

康振黄主编

# 生物医学超声 工程

周康源著



生物医学工程丛书III

四川教育出版社

120462

生物医学工程丛书 III

# 生物医学超声工程

周康源 著



A1C00640030

责任编辑：杨亚雄

封面设计：何一兵

生物医学工程丛书Ⅱ

生物医学超声工程

周康源 著

四川教育出版社出版发行

(成都盐道街三号)

四川省新华书店经销

自贡新华印刷厂印刷

开本850×1168毫米 1/32 印张8.875 插页8 字数190千

1991年6月第一版

1991年6月第一次印刷

印数：1—1500 册

ISBN7-5408-1497-7/G·1446

定价：5.50元

17F03/07 内容提要

---

## 内容提要

本书系统地叙述了从事生物医学超声工程领域研究必须具备的基本知识、介绍了现有的各项主要医用超声技术，并对它们的声学原理和关键技术进行了剖析。书中还分析了某些现代化医用超声技术，例如彩色多普勒成像技术所存在的问题，以及相应的改进措施和研究方向。第七章提出的方法将为广泛利用B超进行超声组织定征研究提供了一条有效的途径。

本书可作为生物医学工程专业研究生、大学生的教材或参考书，并适于超声医学的临床医师以及从事生物医学超声工程研究的广大科技工作者阅读。

## 序

在可敬的学术界和出版界朋友们的鼓励和支持下，我有幸主编这一套生物医学工程丛书，感到兴奋，也感到任重。

为什么要出这样一套丛书？我觉得，道理很简单。一句话，社会的需要。它既是促进医疗保健现代化的需要，也是开发新兴产业的需要；既是提高现代科学文化水平的需要，也是迎接世界新技术革命挑战的需要，总之，是社会的需要，是社会现代化的需要。

生物医学工程是一门新兴的综合性学科。到现在，人们有的对它感到陌生，有的看法不一，这都是很自然的。“生物医学工程就是生物学加医学加工程学，三合一”，这是一种看法；“生物医学工程就是工程学在生物学、医学中的应用”，这又是一种看法。我认为，无论是相加也好，应用也好，都有一定的道理。但是，从现实的情况，特别是发展的趋势看，还可以对生物医学工程再作一番深究。依我看，生物医学工程正在

形成一门现代工程科学，一门把生物学、医学和工程学由耦联到融合塑造而成的整体性现代工程科学，一门以生物体（现在研究的主体是人）整体及其各个组成系统和结构层次的动态和规律、生物体与人为条件、自然环境和社会群体的关系和规律为主要研究对象的生命工程科学。主要是人体生命工程科学。说到“工程”，老的概念是指修建、营造，中英文都如此。现代工程科学是指这样一种科学体系，它的任务是研究如何使物质（包括生物的和非生物的）、能源和信息，按照人们预期的目的，利用跨学科耦联性的原理和方法，在保证社会效益、经济效益和生态效益的原则下，转化成为适应人们需要的社会产品或社会服务业。和许多现代工程科学如能源工程、材料工程、信息工程等一样，生物医学工程也是一种现代工程科学，即人体生命工程科学。

这套丛书怎么编？我们有些想法和作法，且待实践来检验。第一，生物医学工程还在发展中，还没有一套完整定型的体系，我们也没有这样一套完整体系的工作准备。因此，我们不是先搞出一套全面的编辑构架来，然后逐项安排内容；而是根据有多少实际工作内容，出多少书。先求实，先不求全。第二，每本专书既反映这个专题研究领域的现状和可能的发展，更要有作者自己在这方面的研究工作和成果。力求在掌握动态和开展研究

的基础上，在“著书”的同时，还要“立说”，以此向读者奉献和求教。第三，丛书的编辑没有先验确定的组织机构，而是通过研究工作的结识，成果交流中的以文会友，靠学术交往，走到这套丛书中来，形成充分开放的合作。我们相信，开放的编辑系统有利于学术的繁荣。

这套丛书，希望能对从事生物医学工程和有关学科的中、高级科技人员的工作，有所帮助；同时，对有志趣进入或有兴趣了解生物医学工程科学领域的朋友们，起一些向导作用。说到底，一本书、一套书的作用，总是很有限的。但是，它所激发的社会响应，却可能要大得多。这，正是我们所追求的。

康振黄

一九八九年元旦

## 前 言

生物医学超声工程所涉及的内容十分广泛，其中有些内容所涉及的数学物理知识和当深奥，技术十分复杂。因此，本书不可能对所有这些内容进行详细叙述。

本书的目的，一是想使读者掌握进入生物医学超声工程领域进行研究所必须具备的基础知识；二是尽可能地介绍这个领域的现状和目前所进行的主要研究方向。为此，本书在前五章主要叙述了各项医用超声技术共同的基础知识，特别是有关的声学基础及重要的数学关系式。后面各章讲述各项医用超声技术时也着重于声学原理及关键技术的剖析。

