

常用核辐射数据手册

原子能出版社

常用核辐射数据手册

强亦忠 译

章仲侯 校

原子能出版社

内 容 简 介

本手册是从日本辐射防护专家经精选而编成的一本《辐射数据应用集》(第三版, 1982年) 翻译过来的。手册中包括辐射基础、辐射防护、射线探测、活化分析、环境辐射、放射性核素和辐射源等方面的常用数据, 是一本实用性很强的工具书, 可供从事核物理、放射化学、辐射测量、放射医学和其他有关核科学技术的研究人员、工程技术人员以及大学的教师、学生使用。

常用核辐射数据手册

强亦忠 译

章仲侯 校

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

国防科工委印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/32 印张16.25·字数36.5千字

1990年7月北京第一版·1990年7月北京第一次印刷

印数1—840

ISBN 7-5022-0087-8

O.11 定价: 16.50元

3474/18

译 者 的 话

本手册译自日本《原子力工业》杂志1982年5月的特别增刊号《放射线データ应用集》(第3集)。该杂志曾于1961年和1972年先后选编了两本《放射线データ应用集》增刊,得到了好评。1982年5月的特别增刊是在这两本增刊的基础上,按利用频率高的原则,对数据作了进一步的精选、增补和订正而编成的,因此具有较大的实用价值。本手册共分六章,每章均由《原子力工业》杂志的编委、精通这方面内容的专家编辑。

在本手册翻译过程中,为了读者查阅方便,对原来的图、表重新作了编号,所用单位和符号也尽量作了统一。

对本手册译稿章仲侯副教授作了认真细致的校订。此外,本手册的翻译工作还得到了有关人员的大力支持,特此深表感谢。

一九八四年三月

目 录

第一章 辐射的基础数据	1
§1 原子能的基本常数	3
表1-1-1 原子能的基本常数	4
§2 辐射的各种单位	3
表1-2-1 辐射的各种单位	6
§3 电子的阻止本领	6
表1-3-1 各种元素和物质对电子的碰撞阻止本领	7
§4 电子和重带电粒子的射程	9
图1-4-1 β 射线的最大能量与在 A1 中的最大 射程的关系	9
图1-4-2 质子的射程与物质的原子序数的关系	10
图1-4-3 重离子在 A1 中的射程	10
图1-4-4 在各种物质中重带电粒子的能量与 射程的关系	12
§5 低能光子的吸收系数	13
表1-5-1 低能光子的吸收系数和吸收限能量	14
§6 光子的截面与吸收系数之间的变换系数	13
表1-6-1 元素的光子截面与吸收系数之间的 变换系数	37
表1-6-2 物质的光子截面与吸收系数之间的 变换系数	41
§7 元素的特征X射线与吸收限的能量	41
图1-7-1 K、L、M、N系列X射线能级图	42
表1-7-1 K系列特征X射线的能量	43

表1-7-2 L系列特征X射线的能量	49
§8 元素的热中子截面换算表	53
表1-8-1 各种元素对热中子的吸收截面与散射截面	54
§9 热中子的活化截面	58
表1-9-1 热中子的活化截面	59
§10 中子核数据	87
表1-10-1 14MeV中子的反应截面	88
第二章 辐射防护	98
§1 管理标准	101
表2-1-1 日本现行的最大容许剂量	101
表2-1-2 ICRP 1965年推荐的个人剂量限值	102
表2-1-3 ICRP 1977年建议的剂量当量限值	102
表2-1-4 危险度系数	103
表2-1-5 关于非随机性效应的剂量限值	104
表2-1-6 ICRP早期出版物提出的容许遗传剂量的分配示例	104
表2-1-7 空气和水中放射性核素的容许浓度及表面放射性最大容许活度	105
§2 辐射场的强度与剂量率 (广义) 之间的关系	112
表2-2-1 中子辐照情况下单位剂量率的注量率	112
表2-2-2 日本防止辐射损伤法中采用的中子剂量当量与注量的换算值	114
表2-2-3 光子辐照情况下单位剂量率的注量率	115
表2-2-4 β 辐照情况下单位剂量率的注量率	116
图2-2-1 单位剂量率的光子注量率	117
图2-2-2 单位照射率的光子注量率	117
图2-2-3 单位剂量率的中子注量率	118

