

輻射衛生手冊

〔美〕 汉森·布拉茨 主編

◀輻射衛生手冊▶ 翻譯組 譯

原子能出版社

内 容 简 介

本书介绍了原子能工业和有关研究工作中的一些主要辐射防护问题。其主要内容有：(1) 原子能工业中的辐射防护问题；(2) 研究工作中的辐射防护问题；(3) 操作放射性物质的实验室的设计及有关设备；(4) “三废”处理方法；(5) 内照射的计算和生物样品分析方法；(6) 气体、气溶胶监测方法；(7) 临界安全。

本书可供新参加原子能工业和研究工作的同志，有关院校的师生及其他有关人员学习时参考。

由于原书出版较早，本书有所删减。另外，有关辐射量单位的物理概念已有变动，请读者注意。

Radiation Hygiene Handbook

H. Blatz

辐 射 卫 生 手 册

[美] 汉森·布拉茨 主编

《辐射卫生手册》翻译组 译

原子能出版社出版

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(只限国内发行)

☆

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ • 印张 $16 \frac{1}{2}$ • 字数 396 千字

1976 年 4 月北京第一版 • 1976 年 4 月北京第一次印刷

印数 001—4700 • 定价：1.50 元

统一书号：15175 • 045

目 录

第一章 天然放射性本底	1
§ 1-1 本底的一般性质	1
§ 1-2 宇宙辐射	2
§ 1-3 地壳的放射性	4
§ 1-4 河水中的放射性	7
§ 1-5 空气中的放射性	7
§ 1-6 人体内的放射性	10
第二章 实验室设计	14
§ 2-1 位置选择	14
§ 2-2 一般特征	15
§ 2-3 设备	15
§ 2-4 通风	17
§ 2-5 管道工程	18
§ 2-6 实验室布局	18
第三章 辐射照相监测	22
§ 3-1 照相学的考虑	22
§ 3-2 α 和 γ 射线的监测	27
§ 3-3 β 射线的监测	32
§ 3-4 中子的监测	33
§ 3-5 混合辐射的监测	34
§ 3-6 α, γ, β 射线监测的照相胶片	35
第四章 在工业中的应用	37
§ 4-1 保健、防护实施	37
§ 4-2 天然放射性物质	45
§ 4-3 反应堆活性区的制造	48
§ 4-4 反应堆运转和有关材料	51
§ 4-5 工业射线照相术	58
§ 4-6 γ 射线源	60
§ 4-7 β 射线密封源	64
§ 4-8 放射性同位素	66
§ 4-9 钍	69
第五章 在研究中的应用	72
§ 5-1 辐射安全	72
§ 5-2 研究室的特殊问题	73
§ 5-3 辐射防护技术	74

§ 5-4 研究性反应堆的安全问题	82
§ 5-5 加速器的安全	84
第六章 辐照的确定	89
§ 6-1 外部源的辐射	89
§ 6-2 辐照量	89
§ 6-3 内部源的吸收剂量	95
第七章 核安全	102
§ 7-1 决定临界状态的因素	102
§ 7-2 仪表	103
§ 7-3 设计的准则	103
§ 7-4 介绍一些控制因素	104
第八章 辐射卫生化学	109
§ 8-1 铯 ⁹⁰	111
§ 8-2 氚	113
§ 8-3 铜	114
§ 8-4 镅	114
§ 8-5 镓	114
§ 8-6 铀(放射化学法)	115
§ 8-7 镭	116
§ 8-8 铀(荧光分析法)	118
§ 8-9 钚	119
§ 8-10 钍	122
§ 8-11 钋	124
§ 8-12 钷	125
第九章 放射性物质的操作、贮存和运输设备	126
§ 9-1 基本原则	126
§ 9-2 辐照的控制	126
§ 9-3 污染的控制	127
§ 9-4 放射性物质的性质	128
§ 9-5 操作技术	129
§ 9-6 直接观察设备	130
§ 9-7 钳子和操作器械	130
§ 9-8 远距离控制的单元操作设备	132
§ 9-9 近屏蔽	134
§ 9-10 污染控制设备	135
§ 9-11 屏蔽屏障设备	137
§ 9-12 密闭屏蔽室设备	143
§ 9-13 水下装备	149
§ 9-14 储藏设备	149

§ 9-15 运输和装载·····	149
§ 9-16 特殊的装载设备·····	150
第十章 取样设备(尘埃、气体、液体) ·····	153
§ 10-1 气载污染·····	153
§ 10-2 空气取样设备·····	154
§ 10-3 取样技术·····	170
§ 10-4 液体取样·····	173
第十一章 液体和固体废物的处置 ·····	176
§ 11-1 废物处置的原则·····	176
§ 11-2 位置的选择·····	177
§ 11-3 液体废物·····	182
§ 11-4 放射性废物的化学沉淀·····	185
§ 11-5 离子交换·····	190
§ 11-6 粘土吸附·····	193
§ 11-7 蒸发·····	195
§ 11-8 在蒸发器中的雾沫·····	199
§ 11-9 生物学的处置方法·····	200
§ 11-10 液体废物的处置 ·····	200
§ 11-11 固体废物 ·····	213
第十二章 放射性污染空气的控制 ·····	223
§ 12-1 污染物的类型·····	223
§ 12-2 气载污染物的来源·····	223
§ 12-3 控制方法·····	225
§ 12-4 工艺操作通风罩·····	227
§ 12-5 实验室专用通风罩·····	231
§ 12-6 手套箱·····	238
§ 12-7 全面通风·····	240
§ 12-8 净化放射性气体和气溶胶的一般原则·····	241
§ 12-9 气溶胶的消散和清除·····	246
§ 12-10 清除粒子设备的类型 ·····	248
§ 12-11 干过滤器 ·····	249
§ 12-12 湿过滤器 ·····	254
§ 12-13 焚烧和蒸发 ·····	255
§ 12-14 装置的性能和选择 ·····	255
§ 12-15 动力反应堆的气体净化 ·····	256
§ 12-16 稀有气体的衰变产物 ·····	256
§ 12-17 有关的问题 ·····	257

