

# 微波的危害及微波防护膜的研究

陶松垒<sup>1</sup>, 李未材<sup>1</sup>, 陶钧炳<sup>2</sup>, 杨 洁<sup>1</sup>

(1. 浙江科技学院 土木工程学系, 浙江 杭州 310012; 2. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

**摘 要:**从近期的国内外研究报告看出,人们对微波生物效应有了新的认识。为了消除微波对人体辐射的不良影响,笔者研究了有效的防护措施,提出一种由微波吸收材料和微波反射材料组成的防护膜,设置在微波源与保护主体之间。经实验测得手机上采用微波防护膜后,防护区域微波辐射场强可降至  $5\mu\text{W}/\text{cm}^2$  以下,符合国家的卫生标准,有效地解决了微波辐射的危害问题。

**关键词:**微波生物效应; 辐射防护; 手机微波

**中图分类号:** X591

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-8798(2003)01-0027-06

微波是电磁波中的一个特定波段,一般指频率为 300 MHz 至 300 GHz,亦即波长从 1 m 至 1 mm 的电磁波。随着微波技术在广播、电视、通讯、科技和国防领域中应用的日益广泛,信息传输、无线电工具已成为人类文明生活不可缺少的伴侣,从而也使整个生物界沉浸在人为电磁辐射环境之中,因此,微波辐射对受照者及其后代的不良后果引起了公众深切的关注。有关微波生物学效应研究的文献甚多,但这些研究所得的结果分歧很大,其焦点在于低强度微波辐射是否存在有害的生物学效应。然而,尽管学者们观点各异,有一点还是较为一致的,即人体中枢神经对微波辐射最为敏感<sup>[1]</sup>。本项目从微波的生物效应和材料的微波特性入手,从多种方案中筛选出最佳防护材料和方法,研究手机微波对人体的辐射问题,微波作业人员 and 过敏人群的衣帽服饰问题,靠近微波发射源建筑物的微波防护问题等,研究有效实用的微波防护方法、制成微波防护薄膜及手机微波防护器,从而有效地解决微波对人体的不良生物效应。

## 1 微波的危害

### 1.1 微波热效应

自 19 世纪中叶物理学家麦克斯韦、赫兹等人提出并证实了电磁场有关理论后,人类开始了对电磁波造福人类的应用研究,无线电通讯应运而生,并从军事走向民用。直到 20 世纪 30 年代,人们才发现经常接触微波的人群中,出现有失眠、头痛、乏力、心悸、记忆力减退、毛发脱落及白内障等症候群。经研究才知一定强度的微波辐射会对人体造成不良影响。50 年代各国相继建立了安全标准,但那时被认为有问题的仍是显而易见的微波热效应。

### 1.2 微波非热效应

70 年代以来,从相继发表的研究报告表明,低强度微波的非热作用对人体引起的不良影响,更是当今社会的一大公害。微波的非热效应,是指电子在生物体内细胞的分子中间移动,扰乱了生物体的电反应而

---

收稿日期: 2002-12-25

作者简介: 陶松垒(1957—),男,浙江宁波人,高级工程师,有突出贡献的中青年科技人员,从事环保工程、微波防护方面的教学和研究。

引起的作用,或者说人体在反复接触低强度微波照射后,温度虽无上升,但造成机体健康的损害。实验和病理学调查发现,这种非热作用对人体的健康影响比较广泛,能引起神经、生殖、心血管、免疫功能及眼睛等方面的改变。长期低强度射频电磁辐射非致热效应,对动物神经、内分泌、膜通透性、离子水平等都有影响,也有报告认为能引起 DNA 损伤、染色体畸变等<sup>[2]</sup>。

### 1.3 低强度微波对人体的危害

(1)对中枢神经系统的影响 主要表现为神经衰弱症候群,其症状主要有头痛、头晕、记忆力减退、注意力不集中、睡眠质量降低、抑郁、烦躁等<sup>[3]</sup>。实验发现微波辐射能使大鼠脑组织耗氧率减慢一半,反映大鼠脑组织氧代谢能力减弱,耗氧能力下降<sup>[4]</sup>。从实验能观察到小鼠下丘脑的超微结构改变,线粒体变化明显。出现线粒体肿胀、融合和变形;脊缺损、断裂及空化等,主要表现为线粒体结构受损<sup>[5]</sup>。部分脑区脑电总量降低,脑电峰值能量明显下降。下丘脑海马琥珀酸脱氢酶含量明显下降<sup>[6]</sup>。国外有学者也指出,脑的呼吸链和氧化磷酸化对电磁波辐射是很敏感的指标。较低强度微波辐射对下丘脑超微结构的改变,结果在神经元未显示粗面内质网等细胞器形态改变前,首先表现线粒体膜的轻度不完整。

