

# 低能加速器的应用

李为虎

(西藏农牧学院水利电力工程系 西藏林芝 860000)

加速器是利用电磁场来加速带电粒子的装置,如加速电子、质子、离子等。按能量区分,加速器分成高能加速器、中能加速器和低能加速器。其中能量低于 100MeV 的小型低能加速器在医学、工业辐照、离子注入及核分析技术等领域均有广泛的应用。

## 一、加速器在医学上的应用

### 1. 疾病的诊断

传统的 XCT 是透射型 CT,测定的是通过肌体的 X 射线强度的衰减情况,医生从不同的衰减来分析病变情况。加速器介入医学后,促使了一代能测试脏器功能的新的发射型 CT(简称 ECT)的问世。ECT 测定的是放入肌体内的放射性核素发射出来的  $\gamma$  射线强度,最后获得的是各断层面上放射性核素的密度分布图像,医生通过病变区的立体图像上不同的密度分布来分析病变情况,其分辨率不仅大大提高,而且可以对脏器的功能进行进一步分析。

其诊断疾病的过程是:将短寿命的放射性同位素制成特定放射性核素标记的放射性药物,让病人服用或注入体内,由于各种放射性药物对不同的脏器有不同的亲和力,药物进入人体后将会有选择地浓集到那些需要检查的病变区,所发射的  $\gamma$  射线将

会穿出体外,通过病体周围的探测仪器,就可观察到放射性核素在脏器中的异常分布,由此可诊断脏器的病变情况。此外,医生还可以通过放射性核素在脏器中  $\gamma$  射线随时间的异常变化规律,判断病人的脏器功能。例如铊 201 是一种亲心肌的核素,由于心肌梗塞坏死的部分将失去对元素铊的集聚能力,于是在心肌的相片上就会出现  $\gamma$  射线强度较弱的病变区。再之,病变后的脏器,其功能必然异常,它不仅表现在放射性核素浓集程度的差异上,也会反映在清除药物的速度变化即代谢能力变化上,从而通过对放射性核素在血、尿或粪便中的变化过程,了解到脏器功能的变化。

随着 ECT 的广泛应用,目前,正在形成一门新的综合性影像诊断学,它把多种先进的手段——ECT、XCT 以及核磁共振 CT 等结合在一起,并辅以 X 射线照相、同位素照相等常规方法,为解决一些诸如脑神经功能失常和心血管系统疾病等,提供了新的诊断途径。

### 2. 放射治疗癌症

加速器产生的射线具有相当高的能量和一定的穿透能力。如 X 射线、 $\gamma$  射线、电子束、质子束、中子束、介子束等,都能够穿过人体皮肤和组织,到达肿瘤。射线在行进过程中,会与生物组织发生作用,射线的能量传递给组织,从而造成细胞的损伤或死亡。如 20 世纪 90 年代初出现的“ $\gamma$  刀”技术,专用于治疗颅内的小肿瘤,这种技术替代了以往复杂的开颅

住蜂鸣片的两面。右手持两支表笔,红表笔接金属片,黑表笔横放在蜂鸣片表面。然后左手拇指与食指稍用力压紧一下,随即放松,蜂鸣片上就先后产生两个极性相反的电压信号,使指针向右摆 $\rightarrow$ 回零 $\rightarrow$ 向左摆 $\rightarrow$ 回零,摆幅约 0.1~0.15V。若交换表笔位置后重新实验,指针摆动的顺序为:向左摆 $\rightarrow$ 回零 $\rightarrow$ 向右摆 $\rightarrow$ 回零。在压力相同的情况下,指针摆幅愈大,蜂鸣片的灵敏度愈高。若指针不动,说明蜂鸣片内部漏电或破损。

用数字电容表可以直接测量蜂鸣片的电容量,其电容量应在 0.005~0.02 $\mu$ F 范围内。

### 驻极体话筒的检测

驻极体话筒是常见电-声转换器件,它属于电容式话筒的一种。用机械表检测驻极体话筒,选择 R $\times$ 100 档,将黑表笔接话筒的正极,红表笔接负极,

然后正对着话筒吹一口气,指针应作大幅度摆动。假如指针不动,可交换表笔重新试验。两种情况下,指针都不动,说明话筒已经损坏;若指针摆幅很小,说明话筒的灵敏度低。对于三端引线的话筒,应将黑表笔接正电源端,红表笔接输出端,地端可以悬空。

### 石英晶体的检测

对于石英晶体、分玻壳与金属壳两种封装形式。检查它的方法是:首先从外观看它有无断线或裂纹故障。若外观正常,则可用万用表 R $\times$ 1k 档测量其引出端的电阻,正常情况下电阻为无穷大,否则说明石英晶体内部存在漏电或短路;也可以用数字万用表的电容档或数字电容表测其电容,正常情况下石英晶体应有一定的电容值,如电视机遥控器中的石英晶体的电容为 10<sup>2</sup>pF 数量级。

