



中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 1129-2020

就地高纯锗谱仪测量土壤中
 γ 核素技术规范

Technical Specifications for Determination of γ -emitting Radionuclides
in Soil by In-situ HPGe Spectrometry

(发布稿)

2020-06-03 发布

2020-06-30 实施

生态环境部 发布

目 次

前 言.....	3
1 适用范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	4
4 方法原理.....	6
5 仪器和设备.....	6
6 测量分析步骤.....	6
7 探测效率计算.....	7
8 结果计算与表示.....	9
9 质量保证和质量控制.....	10
10 注意事项.....	11
附录 A（资料性附录） 就地高纯锗谱仪的视域 R_s	12
附录 B（资料性附录） 质量张弛深度 β 的确定方法和经验数据	14
附录 C（资料性附录） 放射性核素的注量活度比 F	16
附录 D（资料性附录） 标准 γ 点源校准就地高纯锗谱仪有效前面积 η 及角度修正因子 W	36
附录 E（资料性附录） 蒙特卡洛模拟方法计算就地高纯锗谱仪的有效前面积 η 和角响应修正因子 W	38
附录 F（资料性附录） 就地高纯锗谱仪有效前面积 η 及角度修正因子 W 经验值	41
附录 G（资料性附录） 就地高纯锗谱仪测量土壤中 γ 核素活度浓度的影响因素	43

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《中华人民共和国核安全法》，保护生态环境，保护公众健康，规范就地高纯锗谱仪测量土壤中 γ 核素放射性活度浓度和放射性沉降灰沉积通量的方法，特制定本标准。

本标准的附录A~附录G为资料性附录。

本标准首次发布。

本标准由生态环境部核设施安全监管司、法规与标准司组织制订。

本标准起草单位：生态环境部核与辐射安全中心、生态环境部辐射环境监测技术中心、华北电力大学、安徽省辐射环境监督站。

本标准生态环境部2020年06月03日批准。

本标准自2020年06月30日起实施。

本标准由生态环境部解释。

就地高纯锗谱仪测量土壤中 γ 核素技术规范

1 适用范围

本标准规定了用于测量土壤中 γ 核素放射性活度浓度和放射性沉降灰沉积通量的就地高纯锗谱仪测量方法。

本标准适用于核事故应急监测时地表土壤人工放射性 γ 核素的测定, 辐射环境监测可参照执行。

对于新沉降的放射性沉降灰, 本标准测定的 ^{137}Cs 活度浓度探测下限为 100 Bq/m^2 。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是不注日期的引用文件, 其有效版本适用于本标准。

GB/T 27418 测量不确定度评定和表示

ISO 18589-7 环境放射性的测量 - 土壤 - 第 7 部分: γ 核素的就地测量 (Measurement of radioactivity in the environment - Soil - Part 7: In situ measurement of gamma-emitting radionuclides)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 相对探测效率 relative detection efficiency

在点源至探测器前表面距离为 25cm 时, 高纯锗探测器和标准圆柱形 NaI(Tl) 闪烁体探测器 (直径 7.62 cm, 高度 7.62 cm) 测量 ^{60}Co 源 1332.5 keV γ 射线的全能吸收峰探测效率之比。

注: 标准圆柱形 NaI(Tl) 闪烁体晶体对 1332.5 keV γ 射线的全能吸收峰探测效率理论值为 1.2×10^{-3} 。

3.2 能量分辨力 energy resolution

探测器分辨能量不同却又非常相近的入射 γ 射线的能力。能量分辨力与入射 γ 射线能量有关, 对于指定能量的单能 γ 射线, 常用该能量的全能吸收峰的半高宽来表示, keV。

3.3 半高宽 full width at half maximum

在脉冲高度谱中, 单峰峰值一半处两点的横坐标之间的距离, keV。半高宽又记作 FWHM。

注: 如果能谱中的峰由几个峰叠加组成, 则每个峰都有一个半高宽。

3.4 探测器的视阈 field-of-view of a detector

表征探测器测量地表土壤范围的量,即探测器测量到 90% 的非散射 γ 射线来源于该范围内的土壤。一般用测量土壤范围的半径表示, m。

3.5 探测下限 lower limit of detection (LLD)

在给定的置信度下,就地高纯锗谱仪可探测到最低的活度浓度值或最小沉积通量。

3.6 就地测量 in-situ measurement

不对待测对象做任何物理或化学性质处理或改变,在其所处的现场进行的测量。

3.7 探测器高度 detection height

高纯锗晶体几何中心距地表的垂直高度, m。

3.8 活度浓度 activity concentration

单位质量待测物质中放射性核素的活度, $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

3.9 沉积通量 sedimentation flux

放射性沉降灰在单位面积上沉降的特定放射性核素的活度, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

3.10 就地高纯锗谱仪的探测效率 detection efficiency of in-situ HPGe Spectrometry

探测器高度为 1m 时,就地高纯锗谱仪测量能量为 E 的特征 γ 射线计数率与土壤中发射该射线的放射性核素的沉积通量或活度浓度之比, $\text{s}^{-1}\cdot(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2})^{-1}$ 或 $\text{s}^{-1}\cdot(\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1})^{-1}$ 。

3.11 有效前面积 effective front area

表征探测器全能吸收峰探测效率的参数,即能量为 E 的 γ 射线束沿探测器轴向平行入射的情况下,单位注量率所产生的全能吸收峰计数率, m^2 。

3.12 角度修正因子 angle correction factor

对于能量为 E 的 γ 射线,就地高纯锗谱仪在野外地表实际测量时与测量沿探测器轴向平行入射时,单位 γ 射线注量率所得全能吸收峰计数率之比,量纲一的量。

3.13 注量活度比 fluence activity ratio

土壤中单位活度浓度或单位沉积通量的放射性核素发射能量为 E 的 γ 射线,在地面上方 h 高度处的初级 γ 射线注量率, $(\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})\cdot(\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1})^{-1}$ 或 $(\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})\cdot(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2})^{-1}$ 。

3.14 张弛深度 relaxation depth

描述放射性核素随土壤深度变化的数学参数,表示活度浓度减少至表面活度浓度的 e^{-1} (37%) 时,距离土壤表面的深度, cm。

3.15 质量张弛深度 relaxation mass per unit area

地表至待测放射性核素的张弛深度范围内，单位面积土壤的质量， $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

3.16 等效表面沉积通量 equivalent surface sedimentation flux

对于放射性沉降灰中的核素，假设质量张弛深度为 $0\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}$ 时，计算得到的沉积通量即为等效表面沉积通量， $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

4 方法原理

地表 γ 射线的注量率与土壤中放射性核素的活度浓度（沉积通量）、核素在土壤中的深度分布，以及土壤的组分、含水率等因素有关。探测器高度为 1 m 时，就地高纯锗谱仪测量的全能吸收峰计数率与土壤中放射性核素的活度浓度成正比。

$$A = \frac{N_f}{\varepsilon} \quad (1)$$

式中：

A —待测放射性核素的活度浓度或沉积通量， $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ 或 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ ；

N_f —待测放射性核素的全能吸收峰净计数率， s^{-1} ；

ε —就地高纯锗谱仪的探测效率， $\text{s}^{-1}\cdot(\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1})^{-1}$ 或 $\text{s}^{-1}\cdot(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2})^{-1}$ 。

5 仪器和设备

5.1 高纯锗谱仪：由高纯锗探测器、高压电源、主放大器、多道脉冲幅度分析器、制冷单元（液氮或电制冷）、数据处理系统等 6 个主要部分构成。

5.2 支架：能够固定探测器，使探测器高度距地面 1 m 高的支架，应使用低原子序数、低密度的材料制造（如：铝、塑料、木材）。

5.3 卷尺：卷尺的校准长度应大于 1 m ，且校准分度不小于 1 mm 。

5.4 其它辅助设备：应配备地理定位系统，记录测试时的地理坐标。

6 测量分析步骤

6.1 布点原则

一般情况，选择一个开阔、平坦的区域，而且探测器的视阈 R_s 内应无干扰物体（如建筑物、树林等），探测器的视域 R_s 见附录 A。测量放射性核素的沉积通量时，应选择自放射核素沉积以来，放射性核素在土壤中分布未被破坏的区域（如：没有农业活动）。

6.2 测量条件记录

记录测量点位地理坐标，以及气象条件、地形地貌的描述等。

6.3 仪器状态的检查

测量前，应检查高纯锗探测器的晶体温度是否达到工作温度。处于工作温度后，再打开高纯锗谱仪的偏压电源，检查仪器的能量分辨力。

6.4 就地高纯锗谱仪的安装

在选定的测量区域中间位置，将高纯锗探测器稳定地安装在测量支架上，探测器的端面朝下。调整探测器高度，使之距离地表 1 m。连接高纯锗谱仪电子学仪器的所有电缆。

6.5 测量设置

根据现场测量的待测核素特征峰的全能吸收峰计数率，设置测量时间，使得感兴趣区的计数统计涨落在 10% 以内。

6.6 γ 能谱的采集

在预定的时间内采集 γ 能谱。停止测量后，存储采集到的 γ 能谱。

6.7 γ 能谱分析

用 γ 能谱分析软件查看采集的 γ 能谱，若能谱中存在可明显辨别的峰，根据峰形特征设置适合的感兴趣区域，读取全能吸收峰的净峰面积；若能谱中无可明显辨别的峰，则根据待测核素的特征峰的能量和探测器的能量分辨力，设置感兴趣区，读取全能吸收峰的积分面积。

7 探测效率计算

7.1 原理

对于就地高纯锗谱仪而言，很难有已知不同深度分布的大面积 γ 射线标准场用于探测效率校准。因此，需根据土壤、空气的物理参数，采用放射性核素在土壤中分布的理论模型，并结合探测器的特征进行探测效率计算。就地高纯锗谱仪的探测效率取决于放射性核素在土壤中的深度分布，探测器高度，探测器的性质， γ 射线的能量以及在土壤和空气的吸收性质等因素，可利用如下 Beck 公式进行计算：

$$\varepsilon = F \times W \times \eta \quad (2)$$

式中：

F —注量活度比， $(\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})\cdot(\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1})^{-1}$ 或 $(\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})\cdot(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2})^{-1}$ 。该物理量由放射性核素在土壤中分布、土壤组分与密度等因素决定，与探测器无关。

W —角度修正因子，由探测器的角响应因子 $R(\theta)$ 和地表 γ 射线注量率角分布 $\varphi(\theta)$ 共同决定的，量纲一的量。这是因为探测器非标准球体，对不同角度入射的 γ 射线探测效率并不相同。而探测器所在的位置， γ 射线是从土壤表面发射而来的（ 2π 立体角），而非沿探测器轴向平行入射的 γ 射线，故需要进行角度修正。该物理量与探测器几何结构、 γ 射线能量、放射性核素在土壤的分布有关。

η —有效前面积, m^2 。该物理量只与所用的探测器有关, 由探测器晶体尺寸、材料、几何结构等因素决定, 与土壤中放射性核素分布无关。

7.2 探测效率计算的方法

7.2.1 方法概述

由 7.1 可知, 由注量活度比 F 、角度修正因子 W 和有效前面积 η 这三个不相关的物理量乘积可得就地高纯锗谱仪的探测效率 ε 。其中, 注量活度比 F 和角度修正因子 W 与放射性核素的质量张弛深度 β 相关, 确定质量张弛深度 β 是开展探测效率计算的前提条件。在已知质量张弛深度 β 条件下, 按照以下步骤开展探测效率计算: (1) 根据理论模型计算土壤中放射性核素的注量活度比 F 。(2) 利用标准源实验测量或蒙特卡洛模拟计算探测器的有效前面积 η 。(3) 理论模型计算探测器高度处初级 γ 注量率的角分布 $\varphi(\theta)$; 利用标准源实验测量或蒙特卡洛计算探测器的角度响应因子 $R(\theta)$; 联合初级 γ 注量率的角分布 $\varphi(\theta)$ 和探测器的角度响应因子 $R(\theta)$ 计算得到角度修正因子 W 。

7.2.2 质量张弛深度 β 的确定

一般来说, 新近沉降的放射性沉降灰, 放射性核素均匀分布在土壤表面, $\beta = 0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$; 天然放射性核素在土壤中呈均匀分布的, $\beta = \infty \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。放射性沉降灰中核素随着时间推移不断向土壤深度渗透, 活度浓度随着土壤深度 z 的增加而呈指数下降, $0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2} < \beta < \infty \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。若质量张弛深度 β 未知, 可先假设 $\beta = 0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$, 计算等效表面沉积通量。之后, 根据现场分层取样或经验值得到实际的质量张弛深度 β , 质量张弛深度 β 的确定方法和经验数据见附录 B。

7.2.3 注量活度比 F 的计算

待测放射性核素的质量张弛深度 β 确定后, 可由以下三种方法得到注量活度比 F : (1) 对于沉降在土壤的人工放射性核素 ($0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2} \leq \beta < \infty \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) 查阅附录 C 中表 C 2 得到注量活度比 F ; 对于天然放射性核素 ($\beta = \infty \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) 查阅附录 C 中 C 3 得到注量活度比 F 。(2) 对于沉降在土壤的放射性核素 ($0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2} \leq \beta < \infty \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$), 若质量张弛深度 β 在附录 C 表 C 2 中无对应值时, 根据质量张弛深度 β 的数据插值计算得到注量活度比 F 。(3) 按照附录 C 的理论模型, 计算得到注量活度比 F 。

7.2.4 有效前面积 η 的校准

就地高纯锗谱仪的有效前面积 η 可通过以下三种方法得到: (1) 标准 γ 点源校准方法, 具体的方法及步骤见附录 D。(2) 蒙特卡洛模拟计算方法, 具体的方法及步骤见附录 E。(3) 经验公式快速校准方法, 根据探测器的基本性质利用经验公式快速校准的方法见附录 F。

7.2.5 角度修正因子 W 的校准

就地高纯锗谱仪的角度修正因子 W 可通过以下三种方法得到: (1) 标准 γ 点源校准方法, 具体的方法及步骤见附录 D。(2) 蒙特卡洛模拟计算方法, 具体的方法及步骤见附录

E。(3) 对于新沉降的人工放射性核素 ($\beta = 0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) 和天然放射性核素 ($\beta = \infty \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$)，根据探测器的基本性质，参考典型高纯锗谱仪的角度修正因子进行校准，见附录 F。

8 结果计算与表示

8.1 结果计算

土壤中放射性核素的沉积通量或活度浓度可用式 (3) 计算：

$$A = \frac{N_{\text{net}}}{t \cdot \varepsilon} \quad (3)$$

式中：

A —待测放射性核素的沉积通量或活度浓度， $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ 或 $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ ；

N_{net} —能量为 E 的 γ 射线全能吸收峰净计数，量纲一的量；

t —有效测量时间，s；

ε —对于能量为 E 的 γ 射线，就地高纯锗谱仪的探测效率， $\text{s}^{-1}\cdot(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2})^{-1}$ 或 $\text{s}^{-1}\cdot(\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1})^{-1}$ 。

8.2 测量不确定度评估

根据 GB/T 27418 推荐的不确定度传递传播公式，对公式 (2) 和 (3) 各不确定度分量的来源进行计算。公式 (3) 中不确定度最大来源为 ε 和 N_{net} ，其它量的不确定度可以忽略不计，因此合成标准不确定度用下式计算：

$$u(A) = A \times \sqrt{\frac{u^2(N_{\text{net}})}{N_{\text{net}}^2} + \frac{u^2(\eta)}{\eta^2} + \frac{u^2(W)}{W^2} + \frac{u^2(F)}{F^2}} \quad (4)$$

式中：

$u(A)$ —待测核素活度浓度或沉积通量 A 测量结果的不确定度；

$u(N_{\text{net}})$ —能量为 E 的 γ 射线全能吸收峰净计数 N_{net} 的不确定度；

$u(\eta)$ —能量为 E 的 γ 射线有效前面积 η 的不确定度；

$u(F)$ —能量为 E 的 γ 射线注量活度比 F 的不确定度；

$u(W)$ —能量为 E 的 γ 射线角度修正因子 W 的不确定度。

8.3 探测下限

在 95% 置信度下，就地高纯锗谱仪测量土壤中 γ 核素的活度浓度或沉积通量的探测下限 LLD 用公式 (5) 计算。

$$LLD = \frac{4.65 \times \sqrt{N_g}}{t \cdot \varepsilon} \quad (5)$$

式中：

N_g —能量为 E 的 γ 射线全能吸收峰的总计数，量纲一的量。

8.4 结果表示

根据报告要求,对于大于探测下限的核素,测量结果应以活度浓度或沉积通量及测量不确定度 $[A \pm u(A)]$ 来表述;对于小于探测下限的核素,测量结果应以“小于 LLD ”表述,并给出探测下限 LLD 值。测量结果的小数点后位数的保留与方法探测下限一致,最多保留三位有效数字。

