

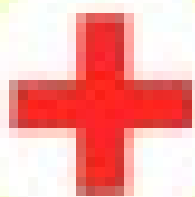
张俊发 主编
郑守瑾 主审

微波医学



西南交通大学出版社

建设区学



微波医学

主编	张俊发	南京铁道医学院
主审	郑守瑾	南京铁道医学院
编者	王世顺	南京邮电学院
	汪培进	机械电子工业部 第十四研究所
	张俊发	南京铁道医学院
	翁庆洁	南京铁道医学院

西南交通大学出版社

(川) 新登字 018 号

内 容 简 介

微波技术与医学紧密结合,形成了微波医学。微波医学是从 80 年代形成、近年来受到国际、国内学者的高度重视且得到迅速发展的一门新兴的边缘学科,是生物医学工程学的一个组成部分。

本书系作者根据自己多年的临床实践,参考国内、外大量文献编著而成的,书中比较系统地介绍了微波在医学中的应用。内容主要有微波的基本理论;生物医学效应;微波治疗仪和微波诊断仪;医用微波辐射器;微波辐射疗法;微波针灸疗法;微波组织凝固疗法以及微波治疗恶性肿瘤等共 11 章。该书内容新颖,论述深入浅出,且理论联系实际,面向医学临床。同类专著尚少问世。

本书可供临床各科医务人员、微波工作者、医学院校及其他大专院校有关专业的师生阅读和参考。

微 波 医 学

张俊发 主编

*

西南交通大学出版社出版发行

(成都 九里堤)

新华书店经销

西南交通大学出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 6.5625

字数: 128 千字 印数: 1500 册

1993 年 7 月第一版 1993 年 7 月第一次印刷

ISBN7—81022—512—X/R·011

定价: 7.00 元

前 言

微波医学是一门新兴的医用电子科学。电子学的突飞猛进推动了现代医学的阔步前进，微波作为一种崭新的能源形式已经异军突起，随着微波技术的高速发展，微波在医学中的应用日益广泛，并孕育和产生了微波医学。微波医学是生物医学工程学中的一名引人注目的新成员。

目前，微波理疗已趋向普及，微波诊断疾病也初露光芒，微波针灸使我国古老的针灸术焕发出青春的魅力，微波手术的适应证日益扩展，治愈的病种日见增多，微波加温疗法继手术、放疗、化疗后已成为第四种治疗恶性肿瘤的手段，微波在医学卫生中的应用日新月异、令人瞩目，所有这些都显示出微波医学具有不可估量的潜在生命力。

本书编者根据多年的教学、临床和科研经验，对微波的基本理论与生物学效应，微波诊断仪与治疗机的原理、性能和使用方法，各种医用微波辐射器、微波辐射疗法，微波针灸疗法，微波组织凝固疗法，微波治癌及微波在医疗卫生中的其他应用等作了较全面、系统的介绍。

全书共分十一章，第一、二、十一章由王世顺同志编写，第三、四、五章由汪培进同志编写，第六、七、十章由翁庆洁同志编写，第八、九章由张俊发同志编写，全书由郑守瑾同志主审并润色。

微波医学是一门正在蓬勃发展的边缘科学，目前尚处于摇篮时期，迄今专著甚鲜。为应教学参考及临床使用之急，仓促撰写本书，加之水平有限，挂一漏万和错误之处在所难免，

祈望广大读者不吝指正，以便再版时修订。

铁道部教育司、南京铁道医学院以及西南交通大学出版社的各级领导的大力支持和辛勤劳动使本书得以尽快与读者见面。在此一并表示衷心感谢。

张俊发

识于南京铁道医学院

1993. 6. 1

目 录

第一章	微波基本理论	1
第一节	概 述	1
第二节	微波的特点	2
第三节	电磁场与电磁波	3
第四节	微波传输线	21
第五节	几种医用微波元件性能简介	31
第二章	微波生物学效应	35
第一节	生物组织的电特性	35
第二节	微波在生物组织内的传播	36
第三节	微波致热效应	45
第四节	微波非致热效应	49
第五节	微波对人体某些系统和器官的影响	51
第三章	微波治疗仪	55
第一节	概 述	55
第二节	微波治疗仪的基本组成	56
第三节	微波治疗仪的微波系统	60
第四节	微波治疗仪的测温系统	61
第五节	微波治疗仪的自动保护电路	63
第六节	微波治疗仪的使用与维护	66

