

中国造船工程学会船舶力学学术委员会

第一届船舶水下噪声学术讨论会

論 文 集

(船舶水下噪声学组)



黄 山

1985

中国造船编辑部

目 录

1. 舰艇水下噪声对战术技术性能的影响 伏同先 (1)
2. 舰艇噪声海上测量方法 三德澄 (9)
3. 舰船辐射噪声测量方法探讨 陆金林 (13)
4. 舰船噪声分析方法和信号处理技术的应用 陶笃纯 (21)
5. 不同线型导流罩对噪声场的影响 朱锡清、徐尚仁 (29)
6. 声纳导流罩表面压力脉动谱及其相关特性... 朱锡清、徐尚仁、袁昌华 (40)
7. 声纳导流罩内噪声测量和分析 李 琪 (49)
8. 三元水翼导边喷水降低空泡噪声研究 柳康宁 (61)
9. 三元水翼导边喷射高分子溶液降低空泡噪声研究 柳康宁 (71)
10. 水翼内部充气降噪研究 刘宇陆、朱月锐 (86)
11. 螺旋桨鸣音的模拟研究与实船上消除鸣音的有效方法
..... 魏以迈、郑永敏、陈韻芬 (101)
12. 一种螺旋桨模型噪声的试验研究 钱晓南、顾其昌 (123)
13. 不同类型空泡的噪声谱特性 陈留祥、张承懿 (132)
14. 充气对导管螺旋桨空泡噪声和力学性能影响初探 史鸣观 (144)
15. 湍流附面层压力激励下弹性壳体振动和壳内声场的分析 靳云姮 (155)
16. 圆柱型潜航体壳体振动水下辐射噪声理论预估 蒋国健 (179)
17. 水下弹性旋转壳体受激振动和声辐射的研究 张敬东 (191)
18. 二维矩形空腔水动力噪声研究 朱月锐 (209)
19. 用系数平均的 A R 法估计舰艇噪声的线谱 陆根源、陈孝桢、乔晓宇 (224)
20. 舰船辐射噪声的有理谱估计 陈耀明 (234)
21. 宽带船噪声和调制波概率分布的卡埃平方检验 吴国强 (240)
22. 声波在弹性管和刚性管交替联结管内流体介质中传播的错位效应
..... 朱月锐、吴国强、顾信昌 (245)
23. $\times \times \times$ 舰水下辐射噪声试验 徐尚仁、朱锡清 (256)
24. 低马赫数运动流体发声机理的一种解释 袁昌华 (264)
25. 互相关函数测量中输入二通道相位差对测量的影响和修正 张宝成 (270)
26. 舰船噪声数据库初探 陶笃纯、陈耀明 (278)

舰艇水下噪声对战术技术性能的影响

伏同先
(第七〇一所)

(一) 前言

舰艇在海域航行时,导致周围海区各种物理场发生变化,例如声场、磁场、流场、热场等的变化。现代海上作战正是尽力利用这些物理场的变化来探测舰艇、攻击舰艇。

首先分析一下潜艇的情况。潜艇在第一次、第二次世界大战中,发挥了很大威力,取得了显著战果,受到了各国极大重视。现在,潜艇不但是各国海军的主要作战力量,而且是国家战略核力量的重要组成部分。这是因为潜艇具有一个突出的优点——隐蔽性好。众所周知,无线电波和光波在海水介质中传播时都会严重衰减,因此不能有效地传递信息。这样,雷达探测和光学探测便基本失去作用。目前,对于潜航到水下的潜艇主要依靠探测声场的变化。声波是目前在海洋中唯一能够远距离传播的能量辐射形式。有人曾做过这样的试验,在百慕大东北海域,用飞机投掷炸药量为4磅的爆炸声源,在1000多海里外接收到爆炸的声信号。当潜艇在水下航行时,由于螺旋桨击水、各种机电设备的运转,艇体前进时与水流的摩擦、撞击,发出相当量级的噪声,导致航行海区声场强度的明显增大,成为敌方水声探测器材的捕捉目标,从而破坏了潜艇的隐蔽性。所以潜艇噪音大小是关系到潜艇在作战中生死存亡、作战成败的大问题。谁的噪音小,隐蔽性好,谁就能先敌发现,从而掌握了攻击的主动权,成为胜利的一方。

第二次世界大战中有这样一个战例:太平洋战场上,美国白杨鱼号潜艇正在中途岛附近海域作水下巡航,它首先通过声纳收听到一艘日本潜艇螺旋桨的击水声,然后进行了鱼雷齐射,日本1750吨的“伊-173号”很快便被击沉。

(二) 水下噪音严重破坏了舰艇隐蔽性

当前,随着现代电子技术迅速发展,水声探测器材性能有很大改进,舰艇的水下噪音严重地危害了舰艇的生存和作战能力。噪音的大小对舰艇隐蔽性的影响可以从下表中看出(假定敌舰使用BQS-6型水声综合站以被动方式探测我艇、敌反潜航空兵使用AN/SSQ-41声纳浮标在良好水文条件下搜索我艇)。

从表中可以看出我艇噪音如增加10dB,则暴露距离增加1—3倍。

BQS—5 被动方式 发现我舰距离(链)		AN/SSQ—41 型声纳 浮标发现我艇距离(链)	
我艇现噪音级 N	我艇噪音级降低 10 dB	我艇现噪音级 N	我艇噪音级降低 10 dB
120	60 左右	33 左右	10 左右

噪音级对舰艇隐蔽性的影响可以根据声纳方程来进行定量计算。声纳方程的一般形式:

$$I_{cmin} = \delta^2 I_m \quad (1)$$

I_{cmin} ——在干扰背景下能识别的最小有用信号强度;

