

劳动保护技术教材

国家劳动总局主编



射频辐射防护技术

上海科学技术出版社

8000

劳动保护技术教材

射频辐射防护技术

国家劳动总局 主编

赵玉峰 于燕华 编

(北京市劳动保护科学研究所)

上海科学技术出版社

内 容 简 介

本书主要叙述了射频辐射的危害和防护技术。同时还介绍了射频电磁场场强测定仪的使用方法。全书共分五章,首先对电磁场的物理概念作了扼要的论述,然后比较详细地介绍了各种屏蔽防护技术与抑制措施。

本书根据理论与实践相结合原则,对目前国内应用较多的几种类型的射频设备的屏蔽技术措施,亦作了具体的介绍。

本书内容简明、实用,可供从事劳动保护、劳动卫生和环境保护的工作人员以及各工矿企业有关人员参考;也可作为中等专业学校和有关院校的劳动保护教材。

封面设计 卜允台

劳动保护技术教材

射频辐射防护技术

国家劳动总局、主编

(北京市劳动保护科学研究所)

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市印刷三厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 5 875 字数 128,000

1982年9月第1版 1982年9月第1次印刷

印数 1—50,160

统一书号: 15119·2219 定价: (科三) 0.49元

(内部发行)

前 言

劳动保护是我们社会主义国家和社会主义企业的神圣职责，也是全国一切经济部门和生产企业的头等大事。建国三十多年来，党和政府一直是关怀与重视劳动保护工作的，把它看成是消除生产中不安全和不卫生因素、防止伤亡事故和职业病的发生、保障劳动者安全顺利地完成任务的一项重大措施。

十年内乱，给劳动保护工作带来很大的破坏。自党的十一届三中全会确定工作重点放到经济建设上以后，党的安全生产方针得到了进一步贯彻，劳动保护工作取得了新的成就。

建设四个现代化的社会主义强国，需要有一支宏大的有社会主义觉悟、有科学文化知识、有专业技术和经验的职工队伍。劳动保护是国家经济建设中的一个重要组成部分。为适应经济建设发展的需要，必须发展劳动保护事业。发展劳动保护事业，首先应当壮大劳动保护专业队伍。没有一支专业队伍，所谓加强劳动保护，只能是一句空话。

我局主编出版的一套劳动保护技术教材，计有《劳动保护概论》、《工业通风与防尘》、《工业防毒技术》、《射频辐射防护技术》、《噪声控制技术》、《电气安全技术》、《起重安全技术》、《焊接安全技术》、《锅炉与压力容器安全》和《煤矿安全》等十种。这套教材较为详细地阐述了安全技术与工业卫生技术的原理和方法，可供各地区、各工矿企业劳动部门培训劳动保护干部之用；也可供企业单位劳动保护干部和生产管理干部学

习参考;并可作为中等专业学校的劳动保护教材。

由于编写时间仓促,书中恐有错误、不妥之处,敬希读者批评指正,俾在重版时改正。

1981年10月

目 录

第一章 射频电磁场的物理概念	1
第一节 静电场	1
第二节 磁场	9
第三节 电磁感应	12
第四节 射频电磁场	16
第二章 射频电磁场的测量特点与场强测定仪的使 用方法	23
第一节 远区电磁场与近区电磁场的测量特点	23
第二节 场强测量和天线接收	27
第三节 射频电磁场场强测定仪的使用方法	32
第三章 射频辐射的危害与影响	41
第一节 射频辐射对人体的作用机理	41
第二节 射频电磁场对人体的影响	43
第三节 射频电磁场对人体作用的影响因素	51
第四节 射频辐射的其他危害	52
第四章 射频辐射的防护技术	54
第一节 电磁屏蔽原理	55
第二节 屏蔽与接地技术	75
第三节 电磁屏蔽室	87
第四节 微波漏能的抑制与吸收	117
第五节 微波辐射的个体防护	130
第五章 射频防护实例	133
一、塑料热合机的防护	133
二、高频淬火机的屏蔽	137
三、高频熔炼的电磁防护	142

四、高频感应加热设备的屏蔽	145
五、高频除气屏蔽装置	147
六、高频感应加热电缆及其应用	150
七、射频防护措施一览表	153
附录一 射频辐射卫生标准研究	154
附录二 关于射频(中、短波)作业人员卫生标准研究统计分析方法的统一规定	165
附录三 微波辐射卫生标准研究	167
附录四 射频电磁场强度测定记录表	178
附录五 微波漏能测试记录表	179
参考文献	180

