

射频辐射防护技术 应用实例

赵玉峰 于燕华 肖 瑞 编著

劳动人事出版社

内 容 简 介

本书主要介绍各类射频设备的电磁屏蔽技术及其辐射污染治理措施, 这些实例均具有较好的防护效果, 对于迅速开展电磁防护有着普遍的实用意义。

本书根据理论与实际相结合的原则, 对各种技术措施作了扼要的评论。本书内容简明、实用、针对性强, 可供从事劳动保护、劳动卫生和环境保护的专业工作人员和工厂企业有关人员参考, 亦可作为有关院校劳动保护、环境保护教学参考书。

射频辐射防护技术应用实例

赵玉峰 于燕华 肖 瑞 编著

劳动人事出版社出版

(北京市和平里中街12号)

冶金印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 7.875印张 176千字

1985年3月北京第1版 1985年3月天津第1次印刷

印数: 1—2,000

书号: 15238·0103 定价: 1.95元

目 录

一、射频技术的应用	(1)
二、射频辐射与人体健康	(8)
三、射频辐射与引燃引爆	(16)
四、电磁辐射控制标准	(20)
五、电磁泄漏场源	(32)
六、电磁辐射强度测量	(38)
七、减少电磁泄漏的一般方法	(49)
八、电磁辐射污染的治理对策	(56)
九、微波漏能的抑制	(62)
十、个体防护	(71)
十一、箱式微波炉炉门结构设计与安全	(73)
十二、微波炉漏能抑制器的工程设计	(81)
十三、微波加热器的双重带皱抑制器	(101)
十四、防泄漏微波炉	(108)
十五、无漏能微波炉	(115)
十六、微波吸收材料及其应用	(118)
十七、雷达操作安全与防护	(124)
十八、导线干扰抑制措施	(127)
十九、电磁屏蔽室	(134)
二十、高频熔炼的电磁防护	(142)
二十一、外延炉电磁辐射的抑制技术	(151)
二十二、外延炉群的综合治理	(157)

二十三、银焊、铸靶工艺高频辐射的屏蔽技术措施	(160)
二十四、高频除气屏蔽装置	(165)
二十五、塑料热合机电磁辐射防护技术	(171)
二十六、塑印电火花冲击器电磁辐射的抑制装置	(179)
二十七、射频溅射仪的电磁抑制措施	(188)
二十八、高频淬火炉电磁辐射的综合防护措施	(194)
二十九、高频屏蔽体的多点接地	(211)
三十、高频淬火机床的球体屏蔽装置	(216)
三十一、高频焊管电磁防护	(222)
三十二、实施屏蔽后出现的异常现象及其防止办法	(226)
附录一、分贝 (dB) 与电场强度 (微伏/米、伏/米) 的换算	(228)
附录二、射频设备调查表	(237)
附录三、射频作业人员体检表	(238)
参考文献	(245)

一、射频技术的应用

随着电子工业的迅速发展，射频技术日益得到广泛的应用。其使用的波段如下：

（一）高频波段

在工业生产、无线电广播和无线电通讯等方面，都大量应用高频波段。

1. 工业应用。在工业中使用的高频波段，按其作用的性质，可分为两类：

第一类：感应加热。感应加热的原理是利用中、长波波段的高频电磁场能量，使导体或半导体本身发热。即将导体或半导体放在很强的高频电磁场内，受电磁感应生成感应电流，从而使导体或半导体发热，达到热加工的目的。

感应加热包括高频淬火、高频熔炼，以及高频焊接、切割等工艺。

高频淬火，就是将零件放在高频强电磁场内进行处理，淬火时，以高频电热设备作为加热源，把需要加工的零件放在感应圈内（或外）。当高频电热设备工作时，在感应圈近区形成强大的高频电磁场，零件表面在这个电场的频率振荡下，迅速发热而被烧红，同时热量还来不及传到金属内部。然后将烧红的零件置于水或油中，零件表面便被淬火，形成一个外表非常坚硬而金属的基本部分依然是“软”而不脆的零件。淬火层的厚度容易调整，只要改变一下振荡频率即可。

8610694

频率越高，淬火层越薄。

高频熔炼，就是将零件放在长形感应圈系统内，零件在高频强电磁场作用下，由于振荡的结果，零件迅速发热。在高频电流的较长时间作用下，便将零件熔化而达到加工的目的。

高频焊接、切割等工艺是利用高频电流引弧，将金属等被加工件焊接或切割。

第二类：介质加热。介质加热的原理是利用短波的高频电磁场能量，对非导体进行处理。非导体置于强电磁场内，其带正电与带负电的分子或原子，在交变电场的作用下，以这个电场的频率振荡。当偶极子极化结构极化时，极化了的分子被全部或局部扭转，以及某些极化区域内质点的重新排列，都将摩擦而引起发热，达到加工的目的。