第一章 天然放射性本底

F. P. 科 恩

§ 1-1 本底的一般性质

天然放射性本底是表示自然界本来就存在的放射性物质和高能辐射。本章第六节详细地叙述了自然界存在的放射性物质,其中最重要的是铀、钍系中的许多元素以及钾的放射性同位素。自然界中本来就存在的辐射,一部分来自自然界的放射性物质,另一部分来自宇

表 1-1 天然本底辐射的总辐射量 (毫伦/年)^①

地面的海拔高度, 呎	一般花岗岩		典型水成岩		公 海	
	赤道	北纬 55°	赤道	北纬 55°	赤道	北纬 55°
海平面	143	147	76	80	53	57
5000	150	170	83	103		
10000	190	230	123	163		
15000	270	350	203	283		
20000	414	560	347	493		

① 引自: Libby, W. F., Dosages from Natural Radioactivity and Cosmic Rays; *Science*, Vol. 122, № 3158, pp. 57—58, July 8, 1955.

表 1-2 硬本底辐射的实验数据 (毫伦/年)^①

测 量 者	宇宙射线	γ 射 线		宇宙射线和γ射 线的总和	地 区
		来自空气	来自地表		
西弗特和赫尔 特奎斯特	44	—	—	121—160 104—182 94 104 145 296 (最大 520)	斯德哥尔摩的街道上 瑞典的水成岩上 粘土 木屋 (房间的中央) 砖和水泥房屋 (1, 2 型) 砖和水泥房屋 (3 型)
科 恩	—	—	—	98	在纽约市布鲁海文室 外测量
赫斯和范库	34	2	53	90	纽约洲福特哈姆大学 校园的一英里上空
伯 奇	31—34	—	62	94—96	英国利兹

① Kindly Collected by L. D. Marinelli of Argonne National Laboratory. From Libby, W. F., Dosages from Natural Radioactivity and Cosmic Rays, *Science*, Vol. 122, №. 3158, pp. 57—58, July 8, 1955.

宇宙辐射。后者将在下面作详细的叙述。

人们最关心的是总的放射性本底对于人类的照射。这种本底辐射通常用电离室测量，结果用毫伦/年表示，即能量吸收率的意思。海平面的数值要低一些，大约是0.01毫伦/小时(88毫伦/年)。但是在其它许多地区，则远远高于这个数值。在海拔较高的地区，由于宇宙射线的增强和因为矿区的存在而使总本底显著升高。由于建筑材料的影响，室内的本底常常高于室外。一些总本底的典型数值，列于表1-1和表1-2中。

应该强调的是，上述的本底值一般是用具有相当厚的塑料壁的电离室(1/8吋或更厚一些)测量的；若用薄壁电离室，则测得的数值要略高些。例如，桑德斯用壁厚为3.5毫克/厘米²的电离室测量到海平面上的附加软成分为0.01—0.05毫拉德/小时，并发现测量值与气象条件有关。

§ 1-2 宇 宙 辐 射

初级宇宙射线 宇宙射线表示地球之外宇宙间存在的混杂的高能辐射。初级宇宙射线是来自外层空间的辐射，初级宇宙射线和地壳的大气碰撞立即产生各种次级辐射。业已测定，初级宇宙射线大部分是带正电荷的粒子，其中主要是质子和少数的 α 粒子。此外，还存在着极少量的与元素周期表的第三号元素同族的许多核素。

彼得斯指出，虽然比质子重的粒子仅占初级宇宙辐射的15%，但是，由于它们具有在入射核子中占30—35%、具有入射宇宙射线能量的30%、在大气上层能引起50%的电离等特点，因此是相当重要的。

初级宇宙射线粒子的能量，从几十亿电子伏特到上限约为 10^{17} — 10^{19} 电子伏特。

次级宇宙射线 当入射的宇宙射线粒子和大气中的元素的核碰撞时，产生次级的质子、中子和介子。这些粒子再碰撞或衰变，产生二次次级宇宙射线。因此，靠近地壳表面所观察到的宇宙射线，是由质子、中子、 π 介子、 μ 介子、电子和光子所组成。由于发生多代次级倍增过程，因此一个初级粒子可产生 10^8 个次级粒子。此情况即为我们所熟知的广延空气簇射(extensive air showers)。事实上，能穿透到海平面的初级宇宙射线是非常少的，因其大部分已在大气上层的十分之一处被吸收。

宇宙辐射的吸收曲线表明，一部分辐射很容易被几吋厚的铅吸收而失去其全部穿透力。因此，习惯上将宇宙射线中能穿透适当厚度铅(通常为10厘米)的部分称为硬成分，而将不能穿透的部分称之为软成分。硬成分主要是由正介子及能量非常高的电子和光子组成；而软成分是由电子、质子及少量低能的介子、质子和中子组成。