第一章 射频电磁场的物理概念

第一节 静 电 场

一、带电物体

两个不同材料的物体,例如用一块丝绸摩擦一个玻璃棒,经摩擦之后分别可以将羽毛或纸片等轻小物体吸起。这个现象告诉了我们:两个摩擦后的物体均带了电,处于带电状态中的物体称为带电物体或带电体。

带电物体与带电物体之间存在着一种作用力,这种作用力有的表现为斥力;互相排斥;有的则表现为引力,相互吸引。由于它们呈现电性力的作用,所以将这种作用力称为电力。同号电荷所表现的电力为斥力;异号电荷所表现的电力为引力。这就是通常所说的同电相斥,异电相吸。

近代研究认为,物质在正常状态或呈电中性状态下,含有等量的正电与负电。倘若在适宜条件下将两个不同材料的物体摩擦,则将有部分电荷从一物体迁移到另一物体上去,从而破坏了它们原来所处的电中和状态,使物体带电。按物体的导电性能不同可以分为导体、半导体与绝缘体(即电介质)三类:

(1) 导体——凡是具有导电能力的物体均称为导体,金属为第一类导体。在金属体内,电荷携带者为自由电子,它们可以在各个原子之间自由地移动,自由电子是这类导体的电导机构。酸、盐等的水溶液(又称电解质)为第二类导体,在第二类导体中离子为其电导机构。

(2) 半导体——导电能力低于导体而高于绝缘体的物体,称为半导体,如元素中的锗和硅等。若在半导体中掺入微量的其它元素,往往可以使半导体的导电能力大幅度地提高。

(3) 绝缘体(又称电介质)——在这类物体中,电子由于受到原子核的强力束缚,即使在外力作用下也不会产生宏观位移,如空气、云母、玻璃、硬质橡胶等。

二、电场与静电感应

1. 电场

物体间相互作用的力有两类:一类是通过物体的直接接触发生的,叫做接触力,如碰撞力、摩擦力、振动力、推拉力等;另一类是非接触力,不需要接触就可以呈现力的作用,称为场力,如电力、磁力与重力。那么什么是电场呢?电场就是指有电力作用的空间;也就是说,在电荷的周围的空间里,存在着一种特殊的物质,叫做电场。两个电荷之间的相互作用并不是电荷之间的接触作用,而是一个电荷的电场对另外一个电荷所发生的作用。电场是物质表现的一种特殊形态,电场与电荷是同一存在的两个方面,只要有电荷,那么它的周围就必然有电场。

静止不动的电荷,其周围所产生的电场为静电场;当电荷运动时,电场也是变化的,起电的过程亦是电场建立的过程。

电荷与电荷所建立的电场是互相作用于电荷的,甲电荷的电场作用于乙电荷;而乙电荷的电场同样要作用于甲电荷,这种作用可用下面关系表示:

$$\text{甲电荷} \longleftrightarrow \text{电场} \longleftrightarrow \text{乙电荷}$$

2. 静电感应

将两个金属棒置于绝缘座上,并使两金属棒相接触而形成一个长的导体。若使带正电荷的带电体移近长导体一端时,

必然会发生带电体上的正电荷吸引长导体中的负电荷而排斥长导体中的正电荷的现象，结果使原来不带电的长导体产生两种电荷：与带电体近临的长导体的一端由于获得负电荷而呈现负电；而远离带电体的另一端呈现正电。这就是静电感应，如图 1-1 所示。所以，静电感应现象是指当一个导体近旁有带电体时，导体受到带电体的感应作用而发生正、负电荷的分离变化。导体上所产生的电荷称为感应电荷。