9 质量保证和质量控制

9.1 影响变量

附录 G 中讨论了影响测量结果的变量,主要包括测量点位的环境特征、地表的平整度、地表植被特征、土壤组分、探测器高度、有效前面积和角度修正因子的校准。测量时,需要特别注意并尽可能地降低这些参数的影响。

9.2 仪器验证

按照实验室质量控制体系的要求,应定期对高纯锗谱仪的关键技术指标(如探测效率、能量分辨力、测量本底)进行期间检查。

9.3 质量控制计划

9.3.1 总则

就地高纯锗谱仪应建立质量保证计划,规定质量控制程序和质量措施以保证测量结果的质量。

9.3.2 期间核查

9.3.2.1 性能测试

将就地高纯锗谱仪放在固定位置,分析环境中天然放射性核素(如 ^{40}K , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{226}Ra) γ 特征峰的能量和峰形参数。定期检查高纯锗谱仪性能指标,以及测量结果是否可复现。

9.3.2.2 能量分辨力和探测效率

应定期对就地高纯锗谱仪的能量分辨力和探测效率进行期间核查。一般情况,每年至少开展一次期间核查。若高纯锗探测器经常回温,应缩小期间核查的时间间隔。用固定检验源测量高纯锗谱仪的能量分辨力和全能吸收峰探测效率,绘制质控图。检验源在低能、中能和高能区应至少各有 1 条 γ 射线。若期间核查结果与之前相比存在显著差异,需要进行重新校准或维修。

9.3.2.3 本底

在固定测量条件下,应定期进行高纯锗谱仪的测量本底进行期间核查。一般情况下,每

年至少开展一次期间核查，若怀疑有污染可能性的时候，也应尽快开展本底期间核查，绘制质控图。若期间核查结果与之前相比存在显著差异，需要进行去污处理。

9.4 文件文档

就地高纯锗谱仪的测量过程应有详细的原始记录，以及现场测量的 γ 能谱文件，并规定适当的保存期限。一般而言，应急监测、辐射环境监测和重点污染源监测的原始记录应永久保存，期间核查报告等质量保证记录应至少保存6年。

10 注意事项

10.1 就地高纯锗谱仪必须注意防潮和防水。

10.2 就地高纯锗谱仪的工作环境温度在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内，否则可能使得高纯锗探测器的真空变差。

10.3 制冷达到工作温度后，高纯锗晶体易碎，在运输过程中应保证机械冲击不会导致探测器损坏。

10.4 高纯锗谱仪在工作温度才能工作，测量前需要预估探测器的运输和测量时间，保证有足够的液氮制冷或电池电量。

注:对于液氮制冷系统，高纯锗探测器在运输过程中，液氮消耗量会变大。

10.5 若放射性核素随雨水沉降时，因降水的流动，可能导致测量区域放射性核素分布并非均匀，可能产生较大的偏差，不宜进行测量。

10.6 空气中存在人工放射性核素时，须防止高纯锗谱仪被污染，并注意监测人员的防护。

10.7 超出视阈范围的山脉、山脊也可能影响最终测量结果，建议尽量避免在周边开展测量。

10.8 测量放射性沉降灰时，应尽可能避开周围存在树林的测量环境。

附录 A
(资料性附录)

就地高纯锗谱仪的视域 R_s

在开阔、平坦的区域，且探测器高度为 1 m 时，就地高纯锗谱仪的视域 R_s 见图 A-1。
就地高纯锗谱仪的视域 R_s 与质量张弛深度 β ， γ 射线的能量 E 有关。质量张弛深度 β 越小， γ 射线的能量 E 越高，就地高纯锗谱仪的视域 R_s 越大。

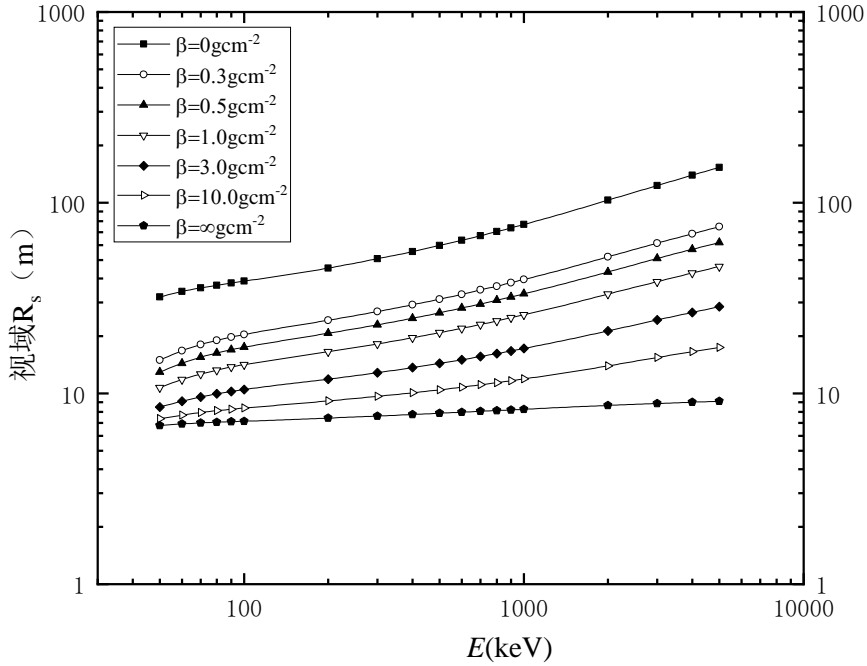


图 A-1 不同质量张弛深度 β ，就地高纯锗谱仪的视域 R_s

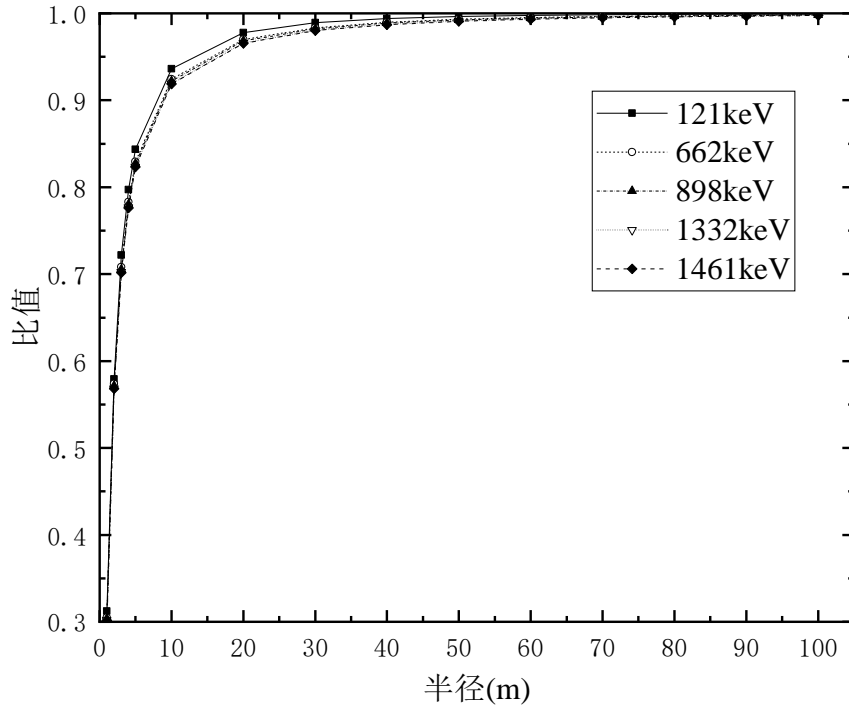


图 A-2 不同半径范围内土壤中放射性核素在地表上方 1m 高处的初级 γ 射线剂量率与总剂量率

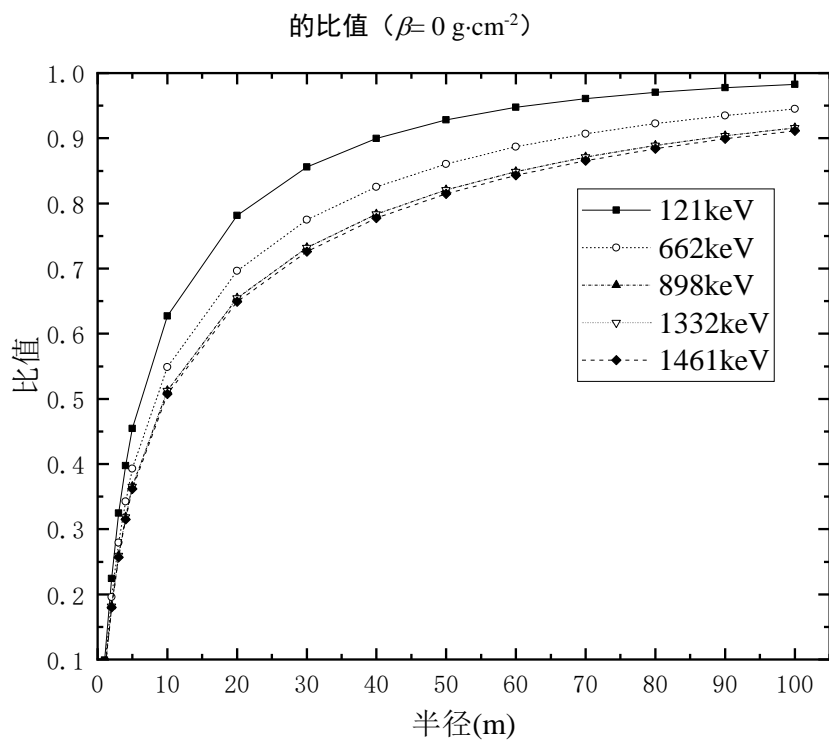


图 A 3 不同半径范围内土壤中放射性核素在地表上方 1m 高处的初级 γ 射线剂量率与总剂量率的比值 ($\beta = \infty \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$)

附录 B
(资料性附录)

质量张弛深度 β 的确定方法和经验数据

B.1 分层取样法确定放射性核素质量张弛深度 β

- a) 在就地高纯锗谱仪的视域 R_s 内, 采用简单随机布点, 确定采集土壤的点位。
- b) 在每个测量点, 按照等间距或随土壤深度增加间距变大(表层间距一般小于 1 cm), 分若干层采集土壤样品。
- c) 将各个采集点相同土壤深度 H_i 的样品混合在一起, 作为一个分层土壤样品, 张贴样品标识。
- d) 在实验室内, 将土壤样品中杂草、碎石等异物剔除, 测量样品的密度 ρ_s ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)。
- e) 利用实验室高纯锗谱仪分别测量各层(序号为 i)土壤样品中各放射性核素的活度浓度 A_i ($\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$) ;
- f) 建立坐标系, 横坐标为土壤深度 $H(\text{cm})$, 纵坐标为各层土壤深度的活度浓度 A_i ($\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$) 与表层土壤活度浓度 $A_{m,0}$ ($\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$) 之比的自然对数 $\ln(A_i/A_{m,0})$ (量纲为一的量)。以各层土壤深度 H_i 及相应的 $\ln(A_i/A_{m,0})$ 在建立的坐标系中作图。
- g) 用最小二乘法拟合直线, 求出 $\ln(A_i/A_{m,0})$ 和 H_i 的直线斜率 k (cm^{-1})。
- h) 放射性核素的质量张弛深度 β ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) 用式 B-1 计算可得。

$$\beta = -\frac{\rho}{k} \quad (\text{B}\cdot\text{1})$$

式中,

β —放射性核素的质量张弛深度, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$;

ρ —土壤的密度, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$;

k —拟合的直线斜率, cm^{-1} ;

B.2 ^{137}Cs 质量张弛深度 β 的经验数据

表 B.1 ^{137}Cs 质量张弛深度 β 的经验数据^a

序号	沉降时间	来源	测量地点	β ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)
1	3~4 周	切尔诺贝利核事故	俄罗斯西部	01.~2.0 ^b
2	5~6 周	切尔诺贝利核事故	德国	0.5~1.0 ^b
3	<1 年	切尔诺贝利核事故	瑞典	2.2±0.2
4	<1 年	切尔诺贝利核事故	德国	1.4
5	<1 年	切尔诺贝利核事故	德国	0.5~4
6	1~3 年	切尔诺贝利核事故	德国	1.0~10
7	1~3 年	切尔诺贝利核事故	俄罗斯西部	1.4
8	4 年	切尔诺贝利核事故	俄罗斯西部	1~7
9	4 年	切尔诺贝利核事故	白俄罗斯、乌克兰	1.4~5.6
10	1~5 年	大气核试验	美国东部	4.2
11	5 年	切尔诺贝利核事故	俄罗斯西部	2~4.5
12	3~6 年	切尔诺贝利核事故	德国	2.5~15
13	3~6 年	切尔诺贝利核事故	乌克兰	1~4
14	3~6 年	切尔诺贝利核事故	俄罗斯西部	3.3
15	>15 年	大气核试验	美国西部	14±4 ^c

表 B.1 ^{137}Cs 质量张弛深度 β 的经验数据 (续)

序号	沉降时间	来源	测量地点	β ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)
16	>15 年	大气核试验	美国南部	$2.9\pm 1.6\text{d}$
17	>15 年	大气核试验	美国东部	2~7 (森林) 8~9 (平原)
18	>30 年	大气核试验、切尔诺贝利	中国吉林	11.2 ^e

a 序号 1~17 的数据来源于 ICRU Report 53 环境测量中的 γ 射线谱仪法 (Gamma-Ray Spectrometry in the Environment)

b 湿沉降

c 干旱区, 灌溉的草原

d 干旱区, 自然保护区

e 长白山自然保护区, 高山苔原带

附录 C
(资料性附录)
放射性核素的注量活度比 F

一般来说, 新沉降的放射性核素在地表呈面分布, $\beta = 0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$; 天然放射性核素在土壤中均匀分布的, $\beta = \infty \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。随着时间推移, 放射性沉降灰中的放射性核素不断向土壤深度渗透, 活度浓度随着土壤深度 z 的增加而呈指数下降, $0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2} < \beta < \infty \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

放射性核素在土壤中呈面分布、均匀分布都是指数分布的特殊情况, 故以指数分布为例计算放射性核素在地表高度 h 处产生的注量率。对于指数分布的放射性核素, 土壤深度 z 处核素的活度浓度可以用式 (C.1) 描述:

$$A(z) = A_{m,0} \times \exp\left(-\frac{z}{l}\right) \quad (\text{C}\cdot\text{1})$$

式中,

$A_{m,0}$ —表面土壤中放射性核素的活度浓度, $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$;

