

第 3 章 核辐射测量单位及核辐射防护

3.1 核辐射测量常用单位

为了度量放射性物质的量或其辐射量，需要有统一的单位，从原则上讲，完全可以用克和原子数作为单位来度量放射性物质的量，用库仑为单位来度量辐射能，但由于放射性物质具有衰变的特点，而且有些放射性物质的半衰期又极短，甚至在称量过程中这些放射性物质的量也在逐渐变少，所以不能完全用克，原子数等单位来准确地度量这些放射性物质的量，要求引入一些专门的单位来表示度量的放射性物质的量及其辐射量。在这一章中将扼要地介绍核辐射测量工作中常用的度量放射性物质的量及其辐射量的单位。

3.1.1 放射性物质的重量，活度单位

常用的放射性物质的重量、活度单位有千克，贝克（勒尔）等，分别介绍如下：

（一）千克——放射性物质的重量单位

一些长寿核素如铀、钍等的量可用千克（或其导出单位克）为单位来表示。对这些核素可以用称量法测量。

对于那些半衰期极短的放射性核素，因其衰变很快，且无法将他们提取到化学纯度来供测量，此外它们的量往往是极微小的，以致最精密的天平也无法称出其量，因此无法用称量法来确定其量，必须采用测量其放射性衰变率等方法来度量。

（二）贝克勒尔（简称贝克）——放射性活度

由于放射性核素具有衰变特性，因此可以用单位时间内核素核衰变的次数来描述核素的衰变量。放射性核素的活度是指在给定时刻，处于特定能态的一定量放射性核素在单位时间 dt 发生自发核跃迁的期望值。用法定计量单位（SI 单位）时放射性活度的单位名称是“贝可（勒尔）”，用 Bq 表示， $1Bq$ 表示每秒跃迁一次。

$$1Bq=1s^{-1}$$

居里（用 Ci 表示）是放射性活度的非国际制单位，现以废除，一居里表示每秒 3.7×10^{10} 次核跃迁，即：

$$1Ci=3.7 \times 10^{10}Bq$$

为了应用时换算方便，将贝可与居里之间的换算关系及居里的导出单位列于下面：

$$1Bq=0.27 \times 10^{-10}Ci$$

$$1\text{mCi}=10^{-3}\text{Ci}$$

$$1\ \mu\ \text{Ci}=10^{-6}\text{Ci}$$

$$1\text{pCi}=10^{-12}\text{Ci}$$

放射性核素的活度和该核素的质量之间存在着简单的关系，可以互相换算，若核素的活度是 1Bq，其相应的原子核数为 N_i ，即：

$$\lambda N=1\ \text{s}^{-1}$$

$$N_i=1/\lambda=1/0.693T_{1/2} \quad (3-1)$$

式中, λ ——衰变常数, s^{-1}

$T_{1/2}$ ——半衰期, 单位为 s 或 min 等。

由阿佛加德罗常数可以求出相当于 1Bq 活度核素的质量 M_I (g)

$$M_I = \frac{N_A A}{6.023 \times 10^{23}} = \frac{6.023 \times 10^{23} \times 0.693}{6.023 \times 10^{23} \times 0.693} = 2.4 \times 10^{-24} A T_{1/2} \quad (3-2)$$

式中, A ——原子量, g。

当 $T_{1/2}$ 以 d 为单位时, 相当于 1 Bq 放射性物质的克数为:

$$M_I = 2.07 \times 10^{-19} A T_{1/2}$$

3.1.2 放射性物质的含量单位

常用的放射性物质含量单位有 g/g, g/l 等, 现介绍如下:

(一) 固体物质中放射性核素的含量

用 1 克岩石中放射性核素所占的克数“克(放射性核素)/克(岩石)”表示, 或用 100 克岩石中含放射性核素的克数即“百分数”表示, 例如矿石中含有 1%的铀, 表示 100 克岩石中含有 1 克铀。

在放射性勘查工作中, 常用克/吨(g/t, 相当于过去采用的 ppm 单位) 作为岩石中放射性核素的含量单位, 例如岩的铀含量为 1g/t, 表示在 1 吨岩石中含有 1 克铀。

