



一、核技术在各个领域中的应用

目前,核技术的应用几乎已渗透到工业、农业、科学、医学等各个领域。以下分别举出一些例子。

(1)核技术在环境科学中的应用环境科学是一门综合性较强的、与其他学科联系较多的新兴学科,

核技术(原子核技术的简称)是在原子核物理基本原理的基础上发展起来的一门新兴技术。它既可以应用于军事目的,例如制造核武器(原子弹、氢弹等),也可以在民用行业中发挥巨大作用。核技术作为一种民用技术,现在已经和电子技术、半导体技术、计算机技术一样,成为现代科学技术的重要组成部分。它已广泛应用于经济建设的各个领域,具有明显的经济效益和社会效益。

核技术实际应用于民用工业早在 50 年代就开始了。1950 年美国首先研制成功射线测厚仪。1954 年苏联建成世界上第一个原子能发电站。1955 年英国建造了生产放射性同位素的和医用的加速器。目前,技术发达的国家在医学、卫生和基础研究方面的科研成果中约有 50% 是应用了核技术。例如在医疗方面,美国政府规定,凡 250 张病床以上的医院,如不设放射性治疗手段,政府就不批准开业。从现有的资料来看,核技术几乎可以应用到所有的工业部门,并且取得了显著的经济效益。在 1980 年,美国核技术应用的经济效益系数已高达 8.9。

在我国,核技术应用的发展一直比较缓慢。50 年代中期,由于以研制核武器为重点,为核技术的发展打下了一定的基础。最近几年,随着四个现代化建设的需要,民用核技术得到了很大发展。核技术现已应用于资源勘探、矿业开采、冶金、石油、化工、轻纺等工业部门。在医学上,全国已有 600 多家医院使用放射性同位素诊断和治疗疾病。在农业上,由于辐射育种和常规技术结合,培育出了“鲁棉一号”、“铁丰 18 号”、“原丰早稻”等能大面积增产的优良品种,取得了显著的经济效益。

核技术的手段包括原子核反应堆、粒子加速器、放射性同位素以及核粒子探测器等各种核物理设备。核技术的内容则包括很多方面,如辐照加工;放射性同位素、稳定同位素的利用;各种核分析技术和核物理效应的应用;辐射育种;辐射的生物效应;放射性标记化合物的药剂制备等等。

所涉及的领域非常广泛。其重要性愈来愈显著。大到制定国民经济发展总规划,小到建设一个工程,开辟一座矿山,都必须考虑可能对环境产生的近期和远期影响。

核技术在环境科学中的应用工作主要是用核分析方法(如中子活化,质子激发 X 荧光分析等),对环境中的各种污染物(以微量元素方式存在)进行质和量的分析测定,以与国家规定相比较;研究大气颗粒物及水体污染的来源和扩散规律。评价环境质量,拟定治理措施。如①测定环境物质(气,水,土)中的痕量元素,着重看对人体有害的,如 Pb, Hg, Sb, As, Ar, Be, Tl, F, Ni, Zn, Cd, Se, Sn 等元素。②探讨污染物在水系中的分布及迁移规律。此外,还必须对环境物质背景值进行测定,其目的是为了了解人为污染与自然环

境之间的关系,可为环境生态研究,地方病的环境病因提供资料。

大家知道,环境三要素——空气、水、土壤是人类生存的重要条件。环境污染对人类的生活和生态平衡会造成很大的危害。一般讲,严重的环境污染是比较容易探测出来的,易于采取相应措施加以消除。然而在环境物质中也往往存在一些极微量的对人类生活有害的元素,这些元素虽然含量很低(10^{-6} — 10^{-11} 克),但长期的积累仍对人体会产生有害的效应。因此测定环境物质中的各种微量元素的含量就成为十分重要的课题。研究环境污染与人体健康关系的最终目的是保护人类身体健康。环境污染可危及动植物的生长,也会使人类造成中毒、致癌、降低生理功能、缩短寿命等。微量元素在生命过程所起的作用,哪些有益? 哪些有害? 是必须搞清楚的。需要研究的课题很多,如人群对每种微量元素的摄取量、排出量及总的含量;环境缺少某种元素或者过剩对人体的影响;对不同地区系统地进行环境样品的痕量元素分析;疾病发病率与地理环境及其污染的关系;头发或指甲作为环境污染或疾病诊断的指示;等等。

核分析技术由于灵敏度高,并可同时进行多元素

分析, 目前已成为测定环境物质中微量元素的有效手段。然而, 光静态地测定环境物质中各微量元素的含量是远远不够的, 因为有害元素的含量及分布并不是一成不变。随着环境的影响及时间的推移它们将发生变化。因此研究大气及水体污染物的分布、迁移和扩散规律以及探明污染物的来源, 就具有更重要的意义。

