

○放射源的制备与应用

孙树正 著

Fangsheyuan de
Zhimei yu Yingyong

PDG

封面设计：冯永路

ISBN 7-5022-0491-1

TL·261 定价：12.00元

PDG

放射源的制备与应用

孙树正 著

原子能出版社

PDG

(京)新登字 077 号

内 容 简 介

放射源是重要的同位素制品,广泛用于工业、农业、国防、医学和人民生活等各方面。本书是全面系统地论述放射源的性能特点、制备工艺和应用方法的专著。

全书共分十八章。第一章绪论,概要地介绍放射源制备的基本原则,放射源应用的物理基础、技术优势及经济效益等。第二章到第十一章分别介绍 α 源、 β 源、 γ 源、低能光子源、中子源、穆斯堡尔源、同位素热源(电池)及放射性标准源等的性能特点、制备工艺、测量和质量控制。第十二章到第十八章介绍各类放射源的主要应用领域和使用方法。

本书可供从事放射性同位素及辐射技术工作的人员及大专院校有关专业的师生和研究人员参考。

放射源的制备与应用

孙树山 著

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行,新华书店经售

☆

开本 850×1168 1/32 ·印张 18.25 ·字数 490 千字

1992 年 12 月北京第一版 · 1992 年 12 月北京第一次印刷

印数 1—700

ISBN7-5022-0491-1

TL · 261 定价:12.00 元

目 录

序.....	(1)
前言.....	(3)
第一章 绪论.....	(5)
§ 1 放射源的基本特性	(5)
1.1 放射源的定义和分类	(5)
1.2 表征放射源的基本参数	(8)
1.3 放射源的典型结构	(9)
§ 2 放射源设计和制备的基本原则.....	(10)
2.1 适用性.....	(11)
2.2 安全性.....	(11)
2.3 辐射发射率	(12)
§ 3 放射源应用的基本原理.....	(13)
3.1 α 粒子与物质的相互作用和 α 放射源的应用	(13)
3.2 β 粒子与物质的相互作用和 β 放射源的应用	(16)
3.3 γ 和 X 辐射与物质的相互作用和 γ 放射源的应用	(21)
3.4 中子与物质的相互作用和中子源的应用	(28)
§ 4 放射源应用的基本技术和方法.....	(30)
4.1 分析应用	(31)
4.2 辐射透射测量	(33)
4.3 散射测量	(34)
4.4 辐射探伤	(35)
4.5 报警装置	(35)
4.6 辐射装置	(36)
4.7 其它应用	(36)
§ 5 放射源应用的主要领域.....	(37)
§ 6 放射源应用的技术优势和经济效益.....	(41)

§ 7 放射源应用发展趋势	(46)
参考文献	(47)
第二章 放射源制备的基本方法	(48)
§ 1 放射性核素的选择	(48)
§ 2 源芯的制备	(51)
2.1 陶瓷、搪瓷、玻璃制源法	(51)
2.2 粉末冶金-滚轧制源法	(52)
2.3 电化学制源法	(54)
§ 3 放射源的密封	(58)
参考文献	(62)
第三章 α放射源的制备	(63)
§ 1 引言	(63)
§ 2 镅-241(^{241}Am)、钚-238(^{238}Pu)、钚-239(^{239}Pu)、 钚-244(^{244}Cm) α 放射源的制备	(63)
2.1 电镀法	(64)
2.2 陶瓷法	(67)
2.3 搪瓷法	(68)
2.4 玻璃法	(70)
2.5 粉末冶金-滚轧法	(70)
§ 3 钋-210(^{210}Po) α 放射源的制备	(74)
3.1 电化学法	(74)
3.2 陶瓷微球法	(79)
3.3 粉末冶金-滚轧法	(80)
§ 4 α 放射源的密封	(81)
4.1 化学电镀、电镀加金属保护膜	(83)
4.2 搪瓷源面加保护膜	(85)
§ 5 α 放射性静电消除器	(87)
参考文献	(91)
第四章 β放射源的制备	(92)