1976 年国际原子能机构(IAEA)建议, 在 γ 总量测量时采用“放射性元素含量单位(Ur)” (或称“放射性元素单位”)来表示地质体中放射性元素的含量, 它的定义是: 具有一个放射性元素含量单位的地质体使仪器产生的响应(即计数率)与仅含有 1g/t 平衡铀的地质体使仪器产生的响应相同, 即:

一个放射性元素含量单位=1g/t 平衡铀含量:

$$1\text{Ur}=1\text{g/t 平衡铀}$$

或 $1\text{Ur}=1\text{g/t eU}$

必须指出, 由于测量时测量对象的放射性平衡情况常常是不清楚的, 因此用“g/t eU”表示岩石中放射性核素的含量时, 对于铀系列核素, 其中 eU 表示当量铀, 即不考虑放射性平衡破坏情况。Ur 单位目前尚未被广泛采用。

(二) 液体或气体中放射性物质的含量

以体积含量表示, 即单位体积中放射性物质的活度或质量, 用 Bq/L, g/L, mg/L 等表示之。

液体或气体中的氡含量可以用 Bq/L 表示, 原来用 Ci/L, 爱曼(10^{-10}Ci/L)表示, 这些单位现以废除(作为暂用单位), 它们相互的换算式为:

$$1\text{Bq/L}=0.27 \text{ 爱曼}$$

$$1 \text{ 爱曼 (em) }=3.7\text{Bq/L}$$

3.1.3 放射性辐射的物理量和单位

放射性物质的重要特点之一是不断地放射出射线，工作中有时要度量这些放射性物质产生辐射量。粒子注量和粒子注量率、照射量和照射量率等就是描述这方面特征的物理量。

（一）粒子注量和粒子注量率

1、粒子注量 Φ

假若以辐射场中某点 p 为中心，划出一小的球形区域，如果球体的截面积为 da ，从各个方向射入该球体的粒子总数为 dN ，则 dN 除以 da 得到的商定义为辐射场 p 点处的粒子注量 Φ ：

$$\Phi = dN/da$$

可见，粒子注量率是射入小球 单位面积的粒子数。粒子注量的单位是 “ m^{-2} ”。

2、粒子注量率 ϕ

粒子注量率是表示在单位时间 dt 内粒子注量的增量，即：

$$\phi = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d^2 N}{da dt}$$

粒子注量率的单位是 “ $m^{-2}s^{-1}$ ”

（二）能注量和能注量率

1、能注量 ψ

能注量的定义为：在空间一给定点处，射入以该点为中信的小球体的所有粒子的能量总和 dE_R 除以该球体的截面积 da ，

$$\psi = \frac{dE_R}{da}$$

能注量的单位是焦耳每平方米 “ J/m^2 ”

2、能注量率 Ψ

能注量率是表示在单位时间 dt 内能注量的增量，即

$$\Psi = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d^2 E_R}{da dt} \quad (3-3)$$

能注量率的单位为瓦每平方米 “ W/m^2 ”，适用与度量各种致电离辐射。

（三）照射量和照射量率

1、照射量 X

以 X 射线或 γ 射线产生电离的本领而作出的一种量度，用来表示 X 射线或 γ 射线在空气中形成的辐射场。照射量 (X) 的定义为

$$X = dQ/dm \quad (3-4)$$

式中， dm ——某体积元的空气质量

dQ ——表示在质量为 dm 的某一体积元内的空气中，由 X 射线或 γ 射线释放出来的全部电子（正电子或负电子）被完全阻止于空气中时，在空气中产生的一种符号的离子的总电荷的绝对值。

照射量的单位为库仑/千克，即 C/Kg。伦琴（R）是照射量的专用单位（非法定单位），它们之间的关系是：

$$1\text{C/Kg}=3.877\times 10^3\text{R}$$

$$1\text{R}=2.58\times 10^{-4}\text{C/Kg}$$

.

