



中国原子能科学研究院科学技术丛书

放射性同位素技术

肖 伦 主编

 原子能出版社

中国原子能科学研究院科学技术丛书

放射性同位素技术

肖 伦 主编

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

放射性同位素技术/肖伦主编. —2版. —北京:原子能出版社,2005.9

(中国原子能科学研究院科学技术丛书)

ISBN 7-5022-3488-8

I. 放… II. 肖… III. ①放射性同位素-制备②放射性同位素-应用 IV. TL92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 095337 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

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100037)

责任编辑 杨树录 黄厚坤 谭 俊

责任校对 冯莲凤

责任印制 丁怀兰

印 刷 保定市印刷厂

经 销 全国新华书店

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 22.875

字 数 434 千字

版 次 2005 年 9 月第 2 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5022-3488-8

印 数 1—2500

定 价 80.00 元

版权所有 侵权必究

网址: <http://www.aep.com.cn>

《中国原子能科学研究院科学技术丛书》

出版委员会

主 任 赵志祥

副主任 舒卫国 柳卫平

委 员 (按姓氏笔画为序)

万 钢	王 楠	王阿凤	王国保	尹忠红	石永康
叶宏生	叶国安	刘森林	许谨诚	李林虎	李和香
李树源	杨丙凡	杨河涛	张昌明	张和平	张锦荣
张静波	陈建欣	邵焕会	罗志福	赵崇德	姜兴东
夏海鸿	强家华	薛小刚			

编审委员会

顾 问 (按姓氏笔画为序)

王乃彦	王方定	方守贤	阮可强	汪德熙	张焕乔
周永茂	钱绍钧	黄胜年	樊明武		

主 任 赵志祥

副主任 柳卫平 许谨诚

委 员 (按姓氏笔画为序)

勾 成	卢玉楷	叶国安	吕忠诚	朱升云	刘一兵
关遐令	李吉根	杨启法	肖雪夫	张万昌	张天爵
张先业	张伟国	张应超	陈玉宙	陈永寿	陈钟麟
范显华	林灿生	罗上庚	罗志福	竺礼华	金小海
金华晋	周祖英	单玉生	姜 山	贺佑丰	袁履正
顾忠茂	党淑琴	徐 铤	浦胜娣	容超凡	谢建伦
裴鹿成					

办公室

主 任 尹忠红

副主任 李来霞

成 员 (按姓氏笔画为序)

马英霞	王丽英	王宝金	伍险峰	张小庆	竺 琳
韩翠娥					

《中国原子能科学研究院科学技术丛书》

编辑工作委员会

主 任 侯惠群

副主任 杨树录

委 员 (按姓氏笔画为序)

丁怀兰 李 宁 李盈安 杨树录 张 辉 张关铭
张铤清 赵守林 赵志军 侯惠群 黄厚坤

编辑工作小组

组 长 杨树录

副组长 张铤清 赵志军

成 员 (按姓氏笔画为序)

丁怀兰 李 宁 杨树录 张铤清 赵志军

《放射性同位素技术》

编审委员会

主 编 肖 伦

执行主编 王翌善

副 主 编 曹盘年

主 任 林琼芳

执行主任 卢玉楷

副 主 任 徐长林

委 员 (按姓氏笔画为序)

王衍真 卢玉楷 乐俊楚 吕延晓 李大康 张锦荣

林琼芳 金小海 祝 疆 姚历农 贺佑丰 徐长林

秘 书 杨宜莱

总 序

中国原子能科学研究院创建于1950年,是我国核科学技术的发祥地和先导性、基础性、前瞻性的综合性核科学技术研究基地。

在党中央和上级部门的关怀和指导下,中国原子能科学研究院为我国的国防建设、国民经济建设和核科学技术的发展做出了重要贡献,造就了7位“两弹一星”功勋科学家和60多位两院院士,培养了大批科技人才,在核物理、核化学与放射化学、反应堆工程技术、加速器工程技术、同位素技术、核电子学与核探测技术、辐射防护、放射性计量等学科形成了自己的特色和优势,并拥有核科学与技术 and 物理学两个一级学科硕士、博士学位授予权。

为了系统地总结原子能院在核科学技术相关优势学科积累的知识 and 经验,吸收和借鉴国内外核科学技术最新成果,促进我国核科技事业的发展,我院决定组织出版《中国原子能科学研究院科学技术丛书》,并选定王淦昌、肖伦、丁大钊、王乃彦、阮可强等院士编著的《惯性约束核聚变》、《放射性同位素技术》、《中子物理学——原理、方法与应用》、《新兴的强激光》、《核临界安全》5本专著首批出版,今后还将组织撰写更多的学术专著纳入本丛书系列。

谨以此套丛书献给为我国核科技事业献身的人们!