I_m ——干扰信号强度;

δ ——水声器材的识别系数。

在深海等温层高频吸收的假定条件下,噪声收听站的声纳方程可以演化成:

$$\int_{f_1}^{f_2} G_1(f) \left(\frac{R_0}{R}\right)^2 \times 10^{-0.1\beta R} \times 10^{-6} df = \delta^2 \int_{f_1}^{f_2} G_2(f) \frac{1}{\gamma(f)} df \quad (2)$$

R_0 、 R ——被测潜艇至噪声收听站的距离;

$G_1(f)$ ——被测潜艇在 R_0 处的噪声功率谱;

$(R_0/R)^2$ ——噪声几何扩张衰减;

$10^{-0.1\beta R}$ ——由于海水吸收引起的噪声传播衰减, β 常近似取作 $0.036 f^{\frac{1}{2}}$;

f ——被测潜艇噪声频率;

f_1, f_2 ——声纳接收机的上、下限频率;

$G_2(f)$ ——接收舰艇的自噪声功率谱;

$\gamma(f)$ ——接收基阵的聚焦系数;

$\delta^2 = \delta_1 \cdot \delta_2$

δ_1 ——接收机增益;

δ_2 ——指示器增益。

为了使计算简化,考虑到噪声收听站频带相对于中心频率并不很宽,上述声纳方程可近似地表达为:

$$G_1(f_K) \left(\frac{R_0}{R}\right)^2 \times 10^{-0.1\beta R} \times 10^{-6} = \delta_1 \cdot \delta_2 G_2(f_K) \frac{1}{\gamma(f_K)} \quad (3)$$

f_K ——接收机上下限频率区间的中心频率

对(3)式两边取常用对数,得:

$$20 \lg R + 0.036 f_K^{\frac{1}{2}} R + 60 = 10 \lg G_1(f_K) + 20 \lg R_0 - 10 \lg G_2(f_K) + 10 \lg \gamma(f_K) - 10 \lg \delta_1 - 10 \lg \delta_2 \quad (4)$$

令

$$N_e = 20 \lg R + 0.036 f_K^2 R + 60 \quad (5)$$

N_e ——传播衰减总值 dB
 $N_T = 10 \lg G_1(f_K) + 20 \lg R_0$
 N_T ——被测潜艇噪声级 dB
 $N_n = 10 \lg G_2(f_K)$
 $N_\gamma = 10 \lg \gamma(f_K)$
 $N_{\delta_1} = 10 \lg \delta_1$
 $N_{\delta_2} = 10 \lg \delta_2$
 N_n ——接收舰艇干扰级 dB
 N_γ ——声学系统的空间增益 dB
 N_{δ_1} ——接收机增益 dB
 N_{δ_2} ——指示器识别系数 dB

则噪声收听站声纳方程最终可表达为:

$$N_e = N_T - N_n + N_\gamma - N_{\delta_1} - N_{\delta_2} \quad (6)$$

此方程为超越方程,常用图解法求解,在取定接收机工作频率 f_K 后,根据(5)式,以距离 R 为自变数,画出 $N_e - R$ 曲线,再根据(6)式求得 N_e ,由 $N_e - R$ 曲线与 N_e 数值交点,即可求得探测距离。

现假设美核潜艇以 2—3 节速度航行,使用 BQQ—2 声纳噪音收听站,以马蹄阵系统(正面)探测以潜望 8 节速度航行的“××”型潜艇,根据有关资料,有关参数取下值:

$f_K = 0.84$ 千赫, $N_\gamma = 20$ dB, $N_{\delta_1} = -3$ dB
 $N_{\delta_2} = -12$ dB, $N_n = 46$ dB, $N_T = 101$ dB.

由(5)式得: $N_e = 20 \lg R + 0.028 R + 60$ 列表计算

R(Km)	1	2	3	4	6	8	10	20	30	40	60	80	100	150
N_e (dB)	60	66	70	72	76	78	80	87	90	93	97	100	103	108

$$\begin{aligned}
 \text{由(6)式:} \quad N_e &= N_T - N_n + N_\gamma - N_{\delta_1} - N_{\delta_2} \\
 &= 101 - 46 + 20 + 3 + 12 \\
 &= 90 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

画出曲线,见图 1

由图 1 可知,敌核潜艇使用 BQQ—2 声纳噪音收听站,探测潜望状态 8 节速度航行的“××”型潜艇时,“××”型潜艇暴露距离 $R = 29.0$ Km(156.8 链)。若“××”型艇辐射噪声级 N_T 由 101 dB(此时 $N_e = 90$ dB)降低到 96 dB($N_e = 85$ dB),则敌艇探测距离由 29.0 Km(156.8 链)减少到 17.3 Km(93.5 链)。辐射噪声级降低 5 dB 后,暴露距离为原来的 3/5,相应暴露区域仅为原来的 1/3。也就是说,“××”型潜艇辐射噪声降低 5 dB,暴露几率减少为原来的 1/3。

(三) 水下噪音大大降低了水声器材作用距离

舰艇噪音大,不仅暴露自己、破坏了隐蔽性。而且严重干扰本舰(艇)水声器材的工作,使本舰(艇)耳目失灵,完全处于被动挨打的地位。据了解,我国几型现役舰艇,在

中高速航行时，声纳差不多不能正常工作，为了加装“×××”被动声纳站，有关外国人士曾到我国“××”型艇参观，参观后，他们认为：“×××”被动声纳站装到现在的“××”型艇上，不能正常工作，因而必须设法降低“××”型艇自噪音。并提出，如我国技术上有困难，他们可帮助进行自噪音降低工作，索价××万外币。