2、照射量率 X

照射量率的定义是，在单位时间 dt 内照射量的增量，即

$$\dot{X} = \frac{dx}{dt} \quad (3-5)$$

照射量率的单位为库伦每千克秒“C/Kg. s”，照射量率的专用单位（非法定单位），有伦琴每秒“R/s”、伦琴每小时“R/h”、微伦每小时“μR/h”等。以前在放射性测量工作中常用μR/h为单位，并将μR/h简称为伽玛“γ”。γ与法定单位之间的关系是：

$$1 \gamma = 1 \mu R/h = 7.17 \times 10^{-14} C/Kg. s$$

$$1 R/h = 10^6 \gamma = 7.17 \times 10^{-8} C/Kg. s$$

3.1.4 点源γ辐射照射量率的计算

在放射性测量工作中常常需要知道离某一已知含量的点源一定距离出的γ照射量率。现计算如下：设在O点处有一活度为mBq的γ辐射点源（各向同性），求距点源d(cm)处A点的γ辐射照射量率。已知A点处的能注量率可表示成下式：

$$I_A = \frac{m \sum n_i h \nu_i}{4\pi d^2} = 8 \times 10^{-2} \frac{m \sum n_i h \nu_i}{d^2} \quad \left(\frac{MeV}{s \cdot cm^2} \right)$$

式中， n_i ——每次衰变发射能量为 $h \nu_i$ 的光子的几率。

上式给出了每秒钟在A点处传输的能量。若假定这一能量全部用来产生离子对，则每秒产生的离子对数为

$$N = \frac{I_A \mu_i}{W \rho} \times 10^6 \quad (\text{离子对/克.秒})$$

式中， W ——在空气中电子每产生一对离子所消耗的平均能量（ $W=33.7$ 电子伏/离子对）；

μ/ρ ——能量为 $h \nu_i$ 的光子在空气中的质量吸收系数，表示能量被转移到物质中去的几率（ cm^2/g ）

10^6 ——由兆电子伏换算到电子伏的换算系数。

则A点的照射量率可表示成

$$\dot{X} = 8 \times 10^{-2} \frac{m \sum n_i h \nu_i}{d^2} \times \frac{\mu_i}{\rho} \times 10^6 \times 3600 \times \frac{1.67 \times 10^{-19} \times 10^3}{5 \times 10^{-4}} \times 7.17 \times 10^{-8}$$

$$= 2.98 \times 10^{-10} \times \frac{m \sum n_i h \nu_i \mu_i}{d^2} \quad \left(\frac{C}{kg \cdot s} \right) \quad (3-6)$$

式中， 1.67×10^{-19} 为一离子对所具有电量（库伦）。

由（3-6）式可看出，点源在距离它 d 处某点的照射量率与放射源的或度成正比，与距离的平方成反比。下面作为一个实例，计算离或度为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}(1\text{mCi})$ 的点状 ^{60}Co 源 1cm 处的照射量率。

^{60}Co 每次衰变放出的能量为 1.17MeV 和 1.33MeV 的光子各一个。 $\mu_{\text{空}} = 3.5 \times 10^{-5} \text{cm}^{-1}$ ，代入（3-6）式得

$$\dot{X} = 2.98 \times 10^{-10} \times 3.7 \times 10^{10} (1.17 + 1.33) \times 3.5 \times 10^{-5} = 96.5 \times 10^{-8} \text{C/kg.s}$$

距离一个或度为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ 的点状放射性同位素源 1cm 处的照射量率，称为核放射性同位素的 γ 常数。所以 ^{60}Co 的 γ 常数为 $96.5 \times 10^{-8} \text{C/Kg.s}$ 。当用 0.5mm 的铂层做外壳时，

镭的 γ 常数为 $59.2 \times 10^{-3} \text{C/Kg.s(K}_{\text{Ra}})$ 。

若已知镭的 γ 常数，则可用下式计算离任意镭含量的点源任一距离处的照射量率

$$\dot{X} = \frac{K_{\text{Ra}} \cdot C}{R^2} \text{C/kg.s} \quad (3-7)$$

式中， C ——以毫克为单位的镭含量；

R ——离镭源的距离（cm）；

例如一毫克的镭源在一米处的照射量率为

$$\dot{X} = \frac{59.2 \times 10^{-3} \times 1}{100^2} = 59.2 \times 10^{-12} \text{C/kg.s}$$