宇宙辐射的强度 宇宙辐射的强度随着海拔高度和地球纬度的变化而有显著的差异。总强度由于射线射入大气中而增强，在十分之一大气压高度(10英里)的辐射强度为原始数值的3—5倍。在到达这个最大值以后，总的辐射强度不断地减少，最后到达地面时的辐射强度仅是最大值的1/50。硬成分和软成分之间的比率随着高度的变化而有显著的差异，因为软成分随着射入大气的增加而有一个最大值，而硬成分是慢慢地减少。因此，在海平面上的辐射，四分之一是软成分，四分之三是硬成分；而在10英里高度以上，则软成分的强度是硬成分强度的5倍。

上述纬度影响是由于地球磁场的作用，使入射的宇宙辐射中的初级带电粒子发生偏斜

的结果。在磁极，荷电粒子的偏斜远比赤道为小。其结果，宇宙射线的强度随地球纬度的降低而减小，赤道和纬度 45° 之间差别最大。在海平面，纬度的影响仅是 10%，但是随着海拔高度的增加而影响增大。除对强度影响外，地球磁场还对每种类型带电粒子的能量提出一个较低的极限，若低于此能量，则该粒子不能到达给定纬度的地面。例如，罗西指出，垂直于赤道方向质子的截止能量在赤道为 14 千兆电子伏，在纬度 50° 为 1.5 千兆电子伏。

表 1-3 在纬度 50° 宇宙射线的估计强度^①

高 度		总 强 度		硬 成 分		软 成 分	
距 离， 米	压 力， 大气压	各个方向的， 粒子/秒·厘米 ²	纬度的影响， %	各个方向的， 粒子/秒·厘米 ²	纬度的影响， %	各个方向的， 粒子/秒·厘米 ²	纬度的影响， %
0	1.000	0.020	10	0.013	10	0.007	10
2000	0.784	0.035	15	0.018	15	0.017	15
4500	0.570	0.10	25	0.03	25	0.07	25
10000	0.261	0.7	45	0.10	30	0.6	30
16100	0.100	1.5	75	0.25	?	1.25	80
30000	0.0115	0.5	85	0.4	?	0.06	?
∞	0	0.3	90	?	?	?	?

① 引自 Montgomery, D. J. X., "Cosmic Ray Physics," Princeton, 1949.

表 1-3 和图 1-1 中有一些典型的数据，它说明宇宙射线强度随纬度和高度的变化。表 1-4 和表 1-5 列出了关于宇宙射线的几个有意义的事实。

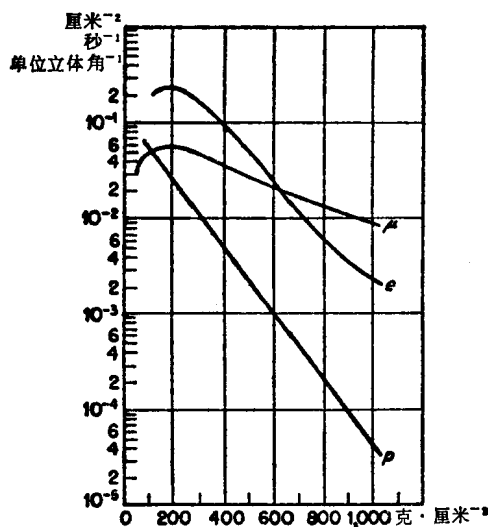


图 1-1 在纬度 50° 处作为大气厚度函数的宇宙射线各种成分的垂直强度

曲线 e —能量大于 10 兆电子伏的正、负电子；曲线 μ —各种能量的 μ 介子；曲线 p —动能大于 400 兆电子伏的质子。最后的一条曲线是粗糙的估计（引自 Rossi, B., "High Energy Particles" Prentice-Hall, 1952）。

研究宇宙射线的重要性 虽然已经做了大量的工作，但是宇宙辐射一直是广泛研究的课题。因为它所提供的粒子的能量远远超出了人工粒子的能量，因此，它将作为研究高能核反应的工具而继续受到重视。

表 1-4 降落到不同磁场纬度大气上层的宇宙射线的大致特性^① (能量单位: 电子伏特)

	纬 度		
	3°	39°	52°
大气中每平方厘米每秒下降的能量	1×10^9	1.7×10^9	3.2×10^9
每平方厘米每秒在大气上层形成的离子总数	3×10^7	5.4×10^7	7.4×10^7
受地磁场影响能接近地面的最低能量	15×10^9	8×10^9	2×10^9
和大气碰撞的粒子的平均能量	3×10^{10}	1.6×10^{10}	0.88×10^{10}
每分钟每平方厘米在大气外层的可能碰撞的粒子数	1.9	6.5	21.8

① 引自 Forsythe, W. E., "Smithsonian Physical Tables". The Smithsonian Institution, 1954.

表 1-5 有关宇宙射线的一些数据^①

在大气上层的射线的总数	8×10^{17} /秒
每秒钟带到地球上的总能量 (大气层外)	9×10^{30} 电子伏/秒, 1.4×10^9 瓦特
假定所有的粒子为正电荷时粒子流的电流强度 ^②	0.13 安培
大气上层的射线的平均数 ^③	0.16/厘米 ² ·秒
纬度大于 40° 所有入射粒子的平均能量	7×10^{12} 电子伏
整个空间入射粒子的平均能量大约为	11×10^{12} 电子伏
到达地球大气外层的宇宙射线能量 (高纬度)	3.8×10^{-3} 尔格/厘米 ² ·秒
进入大气的宇宙射线的大致平均能量	7×10^9 电子伏特
大致的能量范围	1×10^9 至 10^{17} 电子伏特, 或更高
在北纬 60° 截面为 1 平方厘米的空气柱 (从地面到大气上层) 电离所需的能量	3.8×10^{-3} 尔格/厘米 ² ·秒
在柱中大约形成	7.4×10^7 离子对
大致的平均数	90 离子对/厘米·秒
在海平面各个方向来的总射线数	1.2 射线/分·厘米 ²
在海平面产生的宇宙射线 ^④	1.63 离子对/厘米 ² ·秒
每秒钟到达地球海平面的全部宇宙射线能量	40 焦耳
所有恒星到达地面的辐射能流	3.02×10^{-3} 尔格/厘米 ² ·秒

① 引自 Forsythe, W. E., "Smithsonian Physical Tables". The Smithsonian Institution, 1954.