$A(z)$ —深度 z 处放射性核素的活度浓度, $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$;

z —土壤深度, cm ;

l —放射性核素的张弛深度, cm 。

就地 HPGe 谱仪测量无穷大平面土壤中放射性核素的活度浓度如图 (C.1) 所示。

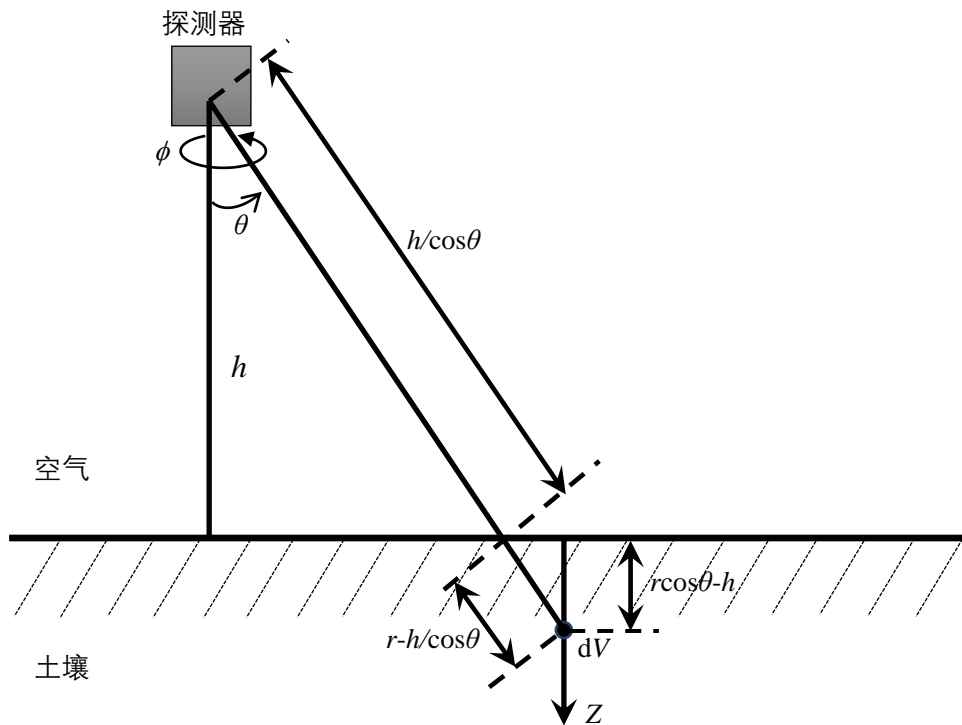


图 C.1 就地高纯锗谱仪在无穷大平面地表的测量示意图

探测器高度为 h (cm)，以探测器灵敏中心为球坐标原点。土壤深度为 z (cm) 处一点的球坐标为 (r, ϕ, θ) 。该体积元内放射性核素的活度可以用式 (C.2) 计算。

$$\begin{aligned} A\rho_s dV &= A_{m,0} \times \rho_s \times \exp\left(-\frac{z}{l}\right) \times r^2 \sin \theta d\theta d\phi dr \\ &= A_{m,0} \times \rho_s \times \exp\left(-\frac{r \times \cos \theta - h}{l}\right) \times r^2 \sin \theta d\theta d\phi dr \end{aligned} \quad (\text{C.2})$$

体积元 dV 内的放射性核素产生的 γ 射线，到达探测器灵敏中心处的初级 γ 射线注量率可用式(C.3)计算。

$$\begin{aligned} d\phi &= \frac{A_{m,0} p \rho_s}{4\pi r^2} \times \exp\left(-\frac{r \times \cos \theta - h}{l}\right) \times \exp\left(-\frac{\mu_s}{\rho_s} \times \rho_s \times (r - h / \cos \theta)\right) \\ &\quad \times \exp\left(-\frac{\mu_a}{\rho_a} \times \rho_a \times h / \cos \theta\right) \times r^2 \sin \theta d\theta d\phi dr \end{aligned} \quad (\text{C.3})$$

式中，

p — 能量为 E 的 γ 射线的分支比，量纲一的量；

μ_s — 土壤线性衰减系数， cm^{-1} ；

μ_a — 空气线性衰减系数， cm^{-1} ；

ρ_s — 土壤密度， $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ；

ρ_a — 空气密度， $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

对整个半空间的土壤进行积分，便可以得到放射性核素在探测器灵敏体积处的初级 γ 光子注量率。

$$\phi = \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} \int_{h/\cos\theta}^{\infty} d\phi = - \int_0^{\pi/2} \frac{A_{m,0} p \times \exp\left(-\frac{\mu_a}{\rho_a} \times \rho_a \times h / \cos \theta\right)}{2\left[\frac{1}{\rho_s l} \cos \theta + \frac{\mu_s}{\rho_s}\right]} d \cos \theta \quad (\text{C.4})$$

为便于计算，令 $\omega = \cos \theta$ ，则式 (C.4) 可以简化为式 (C.5)。

$$\phi = \int_0^1 \frac{A_{m,0} p \times \exp\left(-\frac{\mu_a}{\rho_a} \times \rho_a \times h / \omega\right)}{2\left[\frac{1}{\rho_s \cdot l} \omega + \frac{\mu_s}{\rho_s}\right]} d\omega \quad (\text{C.5})$$

设单位截面积无限深的柱状土壤的总放射性活度为 A_a ，即为放射性沉降灰中放射性核素的沉积通量，可用式(A.6)计算。

$$A_a = \int_0^{\infty} \rho_s \cdot A_{m,0} \cdot \exp(-z/l) dz = A_{m,0} \rho_s l \quad (\text{C.6})$$

将 $A_{m,0}$ 用式(C.6)计算出，代入(C.5)即可得(C.7)。

$$\varphi = A_a p \int_0^1 \frac{\exp(-\mu_a \times h / \omega)}{2[\omega + \mu_s \cdot l]} d\omega \quad (\text{C}\cdot7)$$

探测器高度 h 处，初级 γ 射线注量率的角分布为：

$$\varphi(\omega) = A_a p \frac{\exp(-\mu_a \times h / \omega)}{2[\omega + \mu_s \cdot l]} \quad (\text{C}\cdot8)$$

为对式 (C·7) 进行积分，引入一积分函数 (C·9)。

$$E_1(X) = \int_x^\infty \frac{\exp(-t)}{t} dt \quad (\text{C}\cdot9)$$

令 $x = \mu_a h / \omega$ ，则式 (C·7) 可以化简为式 (C·10)。

$$\varphi = \frac{A_a p}{2} [E_1(\mu_a h) - \exp(\frac{\mu_a h}{\mu_s l}) E_1(\mu_a h + \frac{\mu_a h}{\mu_s l})] \quad (\text{C}\cdot10)$$

在土壤中深度方向呈指数分布的放射性核素，在探测器高度 h 处初级 γ 射线注量率与沉积通量之比，即注量活度比为式 (C·11)。

$$\frac{\varphi}{A_a} = \frac{p}{2} [E_1(\mu_a h) - \exp(\frac{\mu_a h}{\mu_s l}) E_1(\mu_a h + \frac{\mu_a h}{\mu_s l})] \quad (\text{C}\cdot11)$$

对于新近沉降的放射核素，则 $l=0$ cm。在探测器高度 h 处初级 γ 射线注量率及角分布可以用(C·7)和 (C·8) 进行化简，得到式 (C·12) 和式 (C·13)。

$$\varphi = A_a p \int_0^1 \frac{\exp(-\mu_a \times h / \omega)}{2\omega} d\omega \quad (\text{C}\cdot12)$$

$$\varphi(\omega) = \frac{A_a p \exp(-\mu_a \times h / \omega)}{2\omega} \quad (\text{C}\cdot13)$$

同样，令 $x = \mu_a h / \omega$ ，式 (C·12) 可以化简为：

$$\varphi = \frac{A_a p}{2} E_1(\mu_a h) \quad (\text{C}\cdot14)$$

在土壤表面呈均匀分布的放射性核素，在探测器高度 h 处初级 γ 射线注量率与沉积通量之比为

$$\frac{\varphi}{A_a} = \frac{p}{2} E_1(\mu_a h) \quad (\text{C}\cdot15)$$

天然放射性核素在土壤中为均匀分布，不同深度的放射性核素活度浓度都相同，均为 $A_{m,0}$ ，则 $l=\infty$ cm。式 (C·5) 无法用 (C·6) 进行化简，故均匀分布的放射性核素在探测器高度 h 处初级射线 γ 注量率及注量率角分布分别为式 (C·16) 和式 (C·17)。

$$\varphi = \int_0^1 \frac{A_{m,0} p \exp(-\mu_a h / \omega)}{2(\mu_s / \rho_s)} d\omega \quad (\text{C}\cdot\text{16})$$

$$\varphi(\omega) = \frac{A_{m,0} p \exp(-\mu_a h / \omega)}{2(\mu_s / \rho_s)} \quad (\text{C}\cdot\text{17})$$

为对式 (C·16) 进行积分, 引入另一积分函数 (C·18)。

$$E_2(X) = \int_x^\infty \frac{\exp(-t)}{t^2} dt \quad (\text{C}\cdot\text{18})$$

式 (C·16) 积分结果为式 (C·19)。

$$\varphi = \frac{A_{m,0} p}{2(\mu_s / \rho_s)} E_2(\mu_a h) \quad (\text{C}\cdot\text{19})$$

即在土壤中呈均匀分布的放射性核素, 初级 γ 射线注量率与活度浓度之比式 (C·20)。

$$\frac{\varphi}{A_{m,0}} = \frac{p}{2(\mu_s / \rho_s)} E_2(\mu_a h) \quad (\text{C}\cdot\text{20})$$

根据式 (C·11)、(C·15) 和 (C·20), 可计算放射性核素在土壤中呈均匀分布、指数分布和面分布的注量活度比。为简便计算, 引入质量张弛深度 β 的物理量。

$$\beta = \rho_s \cdot l \quad (\text{C}\cdot\text{21})$$

式 (C·11)、(C·15) 和 (C·20) 可表达为 (C·22)。

$$\frac{\varphi}{A_x} = \begin{cases} \frac{pE_1(\mu_a h)}{2} & \beta = 0 \\ \frac{p}{2} [E_1(\mu_a h) - \exp(-\frac{(1/\beta) \cdot \mu_a h}{\mu_s / \rho_s}) E_1[(1 + \frac{(1/\beta)}{\mu_s / \rho_s}) \mu_a h]] & 0 < \beta < \infty \\ \frac{pE_2(\mu_a h)}{2(\mu_s / \rho_s)} & \beta = \infty \end{cases} \quad (\text{C}\cdot\text{22})$$

假定土壤组分及比重为表(C·1)。

表 C·1 土壤组分及比重

组分	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CO ₂	H ₂ O
比重	13.5 %	4.5 %	67.5 %	4.5 %	10 %

假设土壤组分及比重为表 C·1, 密度为 1.6 g·cm⁻³。对于可能沉降在地表且半衰期大于 30min 的放射性核素, 利用式 (C·22) 计算放射性核素在土壤中呈指数分布和面分布的注量活度比, 结果见表 C·2 所示; 对于土壤中天然放射性核素, 土壤组分及比重按照表 C·1, 利用式 (C·22) 计算放射性核素在土壤中呈均匀分布的注量活度比, 结果见表 C·3 所示。

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) *

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
11.2	0.255	Pb-210	7.90E-02	3.13E-02	1.86E-02	1.32E-02	8.35E-03	4.34E-03	2.22E-03	1.49E-03	9.01E-04	4.51E-04	2.26E-04	1.51E-04	9.09E-05	4.54E-05
12.7	0.081	Th-232	3.58E-02	1.52E-02	9.27E-03	6.67E-03	4.29E-03	2.26E-03	1.16E-03	7.85E-04	4.76E-04	2.39E-04	1.20E-04	8.00E-05	4.80E-05	2.40E-05
12.7	0.089	Th-228	3.91E-02	1.65E-02	1.01E-02	7.27E-03	4.68E-03	2.46E-03	1.27E-03	8.56E-04	5.19E-04	2.60E-04	1.30E-04	8.72E-05	5.24E-05	2.62E-05
13.4	0.079	U-236	4.10E-02	1.78E-02	1.10E-02	7.99E-03	5.18E-03	2.74E-03	1.42E-03	9.55E-04	5.81E-04	2.92E-04	1.46E-04	9.77E-05	5.86E-05	2.93E-05
13.4	0.084	U-238	4.33E-02	1.88E-02	1.17E-02	8.43E-03	5.46E-03	2.89E-03	1.50E-03	1.01E-03	6.13E-04	3.08E-04	1.54E-04	1.03E-04	6.19E-05	3.09E-05
13.4	0.094	U-234	4.85E-02	2.11E-02	1.31E-02	9.44E-03	6.12E-03	3.24E-03	1.68E-03	1.13E-03	6.86E-04	3.45E-04	1.73E-04	1.15E-04	6.93E-05	3.47E-05
13.4	0.102	U-232	5.25E-02	2.29E-02	1.42E-02	1.02E-02	6.63E-03	3.51E-03	1.82E-03	1.22E-03	7.44E-04	3.74E-04	1.87E-04	1.25E-04	7.51E-05	3.76E-05
13.7	0.094	Th-234	5.20E-02	2.29E-02	1.42E-02	1.03E-02	6.70E-03	3.56E-03	1.84E-04	1.24E-03	7.55E-04	3.80E-04	1.90E-04	1.27E-04	7.62E-05	3.82E-05
13.7	0.562	Np-237	3.12E-01	1.37E-01	8.54E-02	6.19E-02	4.02E-02	2.13E-02	1.10E-02	7.44E-03	4.53E-03	2.27E-03	1.14E-03	7.62E-04	4.57E-04	2.29E-04
13.7	0.776	Th-231	4.31E-01	1.89E-01	1.18E-01	8.54E-02	5.55E-02	2.94E-02	1.53E-02	1.03E-02	6.25E-03	3.14E-03	1.57E-03	1.05E-03	6.31E-04	3.16E-04
14.1	0.04	Pu-239	2.35E-02	1.05E-02	6.53E-03	4.74E-03	3.09E-03	1.64E-03	8.51E-04	5.73E-04	3.49E-04	1.75E-04	8.78E-05	5.88E-05	3.52E-05	1.76E-05
14.1	0.082	Pu-242	4.89E-02	2.17E-02	1.36E-02	9.85E-03	6.41E-03	3.41E-03	1.77E-03	1.19E-03	7.25E-04	3.65E-04	1.83E-04	1.22E-04	7.32E-05	3.67E-05
14.1	0.089	Pu-240	5.27E-02	2.34E-02	1.46E-02	1.06E-02	6.91E-03	3.68E-03	1.91E-03	1.28E-03	7.82E-04	3.93E-04	1.97E-04	1.32E-04	7.89E-05	3.95E-05
14.1	0.102	Pu-238	6.04E-02	2.68E-02	1.68E-02	1.22E-02	7.92E-03	4.21E-03	2.18E-03	1.47E-03	8.96E-04	4.50E-04	2.25E-04	1.51E-04	9.04E-05	4.53E-05
14.1	0.103	Pu-236	6.10E-02	2.71E-02	1.69E-02	1.23E-02	8.00E-03	4.26E-03	2.21E-03	1.49E-03	9.05E-04	4.55E-04	2.28E-04	1.52E-04	9.14E-05	4.57E-05
14.4	0.365	Am-241	2.31E-01	1.04E-01	6.49E-02	4.72E-02	3.08E-02	1.64E-02	8.52E-03	5.73E-03	3.49E-03	1.76E-03	8.80E-04	5.89E-04	3.53E-04	1.77E-04
14.4	0.575	U-237	3.64E-01	1.63E-01	1.02E-01	7.44E-02	4.85E-02	2.59E-02	1.34E-02	9.05E-03	5.51E-03	2.77E-03	1.39E-03	9.28E-04	5.56E-04	2.78E-04
14.8	0.081	Cm-244	5.42E-02	2.45E-02	1.54E-02	1.12E-02	7.32E-03	3.91E-03	2.03E-03	1.37E-03	8.33E-04	4.19E-04	2.10E-04	1.40E-04	8.41E-05	4.21E-05
14.8	0.085	Cm-242	5.72E-02	2.58E-02	1.62E-02	1.18E-02	7.72E-03	4.12E-03	2.14E-03	1.44E-03	8.79E-04	4.42E-04	2.21E-04	1.48E-04	8.87E-05	4.44E-05

