

超声成象的探索和生产技术研究

赵梓光 林学铭

(复旦大学电子工程系)

一、引言

超声诊断仪在近十年中以B型为主形成了一种生产专业,对医疗事业作出了重大贡献。

本文将超声成象的研究工作划分为三个阶段,即探索性研究,应用开发研究和生产技术研究。而生产技术研究对我国特别重要,因为这是当前的薄弱环节并且没有受到足够的重视。下面先将它们作一简单介绍,再举例说明。

学术探索并非都能达到实用。一旦学术探索能应用到实际临床中,则别开生面,意义重大。早在1966年就有F. L. Thurstone^[1]和R. K. Mueller^[2]等人探索声全息临床应用的可能性,目前看来还不适合临床实用。然而诸如超声CT等新方法^[3]的探索在国外还是层出不穷。但不论结局如何,只有探索才能产生新方法、新效果。

应用开发是属于第二阶段的研究。它的前提是原理已经证实,而且具备了过渡到实用的条件。它的任务是将现成的方法或原理贯彻到产品设计中去。成功的把握很大,失败的可能性很小。

生产技术研究可以说是企业竞争的后盾。国产机器价格虽低,但性能和可靠性均不能与进口机相当。缺乏竞争力的原因是多方面的,B型超声仪的生产依赖于电子和机械等基础工业,由于元器件的性能、可靠性和价格的限制,使整机生产客观上处于劣势。

对于生产厂来说,主要原因是缺乏生产技术的研究。

生产技术研究的目标是建立专用工艺设备和测试设备,同时还要制订出测试方法,测试标准等文件,甚至还应考虑到培训技术队伍。通过技术手段反映在成品率、质量、产量和可靠性提高,而使成本、工时等降低。这个任务是艰巨的,但又不如试制新产品显得迫切,容易被忽视或耽搁。

大家知道换能器是B型超声仪的重要器件,国内也已做了一定的工作。由于缺乏组织和交流以及单纯致力于引进组装等原因,B型超声仪的这一重要的技术研究还有待努力。

以上讨论的三种研究阶段之间的关系可以用一个框图表示如下:

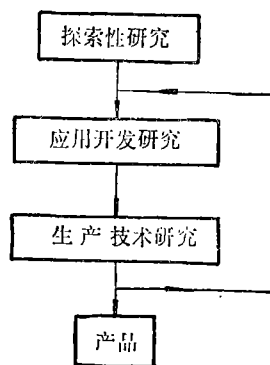


图1 三者的互相关系

二、探索性研究

这种研究主要是探索新的方法,谋求新

的效果。因此首要问题是解决基本原理能否实现,其次该方法作为医学应用有无困难,最后还要与已有的方法比较,有何优缺点。

例如液面全息^[4],就其原理的实现已经完成,但作为医学应用则有功率太大,使用不便的问题。与现有B型超声仪相比较它的优点是所见图象是透视图,比较直观;但同时是缺点,因为B型超声提供剖面图象,对诊断更为有利。可以说液面全息法的探索已经成功,但临床应用是有困难的,近年来似乎已进入尾声。

超声CT是继Hounsfield^[5]在1972年创制X光CT之后,由Greenleaf首先研究成功用传播时间法进行超声图象重建^[6],它引起了不少学者的兴趣。把超声当作射线一样,忽视其绕射和折射等特点,即所谓射线方法,它的精度不够理想,成象速度慢,不能作动态显示。因此,在实用方面发展不快。然而超声CT的理论研究还在进步,已出现绕射超声CT。

绕射超声CT方法考虑到波的非直线传播,利用玻恩—雷托夫近似找出了绕射重建图象方法^[7]。由于该算法所作的弱散射近似并不完全符合人体的真实情况,因此又出现强散射和多重散射算法的研究^[7]。总之,超声CT面临的困难大,离实用还远,还停留在探索阶段。

众所周知,目前所普遍应用的B型超声仪基本上都是单脉冲型的,处于波束焦点的组织受到强烈的照射^[8]。因此为了限制功率在安全阈以下以及提高分辨率,保证有一定的探查深度,系统必须有足够的信噪比。能量扩散和压缩方法的应用是值得注意的一种探索。Meyer^[9]曾作线性调频脉冲压缩,Takuchi^[10]曾用Golay码,二者都需要有足够宽的频带,这对于换能器来说是很困难的。前者还需用表面波器件,后者则需要用高速模数转换等结构复杂的电子系统。因此实现起来还有问题。

也可以举出二个基本上完成的探索。例如作者讨论过的迁频接收方法^[11]。以最大信息量为准则,在近场接收回波的高频成份,以获得高分辨率;而在远场则作匹配滤波以获得高信噪比。另一为Shattuck讨论的所谓Explososcan方法。它发射一个不窄波束,利用相控接收方法同时接收其中四条扫描线,使场频提高四倍或将信号作平均处理以提高信噪比。以上二方法虽然不能达到质的飞跃,但是实行起来没有困难,看来是可以进一步开发应用。其他探索工作还有不少,不再例举。

