

5 核技术应用

5.1 用加速器打碎粒子看世界

现在人类对客观世界的认识，已经深入到亚原子级别了。科学家们通过建造各种各样的加速器（见图 5.1.1），去轰击各种微观粒子，探寻自然界的原理。



图 5.1.1 加速器示意图

1. 加速器的起源

大约在 1909 年，卢瑟福通过 α 射线轰击金箔的散射实验发现了在原子内部存在原子核的事实。大约十年后，卢瑟福离开曼彻斯特，担任了卡文迪许实验室主任。在曼彻斯特的最后一年以及在剑桥的最初几年，他都在用 α 射线轰击各种原子核，发现质子的同时，也证明了原子核可以被人工改变。当年卢瑟福还没有加速器，用来轰击的 α 射线只能来源于天然放射性核素。

大约到了1930年，一位美国科学家劳伦斯开始建造粒子回旋加速器。此后，众多科学家尝试用不同的方法将粒子加速并互相碰撞，从而产生更多新的粒子，渴望一窥微观世界的究竟。

随后，如雨后春笋般，各种各样功能强大的加速器被制造了出来。劳伦斯被授予1939年诺贝尔物理学奖（见图5.1.2），元素周期表里面的第103号元素铼（Lr）以他的名字命名。



图 5.1.2 劳伦斯

2. 加速器的基本原理

现代的加速器已经是一个大家族了，有沿着直线跑道不拐弯的直线加速器、有一圈一圈跑的回旋加速器（见图5.1.3）等多种形式。加速器利用电场和磁场的结合，操纵粒子（比如质子）沿着一定的轨道做直线或环运动，同时把它们提升到越来越高的能量水平。然后可以让这些粒子飞出去碰撞，并把能量传递给被碰撞的目标。

根据爱因斯坦的质能转换公式，能量越高，产生大质量粒子的可能性也越大。科学家们通过加速器，设计了各种各样的对撞机（见图5.1.4），寻找这些转瞬即逝的新粒子，从而使一些基础科学的推论得到验证。

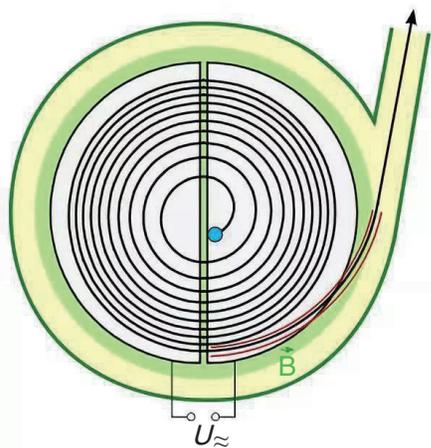


图 5.1.3 回旋加速器原理图

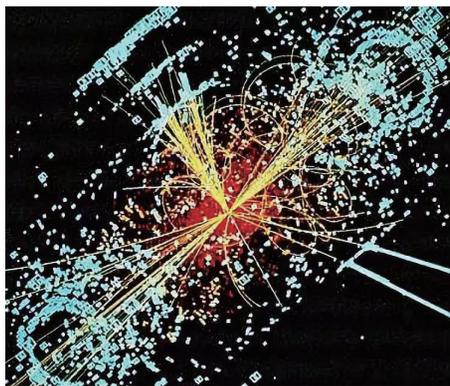


图 5.1.4 对撞机

3. 加速器的应用

虽然加速器最初诞生时，是核物理研究的工具。第二次世界大战爆发后，加速器开始扩展到基础研究以外的领域。射线辐射技术在工程、医药、生物学等方面有着广泛的应用，以此为目的的低能加速器也随之发展了起来。