(2) 核技术在地学中的应用 地学是一门领域十分广阔的学科, 它包括矿物学、火山学、地热学、成因岩石学、地球构造学等。而且与海洋学、宇宙学、水文学、气象学、地化学、地球物理学等有密切关系。例如研究地球各部分的样品以及从地球以外来的样品中元素的组成是地球化学和宇宙化学的重要课题。研究对象是岩石、土壤、陨石等。利用核分析方法可以准确地测出各样品的元素成分。核技术已成为地学研究的重要手段。

核技术应用于地学研究已有几千年的历史, 早在 1913 年, 霍姆斯就明确指出可利用放射性来测定地球年龄。他根据堆积的沉积岩的厚度和含铀矿物中铀和铅的形成, 得到了第一个地质年表。

核技术在地学中应用, 同样有经济效益和社会效益。国外地质部门因使用了核技术而增加了收入。

(3) 核技术在材料科学中的应用 能源, 材料与信息是当代文明的三大支柱, 而材料又是其他两者的基础。材料作为一门学科出现只是最近一、二十年的事情。专家们说“八十年代是材料科学的年代”, 也说明材料科学的发展已进入一个新的阶段。而材料科学的发展与核技术的应用有着密切关系。用核技术来研究、发展和制备新材料往往会收到用一般常规技术所不能达到的效果。

材料一般可分为金属、无机非金属和有机材料三大类。如按性能分, 又可分为①结构材料, 如高强度钢。和②功能材料, 如半导体, 超导, 光导纤维。

核技术在材料科学中的应用范围是十分广的, 包括开发新能源材料, 新材料加工工艺(合成, 改性等), 材料成份与结构的分析等等。以下仅举一些例子: ①离子注入。使加速离子(硼等)注入到固体表面, 可以改善表面物理性质, 如改善耐磨性能, 提高硬度和强度。②单晶硅中子嬗变掺杂(NTD)。用热中子辐照半导体材料来实现掺杂。其原理是 $^{30}\text{Si}(n, \gamma)^{31}\text{Si} \xrightarrow{\beta^-} ^{31}\text{P}$ 。这种方法的优点是, 由于 ^{31}P 在硅中的分布极为均匀, 故器件的电阻率的均匀性好。且可实现精确的掺杂, 使 NTD 单晶硅成为理想材料。③离子束刻蚀。利用直径聚焦到微米量级的离子束为刻蚀的“光源”, 具有很好的分辨率及高灵敏度。能使图形的增宽限制在 $\leq 100 \text{ \AA}$ 。线宽度缩小, 图象清晰。曝光灵敏度很高。例如 1.5 MeV 的 O^+ 离子束, 对负性抗蚀剂的曝光剂量仅是 20 KeV 电子束剂量的 10^{-4} 倍。④其他方面: 辐

射(γ 或加速电子)制备聚合物交联产品, 如交联电线电缆, 热收缩性膜、管, 泡沫塑料等; 辐射固化涂层; 辐射接枝产品(选择性渗透膜, 电池隔膜……); 辐射裂解产品(高级固体润滑剂等); 有机物辐射合成, 如卤化物, 磺化物, 硅化物, 金属化合物等; 制备核微孔膜, 孔小($0.1-10 \mu$)且均匀。

(4) 核技术在生命科学中的应用 生命科学是研究生命现象的起源、遗传、变迁等各种规律的科学。生命科学包括生物化学、生物物理、遗传学、细胞学、生理学、医学和微生物学等领域。目前生命科学已从唯象观察性的科学发展为实验性的精密科学。比较活跃领域包括: 微量元素影响肿瘤、心血管疾病、细胞生物学和生物大分子结构和功能。

核技术在生命科学中的应用很广, 仅举如下数例:

①核分析技术测量生物中的微量元素 微量元素在动、植物和人体的生命过程中起着重要作用。由于核分析技术的应用, 从 1950 年到 1975 年就发现 Mo, Se, Cr, Sn, V, F, Si Ni 和 As 等 9 种元素是人体必需的微量元素。而在此以前的 200 多年中只发现 6 种人体必需微量元素: Fe, I, Cu, Mn, Zn 和 Co。适量的微量元素是维持人体健康的必要因素。尤其是 Se, Mo, Mn, Cr, Ni 和 As 等元素很可能与肿瘤和心血管疾病, 小儿营养和发育有关, 已引起科学家们广泛兴趣。此外, 微量元素与长寿、衰老的关系等。