② 假如没有地势的附加影响, 将增加到 180 伏特/秒左右。

③ 随纬度的不同有几个不同的数值, 在高纬度 ($>40^\circ$) 开始大约为 0.33 粒子/厘米·秒, 在赤道大约为 0.032 粒子/厘米²·秒。这些数据基于每产生一个离子对需要 32 电子伏特的能量。

④ 在海平面, 射线进入每立方厘米的能量大约为 10^8 电子伏特。

§ 1-3 地 壳 的 放 射 性

地壳的放射性, 实际是所有固体物质的放射性, 主要来自铀、钍系的放射性物质, 在某些情况下则来自 G^{14} 和 K^{40} 。铀、钍、镭的平均 (重量) 浓度约分别为 6、12 和 2×10^{-6} ppm; 它们的放射性平均强度大致相同, 即分别为 2, 1.3 和 2×10^{-12} 居里/克。它们的浓度是很小, 然而应该注意, 表土层中的浓度小于其平均浓度的一半, 在一呎厚和一平方英里面积内足有 3 吨铀、6 吨钍和 1 克镭。镭和钍产生的氡和钍射气积贮于岩石和土壤中, 并连续地向空气释放, 成为空气中放射性的主要来源。

放射性物质在岩石中的浓度随地区而有显著差异, 在表 1-6 至表 1-10 中列举了一些典型的数值。

表 1-6 不同地区各种岩石中镭、钍的平均浓度^①
(见第六节天然放射性)

岩石的类型	镭, 10^{-12} 克/克	钍, 10^{-6} 克/克
花岗岩		
北美、格陵兰、冰岛、爱尔兰和日本	1.59 ± 0.12	8.1
芬兰	4.66 ± 0.40	28.0 ± 2.4
阿尔卑斯山	4.43 ± 0.68	33.0 ± 5.0
南非	2.36 ± 0.16	
玄武岩		
北美 ^② 、格陵兰、苏格兰和爱尔兰	0.96 ± 0.06	9.8 ± 0.8
英格兰、德意志联邦共和国、法国和匈牙利	1.30 ± 0.13	8.8 ± 1.0
高原玄武岩	0.73 ± 0.03	5.2 ± 0.2
海岛玄武岩	0.90 ± 0.03	4.6 ± 0.3
纯橄榄岩(全球)	0.42 ± 0.06	3.3 ± 0.3

① 引自 Faul, H., "Nuclear Geology", Wiley, 1954, based on Jeffreys, H., "The Earth", 3d ed., Macmillan, Cambridge, 1952.

② 杰弗里注意到, 鉴于伊万斯和古德曼两人所发现的变异(1941), 北美的玄武岩可能太复杂而不能放在一个标题下。

表 1-7 各类岩石中铀的平均浓度

岩石的类型	铀的浓度, 10^{-8} 克/克
酸性火成岩 ^①	3.0
中性火成岩 ^①	1.5
碱性火成岩 ^①	6.6
超基性火成岩 ^①	0.03
陨石 ^①	0.003
磷酸盐岩 ^② (佛罗里达州)	120
沥青页岩 ^② (田纳西州)	50—80
通常的花岗岩 ^②	4

① 引自 Cooper, R. I. B., The Distribution of Radioactivity, *Nature*, Vol. 169, p. 350, 1952.

② 引自 Kerr, P. F., "The Natural Occurrence of Uranium and Thorium", Paper P/1114, International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955.

表 1-8 岩石中钾和铷的丰度^①

岩石的类型	钾, %	铷, %
花岗岩	3.55	0.052
玄武岩, 辉绿岩	0.9	0.01
一般的地壳岩石	2.7	0.035
扁青 (ultramafic) 岩石	0.001	<0.0002
球粒陨石	0.09	0.0009
玻陨石	1.77	0.018

① 引自 Kohman, T. P., and N. Saito, Radioactivity in Geology and Cosmology, *Ann. Rev. Nuclear Sci.*, Vol. 4, p. 401, 1954.

表 1-9 火成岩中的主要元素及其放射性同位素的平均含量^①

元 素	丰 度, $\times 10^{-6}$	放 射 性 同 位 素	丰 度, $\times 10^{-6}$
K	25900	K ⁴⁰	3.08
Rb	350	Rb ⁸⁷	97.48
In	0.11	In ¹¹⁵	0.11
La	18.23	La ¹³⁸	0.02
Nb	23.9	Nd ¹⁵⁰ (?)	1.34
Sm	6.47	Sm ¹⁴⁷	0.98
Lu	0.75	Lu ¹⁷⁶	0.02
Re	0.05	Re ¹⁸⁷	0.03
Th	11.5	Th ²³²	11.5
U	4	U ²³⁴	0.0002
		U ²³⁵	0.03
		U ²³⁸	3.97

① 引自 Rankama, K., "Isotope Geology", McGraw-Hill, 1955.

