率测定空气绝对湿度的理论依据。

参考文献

1 C. M. Harris. J. Acoust, Soc. Am, 1966; 40(1)

2 I. B. Evans and H. E. Bass. Table of absorption and velocity of sound in still air at 68 (20℃) 1989; CRC Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida

3 C. M. 哈里斯. 噪声控制大全. 科学出版社, 1965: 第一分册(中译本)

4 K. F. Herzfeld and T. A. Litovitz. Absorption and dispersion of ultrasonic waves. Academic Press, NY and Landon, 1959

5 周世勋. 量子力学. 上海科技出版社, 1961

层状生物介质中二阶反射波的研究

章瑞铨　冯绍松

(中科院上海声学实验室　上海 · 200032)

1　引　言

大振幅平面声波在生物介质中传播的非线性效应已日益引起人们重视[1]。近年来, 已有研究表明, 表征非线性效应特性的非线性参数与生物组织的结构与病变有关[2]。因此, 研究生物组织的非线性参数能够提供有关生物组织的结构与病变新的信息, 非线性参数有可能在医学超声诊断中作为新的特征参量。自 80 年代开始, 测定生物介质, 特别是测定动物与人体活组织的非线性参数已经有了很大进展[3]。一般说来, 均采用有限振幅透射法[4, 5]。然而, 当声波不能穿透生物介质时, 这种方法就不能测定非线性参数。因此, 研究从界面反射的反射波法引起我们的兴趣。本文就是用逐级近似法, 当大振幅平面声波垂直入射到分层生物介质时, 从理论上研究分析从每层介质界面上反射的二阶反射波。

2　层状生物介质二阶反射波反射系数的数值计算

为了简化计算, 我们考虑大振幅平面声波在一维情况下在不同的生物介质的界面上反射和透射, 它的物理模型如图 1, 并选择拉格朗日坐标。

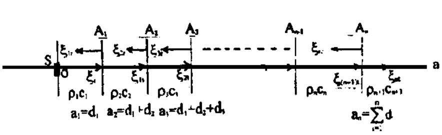

图 1　波在分层界面上的反射和透射

假设声源 S 处在坐标原点, 它作简谐振动, 并向右发射声波 $_m = A\sin\ t$, 这里 $_m$ 是声源表面位移, A 是振幅, 是角频率。

根据推导与计算[6,7], 对三层界面的数值计算结果, 绘于图 2～图 11, 其中声源频率 $f = 2$MHz

3　结　论

从图中曲线可得出以下结果:

在一层界面下:

(1) 当两层介质的 c 之比越接近时(即 R→1), 二阶反射系数越大, 其二阶反射相移也越大。

(2) 当两层介质的 c 一定, 声源离界面距离(d)一定时, 二阶反射系数随界面两侧介质的非线性参数之比增大而增大, 几乎成线性关系, 其二阶反射相移也随着增大。

(3) 当两层介质的 c 一定, 声源离界面距离(d)越近, 二阶反射系数越大, 其二阶反射相移也越大。

在二层界面下, 除了上述特点处还具有:

(4) 当声源离界面距离一定, 第一层界面与第二层界面两侧介质的 c 一定时, 第二层界面的二阶反射系数随第三层介质的非线性参数增大而增大, 但随第二层介质厚度有一个极大值, 其二阶反射相移则随层厚单调减少。

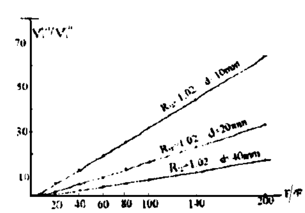

图 2　一层界面($V_1^{(2)}$: 二阶反射系数 $V_1^{(1)}$: 一阶反射系数, F_2、F_1 为界面两侧非线性参数)

在三层界面下,其情况与二层界面类似(图略)

以上结果表明,利用二阶反射系数可测出由于非线性参数不同而形成的层状生物介质的结构,从而为二次谐波图像诊断奠定一定的理论依据。

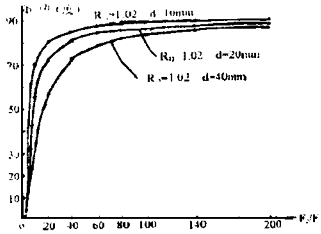

图 3 一层界面($\varphi_1^{(2)}$: 二阶反射相移)