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
14.8	0.098	Am-242	6.60E-02	2.98E-02	1.87E-02	1.36E-02	8.91E-03	4.75E-03	2.47E-03	1.66E-03	1.01E-03	5.09E-04	2.55E-04	1.71E-04	1.02E-04	5.12E-05
14.8	0.461	Cm-243	3.10E-01	1.40E-01	8.80E-02	6.41E-02	4.19E-02	2.23E-02	1.16E-02	7.81E-03	4.76E-03	2.39E-03	1.20E-03	8.03E-04	4.81E-04	2.41E-04
14.8	0.471	Cm-245	3.17E-01	1.43E-01	9.00E-02	6.55E-02	4.28E-02	2.28E-02	1.19E-02	7.98E-03	4.87E-03	2.45E-03	1.23E-03	8.21E-04	4.92E-04	2.46E-04
15.2	0.273	Am-242m	1.93E-01	8.84E-02	5.59E-02	4.09E-02	2.68E-02	1.44E-02	7.49E-03	5.05E-03	3.08E-03	1.55E-03	7.77E-04	5.20E-04	3.11E-04	1.56E-04
15.5	0.161	Am-242	1.18E-01	5.50E-02	3.52E-02	2.59E-02	1.71E-02	9.25E-03	4.85E-03	3.27E-03	2.00E-03	1.01E-03	5.05E-04	3.38E-04	2.03E-04	1.02E-04
16.5	0.183	Mo-93	1.48E-01	7.23E-02	4.74E-02	3.54E-02	2.38E-02	1.30E-02	6.92E-03	4.69E-03	2.87E-03	1.45E-03	7.28E-04	4.87E-04	2.93E-04	1.47E-04
16.6	0.06	Nb-93m	4.88E-02	2.39E-02	1.57E-02	1.17E-02	7.89E-03	4.34E-03	2.30E-03	1.56E-03	9.55E-04	4.83E-04	2.42E-04	1.62E-04	9.74E-05	4.89E-05
16.6	0.35	Mo-93	2.85E-01	1.40E-01	9.17E-02	6.86E-02	4.61E-02	2.53E-02	1.35E-02	9.12E-03	5.58E-03	2.83E-03	1.42E-03	9.48E-04	5.56E-04	2.86E-04
18.6	0.09	Mo-93	8.60E-02	4.49E-02	3.05E-02	2.33E-02	1.59E-02	8.91E-03	4.79E-03	3.26E-03	2.00E-03	1.02E-03	5.10E-04	3.42E-04	2.05E-04	1.03E-04
20.1	0.184	Rh-103m	1.96E-01	1.06E-01	7.32E-02	5.63E-02	3.89E-02	2.20E-02	1.19E-02	8.14E-03	5.00E-03	2.55E-03	1.28E-03	8.57E-04	5.16E-04	2.59E-04
20.2	0.349	Rh-103m	3.73E-01	2.03E-01	1.40E-01	1.08E-01	7.51E-02	4.27E-02	2.32E-02	1.58E-02	9.75E-03	4.97E-03	2.50E-03	1.67E-03	1.01E-03	5.06E-04
22.7	0.094	Rh-103m	1.11E-01	6.44E-02	4.66E-02	3.71E-02	2.67E-02	1.60E-02	9.05E-03	6.30E-03	3.94E-03	2.04E-03	1.04E-03	6.96E-04	4.19E-04	2.11E-04
25.3	0.41	Sn-117m	5.25E-01	3.23E-01	2.41E-01	1.96E-01	1.45E-01	8.96E-02	5.17E-02	3.63E-02	2.30E-02	1.19E-02	6.10E-03	4.11E-03	2.47E-03	1.24E-03
25.6	0.146	Th-231	1.89E-01	1.17E-01	8.78E-02	7.15E-02	5.30E-02	3.30E-02	1.90E+02	1.34E-02	8.48E-03	4.41E-03	2.25E-03	1.52E-03	9.15E-04	4.60E-04
26.4	0.156	Sn-126	2.07E-01	1.30E-01	9.80E-02	8.01E-02	5.97E-02	3.74E-02	2.17E-02	1.53E-02	9.68E-03	5.05E-03	2.58E-03	1.74E-03	1.05E-03	5.27E-04
27.2	0.103	Te-127m	1.41E-01	8.95E-02	6.82E-02	5.60E-02	4.19E-02	2.64E-02	1.54E-02	1.09E-02	6.90E-03	3.60E-03	1.84E-03	1.24E-03	7.48E-04	3.77E-04
27.2	0.127	Te-129m	1.74E-01	1.10E-01	8.40E-02	6.90E-02	5.17E-02	3.26E-02	1.90E-02	1.34E-02	8.51E-03	4.44E-03	2.27E-03	1.53E-03	9.22E-04	4.64E-04
27.2	0.327	Te-125m	4.46E-01	2.83E-01	2.16E-01	1.77E-01	1.33E-01	8.37E-02	4.88E-02	3.44E-02	2.18E-02	1.14E-02	5.83E-03	3.93E-03	2.37E-03	1.19E-03
27.5	0.193	Te-127m	2.65E-01	1.69E-01	1.29E-01	1.06E-01	7.97E-02	5.03E-02	2.93E-02	2.07E-02	1.32E-02	6.88E-03	3.52E-03	2.37E-03	1.43E-03	7.19E-04
27.5	0.237	Te-129m	3.26E-01	2.08E-01	1.59E-01	1.31E-01	9.80E-02	6.19E-02	3.61E-02	2.55E-02	1.62E-02	8.46E-03	4.33E-03	2.92E-03	1.76E-03	8.84E-04
27.5	0.611	Te-125m	8.39E-01	5.36E-01	4.09E-01	3.36E-01	2.52E-01	1.59E-01	9.29E-02	6.56E-02	4.17E-02	2.18E-02	1.11E-02	7.51E-03	4.52E-03	2.28E-03

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
27.8	0.156	Te-129	2.17E-01	1.39E-01	1.06E-01	8.76E-02	6.59E-02	4.17E-02	2.44E-02	1.72E-02	1.09E-02	5.72E-03	2.93E-03	1.97E-03	1.19E-03	5.98E-04
29.4	0.152	Np-237	2.22E-01	1.45E-01	1.13E-01	9.35E-02	7.09E-02	4.53E-02	2.66E-02	1.88E-02	1.20E-02	6.29E-03	3.22E-03	2.17E-03	1.31E-03	6.59E-04
29.5	0.185	I-129	2.69E-01	1.77E-01	1.37E-01	1.14E-01	8.64E-02	5.52E-02	3.25E-02	2.30E-02	1.47E-02	7.67E-03	3.93E-03	2.65E-03	1.60E-03	8.04E-04
29.8	0.343	I-129	5.05E-01	3.33E-01	2.59E-01	2.15E-01	1.63E-01	1.05E-01	6.15E-02	4.36E-02	2.78E-02	1.46E-02	7.47E-03	5.03E-03	3.03E-03	1.53E-03
30.6	0.092	Cs-134m	1.37E-01	9.12E-02	7.12E-02	5.94E-02	4.54E-02	2.93E-02	1.74E-02	1.24E-02	7.96E-03	4.19E-03	2.16E-03	1.46E-03	8.78E-04	4.42E-04
31	0.067	Te-127m	9.98E-02	6.68E-02	5.23E-02	4.37E-02	3.35E-02	2.17E-02	1.30E-02	9.26E-03	5.96E-03	3.15E-03	1.62E-03	1.10E-03	6.62E-04	3.33E-04
31	0.068	Te-129m	1.02E-01	6.82E-02	5.33E-02	4.46E-02	3.42E-02	2.22E-02	1.32E-02	9.45E-03	6.08E-03	3.21E-03	1.66E-03	1.12E-03	6.75E-04	3.40E-04
31	0.17	Cs-134m	2.54E-01	1.70E-01	1.33E-01	1.11E-01	8.50E-02	5.51E-02	3.29E-02	2.35E-02	1.51E-02	7.98E-03	4.11E-03	2.78E-03	1.68E-03	8.45E-04
31	0.212	Te-125m	3.16E-01	2.11E-01	1.65E-01	1.38E-01	1.06E-01	6.87E-02	4.11E-02	2.93E-02	1.89E-02	9.96E-03	5.14E-03	3.47E-03	2.09E-03	1.06E-03
31.8	0.021	Ba-137m	3.09E-02	2.09E-02	1.64E-02	1.38E-02	1.06E-02	6.95E-03	4.19E-03	3.01E-03	1.95E-03	1.04E-03	5.36E-04	3.62E-04	2.19E-04	1.11E-04
32.2	0.038	Ba-137m	5.71E-02	3.87E-02	3.05E-02	2.56E-02	1.98E-02	1.30E-02	7.89E-03	5.68E-03	3.68E-03	1.96E-03	1.02E-03	6.88E-04	4.17E-04	2.10E-04
33.6	0.122	I-129	1.85E-01	1.27E-01	1.01E-01	8.54E-02	6.66E-02	4.44E-02	2.73E-02	1.98E-02	1.30E-02	6.97E-03	3.63E-03	2.46E-03	1.49E-03	7.53E-04
35	0.05	Cs-134m	7.69E-02	5.35E-02	4.29E-02	3.64E-02	2.86E-02	1.93E-02	1.21E-02	8.81E-03	5.80E-03	3.14E-03	1.64E-03	1.11E-03	6.77E-04	3.42E-04
35.5	0.067	Te-125m	1.03E-01	7.16E-02	5.75E-02	4.90E-02	3.86E-02	2.62E-02	1.64E-02	1.20E-02	7.91E-03	4.29E-03	2.25E-03	1.53E-03	9.27E-04	4.69E-04
38.7	0.223	Nd-147	3.51E-01	2.52E-01	2.06E-01	1.77E-01	1.42E-01	9.86E-02	6.33E-02	4.69E-02	3.13E-02	1.72E-02	9.08E-03	6.17E-03	3.76E-03	1.90E-03
39.6	0.075	I-129	1.19E-01	8.59E-02	7.05E-02	6.08E-02	4.90E-02	3.42E-02	2.21E-02	1.64E-02	1.10E-02	6.04E-03	3.19E-03	2.17E-03	1.32E-03	6.70E-04
43	0.118	Eu-155	1.90E-01	1.41E-01	1.18E-01	1.03E-01	8.38E-02	5.96E-02	3.92E-02	2.94E-02	1.98E-02	1.10E-02	5.84E-03	3.98E-03	2.43E-03	1.23E-03
59.5	0.345	U-237	5.85E-01	4.69E-01	4.06E-01	3.65E-01	3.09E-01	2.32E-01	1.61E-01	1.25E-01	8.67E-02	4.98E-02	2.71E-02	1.86E-02	1.14E-02	5.83E-03
59.5	0.359	Am-241	6.08E-01	4.88E-01	4.23E-01	3.80E-01	3.22E-01	2.41E-01	1.67E-01	1.30E-01	9.02E-02	5.18E-02	2.82E-02	1.93E-02	1.19E-02	6.07E-03
64.3	0.096	Sn-126	1.63E-01	1.32E-01	1.15E-01	1.04E-01	8.86E-02	6.73E-02	4.70E-02	3.68E-02	2.58E-02	1.49E-02	8.18E-03	5.62E-03	3.46E-03	1.77E-03
74.7	0.674	Am-243	1.15E+00	9.46E-01	8.36E-01	7.62E-01	6.55E-01	5.06E-01	3.60E-01	2.85E-01	2.02E-01	1.19E-01	6.57E-02	4.54E-02	2.81E-02	1.44E-02
74.8	0.104	Pb-212	1.78E-01	1.47E-01	1.30E-01	1.18E-01	1.02E-01	7.84E-02	5.58E-02	4.42E-02	3.14E-02	1.85E-02	1.02E-02	7.05E-03	4.36E-03	2.24E-03

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
77.1	0.176	Pb-212	2.99E-01	2.48E-01	2.19E-01	2.00E-01	1.72E-01	1.33E-01	9.49E-02	7.53E-02	5.36E-02	3.16E-02	1.75E-02	1.21E-02	7.49E-03	3.84E-03
84.2	0.067	Th-231	1.15E-01	9.55E-02	8.48E-02	7.74E-02	6.70E-02	5.21E-02	3.76E-02	2.99E-02	2.14E-02	1.27E-02	7.09E-03	4.92E-03	3.06E-03	1.57E-03
86.5	0.123	Np-237	2.10E-01	1.76E-01	1.56E-01	1.42E-01	1.23E-01	9.63E-02	6.96E-02	5.55E-02	3.98E-02	2.37E-02	1.32E-02	9.18E-03	5.71E-03	2.93E-03
86.5	0.309	Eu-155	5.29E-01	4.41E-01	3.92E-01	3.58E-01	3.10E-01	2.42E-01	1.75E-01	1.40E-01	1.00E-01	5.97E-02	3.33E-02	2.31E-02	1.44E-02	7.38E-03
86.9	1.089	Sn-126	1.53E-01	1.27E-01	1.13E-01	1.03E-01	8.96E-02	6.99E-02	5.06E-02	4.04E-02	2.90E-02	1.73E-02	9.63E-03	6.68E-03	4.16E-03	2.14E-03
87.6	0.37	Sn-126	6.33E-01	5.29E-01	4.70E-01	4.30E-01	3.73E-01	2.91E-01	2.11E-01	1.68E-01	1.21E-01	7.20E-02	4.01E-02	2.79E-02	1.73E-02	8.91E-03
91.1	0.279	Nd-147	4.78E-01	4.00E-01	3.57E-01	3.26E-01	2.84E-01	2.22E-01	1.61E-01	1.29E-01	9.30E-02	5.57E-02	3.11E-02	2.16E-02	1.35E-02	6.93E-03
97.1	0.166	U-237	2.85E-01	2.40E-01	2.14E-01	1.96E-01	1.71E-01	1.35E-01	9.86E-02	7.91E-02	5.72E-02	3.45E-02	1.93E-02	1.35E-02	8.41E-03	4.32E-03
98.4	0.157	Pa-233	2.71E-01	2.28E-01	2.04E-01	1.87E-01	1.63E-01	1.29E-01	9.42E-02	7.56E-02	5.47E-02	3.30E-02	1.85E-02	1.29E-02	8.07E-03	4.15E-03
99.6	0.147	Cm-243	2.53E-01	2.13E-01	1.91E-01	1.75E-01	1.53E-01	1.21E-01	8.86E-02	7.11E-02	5.16E-02	3.11E-02	1.75E-02	1.22E-02	7.62E-03	3.92E-03
99.6	0.157	Np-239	2.70E-01	2.27E-01	2.04E-01	1.87E-01	1.63E-01	1.29E-01	9.44E-02	7.58E-02	5.49E-02	3.32E-02	1.86E-02	1.30E-02	8.12E-03	4.18E-03
99.6	0.185	Cm-245	3.17E-01	2.67E-01	2.40E-01	2.19E-01	1.92E-01	1.51E-01	1.11E-01	8.91E-02	6.46E-02	3.90E-02	2.19E-02	1.53E-02	9.55E-03	4.91E-03
101.1	0.266	U-237	4.59E-01	3.87E-01	3.47E-01	3.18E-01	2.78E-01	2.19E-01	1.61E-01	1.29E-01	9.38E-02	5.67E-02	3.18E-02	2.22E-02	1.39E-02	7.15E-03
103.8	0.059	Am-242	1.02E-01	8.60E-02	7.71E-02	7.07E-02	6.18E-02	4.89E-02	3.59E-02	2.89E-02	2.10E-02	1.27E-02	7.13E-03	4.98E-03	3.11E-03	1.60E-03
103.8	0.236	Cm-243	4.06E-01	3.43E-01	3.08E-01	2.82E-01	2.47E-01	1.95E-01	1.43E-01	1.15E-01	8.36E-02	5.06E-02	2.84E-02	1.98E-02	1.24E-02	6.39E-03
103.8	0.251	Np-239	4.33E-01	3.65E-01	3.28E-01	3.00E-01	2.63E-01	2.08E-01	1.53E-01	1.23E-01	8.91E-02	5.39E-02	3.30E-02	2.11E-02	1.32E-02	6.81E-03
103.8	0.295	Cm-245	5.09E-01	4.30E-01	3.85E-01	3.53E-01	3.09E-01	2.44E-01	1.80E-01	1.44E-01	1.05E-01	6.34E-02	3.56E-02	2.49E-02	1.56E-02	8.01E-03
105.3	0.206	Eu-155	3.55E-01	3.00E-01	2.69E-01	2.47E-01	2.16E-01	1.71E-01	1.26E-01	1.01E-01	7.33E-02	4.44E-02	2.50E-02	1.74E-02	1.09E-02	5.62E-03
106.1	0.272	Np-239	4.70E-01	3.97E-01	3.56E-01	3.27E-01	2.86E-01	2.26E-01	1.66E-01	1.34E-01	9.72E-02	5.89E-02	3.31E-02	2.31E-02	1.45E-02	7.45E-03
117.3	0.066	Cm-245	1.14E-01	9.66E-02	8.68E-02	7.98E-02	7.00E-02	5.55E-02	4.10E-02	3.31E-02	2.41E-02	1.47E-02	8.30E-03	5.81E-03	3.64E-03	1.88E-03
121.1	0.173	Se-75	3.01E-01	2.56E-01	2.30E-01	2.12E-01	1.86E-01	1.48E-01	1.09E-01	8.81E-02	6.44E-02	3.93E-02	2.22E-02	1.56E-02	9.74E-03	5.03E-03
122.1	0.855	Co-57	1.49E+00	1.27E+00	1.14E+00	1.05E+00	9.20E-01	7.30E-01	5.41E-01	4.36E-01	3.19E-01	1.95E-01	1.10E-01	7.71E-02	4.83E-02	2.49E-02

