

青岛近海负跃层下环境噪声场的实验研究

王智惠

(中国科学院声学所北海研究站)

在海洋声速垂直分布为负跃层时, 它会对远处表面噪声的传播起“屏蔽”作用。也就是说, 负跃层(或负梯度)下, 到达全向接收器的声能主要是近处的表面噪声。在特定的海域我们作了多次实验, 初步结果表明: 频率在160Hz到2KHz范围内, 跃层下噪声场的谱级低于跃层上2—4dB; 在63Hz—2KHz之间, 负跃层时的谱级要低于等速层时5—10dB。

实验还表明, 该海区频率在2KHz以上的高频, 谱级随昼夜变化有明显的规律, 估计是该海域生物群体发声的结果。

一、概 述

大陆架近海环境噪声与深海的不同, 它随时间、地点有较大的变化。浅海噪声源包括航船和工业噪声, 与海面风力相关的表面噪声(又称海洋动力学噪声)和生物噪声三大类。不同的海区、不同的时间, 这些源对场的贡献各不相同, 这就形成浅海环境噪声在时空上易变的特性。和局部空间或局部时间起作用的其它二类噪声源不同, 动力学噪声源可在任何地点和时间, 任何海洋水文条件下观察到。实验证明, 动力学噪声源分布于

广阔的海面, 是环境噪声的主要组成部分。

本文讨论了浅海声速垂直分布呈现负跃层时, 环境噪声功率谱的特征。设表面噪声源均匀地分布于海面, 其分布密度为 D , 且单位立体角内辐射的功率是 P , 指向性图案为 $g(\theta')$, 海表面处的声速为 C_0 。

有一接收器 R_1 位于 H_1 深的负跃层下, 此层声速为 C_1 , 令接收器(或发射器)以 $\pm\psi$ 的投射角发出两条声线与海面相切, 则 ψ_0 应满足等式:

$$|\psi_0| \cong \sqrt{\frac{2\Delta C}{C_0}} = \sqrt{\frac{2(C_0 - C_1)}{C_0}}$$

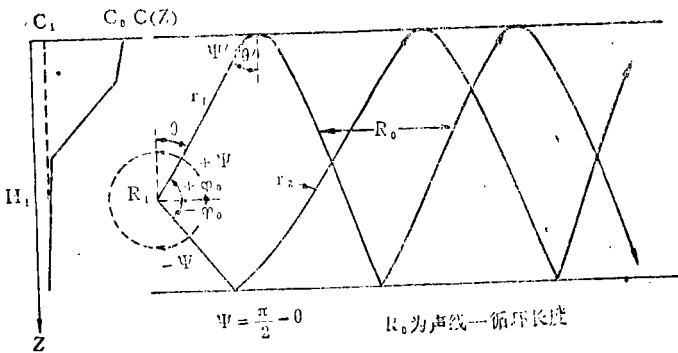


图1 均匀层(虚线)与负跃层(实线)下, R_1 收到的声线角度范围

由图1可见, 到达全向接收器 R_1 的噪声可表示为:

$$N_{\text{Total}} = N_s(\psi) + N_v \quad (1)$$

N_{Total} 为接收到的环境噪声总能量, 它

包括表面噪声源辐射来的声能量(是垂直投射角 ψ 的函数) $N_s(\psi)$ 和各向同性的体积噪声 N_v 。

显然, $N_s(\psi)$ 可写作^{[1], [2]}:

$$N_s(\psi) = \begin{cases} N_s(\psi_+) = 2\pi DP \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} g(\theta') \cdot W \cdot e^{-2\alpha r_1} [1 - \beta(\theta, f) r(\theta', f) e^{-2\alpha R_0}]^{-1} [\cos\theta']^{-1} \sin\theta d\theta \\ N_s(\psi_-) = 2\pi DP \int_{-\psi_0}^{-\frac{\pi}{2}} g(\theta') \cdot W \cdot e^{-2\alpha r_2} \cdot \beta(\theta, f) [1 - \beta(\theta, f) r(\theta', f) e^{-2\alpha R_0}]^{-1} [\cos\theta']^{-1} \sin\theta d\theta \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{而 } N_v = 2\pi \int_{-\psi_0}^{\psi_0} \frac{N_0}{4\pi} \sin\theta d\theta = \frac{1}{2} \int_{-\psi_0}^{\psi_0} N_0 \sin\theta d\theta$$