一般情况下，舰艇自噪音级随着航速增加而升高，故水声器材的作用距离也随着航速增加而急剧减少。下表列出了美国 AN/BQQ—2 综合水声站作用距离与航速的关系。

项 目	BQS—6 综合站作用距离 (链)		BQR—7 被动站作用距离 (链)
本艇航速 (节)	被动方式	主动方式	被动方式
2—3	1030	340	1250
15	120	100	30

说明：以上数据系在深海声道，目标为 20 节常规动力潜艇。

由表可见，当本艇航速从 2~3 节增加到 15 节（自噪音估计增加 30~40dB），水声器材作用距离降低到 1/10 左右。

本舰（艇）自噪声级对水声器材影响，亦可由第一部分中声纳方程来描述，并进行定量计算，各项物理意义亦同前。

现假定“××”型潜艇以潜望状态 8 节速度航行。探测敌方装有 BQQ—2 声纳“鲟鱼”级攻击型核潜艇。有关参数如下：假定“××”型艇噪音收听站工作频段中心频率

$$f_K = 5\text{KHZ}$$

接收机增益 $N_{\delta_1} = 0\text{dB}$ ；指示器识别系数 $N_{\delta_2} = 3.5\text{dB}$ ；

噪音测距站空间增益 $N_\gamma = 23.5\text{dB}$ ；

根据有关资料推算，鲟鱼级核潜艇以 18 节速度航行时，换算到 1 米距离时的 5KHZ 辐射噪音谱级 $N_T = 100\text{dB}$ ；

我艇 5KHZ 干扰谱级 $N_n = 45\text{dB}$ 。

根据第一部分中 (5)、(6) 式，按相同步骤和方法，画出 $N_e - R$ 线，见图 2。

由图 2 可以求得，“××”型潜艇以潜望 8 节速度航行，探测美国以 18 节速度航行的鲟鱼级攻击核潜艇的距离 $R = 4.5\text{Km}$ (24.3 链)，（此时， $N_n = 45\text{dB}$ ， $N_e = 75\text{dB}$ ），若“××”型艇干扰级（即自噪音级）降低 5dB，即 $N_n = 40\text{dB}$ （此时， $N_e = 80\text{dB}$ ）作用距离增加到 7.2Km (38.9 链)。“××”型艇自噪音降低 5dB 后，本艇声纳作用距离增加了 3/5，相应探测目标的海区面积约为原来探测面积的 3 倍。自噪音降低 5dB，声纳探测面积增加了 2 倍！

第一部分的 (6) 式可以改写为另一种通常形式：

$$DT = SL - TL + DI - NL \quad (7)$$

DT——检测阈，相当于 $N_{\delta_1} + N_{\delta_2}$ ；

SL——目标声源级，相当于 N_T ；

TL——传播损失，相当于 N_0 ；

DI——接收指向性指数，相当于 N_Y 。

NI——自噪声级，相当于 N_n 。

从(7)式中可以看出，为了提高声纳作用距离，可采用增大DI即增大基阵；减少TL即减少传播损失、合理选择声道、充分利用水文条件；减少NI即减小自噪音这样三条途径达到。增大基阵（亦即提高水声器材抗干扰能力）与降低自噪音都能提高声纳作用距离，但两者相比，后者不仅收效大，而且所花代价较小。现举一例，对某球阵站，如取工作频率 $f = 3\text{KHZ}$ ，则球阵体积与增益有如下关系：

球阵直径(米)	3	3.5	4	4.5	5
增益(dB)	25	26.2	27.3	28.2	29

由上表可知，即使球阵直径由3米增加到5米，体积已增加很大，给基阵在舰艇上的布置、安装带来了许多技术上的困难，而所获增益仅4dB，亦即相当于本艇自噪音降低4dB。以上分析证明，降低自噪音是提高本艇声纳作用距离从而使舰艇耳聪目明，战术上处于主动地位的重要一环。

(四) 水下噪音是导引敌水中兵器跟踪起爆的信号源

现代攻击舰艇的武器，已经不是第二次世界大战时期那种主要依靠触发爆炸的武器了。现代新研制的武器，几乎无一例外地增加了制导寻的装置，这些制导装置主要是利用舰艇产生的物理场，进行导引、跟踪目标，而感应到一定强度时诱发起爆。前已述及，水声场是水中自导装置最为有效、最为适合的物理场。近年来，各国已陆续成功地研制出了双平面声自导鱼雷、音响感应水雷、声引导深水炸弹等新型武器。如美国MK-48潜对潜线导+主被动声自导鱼雷、法国E15被动声自导鱼雷、日本G-RX-1反潜主被动声自导鱼雷、苏联COT-53双平面自导鱼雷等；美国MK-50音响沉底水雷、苏联KB-KPAB音响锚雷、法国TSM3530磁、声水雷等。这些声自导武器主要是感应舰艇发出的噪音，噪音越大，声自导作用距离越远，命中公算越高。英阿马岛海战中，英国“征服者号”核潜艇使用现代化的MK-24电动自导鱼雷，一举击沉了一万三千多吨的“贝尔格拉诺将军号”巡洋舰，就是因为这艘老巡洋舰螺旋桨噪音大，被两枚虎鱼式鱼雷制导系统咬住而击沉的，这次实战战例充分证明了舰艇噪音场对水中兵器的影响。