表 1-10 镭在海洋的沉积和大陆岩石中的丰度^①

大 陆 岩 石	镭, 10^{-12} 克/克	海 洋 的 沉 积	镭, 10^{-12} 克/克
花 岗 岩	0.2—5.0	红 粘 土	3—32
玄 武 岩	0.1—1.0	抱球虫软泥	3—7
水 成 岩	0.05—0.5	青 泥	1—3

① 引自 Love, S. K., Natural Radioactivity of Water, *Ind. Eng. Chem.*, Vol. 43, p. 1541, 1951.表 1-11 海水中的放射性^①

元 素	重 量 浓 度, 10^{-6}	参 考 文 献
K	380	[1]
Rb	0.2	[1]
U	$(6.2-28.2) \times 10^{-4}$	[2]
	13×10^{-4}	[3]
	20×10^{-4}	[4]
Th	$(1.2-10) \times 10^{-6}$	[3]
	5×10^{-4}	[4]
Ra	$(0.07-0.58) \times 10^{-10}$	[2]
	0.7×10^{-10}	[3]

① Table Compiled by W. Lowder, New York Health and Safety Laboratory, AEC. See Background Radiation—A Literature Search, AEC Rept. NYO-4712, July, 1956.

[1] Sverdrup, H. U., M. W. Johnson, and R. H. Fleming, "The Oceans", Prentice-Hall, 1946.

[2] Kohman, T. P., and N. Saito, Radioactivity in Geology and Cosmology, *Ann. Rev. Nuclear Sci.*, Vol. 4, p. 401, 1954[3] Petterson, H., Radium and the Deep Sea, *Am. Scientist*, Vol. 41, p. 245, 1953.[4] Legendre, R., *Scientia (Milan)*, Vol. 86, No. 6, p. 221, 1951.

§ 1-4 河水中的放射性

几乎所有的水中都有放射性物质。甚至雨水中（因降落时通过空气）也能找到氡、钍射气和它们的放射性的沉淀物。地面水，由于和岩石或土壤中的放射性物质接触而很快变成有放射性的。海水中放射性物质的浓度较小，一些典型数值见表 1-11。天然地面水中放射性的主要成分是镭。有关天然水和泉水中放射性的部分数据见表 1-12。

赫希最近测定了美国许多城市给水中的镭含量，结果列于表 1-13。由表可知差别极大，每毫升天然水中含镭的数值可从 0.02×10^{-16} 至 65.4×10^{-16} 克。

表 1-12 天然水和泉水中的放射性^①

元 素	水 源	地 区	浓 度, 克/升	参考文献
镭	居里泉	科罗拉多洲博尔德	267000×10^{-12}	[1]
	温泉	日本岛根	709800×10^{-12}	[1]
	公共给水	德意志联邦共和国法兰克福	$(3000-5000) \times 10^{-12}$	[2]
	公共给水	美国 41 个城市	$(0-6.5) \times 10^{-12}$	[2]
	普通地表水	美国 (15 个样品)	$(0.36-3.41) \times 10^{-12}$	[1]
	普通地下水	美国 (25 个样品)	$(0.58-3.90) \times 10^{-12}$	[1]
	江水	北美	0.03×10^{-12}	[3]
	江水	(平均)	0.07×10^{-12}	[4]
钍	矿泉水	日本	$(0.002-0.95) \times 10^{-6}$	[3]
	大盐湖	美国犹他洲	5×10^{-6}	[3]
	江水	北美	$(0.016-0.040) \times 10^{-6}$	[3]
	江水	(平均)	1.0×10^{-6}	[4]
钍	三个矿的水	日本	$(2.3-5.0) \times 10^{-6}$	[5]
	江水	(平均)	2×10^{-8}	[4]

① Table Compiled by W. Lowder, Health and Safety Laboratory, AEC.

[1] Love, S. K., Natural Radioactivity of Water, *Ind. Eng. Chem.*, Vol. 43, p. 1541, 1951.

[2] Hursh, J. B., The Radium Content of Public Water Supplies, unclassified report UR-257, May, 1953.

[3] Kohman, T. P., and N. Saito, Radioactivity in Geology and Cosmology, *Ann. Rev. Nuclear Sci.*, Vol. 4, p. 401, 1954.

[4] Koczy, F. F., in Faul, H. (ed.), "Nuclear Geology", Wiley, 1954.

[5] Shimokata, K., *J. Chem. Soc. Japan*, Vol. 63, p. 1109, 1942.

§ 1-5 空气中的放射性

空气中的放射性主要是来自地面扩散出来的氡和钍射气。这些气体的放射性衰变产物是固体物质，很容易和空气中的灰尘结合。灰尘随降雨而带下来，因此增加了受照射的盖革计数器的本底计数率（如图 1-2 所示）。图 1-3 比较了地面上 410 呎和 18 呎不同温度两点的连续灰尘监测器所记录的放射性。由图可见，当没有热流引起垂直混合时，在温度转换区间出现大量的放射性积累。空气中的放射性也受其他因素的影响，如影响地面氡和钍射气释放速率的积雪，以及空气中灰尘和烟雾的浓度等（图 1-2，图 1-3）。

