维普资讯 http://www.cqvip.com

研究报告

B型超声诊断仪图像中的声像畸变

刘照森　　应崇福
（中国科学院声学研究所）

1989年10月5日收到

本文运用射线的方法，对于线扫和扇扫B超诊断仪中因圆柱形异物对声波的折射而导致柱后物体的图像畸变，导出了定量的理论公式，并对线扫公式作了少量理论和实验的图像对比。

一、引　言

在B型超声诊断仪的图像中，肿瘤等异物的存在会引起其后方物体的形状畸变，这种畸变称为"假像"。比如夹在探头和肝脏之间的肋骨，会使其后方的肝脏表面向上隆起[1]；一种低声速的肾脏肿瘤会使其后方膈膜的像断开和远移[2]；高声速肋骨后方膈膜的像会两端断开，一端上翘，一端远移[3]。

上述假像是由于异物的声速不同于周围组织，从而导致声波的反射和折射所致。Robinson等详尽地阐述了这一道理[4]。由于异物的存在，声束被反射和折射而偏离原来的传播方向，而它们的反向散射回波所形成的像被显示在入射波的延长线上，这便导致了物点位置的畸变显示，形成假像。文献[3]的作者曾经根据这种机制定性地解释了临床的和实验的一些图像。

Robinson的解释正确地揭示了假像形成的机制，但却是定性的。本文依据这个道理，对线扫和扇扫B超中，因圆柱形异物对声波的折射而形成的图像畸变，导出了定量的物、像变换公式，并对线扫情况进行了少量实验，与理论的图像作了比较。我们还曾计算了圆柱形异物后方的整个声场分布，将另文表[5]。

二、圆柱后方物和像的几何关系

1. 线扫情况下的物、像变换公式

为便于分析，我们将肿块等异物简化为长直圆柱形，半径为 a，其外部和内部介质的声速分别为 c_1、和 c_2。线扫和扇扫探头发出的声波以角 θ_1 入射到圆柱面上，折射角为 θ_2，透射波和圆柱面二交点为 $D(x_1,y_1)$ 和 $F(x_2,y_2)$，穿透波在柱后通过物点 $A(x,\ y)$。设像点为 $A'(x',y')$。

在线扫情况下（见图1），声线穿进圆柱后与入射方向的交角为 $(\theta_1-\theta_2)$，穿出圆柱后和始入射方向成角 $2(\theta_1-\theta_2)$，线段 l_1，l_2 和 l_t 如图1所示。$l_1=a(1-\cos\theta)$，$l_2=2a\cos\theta_2$。容易看出 D 点的坐标为

$$x_1=-a\sin\theta_1,\quad y=a\cos\theta_1 \tag{1}$$

F 点的坐标为

$$\begin{aligned}x_2&=-a\sin\theta_1+2a\cos\theta_2\sin(\theta_1-\theta_2)\\ y_2&=a\cos\theta_1-2a\cos\theta_2\cos(\theta_1-\theta_2)\end{aligned} \tag{2}$$

给定物点 A 的 y 坐标时，它的 x 坐标为

$$x=x_2+l_t\sin 2(\theta_1-\theta_2)$$

其中

$$\begin{aligned}l_t&=\frac{-y+y_2}{\cos 2(\theta_1-\theta_2)}\\ &=\frac{-y+a\cos\theta_1-2a\cos\theta_2\cos(\theta_1-\theta_2)}{\cos 2(\theta_1-\theta_2)}\end{aligned} \tag{3}$$

于是

$$\begin{aligned}x=&-a\sin\theta_1+2a\cos\theta_2\sin(\theta_1-\theta_2)\\ &+[a\cos\theta_1-y-2a\cos\theta_2\cos(\theta_1-\theta_2)]\\ &\times\operatorname{tg}2(\theta_1-\theta_2)\end{aligned} \tag{4}$$

成像设备是根据直线的入射和返回时间而

维普资讯 http://www.cqvip.com

把物点看作在 $A'(x',y')$ 点的，A' 点的坐标为

$$x' = -a\sin\theta_1$$

$$y' = a - c_1\left(\frac{l_1+l_t}{c_1}+\frac{l_2}{c_2}\right)$$

$$= a\cos\theta_1 - \frac{2ac_1\cos\theta_2}{c_2}$$

$$- \frac{a\cos\theta_1 - y - 2a\cos\theta_2\cos(\theta_1-\theta_2)}{\cos 2(\theta_1-\theta_2)} \qquad (5)$$

2. 扇扫情况下的物、像变换公式

在此情况，见图 2。图中 G 是探头位置，透射声线在圆柱内与竖直线成角 $\alpha-(\theta_1-\theta_2)$，在圆柱后方与竖直线交角为 $\alpha-2(\theta_1-\theta_2)$。