舰艇声场受到舰种、舰速、水深、水面及海底反射等多种因素的影响，图3是一种比较典型的声压(P_m)与航速(V_m)的关系曲线。

下表列出了不同舰种以10节同样航速，通过水雷上方产生的、距离水面40米处测得的最大声压值。

舰 种	航空母舰	巡洋舰	轻巡洋舰	扫雷舰	驱逐舰	运输船 或客船
声 压 (达因/cm ²)	200	190	130	60	40	160

现以 DAGT—50 被动声自导鱼雷为例，分析目标舰辐射噪音对自导装置作用距离的影响。

自导装置作用距离公式为：

$$R = \frac{3P_0 R_0 \sqrt{K} \gamma(\alpha)}{\delta P} 10^{-0.05\beta R} \quad (8)$$

P_0 ——标准距离为 R_0 时测定的目标舰噪声声压；

P ——鱼雷自噪音干扰声压；

K ——鱼雷接收装置的方向性系数；

$\gamma(\alpha)$ ——鱼雷接收装置—弦电路的方向特性；

α ——目标舰声源方向与鱼雷轴线夹角；

δ ——识别系数；

β ——噪声传播的衰减系数；

R ——目标舰与鱼雷的瞬时距离，亦即自导装置作用距离。利用计算机可以求解 (8) 式，计算结果为：目标舰辐射噪声声压减少一半时，即 $P_0 \rightarrow 1/2 P_0$ ，则自导装置作用距离由 R 减少到 $0.49R$ 。辐射噪声声压减少一半，相当于辐射噪声级降低 6 dB，则自导装置作用距离减少一半以上。

综上所述，舰艇噪声场是水中兵器跟踪起爆的重要信号源，降低舰艇噪声就缩小了水中兵器的作战半径、降低其命中公算，提高了本舰生存能力。

(五) 水下噪音降低本舰声伪装干扰器材的作用效果

现代海上作战中，为了对付声自导武器，已经广泛发展了声伪装、干扰器材。它们或者是模拟本艇的噪声作为假目标使用，或者干扰敌方水声器材的工作，使对方声纳不能工作或使声自导武器失效。但是本舰噪音大，使本舰不能及早发现敌空投的吊放声纳或来袭的声自导武器，因而不能及时施放水声伪装干扰器材，降低了其作战效果。反之，本艇噪音降低后，其作战效果明显提高。根据估算，“XXX”型潜艇辐射噪音降低 4~7 dB 后，水声伪装干扰器材作战效果提高 3—4 倍。

以上从四个方面分析，论证并定量推导了舰艇水下噪音对战术技术性能的影响。我们认为：在现代进行的海上战争中，舰艇，特别是潜艇的一些传统的总体性能指标如航速、排水量等，对作战效果的影响不大，而影响最大的关键因素是武备、水声和噪音。有人曾利用计算机进行过详细的模拟对抗计算，对于“XXX”型潜艇，在相同的武备、水声和目标舰的条件下，水下噪音对作战效果的影响，其影响用作战交换率来表示。作战交换率的含义为：我命中敌与敌命中我之比，即击沉敌方一艘艇，我方所付出的几艘艇的代价。例如，作战交换率为 1:0.5，即击沉敌艇 1 艘，我方须付出半条艇作代价。计算结果如下表：

由表可知，如噪音在“XXX”型潜艇基础上降低 4 dB，反潜与打击水面舰艇的作战效果则可分别提高 1 倍与 2.4 倍。

作战交换率 噪音级	目标	反潜型舰艇	鲟鱼级核潜艇
×××型艇噪音水平(dB)		1:0.68	1:2.58
×××型艇噪音减少4dB后		1:0.33	1:0.77

结束语

在舰艇设计中，人们习惯以舰艇排水量大小、航速高低、武备强弱、持续航行距离等作为衡量舰艇战斗性能的主要指标。诚然，排水量、航速、武备、续航力是重要的，但从当前发展趋势看，舰艇水下噪音的大小也是舰艇（特别是潜艇）主要性能指标之一。因为它对舰艇的战斗性能有着直接、重要的影响。

本文通过分析论证，并定量计算了水下噪音大小对舰艇战斗性能影响的程度，力求给舰艇设计师一个定量的概念，以便在舰艇总体设计阶段，对各主要性能指标之间的协调，进行合理的权衡和设计。