加速器能够产生多种射线，在辐射加工、无损检测、辐照育种、杀虫灭菌、医用诊疗（见图 5.1.5）等多个领域发挥了作用。



图 5.1.5 医疗设备

加速器和其他依靠放射性核素衰变的辐射源相比，具有十分明显的优点：只要开关一断电就马上没有了核辐射。这使得加速器在核技术应用领域可以大显身手。

中子能否用加速器进行加速？若不行，可以用什么方式加速中子？

中子整体不带电，因此不能用电磁场对其进行加速，加速中子可以用高能粒子碰撞法或者利用加速器驱动核反应直接产生高能中子。

5.2 放射性同位素在安保和反恐领域的应用

同位素与核辐射技术在打击走私和恐怖主义活动、保障人民生命安全和健康方面发挥了重要作用。

1. 放射性物质及爆炸物检测

打击恐怖分子利用放射性物质危害社会，阻止放射性物品的非法转移是十分必要的。专业的检测仪器可对行人、行李、包裹、车辆等是否携带放射性物

质和爆炸物进行实时检查（见图 5.2.1）。

2. 反恐核侦查

高灵敏快速识别反恐核侦查车是当年专门为保证北京奥运会研制的高度集成的核反恐、核应急快速响应系统，可进行核与辐射反恐巡查和核与辐射突发事件的应急监测。具有摄像、核监测数据、GPS、电子地图导航的实时数据传输等功能，是反恐的有力武器（见图 5.2.2）。

3. 杀灭炭疽菌

美国“9·11”事件后，炭疽菌震惊了全世界。为什么炭疽菌如此可怕？专家告诉我们说，炭疽菌以孢子形式传播，那些几乎无生命的孢子藏在邮件里，无论是严冬或酷暑，外界的变化对它们都不起作用，孢子们在静静地等待时机，一旦被人们接触，它们就会成为致命病菌（见图 5.2.3）。

为杀灭炭疽菌，我国自行开发研制了自屏蔽式电子束辐射灭菌加速器。加速器电子枪发射出高功率的电磁波，当传送带上的被照射物品通过高能电子帘辐射区后，被辐照物品中的生物细菌就会被全部杀死，可杀灭邮件、邮包中的炭疽菌、天花、鼠疫等生物细菌，经过处理的邮件和物品不会残留任何放射性。



图 5.2.1 爆炸物检测



图 5.2.2 反恐核侦查



图 5.2.3 炭疽菌

4. 打击走私犯罪的集装箱检查系统

近年来，作为国际货运的主要方式，集装箱运输在带来快捷、方便的同时，也被一些不法之徒用来走私货物、贩卖毒品、偷运武器和爆炸物，严重威胁着国家的经济秩序和社会安全。

利用加速器或钴-60 作射线源的集装箱检查系统可有效打击这些犯罪活动。该系统由射线源、探测器、图像处理系统、拖动系统、控制系统和辐射防护与安全系统六部分组成。使用钴-60 集装箱检查系统，当集装箱通过时，快门自动打开，钴-60 发出的 γ 射线被准直器约束成扇形片状窄束，穿过集装箱到达探测器。探测器将接收到的 γ 射线转换成电信号，送到计算机进行图像处理（原理有点类似摄像机，只是摄像机工作在可见光波段），可在屏幕上将集装箱内隐藏的走私品、毒品、武器和炸药等显示得一清二楚，有效地打击了走私犯罪活动。

图 5.2.4 是清华同方威视研发出来的基于加速器技术的行李检查系统，更安全、更灵活。



图 5.2.4 同方威视的行李检查系统

5. 为鲜活农产品运输保驾护航

为建立顺畅、便捷的鲜活农产品流通网络，促进农民增收，国家在高速公路设立了绿色通道，对装载鲜活农产品车辆免收或减收通行费。

但近年来，假冒绿色通道车辆逃漏通行费的行为猖獗，给高速公路的正常运营带来不利影响。为打击和震慑不法分子，我国研制了高速公路绿色通道车辆检查系统。该系统利用射线辐射成像原理，将车辆内部物品的轮廓和形态呈现在计算机屏幕上，具有检查速度快、准确性高、安全性高、图像清晰、节省成本的特点。现在，绿色通道检查设备已在全国多个省、市、自治区投入运行，有力地打击了借用绿色通道政策逃漏通行费的行为，挽回了收费损失，规范了