此间, 表面噪声不能到达接收点(略去介质和界面声散射)

式中: $r(\theta', f)$ 为表面声强反射系数, 为声线对海面投射角和频率的函数。

$\beta(\theta, f)$, 海底反射系数。

W 为反向传播损耗与正向传播损耗的

$$\text{比值, } W = \left[\frac{\sin\theta'}{\sin\theta} \right]^2。$$

r_1 为 ψ_+ 声线第一次同海面交点间的声

$$N_s(\psi) = N_s(\psi_+)$$

$$= 2\pi DP \int_{+\psi_0}^{+\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\cos^2\psi_0} \sqrt{1 - \cos^2\psi'} \sin\theta d\theta$$

$$= \left(\int_0^{\frac{\pi}{2} - \psi_0} \frac{1}{\cos^3\psi_0} \sqrt{\cos^2\psi_0 - \cos^2\psi} \cdot \cos\psi d\psi \right) \cdot 2\pi DP$$

$$= \left[\int_0^{\cos\psi_0} \frac{1}{\cos^3\psi_0} \sqrt{\cos^2\psi_0 - (1 - \sin^2\psi)} d(\sin\psi) \right] \cdot 2\pi DP$$

$$= \left[\frac{\sqrt{\cos^2\psi_0}}{\cos^2\psi_0} + \frac{\cos^2\psi_0 - 1}{\cos^3\psi_0} \text{sh}^{-1} \frac{\cos\psi_0}{\sqrt{\cos^2\psi_0 - 1}} \right] \cdot \pi DP \quad (4)$$

海洋声速垂直分布为均匀时, 有 $W = 1, \psi_0 = 0$, 则可推得或由(4)式令 $\psi_0 = 0$ 直接得:

$$N_s(\psi) = N_s(\psi_+) = 2\pi DP \int_0^{+\frac{\pi}{2}} \cos\theta' \sin\theta d\theta = 2\pi DP \int_0^{+\frac{\pi}{2}} \cos\theta \sin\theta d\theta$$

$$= \pi DP \quad (5)$$

程。

r_2 为 ψ_- 声线第一次同海面交点间的声

程。

N_0 为 Wenz 曲线中的最低限。

为讨论方便, 将上述模式作如下简化:

设 $r(\theta', f) = 1, \beta(\theta, f) = 0, \alpha = 0$ 。並规定 $g(\theta') = \cos^2\theta'$ 。则(2)式变为:

在两种传播条件下,若表面噪声源特性不变,比较[4]、[5]式可知:负跃层下接收器接收表面噪声的能力要比均匀层时为小。换言之,负跃层的存在,减小了表面噪声源对接收器附近噪声场的贡献,对远处表面噪声起到了“屏蔽”作用[4]。例如,该 $\Delta C = 30$ M/s时, $\psi_0 \cong 11^\circ$,负跃层接收到的声能仅是均匀层时的0.89倍; $\Delta C = 200$ M/S,则 $\psi_0 = 30^\circ$ 。此时,负跃层下接收表面噪声的能力可减少到均匀层时的一半。由此说明,负跃层强度愈大,屏蔽作用也就愈明显。

几年来,我们曾对海底底质为软泥沙的青岛近海,负跃层程度 ΔC 在10M/S到40M/S之间,对环境噪声的功率谱作了多次实验。经整理、归纳得到的实验结果初步是:相同海区、相同海面状态,均匀层比负跃层的谱级最大可高出10分贝左右。跃层上下两处同步测得的谱(63Hz—2KHz),负跃层上端的谱要高于跃层下2—4分贝。2KHz以上的高频,谱级随昼夜有明显的变化规律。

