

密封源辐射仪器的 放射防护与管理

MI FENG YUAN FU SHE YI QI DE
FANG SHE FANG HU YU GUAN LI

王连知 等编著



当代中国出版社

密封源辐射仪器的 放射防护与管理

王连知 等编著

当代中国出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

密封源辐射仪器的放射防护与管理/王连知等编著. —
北京: 当代中国出版社, 1998. 6

ISBN 7-80092-728-8

I. 密… II. 王… III. 密封源-辐射防护 N. TL77
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 15382 号

当代中国出版社 出版发行

社址: 北京地安门西大街旌勇里 8 号 邮政编码: 100009

东方印刷厂印刷 新华书店经销

850×1168 毫米 32 开本 6.5 印张 150 千字

1998 年 6 月第 1 版 1998 年 6 月第 1 次印刷

定价: 14.00 元

序 言

密封源辐射仪器仪表种类繁多，用途很广。可用于医疗、航空、放射性测井、工业 γ 射线照相（无损探伤）和工业部门皮带运输机进行在线计量和控制工作。在正常情况下，正确采用时间防护、距离防护和屏蔽防护严格遵守安全操作规程是完全可以保证使用安全的。但是，如果放射工作从业人员违反安全操作规程，或放射防护管理措施不落实，就会发生丢失放射源事故，甚至会出现人体受到意外照射的伤害事故，从而造成经济损失，影响社会稳定。

河北省的密封源辐射仪器仪表的数量增加很快，丢失放射源事故也时有发生。据调查资料统计表明：丢失放射源事故占各种原因引起的放射事故总数的68%；由此可见，如何做好密封源辐射仪器仪表的放射防护管理工作是必须引起注意的重要问题。

丢失密封放射源的事故是可以预防的。只要广泛宣传，认真贯彻国务院第44号令《放射性同位素与射线装置放射防护条例》和国家有关放射卫生防护法规和标准，建

立、健全放射防护管理组织，制定切实可行的放射防护措施就会减少发生或不发生丢失放射源的事故。

为了保障放射工作人员和公众的身体健康和安全，提高对密封源辐射仪器仪表的放射防护管理水平，作者编写了《密封源辐射仪器仪表的放射防护与管理》一书。本书根据核辐射的特性，对密封源辐射仪器仪表应用中需要加强防护管理的环节、安全操作中的放射防护措施和密封源管理工作程序等内容作了详细介绍。尤其是对于防止密封源的丢失问题，作了具体的表述。

本书适合于从事密封源辐射仪器仪表的生产、销售、安装、调试、使用、维修工作人员；也适合于从事放射防护管理工作人员和卫生行政、事业单位的放射卫生监督员学习和参考。

本书文字通俗易懂，注重实用性。相信该书对于提高河北省的放射源的防护管理水平，防止和减少丢失放射源事故的发生，会起到积极的预防作用。

张景成
97.8.18.

前 言

当提起原子能的利用时，大家很容易地便会想到原子弹、氢弹、核电站，以及利用原子能作为动力的潜水艇和军舰。其实原子能和平利用的另一个重要方面——密封源辐射仪器、仪表的应用，早已经在医学、科研、工业和农业各个领域发挥出巨大的作用。

在我国近十几年以来，随着原子能科学事业的发展，原子能和平利用的途径越来越广泛。特别是密封源辐射仪器仪表的生产、使用数量均增加得很迅速。根据统计资料表明：河北省辖区内的密封源辐射仪器仪表每年以41%的增长率上升。由于与之相适应的放射防护管理工作跟不上形势的发展，所以丢失密封源的事故屡有发生。仅从1991年6月至1997年6月底就发生了9起丢失放射源事故。

为了进一步宣传贯彻执行国务院第44号令《放射性同位素与射线装置放射防护条例》，提高对密封源辐射仪器仪表的放射防护管理水平。本作者编写了《密封源辐射

仪器仪表的放射防护与管理》一书。该书文字简练、通俗易懂、具有趣味性、注重实用性，结合实际工作经验，对密封源辐射仪器仪表应用中的管理和防止丢失放射源事故等问题，做了较详细地阐述。

本书是在放射工作从业人员放射防护知识培训教材的基础上，经过修改、整理和充实内容后而编写成册的。在编写过程中曾得到了李清河研究员的修改和审校，得到了河北省科委、河北省卫生厅有关领导的支持和鼓励，得到了河北省卫生厅公共卫生监督三所和各市卫生防疫站、职防所（院）的放射卫生监督管理工作同仁们的大力支持和帮助。在此一并致谢。