收费秩序。

5.3 辐射育种

早在 20 世纪 50 年代人类就开始了同位素与辐射技术应用于作物育种、土壤肥料、病虫害防治、畜牧、水产和农业环境保护等领域的研究，对农业科学技术进步和农业生产的发展产生了深刻影响，取得了显著的经济效益和社会效益。

辐射育种利用辐射诱变技术选育农作物新品种。

1. 原理

利用射线照射农作物的种子、花粉、植株或枝条等，引起农作物内部遗传基因的改变，从而产生各种各样的变异甚至是自然界没有的变异。辐照过的种子、植株，经过人工几代选择和培育，便可获得新的优良品种。

2. 实践

我国在农作物辐射育种领域成绩斐然，诱变育成突变品种占世界诱变品种总数的 25% 以上。突变品种的种植面积在 900 万公顷以上，先后有 18 个品种获国家发明奖，如“鲁棉一号”、水稻“原丰早”、小麦“山农辐 63”等。



图 5.3.1 水稻“原丰早”

浙江农大育成水稻新品种“浙辐 802”连续 9 年居全国常规稻推广之首，累计种植面积达 1 050 万公顷，成为世界上推广面积最大的水稻突变品种。

中国农科院原子能利用研究所利用辐射诱变和花药培养方法，选育出大穗、矮秆、抗病的超高产小麦新品系“H92-112”，产量达 9 吨/公顷左右。

山东省农科院原子能利用研究所继“鲁棉一号”之后，利用辐射诱变和常规育种方法相结合，选育出具有陆地棉和海岛棉性状的长绒棉新品系“鲁棉 343”，其最大绒长达 36.4 毫米，适宜在黄淮棉区种植，是我国在选育改良长绒

棉花品种研究中的一个突破进展。

3. 与转基因技术的差别

辐射育种的新品种和转基因技术有明显的不同，转基因是人为编辑基因，有可能存在安全风险；而辐射育种是通过人工的方法加速自然选择的过程，没有任何安全风险。



图 5.3.2 棉花

4. 最新发展

近年来，我国又利用返回式卫星和神舟飞船搭载农作物种子进行航天育种的研究，利用宇宙射线、微重力、高真空、交变磁场对种子进行诱变作用产生有益变异，选育出高产、优质、抗逆性强的水稻、小麦、棉花、油菜、蔬菜、花卉、牧草等新品种。

5.4 用核辐射防治害虫是什么黑科技

在农业领域有一项很有用的技术就是用核辐射防治害虫，从而大大减少农药的使用量。

1. 基本原理

这项技术的基本原理是让昆虫不能繁殖后代，叫做辐射不育技术（见图 5.4.1）。



图 5.4.1 昆虫

2. 方法

辐射不育技术是一项无公害的生物防治新技术。它利用钴-60，

铯-137 放出的 γ 射线或加速器产生的电子束，对害虫的虫蛹或成虫进行一定剂量的照射，使其雄虫失去生殖机能，从而断子绝孙，它既可灭绝害虫又不产生公害（见图 5.4.2）。

3. 实践

我国自 20 世纪 60 年代以来，先后对玉米螟、蚕蛆蝇、小菜蛾、柑桔大实蝇、棉铃虫等 10 多种害虫进行辐射不育研究、工厂化饲养和大面积田间释放，效果达 90% 以上（见图 5.4.3）。

特别是对柑橘大实蝇的人工饲养成功并在贵州惠水县 1.8 公顷计 10 多万株柑橘树的橘园内，连续释放 160 多万头不育虫蝇，使柑橘大实蝇的受害率由释放前的 5.19% 下降到 0.098%，柑橘年产量由 23.7 万千克上升到 50.3 万千克，取得显著效果。



图 5.4.2 被虫子啃过的菜叶



图 5.4.3 害虫

5.5 放射性同位素在医学领域的应用

放射性同位素在医学领域的应用十分广泛，利用放射性同位素产生的电离辐射来进行诊断和治疗已经是现代医学的重要组成部分。同位素诊疗方法还是重要的医学研究手段，通常新药在试用于临床之前，都要用放射性同位素加以标记，用来研究药物在身体内代谢的规律。