图2-2-4 单位剂量率的电子注量率	118
图2-2-5 单位剂量率的质子注量率	119
图2-2-6 γ 射线在空气、碳、组织中的 注量与比释动能的换算关系	119
图2-2-7 单位中子注量照射时所产生的 比释动能最大值	120
§3 衰减系数与移出截面	120
图2-3-1 光子对各种元素的质量衰减系数	120
图2-3-2 光子对各种物质的质量衰减系数	121
图2-3-3 由光电效应产生的电子的角分布	121
图2-3-4 康普顿效应散射光子和反冲 电子不同角度的能量变化	122
图2-3-5 康普顿效应散射光子和反冲电 子不同角度的数目及强度变化	123
表2-3-1 对快中子的宏观移出截面	124
表2-3-2 由Spinney提供的不同能量的 微观移出截面	127
图2-3-6 对裂变中子的单位质量移出截面 与质量数之间的关系	128
表2-3-3 测定的微观移出截面	128
§4 主要材料的屏蔽性能	129
图2-4-1 普通混凝土(比重2.35)对 γ 射线的屏蔽	129
图2-4-2 铁对 γ 射线的屏蔽	130
图2-4-3 铅对 γ 射线的屏蔽	130
图2-4-4 ^{241}Am -Be源宽束中子在水和聚乙烯中 剂量当量的衰减	131
图2-4-5 ^{252}Cf 源宽束中子在平板形铅和 聚乙烯中剂量当量的衰减	131

图2-4-6 0.5MeV中子在混凝土、聚乙烯 和水中吸收剂量的衰减	132
图2-4-7 1MeV中子在混凝土、水和聚 乙烯中吸收剂量的衰减	132
图2-4-8 2MeV中子单一方向扩展而以不同角度入射 板状屏蔽体时的吸收剂量的衰减特性	133
图2-4-9 5MeV中子单一方向扩展而以不同角度入射 板状屏蔽体时的吸收剂量的衰减特性	133
图2-4-10 平行中子 (14—15MeV) 的剂量 当量透过率	134
§5 反散射	134
表2-5-1 水的反射率	134
表2-5-2 铁的反射率	135
表2-5-3 铅的反射率	136
表2-5-4 对快中子的剂量反射率	137
图2-5-1 γ 射线反散射示意图	138
图2-5-2 能量反射率	138
图2-5-3 γ 射线反散射方向 θ 与反散射 γ 射线的 平均能量对窄束入射 γ 射线的能量之比 ($\bar{E}/E_0$) 的关系	138
§6 圆柱形容器中 γ 放射性核素的量与 表面剂量	139
图2-6-1 圆柱形容器的结构	139
图2-6-2 圆柱形容器中 γ 放射源的活度 A 与照射量率 $\dot{X}$ 之间的相关系数 K	142
图2-6-3 相对于0.5MeV的修正系数 k	140
表2-6-1 相对于0.5MeV的修正系数 k	140
§7 主要放射性核素的照射量率常数	143

表2-7-1 主要放射性核素的照射量率常数	143
§8 深部剂量当量	146
图2-8-1 γ 射线深部剂量当量	146
图2-8-2 中子深部剂量当量	147
§9 内照射	148
表2-9-1 摄入体内的放射性核素对关键 器官50年内造成的约定剂量	148
§10 材料的耐辐照性能	163
图2-10-1 弹性材料的耐辐照性能	163
图2-10-2 热塑型树脂的耐辐照性能	164
图2-10-3 热固型树脂的耐辐照性能	164
图2-10-4 无机绝缘材料物性变化的相对耐辐照性能	165
图2-10-5 电子仪器元件对反应堆快中子、 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线和3MeV电子流的耐辐照性能	166
第三章 射线探测与探测器	167
§1 统计误差计算图表	168
图3-1-1 统计误差计算图	169
图3-1-2 两次计数组合的误差计算图	170
§2 死时间与漏计数	171
图3-2-1 死时间与漏计数的关系	171
表3-2-1 死时间修正系数 k	172
§3 GM计数管的几何效率	173
图3-3-1 GM计数管测量的几何条件	174
表3-3-1 GM计数管中心线上点源的几何效率	174
图3-3-2 圆盘状源几何效率与点源几何效率的比值	175
§4 闪烁体及其特性	175
表3-4-1 单体闪烁体的特性	176
表3-4-2 有机闪烁体的特性	177