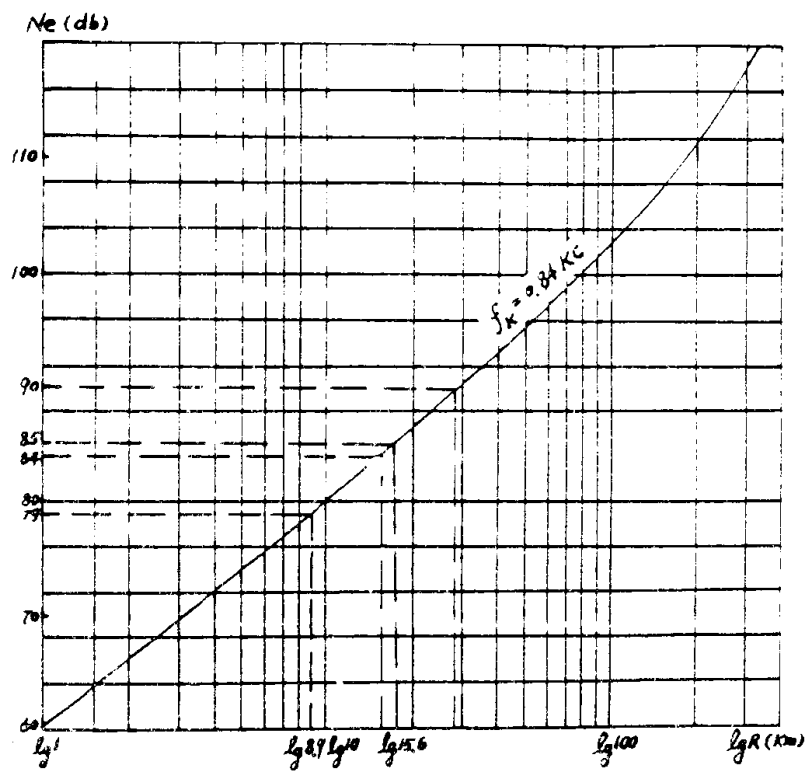


图 1

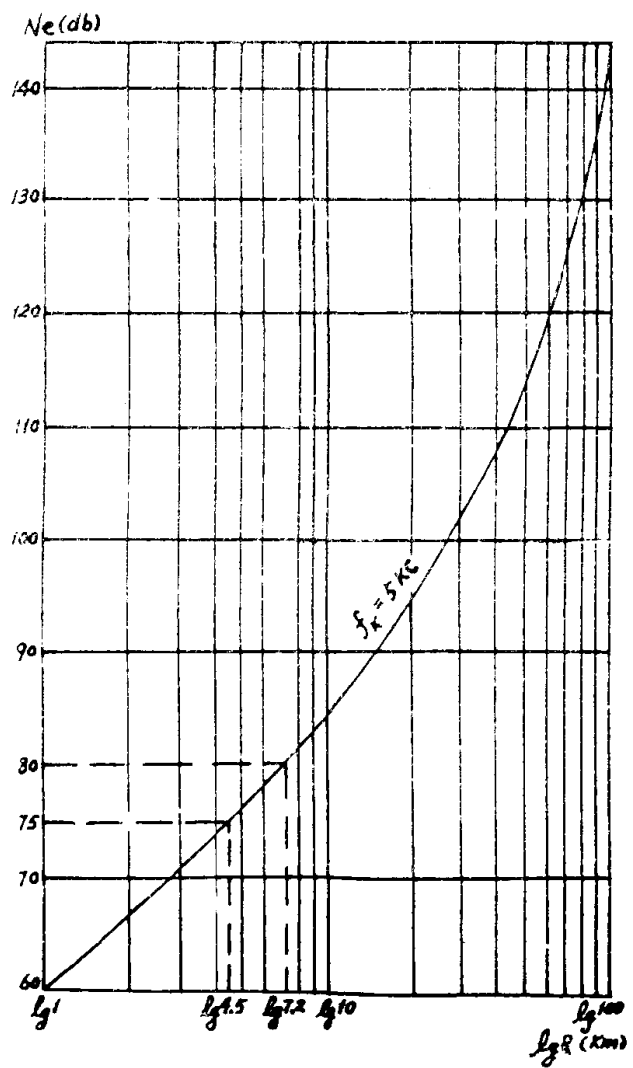


图 2

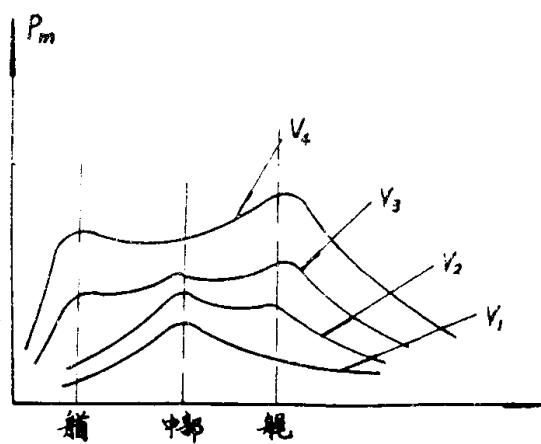


图 3

舰艇噪声海上测量方法

王德澄
(七一五所)

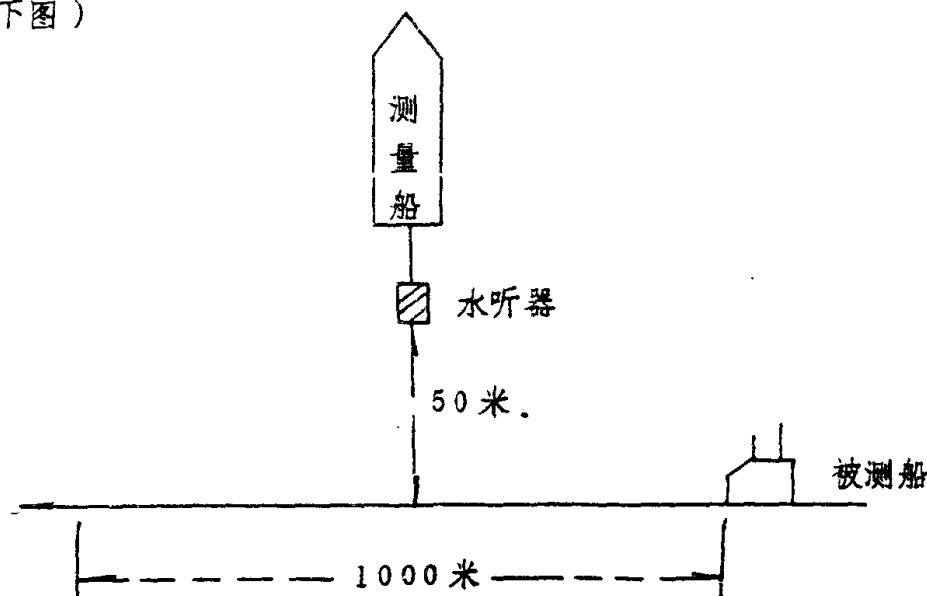
(一) 意义

从水声设备和音响武器的设计、使用和舰艇的隐蔽性角度考虑,十分需要舰艇水下总噪声数据。由于舰艇上声源众多,分布广泛,发声和传输的途径复杂,欲从单个声源发声机理出发,理论上准确地预报总噪声,目前还做不到。且因舰艇噪声的强度和频谱结构与航速和测量海域有关,不可能通过码头、船坞、水池的实验获得真实的资料,必须依靠海上现场测试才能得到可靠的总噪声数据。