由于编者专业技术水平有限，书中内容可能存在不少缺点和错误。在此，诚恳地希望读者给予批评和指正。

编者

1997年8月

目 录

序言

胡景然

前言

第一章 同位素的基本知识	1
第一节 放射性同位素的发现	1
第二节 放射性同位素的性质	2
第三节 原子核结构	4
一、原子结构	4
二、原子核结构	5
第四节 放射性同位素的自发衰变及其类型	7
一、 α 衰变	9
二、 β 衰变	9
三、 γ 跃迁	9
第二章 辐射单位与防护标准	10
第一节 辐射单位	10
一、照射量 X 与照射量率 $\dot{X}$	10
二、吸收剂量 D 与吸收剂量率 $\dot{D}$	11
三、放射性活度 A	12
四、比释动能 K 与比释动能率 $\dot{K}$	13
五、剂量当量 (H) 与剂量当量率 ($\dot{H}$)	14
附：当量剂量 HT	14
第二节 电离辐射防护的基本原则	15

一、电离辐射实践的正当化	15
二、电离辐射防护的最优化	16
三、个人剂量限值	16
第三节 电离辐射防护的基本手段	17
一、时间防护	17
二、距离防护	17
三、屏蔽防护	17
第四节 放射防护标准	18
一、放射防护标准的历史变迁	18
二、放射防护标准的宗旨、目的和剂量限值	20
第三章 密封源辐射仪表的应用	22
第一节 密封源辐射仪表的类型	23
一、透射式辐射仪表	23
二、反散射式辐射仪表	24
三、核反应式核仪表	26
第二节 密封源辐射仪表的产品	30
一、核子秤	31
二、料位计	32
三、密度计	32
四、测厚仪	33
五、质量流量计	35
六、液位计	36
七、放射性同位素 X 射线荧光分析仪	36
八、二元介质成份分析仪	38
九、灰分检测计量仪	39
十、放射性同位素浓度计	40
十一、离子感烟火灾探测器	40
十二、同位素电池	42
十三、放射性测井装置	43

十四、骨矿物测量仪	45
十五、静电消除器	47
十六、中子活化分析	48
十七、金含量分析仪	48
十八、 γ 射线照相(工业无损探伤)机	49
(一) γ 照相机的分类	50
(二) γ 照相机的防护管理	53
(三)小型密封源主要应用情况	59
第四章 密封源辐射仪表的放射防护管理机构 and 监督工作内容	65
第一节 放射卫生监督管理机构	65
第二节 对密封源辐射仪表和仪器的监督管理工作内容	67
一、预防性卫生监督	67
二、经常性卫生监督	68
三、评价与处理工作	72
第三节 放射工作单位的自主管理和工作内容	73
一、持证单位自觉组织学习放射防护法规,提 高自主管理工作的积极性	74
二、持证单位的放射防护管理机构及 其管理工作内容	77
三、持证单位放射工作从业人员的自 主管理工作	79
第五章 密封源辐射仪表仪器放射防护管理工作程序和防护措施	81
第一节 放射工作许可登记证工作程序	81
一、许可登记的依据	82
二、许可登记的条件	82
三、许可登记的工作程序	82
第二节 许可登记证的核查、变更和注销工作程序	83

一、核查的时间间隔和内容	84
二、许可登记内容的变更	84
第三节 密封源辐射仪器、仪表的防护措施	85
一、外照射的防护	86
二、防止密封源的泄漏	90
三、防止密封源的丢失	90
第六章 电离辐射生物学作用和对人体健康的危害	92
第一节 射线与物质的相互作用基本知识	92
一、 γ 射线与物质的相互作用	92
二、 β 射线、 α 射线、中子和带电重粒子与物质的相互作用	93
三、相对生物效应和传能线密度	94
四、影响电离辐射生物学作用的主要因素	96
第二节 电离辐射对人体健康的危害	97
一、电离辐射的直接作用和间接作用	97
二、确定性效应和随机性效应	100
三、放射工作人员医学检查健康管理	101
四、放射性疾病的诊断程序和保健管理	103
第七章 密封源辐射仪表、仪器的监测仪器与监测	108
第一节 监测仪器	108
一、 γ 辐射剂量仪	108
二、表面污染测量仪	109
三、热释光剂量仪	111
第二节 密封源辐射仪表仪器的监测	114
一、表面污染和泄漏检测	114
二、贮源容器表面和周围环境 γ 辐射水平监测	114
附录1 密封源辐射仪表仪器常用数据和名词术语	115
(一) 放射性同位素衰变值的计算	116
(二) 用于构成十进位倍数和分数单位的词头	118