3.2 放射源与标准模型

3.2.1 放射源分类

根据《[放射性同位素与射线装置安全和防护条例](#)》（国务院令 第 449 号）关于放射源实行分类管理的规定，国家环境保护总局发布了“放射源分类办法”（国家环境保护总局 2005 年 第 62 号公告）。

参照国际原子能机构的有关规定，按照放射源对人体健康和环境的潜在危害程度，从高到低将放射源分为 I、II、III、IV、V 类，V 类源的下限活度值为该种核素的豁免活度。

（一）I 类放射源为极高危险源。没有防护情况下，接触这类源几分钟到 1 小时就可致人死亡；

（二）II 类放射源为高危险源。没有防护情况下，接触这类源几小时至几天可致人死亡；

（三）III 类放射源为危险源。没有防护情况下，接触这类源几小时就可对人造成永久性损伤，接触几天至几周也可致人死亡；

（四）IV 类放射源为低危险源。基本不会对人造成永久性损伤，但对长时间、近距离接触这些放射源的人可能造成可恢复的临时性损伤；

（五）V 类放射源为极低危险源。不会对人造成永久性损伤。

常用不同核素的 64 种放射源按下列表进行分类如表 3.1。核素份额不明的混合源，按其危险度最大的核素分类，其总活度视为该核素的活度。

上述放射源分类原则对非密封源适用。非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量分为甲、乙、丙三级，具体分级标准见《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB 18871-2002）。