在 $\triangle GOD$ 三角中有关系式

$$\frac{\sin\alpha}{a} = \frac{\sin\theta_1}{d}, \quad l_1 = \frac{d\sin(\theta_1-\alpha)}{\sin\theta_1} \qquad (6)$$

由此可以标出 F 点的坐标

$$x_2 = -a\sin(\theta_1-\alpha) - 2a\cos\theta_2\sin[\alpha-(\theta_1-\theta_2)]$$

$$y_2 = a\cos(\theta_1-\alpha) - 2a\cos\theta_2\cos[\alpha-(\theta_1-\theta_2)] \qquad (7)$$

物点 A 与 F 的距离为

$$l_t = \frac{-y+y_2}{\cos[\alpha-2(\theta_1-\theta_2)]}$$

$$= \{-y + a\cos(\theta_1-\alpha) - 2a\cos\theta_2\cos[\alpha - (\theta_1-\theta_2)]\}/\{\cos[\alpha-2(\theta_1-\theta_2)]\} \qquad (8)$$

这样便可求出 A 点坐标 x、y 二者的关系

$$x = -a\sin(\theta_1-\alpha) - 2a\cos\theta_2\sin[\alpha - (\theta_1-\theta_2)] - \{-y + a\cos(\theta_1-\alpha) - 2a\cos\theta_2\cos[\alpha-(\theta_1-\theta_2)]\}\mathrm{tg}[\alpha - 2(\theta_1-\theta_2)] \qquad (9)$$

声波自探头到达 A 点所需时间为

$$t_A = \frac{l_1+l_t}{c_1} + \frac{l_2}{c_2} \qquad (10)$$

像点 $A'(x',y')$ 成在入射声线的延长线上，其坐标由 t_A 算出为

$$x' = -t_A c_1\sin\alpha = -\sin\alpha\left\{\frac{d\sin(\theta_1-\alpha)}{\sin\theta_1} + \frac{2ac_1\cos\theta_2}{c_2} + \frac{a\cos(\theta_1-\alpha) - y - 2a\cos(\alpha-\theta_1+\theta_2)}{\cos[\alpha-2(\theta_1-\theta_2)]}\right\}$$

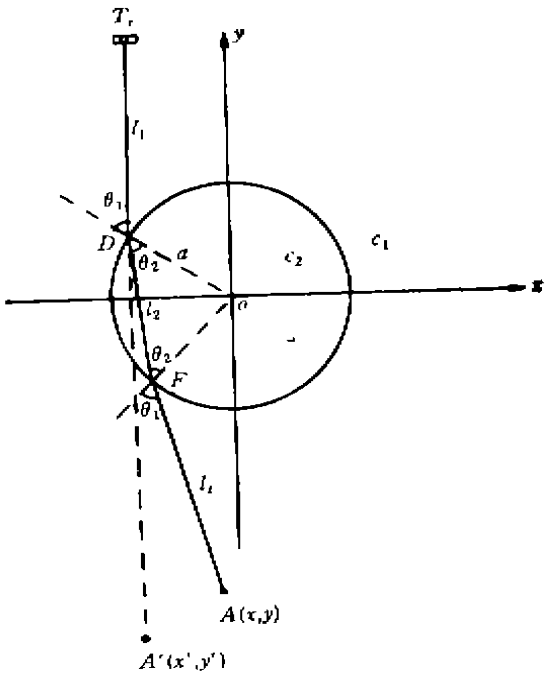

图 1　线扫情况，因柱形异物对声线的偏折作用，A 点的像显示在 A' 点

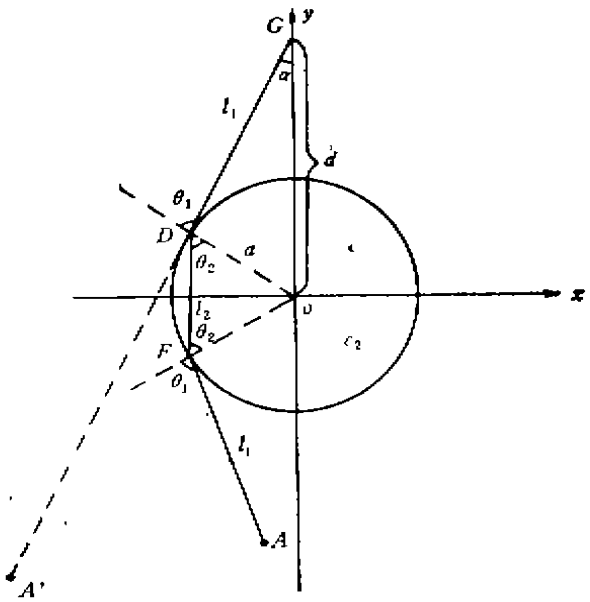

图 2　扇扫情况，因柱形异物对声线的折射，A 点的像显示在 A' 点

$$y' = d - t_A c_1 \cos\alpha$$
$$= d - \cos\alpha \left\{ \frac{d\sin(\theta_1 - \alpha)}{\sin\theta_1} + \frac{2ac_1\cos\theta_2}{c_2} + \frac{a\cos(\theta_1 - \alpha) - y - 2a\cos(\alpha - \theta_1 + \theta_2)}{\cos[\alpha - 2(\theta_1 - \theta_2)]} \right\} \quad (11)$$