(三) 名词术语定义和解释	118
(四) 密封源辐射仪表仪器常用放射源的基本参数	121
附录 2 放射性同位素与射线装置放射防护条例	123
附录 3 放射卫生防护基本标准	130
附录 4 放射性物质安全运输规定	142
附录 5 密封放射源分级	163
附录 6 密封放射源一般规定	172
附录 7 油(气)田测井用封闭型放射源使用管理办法	175
附录 8 放射事故管理规定	179
附录 9 放射工作人员健康管理规定	186

第一章 同位素的基本知识

第一节 放射性同位素的发现

在 1896 年以前，人们并不认识原子的结构。所有的人都认为原子是不能再分割的，认为原子是构成物质世界的最小单位。第一次动摇这种观念的是 1896 年的一项重大科学发现——物理学家贝克勒尔 (H. Becquerel) 发现了铀的放射性。

在 1895 年，物理学家伦琴 (Röntgen) 在用真空放电管做实验的时候发现：如果放电电压足够高，真空放电管的阳极靶会发出一种人的肉眼看不见的射线。这种射线能使荧光物质发光，还能使包在黑纸内的照相底片感光。伦琴把它叫做 X 射线。X 射线的发现引起了许多学者们的兴趣。贝克勒尔想，是不是所有的能够产生荧光的物质都会发射出 X 射线呢？于是，他把照相底片包在一张密实的黑纸里，上面放一块剪成花样的金属片，再在金属片上铺一张薄纸，而后把含金属铀的盐类放在薄纸上面。这种铀盐在太阳光照射下能够发射荧光。不巧的很，那几天太阳一直被乌云遮挡着。可是，显影后的照相底片竟然出现了轮廓分明的黑底白花。这个现象证明：照相底片感光与阳光和荧光物质无关，而是跟铀元素的放射性有关。铀盐里的铀元素能够自动地放射出一种可以透过黑纸的射线，当时他把这种射线叫做“铀射线”。

除了铀以外，是不是还有其它物质也能够放射出这种看不见

的射线呢？后来波兰籍科学家居里夫人 (Madame curie) 和施密特 (G. G. Schmidt) 在测量铀射线的强度时，首先发现了钍和钍的化合物也能够放射出一种肉眼看不见的射线。后来居里夫人发现纯粹的铀放射出来的射线强度比沥青铀矿石放射出来的射线强度弱得多。历经千辛万苦，在 1898 年居里夫人发现了一种同金属铋很相似的新元素。为了纪念她的祖国，居里夫人把这种新元素叫做钋 (po)。以后，居里夫人又发现了化学性质同钡相似的元素，它放射出的射线强度更强一些，居里夫人把这种元素叫做镭 (Ra)。居里夫人把能够放射出射线的元素叫做放射性元素，把能够自发地放射出人眼看不见的射线的这种性质叫做放射性。

第二节 放射性同位素的性质

虽然人们发现了铀、钍、镭、钋能够发射放射线。可是放射线是一种什么东西呢？当时科学家们还不清楚，为了研究放射线是由什么物质组成的，有人把金属铀放在铅罐里，罐的上面开一个小孔，射线可以从小孔里射出来。再在小孔上面加一个磁场，这时可以发现在磁场的作用下这束射线会分成三部分（见图 1-1）。

由图 1-1 可见，其中的两部分产生了偏转，且偏转的方向相反。而第三部分不发生偏转。根据磁场的方向和射线偏转的方向，人们知道了在“铀射线”中一部分是带正电的粒子流，另一部分是带负电的粒子流，而射线中不偏转的那部分是不带电的。于是人们把带正电的粒子流叫做 α 射线，把带负电的粒子流叫做 β 射线，把不带电的射线叫做 γ 射线。这些射线都有一定的穿透能力，也都具有电离作用。其中 α 射线的电离作用最强，穿透能力最小，用一张纸就能把它挡住。 β 射线的穿透能力比 α 射线强，要用上百张纸才能把它挡住，而它的电离作用比 α 射线弱。 γ 射线的穿透