§ 1 引言	(92)
§ 2 氚(^3H)放射源的制备	(95)
§ 3 镍-63(^{63}Ni) β 放射源的制备	(99)
§ 4 钷-147(^{147}Pm) β 放射源的制备	(101)
4.1 粉末冶金法	(101)
4.2 搪瓷法	(103)
4.3 真空蒸发法	(103)
4.4 电镀法	(103)
§ 5 铊-204(^{204}Tl) β 放射源的制备	(104)
§ 6 锶-90(^{90}Sr) β 放射源的制备	(105)
§ 7 钌-106(^{106}Ru) β 放射源的制备	(110)
§ 8 氪-85(^{85}Kr) β 放射源的制备	(111)
§ 9 微型 β 放射源的制备	(114)
§ 10 放射性永久发光体的制备	(115)
参考文献	(116)
第五章 γ放射源的制备	(118)
§ 1 引言	(118)
§ 2 反应堆辐照靶物不经化学加工制备 γ 放射源	(120)
2.1 钴-60(^{60}Co) γ 放射源	(121)
2.2 铱-192(^{192}Ir) γ 放射源	(130)
2.3 铟-124(^{124}Sb) γ 放射源和其它 γ 放射源	(131)
§ 3 化学加工制备铯-137(^{137}Cs) γ 放射源	(131)
3.1 氯化铯压片法	(132)
3.2 铯玻璃法	(132)
3.3 陶瓷法	(133)
3.4 铯的稳定化合物法	(134)
参考文献	(136)
第六章 低能光子源的制备	(138)
§ 1 引言	(138)

§ 2 初级低能光子源的制备	(143)
2.1 制备初级低能光子源的放射性核素	(143)
2.2 镅-241(^{241}Am)低能光子源	(146)
2.3 钚-238(^{238}Pu)低能光子源	(152)
2.4 镅-244(^{244}Am)低能光子源	(155)
2.5 铁-55(^{55}Fe)低能光子源	(156)
2.6 钴-57(^{57}Co)低能光子源	(158)
2.7 镉-109(^{109}Cd)低能光子源	(159)
2.8 钆-153(^{153}Gd)低能光子源	(161)
2.9 铥-170(^{170}Tm)和硒-75(^{75}Se)低能光子源	(163)
2.10 碘-125(^{125}I)低能光子源	(164)
2.11 镅-241-碘-125(^{241}Am - ^{125}I)组合源	(167)
2.12 其它初级低能光子源	(168)
§ 3 次级低能光子源的制备	(171)
3.1 次级辐射的产生	(171)
3.2 光子激发低能光子源	(175)
3.3 β 粒子激发低能光子源	(190)
3.4 α 粒子激发低能光子源	(205)
参考文献	(210)
第七章 穆斯堡尔源的制备	(211)
§ 1 引言	(211)
1.1 穆斯堡尔效应	(211)
1.2 穆斯堡尔源	(215)
1.3 穆斯堡尔核素	(217)
1.4 基体材料	(219)
§ 2 铁-57/钴-57($^{57}\text{Fe}/^{57}\text{Co}$)穆斯堡尔源的制备	(222)
2.1 铁-57、钴-57 核素性质	(222)
2.2 基体选择	(223)
2.3 铁-57/钴-57 源的制备工艺	(228)

2.4 铁-57/钴-57 源的测量	(230)
§ 3 锡-119/锡-119m($^{119}\text{Sn}/^{119}\text{Sn}^m$)穆斯堡尔源的制备 ..	(233)
3.1 锡-119、锡-119m 核素的性质	(233)
3.2 锡-119/锡-119m 源基体材料和尺寸	(235)
3.3 锡-119/锡-119m 源的测量	(237)
§ 4 稀土元素穆斯堡尔源的制备	(240)
参考文献	(242)
第八章 中子源的制备	(243)
§ 1 引言	(243)
§ 2 (α, n)反应中子源的制备	(244)
2.1 (α, n)反应中子源的特性	(244)
2.2 镭-226-铍($^{226}\text{Ra}-\text{Be}$)中子源	(251)
2.3 钋-222-铍($^{222}\text{Rn}-\text{Be}$)中子源	(254)
2.4 锕-227-铍($^{227}\text{Ac}-\text{Be}$)中子源	(254)
2.5 钍-228-铍($^{228}\text{Th}-\text{Be}$)中子源	(256)
2.6 辐照后 $^{226}\text{Ra}-\text{Be}$ 中子源	(258)
2.7 钋-210-铍($^{210}\text{Po}-\text{Be}$)中子源	(259)
2.8 铅-210-铍($^{210}\text{Pb}-\text{Be}$)中子源	(261)
2.9 镅-241-铍($^{241}\text{Am}-\text{Be}$)中子源	(262)
2.10 钚-239-铍($^{239}\text{Pu}-\text{Be}$)中子源	(269)
2.11 钚-238-铍($^{238}\text{Pu}-\text{Be}$)中子源	(272)
2.12 镅-242-铍($^{242}\text{Cm}-\text{Be}$)中子源	(275)
2.13 镅-244-铍($^{244}\text{Cm}-\text{Be}$)中子源	(277)
2.14 镅-镅-铍($^{241}\text{Am}-^{242}\text{Cm}-\text{Be}$)中子源	(278)
2.15 其它靶元素(α, n)反应中子源	(279)
2.16 开关中子源	(284)
2.17 异形中子源	(285)
2.18 中子- γ 组合放射源	(288)
§ 3 (γ, n)反应中子源的制备	(289)