(2)微波对眼的影响 有关微波对眼部的损害,无论是职业接触人群流行病学调查还是动物试验方面,国内外均已有大量的报道。一般认为,因晶状体本身无血管组织,故成为微波造成热损伤的敏感部位。长期在低强度微波环境中工作,也可使眼晶状体混浊、致密、空泡变性,且与接触时间成比例。有学者认为,低强度微波致眼损伤的机理可能是微波的长期蓄积作用、非致热作用或联合作用所致<sup>[7]</sup>,也有学者认为微波使晶体渗透压改变,房水渗入晶体,抑制其核糖核酸合成而致晶体混浊等,加速晶体老化和视网膜病变,而对视力、眼晶状体损伤、眼部症状(如:干燥、易疲劳)有显著影响<sup>[8]</sup>。

(3)对循环系统的影响 低强度微波辐照对循环系统的影响国内已有大量的报道,且结果大致相同,主要表现为心悸、心前区疼痛、胸闷等症状及心电图异常率增加、窦性心动过缓加不齐、心脏束枝传导阻滞等,另外血压、血象、脑血流、微循环也会有不同程度的改变<sup>[9]</sup>。微波对心血管系统的影响,主要是因为微波辐照引起植物神经系统功能紊乱,以副交感神经兴奋为主,即使在低场强的情况下,这种影响仍然存在。而微波对脑血流的影响说明其所形成的电磁场可影响脑部血循环及血管功能,脑部经微波照射后,血管扩张,血流量增加、弹性血管管壁张力减低,血管紧张度增高,所以导致了脑血流图的一系列变化<sup>[10]</sup>。

(4)对免疫方面的影响 主要是抑制抗体形成,使机体免疫功能下降。微波的免疫效应与功率密度和暴露时间有关,功率密度较大时,短期暴露可刺激机体的免疫机能,长期暴露则抑制免疫;功率密度较低时,产生免疫刺激则需较长时间的暴露。另外,微波对机体免疫功能的影响还表现出累积效应<sup>[11]</sup>。

(5)对生殖机能的影响 国外有学者指出,用低功率的微波辐射怀孕大鼠,会导致小鼠出生后小脑浦肯野细胞的减少。此后,有不少学者以子代脑的形态和行为作指标,观察了微波辐射怀孕动物的致畸效应。也有对孕鼠辐射导致后代脑 AChE 活性下降的报道。国内也有许多非致热效应微波引起机体生殖系统危害的报道。低强度微波辐照的非热效应能影响精子细胞。实验发现  $5\text{ mW/cm}^2$  微波辐照对人精子的活动度、存活率及穿卵率影响显著<sup>[12]</sup>。微波辐照附睾或睾丸可导致雄性生殖细胞内多种酶活性的改变。有研究观察了微波照射男性志愿者睾丸,发现血清睾酮含量随照射时间的延长而显著降低,同时,黄体生成素显著上升,提示微波可损害睾丸间质细胞合成睾丸酮的功能<sup>[13]</sup>。另一项研究也发现雷达作业人员血清 17 羟-皮质醇和睾丸酮含量异常率高。

(6)对遗传方面的影响 新的研究还表明:微波会以别的方式影响生物细胞,破坏含有遗传信息的生物分子脱氧核糖核酸(DNA),破坏染色体结构。

## 2 微波防护的方法

由于微波几乎是直线辐射的,在传播时,它的衰减程度与传播距离的平方大致成反比关系,要求尽量让保护主体远离微波源。由于微波的积累效应的存在,就要尽量缩短接触照射的时间,在无法避免的场合,在微波源与保护主体之间设置防护膜,使保护区域的微波场强小于国家卫生标准所规定的限值,达到