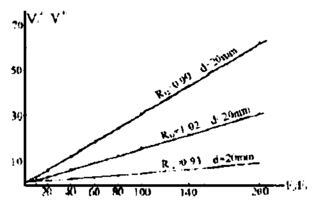

图 4 一层界面不同 R 与二阶反射系数关系

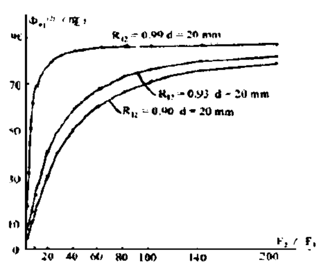

图 5 一层界面不同 R 与相移关系

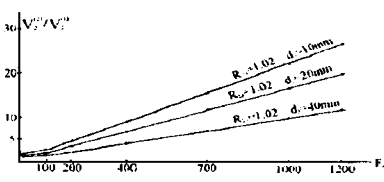

图 6 二层界面($V_2^{(2)}$: 第二层界面二阶反射系数

$V_2^{(1)}$: 第二层界面一阶反射系数

F_3: 第三介质的非线性参数,

取 $F_1 = 6$ $F_2 = 7.2$ $R_{12} = 1.05$ $d_1 = 20\text{mm}$)

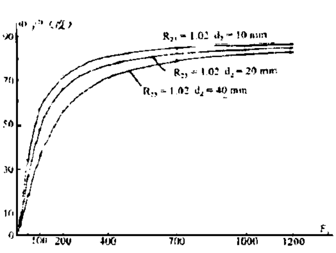

图 7 二层界面, $\varphi_2^{(2)}$: 第二层界面二阶反射相移

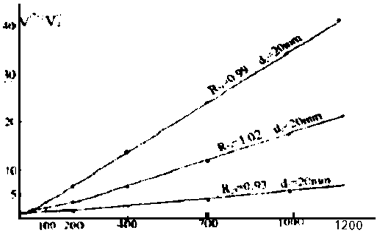

图 8 二层界面不同 R 与二阶反射系数关系

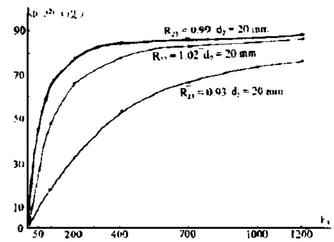

图 9 二层界面不同 R 与相移关系

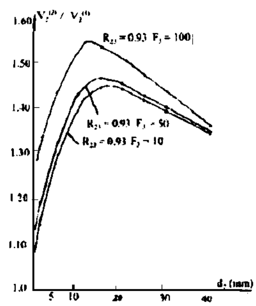

图 10 二层界面下,第二层介质厚度 d_2 与二阶反射系数关系,有一极大值

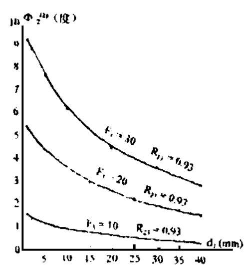

图 11 二层界面下,二阶反射相移与层厚关系

参考文献

1 X. F. Gong, R. Feng, C. Y. Zhu and T. Shi. J. Acoust. Soc. Am., 1984; 74: 949

2 J. Zhang, M. S. Kuhlenschmidt and F. Dunn. J. Acoust. Soc. Am., 1991; 89: 80

3 Xiao Zhou Liu, Xiu Fen Gong and Dong Zhang. De-

pendence of B/A parameter on the composition and structure for the pathological tissue. it 14th ICA, 1992; I3～4

4 W. N. Cobb. J. Acoust. Soc. Am., 1983; 73: 1525

5 X. F. Gong, Z. M. Zhu, et al. J. Acoust. Soc. Am., 1989; 86: 1

6 ZHAHG Ruiquan, FENG Shaosong. The propagation of a large amplitude plane wave in layered media. Proc. of 14th ISNA 1996; 165

7 冯绍松. "对大振幅平面声波的反射和折射(1)——一维情况"一文的修正, 声学学报, 1997

平面分层不均匀介质中声场方程组的级数解

唐应吾

(中国科学院声学研究所　北京 · 100080)

1　引　言

声波在平面分层不均匀介质中的传播问题, 一直受到人们的重视。但其中的声场方程组[1], 仅仅只对少数几种特殊的声速分布才能求出其严格解。对于一般的声速分布, 人们常使用 WKB 方法来求其近似解。因此求出其声场方程组在一般情况下的精确解是有意义的。

本文将 Bremmer[2,3] 级数推广到声学中来, 寻求声场方程组的函数项级数解。文中利用此级数解的每一项的物理意义, 导出了平面分层不均匀介质中声反射系数的近似表式, 并就一个特例进行了计算。