物体的发热程度决定于物体的材质和产生交变电磁场的频率。

介质加热包括干燥木材、粮食、纸张、火柴、茶叶，烘烤面包，塑料加工等工艺。

2. 无线电广播。无线电广播的原理是：在播音室通过话筒将声音变成低频交变电流，也称为音频电流。然后将这个微弱的音频电流经放大器放大，成为较强的音频电流，并输送到发射机上。由广播发射机将音频电流变为高频电流，再通过馈线传输给发射天线，在天线周围形成高频电磁场。这种高频电磁波不集中在天线的周围，而是从天线向空间扩散，以波的形式传播出去，并带走天线从发射机那里取得的能量。同时高频电磁振荡把声音以载波的形式“携带”出去。电磁波以光速传播。

收音工作也是借助于接收天线来完成的。当无线电波到

达接收天线后，就在天线上激起高频电流，然后将高频电流转变为音频电流，就可以听到广播。

3. 无线电通讯。无线电通讯的原理类同于无线电广播。

(二) 超短波波段

超短波波段主要应用于无线电通信、电视、医学等方面。

无线电通信、电视的原理，与无线电广播的原理一样，这里不再叙述。

高频、超短波电流在医疗方面的应用也相当广泛。对某些病患，如坏疽病、关节炎等的治疗，可应用超短波所造成的强电磁场，促使体内分子振动加剧，使身体局部发热，达到治疗的目的。具体做法是：在发病部位的对应两面，放置两块金属极板，组成一个类似的电容器。在电容器上接超短波振荡器，以产生高频电流，引起体内分子发生迅速振动与摩擦，造成局部发热进行治疗。

(三) 微波波段

微波段主要应用于无线电定位、导航、雷达、无线电天文学、气象学和原子物理等方面。其应用原理系根据无线电波，能从各种物体上反射，更确切地说，无线电波能被这些物体散射的原理，并依据无线电波散射的作用，进行测量计算。

微波技术的应用已有三、四十年的历史了，如今已在工农业生产中得到比较迅速的发展。供工业、农业和医学使用的微波加热与干燥的频率规定如下表所示：

表1

工 农 业 使 用 频 率 表

工 作 频 率 (兆 赫)	波 段 名 称	中 心 波 长 (米)
433.92 ± 0.8678		0.6
896 ± 10	L	0.33
915 ± 25	L	0.33
2375 ± 50	S	0.122
2450 ± 50	S	0.122
5800 ± 75	C	0.052
22125 ± 125	K	0.008

微波技术主要应用于下述几个方面:

1. 农业应用。在农业生产上,微波的一个重要应用,是制造微波水份仪。它可以准确地测量各种谷物的含水成份,有利于粮食的储藏、加工和收购工作。

利用微波干燥谷物和种子的微波处理技术,则是它在农业生产上将要推广的另一项重要的应用。

利用微波御寒防冻,可以有效地保护植物。

在农业上,微波还可用来杀虫和灭菌。例如,微波对米象、锯谷盗等害虫,以及大麦条纹病、稻瘟病、霉菌、大肠菌等,均有很好的杀伤力和灭菌效果。

利用大功率微波照射土壤,进行大田除草和杀虫,实验表明可以保持效果一年。此法完全没有污染,对于消除公害有很大意义,是一种有发展前途的新技术。

2. 工业应用。

第一类:橡胶硫化与塑料生产。由于橡胶的导热性很差,常规加热时间长而且热量不容易透入其内部。利用微波,可以透入到橡胶内部进行加热,快速升温,使硫化时间缩短三分之一。微波加热在橡胶硫化等加工中具有明显的优越性。

近几年来，在塑料和聚合物生产方面应用微波的例子很多，例如：快速生产多孔性塑料；生产稳定热塑容器；用微波辐射聚合物薄膜与塑料；加热回收废旧塑料；焊接聚烯烃制品；对合成纤维实行热定型等等。随着多种聚合物及塑料制品的发展，微波能在这个领域内的应用必将得到进一步扩展。

第二类：杀虫与灭菌。用微波处理食品、谷物、药品、茶叶、烟草、纸张、皮革等，能起到杀虫与灭菌的作用。这是由于微生物在微波场中受到选择性加热而被杀死。实验表明：木材温度达到 50°C 以上时，就能把其中的甲虫全部杀死（杀死率100%）。因此，对原木和建筑物中的木结构部分，进行微波照射，可以起到杀虫防蛀的作用。