三、实验对比和结论

取几根直径在 3cm 左右的圆柱形薄胶皮管，分别装入 20% 的食盐水或无水乙醇溶液，密封胶皮管两端并横置于水槽中。将一块布展平置于圆管下方的水里，作为待成像的物。让线扫 B 超仪的探头垂直于圆管轴线进行扫描。实验是在 15℃ 的温度下进行的。水、盐水和无水乙醇的声速分别为 1472m/s，1711m/s 和 1186m/s。拍摄下的实验图像如图 3(*a*)、4(*a*)、5(*a*)所示。根据前面理论所定量计算的图像如图 3(*b*)、4(*b*) 和 5(*b*)所示。

在图 3(*a*) 中，圆管直径为 3cm，其中装 20% 的食盐水 ($c_2 > c_1$)。布面平行于探头，它与圆管轴之距离为 9cm。在圆管正下方布面的像向上隆起，在隆起部分下面两侧并有两条向下的亮条，它们是由入射 $\theta_1 \to \pi/2$ 时声线的严重偏折造成的。圆管本身的像则下缘向上缩起。图 3(*b*) 是根据本文的线扫公式绘出的计算机模拟图像。

在图 4(*a*) 中，圆管直径为 3cm，其中装无水乙醇 ($c_2 < c_1$)。布面同样平行于探头，它与圆管之轴距离为 10cm。圆管下缘的像向下拉伸，其正下方布面的像则下沉，两侧下方同样显出两根向下的亮条。图 4(*b*) 是这种情况下的计算机模拟图像。

在图 5(*a*)中，圆管直径为 3.4cm，其中装有 20%的食盐水 ($c_2 > c_1$)。布面对水平面倾斜，其倾角约为 128°；在圆管轴的正下方，布面距轴 14cm。从图可见，圆管下方布面的像两处断开，左端上翘，右端下落。图 5(*b*) 是相应的计算机模拟的理论图像。

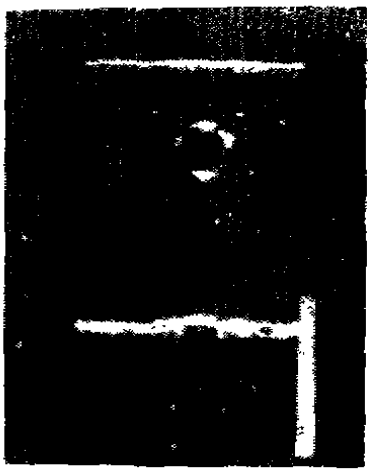

图 3(*a*) 圆管中装盐水

图 3(*b*) 计算机模拟图像

图 4(*a*) 圆管中装无水乙醇

维普资讯 http://www.cqvip.com

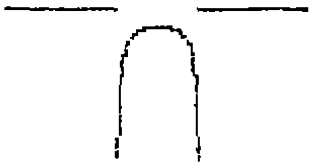

图 4(*b*)　计算机模拟图像

图 5(*a*)　圆管中装盐水，布面倾斜

上述三幅实验图像与相应的计算机模拟图像的比较表明，理论和实验结果是基本一致的。

图 5(*b*)　计算机模拟图像

因此，本文的理论能够定量地解释临床的假像。对指导诊断、防止误诊有一定的实际意义。对圆柱形以外其它形状的透声异物，特别是形状较简单的，应当也可以类似地计算它对后方物体成像的畸变作用。

参 考 文 献

[1] Jorg A. Bönhoĭ, Peter Linhart, *J. Ultrasound Med.*, 4(1985), 135—137.

[2] Tina S. Richman, Kenneth J. W. Taylor, Frederich W. Kremkau, *J. Ultrasocund Med.*, 2(1983), 45—47.

[3] Jorg A. Bönhoĭ, Birgit Bönhoĭ. Peter Linhart, *J. Ultrasound Med.*, 3(1984), 5—7.

[4] David E. Robinson, Laurence S. Wilson and George Kossoff, *J. Clin. Ultrasound*, 9(1981), 181—188.

[5] 刘照森，应崇福，声学学报(待发表)。