(二) 舰艇辐射噪声测量方法

1. 测量船测量——现在国内常用的方法

测量船定点抛锚或漂泊,接收水听器从船尾漂出,离船尾50米以上,下沉5米(若测水下潜艇,可加大下沉深度)。被测船作匀速直线航行,航迹距水听器的最近距离为50米左右(在30~150米均可)。测量区间为1000米(离水听器最近点前后各500米)。(见下图)



接收到的辐射噪声经放大后用磁带录音机录音,并作实时频谱分析。用声级记录仪、

示波器作现场监示, 检查噪声波形有无异常情况, 且当最大辐射噪声级比环境噪声级高出6分贝以上时, 才算有效。

为了确保测量数据精确可靠, 需要注意三个问题:

(1) 严格校准测量系统灵敏度

水听器灵敏度要定期校准(每年一次), 校准误差允许 ± 1.5 分贝。

水听器的水平方向不均匀性不大于1分贝。

全套测量、分析仪表(水听器除外)的校准误差不大于 ± 1 分贝。

(2) 精确测距(水听器与被测舰)

测距误差应小于 $5\% \pm 4$ 米。

对水面航行的舰艇, 应采用激光(回波)测距仪比较合适(误差小于2米)。

对水下潜航潜艇, 应有水下测距装置。国内现采用同步钟式测距仪和应答式测距仪, 可以满足要求。

同步钟式测距仪基本原理——在水听器位置安放接收换能器, 被测舰上装一发射器。两船上各有一个频率稳定的晶体振荡器, 并作严格的同步振荡, 作为计时钟频。预先对准起始时间(称为校波)。在每次零时刻(两组晶振均指为零时), 被测舰发一高频脉冲, 根据水听器接收到的时间可以标出距离。当发射脉冲的载频高于测量频段的上限频率20千赫以上时, 此脉冲不会干扰噪声测量。

应答式测距原理——测量舰发一高频短脉冲, 被测舰收到后, 立即发一应答脉冲, 测量舰根据回答脉冲的到达时间算出距离。

(3) 尽量降低环境背景噪声

环境噪声的频谱与舰艇噪声相似, 而海上接收到的是舰艇噪声与环境背景噪声的总和, 倘使前者比后者大10分贝以上, 把总噪声当作舰艇噪声的误差小于0.5分贝。若只高6~10分贝, 根据能量叠加原则, 可对总噪声修正后给出辐射噪声级。为了提高数据精确性, 力求使两者相差10分贝以上。可是低速时潜艇辐射噪声较小, 因此要尽量降低背景噪声级。背景噪声源很多, 主要有测量船机械噪声, 海浪拍击船体声和海洋环境噪声。可以采取下列措施减少上述几种背景干扰级:

a. 测量船应采用无噪声电源供电(蓄电池—变流机系统), 测量期间关闭所有能显著发声的机械工作, 减少人员活动, 保持尽可能地安静环境。

b. 水听器漂放到离测量船50米以外, 下沉深度与被测舰深度接近。

c. 海区开阔, 水深40米以上, 海底平坦, 远离港口与航道, 周围无过往船只, 海流二节以下, 海况三级以下。

d. 水听器上方应有浮球作标志, 悬挂系统应采用减振和柔性结构, 以减少波浪、海流引起的水听器自噪声。

e. 在工作区域内, 被测船应保持匀速直线航行。在潜艇水下工况时, 宜在离水听器水平50米处放置一发射器, 发高频引导声信号, 用潜艇噪音站测向, 保证潜艇沿正确航迹运动。

采取上述一系列措施后, 可以使现役的舰艇在50米处的辐射噪声级高出环境背景噪声10分贝以上, 测量误差在3分贝以内。

为了使各次数据可以比较, 应把实测值换算到等效一米处的声源级(以微帕为参考

级)，若测量时最近距离大于30米，用反平方传播衰减作距离修正的误差不大于0.5分贝。

高频提升放大器扩展测量频段：

舰艇噪声频谱，低频大，高频小，约以6分贝/倍频程下降，录音机的动态约为50分贝，这就限制了测量频段为200赫~10千赫。若用提升放大器，在2千赫以上的频响以3分贝/倍频程上升，增大高频分量。同一台录音机可以记录的噪声频段增大为100赫~40千赫。

2. 固定测试场测辐射噪声

在海底布放测量水听器阵，附有引导信号，舰艇按引导信号作机动航行。测量阵接收到的辐射噪声通过长电缆送到岸上实验室内进行记录、分析、处理。据报导国外有这类专用测试场。

3. 自动测量装置

该装置是一个水密筒，外面附有水听器，内有放大、记录设备（电池供电），同时装有测距的应答器。将它投放到水中固定（海底有沉地，水面有浮标）。当应答器测出被测舰艇到达一定距离时，测量系统启动，并持续工作若干分钟。进行录音后，自动关闭，以待下一次测量，国内有单位正在研究该系统。

4. 浮标声接收系统

在测量区投放一浮标，下挂有水听器。接收到的辐射噪声经浮标内设备放大、调制后，以无线电调制波传给远处实验室接收机。解调后还原成辐射噪声信号。声接收浮标国内已研究出产品。