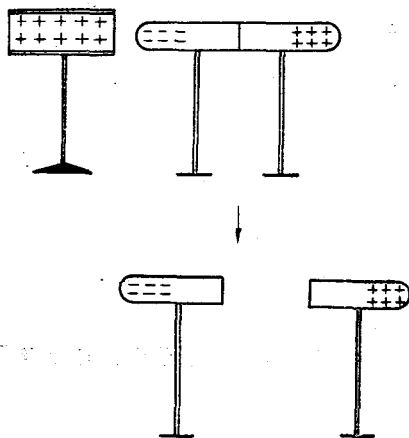


图 1-1 静电感应

三、库仑定律

法国物理学家库仑在 1785 年通过实验总结出电荷之间的作用力与距离的关系，即定义为库仑定律。库仑定律描述为：在真空中，两个点电荷 Q_1 与 Q_2 间的作用力，它的方向是在沿着这两个点电荷的连线上，作用力的大小则与电荷电量 Q_1 与 Q_2 的乘积成正比，而与点电荷的间距 r 的平方成反比，如图 1-2 所示。

库仑定律用公式表示为：

$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

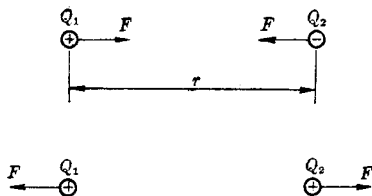


图 1-2 两电荷的作用力

式中 K 为比例系数, 其量纲与大小取决于式中各量的量纲和单位。

在一般的电介质中, 带电体之间的相互作用的情况是很复杂的。以“无限大”的均匀电介质中的

点电荷 Q_1 和 Q_2 为例, 它们相距为 r , Q_1 与 Q_2 之间的作用力比真空中要小 ϵ_r 倍。其公式可写成:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_r \cdot \epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad (1-2)$$

式中: ϵ_r ——电介质的相对介电系数;

$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$ ——电介质的介电系数。

四、电场强度

单位电荷在电场中某一点所受到的电场作用力, 定义为电场强度, 简称场强。

电场强度的公式为:

$$E = \frac{F}{Q_0} \quad (1-3)$$

电场强度是一矢量, 有方向性, 方向不同场强有显著不同。电场强度的度量单位为伏/米。实用制单位多采用伏/米。

电场中每一点的场强 E 具有一定的方向, 这样可以在电场中作出一系列曲线, 使这一系列曲线上每一点的

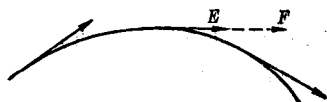


图 1-3 电力线

切线方向均与该点的场强 E 的方向一致。这样的曲线就是

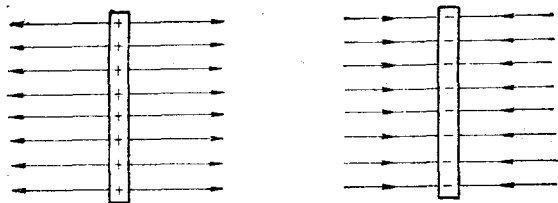


图 1-4 板面电力线

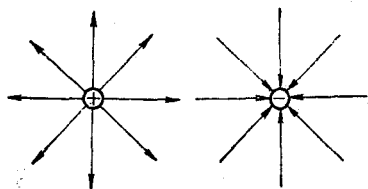


图 1-5 点电荷电力线

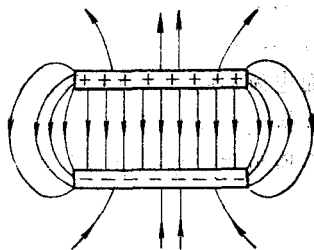
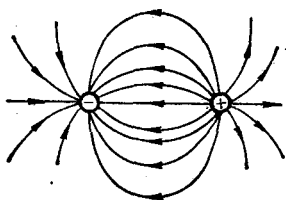
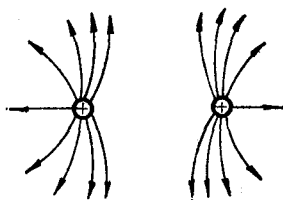


图 1-6 异性带电板之电力线



(a) 异号电荷电力线



(b) 同号电荷电力线

图 1-7 等值双点电荷电力线

通常所说的电力线, 如图 1-3 所示。实际上电力线有多种形式, 分别如图 1-4、1-5、1-6、1-7 所示。

五、电场中的导体与电介质

1. 电场中的导体

金属导体由带负电的自由电子和带正电的晶体点阵构成。当导体不带电或不置于外电场的作用下, 自由电子的负

电荷与晶体点阵的正电荷相互中和,使整个导体呈中性状态。

当金属导体处于外电场作用时,导体中的自由电子将对晶体点阵作宏观运动,使导体发生电荷的重新分布,最后达到新的平衡状态。这状态下外电场的电场力与导体上重新排列的电荷对自由电子的作用抵消,导体处于静电平衡状态。