表3-4-3	测定样品用液体闪烁剂的特性	178
表3-4-4	液体闪烁剂的性质	181
图3-4-1	液体闪烁剂的结构式	182
§5	光电倍增管的特性	182
表3-5-1	光电倍增管的规格特性	183
图3-5-1	光电面的波长灵敏曲线	189
表3-5-2	日本浜松电视公司 (HTV) 的光电倍增管与外国产品对照表	189
§6	NaI(Tl)井型闪烁体的计数效率	191
图3-6-1	闪烁体的形状	192
图3-6-2	$D_s \times L$ 、 $d_s \times l$ 为 3×3 、 $7/8 \times 1 \frac{1}{2}$ (英寸) 的闪烁体的总计数效率	192
表3-6-1	$D_s \times L$ 、 $d_s \times l$ 为 3×3 、 $7/8 \times 1 \frac{1}{2}$ (英寸) 的闪烁体的计数效率	193
表3-6-2	$D_s \times L$ 、 $d_s \times l$ 为 2×2 、 $1 \frac{1}{8} \times 1 \frac{1}{2}$ (英寸) 的闪烁体的计数效率	194
表3-6-3	$D_s \times L$ 、 $d_s \times l$ 为 $1 \frac{3}{4} \times 2$ 、 $\frac{3}{4} \times 1 \frac{1}{2}$ (英寸) 的闪烁体的计数效率	195
§7	NaI(Tl)闪烁体对液体样品的计数效率	196
图3-7-1	采用 Marinelli 容器的探测系统	197
图3-7-2	$\phi 3 \times 3$ (英寸) NaI(Tl) 闪烁体的总计数效率 (样品置于 Marinelli 容器)	197
表3-7-1	$\phi 3 \times 3$ (英寸) NaI(Tl) 闪烁体的总计数效率和光电峰计数效率	198
表3-7-2	$\phi 4 \times 4$ (英寸) NaI(Tl) 闪烁体的总计数效率和光电峰计数效率	199
图3-7-3	$\phi 3 \times 3$ (英寸) NaI(Tl) 闪烁体的光电峰计数效率 (样品置于 Marinelli 容器)	200

图3-7-4 $\phi 4 \times 4$ (英寸)NaI(Tl)闪烁体的总计数	
效率	200
图3-7-5 $\phi 4 \times 4$ (英寸)NaI(Tl)闪烁体的光电峰	
计数效率	201
图3-7-6 样品容积与计数效率的关系	201
图3-7-7 液体样品与闪烁体的几何尺寸	202
图3-7-8 $\phi 1 \frac{1}{4} \times 2$ (英寸)NaI(Tl)闪烁体的总计	
数效率(样品置于圆柱形容器中)	202
图3-7-9 $\phi 2 \times 2$ (英寸)NaI(Tl)闪烁体的总计	
数效率(样品置于圆柱形容器中)	203
图3-7-10 $\phi 3 \times 3$ (英寸)NaI(Tl)闪烁体的总计	
数效率(样品置于圆柱形容器中)	203
图3-7-11 $\phi 3 \times 3$ (英寸)NaI(Tl)闪烁体的光电	
峰计数效率(样品置于圆柱形容器中)	204
§8 NaI(Tl)闪烁体光电效应所产生的光电	
峰的效率	204
表3-8-1 光电峰计数率与总计数率的比	
值 R (实验值)	205
表3-8-2 光电峰计数率与总计数率之比	
值 R (蒙特卡罗法计算值)	206
§9 各种探头探测 γ 射线的效率	208
图3-9-1 NaI(Tl)、CsI(Tl)闪烁体对 γ 射	
线的线吸收系数	209
图3-9-2 在锗(Ge)和硅(Si)闪烁体中 γ	
射线的线吸收系数和电子的射程	209
图3-9-3 各种NaI(Tl)闪烁体的光电峰计	
数效率与 γ 射线能量的关系	210
图3-9-4 γ 射线照射在GM计数管壁上的	