国内某厂，进行了香烟分别经微波加热与常规烘房焙烟处理后的微生物存活率实验，结果如下表所示：

表2 焙房干燥与微波干燥含菌数比较

干燥方式	干燥时间	含菌数 / 克
焙房干燥	4 小时	24
微波干燥	20 秒	10.5
微波干燥	30 秒	9.2
微波干燥	40 秒	21
微波干燥	50 秒	8.1
微波干燥	60 秒	3
微波干燥	80 秒	1.3

第三类：干燥去湿。利用微波加热干燥木材、粮食、胶片、纸张、皮革、烟草、化工试剂、中草药、药片等等，不仅效率高，而且质量好。例如，利用微波干燥皮革，是目前所有皮革干燥方法中最好的一种，效果比较见表3。

表3

各种方法干燥皮革比较

干燥方法	干燥时间	质 量
自然风干	36小时	I
真空干燥	7分钟	II
热风干燥	6小时	I
高频干燥(6兆赫)	14分钟	I
微波干燥(2450兆赫, 初始温度60%)	12分钟	I

注: I、II、III表示好、较好、差三类。

又如, 利用微波烘干中草药(黄柏、冰片、草乌、山药、生地、关节炎丸、养血安神丸、脑立清等)效果显著, 一般比常规干燥时间缩短几倍至几百倍。

第四类: 破碎岩石与混凝土。用微波加热来破碎岩石与混凝土的试验, 在我国已进行多年。这种破碎具有无声、无尘、无震动等优点, 很有发展前途。

微波破碎设备如图1所示:

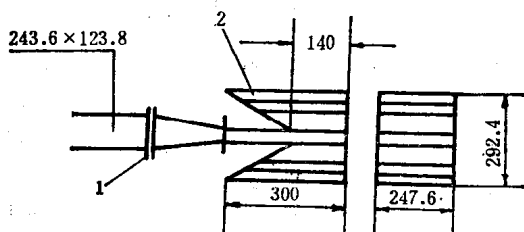


图1 微波破碎设备——辐射器

1—过渡波导, 2—短路板

波导管采用宽247.6毫米、高123.8毫米的标准波导。在照射口, 波导管的高度压缩至92.4毫米。照射口的两侧, 装置着对称的短路无源波导管(即图上标注的短路板)。应用

这种辐射器,能在很短的距离内,对岩石或混凝土进行照射。利用微波能的照射,使岩石内部瞬间受高热产生巨大的剪切应力,使岩石被破碎。为了保护磁控管,防止反射波进入管内,采用具有30万分贝隔离比的大功率环流器。

第五类:微波化学与微波等离子体。微波化学是利用微波加热作为热源,以促进某些化学反应的进行;同时,利用微波放电产生微波等离子体,可以促进、实现用其他方法难以实现的某些化学反应。例如,利用微波等离子体分解有毒化合物,比传统的高温焚烧炉法好,可以回收有用物质、成本低,而且无污染。有人预测,在微波化学方面,只要再投入一定的人力、物力,加紧研究,就可能出现较重大的突破,为微波技术的应用开辟一个全新的领域。

第六类:用微波快速测定含水量。利用微波可以对谷物、土壤、木材、烟草、茶叶、纸张等物质含水量进行测定,目前已研制成功多种物质微波测湿仪,或微波水份仪,微波在这方面有着广阔的应用市场。

第七类:食品方面。微波可以用来烧烤食物,抑制酶的作用,以延长食品的保存时间,保持质鲜。也可以用微波加工罐头、烤面包、炒花生米等。家庭微波炉在国外已较广泛使用,我国也正在研制中。

微波解冻则是另一个重要应用领域。

3. 医疗卫生。在医疗卫生中,微波可以用来诊断多种疾病,进行微波理疗等。由于微波具有选择性加热的特性,所以含水量多的组织(如肌肉、血液等)比含水量少的组织(如脂肪、骨头等)升温高、升温快,因此产生急剧的新陈代谢作用,扩张血管,加速血液循环。微波热疗对关节炎和风湿症特别有效。

在输血前用2450兆赫、1千瓦的微波炉对血液加温，1分钟内就可以从5℃升温到35℃，而对血液成份没有明显的影响。这对于紧急情况下大量输血有重要意义。

研究表明微波对癌症也有一定疗效。

二、射频辐射与人体健康

随着电子设备功率的不断提高，电磁能被广泛地应用在国民经济的各个部门和日常生活领域之中；与此同时，电气和电子设备已经成为人们社会生活的重要组成部分，促进了社会的发展。由于电磁能应用范围的不断扩大和利用能量的日益提高，存在于地球上的电磁波大幅度地增加，而且频带极宽。这种电磁波与宇宙杂波相比较，对人类的社会生活有着巨大的影响，人们发现这种电磁辐射给环境带来污染与危害，直接影响着人体的健康。