2　声场方程组的级数解

我们假设平面分层不均匀介质中的声速 $c(z)$ 是坐标 z 的徐变函数, 介质的密度　为一常数, 这时二维空间 (x, z) 中的声场方程组为

$$\begin{cases} P/\ t = -\ \ c^2(\ V_x/\ x + \ V_z/\ z) \\ V_x/\ t = -[\ \ ]^{-1}\ P/\ x \\ V_z/\ t = -[\ \ ]^{-1}\ P/\ z \end{cases} \quad (1)$$

这里 P 为声压, t 为时间, V_x 与 V_z 为声波中质点的速度分量, c 为声速。设方程(1)的解为

$$\begin{cases} P = [\ \ (z)]^{-1/2}\{x_1(z)\exp[\mathrm{i}\int_0^z\ (z)\mathrm{d}z] \\ \quad + x_2(z)\exp[-\mathrm{i}\int_0^z\ (z)\mathrm{d}z]\}\exp(\mathrm{i}v\ x) \\ V = (v/\ \ )P \\ V = [\ \ (z)]^{1/2}[\ \ \ ]^{-1}\{x_1(z)\exp[\mathrm{i}\int_0^z\ (z)\mathrm{d}z] \\ \quad - x_2(z)\exp[-\mathrm{i}\int_0^z\ (z)\mathrm{d}z]\exp(\mathrm{i}v\ x.) \end{cases} \quad (2)$$

式中　$(z) = \sqrt{k^2(z) - v^2}$; $v = k(z)\sin\ $; $k(z) = \ /c(z)$;　为声波的角频率;　为平面声波的入射角; $\mathrm{i} = \sqrt{-1}$; $x_1(z)$ 与 $x_2(z)$ 为两个待定函数, 当它们为两个常数时, 表达式(2)就是方程组(1)的 WKB 解。

把(2)式代入(1)式可见, 要使式(2)为式(1)的解, 两个待定函数 $x_1(z)$ 与 $x_2(z)$ 必须满足方程组:

$$\frac{\mathrm{d}x_1(z)}{\mathrm{d}z} = [2\ (z)]^{-1}x_2(z)\frac{\mathrm{d}\ (z)}{\mathrm{d}z}\exp[-\mathrm{i}\int_0^z\ (z)\mathrm{d}z]$$

$$\frac{\mathrm{d}x_2(z)}{\mathrm{d}z} = [2\ (z)]^{-1}x_1(z)\frac{\mathrm{d}\ (z)}{\mathrm{d}z}\exp[-\mathrm{i}\int_0^z\ (z)\mathrm{d}z] \quad (3)$$

为了讨论的方便, 我们把(3)式改写为[1]

$$\begin{aligned} \mathrm{d}x_1(z)/\mathrm{d}z &= \ R(z)\cdot x_2(z) \\ \mathrm{d}x_2(z)/\mathrm{d}z &= \ S(z)\cdot x_1(z) \end{aligned} \quad (3)'$$

这里　是个很小的参量。设方程组(3)的级数解为

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1^{(0)} + \ x_1^{(1)} + \ x_1^{(2)} + \cdots\cdots \\ x_2 &= x_2^{(0)} + \ x_2^{(1)} + \ x_2^{(2)} + \cdots\cdots \end{aligned} \quad (4)$$

这里 $x_1^{(0)}$ 与 $x_2^{(0)}$ 为两个任意的常数, 其它各级校正项由方程组(5)给出。

$$\begin{aligned} \mathrm{d}x_1^{(l+1)}(z)/\mathrm{d}z &= R(z)\cdot x_2^{(l)}(z) \\ \mathrm{d}x_2^{(l+1)}(z)/\mathrm{d}z &= S(z)\cdot x_1^{(l)}(z) \end{aligned} \quad (5)$$

因此, 有 $x_1^{(1)}(z) = \int_{-\infty}^z R(z)\cdot x_2^{(0)}(z)\mathrm{d}z$, $x_1^{(l+1)}(z) = \int_{-\infty}^z R(z)\cdot x_2^{(l)}(z)\mathrm{d}z$, $x_2^{(l)}(z) = \int_{-\infty}^z S(z)\cdot x_1^{(0)}(z)\mathrm{d}z$, $x_2^{(l+1)}(z) = \int_{-\infty}^z S(z)\cdot x_1^{(l)}(z)\mathrm{d}z$, 把求出的各校正项代入(4)式, 再把(4)式代入(2)式中, 得出声场方程组的级数解。

容易看出, 声场方程组的函数项级数解的第一项相应于 WKB 解, 相继的项表示在平面分层不均匀介质内的反射波。例如, 含有 $x_2^{(1)}$ 的项相应于沿负 z 方向传播的一次反射波, 它是由沿正 z 方向传