

放射性同位素技术

肖 伦 主编

原子能出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

放射性同位素技术/肖伦主编. —北京:原子能出版社,
2000.9

(核科学技术丛书)

ISBN 7-5022-2088-7

I. 放… II. 肖… III. 放射性同位素-应用-技术 IV. O615

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 61645 号

内 容 简 介

本书概括地总结了我国 40 多年来放射性同位素事业发展的成就与经验,同时也简略地介绍了国际上的进展。全书分三篇共十七章,主要论述了放射性同位素制备技术和放射性同位素应用技术,内容丰富、涉及面广泛。

本书可供在放射性同位素技术及其相关领域中从事科研、生产、应用的广大科技人员和管理人员参考,也可供高等院校相关专业师生参考。

放射性同位素技术

肖伦 主编

责任编辑:谭俊

封面设计:崔 彤 版式设计:崔 彤

责任校对:李建慧 责任印制:刘芳燕

原子能出版社出版 发行

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

北京市朝阳区科普印刷厂印刷 新华书店经销

开本:850×1168mm 1/32 印张:15.5 字数:400 千字

2000 年 9 月北京第一版 2000 年 9 月北京第一次印刷

印数:1—2000

定价:38.00 元(精)

前 言

自 1958 年我国第一座核反应堆和加速器建成并研制出首批 33 种放射性同位素以来,中国放射性同位素事业已走过整整 40 个春秋。

40 年来,放射性同位素技术经过探索研究、技术开发和推广应用,已发展为具有强大生命力的高技术产业,并取得了瞩目的成就。其间,积累了丰富的经验,也有挫折与教训。值此迎接 21 世纪之际,回首与前瞻,总结经验,激励来者,面向未来,这就是我们撰写《放射性同位素技术》的宗旨。

本书撰写中,力求实事求是地总结我国放射性同位素事业发展的成就与经验,同时也简略地介绍国际上的进展。

放射性同位素技术是一门应用科学,故本书侧重于技术内容和经验。全书分三篇共十七章,主要论述放射性同位素制备技术和放射性同位素应用技术。放射性同位素技术内容丰富,涉及领域广泛,由于篇幅所限,某些方面未及一一。

各章节均由长期从事放射性同位素工作的专业人员执笔,他们具有丰富的实践经验,这是成书的良好基础。由于作者众多,写作风格各异,因此要求全书在结构、体例和格式上完全和谐一致是困难的,尽管已经注意到了这些问题。

为尊重作者并表明文责自负,本书各部分撰稿者的姓名列于相应章节之后。全书由卢玉楷统稿。在本书撰写与付梓过程中,中国原子能科学研究院同位素研究所的领导与同仁以及原子能出版社给予的指导与支持甚多,在此,我们向他们表示诚挚的感谢。

时间匆匆,加之作者学识所限,不足乃至错误之处在所难免,
敬请读者批评指正。

《放射性同位素技术》编委会

一九九九年仲夏

序 篇

第一章 导 言

放射性同位素技术是以核物理、放射化学和相关学科为理论基础,研究放射性核素(含制品)特性、制备、鉴定和应用的一门综合性高技术。

“同位素”一词在这里依照习惯与术语“核素”不作严格的概念区分。

1896年,H. Becquerel 发现铀的放射性,揭开了核科学技术的序幕。本世纪以来,放射性同位素技术作为核科学技术的重要组成部分,其发展和广泛应用为人类认识和改造世界作出了重大贡献。

放射性同位素技术使人类的认识从宏观深入到微观,从而能从分子甚至原子水平动态地考察自然现象,实现了人类对物质世界认识的飞跃。

更重要的是,放射性同位素技术强化了人类改造物质世界的能力。实践证明,放射性同位素的应用,深化了农业的绿色革命,促进了工业的技术改造,推动了环保事业的发展,提高了人类征服疾病的能力。凡此种种,体现了同位素技术改造世界的成就。

放射性同位素技术的开发是 20 世纪人类活动最重要的事件之一,体现了科学技术发展的时代特征。它作为人类智慧的结晶,其应用成果已产生显著的社会效益和经济效益,并已形成了产业化规模。