第四章	微波诊断仪	74
第一节	微波肺水肿、肺气肿诊断仪	75
第二节	微波监护系统	77
第三节	微波热图仪	78
第四节	微波癌症早期诊断仪	82
第五节	微波图像诊断仪	86
第五章	医用微波辐射器	88
第一节	医用微波辐射器的性能要求	88
第二节	医用微波辐射器的功能与用途	90
第六章	微波辐射疗法	101
第一节	微波辐射疗法的特点	101
第二节	微波辐射疗法的原理	102
第三节	微波辐射疗法的技术	104
第四节	微波辐射疗法的临床应用	109
第五节	分米波辐射疗法	125
第六节	毫米波辐射疗法	127
第七章	微波针灸疗法	131
第一节	微波针灸技术	131
第二节	微波针灸的临床应用	134
第八章	微波组织凝固疗法	139
第一节	概 述	139
第二节	MTC 在内科的应用	140

第三节	MTC 在外科的应用	152
第四节	MTC 在妇科的应用	161
第五节	MTC 在口腔科的应用	167
第六节	MTC 在耳鼻咽喉科的应用	169
第七节	MTC 在皮肤科的应用	169
第九章	微波治疗恶性肿瘤	171
第一节	概 述	171
第二节	微波抗肿瘤的生物学基础	173
第三节	微波治疗恶性肿瘤的临床应用	177
第十章	微波在医学卫生领域中的其他 应用	182
第一节	微波用于消毒灭菌	182
第二节	微波用于病理、免疫检验技术	183
第三节	微波用于冷藏医用品的解冻、 升温	184
第四节	微波在计划生育工作中的应用	185
第五节	其 他	186
第十一章	微波电磁场的防护	187
第一节	微波的卫生标准	187
第二节	微波辐射的医疗防护	193
参考文献		197

第一章 微波基本理论

第一节 概 述

微波是指波长在 $1\text{m} \sim 1\text{mm}$ 范围的电磁波。根据频率 f 、波长 λ 和电磁波在真空中的传播速度 c 间的关系 $f\lambda = c$ 可知,微波所对应的频率范围大约在 $300\text{MHz} \sim 300\text{千 MHz}$,所以微波是频率非常高的电磁波。

在整个电波谱中,微波的低频端和无线电波的超短波波段相连接,而其高端则与红外线的远红外波段相接。微波波长比中短波波长短得多,但又比可见光的波长要长得多。因此,微波的频率比中短波的频率高得多,而比可见光的频率低得多。微波具有一系列不同于中短波和光波的特点,因而其应用领域、研究方法、所用的传输系统、元器件、测量装置等也都不同于别的波段。

在工程领域里有用拉丁字母表示微波常用波段的习惯,微波常用波段代号及其标称波长如下:

波段代号	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>C</i>	<i>X</i>	<i>Ku</i>	<i>K</i>	<i>Q</i>
标称波长(cm)	22	10	5	3	2	1.25	0.8

为使用方便,按照波长的长短将微波波段分为分米波、厘米波和毫米波。电磁波谱和微波波段的划分见表 1—1。

表 1—1 电 磁 波 频 谱

名		称	波长范围	频率范围
电 磁 波	无 线 电 波	超长波	$\geq 10\text{km}$	$\leq 30\text{kHz}$
		长 波	$1\sim 10\text{km}$	$30\sim 300\text{kHz}$
	中 波	$100\sim 1000\text{m}$	$300\sim 3000\text{kHz}$	
	短 波	$10\sim 100\text{m}$	$3\sim 30\text{MHz}$	
	超短波	$1\sim 10\text{m}$	$30\sim 300\text{MHz}$	
	微 波	分米波	$1\sim 10\text{dm}$	$300\sim 3000\text{MHz}$
		厘米波	$1\sim 10\text{cm}$	$3\sim 300\text{GHz}$
毫米波		$1\sim 10\text{mm}$	$30\sim 300\text{GHz}$	
亚毫米波		$0.1\sim 1\text{mm}$	$300\sim 3000\text{GHz}$	
红 外 线	远红外	$25\sim 1\text{mm}$		
	中红外	$2.5\sim 25\mu\text{m}$		
	近红外	$0.76\sim 2.5\mu\text{m}$		
	可 见 光		$4000\sim 7600\text{\AA}$ ($0.4\sim 0.76\mu\text{m}$)	
	紫 外 线		$30\sim 4000\text{\AA}$	
	x 射 线		$0.01\sim 30\text{\AA}$	
	γ 射 线		$0.01\text{\AA}$ 以下	

第二节 微波的特点

微波波长很短，与普通物体（如建筑物、飞机、军舰等）的尺寸相比要小得多，因此，当微波波束照射到这些物体上时会发生显著的反射，其传播特性与几何光学相似，因而具有直线传播的似光性。利用这一特点，在微波波段能制成体积小、方向性强的天线系统，从而促进了雷达、通信、导弹制导、微波医疗等技术的发展，后者包括各种性能优良、供