二、实验布设和数据处理:

为准确测量海洋环境噪声功率谱,就必须排除可能产生的一切人为干扰,其中最为主要的是测量船的干扰;它包括海浪拍打船舷、船上人员的活动、各种器械的振动与碰击等。为此,我们将接收器漂离于百米之外,以减小干扰对测量的影响。此外,还要克服海流冲击电缆致声、接收器与水介质间存在相对运动产生的“摩擦”声等。

为了比较负跃层上、下两层处谱的异同,离海面7米深处布设了另一个接收器,同接收器 R_1 作同步测量。

用A—3440录音机录下环境噪声信号的同时,分别记录风速、海流、海洋温度随深度的变化等参量。

海上取回的信号,在实验室重放,然后送数字频率分析仪。

考虑到接收系统电噪声的干扰,应将它

们扣除:

$$U_s(\text{dB}) = U_{\text{总}}(\text{dB}) + 10\lg\left(1 - 10^{-\frac{1}{10}(U_{\text{总}} - U_{\text{干}})}\right)$$

$$= U_{\text{总}} + 10\lg\left(1 - 10^{-\frac{1}{10}\Delta U(\text{dB})}\right)$$

其中 $U_{\text{总}}$ 表示总的噪声级,它包括需测量的海洋环境噪声 U 和接收系统电噪声干扰 $U_{\text{干}}$ 。将修正值 $\Delta U(\text{dB})$ 、系统响应不均匀性补偿值 $\Delta K(\text{dB})$ 和经校准的接收水听器灵敏度 S_H 等参数按计算谱的程序要求送微型机“3541”,即可打印结果和绘图。

三、实验结果和分析

1). 同海区,负跃层与等声速均匀层两种情况的功率谱比较:

人们已知,与海面状况有关的噪声源频谱主要在80Hz—2KHz之间,图2、3是海面风级在三、四级(蒲氏)时,两种传播条件下的谱,图中可见,负跃层存在时的海洋环境要比均匀层“安静”些。差值最大可达10分贝左右。两个季节,要求海上环境完全一样是不可能的,故测得的谱级差值要比从上述简化了的模式中计算得到的要大。但从变化规律而言,是可以说明浅海出现负跃层时,对远处表面噪声所起的屏蔽作用的。