可以预言,21 世纪,放射性同位素技术在提高人类生活质量,促进社会经济的可持续发展中将起着重要的作用,从而展示更灿烂的明天。

一、放射性同位素技术的特点与内容

(一) 放射性同位素技术的特点

放射性同位素技术最基本的特点源于放射性,由此而具有先进性,不可替代性,交叉与渗透性以及应用的广泛性。

1. 先进性

原子核科学技术是 20 世纪形成的一门高技术,作为其重要组成部分的放射性同位素技术也体现了“原子能时代”的先进性。

放射性同位素及制品的特征核性质为其准确探测提供了可能。这种探测方式具有极高的灵敏度,是最现代的化学分析方法也无法比拟的,已成为微量和超微量物质分析的重要手段。目前放射性测量方法可探测的活度下限达数十贝可,相当于 $10^{-18} \sim 10^{-19} \text{g}$ 的水平,而化学分析方法的检出限很难达到 10^{-12}g 。这为利用放射性同位素技术开展分子与原子水平研究创造了条件,例如开展金属原子的自扩散、有机化合物的重排和异构化等方面的深入研究。

核辐射通常具有很高的能量水平,一般可达上百万电子伏,为化学键能的数十万倍。此外,核衰变能还具有能量密度高的特点。因此,核辐射与物质的相互作用的高效性是可想而知的。放射性同位素的核衰变能为制作特种能源(如微光源、空间核电池与特种热源等)与加工特种材料(突变育种、医疗用品消毒灭菌、功能材料等)提供了全新的思路。

放射性同位素技术在其发展过程中也不断吸取相关高新技术的成果(如电子计算机、微电子学、生物工程等),而进一步完善和

提高了自身的技术先进性。

2. 不可取代性

不可取代性是放射性同位素技术在竞争中立于不败之地的关键。在某些场合,放射性同位素技术的独特优势是其他技术无法取代的。

放射性同位素技术可以快速而灵敏的取得物质状态和运动的信息。这些信息为人类认识和改造客观世界,征服自然提供了前所未有的可能性。

放射性示踪的微量性与直观性在生命科学研究中的优势与效果特别引人注目。一些经过精心设计的标记化合物可直接参与生物体内的生理过程,并动态地跟踪营养与代谢物质的运动,有助于揭示出生物体与细胞内的各种生化过程的内在联系,从而进一步阐明生命活动的物质基础。

在生物与医学的基础研究中,放射性同位素示踪被视为“流动型原子显微镜”,使科学家有可能把自己的视野从微生物细胞水平深入到亚细胞、分子、亚分子水平,大大丰富了人类对生命现象本质的认识。目前可以说,分子生物学的任何重大进展都离不开放射性同位素技术。

放射性示踪在农业科学中的应用具有一定的典型性。放射性同位素不仅在观察生理物质在植物体内的吸收、运转、分配和积累方面取得了成果,而且在研究植物的光合作用、生物固氮与合理使用农药等方面发挥了重要作用。显然这一切对于农业生产具有现实的指导意义。

放射性同位素技术的不可取代性,还表现在其固有的特征核性质不受环境条件(温度、压力、电磁场等)的影响和干扰。这一点可用于工业过程监测,取得密封(或非密封)容器与管道内物料状态与运动的信息,而无需顾及现场的恶劣条件(高温、高压、高粘度、高腐蚀、高毒性等)的影响。事实上目前工业上正是通过各种

同位素监控仪表获取诸如料位、厚度、密度、水分等非电参数而对生产过程实行自动监控的。

高能射线对物质作用的化学效应,成为引发许多化学反应的一种独特手段,从而避免了高温、高压以及引入催化剂等复杂工艺,保证了产品的纯净性。同样,高能射线对植物与微生物作用产生的基因突变,为短期培育地球上不存在的新品种创造了条件。须知,辐射突变效果较之自然突变有时高出 1000 倍。

3. 交叉渗透性

放射性同位素技术的发生与发展离不开核科学技术的基础与非核技术的支撑,特别是放射性同位素及其制品的获取更是多种常规技术与先进技术配合使用而取得的成果。同样,放射性同位素技术向各学科领域的渗透也为不少交叉学科的建立奠定了基础。

一个典型的例子是放射性同位素技术向古老的免疫学的渗透。这种渗透形成了放射免疫学科。放射免疫分析技术充分体现了两者结合的优势互补:放射性同位素高度的示踪灵敏性与免疫学抗原-抗体的高度特异性。放射免疫分析就是根据这一原理建立起来的。这一分析方法给生物体液中微量生理活性物质的检测带来了革命性的影响。近年来出现的放射性核素标记的基因探针(DNA 探针)技术,类似于放射免疫分析技术,将放射性核素探测的高度灵敏性与重组 DNA 同源序列互补的高度特异性相结合,可在分子水平上实现从病毒到蠕虫各种病原体遗传物质的快速检查。