局部加热的医用微波辐射器、微波诊断仪、微波透视仪等。

微波频率高，振荡周期短（例如 10^{-10} 秒），与电真空器件中电子渡越时间具有相同的数量级。因此普通电子管不能用作微波振荡、放大和检波等器件，而必须采用微波电子管。它在原理和构造上都与普通电子管有很大差别，如微波治疗机中的磁控管就是其中的一种。

微波能穿过电离层传播。对于人类来说，是无线电波谱中的一个“宇宙窗户”——为宇宙通信、导航、定位以及射电天文学的研究和发展提供广阔前景。

微波能深入物质内部，与物质产生相互作用。在磁化铁氧体中，电子进动频率正好落在微波频段。而在另一些物质中，原子的能级跃迁则将辐射或吸收微波。这表明微波与物质内部的运动有着紧密的联系。因此，利用微波与这些物质相互作用能有力地促进微波技术的发展。微波与物质相互作用的另一个特点是热效应。一些物质，包括人体组织，吸收微波后可局部发热，这正是微波加热和微波热疗的基础。

微波具有许多独特的特性，因而微波技术不仅在国防上有着重要的作用，而且在科学研究、工农业生产、医疗卫生等方面也都可以广泛应用。微波技术与其它科学技术相互结合，不断产生出新的科学技术。医用微波技术就是微波和医疗卫生相结合的一种边缘技术。

第三节 电磁场与电磁波

电磁场包括电场与磁场，而电场又包括静电场和交变电场。

一、静电场

由静止电荷形成的场称为静电场。它是一种物质，并具有力的作用，并服从于库仑定律。详述如下。

1. 库仑定律

物质是由原子组成的，而原子又是由原子核和绕核旋转的电子组成。原子核带正电荷，电子带负电荷，在通常情况下，原子核所带正电荷的电量等于电子所带负电荷的总和，因此不呈现带电现象。当两个物体互相摩擦时，一个物体失掉一些电子而带上正电，另一个物体得到了电子而带上负电。

实验证明，两种同性电荷互相排斥，两种异性电荷相互吸引，这就说明，电荷间有相互作用的力。通过大量的实验，得出如下的结论：两个点电荷间的作用力，其大小与它们所带电量的乘积成正比，与它们间距离的平方成反比。这就是库仑定律，用公式表示为：

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi r^2 \epsilon} \quad (1-1)$$

式中 q_1 、 q_2 为两个点电荷的带电量（单位：C）；

r 为两个点电荷间的距离（单位：m）；

ϵ 为电荷所在介质的介电常数，真空的介电常数

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{F/m};$$

F 为电荷间的作用力（单位：N）。

两个电荷相互作用时，彼此受到的作用力大小相等，但它们受力的方向不同。如果两个是同性电荷，则受力方向沿两电荷的连线向外，表示排斥力，这就是同性相斥。如果两个是异性电荷，则受力的方向沿两电荷的连线向内，表示吸引力，这就是异性相吸（图 1—1）。

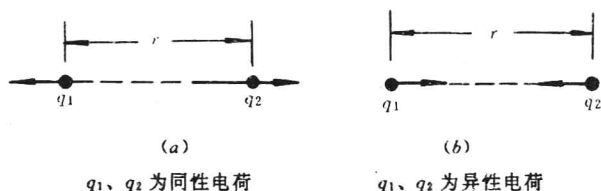


图 1—1 电荷间的作用力

2. 电场强度

两个电荷彼此没有直接接触，那末两个电荷所受到的力是怎样传递给它们的呢？实验证明是通过电荷周围存在的某种物质来传递的，这种物质就是电场。

电荷周围必定有电场，一个电荷有它的电场，这个电场给另一个电荷以力，另一个电荷也有它的电场，这个电场给前述的那个电荷以力。我们知道，力只有通过物质才能彼此作用，所以电场是一种物质。

上面讨论的是假设电荷相对于地球是静止的，相对静止的电荷产生不随时间变化的电场为静电场。实际上，随时间变化的电荷也产生电场，这个电场也将随时间变化而变化，即所谓交变电场。

表示电场特性的基本物理量是电场强度 E 。一个单位正电荷在电场中某点所受的力称为该点的电场强度。因为力不仅有大小，还有方向，即力是个矢量，所以电场强度也是矢量。可以表示为：

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1-2)$$

式中 q 为正电荷的电量 (单位: C);

$\vec{F}$ 为正电荷 q 在电场中受到的力 (单位: N);