《中国原子能科学研究院科学技术丛书》出版委员会

2005年9月1日

编著者说明

在中国原子能科学研究院建院 55 周年之际,肖伦院士主编的专著《放射性同位素技术》被收入《中国原子能科学研究院科学技术丛书》首批出版。由于时间仓促,本书编审委员会借此机会仅对书中部分内容做了适当修改,并保留了 1999 年版的前言。不足之处在所难免,欢迎批评指正。

《放射性同位素技术》编审委员会

2005 年 9 月

第一版前言

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

目 录

序 篇

第一章 导言	(3)
一、放射性同位素技术的特点与内容	(3)
(一)放射性同位素技术的特点	(3)
(二)放射性同位素技术的内容	(6)
二、放射性同位素技术发展简史	(6)
(一)发展简史	(6)
(二)我国发展概况	(8)
三、放射性同位素技术在国民经济发展中的作用	(10)
(一)概述	(10)
(二)推进传统行业的技术改造,加速国民经济现代化	(11)
(三)防治疾病,保障人民身体健康	(13)
(四)保护生态环境,为可持续发展作出贡献	(14)
四、趋势与展望	(15)

第一篇 放射性同位素制备技术

第二章 反应堆生产放射性核素	(19)
一、主要核反应	(19)
二、制靶技术	(20)
(一)靶材料的选择	(21)
(二)靶材料的预处理	(21)
(三)靶筒的设计	(21)
(四)靶容器的清洗和靶筒的密封	(22)
(五)靶材料的装量及靶材料在靶筒内的排布方式	(23)
(六)靶的安全性考虑	(23)
三、辐照技术	(24)
四、产额计算	(26)

五、放射性核素常规生产的条件与工艺	(29)
(一)生产条件	(29)
(二)生产工艺	(30)
六、特殊用途放射性核素的生产及工艺示例	(32)
(一) ^3H	(32)
(二) ^{210}Po	(35)
七、从裂变产物中分离放射性核素	(37)
(一)裂变产额	(37)
(二)从核燃料后处理高放废液中提取长寿命放射性核素	(39)
(三)中短寿命裂变产物核素的分离、纯化	(40)
(四)从 ^{235}U 裂变产物中提取高纯 ^{99}Mo	(41)
参考文献	(45)
第三章 加速器生产放射性核素	(48)
一、加速器生产的放射性核素的特点	(48)
二、核反应的选择	(49)
三、激发函数与产额计算	(49)
四、靶系统	(52)
(一)固体靶系统	(53)
(二)液体靶系统	(54)
(三)气体靶系统	(54)
五、重要放射性核素的生产工艺	(55)
(一)正电子放射性核素的生产	(56)
(二)单光子发射核素的生产	(65)
参考文献	(69)
第四章 超铀元素的合成与我国新核素研究	(72)
一、超铀元素合成进展	(72)
二、超铀元素的合成途径	(76)
(一)反应堆内长期照射	(76)
(二)核爆炸时瞬间合成	(77)
(三)轻粒子引起的核反应	(77)
(四)重离子引起的核反应	(77)
三、重要超铀元素的生产	(78)
(一) ^{241}Am 的生产	(78)
(二) ^{238}Pu 的生产	(78)