手术,不需麻醉、没有流血,是患者和医生都乐于接受的体外手术治疗方法。

## 二、加速器在工业领域中的应用

### 1. 辐照加工

辐照加工的对象有高分子聚合物、合成橡胶、各种化工原材料、生物制品、食物、粮食和药材等。MeV 级的射线与材料或物品的相互作用,会产生复杂的电离过程,从而在样品中产生物理变化、化学变化或生物效应,会导致材料的性能发生改变,这种复杂变化称做辐射效应。不同的加工对象,不同的照射剂量,材料的不同化学成配方,可得到不同的辐照效果。辐照加工技术与传统机械加工、化学加工和热加工等技术比较,有加工过程中不形成废物和残毒,无二次污染,可在常温下加工,节省能源,效率高及易于控制等优点。

辐照电线和电缆。电线和电缆是由中间的导线(铜线或铝线)和包裹层组成的,最外面的包裹层使用高分子聚合物材料,如聚乙烯等。这类具有线状分子结构的材料强度弱,耐压和耐高温性能也差。但是当它们经一定剂量的电子束照射后,会发生交联作用。也就是说,射线能使聚合物线状大分子之间形成交联键,使原本的一条条线状大分子,拉起手来,连接成网状结构(见图 1)。交联作用后的材料就具有了新的物理性质,如提高了绝缘性、耐热性、耐磨性、抗老化性等,提高了机械强度。比如,未经处理的聚乙烯电缆的长期使用温度为 60~70℃,105℃ 以上就会熔融,而辐照交联聚乙烯电缆的长期使用温度可达 120℃ 以上,短期使用温度可达 300℃。因而可以广泛应用于通讯设施、飞机、航天器、舰船、汽车冶金设备、家用电器等等。

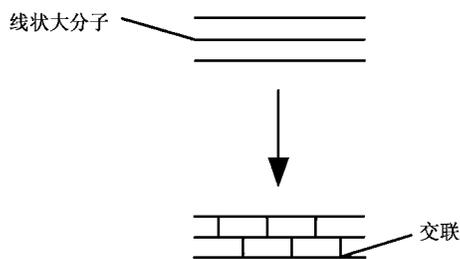


图 1 辐照交联作用示意图

辐照加工热收缩材料。通讯事业的发展突飞猛进,不论是铺设海底电缆,还是埋设光缆,都要解决接头包裹层的密闭问题。需要用防渗漏、耐腐蚀、强度大的特殊材料,而这种材料就是经过辐照加工后具有“记忆效应”的聚乙烯热收缩材料。它是通过辐照手

段,把用电子束照射过的交联的结晶型聚乙烯材料加热,到呈现出如橡胶状的弹性体时再对其施加外力,使之变形,待冷却后,保存在变形状态下。当使用时,利用其加热后可以收缩恢复成原来形状的特性,起到对器件的保护、密封、绝缘等作用。辐照热缩材料应用已十分广泛,比如电力电缆、通讯电缆和光缆、高压和强流引线的接头保护和绝缘;电气元器件的接线和焊头的保护和绝缘;地下输油管道和输气管道接头的密封等;高压潜水电机绕组的绝缘层、射频电缆的绝缘层、大口径管道的防腐包裹等。

制造聚乙烯泡沫材料。聚乙烯材料辐照发泡的过程是:在聚乙烯原料中,混合一定比例的发泡剂和添加剂,挤压成板材,接受加速器电子束的辐照发生交联,再加热到熔融点温度以上,这时发泡剂分解产生气体,在聚乙烯内形成气泡,就成了泡沫板。在发泡剂分解过程中,未交联聚乙烯的黏度很低不能留住气泡,而交联聚乙烯有合适的黏度,在内部能形成稳定而细密的气泡。辐照交联聚乙烯泡沫材料用途很广。在日常生活中常见的各种商品的防震包装材料、建筑用保温与背衬材料、体育运动防护设备和玩具等。

涂层的辐照固化。辐照固化顾名思义,就是衬底材料上的涂料层经射线照射后,易干而不脱落,光洁而平滑。比如在木板外表面附上一层可聚合的高分子单体薄膜,辐照以后产品表面脱落光滑如镜,且可防止烟头的灼焦。这种固化方法的原理是在电子束照射下,复合涂料发生了聚合交联反应,形成了三维网状结构,使粉状的或液态的涂料层很快固化;同时,涂料又与衬底发生接枝反应,使涂料牢固地附着在衬底材料上。应用辐照固化来处理在纸制品、塑料、木制材料、织物、皮革、金属板和箔、石膏板、玻璃等衬底上的复合涂层,可用于建筑材料(地板、天花板、墙壁装饰板等);机械、家电、家具、食品等的包装材料;艺术品和印刷品等。

纤维和织物的改性处理。纤维和织物都是高分子材料,经射线照射也会发生聚合、交联、接枝的作用,因此把辐照技术引入纺织工业,可以改进织物特别是合成纤维织物的性能以及减少对环境的污染,织物的辐照技改性和辐照固化相结合,还可生产植绒织物和无纺布。