$\vec{E}$ 为电场强度 (单位: V/m)。

因此, 位于均匀介质中点电荷 q_1 在距离它为 r 的某点产生的电场强度为:

$$\vec{E} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon r^2} \vec{r}_0 \quad (1-3)$$

式中 $\vec{r}_0$ 为点电荷 q_1 到计算电场强度那一点的单位矢量。显然, 半径为 r 的圆周上, 各点电场强度大小相等。如果 q_1 为正电荷, $\vec{E}$ 和 $\vec{r}_0$ 的方向就一致; 若 q_1 为负电荷, $\vec{E}$ 和 $\vec{r}_0$ 的方向就相反。

如果有多个点电荷, 则某点电场强度为各点电荷在该点产生电场强度的矢量和, 即

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \cdots + \vec{E}_n \quad (1-4)$$

为了形象地描述电场强度在空间变化的情况, 可以在电场里画出一系列曲线, 曲线上各点的切线方向与各该点的电场强度方向一致。以这些曲线的密疏表示电场强度的强弱, 这些曲线就叫电力线。两个等值异号和等值同号的点电荷其电力线分布如图 1-2 所示。

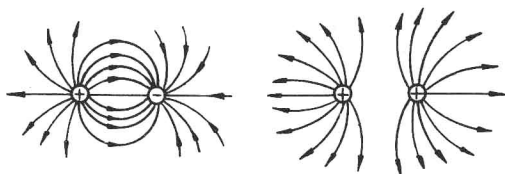


图 1-2 两个等值点电荷的电力线

通过以上分析，可以得出两个结论：

(1) 在静电场中，电力线从正电荷出发到负电荷终止，它们不是闭合曲线。但在交变电场中，电力线是可以闭合的。

(2) 电场里任一点只有一个电场强度，所以通过电场里每点只能作出一条电力线，电力线间彼此不相交。

3. 电位移

电场强度是描述电场的物理量，它与电荷所在的介质有关，在研究电介质里的电场时，引出另一物理量，叫做电位移矢量 $\vec{D}$ ，其大小与介质里的电场强度成正比，它的方向在一般介质里与电场强度方向相同，用公式表示为：

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (1-5)$$

对于点电荷，有

$$\vec{D} = \frac{q}{4\pi r^2} \vec{r}_0 \quad (1-6)$$

(1-6) 式表示电位移仅是电量和位置的函数。

和电力线一样，在电场里也可以作电位移线，同样用它的密疏来表示电场中电位移矢量的大小。

(4) 电位和电位差

由于电荷在电场里要受力的作用，因此把一个电荷移进电场中就要用力，移一段距离就要做功。于是我们把单位正电荷从无穷远移到电场中的某一点，外力 F 所做的功叫做电场在该点的电位。它表示该点位能的大小。由于外力 F 与电场力大小相等、方向相反，而单位正电荷所受的电场力正好等于电场强度 E ，所以电场中某一点 A 的电位 v 为

$$v = - \int_{\infty}^A E \cdot dl \cdot \cos\alpha \quad (1-7)$$

式中 α 为移动单位正电荷所走路径 $d\mathbf{l}$ 的方向与该点电场强度矢量 $\mathbf{E}$ 间的夹角。在无穷远处电荷不受电场力的作用，其电位为零。移近一些，外力要做一些功，那里的电位就高一些，越往里移，外力做功越大，那里的电位就越高。电场里电位有高低，其任意两点间就有电位差或称有电压。设 A 点电位为 v_A ， B 点电位为 v_B ，且设 $v_A < v_B$ ，则 AB 两点间的电压为：

$$v_{AB} = v_A - v_B = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \cdot \cos\alpha \quad (1-8)$$

电压的单位为伏特。假设 1 库仑电量的电荷从电场里一点移到另一点所做的功为焦耳，则这两点之间的电压就等于 1 伏特。

在工程上，还存在这样的面，在该面上各点电位相等，各点间没有电位差，亦即各点间没有电压，则该面称为等位面。

二、磁 场

实验证明，将小磁针靠近永久磁铁时小磁针会发生转动，在纸板上放些铁屑，并将纸板放在永久磁铁上面，铁屑会排列成线状。实验证明，通有恒定电流的导线，小磁针靠近它时也会发生转动，当放着铁屑的纸板穿过通电导线时，纸板上的铁屑也会形成一圈圈的条纹形状。这些都说明铁屑和磁针受到了力的作用，这个力是通过磁场传递的，也就是说，永久磁铁和流过电流的导线周围产生磁场。永久磁铁的原子分子里存在着环形电流，这种环形电流使每一物质微粒都成为一个磁体。而在一般物质里，各个物质微粒的环流方向很紊乱，各不相同，它们形成的磁场彼此抵消，因此不显出磁