本书第七章重点介绍了作者提出的以差比较正法为基础的超声组织定征方法。这种方法的形成与作者课题组成员的辛勤工作是分不开的。为此，作者对多年来在课题组内与作者共同研究的成员，以及已经毕业离去的成员：朱世鸿、林川、张道发、李玮、杨曦、贡越等同志表示感



谢。作者也对为本书的完成作出贡献的楼国云、金溶溶同志表示感谢。

周康源

一九九〇年十月

## 目 录

<b>第一章</b>	<b>生物医学超声工程概述</b> ·····	1
<b>第二章</b>	<b>波动方程及其解</b> ·····	5
	一、波动方程的导出·····	5
	二、波动方程的解·····	9
	三、波动方程解的分析·····	11
<b>第三章</b>	<b>声特性阻抗、声强与反射</b> ·····	16
	一、声特性阻抗·····	16
	二、声功率密度与声强·····	18
	三、声波的界面反射·····	19
	四、声波的散射·····	27
<b>第四章</b>	<b>生物体组织的声学特征</b> ·····	32
	一、生物体组织概述·····	32
	(一) 细胞·····	32
	(二) 组织的类型·····	34
	二、组织的声衰减·····	43
	三、生物体组织的声学参数·····	51
	四、组织超声仿真模块·····	55
<b>第五章</b>	<b>超声换能器及其声场</b> ·····	59

一、压电换能器及其电激励	59
(一) 连续波电激励	61
(二) 脉冲激励与距离分辨率	69
二、换能器的辐射声场, 指向性函数	74
(一) 圆片换能器的近场特性	76
(二) 换能器的远场特性	79
1. 圆片换能器	80
2. 矩形换能器	85
三、声束的形状及宽度, 方位分辨率	88
(一) 非聚焦换能器的声束	88
(二) 聚焦换能器的声束	90
四、换能器线阵	97
(一) 换能器线阵的指向性函数	98
(二) 副瓣的抑止	100
(三) 电子聚焦	103
<b>第六章 生物医学超声成像技术</b>	<b>106</b>
一、前言	106
二、医学超声断层成像技术概述	108
(一) A型超声诊断技术	108
(二) M型超声心动图成像技术	111
(三) B型超声断层成像技术	113
(四) C型超声断层成像技术	115
(五) F型超声断层成像技术	117
(六) T型超声断层成像技术	118
三、B型超声断层成像装置	118
(一) 概述	118

(二) 线形电子扫描及探头	119
1. 探头	119
2. 基本线形扫描的形成	121
3. 交错扫描	125
4. 飞越扫描	126
5. 混合扫描及UCG同时观测	128
6. 实现线形扫描的电路	130
(三) B型超声成像装置的放大器	134
1. 增益	134
2. 对数压缩	136
3. TGC控制	137
4. 通频带	139
(四) 动态孔径技术	140
(五) 动态聚焦技术	142
(六) 数字化与图像处理	145
1. A/D变换	145
2. 图像预处理	146
3. 图像存储器	146
4. 图像处理	147
(七) 扇形扫描及相控阵探头	149
四、超声断层图像的失真	154
(一) 超声图像形状与位置的失真	155
(二) 超声图像亮度的失真	159
1. 前方声衰减变化引起的亮度失真	159
2. 前方声速变化引起的亮度失真	161
3. 前方界面透射率引起的亮度失真	161
4. 声束扩散的变化引起亮度的失真	161

5. 界面折射引起的亮度失真	162
6. 界面反射引起的亮度失真	163
7. 旁瓣或副瓣引起的亮度失真	163
五、声全息及合成孔径技术、超声显微 镜	168
(一) 声全息及合成孔径技术	168
(二) 超声显微镜	171
六、超声CT	173
<b>第七章 超声组织定征</b>	<b>180</b>
一、前言	180
二、超声信息线的形成	183
(一) 超声信息线	183
(二) 分辨元及回波原始信息	184
三、组织声衰减的体内估值	186
(一) 概述	186
1. 频域方法	186
2. 时域方法	187
(二) 差比较正法	189
(三) $\beta$ 估值的偏差	199
(四) 实验及临床结果	201
四、体内组织的声散射及超声纹理分析	206
(一) 背向散射系数的体内估值	206
(二) 超声组织纹理参数	208
五、组织声速的体内估值	211
(一) 用换能器对估计声速	212
(二) 由断层图像的畸变估计声速	212