表 1-13 公共给水水源中的镭含量^①

供 给 城 市	水 源	镭 浓 度, 10 ⁻¹⁶ 克镭/毫升水	
		天 然 水	自 来 水
佐治亚洲亚特兰大	查塔霍契 (Chattahoochee) 河	0.17	0.09
马里兰州巴尔的摩	冈波德尔 (Gunpowder) 河	0.20	0.08
亚拉巴马州伯明翰	卡哈巴 (Cahaba) 河和普迪 (Purdy) 湖	0.24	0.17
北达科他州卑斯麦	密苏里河	2.43	0.26
爱达荷州博伊西	{ 浅水井 75 % } { 深水井 25 % }	1.03	0.96
马萨诸塞州波士顿	纳休阿河	0.14	0.17
纽约州布法罗	伊利湖	0.35	0.28
南卡罗来纳州查尔斯敦	爱迪斯托 (Edisto) 河	1.81	1.41
西弗吉尼亚州查尔斯敦	埃尔克河	0.41	0.46
怀俄明州夏延	地表水和井水	0.50	0.34
伊利诺斯州芝加哥	密执安湖	0.24	0.29
俄亥俄州辛辛那提	俄亥俄河	0.61	0.33
俄亥俄州克利夫兰	伊利湖	0.33	0.23
得克萨斯州达拉斯	加扎 (Garza) 湖和巴奇曼 (Bachman) 湖	0.85	0.32
科罗拉多州丹佛	南普拉特河	0.77	0.47
密执安州底特律	底特律河	0.26	0.18
印第安纳州印第安纳波利斯	潮水 (Fall Cr.) 和白河	1.37	0.86
伊利诺斯州乔利埃特	深井	65.4	57.9
加利福尼亚州拉弗尔纳	科罗拉多河	1.00	0.35
加利福尼亚州洛杉矶	欧文盆地的水	0.09	0.08
肯塔基州路易斯维尔	俄亥俄河	0.84	0.41
佛罗里达州迈阿密	浅水井	4.78	1.68
田纳西州孟菲斯	浅水井和深水井	2.11	1.70
路易斯安那州新奥尔良	密西西比河	4.25	0.16
纽约州纽约市	卡茨基尔供水	0.15	0.18
纽约州纽约市	克罗顿供水	0.20	0.18
俄克拉何马州俄克拉何马城	北卡内迪恩河	1.06	0.42
内布拉斯加州奥马哈	密苏里河	17.7	0.54
宾夕法尼亚州费拉德尔菲亚	德拉华河	0.48	0.44
亚利桑那州菲尼克斯	维迪 (Verdi) 河畔	0.27	0.18
南达科他州皮尔	浅水井和密苏里河畔	0.62	0.15
宾夕法尼亚州匹兹堡	阿勒格尼河	37	1.41
俄勒冈州波特兰	布朗河 (Bull Run R.)	0.14	0.01
北卡罗来纳州罗里	华尔纳特 (Walnut) 河	0.22	0.25
弗吉尼亚州里士满	詹姆斯河	0.33	0.23
加利福尼亚州萨克拉门托	萨克拉门托河	0.18	0.15
犹他州盐湖城	农村河流	0.34	0.50
加利福尼亚州旧金山	卡拉维雷斯 (Calaveras) 河	0.18	0.07
密苏里州圣路易斯	密西西比河	10.8	0.28
华盛顿州塔科马	绿河	0.02	0.00
华盛顿区	波托马克河	0.33	0.27
堪萨斯州威奇塔	深井	2.27	0.75

① 引自 Harsh, J. B., The Radium Content of Public Water Supplies, AEC Rept. UR-257, May, 1953.

已有不少工作者注意到了氡的实际浓度是很不一致的。据艾森巴德和哈利 (Science, Vol. 117, p. 141, Feb. 13, 1953) 的保守估计, 通常空气中的氡浓度为 5×10^{-14} 居里/升, 并指出, 此数常高至 5×10^{-13} 居里/升。安德森、梅恩奥德和特纳发现, 伦敦上空氡的平均浓度为 $2-3 \times 10^{-12}$ 居里/升。格劳伯曼和布雷斯林曾研究了纽约市的氡气浓度。铀和镭矿地区的氡气浓度能够达到很高的数值 (10^{-9} 居里/升, 或更高), 它取决于空气流通的情况。事实上, 在矿区和其它地区的地下, 甚至在铀矿储藏量不具有开采价值的地下, 一般都有很高的氡气浓度。表 1-14 列出了哈里斯从纽约洲矿区得到的数值。如表所示, 可以

表 1-14 纽约洲矿区的氡气浓度^①

地 区	类 型	浓 度 为 10^{-11} 居里/升		
		换 算 ^②	计 算 ^③	玻 璃 瓶 ^④
A	洞 窟	2.0—15.0	1.4—11.1	1.2—11.0
B	铁 矿	6.1—14.2	4.7—10.6	3.3—4.1
C	铁 矿	6.9—11.2	5.3—8.5	3.2—3.7
D	滑 石 矿	1.6—6.2	1.2—4.6	2.0
E	赤 铁 矿	2.1—5.2	1.6—4.0	未测量
F	滑 石 矿	1.5—1.7	1.0—1.3	0.8
G	铁 矿	0.7—1.7	0.5—1.3	0.2—1.2
H	滑 石 矿	0.6—1.6	0.5—1.2	0.8
I	锌 矿	0.2—0.6	0.1—0.4	0.01—0.1
J	锌 矿	0.1—0.3	0.1—0.2	0.01—0.1
K	锌 矿	0.28	0.21	0.21
L	石 膏 矿	没有显著的读数		0.13
M	岩 盐 矿	没有显著的读数		0.03
N	废弃的矿	没有显著的读数		0.01

① 引自 Harris, S.J., Radon Levels Found in Mines in New York State, N. Y. State Dept. Labor. Monthly Rev., Vol. 33, p. 10, October, 1954.