3.1	光中子源的中子发射率	(289)
3.2	中子能量	(290)
3.3	用于制备(γ, n)中子源的放射性核素	(292)
3.4	用于制备(γ, n)中子源的靶物	(294)
3.5	(γ, n)中子源的制备工艺	(294)
3.6	铈-124-铍中子源的制备	(295)
§ 4	铜-252(^{252}Cf)自发裂变中子源的制备	(296)
4.1	自发裂变中子源特点	(296)
4.2	铜-252的生产	(299)
4.3	铜-252中子源的制备工艺	(302)
4.4	铜-252次临界中子倍增装置	(309)
	参考文献	(314)
第九章	放射性标准源的制备	(315)
§ 1	引言	(315)
§ 2	α 标准源的制备	(316)
2.1	α 标准源的特点	(316)
2.2	镅-241、钚-239、钚-238、镅-244及混合 α 标准源	(317)
§ 3	β 标准源的制备	(321)
3.1	碳-14和氢-3标准源	(321)
3.2	钍-147、钴-60、铯-137、铊-204、镅-90 β 标准源	(322)
§ 4	γ 标准源的制备	(323)
§ 5	核辐射探测器用检查源的制备	(325)
§ 6	其它实验室用标准源的制备	(327)
§ 7	模拟标准源的制备	(329)
§ 8	放射性标准溶液的制备	(331)
	参考文献	(334)
第十章	放射性同位素热源和放射性同位素电池的制备	(335)
§ 1	放射性同位素热源和电池的结构	(335)
1.1	放射性同位素热源	(335)

1.2 热电换能装置	(339)
§ 2 放射性同位素电池的特点	(343)
§ 3 钷-238 同位素热源和电池的制备	(344)
3.1 钷-238 核素的制备	(344)
3.2 钷-238 燃料形式	(345)
3.3 钷-238 燃料的封装	(347)
§ 4 铈-90 同位素热源和电池的制备	(349)
§ 5 钷-210 同位素热源和电池的制备	(351)
参考文献	(357)
第十一章 放射源测量和质量控制	(358)
§ 1 放射源活度和辐射强度测量	(358)
1.1 常用核辐射探测器	(358)
1.2 测量方法	(358)
1.3 测量数据的记录和处理	(362)
§ 2 密封放射源的质量控制	(366)
2.1 密封放射源质量控制的特点和任务	(366)
2.2 密封放射源的质量标准	(371)
2.3 放射源的安全质量检验方法	(374)
2.4 密封放射源泄漏检验方法	(377)
2.5 加速试验	(380)
§ 3 运输过程的安全管理	(380)
参考文献	(383)
第十二章 α放射源的应用	(384)
§ 1 放射性静电消除器	(384)
1.1 工作原理	(384)
1.2 工作特性	(385)
1.3 应用及效果	(394)
§ 2 放射性同位素避雷器	(397)
§ 3 放射性同位素负氧离子发生器	(399)