安全防护的目的。

微波防护膜如图 1 所示,由微波反射材料、吸收材料、表面涂层和纸垫层复合而成。反射材料采用电阻率较低的金属箔膜或丝网组成,如采用铝箔和黄铜丝网。吸收材料采用粘胶剂和石墨组成。将复合材料制成厚度小于 0.5 mm 的薄膜,设置于保护主体与微波发射源之间,如可设置于手机的外壳,手机套上,也可设置在衣帽上,建筑物上,使保护主体与微波源相隔离。

3 手机微波的防护

3.1 手机微波的特点

目前,常用的手机微波辐射场强值为 600~3 000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ,频率 890~960 MHz,其能量以 217 Hz 脉动式重复速率传输。由于其频率高,波长短,作用于生物体时不是持续的场能而是脉冲式的波能,因此,对生物体的影响更大。我国《作业场所微波辐射卫生标准》<sup>[14]</sup>(GB 10436—89)规定微波辐射场强值应小于 50  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ,《环境电磁波卫生标准》<sup>[15]</sup>(GB 9175—88)规定微波辐射应小于 40  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。可见,手机微波超出标准允许限额的 10 多倍,而且手机紧贴人脑边使用,未雨绸缪,防患于未然是十分必要的。

3.2 防护主体

微波的波长、强度、辐射源的性质及与保护主体的关系,决定了微波的被吸收、反射、折射、透射的情况。若被完全透射或反射,则对保护主体无多大影响。只有当微波辐射穿透组织并被吸收时,才发生生物效应。组织穿透深度与波长即频率有关,随着频率的增加,波长变短,穿透深度也减低。一般来说,微波频率在 20 000~30 000 MHz 以上的,则在表层吸收;1 000~3 000 MHz 的微波,可在浅层吸收;1 000 MHz 以下的,可穿至组织深层被吸收<sup>[16]</sup>。手机微波正是处于能穿至组织深层被吸收的频段。由于微波照射于人的体表时,大部分能被反射出去,反射的程度取决于照射部位表面脂肪层厚度,有脂肪层保护的组织受损较小,所以,对脂肪层很少的头部、雄性生殖器和完全没有脂肪的眼睛、耳朵更应加强保护措施。而且微波的生物效应大都是对头部照射所引起的,因此,我们把头部作为保护主体。

3.3 设计思想

在微波发射源与保护主体之间设置一道防护屏障,就可以阻隔微波进入主体,但同时又要使手机的信号和其他功能不受影响。如图 2、图 3 所示,将防护膜设置于手机上,这样,让保护主体与微波的发射源相隔离,人体不在微波场内,微波的热效应和非热作用所起的不良影响也就不复存在。