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
127.5	0.141	Cs-134m	2.46E-01	2.09E-01	1.88E-01	1.74E-01	1.53E-01	1.21E-01	8.99E-02	7.27E-02	5.33E-02	3.25E-02	1.84E-02	1.29E-02	8.10E-03	4.19E-03
133	0.419	Hf-181	7.35E-01	6.27E-01	5.64E-01	5.21E-01	4.58E-01	3.64E-01	2.71E-01	2.19E-01	1.61E-01	9.85E-02	5.59E-02	3.92E-02	2.46E-02	1.27E-02
133.5	0.111	Ce-144	1.94E-01	1.66E-01	1.49E-01	1.38E-01	1.21E-01	9.65E-02	7.18E-02	5.61E-02	4.13E-02	2.53E-02	1.44E-02	1.01E-02	6.33E-03	3.38E-03
136	0.59	Se-75	1.04E+00	8.85E-01	7.96E-01	7.36E-01	6.47E-01	5.15E-01	3.84E-01	3.11E-01	2.28E-01	1.40E-01	7.95E-02	5.58E-02	3.50E-02	1.81E-02
136.5	0.106	Co-57	1.87E-01	1.60E-01	1.44E-01	1.33E-01	1.17E-01	9.31E-02	6.93E-02	5.61E-02	4.13E-02	2.53E-02	1.44E-02	1.01E-02	6.33E-03	3.28E-03
140.5	0.89	Tc-99m	1.57E+00	1.34E+00	1.21E+00	1.12E+00	9.83E-01	7.83E-01	5.84E-01	4.73E-01	3.48E-01	2.14E-01	1.22E-01	8.54E-02	5.36E-02	2.78E-02
143.8	0.11	U-235	1.93E-01	1.66E-01	1.49E-01	1.38E-01	1.22E-01	9.70E-02	7.24E-02	5.87E-02	4.33E-02	2.66E-02	1.52E-02	1.06E-02	6.68E-03	3.46E-03
145.4	0.484	Ce-141	8.55E-01	7.33E-01	6.61E-01	6.12E-01	5.39E-01	4.30E-01	3.21E-01	2.60E-01	1.92E-01	1.18E-01	6.73E-02	4.73E-02	2.93E-02	1.54E-02
158.6	0.864	Sn-117m	1.54E+00	1.32E+00	1.19E+00	1.10E+00	9.74E-01	7.79E-01	5.84E-01	4.75E-01	3.51E-01	2.17E-01	1.24E-01	8.72E-02	5.48E-02	2.84E-02
159	0.084	Te-123m	1.50E+00	1.28E+00	1.16E+00	1.07E+00	9.47E-01	7.58E-01	5.68E-01	4.62E-01	3.42E-01	2.11E-01	1.21E-01	8.49E-02	5.33E-02	2.77E-02
162.6	0.062	Ba-140	1.11E-01	9.52E-02	8.57E-02	7.95E-02	7.02E-02	5.62E-02	4.22E-02	3.43E-02	2.54E-02	1.57E-02	8.98E-03	6.32E-03	3.97E-03	2.06E-03
165.9	0.238	Ba-139	4.24E-01	3.65E-01	3.28E-01	3.05E-01	2.69E-01	2.16E-01	1.62E-01	1.32E-01	9.77E-02	6.03E-02	3.45E-02	2.44E-02	1.53E-02	7.94E-03
174.9	0.095	Cm-245	1.71E-01	1.47E-01	1.32E-01	1.23E-01	1.08E-01	8.71E-02	6.55E-02	5.33E-02	3.96E-02	2.45E-02	1.41E-02	9.93E-03	6.24E-03	3.24E-03
181.1	0.061	Mo-99	1.09E-01	9.40E-02	8.45E-02	7.84E-02	6.94E-02	5.59E-02	4.21E-02	3.43E-02	2.54E-02	1.58E-02	9.07E-03	6.41E-03	4.03E-03	2.09E-03
185.7	0.572	U-235	1.03E+00	8.90E-02	8.01E-02	7.43E-02	6.57E-02	5.31E-02	4.00E-02	3.26E-01	2.43E-01	1.50E-01	8.64E-02	6.12E-02	3.84E-02	2.00E-02
186	0.033	Ra-226	5.92E-02	5.10E-02	4.59E-02	4.26E-02	3.77E-02	3.04E-02	2.29E-02	1.87E-02	1.39E-02	8.62E-03	4.96E-03	3.51E-03	2.20E-03	1.14E-03
202.5	0.985	Y-90m	1.75E+00	1.51E+00	1.35E+00	1.26E+00	1.11E+00	9.02E-02	6.82E-02	5.57E-01	4.16E-01	2.59E-01	1.49E-01	1.06E-01	6.65E-02	3.45E-02
205.3	0.05	U-235	9.14E-02	7.89E-02	7.09E-02	6.59E-02	5.83E-02	4.73E-02	3.57E-02	2.92E-02	2.18E-02	1.36E-02	7.83E-03	5.55E-03	3.49E-03	1.81E-03
208	0.216	U-237	3.95E-01	3.41E-01	3.06E-01	2.84E-01	2.52E-01	2.04E-02	1.54E-02	1.26E-01	9.43E-02	5.87E-02	3.39E-02	2.40E-02	1.51E-02	7.86E-03
210.5	0.223	Te-134	4.08E-01	3.52E-01	3.17E-01	2.94E-01	2.61E-01	2.12E-01	1.60E-01	1.31E-01	9.78E-02	6.09E-02	3.51E-02	2.49E-02	1.57E-02	8.16E-03
228.2	0.106	Cm-243	1.95E-01	1.68E-01	1.51E-01	1.41E-01	1.25E-01	1.01E-01	7.68E-01	6.30E-02	4.72E-02	2.95E-02	1.71E-02	1.21E-02	7.65E-03	3.98E-03
228.2	0.113	Np-239	2.08E-01	1.80E-01	1.62E-01	1.50E-01	1.33E-01	1.08E-01	8.19E-02	6.72E-02	5.03E-02	3.15E-02	1.82E-02	1.29E-02	8.16E-03	4.24E-03

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
228.2	0.882	Te-132	1.63E+00	1.40E+00	1.26E+00	1.18E+00	1.04E+00	8.46E-01	6.41E-01	5.25E-01	3.94E-01	2.46E-01	1.42E-01	1.01E-01	6.38E-02	3.32E-02
234.7	0.261	Nb-95m	4.82E-01	4.17E-01	3.75E-01	3.49E-01	3.10E-01	2.52E-01	1.91E-01	1.56E-01	1.17E-01	7.34E-02	4.25E-02	3.02E-02	1.91E-02	9.91E-03
238.6	0.434	Pb-212	8.03E-01	6.95E-01	6.25E-01	5.82E-01	5.17E-01	4.20E-01	3.18E-01	2.61E-01	1.96E-01	1.23E-01	7.11E-02	5.04E-02	3.19E-02	1.66E-02
241	0.04	Ra-224	7.36E-02	6.36E-02	5.73E-02	5.33E-02	4.74E-02	3.85E-02	2.91E-02	2.39E-02	1.80E-02	1.12E-02	6.53E-03	4.63E-03	2.92E-03	1.52E-03
264.7	0.591	Se-75	1.11E+00	9.85E-01	8.64E-01	8.05E-01	7.16E-01	5.82E-01	4.42E-01	3.64E-01	2.74E-01	1.72E-01	1.00E-01	7.11E-02	4.52E-02	2.35E-02
266.9	0.068	Y-93	1.27E-01	1.10E-01	9.95E-02	9.27E-02	8.25E-02	6.71E-02	5.09E-02	4.20E-02	3.16E-02	1.99E-02	1.16E-02	8.21E-03	5.22E-03	2.71E-03
275.2	0.068	Pm-151	1.27E-01	1.10E-01	9.92E-02	9.25E-02	8.24E-02	6.70E-02	5.09E-02	4.20E-02	3.16E-02	1.99E-02	1.16E-02	8.24E-03	5.24E-03	2.73E-03
277.6	0.14	Cm-243	2.63E-01	2.28E-01	2.06E-01	1.92E-01	1.71E-01	1.39E-01	1.05E-01	8.71E-02	6.56E-02	4.14E-02	2.41E-02	1.71E-02	1.09E-02	5.66E-03
277.6	0.144	Np-239	2.71E-01	2.35E-01	2.12E-01	1.97E-01	1.76E-01	1.43E-01	1.09E-01	8.97E-02	6.75E-02	4.26E-02	2.49E-02	1.76E-02	1.12E-02	5.83E-03
278	0.209	Te-134	3.93E-01	3.41E-01	3.07E-01	2.87E-01	2.55E-01	2.08E-01	1.58E-01	1.30E-01	9.81E-02	6.19E-02	3.61E-02	2.56E-02	1.63E-02	8.47E-03
279.5	0.252	Se-75	4.74E-01	4.11E-01	3.71E-01	3.46E-01	3.08E-01	2.51E-01	1.90E-01	1.57E-01	1.18E-01	7.47E-02	4.36E-02	3.09E-02	1.97E-02	1.02E-02
285.9	0.001	Pm-149	1.84E-03	1.60E-03	1.44E-03	1.34E-03	1.20E-03	9.75E-03	7.41E-03	6.12E-04	4.62E-04	2.92E-04	1.70E-04	1.21E-04	7.69E-05	4.00E-05
293.3	0.42	Ce-143	7.96E-01	6.91E-01	6.24E-01	5.82E-01	5.19E-01	4.22E-01	3.21E-01	2.66E-01	2.00E-01	1.27E-01	7.41E-02	5.25E-02	3.35E-02	1.74E-02
300.1	0.066	Pa-233	1.26E-01	1.10E-01	9.89E-02	9.23E-02	8.23E-02	6.71E-02	5.10E-02	4.22E-02	3.19E-02	2.02E-02	1.18E-02	8.37E-03	5.35E-03	2.78E-03
306.1	0.051	Rh-105	9.76E-02	8.47E-02	7.66E-02	7.14E+02	6.37E-02	5.19E-02	3.95E-02	3.17E-02	2.47E-02	1.57E-02	9.18E-03	6.50E-03	4.15E-03	2.16E-03
312	0.386	Pa-233	7.36E-01	6.39E-01	5.78E-01	5.39E-01	4.81E-01	3.92E-01	2.99E-01	2.47E-01	1.87E-01	1.19E-01	6.95E-02	4.93E-02	3.15E-02	1.64E-02
314.1	0.61	Sb-128	1.16E+00	1.01E+00	9.14E-01	8.52E-01	7.61E-01	6.20E-01	4.72E-01	3.91E-01	2.96E-01	1.88E-01	1.10E-01	7.80E-02	4.98E-02	2.60E-02
318.9	0.192	Rh-105	3.67E-01	3.19E-01	2.88E-01	2.69E-01	2.40E-01	1.96E-01	1.49E-01	1.24E-01	9.34E-02	5.93E-02	3.48E-02	2.47E-02	1.58E-02	8.22E-03
320.1	0.098	Cr-51	1.88E-01	1.63E-01	1.48E-01	1.38E-01	1.23E-01	1.00E-01	7.64E-02	6.33E-02	4.79E-02	3.04E-02	1.78E-02	1.27E-02	8.08E-03	4.22E-03
330.9	0.78	Sb-130	1.50E+00	1.30E+00	1.18E+00	1.10E-01	9.79E-01	7.99E-01	6.10E-01	5.06E-01	3.83E-01	2.43E-01	1.43E-01	1.02E-01	6.48E-02	3.39E-02
340.1	0.225	Pm-151	4.32E-01	3.76E-01	3.40E-01	3.17E-01	2.84E-01	2.31E-01	1.77E-01	1.47E-01	1.11E-01	7.07E-02	4.16E-02	2.96E-02	1.89E-02	9.87E-03
340.5	0.422	Cs-136	8.11E-01	7.04E-01	6.38E-01	5.95E-01	5.31E-01	4.34E-01	3.32E-01	2.75E-01	2.09E-01	1.33E-01	7.81E-02	5.54E-02	3.54E-02	1.85E-02

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
342.1	0.067	Ag-111	1.28E-01	1.12E-01	1.01E-01	9.43E-02	8.42E-02	6.87E-02	5.26E-02	4.36E-02	3.31E-02	2.10E-02	1.24E-02	8.80E-03	5.62E-03	2.94E-03
344.3	0.266	Eu-155	5.11E-01	4.44E-02	4.03E-01	3.75E-01	3.35E-01	2.74E-01	2.09E-01	1.74E-01	1.32E-01	8.39E-02	4.94E-02	3.51E-02	2.24E-02	1.17E-02
345.9	0.12	Hf-181	2.31E-01	2.01E-01	1.82E-01	1.70E-01	1.52E-01	1.24E-01	9.46E-02	7.85E-02	5.59E-02	3.79E-02	2.23E-02	1.59E-02	1.01E-02	5.30E-03
364.5	0.812	I-131	1.57E+00	1.37E+00	1.24E+00	1.16E+00	1.03E+00	8.44E-01	6.47E-01	5.27E-01	4.09E-01	2.61E-01	1.54E-01	1.09E-01	6.99E-02	3.66E-02
400.7	0.116	Se-75	2.26E-01	1.97E-01	1.79E-01	1.67E-01	1.49E-01	1.22E-01	9.40E-02	7.81E-02	5.96E-02	3.82E-02	2.26E-02	1.61E-02	1.03E-02	5.41E-03
402.5	0.69	Cm-247	1.35E+00	1.17E+00	1.07E+00	9.49E-01	8.91E-01	7.29E-01	5.62E-01	4.67E-01	3.56E-01	2.28E-01	1.35E-01	9.65E-02	6.16E-02	3.14E-02
414.8	0.833	Sb-126	1.64E+00	1.42E+00	1.29E+00	1.21E+00	1.08E+00	8.85E-01	6.83E-01	5.68E-01	4.34E-01	2.78E-01	1.65E-01	1.18E-01	7.52E-02	3.96E-02
417.9	0.01	Te-127	1.95E-02	1.69E-02	1.54E-02	1.43E-02	1.29E-02	1.05E-02	8.13E-03	6.76E-03	5.17E-03	3.31E-03	1.97E-03	1.40E-03	8.96E-04	4.72E-04
418	0.341	I-130	6.71E-01	5.84E-01	5.31E-01	4.59E-01	4.44E-01	3.63E-01	2.80E-01	2.33E-01	1.78E-01	1.14E-01	6.78E-02	4.85E-02	3.09E-02	1.63E-02
427.9	0.294	Sb-125	5.80E-01	5.05E-01	4.59E-01	4.28E-01	3.84E-01	3.14E-01	2.43E-01	2.02E-01	1.55E-01	9.93E-02	5.90E-02	4.22E-02	2.69E-02	1.42E-02
435.1	0.186	Te-134	3.66E-01	3.19E-01	2.90E-01	2.71E-01	2.43E-01	1.99E-01	1.54E-01	1.28E-01	9.08E-02	6.29E-02	3.74E-02	2.68E-02	1.71E-02	9.00E-03
438.6	0.949	Zn-69m	1.88E+00	1.63E+00	1.49E+00	1.39E+00	1.24E+00	1.02E+00	7.88E-01	6.56E-01	5.02E-01	3.23E-01	1.92E-01	1.37E-01	8.76E-02	4.62E-02
459.6	0.074	Te-129	1.46E-01	1.27E-01	1.16E-01	1.08E-01	9.71E-02	7.96E-02	6.18E-02	5.14E-02	3.95E-02	2.54E-02	1.52E-02	1.09E-02	6.92E-03	3.66E-03
461	0.099	Te-134	1.96E-01	1.71E-01	1.56E-01	1.45E-01	1.30E-01	1.07E-01	8.29E-02	6.90E-02	5.30E-02	3.41E-02	2.03E-02	1.46E-02	9.29E-03	4.91E-03
462.8	0.307	Cs-138	6.12E-01	5.32E-01	4.86E-01	4.52E-01	4.06E-01	3.33E-01	2.59E-01	2.15E-01	1.65E-01	1.06E-01	6.35E-02	4.55E-02	2.90E-02	1.53E-02
463.4	0.105	Sb-125	2.08E-01	1.81E-01	1.65E-01	1.54E-01	1.38E-01	1.13E-01	8.79E-02	7.32E-02	5.62E-02	3.62E-02	2.16E-02	1.55E-02	9.86E-03	5.22E-03
469.4	0.175	Ru-105	3.50E-01	3.04E-01	2.78E-01	2.59E-01	2.32E-01	1.91E-01	1.48E-01	1.23E-01	9.48E-02	6.11E-02	3.64E-02	2.61E-02	1.67E-02	8.82E-03
473	0.247	Sb-127	4.94E-01	4.30E-01	3.92E-01	3.65E-01	3.28E-01	2.69E-01	2.09E-01	1.74E-01	1.34E-01	8.64E-02	5.15E-02	3.70E-02	2.36E-02	1.25E-02
477.6	0.103	Be-7	2.07E-01	1.80E-01	1.64E-01	1.53E-01	1.37E-01	1.13E-01	8.77E-02	7.30E-02	5.62E-02	3.62E-02	2.16E-02	1.55E-02	9.88E-03	5.23E-03
479.5	0.253	W-187	5.06E-01	4.40E-01	4.02E-01	3.74E-01	3.36E-01	2.76E-01	2.15E-01	1.79E-01	1.38E-01	8.87E-02	5.30E-02	3.80E-02	2.42E-02	1.28E-02
479.5	0.9	Y-90m	1.80E+00	1.57E+00	1.43E+00	1.33E+00	1.20E+00	9.81E-01	7.64E-01	6.36E-01	4.89E-01	3.16E-01	1.88E-01	1.35E-01	8.62E-02	4.56E-02
482	0.83	Hf-181	1.66E+00	1.45E+00	1.32E+00	1.23E+00	1.10E+00	9.06E-01	7.05E-01	5.88E-01	4.52E-01	2.92E-01	1.74E-01	1.25E-01	7.97E-02	4.22E-02