② 从滤纸上的灰尘样品直接换算到每升每分钟衰变。

③ 这一行的计算采用哈利推导的公式 (NYOO, AEG), 数据与换算图相同。

④ 这些数据是用一升容量的玻璃烧瓶和电子学方法直接采样计数得来。

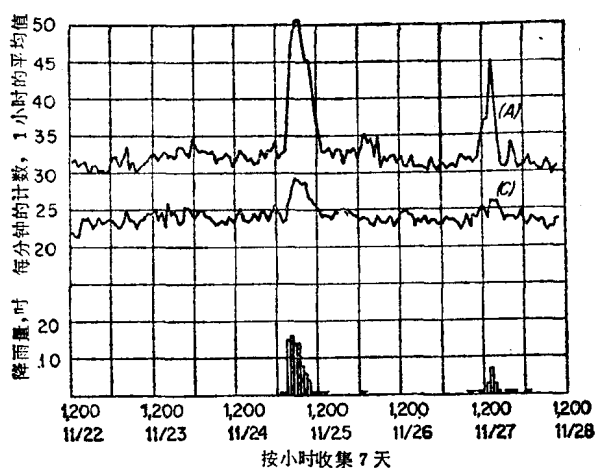


图 1-2 1949 年纽约市阿普顿降雨对本底计数率的影响
A—薄壁的盖革玻璃管; C—有 β 屏蔽的盖革管。

明显的看到肺部所受的照射水平。哈里斯引用了贝尔的成果,认为在正常工作周水平为 10^{-10} 居里/升时,每周剂量则为 22.6 雷姆。

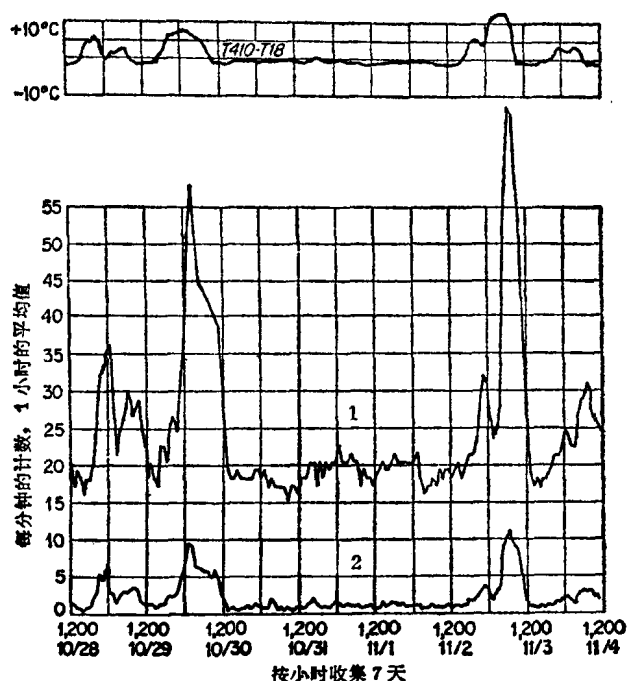


图 1-3 1949 年纽约市阿普顿大气灰尘的放射性(E-1 灰尘连续监测站)

1— β - γ 计数器; 2— α 计数器。

大气中发现有少量的 C^{14} 和 H^3 , 它们是由于宇宙射线在大气上层的作用而产生的 (Libby, *Phys. Rev.*, Vol. 69, p. 671, 1946)。由于它们的半衰期很长, 因此可以通过与大气充分混合而结合到动、植物体内, 其含量为 $0.95 \times 10^{-10}\%$ 。因为在动、植物死后不再吸收 C^{14} , 所以根据 C^{14} 的含量可以估算沉积的化石的年代。考夫曼和利比提出的氚丰度值为, 每 10^{18} 个氢原子中含有 0.5 到 67 个氚原子。他们估计, 地上氚的总贮量为 1800 克, 而大气中的氚含量仅为该值的 1% 左右。

§ 1-6 人体内的放射性

由于在各种植物和矿物中几乎都含有少量的放射性物质, 因此人体内必然含有可测出量的放射性物质。就此而言, 以 K^{40} , C^{14} 以及 Ra^{226} 及其子代产物为最主要的同位素。

钾是人体内丰度最大的放射性物质。据估计, 70 公斤重的人体内有 100—300 克钾。表 1-15 列出了一些有关的数值, 286 人中钾的平均重量占 0.17%, 或是每 70 公斤的“标准人”含钾 120 克。钾在肌肉中的浓度最大, 骨骼和脂肪相对地较少。

由于镭在商业和医疗上的广泛应用, 人体内之镭含量已引起人们很大的注意。现已发现, 人体内的镭含量依赖于人所消耗的食物和饮水中的含量, 一般人的镭含量为 10^{-10} 克的数量级 (表 1-16 说明了这一点)。已总结了在伊利诺斯洲斯坦特维尔和洛克波特的研究

结果, 饮水中的含镭量分别为 3.4×10^{-12} 克/升和 8×10^{-12} 克/升。用同样方法测得芝加哥居民区饮水中的含镭量仅为 0.03×10^{-12} 克/升。