(三) 使用声速已知的菱形声透镜·····	212
六、组织非线性参数 $B/A$ 的测定·····	213
(一) 频谱分析法·····	214
(二) 声滤波器法·····	214
(三) 双超声波法·····	214
(四) 热力学测定法·····	214
<b>第八章 超声流速测定</b> ·····	<b>221</b>
一、前言·····	221
二、多普勒原理·····	222
(一) 矢量表达式·····	222
(二) 几种情况·····	223
三、连续波多普勒血流计·····	227
(一) 声输出型·····	228
(二) 模拟信号输出型·····	229
(三) 频谱输出型·····	231
四、脉冲多普勒血流测定·····	232
五、彩色多普勒成像技术·····	236
(一) 基本原理·····	236
(二) 实际的系统·····	240
六、多普勒流线函数分布及流速矢量分布·····	244
(一) 流线和流线函数·····	244
(二) 流速矢量分布·····	245
七、渡越时间法流速测定·····	246
<b>第九章 超声辐射的安全标准及其测量</b> ·····	<b>249</b>
一、概述·····	249

二、损伤机理	249
(一) 吸收	250
(二) 机械作用	250
(三) 化学作用	250
(四) 空化效应	250
三、超声辐射的描述与测量	251
(一) 超声辐射的描述	251
(二) 超声辐射的测量	253
1. 水听器	253
2. 热敏探头	254
3. 辐射压力	254
四、损伤门限值(损害阈值)	256
五、安全标准	257
<b>第十章 超声医疗</b>	<b>260</b>
一、概述	260
二、超声手术	261
(一) 强功率聚焦手术	261
(二) 超声手术刀和超声骨锯	261
三、超声碎石	262
(一) 硬性结石粉碎	262
(二) 软性结石粉碎	264
四、超声治癌	265
五、超声在医药工业上的应用	266

## 第一章 生物医学超声工程概述

生物医学超声工程这门学科是生物学、医学、声学以及工程技术相结合的产物。也就是说，这门学科的理论基础是声学、特别是超声学；它的实现手段是工程技术、特别是现代电子技术及其它高技术；它的应用领域是生物医学。

超声技术渗透到医学、生物学领域始于本世纪30年代到40年代。由于当时对超声波的机械振动作用已有充分了解，于是就试图将这种作用应用于治疗。1939年德国的Pohlmann R.及1941年日本的雄山等人已开始了这方面的研究工作。1942年，澳大利亚的Dussik K.T.提出了将超声用于诊断体内疾患的可能性，而且在1949年发表了将脉冲超声波成功地用于诊断脑部疾患的论文。这就是最初的A型超声诊断技术。自此以后，医用超声技术开始进入了一个应用、试验、开发、研究的阶段。

70年代开始，由于计算机技术、微电子技术及其它高技术引进医用超声技术，使得一些原



来只是理论研究或处于实验阶段的科研成果相继成为产品，进入了临床应用。特别是B型超声成像技术的临床应用，已使超声诊断技术与X射线诊断技术、同位素辐射诊断技术并列为医学领域的三大诊断技术。尤以超声诊断技术因对人体的无损伤而更被广泛应用。

超声血流检测是超声诊断技术的又一重要发展，它对诊断血液循环系统及心脏的疾患具有重要的临床价值。目前的超声多普勒技术还有其不够完善的地方，正在研制开发的血流流线分布，血流矢量分布等超声多普勒技术将会弥补这些缺陷，使得超声多普勒血流测定更臻完善。

组织的结构成分 病理生理状况与组织的声学特性参数是有密切的关系的。超声组织定征的目的就是要了解这种关系，并建立起测试体内组织各种声学参数的手段和方法。尽管这个领域的大多数课题还处于研究开发阶段，但是，它的临床应用前景是十分广阔的。

强功率聚焦超声进入医学领域后，使超声在治疗方面也取得了重要地位。超声手术、超声碎石已经广泛地进入临床应用，正受到越来越广泛的重视。近年来超声治癌又因其具有一些其它方法无法比拟的优点，对其临床治疗作用的研究已越来越引起人们的关注。这说明，在医学领域内，超声不仅已成为重要的诊断手段，而且也将成为重要的治疗手段。

超声与生物体组织相互作用的问题一直是生物医学领域的重要研究内容，在这方面还存在着许多奥秘，甚至有一些是与生命科学相联系的。揭示这些奥秘可能具有重大的科学意义。

目前，生物医学超声工程所包括的内容大致可以表1-1的