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
487	0.459	La-140	9.19E-01	8.00E-01	7.31E-01	6.81E-01	6.12E-01	5.02E-01	3.91E-01	3.26E-02	2.51E-01	1.62E-01	9.67E-02	6.94E-02	4.42E-02	2.34E-02
497.1	0.889	Ru-103	1.79E+00	1.55E+00	1.42E+00	1.32E+00	1.19E+00	9.77E-01	7.62E-01	6.35E-01	4.89E-01	3.16E-01	1.89E-01	1.36E-01	8.65E-02	4.58E-02
507.7	0.053	Zr-97	1.07E-01	9.30E-02	8.50E-02	7.92E-02	7.12E-02	5.85E-02	4.56E-02	3.80E-02	2.93E-02	1.90E-02	1.14E-02	8.16E-03	5.20E-03	2.76E-03
511	0.301	Co-58	6.06E-01	5.28E-01	4.83E-01	4.50E-01	4.05E-01	3.32E-01	2.59E-01	2.16E-01	1.67E-01	1.08E-01	6.46E-02	4.64E-02	2.96E-02	1.57E-02
511	1.81	Na-22	3.64E+00	3.17E+00	2.90E+00	2.70E+00	2.43E+00	2.00E+00	1.56E+00	1.30E+00	1.00E+00	6.48E-01	3.88E-01	2.79E-01	1.78E-01	9.43E-02
511.9	0.207	Rh-106	4.17E-01	3.63E-01	3.32E-01	3.09E-01	2.78E-01	2.28E-01	1.78E-01	1.49E-01	1.15E-01	7.41E-02	4.44E-02	3.19E-02	2.04E-02	1.08E-02
526.5	0.45	Sb-128	9.07E-01	7.91E-01	7.24E-01	6.74E-01	6.07E-01	4.99E-01	3.89E-01	3.25E-01	2.51E-01	1.62E-01	9.74E-02	7.00E-02	4.47E-02	2.37E-02
529.9	0.863	I-133	1.74E+00	1.52E+00	1.39E+00	1.29E+00	1.16E+00	9.57E-01	7.48E-01	6.24E-01	4.82E-01	3.12E-01	1.87E-01	1.35E-01	8.60E-02	4.56E-02
531	0.131	Nd-147	2.64E-01	2.30E-01	2.11E-01	1.96E-01	1.77E-01	1.45E-01	1.13E-01	9.47E-02	7.31E-02	4.74E-02	2.84E-02	2.04E-02	1.31E-02	6.92E-03
536.1	0.99	I-130	2.00E+00	1.74E+00	1.60E+00	1.49E+00	1.34E+00	1.10E+00	8.60E-01	7.18E-01	5.54E-01	3.59E-01	2.16E-01	1.55E-01	9.91E-02	5.25E-02
537.3	0.244	Ba-140	4.92E-01	4.30E-01	3.93E-01	3.66E-01	3.30E-01	2.71E-01	2.12E-01	1.77E-01	1.37E-01	8.85E-02	5.31E-02	3.82E-02	2.44E-02	1.29E-02
544.7	0.179	Sb-129	3.62E-01	3.16E-01	2.89E-01	2.70E-01	2.43E-01	2.00E-01	1.56E-01	1.30E-01	1.01E-01	6.53E-02	3.92E-02	2.82E-02	1.81E-02	9.56E-03
550.3	0.22	Pm-148	4.45E-01	3.88E-01	3.55E-01	3.31E-01	2.98E-01	2.45E-01	1.92E-01	1.60E-01	1.24E-01	8.04E-02	4.83E-02	3.48E-02	2.22E-02	1.18E-02
550.3	0.944	Pm-148m	1.91E+00	1.67E+00	1.53E+00	1.42E+00	1.28E+00	1.05E+00	8.23E-01	6.88E-01	5.31E-01	3.45E-01	2.07E-01	1.49E-01	9.54E-02	5.05E-02
551.5	0.059	W-187	1.19E-01	1.04E-01	9.52E-02	8.87E-02	7.99E-02	6.57E-02	5.14E-02	4.29E-02	3.32E-02	2.15E-02	1.29E-02	9.31E-03	5.96E-03	3.16E-03
555.6	0.949	Y-91m	1.92E+00	1.68E+00	1.53E+00	1.43E+00	1.29E+00	1.06E+00	8.29E-01	6.93E-01	5.35E-01	3.48E-01	2.09E-01	1.50E-01	9.63E-02	5.10E-02
566	0.183	Te-134	3.70E-01	3.23E-01	2.96E-01	2.76E-01	2.49E-01	2.05E-01	1.60E-01	1.34E-01	1.03E-01	6.73E-02	4.05E-02	2.91E-02	1.87E-02	9.88E-03
569.3	0.15	Cs-134	3.04E-01	2.66E-01	2.43E-01	2.27E-01	2.04E-01	1.68E-01	1.32E-01	1.10E-01	8.51E-02	5.53E-02	3.33E-02	2.40E-02	1.54E-02	8.13E-03
600.6	0.178	Sb-125	3.62E-01	3.17E-01	2.90E-01	2.70E-01	2.44E-01	2.01E-01	1.58E-01	1.32E-01	1.02E-01	6.66E-02	4.02E-02	2.90E-02	1.86E-02	9.84E-03
602.7	0.979	Sb-124	1.99E+00	1.74E+00	1.60E+00	1.49E+00	1.34E+00	1.11E+00	8.69E-01	7.27E-01	5.63E-01	3.67E-01	2.22E-01	1.60E-01	1.03E-01	5.43E-02
604.6	0.975	Cs-134	1.99E+00	1.74E+00	1.59E+00	1.48E+00	1.34E+00	1.10E+00	8.66E-01	7.25E-01	5.61E-01	3.66E-01	2.21E-01	1.59E-01	1.02E-01	5.41E-02
606.6	0.05	Sb-125	1.02E-01	8.95E-02	8.20E-02	7.65E-02	6.89E-02	5.69E-02	4.46E-02	3.73E-02	2.89E-02	1.89E-02	1.14E-02	8.21E-03	5.27E-03	2.79E-03

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量弛豫深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
610.3	0.056	Ru-103	1.14E-01	9.99E-02	9.15E-02	8.54E-02	7.69E-02	6.35E-02	4.98E-02	4.17E-02	3.23E-02	2.11E-02	1.27E-02	9.18E-03	5.90E-03	3.12E-03
618.4	0.073	W-187	1.48E-02	1.30E-01	1.19E-01	1.11E-01	1.00E-01	8.26E-02	6.48E-02	5.43E-02	4.21E-02	2.75E-02	1.66E-02	1.20E-02	7.70E-03	4.07E-03
621.8	0.098	Rh-106	2.00E-01	1.75E-01	1.61E-01	1.50E-01	1.35E-01	1.12E-01	8.76E-02	7.34E-02	5.69E-02	3.71E-02	2.24E-02	1.62E-02	1.04E-02	5.51E-03
628.7	0.31	Sb-128	6.33E-01	5.55E-01	5.08E-01	4.74E-01	4.28E-01	3.53E-01	2.77E-01	2.32E-01	1.80E-01	1.18E-01	7.12E-02	5.14E-02	3.31E-02	1.75E-02
630	0.886	Pm-148m	1.81E+00	1.59E+00	1.45E+00	1.36E+00	1.22E+00	1.01E+00	7.93E-01	6.65E-01	5.15E-01	3.37E-01	2.04E-01	1.47E-01	9.46E-02	5.00E-02
635.9	0.113	Sb-125	2.31E-01	2.03E-01	1.86E-01	1.73E-01	1.56E-01	1.29E-01	1.01E-01	8.51E-02	6.60E-02	4.31E-02	2.61E-02	1.88E-02	1.21E-02	6.41E-03
636.2	0.36	Sb-128	7.36E-01	6.45E-01	5.91E-01	5.52E-01	4.98E-01	4.11E-01	3.23E-01	2.71E-01	2.10E-01	1.37E-01	8.30E-02	5.99E-02	3.86E-02	2.04E-02
637	0.073	I-131	1.49E-01	1.30E-01	1.19E-01	1.11E-01	1.00E-01	8.30E-02	6.52E-02	5.47E-02	4.24E-02	2.77E-02	1.68E-02	1.21E-02	7.79E-03	4.12E-03
641.3	0.474	La-142	9.69E-01	8.50E-01	7.79E-01	7.27E-01	6.56E-01	5.42E-01	4.26E-01	3.57E-01	2.77E-01	1.81E-01	1.10E-01	7.91E-02	5.10E-02	2.69E-02
647.5	0.194	Te-133m	3.97E-01	3.48E-01	3.19E-01	2.98E-01	2.69E-01	2.22E-01	1.75E-01	1.46E-01	1.14E-01	7.44E-02	4.50E-02	3.25E-02	2.09E-02	1.11E-02
657.7	0.947	Ag-110m	1.94E+00	1.70E+00	1.56E+00	1.46E+00	1.32E+00	1.09E+00	8.55E-01	7.18E-01	5.57E-01	3.65E-01	2.21E-01	1.60E-01	1.03E-01	5.44E-02
657.9	0.983	Nb-97	2.01E+00	1.77E+00	1.62E+00	1.51E+00	1.37E+00	1.13E+00	8.88E-01	7.45E-01	5.78E-01	3.79E-01	2.30E-01	1.66E-01	1.07E-01	5.65E-02
661.6	0.899	Ba-137m	1.84E+00	1.62E+00	1.48E+00	1.38E+00	1.25E+00	1.03E+00	8.13E-01	6.82E-01	5.30E-01	3.47E-01	2.10E-01	1.52E-01	9.80E-02	5.18E-02
664.5	0.053	Ce-143	1.08E-01	9.45E-02	8.67E-02	8.09E-02	7.30E-02	6.04E-02	4.75E-02	3.99E-02	3.10E-02	2.03E-02	1.23E-02	8.88E-03	5.73E-03	3.03E-03
666.3	0.997	Sb-126	2.05E+00	1.80E+00	1.65E+00	1.54E+00	1.39E+00	1.15E+00	9.02E-01	7.58E-01	5.88E-01	3.86E-01	2.34E-01	1.69E-01	1.09E-01	5.76E-02
667.7	0.987	I-132	2.03E+00	1.78E+00	1.63E+00	1.52E+00	1.37E+00	1.14E+00	8.94E-01	7.50E-01	5.83E-01	3.82E-01	2.32E-01	1.67E-01	1.08E-01	5.71E-02
668.5	0.961	I-130	1.97E+00	1.73E+00	1.59E+00	1.48E+00	1.34E+00	1.11E+00	8.71E-01	7.31E-01	5.68E-01	3.72E-01	2.26E-01	1.63E-01	1.05E-01	5.56E-02
676.4	0.157	Ru-105	3.22E-01	2.82E-01	2.59E-01	2.42E-01	2.18E-01	1.81E-01	1.42E-01	1.19E-01	9.27E-02	6.08E-02	3.69E-02	2.67E-02	1.72E-02	9.10E-03
685.7	0.353	Sb-127	7.26E-01	6.38E-01	5.85E-01	5.46E-01	4.93E-01	4.08E-01	3.21E-01	2.70E-01	2.10E-01	1.38E-01	8.36E-02	6.04E-02	3.90E-02	2.06E-02
685.8	0.316	W-187	6.50E-01	5.71E-01	5.23E-01	4.89E-01	4.41E-01	3.65E-01	2.88E-01	2.42E-01	1.88E-01	1.23E-01	7.48E-02	5.41E-02	3.49E-02	1.85E-02
695	0.997	Sb-126	2.05E+00	1.80E+00	1.65E+00	1.55E+00	1.39E+00	1.16E+00	9.10E-01	7.65E-01	5.49E-01	3.90E-01	2.37E-01	1.72E-01	1.11E-01	5.86E-02
697	0.289	Sb-126	5.96E-01	5.23E-01	4.80E-01	4.48E-01	4.05E-01	3.35E-01	2.64E-01	2.22E-01	1.72E-01	1.13E-01	6.88E-02	4.98E-02	3.21E-02	1.70E-02