(三) ^{252}Cf 的生产	(79)
四、我国新核素研究现状	(79)
参考文献	(82)
第五章 放射性核素发生器	(84)
一、放射性核素发生器的基本原理	(84)
(一)母-子体系中子体放射性核素的增长	(84)
(二)子体放射性核素淋洗时间的选择	(85)
二、放射性核素发生器的制备	(86)
(一) ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器	(87)
(二)其他放射性核素发生器	(91)
三、放射性核素发生器的进展	(93)
参考文献	(96)
第六章 放射性标记化合物的制备	(97)
一、氟标记化合物的制备	(97)
(一)标记方法	(98)
(二)氟标记化合物的纯化	(100)
二、碳-14 标记化合物的制备	(101)
三、磷-32 标记化合物的制备	(102)
(一) ^{32}P 核苷酸的制备	(102)
(二)化学合成法制备 2-甲硫基腺苷 $[\beta\text{-}^{32}\text{P}]$ 二磷酸	(103)
四、硫-35 标记化合物制备	(104)
(一) ^{35}S 核苷酸的制备	(104)
(二) ^{35}S 蛋白质或多肽的制备	(106)
(三) ^{35}S 马拉硫磷的制备	(106)
参考文献	(107)
第七章 放射性药物的制备	(110)
一、放射性药物制备的一些基本问题	(110)
(一)放射性药物的基本特征	(110)
(二)放射性药物设计的主要依据	(111)
(三)放射性药物的特殊要求	(113)
(四)放射性药物生产和质量控制应遵循的法规	(113)
二、放射性药物一般制备技术	(114)
(一)放射性碘化标记	(114)
(二) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物标记	(117)

(三)多肽或受体配体药物标记	(117)
三、典型诊断用放射性药物的制备	(119)
(一)碘放射性药物的制备	(120)
(二) ^{99m}Tc 放射性药物的制备	(120)
(三)PET 放射性药物的制备	(124)
四、治疗用放射性药物的制备	(126)
(一)治疗用放射性药物的分类	(128)
(二)治疗用放射性药物的制备	(129)
五、放射性药物进展	(133)
参考文献	(133)
第八章 放射免疫分析试剂盒的制备	(134)
一、放射免疫分析试剂盒主要组分的制备技术	(134)
(一)标记物的制备技术	(134)
(二)抗原和抗体的制备技术	(135)
(三)单克隆抗体的制备	(137)
(四)分离剂	(138)
(五)标准品与参考血清的制备	(139)
(六)标准曲线拟合与数据处理	(141)
(七)分析方法的有效性评估	(143)
二、几种典型放射免疫分析试剂盒的制备	(145)
(一)甲状腺素放射免疫分析试剂盒的制备	(145)
(二)游离甲状腺素 FT_4 试剂盒的制备	(146)
(三)人血清促甲状腺激素免疫放射分析试剂盒的制备	(148)
三、免疫分析技术进展	(150)
参考文献	(151)
第九章 放射源的制备	(153)
一、放射源的基本分类	(153)
二、放射源的设计概要	(153)
(一)设计依据	(153)
(二)设计内容	(154)
三、放射源的制备技术	(156)
(一)源芯制备技术	(156)
(二)源的密封技术	(159)
四、典型放射源的制备	(163)

(一) α 放射源	(164)
(二) β^- 放射源	(166)
(三) γ 放射源	(168)
(四)低能光子源	(171)
(五)同位素中子源	(176)
(六)同位素热源	(183)
五、放射源的发展趋向	(190)
参考文献	(191)
第十章 放射性标准物质的制备	(194)
一、放射性标准物质的基本考虑	(194)
(一)放射性标准物质及其分类	(194)
(二)放射性标准物质的基本特点与要求	(195)
二、几种典型放射性标准物质的制备	(195)
(一)液体放射性标准物质的制备	(195)
(二)固体标准源的制备	(200)
(三)环境放射性标准物质的制备	(203)
三、放射性标准物质特性量值测量(定值)	(204)
(一)液体放射性标准物质活度的测量	(204)
(二)固体标准源特性量值的测量	(208)
(三)环境放射性标准物质活度的测定	(208)
(四)测量结果的不确定度	(209)
四、放射性标准物质制备技术进展	(210)
(一)电喷涂硅溶胶吸附衬层方法	(210)
(二)合成聚苯胺导电薄膜制源法	(212)
参考文献	(215)
第十一章 放射性同位素产品研制与生产的质量控制	(217)
一、概述	(217)
(一)研制中的质量控制	(217)
(二)物资采购的质量控制	(219)
(三)生产过程的质量控制	(219)
(四)最终产品的质量检验	(220)
(五)生产后活动的质量控制	(221)
二、放射性药物的质量控制	(222)
(一)放射性药物有效性与安全性	(222)