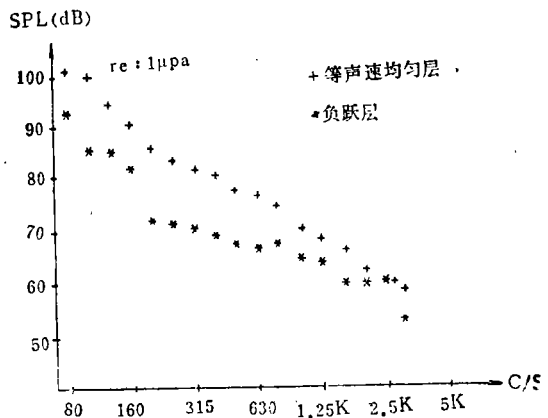


图2 三级风时,两种传播条件下谱级的比较

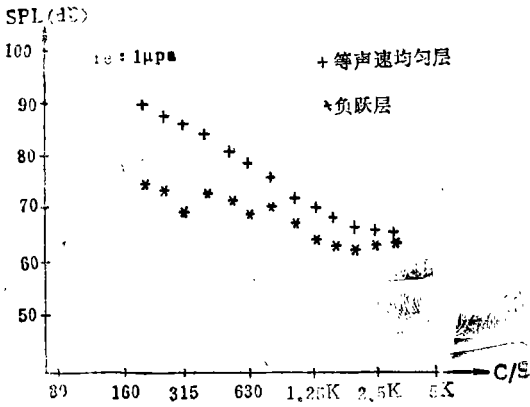


图3 四级风时，谱级的比较

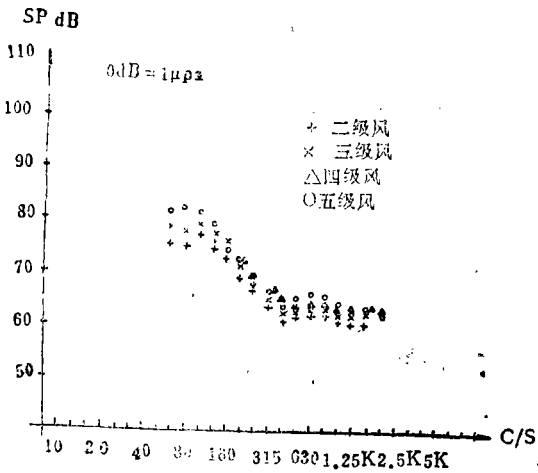


图4 不同风级情况下的谱级

2). 负跃层上下两处谱的比较:

频率在400Hz到2KHz之间，层上谱级要比层下高出2—4分贝。低频段有的可延伸到160Hz。

f Hz	250	315	400	500	630	800	1K	1.25K	1.6K	2K
1	层上		70.2	69.4	69.2	69.1	68.4	64.9	58.8	56.3
	层下		67.4	67.0	65.2	64.9	63.3	61.7	58.2	55.0
2	层上	67.5	70	70.4	68.4	69.6	69.2	65.3	61.6	58.7
	层下	69.9	68.9	67.7	66.9	66.4	64.4	61.9	59.1	56.1
3	层上	72.2	72.1	71.1	71.3	71.4	72.1	70.5	67.8	65.8
	层下	75.5	71.9	69.6	69.8	73.8	67.0	65.2	62.7	60.3

上表表示不同的风级所选取的三组数据，在跃层上(水深7米)、下(水深22米)两处的谱。从这里可以看到，频率400Hz时，层上比层下高1—2dB, 800Hz则高出2—5dB, 这个结果同Kuperman对浅海负梯度条件下的理论计算和比较，基本一致[3]。

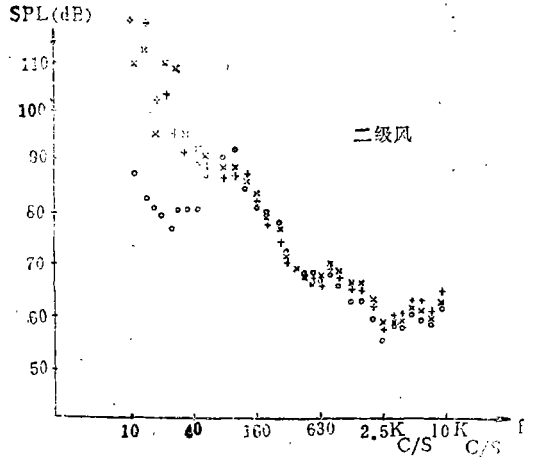


图5 低频成份的离散性和高频谱的隆起(负跃层下)

从图5还可以看到，负跃层下，频率小于160Hz的低频成份，谱级比跃层上的(见图6)要高而且离散程度也大。原因是该海区深处流大，流变化也快。流速的加大，致使未加导流罩的水听器受流震颤产生的伪声也随之

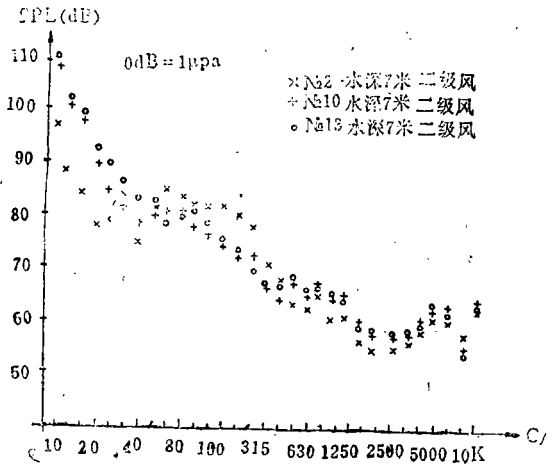


图6 负跃层之上，功率谱的平稳性

增大。加之水听器附近还存在端流，与其相关的压力变化能辐射噪声，成为环境噪声的一部分。其属四极子辐射的性质，随传播距离增加很快就衰减掉，影响不到跃层之上，故在浅处低频谱级较为平稳。