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
720.5	0.538	Sb-126	1.11E+00	9.78E-01	8.79E-01	8.38E-01	7.56E-01	6.28E-01	4.95E-01	4.16E-01	3.24E-01	2.13E-01	1.30E-01	9.39E-02	6.06E-02	3.21E-02
722	0.051	Ce-143	1.06E-01	9.31E-02	8.54E-02	7.98E-02	7.20E-02	5.97E-02	4.71E-02	3.96E-02	3.08E-02	2.03E-02	1.23E-02	8.94E-03	5.78E-03	3.06E-03
723.3	0.197	Eu-154	4.07E-01	3.58E-01	3.28E-01	3.07E-01	2.77E-01	2.30E-01	1.81E-01	1.52E-01	1.19E-01	7.81E-02	4.75E-02	3.44E-02	2.22E-02	1.18E-02
724.2	0.444	Zr-95	9.19E-01	8.08E-01	7.41E-01	6.93E-01	6.25E-01	5.18E-01	4.09E-01	3.44E-01	2.68E-01	1.76E-01	1.07E-01	7.76E-02	5.02E-02	2.66E-02
724.3	0.473	Ru-105	9.78E-01	8.60E-01	7.88E-01	7.37E-01	6.65E-01	5.52E-01	4.35E-01	3.66E-01	2.85E-01	1.88E-01	1.14E-01	8.26E-02	5.34E-02	2.83E-02
725.7	0.327	Pm-148m	6.77E-01	5.95E-01	5.45E-01	5.10E-01	4.60E-01	3.82E-01	3.01E-01	2.53E-01	1.97E-01	1.30E-01	7.89E-02	5.72E-02	3.69E-02	1.96E-02
727.2	0.068	Bi-212	1.40E-01	1.23E-01	1.13E-01	1.05E-01	9.50E-02	7.88E-02	6.21E-02	5.23E-02	4.07E-02	2.68E-02	1.63E-02	1.18E-02	7.63E-02	4.05E-03
739.5	0.122	Mo-99	2.53E-01	2.22E-01	2.04E-01	1.91E-01	1.72E-01	1.43E-01	1.13E-01	9.48E-02	7.38E-02	4.86E-02	2.96E-02	2.15E-02	1.39E-02	7.36E-03
739.5	0.823	I-130	1.71E+00	1.50E+00	1.37E+00	1.29E+00	1.16E+00	9.63E-01	7.60E-01	6.40E-01	4.98E-01	3.28E-01	2.00E-01	1.45E-01	9.36E-02	4.97E-02
742.6	0.151	Te-134	3.13E-01	2.75E-01	2.52E-01	2.36E-01	2.13E-01	1.77E-01	1.39E-01	1.17E-01	9.14E-02	6.03E-02	3.67E-02	2.66E-02	1.72E-02	9.12E-03
743.3	1	Sb-128	2.07E+00	1.82E+00	1.67E+00	1.56E+00	1.41E+00	1.17E+00	9.24E-01	7.78E-01	6.06E-01	4.00E-01	2.43E-01	1.76E-01	1.14E-01	6.05E-02
748.3	0.008	Pr-145	1.56E-02	1.37E-02	1.26E-02	1.18E-02	1.06E-02	8.83E-03	6.97E-03	5.87E-03	4.57E-03	3.02E-03	1.84E-03	1.33E-03	8.61E-04	4.57E-04
754	1	Sb-128	2.08E+00	1.83E+00	1.67E+00	1.57E+00	1.41E+00	1.17E+00	9.27E-01	7.81E-01	6.08E-01	4.02E-01	2.45E-01	1.77E-01	1.15E-01	6.09E-02
756.7	0.549	Zr-95	1.14E+00	1.00E+00	9.19E-01	8.60E-01	7.76E-01	6.45E-01	5.09E-01	4.29E-01	3.34E-01	2.21E-01	1.34E-01	9.75E-02	6.30E-02	3.35E-02
763.9	0.224	Ag-110m	4.65E-01	4.09E-01	3.75E-01	3.51E-01	3.17E-01	2.63E-01	2.08E-01	1.75E-01	1.36E-01	9.02E-02	5.50E-02	3.99E-02	2.58E-02	1.37E-02
765.8	1	Nb-95	2.08E+00	1.83E+00	1.68E+00	1.57E+00	1.42E+00	1.18E+00	9.30E-01	7.84E-01	6.11E-01	4.04E-01	2.46E-01	1.79E-01	1.15E-01	6.13E-02
767.2	0.29	Te-134	6.04E-01	5.31E-01	4.87E-01	4.56E-01	4.11E-01	3.42E-01	2.70E-01	2.27E-01	1.77E-01	1.17E-01	7.14E-02	5.18E-02	3.35E-02	1.78E-02
772.6	0.762	I-132	1.59E+00	1.40E+00	1.28E+00	1.20E+00	1.08E+00	8.99E-01	7.10E-01	5.98E-01	4.67E-01	3.08E-01	1.88E-01	1.37E-01	8.83E-02	4.69E-02
773.7	0.382	Te-131m	7.95E-01	6.99E-01	6.41E-01	6.00E-01	5.42E-01	4.50E-01	3.56E-01	3.00E-01	2.34E-01	1.54E-01	9.42E-02	6.84E-02	4.42E-02	2.35E-02
778.9	0.13	Eu-152	2.70E-01	2.38E-01	2.18E-01	2.04E-01	1.84E-01	1.53E-01	1.21E-01	1.02E-01	7.95E-02	5.26E-02	3.21E-02	2.33E-02	1.51E-02	8.01E-03
783.7	0.145	Sb-127	3.03E-01	2.66E-01	2.44E-01	2.29E-01	2.06E-01	1.72E-01	1.36E-01	1.14E-01	8.92E-02	5.90E-02	3.60E-02	2.61E-02	1.69E-02	8.99E-03
793.4	1	Sb-130	2.09E+00	1.84E+00	1.68E+00	1.58E+00	1.42E+00	1.18E+00	9.37E-01	7.90E-01	6.17E-01	4.08E-01	2.49E-01	1.81E-01	1.17E-01	6.23E-02

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量弛弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
793.8	0.139	Te-131m	2.89E-01	2.55E-01	2.33E-01	2.19E-01	1.97E-01	1.64E-01	1.30E-01	1.09E-01	8.54E-02	5.65E-02	3.45E-02	2.51E-02	1.62E-02	8.64E-03
795.8	0.851	Cs-134	1.78E+00	1.57E+00	1.43E+00	1.34E+00	1.21E+00	1.01E+00	7.98E-01	6.73E-01	5.25E-01	3.48E-01	2.12E-01	1.54E-01	9.98E-02	5.31E-02
810.8	0.994	Co-58	2.08E+00	1.83E+00	1.68E+00	1.58E+00	1.42E+00	1.18E+00	9.36E-01	7.90E-01	6.17E-01	4.09E-01	2.50E-01	1.82E-01	1.18E-01	6.26E-02
811.8	0.103	Eu-156	2.16E-01	1.90E-01	1.74E-01	1.63E-01	1.47E-01	1.23E-01	9.70E-02	8.18E-02	6.39E-02	4.24E-02	2.59E-02	1.88E-02	1.22E-02	6.49E-03
812.8	0.43	Sb-129	9.01E-01	7.93E-01	7.27E-01	6.81E-01	6.15E-01	5.12E-01	4.05E-01	3.42E-01	2.67E-01	1.77E-01	1.08E-01	7.86E-02	5.09E-02	2.71E-02
815.8	0.236	La-140	4.95E-01	4.36E-01	4.00E-01	3.75E-01	3.38E-01	2.82E-01	2.23E-01	1.88E-01	1.47E-01	9.74E-02	5.95E-02	4.33E-02	2.80E-02	1.49E-02
818.5	0.997	Cs-136	2.09E+00	1.84E+00	1.69E+00	1.58E+00	1.43E+00	1.19E+00	9.41E-01	7.94E-01	6.20E-01	4.11E-01	2.51E-01	1.83E-01	1.18E-01	6.31E-02
834.8	1	Mn-54	2.10E+00	1.85E+00	1.70E+00	1.59E+00	1.44E+00	1.20E+00	9.47E-01	8.00E-01	6.25E-01	4.15E-01	2.54E-01	1.85E-01	1.20E-01	6.38E-02
839.4	1	Sb-130	2.10E+00	1.85E+00	1.70E+00	1.59E+00	1.44E+00	1.20E+00	9.49E-01	8.01E-01	6.26E-01	4.16E-01	2.54E-01	1.85E-01	1.20E-01	6.40E-02
841.6	0.146	Eu-152m	3.07E-01	2.70E-01	2.48E-01	2.32E-01	2.10E-01	1.75E-01	1.38E-01	1.17E-01	9.14E-02	6.07E-02	3.72E-02	2.71E-02	1.75E-02	9.35E-03
846.8	0.989	Mn-56	2.08E+00	1.83E+00	1.68E+00	1.58E+00	1.42E+00	1.19E+00	9.40E-01	7.94E-01	6.21E-01	4.12E-01	2.52E-01	1.84E-01	1.19E-01	6.35E-02
846.8	0.999	Co-56	2.10E+00	1.85E+00	1.70E+00	1.59E+00	1.44E+00	1.20E+00	9.50E-01	8.02E-01	6.27E-01	4.17E-01	2.55E-01	1.86E-01	1.20E-01	6.42E-02
847	0.954	I-134	2.01E+00	1.77E+00	1.62E+00	1.52E+00	1.37E+00	1.14E+00	9.07E-01	7.66E-01	5.99E-01	3.98E-01	2.44E-01	1.77E-01	1.15E-01	6.13E-02
852.2	0.206	Te-131m	4.35E-01	3.83E-01	3.51E-01	3.29E-01	2.97E-01	2.48E-01	1.96E-01	1.66E-01	1.30E-01	8.62E-02	5.28E-02	3.85E-02	2.49E-02	1.33E-02
856.7	0.176	Sb-126	3.72E-01	3.28E-01	3.00E-01	2.82E-01	2.54E-01	2.12E-01	1.68E-01	1.42E-01	1.11E-01	7.39E-02	4.53E-02	3.30E-02	2.14E-02	1.14E-02
864	0.156	Te-133m	3.29E-01	2.90E-01	2.66E-01	2.50E-01	2.25E-01	1.88E-01	1.49E-01	1.26E-01	9.85E-02	6.22E-02	4.01E-02	2.93E-02	1.90E-02	1.01E-02
873.2	0.115	Eu-154	2.43E-01	2.14E-01	1.96E-01	1.84E-01	1.66E-01	1.39E-01	1.10E-01	9.30E-02	7.28E-02	4.85E-02	2.97E-02	2.17E-02	1.40E-02	7.50E-03
881.6	0.42	Br-84	8.88E-01	7.83E-01	7.18E-01	6.74E-01	6.08E-01	5.08E-01	4.03E-01	3.41E-01	2.67E-01	1.78E-01	1.09E-01	7.94E-02	5.15E-02	2.75E-02
884.1	0.649	I-134	1.37E+00	1.21E+00	1.11E+00	1.04E+00	9.04E-01	7.84E-01	6.23E-01	5.26E-01	4.12E-01	2.75E-01	1.68E-01	1.23E-01	7.97E-02	4.26E-02
884.7	0.729	Ag-110m	1.54E+00	1.36E+00	1.25E+00	1.17E+00	1.06E+00	8.81E-01	6.99E-01	5.91E-01	4.63E-01	3.09E-01	1.89E-01	1.38E-01	8.95E-02	4.78E-02
889.3	1	Sc-46	2.12E+00	1.87E+00	1.71E+00	1.61E+00	1.45E+00	1.21E+00	9.61E-01	8.13E-01	6.37E-01	4.24E-01	2.60E-01	1.90E-01	1.23E-01	6.58E-02
911.3	0.29	Ac-228	6.16E-01	5.43E-01	4.98E-01	4.68E-01	4.22E-01	3.53E-01	2.80E-01	2.37E-01	1.86E-01	1.24E-01	7.62E-02	5.56E-02	3.61E-02	1.93E-02

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
912.7	0.55	Te-133m	1.17E+00	1.03E+00	9.44E-01	8.88E-01	8.01E-01	6.69E-01	5.32E-01	4.50E-01	3.53E-01	2.36E-01	1.45E-01	1.06E-01	6.85E-02	3.67E-02
914.6	0.2	Sb-129	4.26E-01	3.76E-01	3.44E-01	3.24E-01	2.92E-01	2.44E-01	1.94E-01	1.64E-01	1.29E-01	8.59E-02	5.27E-02	3.85E-02	2.50E-02	1.34E-02
914.8	0.109	Te-133m	2.32E-01	2.04E-01	1.87E-01	1.76E-01	1.59E-01	1.33E-01	1.05E-01	8.93E-02	7.00E-02	4.67E-02	2.87E-02	2.09E-02	1.36E-02	7.27E-03
914.8	0.115	Pm-148	2.43E-01	2.15E-01	1.97E-01	1.85E-01	1.67E-01	1.39E-01	1.11E-01	9.38E-02	7.36E-02	4.91E-02	3.01E-02	2.20E-02	1.43E-02	7.64E-03
915.3	0.171	Pm-148m	3.63E-01	3.21E-01	2.94E-01	2.76E-01	2.49E-01	2.08E-01	1.65E-01	1.40E-01	1.10E-01	7.33E-02	4.50E-02	3.29E-02	2.13E-02	1.14E-02
934.5	0.139	Y-92	2.96E-01	2.61E-01	2.39E-01	2.25E-01	2.03E-01	1.70E-01	1.35E-01	1.14E-01	8.98E-02	6.00E-02	3.69E-02	2.70E-02	1.75E-02	9.37E-02
934.9	0.19	Sb-130	4.05E-01	3.57E-01	3.27E-01	3.08E-01	2.78E-01	2.32E-01	1.85E-01	1.56E-01	1.23E-01	8.21E-02	5.04E-02	3.69E-02	2.39E-02	1.28E-02
937.5	0.343	Ag-110m	7.32E-01	6.46E-01	5.91E-01	5.57E-01	5.02E-01	4.20E-01	3.34E-01	2.83E-01	2.22E-01	1.48E-01	9.12E-02	6.67E-02	4.33E-02	2.32E-02
954.5	0.181	I-132	3.86E-01	3.41E-01	3.12E-01	2.94E-01	2.65E-01	2.22E-01	1.77E-01	1.50E-01	1.17E-01	7.86E-02	4.84E-02	3.54E-02	2.30E-02	1.23E-02
963.3	0.12	Eu-152m	2.57E-01	2.27E-01	2.08E-01	1.96E-01	1.77E-01	1.48E-01	1.18E-01	9.97E-02	7.83E-02	5.25E-02	3.23E-02	2.36E-02	1.53E-02	8.22E-03
964.1	0.145	Eu-152	3.10E-01	2.74E-01	2.51E-01	2.36E-01	2.13E-01	1.78E-01	1.42E-01	1.20E-01	9.45E-02	6.33E-02	3.90E-02	2.85E-02	1.85E-02	9.93E-03
964	0.055	Ac-228	1.17E-01	1.03E-01	9.44E-02	8.88E-02	8.02E-02	6.71E-02	5.34E-02	4.53E-02	3.56E-02	2.38E-02	1.47E-02	1.07E-02	6.97E-03	3.74E-03
966.4	0.077	Sb-129	1.65E-01	1.45E-01	1.33E-01	1.25E-01	1.13E-01	9.48E-02	7.55E-02	6.40E-02	5.03E-02	3.37E-02	1.07E-02	1.52E-02	9.85E-03	5.28E-03
969.2	0.175	Ac-228	3.74E-01	3.30E-01	3.02E-01	2.85E-01	2.57E-01	2.15E-01	1.71E-01	1.45E-01	1.14E-01	7.64E-02	4.70E-02	3.44E-02	2.24E-02	1.20E-02
984.5	0.278	Np-238	5.96E-01	5.27E-01	4.83E-01	4.55E-01	4.10E-01	3.44E-01	2.74E-01	2.32E-01	1.83E-01	1.22E-01	7.54E-02	5.52E-02	3.59E-02	1.92E-02
996.3	0.103	Eu-154	2.21E-01	1.96E-01	1.79E-01	1.69E-01	1.52E-01	1.28E-01	1.02E-01	8.63E-02	6.79E-02	4.56E-02	2.81E-02	2.06E-02	1.34E-02	7.18E-03
1004.8	0.174	Eu-154	3.74E-01	3.31E-01	3.03E-01	2.86E-01	2.58E-01	2.16E-01	1.72E-01	1.46E-01	1.15E-01	7.27E-02	4.76E-02	3.49E-02	2.27E-02	1.22E-02
1009.8	0.298	Cs-138	6.42E-01	5.67E-01	5.20E-01	4.90E-01	4.42E-01	3.71E-01	2.96E-01	2.51E-01	1.97E-01	1.33E-01	8.17E-02	5.99E-02	3.89E-02	2.09E-02
1013.8	0.202	Pm-148m	4.35E-01	3.84E-01	3.52E-01	3.32E-01	3.00E-01	2.51E-01	2.00E-01	1.70E-01	1.34E-01	8.98E-02	5.54E-02	4.06E-02	2.64E-02	1.42E-02
1025.9	0.096	Np-238	2.07E-01	1.83E-01	1.67E-01	1.58E-01	1.42E+91	1.19E-01	9.53E-02	8.09E-02	6.37E-02	4.28E-02	2.64E-02	1.94E-02	1.26E-02	6.77E-03
1028.5	0.203	Np-238	4.37E-01	3.87E-01	3.54E-01	3.34E-01	3.01E-01	2.53E-01	2.02E-01	1.71E-01	1.35E-01	9.06E-02	5.60E-02	4.10E-02	2.67E-02	1.43E-02
1030.1	0.126	Sb-129	2.72E-01	2.40E-01	2.20E-01	2.07E-01	1.87E-01	1.57E-01	1.25E-01	1.06E-01	8.37E-02	5.63E-02	3.48E-02	2.55E-02	1.66E-02	8.91E-03