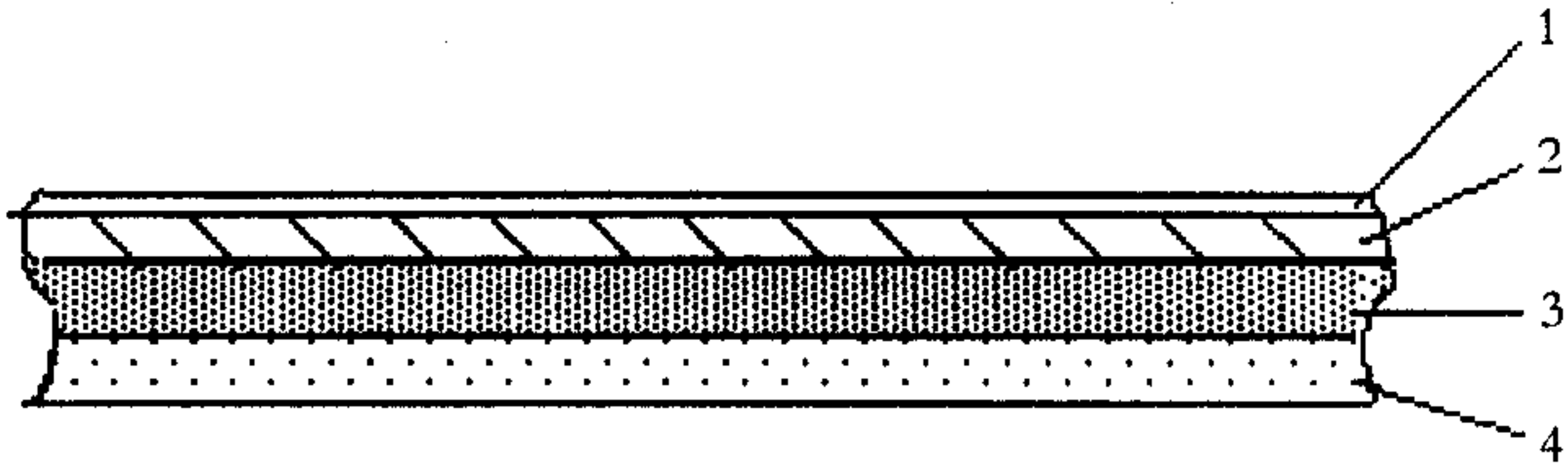


图 1 防护膜结构示意图

1 表面涂层; 2 反射材料; 3 吸收材料; 4 纸垫层

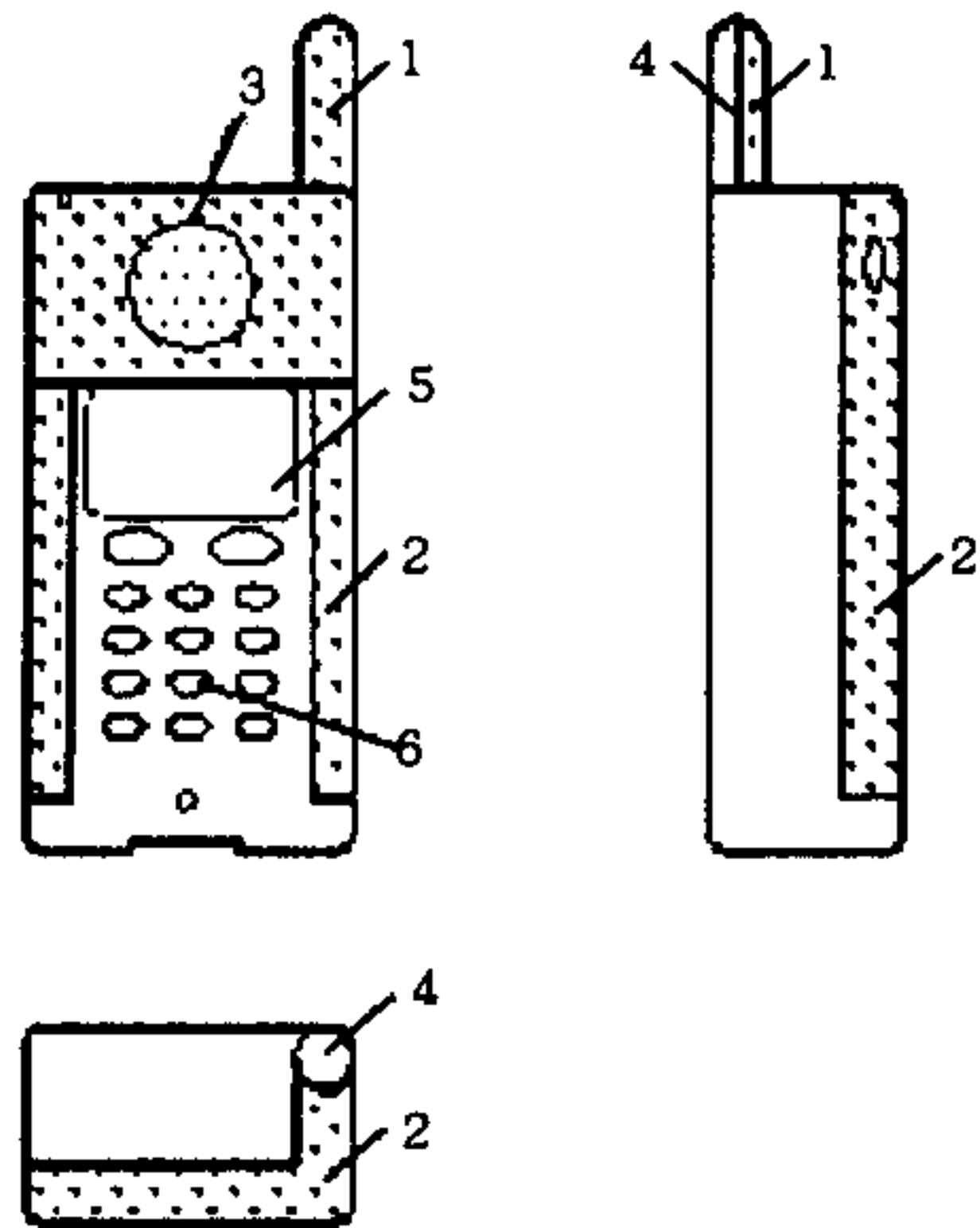


图 2 手机微波防护装置

1 天线档片; 2 封边条; 3 耳孔罩; 4 天线;  
5 视屏; 6 键盘

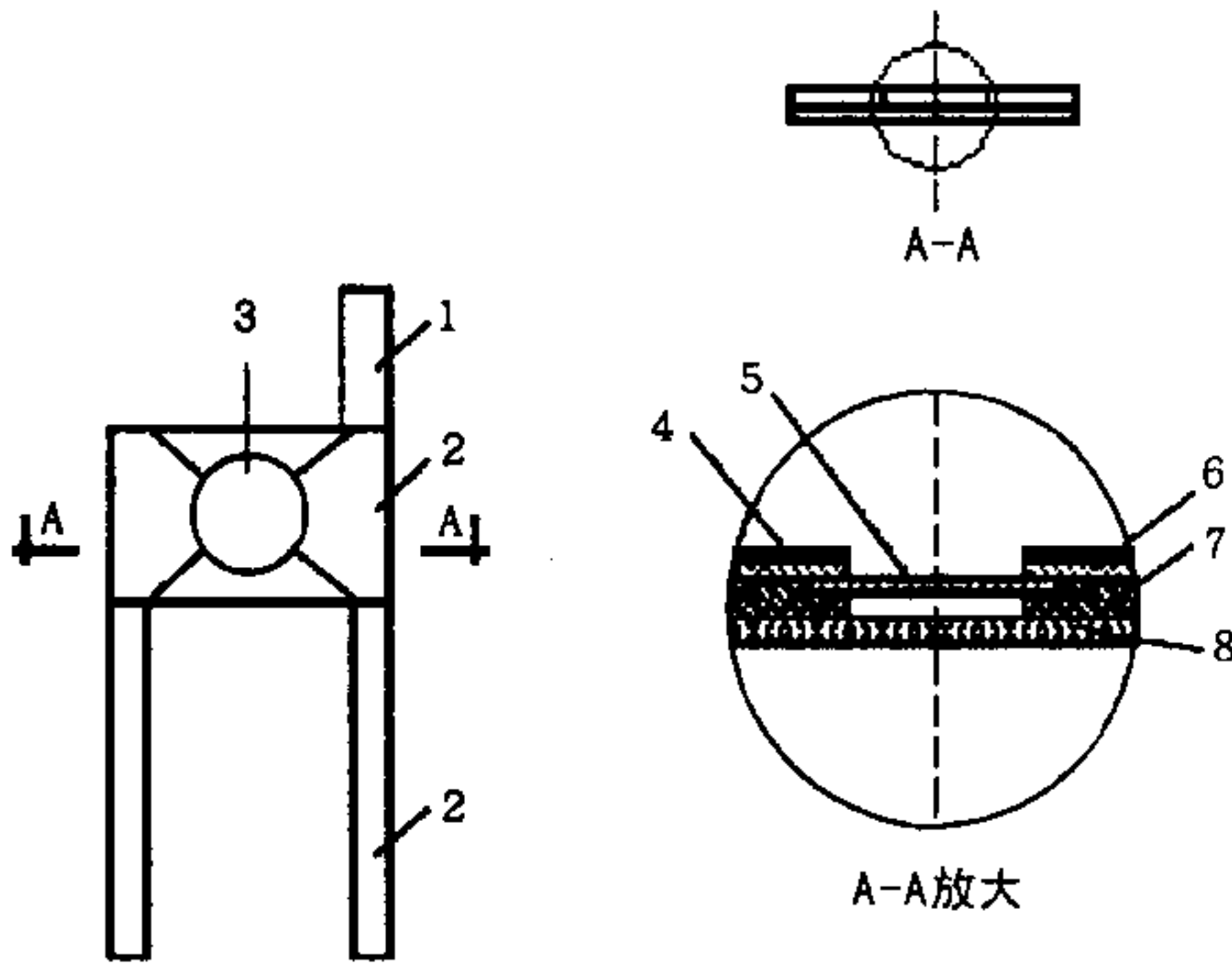


图 3 耳孔处结构

1 天线档片; 2 封边条; 3 耳孔罩; 4 防护膜;  
5 金属丝网; 6 金属箔膜; 7 胶质层; 8 纸垫层

3.4 防护方式筛选

被测手机为西门子 0168X 型, 防护样品有: 耳孔罩 20 种, 天线档片 18 种, 防护套 12 种, 防护材料 22 种。测试仪器为美国 Narda 8700 场强仪。实验目的是筛选出最有效的防护材料及方法。实验方法是将手机竖立固定于实验桌某点, 反复拨通外地某特定电话, 用场强仪检测手机靠近人脑一侧有关各点的微波辐射强度, 在 3~5 s 采样时间内读取最大值。