实际探测效率	210
§10 硅半导体辐射探测器的资料	211
图3-10-1 各种粒子在硅中射程的算图	211
图3-10-2 硅探头偏压、耗尽层厚度、电容量 和电阻率之间关系的算图	212
图3-10-3 各种粒子在硅和锗中的射程	213
图3-10-4 电子的能量与其在硅、锗中的射程	213
§11 探头与探测特性	214
表3-11-1 $\phi 1 \times 1$ (英寸) NaI(Tl) 的计数效率	215
表3-11-2 $\phi 1 \frac{1}{2} \times 1 \frac{1}{2}$ (英寸) NaI(Tl) 的计数效率	217
表3-11-3 $\phi 3 \times 3$ (英寸) NaI(Tl) 的计数效率	219
图3-11-1 $\phi 1 \times 1$ (英寸) NaI(Tl) 的计数效率	221
图3-11-2 $\phi 1 \frac{1}{2} \times 1 \frac{1}{2}$ (英寸) NaI(Tl) 的计数效率	222
图3-11-3 $\phi 3 \times 3$ (英寸) NaI(Tl) 的计数效率	222
图3-11-4 平板型 Ge(Li)、Si(Li) 探头的 光电峰探测效率	223
图3-11-5 γ 射线光电峰探测效率	223
图3-11-6 单位辐照剂量在计数管管壁单 位面积上所得到的计数	224
图3-11-7 各种 γ 射线能谱探测器的分辨率	224
图3-11-8 吸收、散射系数 f 与样品厚度、 β 射线能量之间的关系	225
图3-11-9 β 射线的反散射率	226
图3-11-10 Al、Cu、Pb 吸收片的衰减率	226
表3-11-4 TLD 的特性	227
§12 活化法测定中子	227
表3-12-1 镅的截止能	228
图3-12-1 镅的截止能	229

图3-12-2 厚度 $x(N_0)$ 与修正系数 G	229
表3-12-2 用于活化法测定中子的核素与核反应	230
表3-12-3 用于快中子束测定的核素与核反应	231
表3-12-4 自吸收修正系数 G	233
表3-12-5(a) 铝箔的自吸收修正系数	233
表3-12-5(b) 金箔的自吸收修正系数	234
表3-12-5(c) 金丝的自吸收修正系数	234
表3-12-5(d) 钨箔的自吸收修正系数	235
表3-12-5(e) 钴箔的自吸收修正系数	235
表3-12-5(f) 钴丝的自吸收修正系数	236
表3-12-5(g) 锰箔的自吸收修正系数	236
表3-12-5(h) 铜箔的自吸收修正系数	237
§13 中子测定	237
图3-13-1 ^3He 的中子截面	238
图3-13-2 ^6Li 的中子截面	238
图3-13-3 ^{10}B 的中子截面	239
表3-13-1 ^3He 、 ^6Li 、 ^{10}B 热中子截面与核反应	239
表3-13-2 有代表性的中子测定法举例	240
第四章 活化分析	242
§1 热中子活化分析	244
表4-1-1 热中子活化核素的数据	245
§2 快中子活化分析	244
表4-2-1 快中子 (14MeV) 活化分析的探测灵敏度	261
§3 加速带电粒子活化分析	260
表4-3-1 由加速粒子引起的核反应和生 成的放射性核素(I)	271
表4-3-2 由加速粒子引起的核反应和生 成的放射性核素(II)	281

§4 γ 射线活化分析	284
表4-4-1 γ 射线活化分析的有关数据	285
§5 PIXE法分析	284
图4-5-1 PIXE法测定示意图	293
图4-5-2 PIXE法的探测下限	293
第五章 环境放射性与环境辐射	294
§1 环境辐射与放射性	295
表5-1-1 J、 $\mu\text{R/h}$ 和 $\mu\text{rad/h}$ 之间的换算	297
表5-1-2 注量率 ($\gamma/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)与照射量率	
($\mu\text{R/h}$) 之间的换算系数	297
表5-1-3 钾、铀、钍的浓度与放射性浓度的关系	298
表5-1-4 不属放射系的天然放射性核素	299
表5-1-5 由宇宙射线生成的放射性核素	299
表5-1-6 环境样品的放射性	300
图5-1-1 大气中氡和钍系的浓度随高度变化的例子	301
§2 钍系、铀系的衰变特性	301
图5-2-1 钍系	302
表5-2-1 钍系核素的特性	303
图5-2-2 铀系	304
表5-2-2 铀系核素的特性	305
图5-2-3 锕系	306
表5-2-3 锕系核素的特性	307
表5-2-4 钍系核素释放的 γ 射线	309
表5-2-5(a) 由 ^{235}U 及其子体放出的 γ 射线	317
表5-2-5(b) 由 ^{238}U (分离)及其子体放出的 γ 射线	319
§3 环境放射性与外照射的照射量率	322
图5-3-1 污染程度为 1Ci/km^2 的 γ 辐射源	
在地面附近所造成的照射量率	325