自从1940年以来，雷达系统；电视、广播与通讯系统；X射线装置以及激光器的数量，一直以神话般的速度发展着，有成千上万个电磁辐射场源在工作着。这些场源产生的电磁辐射充斥了整个环境，使每个人都身受其害。电磁辐射既隐秘而又难以捉摸，引起了许多国家和人们的极大重视，特别是对微波辐射引起了人们最大的关注。早在三、四十年代，美、日、联邦德国、苏联等国家，便着手研究电磁辐射对人体的影响以及防护问题。五、六十年代相继提出和制定了若干频段的电磁辐射安全卫生标准。苏联的早期研究工作集中在高频波段（中、短波）。他们通过研究，发现在高频电磁场的长期作用下，经受一定强度的暴露，作业人员和在

高强度作用范围内的其他人员，会产生一定不适症状与危害。后来，关于微波频段的研究则又进一步提出了电磁辐射的严重性问题。在美国，他们首先把主要力量放在微波频段，研究的基本目标是确定电磁辐射在不同条件下，对生物机体所产生的影响；估价任何危害的临床意义；确定消除这类危害的手段与措施。我国的研究工作开始于六、七十年代，特别是在七十年代，在高频、微波两大频段上开展了卫生学调查，探讨了安全卫生标准和近区场防护技术，并取得了一定进展。

（一）作用机制

1. 热作用学说。研究认为：射频电磁场强度超过一定限度时，能对人体健康产生不良影响，发生危害作用。在高频电流作业中，直接对工作者机体产生作用的，不是与高频电流本身的接触，而是由于电磁辐射作用的结果。这些电磁辐射是从事各种高频电流工作的外界环境中的特异性因素机体处在电磁场中时，人体内的分子发生重新排列。由于分子在排列过程中的相互碰撞摩擦，消耗了场能而转化为热能，引起热作用。此外，体内还有电介质溶液，其中的离子因受到场力作用而发生位置变化，当频率很高时将在其平衡位置振动，也能使电介质发热；同时，体内的某些成份为导体，比如体液等，在不同程度上具有闭合回路的性质，这样在电磁场作用下尚可产生局部性感应涡流而生热。由于体内各个组织的导电性能不同，射频电磁场对机体各个组织的热作用也不一样，这就是目前已经定论的致热作用学说。

通过上述关于作用机制的分析，我们不难看出，电磁场强度愈强，分子运动过程中将场能转化为热能的量值愈大，

身体热作用就愈明显、剧烈。即射频电磁场对人体的作用程度是与场强成正比的。因此，当射频电磁场的辐射强度在一定量值范围内时，它可以使人的身体产生温热作用，而有益于人体健康。这是射频辐射积极作用的一面。所以，在讨论电磁辐射的危害时，一定要建立强度（或剂量）的概念。不能笼统地讲凡是电磁辐射都有害，只是当电磁辐射严重时，也就是说当射频电磁场的强度超过一定限度时，才会使人体体温或局部组织温度急剧升高，破坏热平衡，从而危害人体健康。随着场强的不断提高，呈现出对人体的不良影响也必然突出。

研究结果还表明：电磁辐射的生物学活性，一般随着波长的减少而递增，即在强度一定的条件下，波长愈短（频率愈高），对人体危害愈严重，其规律是：微波>超短波>短波>中波>长波。

2. 非致热作用学说。这种学说正在发展着。实验表明：低强度的电磁辐射，在不引起动物热作用的条件下，动物的神经系统将产生功能性改变。这一结果强有力地预示着非致热作用的真实存在。

当电波作用于人体时，由于电波的场力作用，将出现严重干扰人体的生物电流。

在交变电磁场中，场力也是交变的。因此它将使人体的生物电场受到剧烈的干扰。

大家知道，在人体中存在有极发达的脑神经系统，它是集中于大脑又遍及于全身的、完整的、非常交杂的信息系统。它一面不停地进行生物化学——电过程；另一方面又及时地对各种信息进行接收、发送、传输、存取、变换、处理、加工……。因此，如果神经系统受到低电平电波场力作

