



在小掠射角范围内平面声波在高速海底上的反射系数的模

唐应吾 许云先

(中国科学院声学研究所)

海底对海水中声场的影响是通过小掠射角范围内的平面声波在其上的反射系数来表现的⁽¹⁾。因此研究小掠射角范围内的平面声波在海底上的反射系数不仅有理论意义,而且有现实意义。通常海底具有复杂的分层结构,平面波在其上的反射系数的表式过分繁复,不便使用。为了简化,人们对海底提出各种模型并通过其上的反射损耗来描述海底。在此,我们假设海底是均匀的液型介质,且其中的声相速大于海水中最大的声速。在文献(2)中已求得在海水具有负声速梯度情况下,掠射角为 $\alpha_1 = \sqrt{2aH}$ 时的平面声波在海底上的反射系数的模的表式为:

$$|V| = 1 - \frac{2\beta mc_0^2 \sqrt{2aH}}{\omega \sqrt{c_1^2 - c_0^2} Q} \quad (1)$$

式中 $Q = 2maH + (1 - c_0^2/c_1^2)$, β 为海底中的声吸收系数, m 为海底密度对海水密度的比值, c_0 为海水表面处的声速, c_1 为海底中的声相速, ω 为声波的角频率, H 为海深, a 为相对声速梯度的绝对值。由于(1)式右边的第二项甚小于1,故有近似表式:

$$|V| = \exp \left\{ - \frac{2\beta mc_0^2 \sqrt{2aH}}{\omega \sqrt{c_1^2 - c_0^2} Q} \right\} \quad (2)$$

下面对(2)式作些推广:

1°, 公式(2)虽然是就特殊掠射角 α_1 得出的,但对一般的小掠射角 α 也适用,即其中的 $\sqrt{2aH}$ 可用 α 来代替。如此,(2)式可写为:

$$|V| = \exp \left\{ - \frac{2\beta c_0^2 m \alpha}{\omega \sqrt{c_1^2 - c_0^2} Q'} \right\} \quad (3)$$

式中 $Q' = m\alpha^2 + (1 - c_0^2/c_1^2) = Q$

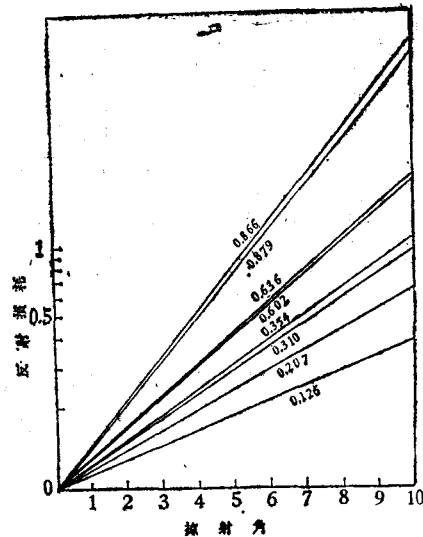
2°, 对于海水是均匀的情况($a=0$)也适用,这时含 α^2 的项已很小,可以略去,故有:

$$|V| = \exp \left\{ - \frac{2\beta c_0^2 m \alpha}{\omega \sqrt{c_1^2 - c_0^2} \left(1 - \frac{c_0^2}{c_1^2} \right)} \right\} \quad (4)$$

这里 c_0 为海水中的声速。由此可以看出:当 c_0 , c_1 , m 及 β 已知时,则 $|V|$ 就可算出来。而测量 c_0 , c_1 , m 及 β 四个量要比测量小掠射角的 $|V|$ 值容易得多。

若令:

$$P = \frac{m c_0^2 \beta}{\omega \sqrt{c_1^2 - c_0^2} (1 - c_0^2/c_1^2)} \quad (5)$$



在小掠射角情况下不同类型海底反射损耗与掠角的关系图
(图上的数据为P值)

实 验 数 据 表*

| 类 型 号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|
| 海 底 类 型 | 沙 | | | | 沙 质 泥 | 泥 | 粘 土 | |
| | 粗 | 细 | 很 细 | 泥 | | | 一粘土 | 质 泥 |
| C ₁ 米/秒 | 1836 | 1749 | 1702 | 1646 | 1652 | 1615 | 1579 | 1549 |
| m | 1.994 | 1.903 | 1.820 | 1.737 | 1.736 | 1.706 | 1.565 | 1.459 |
| β奈比 (1KC) | 0.5508 | 0.5882 | 0.7752 | 0.7977 | 0.8709 | 0.7751 | 0.1303 | 0.1094 |
| c ₀ 米/秒 | 1529 | 1528 | 1526 | 1527 | 1530 | 1528 | 1529 | 1528 |
| P | 0.126 | 0.207 | 0.354 | 0.602 | 0.636 | 0.899 | 0.310 | 0.879 |

* 根据文献[3]。

则(4)式可以写为

$$|V| = \exp(-2P\alpha). \quad (6)$$

这与布列霍夫斯基赫的结果具有相同的形式^[1]。

下面取文献[3]中所引的不同类型的海底来计算其P值与反射损耗。算得的结果示于表和图中。海底类型及参数也列在表中,表中β的数值对应于频率为1千赫兹。

以上结果只适用于海底表面是平整的情况。当海底表面粗糙不平时,厄卡特已求得其反射系数的模|V_s|为^[4]

$$|V_s| = |V| \exp(-2h^2k^2\sin^2\alpha). \quad (7)$$

把(6)式代入上式,得

$$|V_s| = \exp(-2P\alpha - 2h^2k^2\sin^2\alpha). \quad (8)$$

这里,h为海底表面的均方根粗糙度, $k = \omega/c_0$ 。

值得注意的是,厄卡特公式只有在 $hksin\alpha \leq 1$ 的情况下才是准确的。

若令 $P' = P + h^2k^2\sin^2\alpha$,则公式(8)可写为

$$|V_s| = \exp(-2P'\alpha). \quad (9)$$

参 考 文 献

- [1] 布列霍夫斯基赫, 1960. 分层介质中的波. 科学出版社, 276—277页。
- [2] 唐应吾, 1982. 海洋科学1:6—11。
- [3] Hamilton, E. L., 1980. JASA68(5): 1313—1340.
- [4] Eckant, C., 1953. JASA25(4): 566—646.

THE MODULAR OF REFLECTION COEFFICIENT OF PLANE SOUND WAVE ON HIGH SOUND VELOCITY SEA BOTTOM OVER THE RANGE OF SMALL GRAZING ANGLES

Tang Yingwu and Xu Yunxian
(Institute of Acoustics, Academia Sinica)

Abstract

At small grazing angles, expand this modular of reflection coefficient of plane sound wave on high sound velocity sea bottom into

$$|V_s| = \exp(-2P'\alpha),$$

where

$$P' = \frac{mc_0^2\beta}{\omega\sqrt{c_1^2 - c_0^2}(1 - c_0^2/c_1^2)} + k^2h^2\sin^2\alpha,$$

$m = \rho_2/\rho_1$, c_0 is the sound velocity in sea water, c_1 the sound velocity in sea bottom, ω the angular frequency, $k = \omega/c_0$, h the rms roughness, α the grazing angles, ρ_0 the density in sea water, ρ_1 the density in sea bottom and β the absorbent coefficient in sea bottom.