图5-3-2 不同分布情况下 γ 射线的释放密度(N)	325
图5-3-3 γ 放射性核素浓度为 1pCi/ml 的大体积水中, γ 射线能量、照射量率 D 和注量率 ϕ 之间的关系	326
图5-3-4 在 γ 放射性核素污染浓度为 1pCi/ml 的水上不同高度、不同 γ 射线能量的照射量率	326
表5-3-1 水的吸收系数	327
表5-3-2 土壤和空气中单位浓度的天然放射性物质在地表1米高处所造成的照射量率	327
§4 核裂变产物	328
图5-4-1 ^{235}U 、 ^{239}Pu 热中子核裂变产物的产额	329
图5-4-2 ^{232}Th 、 ^{238}U 快中子核裂变产物的产额	329
图5-4-3 ^{235}U 核裂变产物的产额	330
表5-4-1 核裂变生成核素的半衰期及释放的 γ 射线	331
表5-4-2 核裂变生成的稀有气体核素的 γ 射线能量与释放强度	351
表5-4-3 除稀有气体外有代表性的裂变放射性核素的 γ 射线能量与释放强度	352
§5 反应堆假想事故排放的放射性和辐射剂量	330
表5-5-1 反应堆运行时生成的放射性核素的量	360
表5-5-2 反应堆临界失控事故中排放的核素的平均放射性活度(计算值)和主要特性	361
表5-5-3(a) 牛奶污染的估计值	364
表5-5-3(b) 在地面1米高处的空间剂量率	364
表5-5-3(c) 剂量与空气中的时间积分浓度的关系	365
表5-5-3(d) 吸入放射性物质所造成的剂量	365
图5-5-1 瞬时排放 1Ci 时在距离为 $x(\text{m})$ 处地表附近的浓度(Ci/m^3)与时间积分浓度($\text{Ci} \cdot \text{s/m}^3$)	367

图5-5-2	相当于单位地表蓄积量的排放量	368
图5-5-3	下风向距离与放射性浓度指数的关系	369
图5-5-4	放射性浓度指数、排放条件与 照射量率的关系	370
§6	核电站释放的稀有气体的剂量评价	370
表5-6-1(a)	反应堆排放的放射性稀有 气体的特性(光子)	371
表5-6-1(b)	反应堆排放的放射性稀有气 体的特性(高速电子)	372
表5-6-2	排入大气中的放射性稀有气体 所造成的性腺剂量系数	373
表5-6-3	由反应堆排入大气的放射性稀 有气体所造成的性腺剂量	375
§7	放射性碘	378
表5-7-1	放射性碘及其半衰期	379
表5-7-2	核裂变放射性碘的衰变链	380
图5-7-1	放射性碲、碘的积累(1MW均衡照射)	381
图5-7-2	均衡照射和短时间照射(7.5h) 停止后放射性碲和碘的衰减	382
图5-7-3	均衡照射停止后,取 ^{131}I 的放射性活度为1 时,其他放射性核素与 ^{131}I 的比例	383
表5-7-3	^{235}U 核裂变时放射性碘的生成量	383
图5-7-4	在1MW照射下生成的碘及停止 照射后的衰减曲线	384
表5-7-4	放射性碘的辐射特性	385
§8	辐射探测器对宇宙射线的测定值	392
图5-8-1(a)	宇宙射线强度的高度变化(垂	

直强度, 地磁纬度 45°)	394
图5-8-1(b) 宇宙射线强度的高度变化 (垂	
直强度, 地磁纬度 0°)	395
图5-8-1(c) 宇宙射线强度的高度变化 (垂	
直强度, 地磁纬度 25°N)	395
图5-8-2 宇宙射线电离离子强度 (所有方向)	396
图5-8-3 表示宇宙射线粒子方向分布的	
参数 n 随高度的变化	396
表5-8-1 由垂直强度 J_v 换算成各个方向	
计数 N 的常数 K	397
第六章 辐射源和放射性核素	398
§1 α 放射性核素	400
表6-1-1(a) 作为 α 射线能量标准的代表性核素	401
表6-1-1(b) 作为 α 射线能量标准的有代表性	
的母体和子体核素	402
表6-1-2 α 射线能量顺序表	404
表6-1-3 α 放射性核素及其 α 射线的特性	411
§2 γ 射线能量顺序表	400
表6-2-1 γ 射线能量顺序表	426
§3 可作 γ 射线能量标准的核素	439
表6-3-1 可作 γ 射线能量标准的核素	440
§4 γ 射线释放强度(^{226}Ra)	439
表6-4-1 有代表性的 γ 射线释放强度	449
表6-4-2 文献中利用率高的 γ 射线释放强度	451
图6-4-1 Ge(Li) 半导体探测器测得的 γ 射线能谱	457
§5 放射性比活度	457
§6 中子源	458
表6-6-1 主要的 (α, n) 反应中子源的特性	460