三、应用开发的研究

B型超声仪在近十年中新开发了不少功能和技术。开始只有A型超声仪,后来出现了M型,B型和Doppler型。现在有些仪器已包含了AMBD四种功能,还应用了数字处理和计算机技术,如扫描变换和频谱分析等功能已为大多数使用者所熟悉,在此不必赘述。我们在此着重说明的是图1中从生产技术研究之后又重新进入开发研究这一种反馈作用。它说明一种技术要通过生产阶段,巩固下来之后才能为进一步的开发提供新的技术基础。

以数字技术为例。图象冻结器达到了生产阶段,最初基本上没有文字和体位等显示。但它为扫描转换器打下了基础。后来,较为复杂的扫描变换器D. S. C. 还增加了Zoom和拼幅等多种功能,形成了更新换代的产品,简单的冻结器被淘汰了。在此基础上,最近的D. S. P.——即数字扫描处理器已能综合多种图象。如在一个萤光屏上出现有扇形,体位,多普勒定位指示和频谱分析,并带有测距,测速等多种功能。

再举换能器为例:开始只有单片换能器,经过一阶段的生产实践,制造出了线阵换能器。此后,又要经过生产实践,在线阵换能

器的工艺达到充分精密的条件下又开发出相控换能器。

总之,有很多技术问题只有通过批量生产才能彻底解决,否则进一步开发就无基础。作者曾研制DIF-64型冻结器,有的单位接产后,进一步开发了通用线阵扫描转换器,加深了对此循环的认识。

四、生产技术的研究

B型超声仪所涉及的生产技术主要集中在电子线路和换能器二方面。电子工业已较为成熟,故更多的生产技术问题发生在换能器方面。下面分三个方面来说明。

(1) 电子线路中有个别部份比较特殊,为了保证产品的性能稳定,电路或器件的选用和筛选需要实际的测试和研究。例如P.L. Carson指出用UTA-3型脉冲发生器所得到的声场分布不同于用可控硅产生的声场。此事实表明脉冲源的差异反映到声场差异是不可忽视的。特别是对于相控扫描和相控聚焦,更需要每个单元都具有很高的精确度。究竟元器件筛选的标准怎样掌握才能既保证产品的质量又能满足经济效益,这显然是值得研究的生产技术问题。

又如整机中的接收增益甚高,动态范围大,具有多阵元动态聚焦可变孔径等复杂的结构。因此单纯筛选元件不足以保证质量及具一致性。必须在做成部件之后再作统一的调整,因而必须规定测试哪些参数,制订测试方法、文件和建立专用测试设备。

(2) 声场测量系统是研制换能器的一个重要的工具。换能器在结构设计上的改变或在工艺上的误差,最终要用声场测验来检验。声场测量可用来检测波束的分辨能力,旁瓣分布等。由于机械装置精度高,不宜用手调节,而应用伺服和微机控制,以便迅速、准确地取得宏观数据。作者研制的声场测量系统已能用来测试国内外实用的换能器。例如

64阵元的一致性,三维立体图场强分布和纵向等高线分布等均能立即测得。(附各种测试结果图)

据惠普公司报导,换能器的粘结层厚度从1微米到8微米的变化会使频带由74%降到31%,因此建议粘结工艺应保证厚度小于2微米。据报导,换能器匹配层结构不同可能导致插入损耗相差20dB。

总之,声学性能的测量是十分重要的。它一方面监控产品质量,同时又可以为工艺改革或设计改进提供可靠的信息,它是生产技术研究的必要手段。

(3) 专用生产设备是产品质量的直接保证。换能器制造工艺有陶瓷切割,面材和背材的压制,换能器粘结和封装等。这一系列工作都应尽量减少手工,加强机械化,配备专门的工具模具,从而使工艺效果稳定下来,这是十分必要的。因为只有工艺效果稳定,才能比较出不同工艺的优缺点。只有改进生产手段才能在竞争中站稳脚跟。我国各种整机工厂亦不少,但是能彻底解决几项换能器工艺问题的厂则太少了。作者认为这是对生产技术缺乏研究,导致整机质量差的主要原因之一,因此应该大大加以重视。

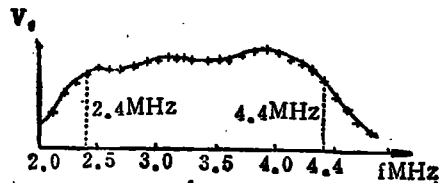


图2 TOSHIBA 超声线阵换能器-阵元的频响曲线
2.4KHz~4.4MHz 3dB带宽范围 $X=40\text{mm}$,
 $V_{opp}=1\text{V}$, $T=24^\circ\text{C}$