上述第3、4二种方法，迄今还未实际用来测量舰艇辐射噪声。

（三）舰艇自噪声测量方法

最简单的方法是用舰装声纳测自噪声（美、英、加等国早期自噪声数据均是用声纳测得的），但局限性很大。首先是舰上的部位固定不变，且声纳的频带通常较窄，灵敏度很难校准，方向性又各异。因此数据误差大，且不同舰测得的数值难以比较。

随着水声设备和降噪研究工作的发展，需要舰上不同部位很宽频段上、精确的自噪声资料，这就需靠安装测量水听器来解决。

要测好自噪声，关键在于水听器及其电缆的安装结构必须合理。水听器要安放在艇外指定位置，而艇又处于航行状态。如何克服或减少水流和艇体的激烈振动的影响至关重要。今以潜艇自噪声测量为例，说明水听器安装方法。

1. 克服水流影响

水听器应与舰壳作刚性固定，可在艇体焊上支架，水听器固定在支架上，其强度应能在测量的最高速时，不会产生明显的弯曲变形。外面应加上导流罩（也与艇体固定），以减少水动噪声。或者把支架和水听器固定在潜艇耐压与非耐压壳体之间接近流水孔开口处。该流水孔要用透声材料封闭。

水听器的电缆（艇外部分）亦应分节与艇体固定，避免在水流中激烈抖动。

2 克服艇体振动

要避免艇体的强振动直接传给水听器，可以在水听器与支架的连接处，垫上橡皮等弹性材料。作为隔振措施，若能把支架通过减震器固定在艇体上，效果更好。

在电缆进耐压壳的接口处，也要垫上弹性材料。

此外，因为潜艇上电器设备多，电源干扰强，水听器的电缆必须有良好的屏蔽层。电缆连接处要注意防干扰，且测量分析仪表应接地良好。

舰船辐射噪声测量方法探讨

陆全林

(七一〇研究所吴松试验站)

提要 众所周知,到目前为止,有关舰船辐射噪声的数据,还不能用一种解析的数学方法通过计算得到,而通常是靠实际测量来获得。因此实际测量在整个舰船辐射噪声的分析研究中具有特别重要的意义。本文根据多年来对数百艘中外舰船辐射噪声的测量,认识和体会到,为了有效地测量舰船辐射噪声和对舰船辐射噪声进行分析研究,测量中应该考虑:

1. 根据具体情况制订一个合理的测量方案。
2. 舰船辐射噪声和舰船航迹在时间和空间上严格的同步。
3. 在制订测量方案的同时要采取限制背景噪声和测量系统噪声的措施。

(一) 舰船辐射噪声测量分析研究的意义

舰船辐射噪声的测量,研究和应用最初是伴随着水中兵器的发展而提出的。1940年10月,德国布设了利用舰船辐射噪声而诱发的音响水雷,而后又出现了利用舰船辐射噪声作为信号的被动音响自导鱼雷。二次大战期间英美等国对各种类型数百艘舰船的辐射噪声进行了上千次测量,获得了许多重要的资料。对当时的海战起到了重要的作用。随着海洋事业的发展,舰船辐射噪声的研究和应用已经远远超出了水中兵器的范围,它对舰船的水下观通导航,水下探测、目标识别、消声降噪等都具有普遍的指导意义。

我国是一个具有漫长海岸线的国家,为了贯彻积极防御的方针和未来反侵略战争的需要,我们必须建立一支强大的海军,捍卫祖国神圣的海疆,而舰船辐射噪声的测量和研究将对海军的武器装备产生直接影响,对部队的战术技术使用以直接指导。为此,我们应该努力开展这项具有重要意义的工作。

(二) 舰船辐射噪声测量的原理和方法

1. 测量原理

航行中的舰船有各种机械在运转。机器运转产生振动,振动通过船体向水中辐射能量;旋转中的螺旋桨向水中辐射声能。特别当桨叶叶面发生空化时,空泡的振荡和溃灭

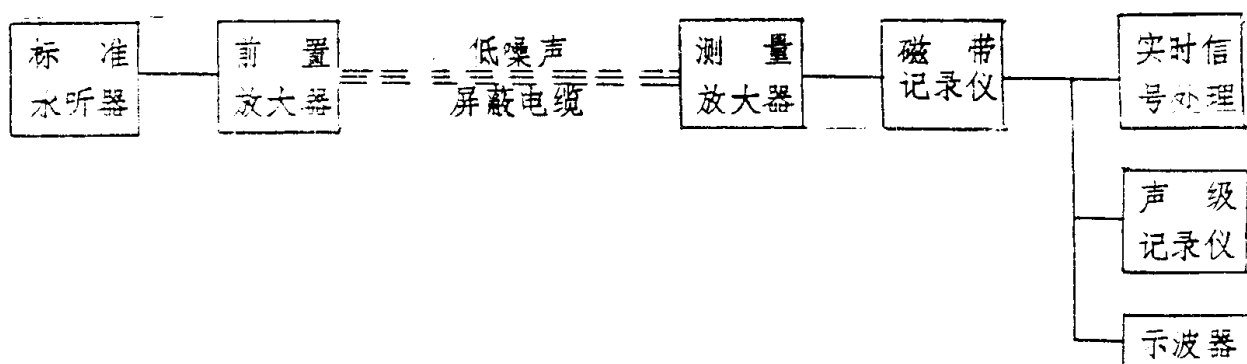
将向四周辐射很强的噪声；运动中的船体和流体相互作用，形成复面层也向水中辐射噪声。所有这些，可以把运动着的舰船（水面舰艇，潜艇、鱼雷，水下自航体等）当作一个良好的水下声源。在这一声源的策动下，水媒质质点便产生振动，并以波动形式向周围空间辐射能量。声波在海水中可以传播到很远的地方，在数百米甚至数千米以外的地方，仍有一定的声波强度。当作用到接收器上时，舰船辐射噪声就被检测出来。