1. 诊断疾病

应用核医学检查，不仅能显示机体内不同器官组织的形态结构，而且同时可以分析组织的生理及代谢变化，对器官组织的功能做出判断，具有安全、可靠、快速、灵敏等优点。

(1) 锝-99m 药物

核医学临床诊断中应用最广泛的放射性核素是锝-99m，它的半衰期短（6.02 小时），化学毒性很小，安全可靠。临床上可静脉注射锝-99m 标记的放射性药物（见图 5.5.1），利用计算机单光子断层显像仪在体外加以测量，根据显像图上显示的脏器大小、位置、形态及

放射性分布情况，便可诊断出人体脏器和组织如大脑、心肌、肾、骨骼、肺、淋巴、甲状腺等的疾病。具有安全，可靠，灵敏度高，可进行动态、定量观测等优点。

（2）正电子发射计算机断层显像

正电子发射计算机断层显像（PET）是目前所有显像技术中最有前途的显像技术之一。我们知道，许多疾病的发生、发展过程往往是生理、生化方面的变化早于病理、解剖方面的变化。

PET 的优势就在于它是活体生物化学显像，因而在病变的早期就可以发现。它所使用的放射性核素如碳-11、氮-13、氧-15 等都是人体的重要组成元素的同位素，可以代替相应机体分子中的碳、氮、氧原子，而不会改变分子的结构和生化特性。

PET 可以显示正常和异常情况下活体组织的生化变化，确定病变的性质及恶性程度，预测病理并直接指导治疗。PET 在核医学史上是一个划时代的里程碑（见图 5.5.2）。

（3）放射免疫分析

放射免疫分析是以放射性核素标记的配体为示踪剂，在体外完成的微量生



图 5.5.1 同位素药物

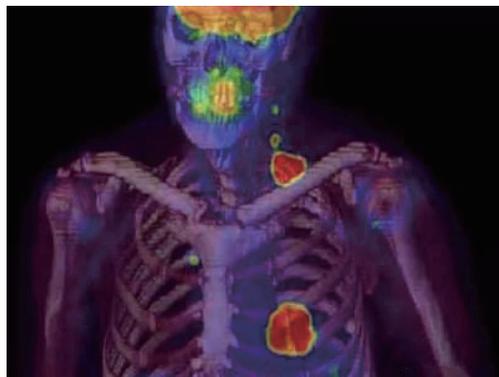


图 5.5.2 正电子发射计算机断层显像

物活性物质检测技术。具有灵敏度高、特异性强、准确度高、操作简便及应用广泛等特点。使用放射免疫分析进行疾病检测，是一项放射性核素不进入人体内即可进行超微量生物活性物质测量的技术。

体外放射免疫分析技术广泛应用于基础及临床医学的各个领域，如药理学、药物学、生理学、肿瘤学、生物化学、免疫学、血液学、妇产科学、儿科学、法医学等。

据统计，用体外放射免疫分析技术可测定体内各种微量生物活性物质如激素蛋白质、环磷酸腺苷、抗原、抗体、维生素和药物达 300 种以上，成为临床不可缺少的手段。

2. 治疗疾病

用同位素技术治疗疾病，是目前人类征服癌症的曙光。

用同位素、重离子、中子进行肿瘤的放射治疗是目前临床上较为理想的治疗手段。放射治疗是使用放射源或将放射性核素引入体内，利用其发出的射线的电离作用破坏病变组织或改变组织代谢，杀伤病变细胞而达到治疗的目的。

放射治疗的特点是患者无痛苦、安全、简便、疗效好、并发症少，对许多疾病的治疗有着不可替代的作用。

(1) 重离子治癌

重离子治癌是当代公认的先进有效的放疗方法。所谓重离子，是指比氦重并被电离的粒子。

与常规放疗射线相比，重离子以其在物质中的剂量集中于射程末端的物理学特性和高的相对生物学效应，用于治癌时具有明显的优势：对病灶周围健康组织损伤最小，对癌细胞杀伤效果最佳，在线精确监控照射位置和剂量，疗程短、无痛苦，几乎没有副作用。因此，重离子被国际上公认为 21 世纪最理想的