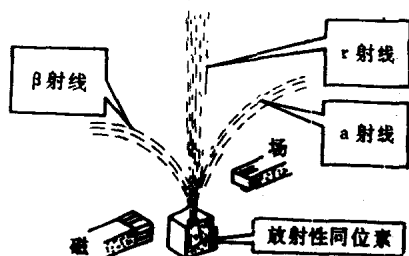


图 1-1 放射性同位素放出的射线

能力最强，要挡住它需要很厚的铅板或者很厚的混凝土等防护材料，而它的电离作用则最弱。

经过进一步的研究，英国物理学家卢瑟福 (E. Rutherford) 在 1908 年证明， α 射线是带两个正电荷的氦 (^4He) 原子核，它的质量约为 4 个碳单位。 β 射线是电子流。 γ 射线是波长很短的电磁波，比 X 射线的波长还要短，为 10^{-12} 厘米，穿透能力比 X 射线强。

放射性元素放射出射线后，一般就衰变成为其它的原子。例如：镭放射出 α 射线和 γ 射线后就衰变成为氡原子， $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + \alpha + \gamma + Q$ 。

放射性的发现，直接地证明了原子是可以分割的。原子也不是最小的单位，而是由更小的微粒组成的，并且它具有一定的结构。

第三节 原子核结构

原子核的体积很小，它的直径为 10^{-14} 到 10^{-12} 厘米。只有原子直径的万分之一到百万分之一。原子核是由质子和中子组成的。

一、原子结构

说到原子的发现，还要提到伦琴发现 X 射线时用的真空放电管。真空放电管也叫阴极射线管。当它的阴极和阳极之间加上一定高的电压的时候，阴极会发射出一种粒子流。开始人们并不了解它，只看到它是从阴极发射出来的，所以就把这种粒子流叫做阴极射线。经过千百次实验，科学家们发现这种粒子流带有负电。在 1897 年英国科学家汤姆逊 (Thomson) 通过实验，测出了这种带电粒子的质量非常轻，电子质量为 9.11×10^{-24} 克，大约只有氢原子质量的 $\frac{1}{1840}$ ，并把它叫做电子。电子是从原子跑出来的一种微粒。整个原子是中性的，这就使人们想到，原子是由两部分组成的；一部分是带负电的电子，另一部分是带正电的电子。在 1903 年汤姆逊提出这样的原子模型：原子是实心的，原子的质量是均匀地分布在原子所占的空间内的。但是，在 1910 年汤姆逊的学生，英国物理学家卢瑟福 (E · Rutherford) 利用镭放射出来的 α 射线作为轰击“炮弹”去轰击金箔片时，发现大部分 α 粒子直接穿过金箔片；而少部分 α 粒子发生了较小偏转，改变了原来的方向；有极少数的 α 粒子（约万分之一）则发生了很大的偏转，个别的像碰到了什么坚硬的东西一样，完全被弹了回来。这个实验说明：原子不是实心的，里面绝大部分是空荡荡的。不然的话就不会有那么多的 α 粒子轻易地穿过金箔了。同时也说明：原子中有一个质量比 α 粒子大得多但体积确很小的微粒物质，而且正电

荷都集中在这个微粒上；所以它才能把带正电荷的较重的 α 粒子弹回来。

在 1911 年，卢瑟福根据自己的实验，提出了一个新的原子结构模型：原子中的正电荷不是均匀地分布在整个原子中，而是集中在原子中央的原子核上，电子则绕核旋转，如地球绕太阳公转一样。他还认为电子旋转时产生的离心力与核对电子的吸引力相平衡，所以电子和原子核能保持一定的距离。这就是卢瑟福提出的行星式原子模型（见图 1—2）。

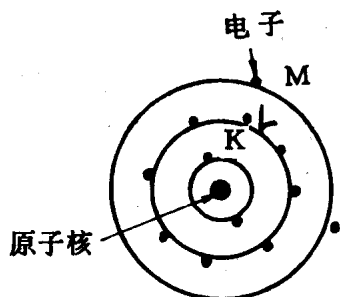


图 1—2 原子结构示意图

概括起来说，原子是由原子核和外围电子组成的。原子的体积很小，直径约为 10^{-8}cm 。

二、原子核结构

原子的结构搞清楚以后，人们把探索原子核的结构作为研究方向。在 1919 年卢瑟福发现了质子是原子核的组成部分。在 1932 年查德威克通过细致的实验，证明物理学家波特用 α 质点轰击铍原子放射出的一种微粒，其质量几乎和质子完全相等，但是即不带正电荷也不带负电荷，而是电中性的，所以称为中子。在 1932 年伊凡宁柯提出了关于原子核组成的质子中子理论，认为原子核是由质子和中子组成的。质子和中子在原子核内紧密地结合在一