场强仪探头至手机外壳的距离为 2.6 cm, 如图 4 所示。依次对手机在无防护及采用不同防护材料和方法防护的情况下进行检测, 并对防护效果最佳的手机进行通话实验。实验结果如表 1 所示。

表 1 防护材料和方法实验结果				mW/cm <sup>2</sup>
防护措施	<i>n</i>	耳孔前 ( $X \pm S$ )	屏幕前 ( $X \pm S$ )	键盘前 ( $X \pm S$ )
无防护	6	0.145 ± 0.01	0.095 ± 0.01	0.085 ± 0.01
小面积防护	10	0.105 ± 0.03 *	0.059 ± 0.026	0.071 ± 0.037
组合防护	6	0.025 ± 0.015 *	0.043 ± 0.052 *	0.048 ± 0.013
多重组合防护	6	< 0.005 **	< 0.005 **	< 0.005 **
<i>F</i>		44.45	4.007	2.56
<i>P</i>		< 0.0001	0.035	0.105

注: \* 有防护措施与无防护措施比较( $P < 0.05$ ), 用 Dunnett' t - test;  
\*\* 多重组合防护时, 场强仪读数均显示为 0.00。

实验结果表明, 单纯小面积的耳孔罩与天线档片等无明显防护效果, 只有用几种材料组合达到一定面积, 可使手机靠人脑侧的辐射大幅度下降至 0.005 mW/cm<sup>2</sup> 以下。这已完全符合国家卫生标准。对手机采用本实验探索出的最佳防护后, 与市内市外等处通话, 双方听感清晰, 与防护前无差异。

3.5 防护效果比较

测试仪器: 美国 Narda 8700 场强仪, MF10 型万用表; 被测手机: 西门子 0168X 型, Motorola microtac 型; 防护样品: R 型和 B 型手机防护套, T3 + R8 + Z10 手机贴。实验目的: 检测安装防护膜前后手机有关部位微波辐射场强的变化及防护效果。安装防护膜后, 对通话有无影响。实验方法同上, 实验结果如表 2 所示。

实验结果表明, 防护效果很明显, 可使手机靠人脑侧的辐射场强从 3.40 mW/cm<sup>2</sup> 降至 0.005 mW/cm<sup>2</sup> 以下。对手机配上防护装置后, 与市内市外等处通话, 声音清晰, 双方听感与不用防护装置时无差异。