值得指出的是,放射性同位素技术甚至渗透到我国宝贵的医学遗产之中,对我国古老的中医中药体系进行深入地挖掘和整理,以便对祖国医学中诸如阴阳学说、肾本质、扶正固本理论以及针刺经络原理等赋予现代科学的概念和解释。

放射性同位素技术向医学和农业的渗透形成了核医学和核农

学这样一些交叉学科。

同时,先进技术(电子计算机、微电子学、激光、生物工程等)向放射性同位素技术的交叉渗透,也为该技术的技术进步和功能完善奠定了技术基础。

4. 应用的广泛性

放射性同位素技术较为全面的应用功能,为应用的广泛性提供了基本保证,因而在工业、农业、医学、资源、环保、军事,以及科学研究等方面获得了广泛的应用。放射性同位素衰变放出的射线可以作为感知物质及其运动状态的一种手段,因而在放射性示踪、物质成分分析与工业生产过程监控中发挥重要的信息获取作用。这一作用由于电子计算机的引入,而进一步得到加强。其次,射线与物质相互作用产生的物理、化学与生物效应为制作新型物质与材料改性提供了条件。此外,放射性同位素的衰变能本身也是一种能量来源。

放射性同位素技术的这三种应用功能有助于使某些被认为已经陈旧的概念在新的技术条件下获得新生,同时也有助于通过巧妙的构思与新颖的设计,将待开发的领域纳入技术的应用范畴。从这个意义上说,放射性同位素技术的开发潜力,就其开发广度与深度而言,是永无止境的。

(二) 放射性同位素技术的内容

放射性同位素技术根据其技术结构,可以粗略地分为制备技术和应用技术两大类(图 1.1)。

制备技术主要包括利用核反应堆与带电粒子加速器等手段,专门为获取放射性同位素及其制品的各种技术。制备技术为应用技术提供了基本条件和物质基础。

应用技术是指运用放射性同位素及其制品以取得实际应用的

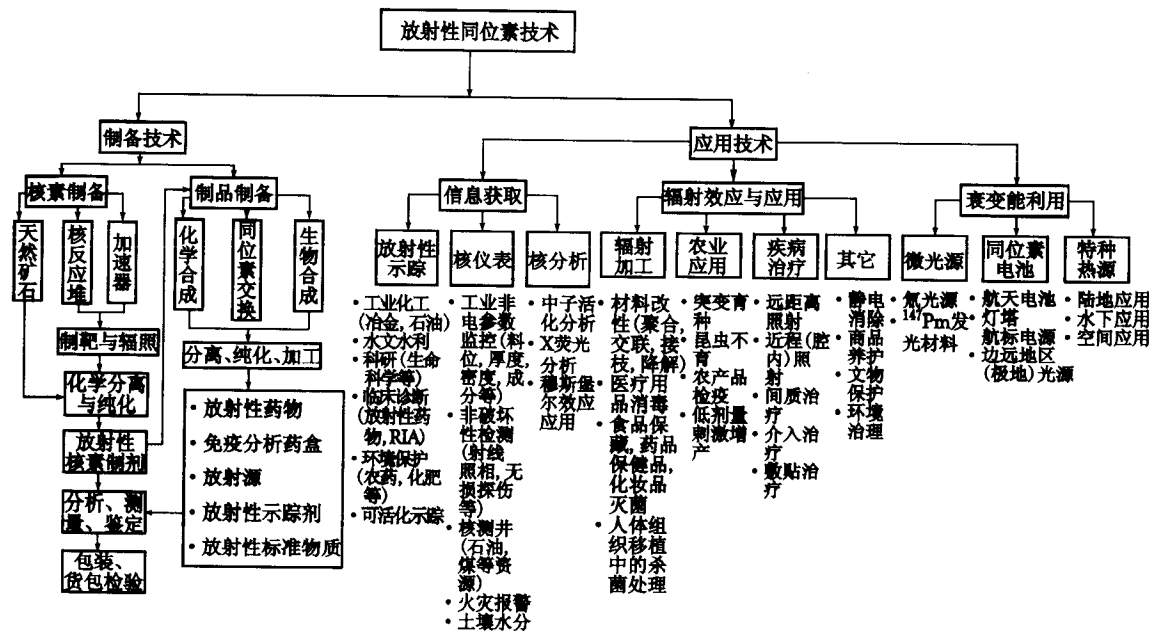


图1.1 放射性同位素技术的分类

各种技术。应用技术可按多种方式分类。例如,按应用功能可分为:

(1) 信息获取技术。包括放射性同位素示踪技术、放射性同位素检测技术、放射性同位素分析技术。

(2) 辐射效应应用技术。包括放射性同位素辐射技术以及辐射效应在工业、农业、癌症治疗、静电消除等方面应用的技术。

(3) 衰变能利用技术。包括放射性同位素衰变能转变为光能、电能、热能的各种技术。

二、放射性同位素技术发展简史

(一) 发展简史

放射性同位素技术发展历史,可以追溯到 100 多年前放射性的发现。1913 年英国物理学家 F. Soddy 提出“同位素”概念,使人们第一次认识到一种化学元素可以包含几种质量数不同而化学性质几乎完全相同的原子。

1919 年,英国物理学家 E. Rutherford 利用 α 粒子轰击氮-14,生成了氧-17 和质子,首次实现了人工核反应,完成了由一种原子核向另一种原子核的转变。1932 年, E. D. Lawrence 发明回旋加速器,被当时称为划时代的“原子击破器”,为制备人工放射性核素提供了重要工具。1934 年 F. Joliot-Curie 和 I. Joliot-Curie 用 α 粒子轰击轻元素发现了人工放射性核素,从而为人工制备放射性同位素开辟了途径。

1938 年 O. Hahn 和 F. Strassmann 在研究中子与铀核作用时发现了铀核裂变现象。1942 年 E. Fermi 在美国建成了世界上第

一座核反应堆,实现了人类历史上首次自持链式反应。核反应堆的建成为放射性同位素的规模化生产奠定了基础。

天然放射性元素的发现为放射性同位素的应用创造了前提条件。1907年 Stenback 用镭射线治疗皮肤癌。1913年 Hevesy 创立同位素示踪方法,为放射性同位素示踪应用开辟了道路。

第二次世界大战结束后,整个核科学技术从军事体制下逐步向和平利用过渡。放射性同位素技术得到蓬勃发展。1957年国际原子能机构(IAEA)成立,推进放射性同位素技术在各成员国中的应用是该机构的重要任务之一。

随着核反应堆与带电粒子加速器等现代化装置的不断建立,放射性同位素及其制品不再作为敏感物资而受到垄断,从而促进了世界范围内放射性同位素技术的广泛应用。

尚须提及的是,1959年, P. Richards 等研制成功 ^{99}Mo - $^{99}\text{Tc}^m$ 发生器,为日后发展 $^{99}\text{Tc}^m$ 药物开创了先河。

Yalow R. A, Berson S. A 于 1959 年创立放射免疫分析法,开辟了医学检测史上的一个新纪元,使得那些曾被认为无法分析的极微量而又具有重要生物学意义的物质得以精确测定,从而使人们有可能在分子水平上重新认识某些生理现象的生化生理基础。

近年来,一些主要工业发达国家更把放射性同位素技术作为高技术内容而参加世界高科技的角逐。例如美国、前苏联、日本和欧洲一些国家都为谋求自身的高额经济利益和显著的社会效益以及环境效益积极推进本国放射性同位素技术的发展,特别是一些成熟的技术正向生产力转化,逐步确立了放射性同位素技术在国民经济中的产业化地位。

发展中国家也都根据本国的具体国情,采取不同的方式开发本国的放射性同位素技术。放射性同位素技术的产业化进程为该技术向发展中国家转移创造了良好的条件。国际间的交流与合作,以及国际机构的重点支持有助于发展中国家更有效地掌握和

应用放射性同位素技术。

(二) 我国发展概况

我国放射性同位素技术的开发工作始于 50 年代。1950 年,中国科学院近代物理研究所(1953 年更名为物理所)放射化学研究组开始进行同位素的研究。一些早期零星的应用主要集中在放射性示踪研究、 γ 射线无损探伤和疾病的放射治疗等方面。当时放射性同位素和密封放射源全部从国外进口。

1956 年,放射性同位素技术的发展纳入《1956~1967 年全国科学技术发展远景规划》,原子能和平利用列为全国六大重点科研任务之一。当时为了发展我国的原子能事业,中国科学院物理所与正在兴建的原子能科学研究基地合并,成立中国科学院原子能研究所。1958 年该所正式成立了放射性同位素制备研究室(即现在同位素研究所)。肖伦教授被任命为该研究室的第一任主任,肩负起放射性同位素技术开拓发展的使命。该室成为我国放射性同位素研制的发祥地。