医疗品消毒灭菌。辐照消毒与常规消毒相比有很多优点:应用辐照消毒不仅价格便宜,而且无污染问题,不会产生化学物质的残留;另外,灭菌彻底,并

可在常温下进行。

食品防腐和保鲜。根据许多国家通过对辐照产品安全性和营养成分进行分析研究后,制定的对不同照射对象的辐照剂量标准。对粮食及蔬菜水果等食品投放合适的射线剂量,可以达到彻底杀灭微生物和病虫、抑制霉变及发芽,防腐和保鲜的功效,既没有因为使用药物或防腐剂造成的毒副作用,又可保证人体服用后的绝对安全及延长了保存期和减少了损失。

## 2. X射线无损检测技术

X射线(或中子束)有很强的穿透能力,既可以用它来对人体进行透视,也可以用来检测物体内部的缺陷和构造。这项技术叫做“X射线无损检测技术”,它能在不破坏或不损伤被检测对象(材料、零部件等)的前提下,给出其内部缺陷的形状、位置、大小和性质,技术人员据此可以判断缺陷对产品性能的影响。

其主要的应用领域涉及重型机械制造、石油化工设施、航空航天器制造业、造船业、冶金工业及军工制造等。大型集装箱检测技术是X射线无损检测技术的一种特殊应用。我国清华大学1998年初研制成功了一套大型集装箱检查系统,电子加速器能量为9MeV,现在已正式应用于海关口岸的集装箱检查。

## 3. 离子注入技术

离子注入机是一种小型高压加速器,是工业领域使用最多的粒子加速器。用离子注入技术制作半导体元器件和集成电路,可以精确控制注入杂质的浓度和深度。可用来制作半导体二极管、双极晶体管、集成电路、化合物半导体器件、光电器件等。在我们现代生活中所使用电器中的微小电路,几乎都少不了离子注入的加工过程。

另外,离子注入技术还可用于金属材料的改性,如将一定能量的某种离子均匀地注入到金属材料的表层或掺入到表层下的晶格内,致使金属表层微观结构发生变化。这种变化会导致金属材料物理性质的改变。

## 三、加速器在治理环境方面的应用

虽然净化燃煤烟气已有化学法、脉冲电晕法等,但比较而言,用加速器电子束辐照方法的优点更为突出。

燃煤烟气的辐照处理过程如下:设想在烟道内有一个由电子束形成的“帘”,当烟气遇到电子束时,必然与电子束发生复杂的相互作用。烟气中的 $N_2$ 、 $O_2$ 、 $H_2O$ 被电离和激发,生成游离基(OH、O、N等)和

水,燃煤烟气中的 $SO_2$ 和 $NO_2$ 又与游离基和水进行化学反应,生成硫酸( $H_2SO_4$ )和硝酸( $HNO_3$ )。在这个过程中,还加入氨气( $NH_3$ ),与硫酸和硝酸发生反应,生成硫酸铵和硝酸铵。由于硫酸铵和硝酸铵都是可以利用的化肥,因此没有二次废物。图2是电子束法脱硫脱硝工艺流程图。

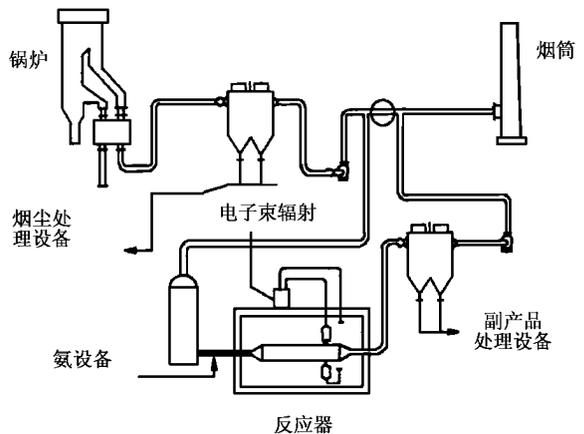


图2 电子束法脱硫脱硝工艺流程图

## 四、加速器在农业中的应用

在农业方面,除了用加速器技术进行杀虫和防霉外,还用来改良作物品种。用射线照射诱发作物遗传基因发生变异,可培育出高产和高品质的良种,经选育后大面积推广。其基本原理是在射线照射下,在生物体内发生电离作用,会使生物细胞内所含蛋白质和核酸发生一系列生化反应,而导致染色体断裂、易位、结构重组,从而改变了遗传特性。这种变异改性也许有利,也许不利,需要经过人工培育和择优筛选,最后得到具有高产、抗病虫害能力强、营养价值高的优良品种。也可以用照射枝条、胚芽、花粉等方法培育新品种。常规杂交育种方法培育一个新品种的周期是10年左右,而辐照育种从第一代到推广应用只需4到5年,缩短了一半时间。可见,辐照育种的推广应用是很有发展前途的。

辐照育种可以利用各种射线源,应用较多的是钴60放射源、反应堆及电子加速器。不同作物对射线的敏感性差异较大,因此,在研究工作中严格控制照射剂量是特别重要的,这要求加速器能量稳定,要有足够的流强,能量稳定且可调。

此外,加速器应用范围还遍及环境科学、考古研究等领域。如超灵敏加速器质谱技术(AMS),用于“夏商周断代工程”课题中的 $^{14}C$ 测定,其最高灵敏度可达0.3%,对于年龄小于1万年的样品,相应的测年误差为 $\pm 50$ 年。