表 1-15 钾在肝脏中的含量^①

作 者	受 检 数	年 龄	平 均 重 量, 公斤	钾, %
科赛 (1950)	30 名女性	21—32	—	$0.18_1 \pm 0.01_9$
艾卡瓦 (1952)	20 名男性	—	—	$0.12_3 \pm 0.01_1$
埃德尔曼 (1952)	14 名男性	—	—	0.16
	33 名女性	—	—	0.18
布莱尼 (1954)	17 名女性	—	—	$0.17_9 \pm 0.01_4$
	7 名男性	—	—	$0.13_7 \pm 0.01_9$
朗多和萨吉尔德 (1955)	6 名女性	22—31	76	$0.19_0 \pm 0.02$
	4 名男性	17—28	61	$0.16_7 \pm 0.01_7$
伯奇和施皮尔斯 (1954)	10 名女性	—	—	—
	加 3 名男性	19—20	—	$0.21_5 \pm 0.01$
	11 名女性	26—41	—	$0.21_2 \pm 0.01$
	4 名女性	60—79	—	$0.21_5 \pm 0.02$
朗多和萨吉尔德 (1955)	6 名女性	22—31	76	$0.21_5 \pm 0.01_2$
	4 名男性	17—28	61	$0.19_7 \pm 0.01_5$
西弗特 (1955)	20 名女性	10—13	40	$0.19_1 \pm 0.008_3$
	11 名女性	20—29	70	$0.19_6 \pm 0.01_0$
	10 名女性	30—49	70	$0.20_9 \pm 0.01_3$
	14 名女性	62—84	70	$0.15_5 \pm 0.008_2$
	17 名男性	10—13	40	$0.16_4 \pm 0.01_1$
	4 名男性	25—28	70	$0.14_5 \pm 0.005_2$
	5 名男性	36—56	70	$0.13_8 \pm 0.009_3$
	18 名男性	66—86	70	$0.12_9 \pm 0.008_6$

① 引自 Sievert, R. M., "Measurements of Low-Level Radioactivity, Particularly the γ -radiation from Living Subjects" Paper 8/P/792, International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955.

表 1-16 受检组中体内镭含量的平均值^①

组 别	人 数	年 龄		单 位: 10^{-10} 克镭	
		平 均 年 龄	在斯坦特维尔的 平 均 时 间	体内的平均含量	平均标准偏差
芝加哥成年人	1	29	0.00	0.40	
斯坦特维尔					
青年	11	27	0.3	1.00	0.14
中年	8	38	7.6	2.02	0.28
老年	11	44	19.7	2.36	0.30
芝加哥男孩	7	16.6	—	0.36	0.14
洛克波特男孩	8	16.6	—	3.68	0.50

① 引自 Stehney, A. F., and H. F. Lucas, Jr., "Studies on the Radium Content of Humans Arising from the Natural Radium of Their Environment", Paper 8/p/852, International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955.

人体所受到的总辐射量，一部分来自外照射，另一部分则来自内照射。表 1-17 和表 1-18 列出了两位作者发表的对总照射量和不同辐射成分引起的总照射量的估计值。

表 1-17 天然本底辐射对人体的照射^①

照射类型	照射量, 毫伦/天	照射量, 毫雷姆/天	附注
U、Th、Ac 系同位素的外照射	0.13	0.13	主要是地表和空气中的钍和铀射气的产物。当大气不发生对流时，常常低四倍。
在海平面和纬度 50° 宇宙射线的外照射	0.07	0.07	在 2000 米以上时增加 75%，在地球纬度 0° 时减少 10%。
镭及其子体的内照射	0.013	0.25	假设人体内含镭 1.18×10^{-10} 克。两个不同方法之间可以相差五倍。
K ⁴⁰ 的内照射	0.15	0.15	假设人体内含含有 245 克钾或 0.18 微居里 K ⁴⁰ 。肌肉占 75%。
总照射量	0.36	0.60	总照射量并不一致，可相差 ±50%。

① 引自 Morgan, K. Z., AEC Rept. TID-5031.

表 1-18 天然本底辐射对人体造成的辐射量^①

照射源	照射量 ¹ 毫伦/年
体内的钾	19
体内的碳	1.5
镭（仅骨骼，均匀分布）	6.7
镭（仅骨骼，非均匀分布）	67 ^②
海平面的宇宙射线	33—37
5000 呎高度的宇宙射线	40—60
10000 呎高度的宇宙射线	80—120
15000 呎高度的宇宙射线	160—240
20000 呎高度的宇宙射线	300—450

① 引自 Libby, W. F., Dosages from Natural Radioactivity and Cosmic Rays, *Science*, Vol. 122, No. 3158, P. 57, July 8, 1955.

② 人体内的镭含量是根据阿贡国家实验所斯特尼的数据。

参 考 文 献

- Libby, W. F., Dosages from Natural Radioactivity and Cosmic Rays, *Science*, vol. 122, no. 3158, pp. 57-58, July 8, 1955.
- Montgomery, "Cosmic Ray Physics," Princeton.
- Rossi, "High-energy Particles," Prentice-Hall.
- Wilson, "Progress in Cosmic Ray Physics," North-Holland.
- Forsythe, W. E., "Smithsonian Physical Tables," The Smithsonian Institution, 1954.
- Faul, H., "Nuclear Geology," Wiley, 1954, based on Jeffreys, H., "The Earth," 3d ed., Macmillan, Cambridge, 1952.
- Cooper, R. I. B., The Distribution of Radioactivity, *Nature*, vol. 169, p. 350, 1952.
- Kerr, P. F., "The Natural Occurrence of Uranium and Thorium," Paper P/1114, International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955.
- Kohman, T. P., and N. Saito, Radioactivity in Geology and Cosmology, *Ann. Rev. Nuclear Sci.*, vol. 4, p. 401, 1954.
- Rankama, K., "Isotope Geology," McGraw-Hill, 1955.
- Love, S. K., Natural Radioactivity of Water, *Ind. Eng. Chem.*, vol. 43, p. 1541, 1951.
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson, and R. H. Fleming, "The Oceans," Prentice-Hall, 1946.