3). 在2KHz以上的高频成分，谱随昼夜有上升和下降的明显规律。我们任选一组数据作说明：见图7，从下午四时左右高频谱开始上升直至午夜24时左右达到最大值。10KHz处的谱级可达70dB。第二天，从零时至凌晨谱级又逐渐下降，直至上午10时，才恢复到头一天傍晚时的谱级(见图8)。

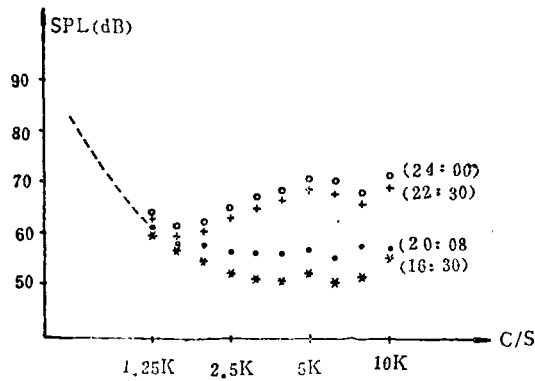


图7 夜的加深，高频谱级上升趋势

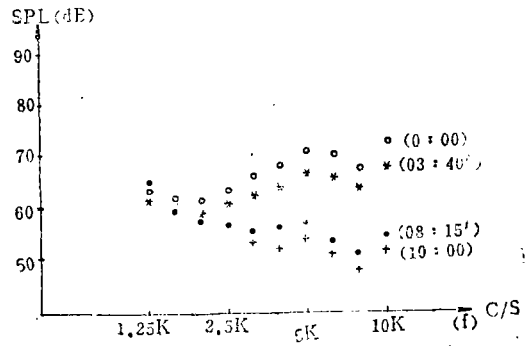


图8 午夜至清晨，高频谱级又渐渐下降

在不同的年份，相同的季节，该海区都有上述的高频谱特征。文献[5]指出：在1KHz—10KHz的频率范围内，谱级随日夜有规律的变动量是生物群体发声的结果，是海洋环境噪声的主要组成部分。我们认为，这个论断同样符合我们这个海区的实验结果。

参 考 文 献

- [1] Talham J. Robere "Ambient Sea Noise" J.A.S.A Vol.36 No.8(1964)
- [2] "水声学" 汪德昭, 尚尔昌著, 科学出版社
- [3] Kuperman W.A. J.A.S.A.V01.67 N0.6(1980)
- [4] 尤里克《水声学原理》R.J.
- [5] Fish M.P. Biological Source of Sustained Ambient Noise in Marine Bio-Acoustics Pergamon Press PP.175—194

(上接第26页)

最后一种方法是实验测量系统的频响曲线，计算频响曲线上的尖峰数，从而确定模态密度。但是，这种测量的精度受到激发点和测量点的位置选取，传感器频响等因素的影响。而且，在高频段频响曲线中尖峰密集难以确定尖峰个数。

上述讨论仅限于弱耦合情况。研究表明，对于任意的耦合强度，SEA都是适用的。即在两个强耦合子系统间，传递的能流仍旧正比于这两个子系统的模态能量的差值。但是，

这时的比例系数需要另行确定。有时还将依赖于子系统间的耦合强度。

需要指出，随着讨论频率的降低，各子系统的振动模式减少。这时，应用统计能量分析将会带来明显的误差。然后，直接从运动方程出发来进行分析可能更为有利。此外，统计能量法也难以处理声场指向性、和单频激发复杂结构的声响应之类问题。

参 考 文 献

- [1] R. G. White and J. G. Walker, Noise and Vibration, Ellis Horwood, 1982.