2. 测量方法

舰船辐射噪声的测量，从最初开展这项工作直到目前为止，一直是利用水听器，单个的或组成基阵悬浮在海洋中或布放在海底进行测量，据美国尤立克教授介绍目前美国同样采用这种方法测量水面舰艇和潜艇的辐射噪声。我们在南海、东海和北海也一直用此方法测量舰艇的辐射噪声。在使用这一方法时，根据不同条件，又把它分为固定测量站测量和流动测量船测量两种形式。

固定测量站测量以陆地海岛为基地。测量站设在江河湖海的航道附近。这些航道过往船只多，舰船种类多，测量站配备固定的测量设备，测量效果好，测量效率高，测量站可以对周围水域不同季节的传播衰减和环境噪声作周密的测量。从而大大提高舰船辐射噪声的测量精度。流动测量船测量以测量船本身为基地。它机动灵活，活动半径大，可以完成测量站无法完成的一些特殊任务。两种形式在测量原理上是一样的，它们都是在予定的水域布放测量水听器（或基阵）。水听器接收到被测舰船的辐射噪声后通过电缆将信号传送到陆地或测量船上的实验室，再经终端记录设备将信号记录下来。

测量系统的典型方框图如下：



现场测量时，对系统各部分的操作十分重要。上述方框图组成的测量系统它的特点是测量时只要掌握好测量放大器一台仪器，就可以做到动态范围变化很大的辐射噪声信号，小信号时不漏掉，大信号时不过载。

在舰船辐射噪声的测量中，水听器的布放是一个至关重要的问题。它直接关系到测量的成败，水听器的布放方法可分沉底法和悬吊法两种，究竟采用哪一种布放法，要视测量任务，海区条件，测量设备等诸多方面因素决定。沉底法，水听器的布放和打捞较为复杂困难。作业时动用的力量大，但它给整个测量带来很大好处，突出的一点，可以大大降低海区和系统引入的噪声，使舰船辐射噪声的测量在尽可能大的距离上都能有效地进行。悬吊法，水听器的布放比较容易实现，但它对测量条件 and 海区要求比较严格，比如说：要求测量海区海况和流速都要小，海况二级左右，海流二级以下，测量期间海流方向变化要小，测量船上主辅机和一切动力设备都要停止工作，要避免舰体和吊放水听

器的钢缆电缆发生碰撞与磨擦，要求测量船在测量的一个航次内不发生变动（这往往是做不到的）。悬吊法一般是测量船测量时采用的布放法，尽管对这种测量方法提出了种种要求，往往因为不容易实现而使测量精度大大降低，有时导致测量无法进行。例如测量中由于测量船本身的变动导致对被测舰船航迹的测不准，引起距离测量上的较大误差，又例如海流对吊放水听器电缆钢缆的冲击给水听器引入很大的附加噪声。测量指出：二级海况时的环境噪声约为100分贝至110分贝，而在一级海况三至四节流时，环境噪声高达130分贝以上。

目前世界各国对降低舰船辐射噪声的研究作了很大努力，并已收到明显的效果。例如美国正在服役的舰船比二次大战时使用的舰船，其辐射噪声降低大约十分贝左右，因此在较高环境噪声条件下测量现代化的舰船的辐射噪声将带来困难，尤其在测量潜艇的辐射噪声时更为不利。只有把测量的距离限制在很近的范围内，测量才能见效，但这往往是不可能的。

（三）舰船辐射噪声测量中的同步问题

所谓同步测量，是指舰船航迹的测量和舰船辐射噪声在终端设备上记录时在空间和时间上的一一对应。同步测量是另一个重要环节，它给定量分析提供依据。

我们测量中的同步是通过有线联络实现的。由指挥中心给现场测量的各个操作部位统一下达指令。航迹测量操作人员根据指挥中心的每一个指令准时正确地把舰船航行中的位置测量下来，同时舰船辐射噪声和指挥中心的一个个指令都一同记录在记录仪上，我们可以在声级曲线和航迹图上找到任何时刻被测舰船辐射噪声的幅值和它所对应的距离。提高同步测量精度的主要措施是：对水听器的水下位置要有准确的测量；提高舰船航迹测点的密度，这一点对高速航行的舰船更为重要；提高测量人员操作仪器的熟练程度等。而应用微机将航迹在X—Y记录仪上自动描绘是有效的同步测量的手段。

（四）舰船辐射噪声测量中抗干扰

接收的若干措施

我们知道，舰船辐射噪声测量时，环境噪声和测量系统噪声是无法消除的。我们实际测量到的信号是舰船辐射噪声、环境噪声和系统噪声的总和。舰船辐射噪声才是我们需要的有用信号。一般认为测量信号高出本底噪声之分贝，测量才算有效。高出二十分贝就可以不考虑本底噪声的影响。在实际测量中由于本底噪声级高或者因为测量距离的增加都可能导致测量的失败。因此我们必须对本底噪声进行分析研究，并采取若干措施加以限制。

1. 环境噪声的限制

对于某一海区而言，环境噪声量级和变化规律基本上是确定的，这里所指对环境噪声限制。实际上是选择合适的海区，选定海区后选择有利的测量时间，使环境噪声尽可能小。以美国沿海一些港口航道上的环境噪声为例：强干扰区达119分贝，中等强度干扰达108分贝，弱干扰区只有99分贝。我国沿海一些港口的环境噪声也有类似情