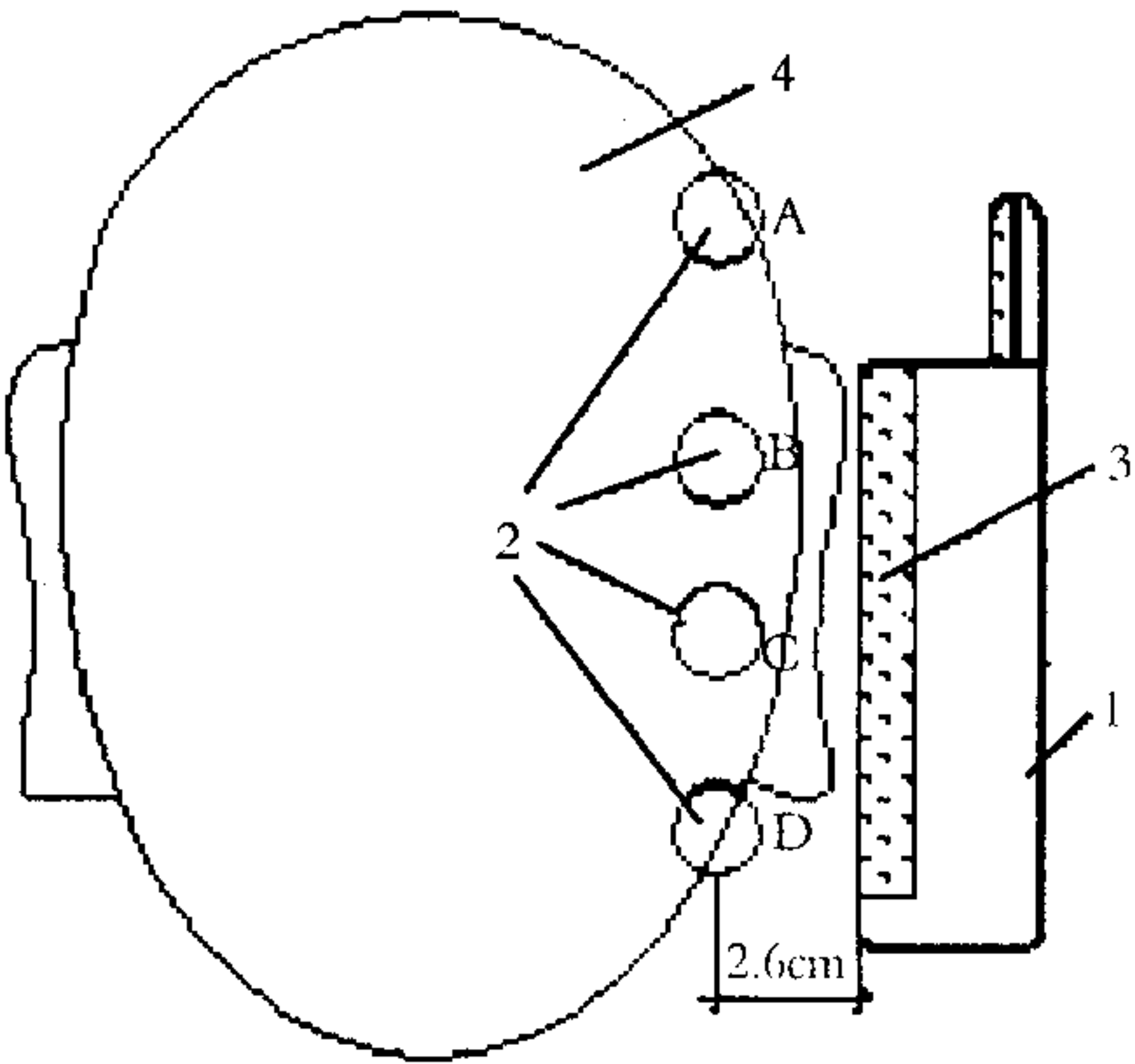


图 4 实验方法示意  
1 手机; 2 测试探头; 3 防护位置; 4 人头  
A 天线前; B 耳孔前; C 屏幕前; D 键盘前

表 2 防护效果比较实验结果

防护材料及方法		测试位点场强/(mW · cm <sup>-2</sup> )			
		键盘前(D)	屏幕前(C)	耳孔前(B)	天线前(A)
摩托罗拉 microtacII 型手机	无防护手机	0.94 ~ 1.40	0.41 ~ 1.56	1.61 ~ 3.40	5.19 ~ 7.89
	防护膜	< 0.005 ~ 0.01	< 0.005 ~ 0.01	< 0.005	< 0.03 ~ 0.04
西门子 0168X 型手机	无防护手机	0.07 ~ 0.10	0.08 ~ 0.18	0.16 ~ 0.17	0.15 ~ 0.39
	套防护	< 0.005 ~ 0.02	< 0.005 ~ 0.02	< 0.005 ~ 0.02	< 0.005 ~ 0.02

以辐射功率密度大于或小于 0.04 mW / cm<sup>2</sup> 为有无微波辐射的界限, 采用 Fisher exact test 进行统计分析, 结果如表 3 所示。



