \lg \left(\frac{1 - 10^{\frac{-\Delta}{10}}}{1 - 10^{\frac{-\Delta + \Delta L_n}{10}}} \right) < 2 \text{ dB}$$

当背景噪声修正引起的误差大于 2dB 时，测量无效。

③当 $\Delta \leq 3\text{dB}$ ，则测量无效，须重新进行测量。

4.3 传播损失修正

(1) 应考虑由于声音在水中传播所导致的传播损失，以便得到距声源参考距离 1m 处的水下噪声声压级。

(2) 按照下式对水下噪声声压级进行距离传播损失修正：

$$L_{po} = L_p + L_T$$

$$L_T = 18 \lg r$$

式中： L_{po} —— 经距离修正的距声源参考距离 1m 处的水下噪声声压级；

r —— 声源与水听器距离，m。

注：当测量地点水深大于 100m 时， $L_T = 20 \lg r$

(3) 考虑自由液面与海底的反射效应，各 1/3 倍频程频带声压级应进行 -5dB 的修正。

4.4 测量报告

测量完成后，应基于上述数据处理形成测量报告，其基本内容参见 1.3.2，格式详见附件。

附录 船舶水下辐射噪声测量报告格式

船舶水下辐射噪声测量报告

测试机构盖章

测量人员签名

1 基本信息			
测量地点：			日期：
测量机构的名称：			
测量负责人：		电话：	e - mail：
船舶名称：		船舶登记号： IMO 编号：	
船型：	船厂：	船厂编号：	建造日期： 建造地点：
2 船舶主尺度			
两柱间长（米）：			
型宽（米）：			
最大吃水（米）			
3 推进机械			
型号：		缸数：	
数量：		最大额定功率（千瓦）：	
最大额定转速（转/分钟）：		安装形式：	
4 辅助柴油机			
型号：		缸数：	
数量：		额定功率（千瓦）：	
额定转速（转/分钟）：		安装形式：	
5 推进器			
类型：		每桨叶片数量：	
推进器数量：		标称螺距：	
设计转速（转/分钟）：		直径：	
其他：			
最后一次清洁船体及螺旋桨的日期：			
回声测深仪关闭（是/否）：			
6 船舶水下辐射噪声测量设备			
水听器型号：			
水听器灵敏度：			
水听器布放深度：			
数据采集设备（含采样率）：			
前置放大器（如使用）：			
距离测量设备：			
航速测量设备：			
数据处理设备：			
7 测量时的气象条件			

11 其他已知的可能影响船舶水下辐射噪声测量的问题及关注点

12 船舶水下辐射噪声声压级（当采用单水听器方法时）

1/3 倍频程频带的中心频率（ Hz）	1/3 倍频程频带的船舶水下辐射噪声声压级							
	（ ） 工况				（ ） 工况			
	L_{ps}	L_{p1}	L_{p2}	L_{pe}	L_{ps}	L_{p1}	L_{p2}	L_{pe}
10								
12.5								
16								
20								
25								
31.5								
40								
50								
63								
80								
100								
125								
160								
200								
250								
315								
400								
500								
630								
800								
1000								
1250								
1600								
2000								
2500								
3150								
4000								
5000								
6300								
8000								
10000								
12500								
16000								
20000								

25000								
31500								
40000								
50000								
63000								
80000								
100000								

13 船舶水下辐射噪声声压谱源级（当采用多水听器方法时）

$\frac{1}{3}$ 倍频程频带的中心频率（Hz）	$\frac{1}{3}$ 倍频程频带的船舶水下辐射噪声声压谱源级						
	航次 1(经 低频 修 正)	航次 2(经 低频 修 正)	航次 3(经 低频 修 正)	航次 4(经 低频 修 正)	航次 5(经 低频 修 正)	航次 6(经 低频 修 正)	L_{pso} (经 低频 修正)
10							
12.5							
16							
20							
25							
31.5							
40							
50							
63							
80							
100							
125							
160							
200							
250							
315							
400							
500							
630							
800							
1000							
1250							
1600							
2000							
2500							
3150							

4000							
5000							
6300							
8000							
10000							
12500							
16000							
20000							
25000							
31500							
40000							
50000							
注： L_{ps} 为开始测试前的背景噪声测试值； L_{p1} 为左舷测试值； L_{p2} 为右舷测试值； L_{pe} 为测试结束后的背景噪声测试值。							
14 说明：： 测量机构需向 CCS 提供完整有效的原始时域记录数据							

附件 1： 测量设备校准证书

附件 2： 传播损失详细计算资料（如适用）

附件 3： 1/3 倍频程频带的船舶水下辐射噪声声压谱源级图

附件 4： 主要辐射噪声控制措施

附件 5： 螺旋桨状况