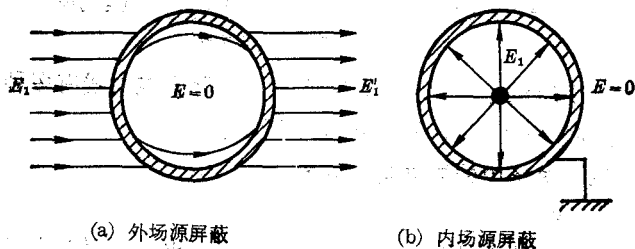
在静电平衡条件下,导体内部任何一点的场强为零;导体表面上任何一点的场强的方向垂直于该点的表面。对于带电导体,当它处于静电平衡状态时,导体内部是没有净电荷的,而电荷只能分布在导体的表面上,并且往往是不均匀地分布在带电导体的表面上。当导体上有楞角或尖端突出部分时,在楞角与尖端处电荷密度最大,场强也最强。

若导体是一个空腔的壳体,那么它在电场作用下,其内表面并不存在净电荷,因此这个壳体实际上起到了隔离外电场的作用。若把壳体接地,即使是壳体内存在着带电体所产生的电场时,但由于壳体接地起到隔离作用,所以对壳体外部无任何影响。壳体的这种作用称为静电屏蔽。

静电屏蔽分内场源与外场源两类屏蔽,如图 1-8 所示。

2. 电场中的电介质

电介质有两类: 第一类电介质, 在外电场不存在条件下,



(a) 外场源屏蔽

(b) 内场源屏蔽

图中 E_1 代表场源

图 1-8 静电屏蔽

分子的正、负电荷的中心是重合的，称作无极性分子电介质；第二类电介质，在外电场不存在条件下，分子的正、负电荷的中心是不重合的，这类电介质称为有极性分子电介质。

当电介质处于静电平衡状态时，电介质的内部仍将存在电场的。对于上述两类电介质，其极化过程是不同的：

(1) 由无极性分子所组成的电介质，如 H_2 、 N_2 、 CH_4 等。在外电场作用下，分子的正、负电荷中心发生位移，形成电偶极子。这些电偶极子的方向沿着外电场的方向，因此电介质的表面上必出现正、负束缚电荷，称为无极分子的极化现象，见图 1-9。

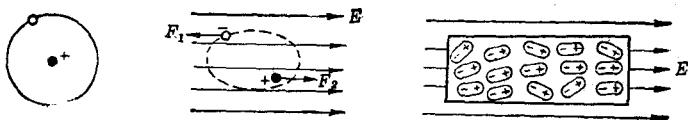


图 1-9 无极性分子的极化

从图中看出：外电场愈强，分子的正、负电荷中心的距离愈大，分子电矩也愈大，使得电介质表面所呈现的束缚电荷也愈多，电极化程度愈高。

(2) 由有极性分子组成的电介质，如 SO_2 、 H_2S 等。虽然每个分子都有一定的等效电矩，然而在没有外电场情况下，电矩排列杂乱，致使电介质呈中性；当有外电场作用时，由于分

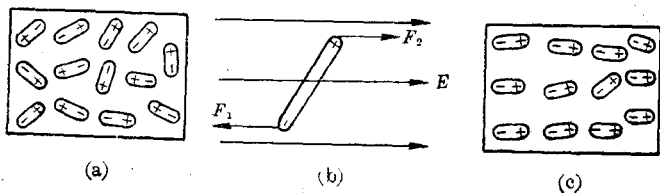


图 1-10 有极性分子的极化

子受到力矩的作用,使得分子电矩发生向外电场转向的运动。外电场愈大,分子偶极子的排列就愈整齐,电介质表面所出现的束缚电荷愈多,电极化的程度也愈高,如图 1-10 所示。