图 5.5.3 重离子治癌

放疗用射线，特别适宜于外科手术、化疗、常规放疗无效或易复发的难治病例（见图 5.5.3）。

（2）伽马刀

用伽马刀治疗脑部肿瘤是一种不开颅治疗颅内病灶的新技术。在设备内腔的球体上装有多个钴-60 放射源，他们发出的射线汇集在球体的中心点。治疗时，将病人的头部安放在球体中，使病灶进入射线的聚焦区进行照射，其产生的极大能量足以摧毁病变组织。射线只照射病变组织，不会伤及正常组织。这是一种安全有效的颅内肿瘤治疗技术（见图 5.5.4）。

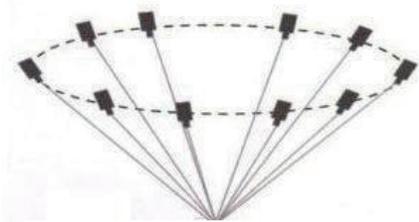


图 5.5.4 伽马刀

（3）硼中子俘获疗法 BNCT

用 BNCT 治疗时，先将一种含硼化合物注射进入人体，通过血液循环进入肿瘤部位，当用中子束照射患者肿瘤时，中子与硼发生核反应，利用核反应产生的 α 粒子的作用，可以杀死一定范围内的肿瘤细胞，从而达到治疗目的（见图 5.5.5）。

（4）放射性核素的介入治疗

将放射性核素直接介入病灶，具有创伤小、手术简单、疗效好的特点。例如冠状动脉狭窄治疗，以前需要做开胸搭桥的大手术，现在只需经颈动脉或股动脉将镀有钯-103 的放射性支架插入，将狭窄的动脉撑开。由于射线抑制了血管内壁平滑肌细胞和内膜细胞增生，使血管保持畅通，临床治疗效果很好。

在腔内肿瘤治疗方面，介入治疗也是有力的武器。如用碘-131 治疗甲状

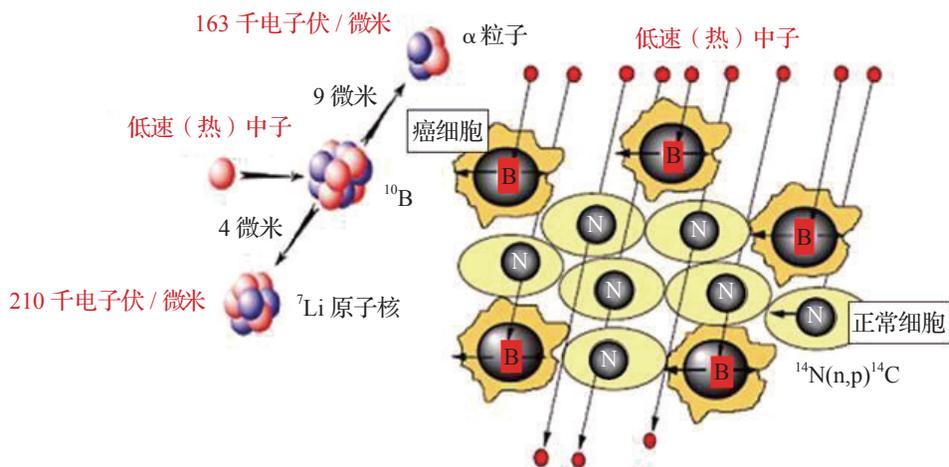


图 5.5.5 硼中子俘获疗法

腺癌、钇-90-GTMS 治疗肝癌、钐-153-EDTMP 治疗骨转移癌，都取得了较好的效果。

5.6 碳-14 用于考古断代

核技术用于考古断代主要的原理是利用放射性核素的半衰期。

那么什么是半衰期呢？所有的放射性核素有一个特点，就是经过特定的时间其核子数量会减少一半。这个特定的时间称为半衰期，如图 5.6.1 所示。