图3 TOSHIBA 超声换能器, 各阵元在阵元
轴向一致性声场分布曲线,
 $x=40\text{mm}$, $f=3.5\text{MHz}$ $V_{opp}=1\text{V}$, $T=24^\circ\text{C}$

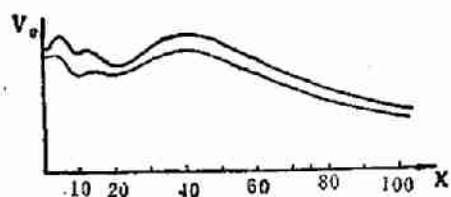


图4 TOSHIBA超声线阵换能器二阵元在纵向
x轴声场分布曲线
 $f=3.5\text{MHz}$, $V_{opp}=1\text{V}$, $T=24^\circ\text{C}$

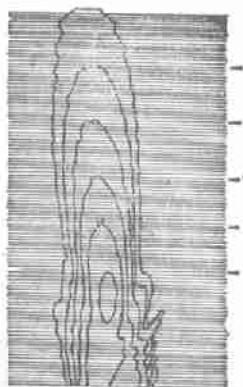


图6 圆盘的换能器指向图 $f=2.8\text{MHz}$, $\phi=12\text{mm}$

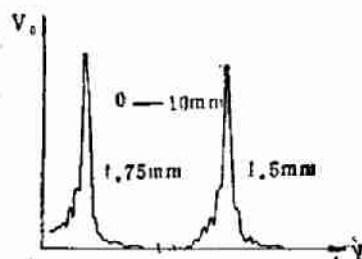


图5 TOSHIBA超声线阵换能器二阵元横轴
y方向声场分布曲线,
 $x=40\text{mm}$, $f=3.5\text{MHz}$, $V_{opp}=1\text{V}$, $T=24^\circ\text{C}$, $Z=400\text{mm}$

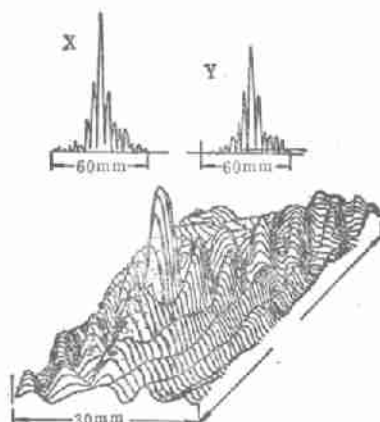


图7 一圆环的横截面声场分布侧视图, 上图
为一维横向x轴, 侧向y声场分布曲线

参 考 文 献

- [1] Thurstone, F. L. Ultrasound holography and visual reconstruction, Proc. Symp. Biomed. Eng., 1(1986), 12.
- [2] Mueller R. K. and Sheridan, N. K. Sound holograms and Optical reconstruction, App. Phys. Lett., 9 (1986), 328
- [3] Lan, C. Q. XU, K. K. and Glen Wade, Limited Angle Diffraction Tomography and Its Application to Planar Scanning Systems. IEEE trans. su Vol 32 No. 1 1985
- [4] Hildebrand B. P. and Brenden, B. B. An Introduction to Acoustical Holography Adam Hilger Ltd., 1972
- [5] Hounsfield, G. N. A Method of Apparatus for Examination of a body by radiation such as X-Ray or Gama Radiation The Patent Office, London, Patent Specification 1283915, 1972
- [6] Greenleaf, J. F. S. A. Johnson, W. F. Wamaya and F. A. Duck Algebraic Reconstruction of Spatial distributions of Acoustic velocities in Tissue from their Time-of-Flight Profiles

- Acoustical Holography. Vol. 6 New York: Plenum Press, 1975 pp 71-90
- [7] Mani Azimi and Kak, A. C. Distortion in Diffraction Tomography Caused by Multiple Scattering IEEE Transaction on Medical Imaging Vol. MI-2 No. 4 1983 pp176-195
- [8] International Electrotechnical Commission, Measurement and Characterization of Ultrasonic Fields Using Hydrophones in Frequency Range 0.5MHz to 15MHz IEC 29d (Secretariat) 26 /WG8, Jan 1985
- [9] Meyer C. R. Preliminary Results on a System for Wide-Band Reflection-Mode Ultrasonic Attenuation Imaging IEEE trans. s. u. Vol. su-29 No. 1 Jan. 1982 pp. 12-17
- [10] Takeuchi, Y. An investigation of a spread energy method for medical Ultrasound Systems Ultrasonics July 1979 pp. 175-182
- [11] 赵梓光, 余建国, 徐煜康, 医学超声中的迁频接收原理, 复旦大学学报 (自然科学版)第22卷, 第4期 PP.403~412