从上述讨论中可知,有极分子与无极分子的极化情况,从宏观上看极化表现是一致的,只是在微观上有其差异。

六、电场能量

前已述及,一带电体或一带电系统的建立过程,实际上就是其电场的建立过程。可以说,带电体或带电系统的能量就是电场的能量。

在交变电磁场中,能量贮存在场内,它是以电磁波形式传播的。能量贮存在场中,可以这样理解:把等值的异号两个电荷互相分开,外力必须做功,这就说明了在这个电荷系统中有能量;而若将两个电荷重新组合在一起,那么外力所做的功使这种能量又可以得以释放取回。所以,电场是一种物质,电场能量是电场物质性的体现。

电场能量在实践中多有应用。常见的电容器中就贮存有电位能 U ,它等于电容器充电时所做的功 W 。若把充电过程形象化,那么在外力作用下,电子从正极板上被拉出来,再推到负极板上去,从而使正、负电荷分离。

设电容器容量为 C ,当两极板上已分别带有电荷 $+q$ 与 $-q$ 时,两极板间之电位差为 V_{ab} 。若再把 $+d_q$ 的电荷从 B 板移到 A 板上,则外力将做的功为:

$$d_A = V_{ab} \cdot d_q = \frac{q}{C} d_q \quad (1-4)$$

在全部过程中,外力所做的总功 A 等于:

$$A = \int d_A = \int V_{ab} d_q = \int_0^q \frac{q}{C} d_q = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} \quad (1-5)$$

这个总功 A 应当与带电电容器的能量相等, 因此带电电容器具有的能量 W 为:

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} \quad (1-6)$$

由于 $Q = CV_{AB}$, 所以上式可写为:

$$W = \frac{1}{2} CV_{AB}^2 \quad (1-7)$$

第二节 磁 场

一、磁现象

能够围绕垂直轴自由旋转的磁针将指向南北方向, 即指向地球磁场方向。它表明, 在一定区域内磁针受到作用力并取一定指向, 这个区域内有磁场作用。两个互相靠近的磁针发生如下作用: 同号磁极相排斥; 异号磁极相吸引, 这类作用的力称为磁力。在磁场中磁针的指向如图 1-11 所示。

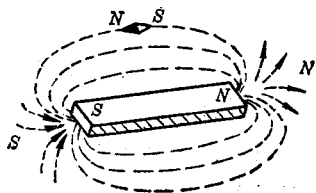


图 1-11 在磁场中针的指向

一切磁现象起源于电荷的运动, 电荷有规则的运动就成为电流。通过电流的导体, 其周围存在着磁场。所以运动电荷之间除存在库仑力作用外, 还将受到磁力的作用。

二、磁场与磁场强度

任何运动电荷或电流, 能够在其周围空间内产生磁场, 所以磁场的定义就是电流在它通过的导体周围所产生的具有磁力作用的一定空间。

如果导体中流过的电流是直流电, 那么磁场是恒定不变

的;如果导体中流过的电流是交流电,那么磁场是变化的。电流的频率愈高,所产生的磁场变化频率亦愈高。

磁场对外有这样几种重要特点: 磁场对运动电荷或载流导体有磁力的作用;载流导体在磁场内移动时,磁场的作用必将对载流导体做功,表明磁场具有能量。这些重要表现说明了磁场的物质性,磁场是物质的一属性。

由电流产生的磁场的磁力线既没有始点,也没有终点。它

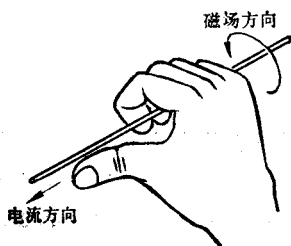


图 1-12 右手定则

们环绕通过电流的导线,磁力线上任何一点的切线方向与该点处的磁场方向一致。磁场方向与电流方向符合“右手”定则;将右手的拇指指向电流方向,环绕导线的其余四指所指示的方向就是磁场方向,见图 1-12。

图 1-13 示出了几种典型的磁力线,从图中可以看出,磁力线密集的地方磁场较强;反之则弱。

在任何磁介质中,磁场中某点处的磁感强度 B 与同一点上的磁导率 μ 的比值称为该点的磁场强度 H , 用下式表示:

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (1-8)$$

磁场强度的单位是安培/米或奥斯特,其关系为:

$$1 \text{ 安培/米} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ 奥斯特。}$$

对于磁场强度,与之关系密切的是安培环路定律,它指出:在磁场中,沿任何闭合曲线的 H 矢量的线积分,等于包围在这个闭合曲线内各电流强度的代数和。