(二)放射性药物质量保证与质量控制的一般准则	(224)
(三)短寿命放射性药物质量控制的特点	(227)
三、放射免疫分析试剂盒的质量控制	(227)
(一)误差分析	(227)
(二)试剂盒的质量评价——试剂盒设计和研制过程中质量控制的准则	(228)
(三)试剂盒生产中的质量控制	(230)
(四)内部质量控制与外部质量控制	(231)
四、密封放射源的质量控制	(232)
(一)研制与制造过程中的质量控制	(232)
(二)密封源的主要质量指标	(233)
(三)密封放射源的检验及其方法	(234)
五、放射性标准物质的质量控制	(236)
(一)放射性标准溶液的质量控制	(236)
(二)固体标准源的质量控制	(237)
(三)放射性标准物质证书	(238)
参考文献	(239)
第十二章 放射性同位素生产中的若干工程问题	(240)
一、适用于生产放射性同位素的反应堆与加速器	(240)
(一)适用的反应堆	(241)
(二)适用的加速器	(241)
二、放射性同位素实验室的特点与要求	(248)
(一)放射性实验室的规划和设计	(248)
(二)放射性同位素生产实验室设计的一般安全准则	(250)
(三)放射性同位素生产实验室的功能	(250)
(四)放射性同位素生产实验室建筑设计	(251)
三、放射性同位素生产专用设备	(252)
(一)放射性同位素生产使用的包容设备	(252)
(二)窥视与照明设备	(258)
(三)机械手与远距离操作设备	(259)
(四)传送和转运系统	(260)
(五)工艺设备的设计	(263)
(六)常用工艺设备	(264)
(七)设备组装	(265)

四、放射性同位素实验室的通风和空气净化系统	(265)
(一)设计原则	(265)
(二)包容设备通风设计	(266)
(三)空气净化系统	(267)
(四)放射性药物生产中的空气净化	(267)
五、放射性废物处理设施	(268)
(一)液体废物	(268)
(二)固体废物	(269)
参考文献	(269)

第二篇 放射性同位素应用技术

第十三章 放射性同位素示踪技术	(273)
一、放射性同位素示踪技术的基本原理与特点	(273)
二、示踪实验及其设计的一般原则	(275)
三、可活化示踪技术	(278)
四、放射性工业示踪应用举例	(279)
五、放射性同位素示踪技术的进展	(284)
参考文献	(286)
第十四章 放射性同位素射线分析技术	(287)
一、同位素源激发 X 射线荧光分析	(287)
(一)对放射源的要求	(287)
(二)测量技术	(288)
(三)应用	(289)
二、中子活化分析	(290)
(一)中子活化分析原理	(290)
(二)同位素中子源	(291)
(三)中子活化分析的一般方法	(291)
(四)应用	(292)
三、穆斯堡尔效应及穆斯堡尔谱学的应用	(293)
(一)穆斯堡尔效应	(293)
(二)穆斯堡尔谱学的应用	(294)
参考文献	(296)

第十五章 放射性同位素检测技术	(298)
一、工业核监控仪表的结构与特点	(298)
二、强度型仪表	(299)
三、物质成分与含量分析仪表	(303)
四、能谱分析型仪表	(304)
五、数字图像处理型仪表	(305)
六、其他工业核仪表	(309)
七、核子控制系统	(311)
八、我国工业核监测仪表的开发与应用	(312)
九、工业核监控仪表的发展趋势	(314)
参考文献	(315)
第十六章 放射性同位素辐射应用技术	(316)
一、基本原理	(316)
二、工业应用技术——辐射加工	(317)
(一)工业辐射源	(317)
(二)医疗用品灭菌消毒	(319)
(三)辐射效应的其他应用	(321)
三、农业应用技术	(323)
(一)农作物的突变育种	(323)
(二)食品保藏	(325)
(三)防治虫害	(327)
四、医学应用技术	(329)
(一)远距离 γ 射线治疗	(329)
(二) γ 刀治疗	(330)
(三)近距离放射治疗技术	(331)
(四)放射性药物内介入治疗	(332)
参考文献	(332)
第十七章 放射性同位素能源技术	(334)
一、放射性同位素光源	(334)
(一)粉状光源	(334)
(二)气体光源	(335)
(三)同位素光源的应用	(335)
二、放射性同位素热源	(336)
(一) α 热源	(336)