②核技术用于肿瘤的研究 恶性肿瘤——癌是严重威胁人民生命的常见病。核技术在肿瘤的防治研究的各个环节起着极其重要的作用。某些人体必需的微量元素在水, 土壤, 食品中的失调可能是肿瘤高发的病因之一。例如我国河北省林县食管癌高发可能与缺 Mo 有关。崇明岛东部癌症发病率高, 可能与 Mn, Mo, Se 的失调有关。广东省鼻咽癌高发和镍有关, 而且证明镍是促癌剂。

事实表明, 一些微量元素在生物体中成为某些酶、激素和维生素的活性中心, 它们对机体的正常代谢和生存发挥重要的作用。

③心血管病研究 心血管病在世界各种死因中占首位, 严重危害人民生命和健康。据美国科学家的调查发现, 在高硒地区, 该病的死亡率比低硒地区来得低。研究表明, 在因心肌梗塞而死亡的病人心肌、肾皮质和肝中, 硒的含量要低于正常人。因此, 硒的缺乏和心血管疾病有关。

(5) 核技术在医学中的应用 核医学是核技术、电子技术、计算机技术等现代技术与医学相结合而产生的一门新学科。它是现代医学中的重要组成部分, 也是核技术应用的一个重要方面。

目前, 核医学的重要性已经越来越显现出来。首先, 它是早期诊断疾病的最好手段之一。几乎所有组织器官或系统的检查, 都可应用核医学技术。例如, 用

竞争放射分析方法普查新生儿,可早期发现先天性呆小症,以便及时治疗,避免给社会造成沉重负担。核医学技术对冠心病的早期诊断远远优于其它方法,其次,核医学为一些疾病的特异性治疗开辟了新途径,例如寻找亲肿瘤放射性试剂的研究,已取得很大进展,其中一种途径就是用放射性同位素标记癌细胞成分的抗体。这种标记抗体能追寻并杀死已经转移扩散到身体各处的癌细胞,可能会在癌症治疗上出现重大突破。第三,核医学在研究疾病上有巨大的潜力,例如在注入某种同位素试剂之后,由眼睛睁闭引起的生化生理微小变化,足以引起大脑皮层视觉区域放射性分布的明显差别,可用仪器记录下来。这类方法可用于研究人的行为及思维过程,且对研究脑瘤、癫痫、瘫痪、偏头痛等疾病很有价值。以下分四个主要方面叙述

①放射性诊断 放射性诊断是利用核技术方法测定放射性核素及其标记化合物在人体内的分布及转移过程,从而达到诊断疾病的目的。例如对脏器肿瘤的诊断,方法是服放射性药剂,然后用扫描仪在体外测量,可诊断肝、脑、甲状腺、肾、肺、脑瘤、脑血管等病变。这种方法有很多优点,它能测出人体内生化与生理过程,组织与器官的形态变异。某些条件下,还能测出动态变化特性,而且方法简便,灵敏性好,准确度高。它对患者是安全的。进行放射性诊断需要有①放射性物质(核素)和②测量仪(闪烁照相机,断层显象仪等)。①过去核医学上用的放射性核素(必须是中短寿命的)大多是在反应堆上生产,目前利用加速器生产短寿命医用放射性核素已日益增多。加速器一般是生产快中子同位素,不少是有 β^+ 放射性(发射正电子),由于正电子能与电子湮没成为2个 γ ,较容易探测,而且可减少对患者的辐射剂量。这类放射性同位素大部分是用于医学目的,尤其是临床诊断方面的放射性核素,如 ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , ^{52}Fe , ^{67}Ga , ^{123}I , ^{77}Br 等。比较有实用价值的中等寿命的放射性核素,包括 ^{23}Na , ^{40}K , ^{67}Ga , ^{111}In , ^{129}Cs , ^{197}Hg , ^{201}Tl 等,由于寿命短,对患者用药,可用较大的剂量,从而可得到高质量图象,还可拍摄动态像。而患者所受辐射剂量也大为减少。在核医学范围内,加速器生产的医用同位素具有强大生命力。用于医学目的的迴旋加速器,世界上至少有60几台。我国上海和兰州也在生产一定数量的短寿命放射性核素。北京目前还没有可供生产放射性同位素的加速器。去年,国家科委曾向美国订购一台质子迴旋加速器(CS-30)作为样机,准备仿制。我们希望这台迴旋加速器能在北京很好地为核医学目的服务。此外,中国科学院高能所正在建造的35.5MeV的质子直线加速器,也将为生产快中子放射性同位素作出贡献。他们已准备用此加速器开展快中子治癌研究,快中子生物效应,医用同位素制备(小批量供应 ^{201}Tl , ^{67}Ga),超短寿命医用同位素制备(^{11}C , ^{13}N),医用标记化合物制备等工作。②闪烁