甲级非密封源工作场所的安全管理参照 I 类放射源。

乙级和丙级非密封源工作场所的安全管理参照 II、III 类放射源。

表 3-1 放射源分类表

核素名称	I 类源 (贝可)	II 类源 (贝可)	III 类源 (贝可)	IV 类源 (贝可)	V 类源 (贝可)
Am-241	$\geq 6 \times 10^{13}$	$\geq 6 \times 10^{11}$	$\geq 6 \times 10^{10}$	$\geq 6 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$
Am-241/Be	$\geq 6 \times 10^{13}$	$\geq 6 \times 10^{11}$	$\geq 6 \times 10^{10}$	$\geq 6 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$
Au-198	$\geq 2 \times 10^{14}$	$\geq 2 \times 10^{12}$	$\geq 2 \times 10^{11}$	$\geq 2 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^6$
Ba-133	$\geq 2 \times 10^{14}$	$\geq 2 \times 10^{12}$	$\geq 2 \times 10^{11}$	$\geq 2 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^6$
C-14	$\geq 5 \times 10^{16}$	$\geq 5 \times 10^{14}$	$\geq 5 \times 10^{13}$	$\geq 5 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^7$
Cd-109	$\geq 2 \times 10^{16}$	$\geq 2 \times 10^{14}$	$\geq 2 \times 10^{13}$	$\geq 2 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^6$
Ce-141	$\geq 1 \times 10^{15}$	$\geq 1 \times 10^{13}$	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{10}$	$\geq 1 \times 10^7$
Ce-144	$\geq 9 \times 10^{14}$	$\geq 9 \times 10^{12}$	$\geq 9 \times 10^{11}$	$\geq 9 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^5$
Cf-252	$\geq 2 \times 10^{13}$	$\geq 2 \times 10^{11}$	$\geq 2 \times 10^{10}$	$\geq 2 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$
Cl-36	$\geq 2 \times 10^{16}$	$\geq 2 \times 10^{14}$	$\geq 2 \times 10^{13}$	$\geq 2 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^6$
Cm-242	$\geq 4 \times 10^{13}$	$\geq 4 \times 10^{11}$	$\geq 4 \times 10^{10}$	$\geq 4 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^5$
Cm-244	$\geq 5 \times 10^{13}$	$\geq 5 \times 10^{11}$	$\geq 5 \times 10^{10}$	$\geq 5 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$
Co-57	$\geq 7 \times 10^{14}$	$\geq 7 \times 10^{12}$	$\geq 7 \times 10^{11}$	$\geq 7 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^6$
Co-60	$\geq 3 \times 10^{13}$	$\geq 3 \times 10^{11}$	$\geq 3 \times 10^{10}$	$\geq 3 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^5$
Cr-51	$\geq 2 \times 10^{15}$	$\geq 2 \times 10^{13}$	$\geq 2 \times 10^{12}$	$\geq 2 \times 10^{10}$	$\geq 1 \times 10^7$
Cs-134	$\geq 4 \times 10^{13}$	$\geq 4 \times 10^{11}$	$\geq 4 \times 10^{10}$	$\geq 4 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$
Cs-137	$\geq 1 \times 10^{14}$	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^4$
Eu-152	$\geq 6 \times 10^{13}$	$\geq 6 \times 10^{11}$	$\geq 6 \times 10^{10}$	$\geq 6 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^6$
Eu-154	$\geq 6 \times 10^{13}$	$\geq 6 \times 10^{11}$	$\geq 6 \times 10^{10}$	$\geq 6 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^6$
Fe-55	$\geq 8 \times 10^{17}$	$\geq 8 \times 10^{15}$	$\geq 8 \times 10^{14}$	$\geq 8 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^6$
Gd-153	$\geq 1 \times 10^{15}$	$\geq 1 \times 10^{13}$	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{10}$	$\geq 1 \times 10^7$
Ge-68	$\geq 7 \times 10^{14}$	$\geq 7 \times 10^{12}$	$\geq 7 \times 10^{11}$	$\geq 7 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^5$
H-3	$\geq 2 \times 10^{18}$	$\geq 2 \times 10^{16}$	$\geq 2 \times 10^{15}$	$\geq 2 \times 10^{13}$	$\geq 1 \times 10^9$
Hg-203	$\geq 3 \times 10^{14}$	$\geq 3 \times 10^{12}$	$\geq 3 \times 10^{11}$	$\geq 3 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^5$
I-125	$\geq 2 \times 10^{14}$	$\geq 2 \times 10^{12}$	$\geq 2 \times 10^{11}$	$\geq 2 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^6$
I-131	$\geq 2 \times 10^{14}$	$\geq 2 \times 10^{12}$	$\geq 2 \times 10^{11}$	$\geq 2 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^6$
Ir-192	$\geq 8 \times 10^{13}$	$\geq 8 \times 10^{11}$	$\geq 8 \times 10^{10}$	$\geq 8 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$

Kr-85	$\geq 3 \times 10^{16}$	$\geq 3 \times 10^{14}$	$\geq 3 \times 10^{13}$	$\geq 3 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^4$
Mo-99	$\geq 3 \times 10^{14}$	$\geq 3 \times 10^{12}$	$\geq 3 \times 10^{11}$	$\geq 3 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^6$
Nb-95	$\geq 9 \times 10^{13}$	$\geq 9 \times 10^{11}$	$\geq 9 \times 10^{10}$	$\geq 9 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^6$
Ni-63	$\geq 6 \times 10^{16}$	$\geq 6 \times 10^{14}$	$\geq 6 \times 10^{13}$	$\geq 6 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^8$
Np-237 (Pa-233)	$\geq 7 \times 10^{13}$	$\geq 7 \times 10^{11}$	$\geq 7 \times 10^{10}$	$\geq 7 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^3$
P-32	$\geq 1 \times 10^{16}$	$\geq 1 \times 10^{14}$	$\geq 1 \times 10^{13}$	$\geq 1 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^5$
Pd-103	$\geq 9 \times 10^{16}$	$\geq 9 \times 10^{14}$	$\geq 9 \times 10^{13}$	$\geq 9 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^8$
Pm-147	$\geq 4 \times 10^{16}$	$\geq 4 \times 10^{14}$	$\geq 4 \times 10^{13}$	$\geq 4 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^7$
Po-210	$\geq 6 \times 10^{13}$	$\geq 6 \times 10^{11}$	$\geq 6 \times 10^{10}$	$\geq 6 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$
Pu-238	$\geq 6 \times 10^{13}$	$\geq 6 \times 10^{11}$	$\geq 6 \times 10^{10}$	$\geq 6 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$
Pu-239/Be	$\geq 6 \times 10^{13}$	$\geq 6 \times 10^{11}$	$\geq 6 \times 10^{10}$	$\geq 6 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$
Pu-239	$\geq 6 \times 10^{13}$	$\geq 6 \times 10^{11}$	$\geq 6 \times 10^{10}$	$\geq 6 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$