§ 4 离子感烟探测器	(399)
§ 5 α 放射源在同位素测量分析仪表中的应用	(402)
参考文献	(409)
第十三章 β 放射源的应用	(410)
§ 1 低能 β (电子)源	(410)
1.1 电子捕获鉴定器电离源	(411)
1.2 用于电子器件高可靠性引发放电和导电	(413)
§ 2 β 放射性静电消除器	(413)
§ 3 放射性发光粉和原子灯	(414)
§ 4 β 射线反散射测厚	(415)
§ 5 β 射线透射测厚	(420)
§ 6 铈-90 β 源用于卷烟密度测量	(423)
参考文献	(424)
第十四章 γ 放射源的应用	(425)
§ 1 γ 辐射探伤	(425)
1.1 射线照相探伤	(426)
1.2 放射性测量探伤	(433)
1.3 辐射显像观察	(434)
§ 2 γ 辐射测量物位	(434)
§ 3 γ 辐射测量厚度	(438)
§ 4 γ 辐射测量密度	(442)
§ 5 核辐射称重	(444)
§ 6 放射源示踪	(446)
§ 7 γ 射线选择吸收分析物质成分	(447)
§ 8 γ 射线反散射测厚度、密度	(449)
§ 9 γ - γ 测井	(453)
参考文献	(455)
第十五章 低能光子源在 X 射线荧光分析中的应用	(456)
§ 1 引言	(456)

§ 2 X射线荧光分析技术测涂层厚度	(464)
§ 3 X射线荧光分析技术在地质矿山中的应用	(475)
§ 4 X射线荧光分析技术在冶金工业上的应用	(481)
§ 5 其它方面的应用	(483)
5.1 在水泥工业中的应用	(483)
5.2 对石油和石油制品含硫量的测定	(484)
5.3 在环境保护样品分析中的应用	(485)
5.4 在医学上的应用	(485)
参考文献	(489)
第十六章 中子源的应用	(491)
§ 1 引言	(491)
§ 2 中子测井	(494)
2.1 中子源在石油天然气测井中的应用	(494)
2.2 中子源在煤田地质勘探中的应用	(497)
2.3 中子测井技术在铀矿地质勘探中的应用	(498)
§ 3 中子测水分	(498)
§ 4 中子照相	(507)
§ 5 中子活化分析	(510)
§ 6 中子源在同位素仪表中的应用	(514)
6.1 溶液浓度测定	(514)
6.2 厚度测量	(516)
6.3 含氢材料界面测量	(516)
§ 7 中子源用于核反应堆启动	(516)
§ 8 中子辐射生物效应	(517)
参考文献	(518)
第十七章 放射性同位素热源和电池的应用	(519)
§ 1 空间技术用放射性同位素电池	(519)
§ 2 水下用放射性同位素热源和电池	(520)
§ 3 地面用放射性同位素电池	(522)

§ 4 医用放射性同位素电池	(523)
参考文献	(524)
第十八章 辐射防护和放射源的管理	(525)
§ 1 引言	(525)
§ 2 辐射安全标准	(525)
2.1 剂量单位	(525)
2.2 剂量当量和剂量当量限值	(528)
§ 3 辐射防护措施	(529)
3.1 外照射防护基本措施	(529)
3.2 对 α 射线的防护	(529)
3.3 对 β 射线的防护	(530)
3.4 对 γ 射线的防护	(533)
3.5 对中子的防护	(540)
3.6 防止内照射	(545)
§ 4 放射源的正确使用和妥善保管	(546)
4.1 放射源的正确使用	(546)
4.2 放射源的保管	(548)
参考文献	(549)
附录 1 原子能级图和特征 X 射线	(550)
附录 2 K 系特征 X 射线的相对强度	(551)
附录 3 K 系荧光产额	(552)
附录 4 元素的 K 吸收限和主要的 K 系特征 X 射线	(553)
附录 5 元素的 L 吸收限和主要的 L 系特征 X 射线	(558)
附录 6 光子的质量衰减系数	(563)

序

幼闻“立德、立言、立功”之训。但生平秉性只乐于为国家作点事，说不上立功，不缺德足矣，也不想立什么言。有命写书者，每婉谢之。而求序者，则以多年同事，情不可却。前两年为《放射性核素概论》作序，曾谓“概论”未论及放射源，另有专著故也。现在此专著作者孙树正乞序于余，只得又为冯妇。