照相机是放射性诊断中的一种仪器,临床应用已有20多年,它能同时观察到整个脏器的各部分,并可作连续功能动态观察,对心血管及肿瘤疾病的诊断尤为有效。

②断层照相术(成象技术) 目前在核医学的放射性诊断中,各种断层照相机(医学成象技术)占有相当重要地位,已取得很大成功,常用的有以下几种。

(i) x射线断层成象(CT)。用x射线CT扫描技术(称为穿透显影TCT)只能检查出体内器质性形态变化。

(ii) γ 和正电子照相机。然而用放射性核素注入到体内的CT断层(ECT)可同时检查出人体功能与形态的改变。ECT分为单光子计数系统,叫 γ 照相机和双光子探测系统,叫正电子湮没照相机二种。正电子湮没相机有许多优点:①不需要笨重的铅准直器。②分辨率较好。③均匀性好。④灵敏度与组织深度无关。⑤探测效率较高。⑥可使用与人体组织成分相同元素的短寿命放射性同位素,如含 ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O 等的标记化合物。可用于心血管疾病及肿瘤的诊断;神经疾病的诊断。

(iii) 多丝正比室照相机。它也是正电子照相机中的一种,即利用由高能物理实验发展起来的多丝正比室,经过改进而用于探测低能 γ 射线。已发展成为一种新型CT照相机。

(iv) 核磁共振CT(NMR)。在82年已出现商品化产品。它是利用原子核的磁矩不为0的样品,如人体组织水份中的氢核,使放在恒定磁场中,同时在垂直此磁场方向加一射频电磁场。在一定条件下,此磁场能使样品发生感应吸收或发射,形成核磁共振。核磁共振讯号与样品共振核的密度、磁矩间相互作用及周围环境作用有关。在医学应用中,根据各脏器组织及肿瘤的质子密度不同,可得到磁矩密度分布图象。根据弛豫时间不同可得到弛豫时间的分布图象,从而可以诊断肿瘤等病变。这是一种极为有前途的CT诊断仪器。

总之,CT技术已从静态的解剖学测量发展到动态的生理过程的测量,对核医学的发展起着重要作用。

③快中子治癌 现代医学治疗癌症主要有三种方法:外科手术切除、化学药物治疗和放射性治疗。早期的放射性治疗主要是利用浅层x射线治疗机和镭源。大约从1960年开始,主要利用电子感应加速器、电子直线加速器及 ^{60}Co 治疗机作为临床治疗工具。到了70年代,人们开始把由较高能量产生的快中子、质子、重离子、 π 负介子等用来进行放射性治疗。

我国目前还没有可治病的快中子源。上海,西安,兰州等地过去也因为中子发生器没有过关而未能开展这方面研究工作。如果中国科学院高能所建成35.5MeV(或70MeV)质子直线加速器,那么对快中子治癌进行探索及应用是有可能的。

快中子治癌早在 1940 年就在美国进行了尝试,最初是利用由回旋加速器产生的快中子。对 250 名晚期癌症患者进行治疗。结果有 18 例生存 5 年或 5 年以上。有 4 例生存了 30 年。但由于快中子对正常组织也造成晚期影响,导致了 20 多年的停滞。1964 年,英国开始作定向性研究的临床试验,并进行局部控制。到 1982 年,世界上(10 个国家)已有 24 个辐射治疗中心开展快中子治癌的研究工作。快中子治疗是一种新型的放射治疗手段,还不能说它比常规放射治疗优越。然而它对晚期“放射抗拒”型的肿瘤,的确有比常规光子放疗更好的局部控制率。中子治癌与常规治癌有完全不同的治疗机理,可能会成为一种好的放疗手段。

④放射性治癌 用放射性源 ^{60}Co 可以治疗子宫颈癌、鼻咽癌,食管癌、肺癌和乳腺癌。放射性同位素 ^{132}I (中子源)和 ^{131}I 也可用于治疗肿瘤。

除以上四个方面应用外,医疗器械的辐照灭菌消毒也是核技术应用的一个重要方面,其主要优点是消毒彻底,价格便宜,节约能源,常温消毒,操作简便。辐射消毒产品占世界辐射加工产品市场销售额的第二位。我国的情况是医疗用品消毒方法还很落后。一般采用加热消毒法,既浪费能源,又存在消毒不彻底、不完全等问题。据北京市卫生防疫站检查,医院医疗器械上乙型肝炎表面抗原阳性率高达 11.5%。另外,从战备需要考虑,需要经过消毒,且能长期保存的战备医疗用品,目前我国还没有解决。因此在我国开展辐射消毒这一新工艺的研究和应用极为迫切。举一个例,北京市每年出口纱布制品及手术刀片产值 300—400 万元。这些产品出口都是到国外再消毒。如果自己用辐射消毒后再出口,将能换取更多外汇。

(王祝翔)