Pu-240	$\geq 6 \times 10^{13}$	$\geq 6 \times 10^{11}$	$\geq 6 \times 10^{10}$	$\geq 6 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^3$
Pu-242	$\geq 7 \times 10^{13}$	$\geq 7 \times 10^{11}$	$\geq 7 \times 10^{10}$	$\geq 7 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$
Ra-226	$\geq 4 \times 10^{13}$	$\geq 4 \times 10^{11}$	$\geq 4 \times 10^{10}$	$\geq 4 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$
Re-188	$\geq 1 \times 10^{15}$	$\geq 1 \times 10^{13}$	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{10}$	$\geq 1 \times 10^5$
Ru-103 (Rh-103m)	$\geq 1 \times 10^{14}$	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^6$
Ru-106 (Rh-106)	$\geq 3 \times 10^{14}$	$\geq 3 \times 10^{12}$	$\geq 3 \times 10^{11}$	$\geq 3 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^5$
S-35	$\geq 6 \times 10^{16}$	$\geq 6 \times 10^{14}$	$\geq 6 \times 10^{13}$	$\geq 6 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^8$
Se-75	$\geq 2 \times 10^{14}$	$\geq 2 \times 10^{12}$	$\geq 2 \times 10^{11}$	$\geq 2 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^6$
Sr-89	$\geq 2 \times 10^{16}$	$\geq 2 \times 10^{14}$	$\geq 2 \times 10^{13}$	$\geq 2 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^6$
Sr-90 (Y-90)	$\geq 1 \times 10^{15}$	$\geq 1 \times 10^{13}$	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{10}$	$\geq 1 \times 10^4$
Tc-99 ^m	$\geq 7 \times 10^{14}$	$\geq 7 \times 10^{12}$	$\geq 7 \times 10^{11}$	$\geq 7 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^7$
Te-132 (I-132)	$\geq 3 \times 10^{13}$	$\geq 3 \times 10^{11}$	$\geq 3 \times 10^{10}$	$\geq 3 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^7$
Th-230	$\geq 7 \times 10^{13}$	$\geq 7 \times 10^{11}$	$\geq 7 \times 10^{10}$	$\geq 7 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^4$
Tl-204	$\geq 2 \times 10^{16}$	$\geq 2 \times 10^{14}$	$\geq 2 \times 10^{13}$	$\geq 2 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^4$
Tm-170	$\geq 2 \times 10^{16}$	$\geq 2 \times 10^{14}$	$\geq 2 \times 10^{13}$	$\geq 2 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^6$
Y-90	$\geq 5 \times 10^{15}$	$\geq 5 \times 10^{13}$	$\geq 5 \times 10^{12}$	$\geq 5 \times 10^{10}$	$\geq 1 \times 10^5$
Y-91	$\geq 8 \times 10^{15}$	$\geq 8 \times 10^{13}$	$\geq 8 \times 10^{12}$	$\geq 8 \times 10^{10}$	$\geq 1 \times 10^6$
Yb-169	$\geq 3 \times 10^{14}$	$\geq 3 \times 10^{12}$	$\geq 3 \times 10^{11}$	$\geq 3 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^7$
Zn-65	$\geq 1 \times 10^{14}$	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^6$
Zr-95	$\geq 4 \times 10^{13}$	$\geq 4 \times 10^{11}$	$\geq 4 \times 10^{10}$	$\geq 4 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^6$

注： 1. Am-241 用于固定式烟雾报警器时的豁免值为 1×10^5 贝可。

3.2.2 标准源

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/685100031023011143>