孙树正等二十几年前与余从事军工极毒放射源的制作，一下子要提高放射性水平一万万倍，“完不成任务，要打屁股”，无一惧者。孙全装（安全防护）披挂，以“赤膊”上阵、冲锋在前的气概，在简陋的工棚的手套箱中从坩埚中刮下蒸干的剧毒粉末，装入源壳中。我不过在手套箱旁边指手划足而已。在1964年10月16日的四个月前，提前完成了任务。原二机部副部长钱公三强大喜，召集同志们嘉奖之曰“国家决不会忘记你们的。”我布置入堆、开堆事毕，同志们准备开战，我则上庐山休养去了。保住了屁股不捱打，心情舒畅，涧边独坐，一闭目凝神即能打油一首。有诗为证：完成任务且开堆，踏踏寻花上翠微。盛兴春晖随处是，庐山下上尽芳菲。军转民后，这一批才人、勇士转而从事民用放射源的制作，而孙树正主任之，遂有此作，而言不及军用，故简述之。

言归正传。从辐射与物质的相互作用的主要方面而言，放射源的应用有三种情况：一、主要方面为辐射对物质的作用，如辐射加工、改性。二、主要方面为物质对辐射的作用，如核仪器仪表。三、主要方面先为物质对辐射的作用，后为辐射对物质的作用，如核探伤。

就放射源的应用方面而言，则从本书第一章的表1-14中可见，除农、林、牧、渔及医药卫生（包括环境保护）外，极大极大部分都在各种工业上。我国核技术或同位素及辐射技术的应用在核农业（包括林、牧、渔）及核医学方面，取得相当大的成绩，但在核工业方面则瞠

乎其后(表 1-14 所列我国工业上的应用只占极少数)。此处所谓核工业不是通常所指的核工业,即核本身的工业,而是将核技术应用于其它各种工业的核工业,如核农业、核医学是将核技术应用于农业或医学一样。为什么我国的这种核工业落后,以至于许多国际、国内的核会议都只谈核农、核医而不及核工?其原因除恐惧心理外,主要有二:一是无专管的职能部门。核农有农业部专管,核医有卫生部专管,而应用于各种工业部门的核工,则无专管的职能部门。二是核技术未被足够重视。我国的高技术计划内尚无同位素及辐射技术。

同位素及辐射技术可利用同位素本身的辐射能量,应用面多,见效快,经济效益及社会效益好,投资省,而又节能,实应予以重视。假如我国的各种工业还未普遍地应用现代核技术的同位素及辐射技术,就难以实现我国的工业现代化。所以借此作序之机,再次继续我们 1979 年以来的呼吁:请国务院成立类似原子能委员会的机构,统管全国的核科学技术,核电、同位素及辐射技术及核安全等等核事业。这也是一种改革罢。

肖 伦

1990 年 12 月 20 日于看今居

前 言

随着现代科学技术的发展,放射性同位素与电离辐射的应用日趋广泛。放射源作为核技术的一种重要应用手段,正为国民经济的技术进步与人民生活质量的改善作出积极的贡献。

放射源或者确切地说放射性核素源,其制备历史虽然可以追溯到 1898 年玛丽·居里(M·Curie)夫人发现镭的时代,然而放射源作为一种同位素制品出现,则是始于核反应堆的建立。世界核工业的扩展以及大型反应堆、强束流加速器与核燃料后处理厂的建立,为大规模制备与应用放射源提供了坚实的物质基础。目前放射源已成为世界高技术市场一项重要的产品内容。世界放射源产品的销售品种与数量逐年迅速增加,产品质量与性能日臻完善,许多常规产品已实现标准化与系列化,逐渐成为核工业发达国家某些专业公司的支柱产品,取得了明显的经济效益。

放射源作为一种可发射电离辐射的独特产品,具有其它技术手段所难以替代的技术功能。例如放射源具有信息功能。放射源发出的电离辐射与物质的相互作用所发生的电离、激发、吸收或散射等效应,可以取得有关物质的结构、成分、状态以及物料的非电参数等宝贵信息,这一点对于实现工业生产过程的自动化与产品质量控制具有重大的现实意义。放射源实际上是一种信息源,当匹配上灵敏的辐射传感器及可迅速处理大量信息的电子计算机后可以构成一种先进的信息系统,广泛用于分析、检测、报警、探伤等领域。目前这种信息系统已作为同位素仪表与核分析装置等产品形式进一步丰富了世界高技术市场。放射源还具有材料改性与医学治疗疾病功能。放射源发出的电离辐射可使物质产生深刻的物理、化学与生物学效应,从而使放射源成为一种高效的材料加工手段与疾病治疗工具。事实上,放射源在高分子材料辐射加工,医疗用品辐射消毒与食品辐射保藏等