1958 年 9 月,我国第一座实验研究反应堆投入运行。同年第一台回旋加速器也相继建成。这为我国放射性同位素的生产和推广应用创造了良好的起步条件。原子能所同位素研究室于 1958 年在核反应堆建成后就在简易的放射化学实验室中成功地研制出第一批堆照放射性同位素,如 ^{24}Na , ^{32}P 和 ^{60}Co 等 33 个品种。1960 年起该研究室开始生产供应未经加工的放射性同位素产品。1960 年供应的品种达 17 种。1961 年起该室承担军用同位素的研制任务,在短期内出色地完成了核爆炸实验用中子源、核潜艇启动中子源以及核武器(氢弹)用氙的生产工艺等工作,保证了国防事业的紧迫需要。60 年代中期,国家投资建立了我国第一座放射性同位素研制实验室,为用户提供 ^{14}C , ^{32}P , ^{35}S 和 ^{131}I 以及 α , β^- 参

考源等批量产品。

与此同时,北京、上海、兰州、四川等地的众多研究单位也都先后开展了放射性同位素技术的研究开发工作,并取得了多方面成果,包括采用回旋加速器制备多种贫中子放射性同位素,裂片同位素的提取以及放射性药物放射性标记化合物与密封放射源在科学研究、医学、农业、工业等方面的应用成果。

70年代,我国放射性同位素技术应用全面展开,放射性同位素产品的生产也有较大发展。原子能院同位素所正是这时向临床提供了首批 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 发生器(由堆照 MoO_3 生产)、 $^{113}\text{In}^{\text{m}}$ 发生器和放射免疫测定盒。全国所有省、市级医院和医学研究单位都开展了放射性同位素的应用研究。此外,农业应用成果喜人。据1975年统计,辐射育种育成的品种达115个,推广面积达1300万亩。在工业应用上值得提及的是,我国第一座工业规模的 ^{60}Co 辐照装置1978年在陕西第一毛纺厂投产,专用于羊毛灭菌,每年可处理原毛3000 t,极大地改善了工人的劳动条件。

80年代,我国核工业开始了“保军转民”的重点转移。1982年全国同位素工作会议召开,放射性同位素技术作为一项新兴技术列入“六五”国家攻关计划。这对于我国放射性同位素技术的发展给予了极大地推动。以放射性同位素及其制品为例,产品的品种不断增多,并逐步实现标准化和系列化。常规产品的国产化率达到85%以上,初步形成了以北京、上海和四川为研制基地的生产布局。

放射性同位素产品的常规供应促进了以工业应用为重点的技术开发,出现了诸如 ^{241}Am 离子感烟火灾报警器、 ^{192}Ir 工业 γ 探伤机、 ^{60}Co 远距离与近程放射治疗装置、同位素静电消除器、工业核监控仪表,以及油田测井用钽-131微球示踪剂等众多技术成果。

进入90年代,随着我国国民经济的增长,放射性同位素技术的产业化速度也明显加快,国际交流与合作日趋活跃,一些薄弱的

环节得到突破。为增强市场竞争力,一些早期的工艺方法更新换代,有些产品正按 ISO 标准生产力求与国际接轨。国产裂变钨-99m 发生器替代进口,1998 年钨-99m 药物获得了国家科技进步一等奖。北京与上海两台先进的回旋加速器先后建成,为我国加速器同位素的规模化生产提供了条件。国家为了强化科技成果转化生产力的能力,加速产业化进程,在中国原子能科学研究院同位素所组建了“国家同位素工程技术研究中心”。

总之,我国放射性同位素技术经过几十年的发展已初具规模,其中,在制备技术和应用技术的某些领域已步入国际先进水平的行列。然而与世界上工业发达国家相比,还存在相当的差距。当前面临的问题是加速成熟技术的产业化水平,努力实现产品的标准化、系列化和国际化,并不断推陈出新,积极参与国际市场的竞争。

1984 年,我国加入国际原子能机构(IAEA),推动了放射性同位素技术的国际交流与合作,促进了我国放射性同位素技术的发展。1988 年,IAEA 在中国原子能院同位素所举办了第一期亚太地区放射性药物培训班。1995 年,中国核学会和同位素学会共同创办了“’95 北京国际同位素会议”,会议获得成功,并自此开始,每两年举办一次国际同位素会议。

三、放射性同位素技术 在国民经济发展中的作用

(一) 概 述

放射性同位素技术的特点,确立了它在国民经济发展中的地