用的干扰，就破坏了原来正常传输的信息，在一定程度上对神经起到兴奋作用，对人体各机能起到刺激、调节作用。但是，若继续加大照射电平，则将使信息受到严重干扰。

因为人体的“神经系统”是一个既复杂，又非常完善的控制系统。用控制方式来比喻：它既有一次控制系统（如医学上公认的神经系统），又有二次检测系统（假定是经络系统）。因此，受到干扰的“信息控制”在停止照射后，经过一段时间，可以由人体中两个控制系统自行对比、检测、纠正。但是若在一定强度下长时间反复照射，就会使抗干扰能力减弱，迫使“信息控制”严重紊乱，而且恢复也比较缓慢。在临床症状上就表现出诸如神衰症候群之类的病态。

（二）危害与影响

1. 高频辐射对人体的危害与影响。几年来的研究与实践表明，高频辐射对作业人员的身体健康会产生不良影响。高频辐射对机体的主要作用是引起中枢神经系统的机能障碍和植物神经功能紊乱，同时，尚可造成心电图的某些改变。

以广播系统为例，受检组为303名机房值班员，工龄以1~15年为多（占84.46%）；对照一组为41名未接触任何职业性有害因素的收音台值班员；对照二组为98名接触微量高频辐射的电台行政管理人员。

通过对16个机房受检组303人的体检和对照组体检的对比分析，其结果如下：

（1）自觉症状：受检组人员自诉以记忆力减退、失眠、多梦、脱发等症状为多，阳性率在40%以上；其次是乏力、

头晕、月经失调等症状，其阳性率在20%以上；而易激动、嗜睡等阳性率在10%，均高于对照组。经统计学处理，发现记忆力减退、乏力、嗜睡、失眠、脱发等项有显著差异。

(2)心电图：通过对284人的检查发现高频作业人员心电图可出现窦性心律不齐，ST-T压低或平坦等改变，其阳性率都高于对照组。

(3)体征及其他：重点观察了血压、脉搏、舌、眼睑、手指震颤情况、毛发分布、周围血象以及进行了眼科检查，受检组与对照组比较，经 X^2 检验未见显著差异。

同样，工业高频对作业人员健康影响的研究报告亦指出这种高频辐射热作用的存在以及主要作用方面。

2. 微波辐射对人体的危害与影响。

(1)热效应

通过对微波辐射危害与防护初步的研究，可以肯定：电磁辐射为射频作业的职业性因素，它对人体健康的不良影响是客观之存在。主要症状有：记忆力减退、失眠、多梦、脱发、乏力、头晕、月经失调等，同时受害者还易激动，出现窦性心律不齐，ST-T压低或平坦等。

微波可引起眼睛损伤，眼睛是人体对微波辐射比较敏感且很易受伤害的器官，眼睛的晶状体含有较多的水份吸收较多的微波能量，另一方面血管又较少，不易带走过量的热。在微波照射下，可能角膜等眼的表层组织还没有出现伤害，而晶状体已出现水肿。大强度长时间作用会造成晶体混浊，严重的会导致白内障。更强的照射会使角膜、虹膜、前房和晶状体同时受到伤害，以致造成视力完全丧失。

微波对睾丸的损害是比较大的。睾丸也是人体对微波辐

射热效应比较敏感的器官。在微波的作用下，当睾丸的温升达到 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 时，皮肤还未感到很痛，但男性生殖机能可能在不知不觉中受到损害。微波辐射只抑制精子的生长，并不损害睾丸的间质细胞，也不影响血液中的睾酮含量。受微波辐射的损害后，通常仅产生暂时性不育现象。辐射再大，将会引起永久性的不育。

(2)微波辐射对机体的非热效应

微波辐射对人体的作用主要是热效应，除了热效应外还有非热效应的存在。人体暴露在强度不大的微波下，体温没有明显的升高，但往往出现一些生理反应。主要表现在：

1)神经系统

长时间的微波辐射可破坏脑细胞，使大脑皮质细胞活动能力减弱，已形成的条件反射受到抑制。反复经受微波辐射可能引起神经系统机能紊乱。某些长时间在微波辐射强度较高的环境下工作的人员，会感到疲劳、头痛、嗜睡、记忆力减退、工作效率低、食欲不振、眼内疼痛、手发抖、心电图和脑电图变化、甲状腺活动性增强、血清蛋白增加、脱发、嗅觉迟钝、性功能衰退等症状。但是这些症状一般都不严重，经过一定时间的休息后就能复原。

2)微波辐射对血液的作用

长期的微波辐射可引起血液内白细胞和红细胞数的减少，并使血凝时间缩短。有时也可引起白细胞的增加。国外对从事微波工作多年的人员相对接受微波治疗的病员进行检查的结果表明，白细胞数一般均减少。

3)微波辐射的积累效应

微波辐射对生物体的危害，另一特点是累积效应。通常一次低功率照射后会受到某些不明显的伤害，经过四至七天