表 3 防护效果比较结果

微波强度	摩托罗拉手机		<i>P</i> *	西门子手机		<i>P</i> *
	有	无		有	无	
无防护	16	0	0.001	32	0	0.001
有防护	0	16		0	32	

注: \* Fisher exact test

3.6 用户反应

经用户使用,效果明显,反应良好,装了防护器后不但声音清晰,信号正常,而且以前那种耳痛、眼燥、疲劳、脸部发热、头部麻木等不适感觉均有减轻和消失。

4 讨 论

(1)由于采用防护膜,并在结构上联成一体,形成多重防护,可以完全消除微波对人脑的辐射,使手机使用者处于安全状态。

(2)由于防护膜只设置于手机人脑侧,并不超过天线的二分之一部位,所以,不影响手机的信号和其他功能。由于采用了反射材料、吸收材料、表面涂层和纸垫层复合而成的材料,耳孔罩采用丝网或小孔膜片,不但能滤去一些杂波,而且使得天线增益。所以手机声音清晰,信号稳定。

(3)在无防护时,测试探头越靠近手机,场强值越大。实际上人们打手机时,手机紧贴耳朵使用,场强要大于上表。

(4)目前手机用户及微波发射台站的数量激增,全国现有手机用户 1.6 亿,并且仍在迅猛增加。推而广之开发微波防护薄膜在服饰、建筑物、微波发射台站等作业场所的微波防护任重道远,市场大。

5 结 语

微波防护膜能使防护区域辐射场强下降至  $5\mu\text{W}/\text{cm}^2$  以下,符合国家卫生标准,并具有体积小、质地柔、使用方便等优点,是同类产品中的最佳者,未发现国内外更先进技术和产品的报道。该产品申请了手提无绳电话防电磁波方法及装置<sup>[17]</sup>和手机微波防护器<sup>[18]</sup>两项专利,荣获全国发明展铜奖、银奖,全国优秀新产品金奖,王丹萍科技发明专项奖等。笔者将进一步研制微波环保防护膜的应用,从而有效解决微波的不良生物效应,对治理环境污染,提高人们的健康水平,有着积极的学术意义和社会经济价值。

参考文献:

[1] 姜 槐,姚耿东,周水云.不同强度和波形微波辐照对小鼠脑线粒体标志酶的影响[J].中华劳动卫生与职业病,1984,(6):347-350.

[2] 曹兆进,张洪桥,李双黎.中国射频微波电磁辐射生物学效应研究(综述)[EB/OL].<http://202.99.30.161/jkx/chinese/yth/wxzs.htm>,2001-11-08.

[3] 王少光,周安寿,杨文娟,等.比较微波与高频对人体健康危害的研究[J].中华预防医学杂志,1992,(2):112.

[4] 刘尊永.小功率(微瓦级)微波辐射对大鼠某些生理指标的影响[J].卫生研究,1989,(4):11-14.

[5] 陶松贞,李学荣,周扣珍,等.微波对大鼠大脑皮质神经细胞超微结构的影响[J].第四军医大学学报,1986,7(3):209-212.

[6] 浦京遂,陈 建.3 000 MHz 微波辐射对鼠脑电能量及脑组织酶的影响[J].航天医学与医学工程,1995,8(4):262-264.

[7] 戴淑芳,吴岚英,李 丽,等.微波作业人员眼部损害:六年动态观察[J].眼外伤职业眼病杂志,1994,16(2):87-89.

[8] 郭宝科,沈秦川.微波对眼损伤的调查和分析[J].眼外伤职业眼病杂志,1993,(2):118-120.

[9] 于素芳,孟 平.通讯微波对人体健康危害的调查[J].中国工业医学杂志,1995,8(5):285-286.

[10] 刘文魁,王为众,续中莲.高频微波辐射对作业人员脑血流图影响的探讨[J].职业医学,1985,(5):2-5.

[11] 邵斌杰,汪行华,姜 槐,等.微波急性亚急性及慢性辐射对血液和免疫功能的影响[J].浙江医科大学学报,1986,15(5):193-197.

- ## Research of microwave harm and protection film

## Aesthetics value of Chinese gardens architecture

**Key words:** gardens architecture; aesthetics value; China