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
1038.8	0.08	I-135	1.73E-01	1.53E-01	1.40E-01	1.32E-01	1.19E-01	1.00E-01	7.98E-02	6.78E-02	5.34E-02	3.59E-02	2.22E-02	1.63E-02	1.06E-02	5.69E-03
1048.1	0.798	Cs-136	1.72E+00	1.52E+00	1.40E+00	1.32E+00	1.19E+00	9.97E-01	7.96E-01	6.76E-01	5.32E-01	3.58E-01	2.21E-01	1.62E-01	1.06E-01	5.68E-02
1072.6	0.15	I-134	3.24E-01	2.86E-01	2.63E-01	2.48E-01	2.24E-01	1.88E-01	1.50E-01	1.27E-01	1.01E-01	6.77E-02	4.20E-02	3.07E-02	2.00E-02	1.08E-02
1076.6	0.088	Rb-86	1.90E-01	1.68E-01	1.54E-01	1.45E-01	1.31E-01	1.10E-01	8.80E-02	7.48E-02	5.90E-02	3.97E-02	2.46E-02	1.80E-02	1.18E-02	6.33E-03
1085.9	0.099	Eu-152	2.15E-01	1.90E-01	1.74E-01	1.64E-01	1.48E-01	1.25E-01	9.96E-02	8.46E-02	6.68E-02	4.50E-02	2.79E-02	2.04E-02	1.33E-02	7.18E-03
1099.2	0.565	Fe-59	1.23E+00	1.08E+00	9.94E-01	9.38E-01	8.47E-01	7.12E-01	5.69E-01	4.83E-01	3.81E-01	2.57E-01	1.60E-01	1.17E-01	7.64E-02	4.11E-02
1112.1	0.136	Eu-152	2.95E-01	2.60E-01	2.39E-01	2.25E-01	2.04E-01	1.71E-01	1.37E-01	1.16E-01	9.18E-02	6.20E-02	3.85E-02	2.82E-02	1.84E-02	9.92E-03
1115.5	0.148	Ni-65	3.22E-01	2.85E-01	2.61E-01	2.47E-01	2.23E-01	1.87E-01	1.50E-01	1.27E-01	1.00E-01	6.78E-02	4.22E-02	3.09E-02	2.02E-02	1.09E-02
1115.5	0.507	Zn-65	1.10E+00	9.74E-01	8.94E-01	8.44E-01	7.62E-01	6.41E-01	5.12E-01	4.35E-01	3.44E-01	2.32E-01	1.44E-01	1.06E-01	6.90E-02	3.72E-02
1120.5	1	Sc-46	2.17E+00	1.92E+00	1.76E+00	1.66E+00	1.50E+00	1.26E+00	1.01E+00	8.59E-01	6.78E-01	4.58E-01	2.85E-01	2.09E-01	1.36E-01	7.34E-02
1121.3	0.349	Ta-182	7.59E-01	6.70E-01	6.16E-01	5.81E-01	5.25E-01	4.41E-01	3.53E-01	3.00E-01	2.37E-01	1.60E-01	9.94E-02	7.28E-02	4.76E-02	2.56E-02
1125.5	0.114	Te-131m	2.48E-01	2.19E-01	2.02E-01	1.90E-01	1.72E-01	1.44E-01	1.15E-01	9.82E-02	7.75E-02	5.24E-02	3.26E-02	2.39E-02	1.56E-02	8.40E-03
1131.5	0.228	I-135	4.96E-01	4.38E-01	4.02E-01	3.79E-01	3.43E-01	2.88E-01	2.31E-01	1.96E-01	1.55E-01	1.05E-01	6.51E-02	4.77E-02	3.12E-02	1.68E-02
1153.5	0.071	Eu-156	1.55E-01	1.37E-01	1.26E-01	1.19E-01	1.07E-01	9.03E-02	7.22E-02	6.14E-02	4.68E-02	3.28E-02	2.05E-02	1.50E-02	9.81E-03	5.28E-03
1157.5	0.113	I-130	2.47E-01	2.18E-01	2.00E-01	1.89E-01	1.71E-01	1.44E-01	1.15E-01	9.79E-02	7.74E-02	5.23E-02	3.26E-02	2.39E-02	1.56E-02	8.42E-03
1173.2	0.999	Co-60	2.18E+00	1.93E+00	1.77E+00	1.67E+00	1.51E+00	1.27E+00	1.02E+00	8.67E-01	6.86E-01	4.64E-01	2.90E-01	2.12E-01	1.39E-01	7.49E-02
1189	0.164	Ta-182	3.59E-01	3.17E-01	2.91E-01	2.75E-01	2.49E-01	2.09E-01	1.68E-01	1.43E-01	1.13E-01	7.65E-02	4.78E-02	3.50E-02	2.29E-02	1.24E-02
1204.9	0.003	Y-91	6.57E-03	5.81E-03	5.34E-03	5.04E-03	4.56E-03	3.84E-03	3.08E-03	2.62E-03	2.07E-03	1.41E-03	8.79E-04	6.44E-04	4.22E-04	2.28E-04
1206.6	0.098	Te-131m	2.14E-01	1.89E-01	1.74E-01	1.64E-01	1.48E-01	1.25E-01	1.00E-01	8.52E-02	6.74E-02	4.57E-02	2.86E-02	2.09E-02	1.37E-02	7.41E-03
1221.4	0.273	Ta-182	5.99E-01	5.30E-01	4.87E-01	4.60E-01	4.16E-01	3.51E-01	2.81E-01	2.39E-01	1.90E-01	1.29E-01	8.05E-02	5.90E-02	3.87E-02	2.09E-02
1230.7	0.089	Eu-156	1.94E-01	1.72E-01	1.58E-01	1.49E-01	1.35E-01	1.14E-01	9.12E-02	7.77E-02	6.16E-02	4.18E-02	2.62E-02	1.92E-02	1.26E-02	6.79E-03
1231	0.116	Ta-182	2.54E-01	2.24E-01	2.06E-01	1.95E-01	1.76E-01	1.48E-01	1.19E-01	1.01E-01	8.03E-02	5.45E-02	3.41E-02	2.50E-02	1.64E-02	8.86E-03

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
1235.4	0.2	Cs-136	4.40E-01	3.89E-01	3.58E-01	3.38E-01	3.06E-01	2.58E-01	2.06E-01	1.76E-01	1.39E-01	9.46E-02	5.93E-02	4.35E-02	2.85E-02	1.54E-02
1238.3	0.67	Co-56	1.47E+00	1.30E+00	1.20E+00	1.13E+00	1.02E+00	8.61E-01	6.90E-01	5.88E-01	4.66E-01	3.16E-01	1.98E-01	1.45E-01	9.53E-02	5.15E-02
1242.4	0.067	Eu-156	1.47E-01	1.30E-01	1.20E-01	1.13E-01	1.02E-01	8.62E-02	6.91E-02	5.89E-02	4.67E-02	3.17E-02	1.99E-02	1.46E-02	9.55E-03	5.16E-03
1260.4	0.289	I-135	6.37E-01	5.63E-01	5.18E-01	4.89E-01	4.43E-01	3.74E-01	2.99E-01	2.55E-01	2.02E-01	1.38E-01	8.64E-02	6.33E-02	4.15E-02	2.24E-02
1274.4	0.355	Eu-154	7.82E-01	6.91E-01	6.37E-01	6.01E-01	5.44E-01	4.59E-01	3.68E-01	3.14E-01	2.49E-01	1.69E-01	1.06E-01	7.80E-02	5.12E-02	2.77E-02
1274.5	0.999	Na-22	2.20E+00	1.95E+00	1.79E+00	1.69E+00	1.53E+00	1.29E+00	1.04E+00	8.84E-01	7.01E-01	4.84E-01	3.05E-01	2.24E-01	1.47E-01	7.97E-02
1291.6	0.423	Fe-59	9.53E-01	8.43E-01	7.76E-01	7.33E-01	6.64E-01	5.60E-01	4.49E-01	3.83E-01	3.04E-01	2.07E-01	1.30E-01	9.54E-02	6.27E-02	3.39E-02
1332.5	1	Co-60	2.21E+00	1.96E+00	1.80E+00	1.90E+00	1.54E+00	1.30E+00	1.05E+00	8.94E-01	7.10E-01	4.84E-01	3.05E-01	2.24E-01	1.47E-01	7.97E-02
1354.5	0.026	La-141	5.84E-02	5.16E-02	4.76E-02	4.50E-02	4.07E-02	3.44E-02	2.76E-02	2.36E-02	1.88E-02	1.28E-02	8.09E-03	5.93E-03	3.90E-03	2.11E-03
1368.6	1	Na-24	2.22E+00	1.96E+00	1.81E+00	1.71E+00	1.55E+00	1.31E+00	1.05E+00	9.01E-01	7.16E-01	4.89E-01	3.09E-01	2.26E-01	1.49E-01	8.08E-02
1383.9	0.9	Sr-92	2.00E+00	1.77E+00	1.63E+00	1.54E+00	1.40E+00	1.18E+00	9.51E-01	8.13E-01	6.46E-01	4.41E-01	2.79E-01	2.05E-01	1.35E-01	7.31E-02
1384.3	0.243	Ag-110m	5.42E-01	4.79E-01	4.42E-01	4.18E-01	3.79E-01	3.20E-01	2.57E-01	2.20E-01	1.75E-01	1.19E-01	7.56E-02	5.54E-02	3.65E-02	1.98E-02
1408	0.209	Eu-152	4.65E-01	4.11E-01	3.79E-01	3.59E-01	3.25E-01	2.75E-01	2.21E-01	1.89E-01	1.51E-01	1.03E-01	6.52E-02	4.78E-02	3.15E-02	1.71E-02
1435.9	0.763	Cs-138	1.71E+00	1.51E+00	1.39E+00	1.32E+00	1.19E+00	1.01E+00	8.13E-01	6.96E-01	5.54E-01	3.79E-01	2.41E-01	1.76E-01	1.17E-01	6.31E-02
1457.6	0.087	I-135	1.96E-01	1.73E-01	1.60E-01	1.51E-01	1.37E-01	1.16E-01	9.35E-02	8.00E-02	6.38E-02	4.37E-02	2.78E-02	2.03E-02	1.34E-02	7.29E-03
1460.8	0.107	K-40	2.40E-01	2.12E-01	1.96E-01	1.85E-01	1.68E-01	1.42E-01	1.14E-01	9.80E-02	7.81E-02	5.35E-02	3.40E-02	2.49E-02	1.65E-02	8.93E-03
1465.1	0.222	Pm-148	4.97E-01	4.40E-01	4.06E-01	3.84E-01	3.49E-01	2.95E-01	2.38E-01	2.03E-01	1.62E-01	1.11E-01	7.07E-02	5.18E-02	3.42E-02	1.86E-02
1481.8	0.235	Ni-65	5.27E-01	4.66E-01	4.31E-01	4.07E-01	3.70E-01	3.13E-01	2.52E-01	2.16E-01	1.72E-01	1.18E-01	7.51E-02	5.51E-02	3.64E-02	1.97E-02
1505	0.131	Ag-110m	2.95E-01	2.60E-01	2.41E-01	2.28E-01	2.07E-01	1.71E-01	1.41E-01	1.21E-01	9.64E-02	6.61E-02	4.21E-02	3.09E-02	2.04E-02	1.11E-02
1524.6	0.189	K-42	4.25E-01	3.76E-01	3.48E-01	3.29E-01	2.99E-01	2.53E-01	2.04E-01	1.75E-01	1.39E-01	9.57E-02	6.10E-02	4.48E-02	2.96E-02	1.61E-02
1596.2	0.954	La-140	2.16E+00	1.91E+00	1.76E+00	1.67E+00	1.52E+00	1.29E+00	1.04E+00	8.91E-01	7.12E-01	4.90E-01	3.13E-01	2.30E-01	1.52E-01	8.29E-02
1678	0.096	I-135	2.19E-01	1.94E-01	1.79E-01	1.70E-01	1.54E-01	1.31E-01	1.06E-01	9.10E-02	7.28E-02	5.03E-02	3.22E-02	2.37E-02	1.57E-02	8.57E-03

表 C 2 单位沉积通量(Bq·m⁻²)的放射性核素在地表 1m 处产生的初级 γ 射线注量率 (m⁻²·s⁻¹) * (续)

能量 (keV)	分支比	放射性核素	质量张弛深度(g cm ⁻²)													
			0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10	20	30	50	100
1691	0.488	Sb-124	1.11E+00	9.82E-01	9.09E-01	8.60E-01	7.82E-01	6.65E-01	5.36E-01	4.61E-01	3.69E-01	2.55E-01	1.63E-01	1.20E-01	7.99E-02	4.35E-02
1736.5	0.06	Sb-129	1.36E-01	1.21E-01	1.12E-01	1.06E-01	9.63E-02	8.19E-02	6.61E-02	5.69E-02	4.56E-02	3.16E-02	2.02E-02	1.49E-02	9.91E-03	5.40E-03
1736.5	0.06	Sb-129	1.36E-01	1.21E-01	1.12E-01	1.06E-01	9.63E-02	8.19E-02	6.61E-02	5.69E-02	4.56E-02	3.16E-02	2.02E-02	1.49E-02	9.91E-03	5.40E-03
1771.4	0.155	Co-56	3.55E-01	3.14E-01	2.91E-01	2.75E-01	2.51E-01	2.13E-01	1.72E-01	1.48E-01	1.19E-01	8.25E-02	5.28E-02	3.91E-02	2.59E-02	1.42E-02
1791.2	0.078	I-135	1.78E-01	1.58E-01	1.46E-01	1.38E-01	1.26E-01	1.07E-01	8.66E-02	7.47E-02	5.99E-02	4.15E-02	2.66E-02	1.97E-02	1.31E-02	7.14E-03
1810.7	0.272	Mn-56	6.23E-01	5.52E-01	5.12E-01	4.84E-01	4.41E-01	3.76E-01	3.03E-01	2.62E-01	2.10E-01	1.46E-01	9.33E-02	6.92E-02	4.59E-02	2.51E-02
1897.6	0.147	Br-84	3.39E-01	3.01E-01	2.79E-01	2.64E-01	2.40E-01	2.05E-01	1.66E-01	1.43E-01	1.15E-01	8.07E-02	5.21E-02	3.89E-02	2.59E-02	1.42E-02
1901.3	0.072	La-142	1.65E-01	1.46E-01	1.36E-01	1.29E-01	1.17E-01	9.99E-02	8.07E-02	6.97E-02	5.60E-02	3.90E-02	2.50E-02	1.86E-02	1.24E-02	6.77E-03
2091	0.056	Sb-124	1.30E-01	1.16E-01	1.07E-01	1.02E-01	9.26E-02	7.92E-02	6.41E-02	5.56E-02	4.48E-02	3.13E-02	2.02E-02	1.51E-02	1.01E-02	5.52E-03
2113	0.143	Mn-56	3.34E-01	2.97E-01	2.76E-01	2.61E-01	2.38E-01	2.04E-01	1.65E-01	1.43E-01	1.15E-01	8.07E-02	5.21E-02	3.89E-02	2.59E-02	1.42E-02
2218	0.152	Cs-138	3.56E-01	3.16E-01	2.94E-01	2.78E-01	2.54E-01	2.17E-01	1.76E-01	1.53E-01	1.23E-01	8.67E-02	5.61E-02	4.19E-02	2.80E-02	1.54E-02
2397.8	0.133	La-142	3.13E-01	2.79E-01	2.59E-01	2.46E-01	2.24E-01	1.92E-01	1.57E-01	1.36E-01	1.10E-01	7.75E-02	5.04E-02	3.78E-02	2.53E-02	1.39E-02
2482.1	0.067	Br-84	1.59E-01	1.42E-01	1.32E-01	1.25E-01	1.14E-01	9.77E-02	7.99E-02	6.94E-02	5.62E-02	3.97E-02	2.58E-02	1.94E-02	1.30E-02	7.17E-03
2542.7	0.1	La-142	2.37E-01	2.12E-01	1.97E-01	1.86E-01	1.70E-01	1.46E-01	1.19E-01	1.04E-01	8.41E-02	5.95E-02	3.88E-02	2.92E-02	1.95E-02	1.08E-02
2598.6	0.167	Co-56	3.98E-01	3.56E-01	3.31E-01	3.13E-01	2.86E-01	2.45E-01	2.01E-01	1.75E-01	1.42E-01	1.00E-01	6.55E-02	4.92E-02	3.30E-02	1.82E-02
2639.6	0.076	Cs-138	1.82E-01	1.63E-01	1.51E-01	1.43E-01	1.31E-01	1.12E-01	9.19E-02	7.98E-02	6.48E-02	4.59E-02	3.00E-02	2.26E-02	1.52E-02	8.38E-03
2754	0.999	Na-24	2.39E+00	2.14E+00	1.99E+00	1.88E+00	1.72E+00	1.48E+00	1.21E+00	1.06E+00	8.59E-01	6.10E-01	4.00E-01	3.01E-01	2.03E-01	1.12E-01
3253.5	0.074	Co-56	1.80E-01	1.62E-01	1.51E-01	1.42E-01	1.31E-01	1.12E-01	9.28E-02	8.10E-02	6.62E-02	4.73E-02	3.13E-02	2.37E-02	1.60E-02	8.92E-03
3927.5	0.068	Br-84	1.71E-01	1.53E-01	1.42E-01	1.35E-01	1.24E-01	1.07E-01	8.87E-02	7.77E-02	6.38E-02	4.61E-02	3.07E-02	2.34E-02	1.59E-02	8.93E-03

*数据引用 ICRU Report 53 环境测量中的 γ 射线谱仪法 (Gamma-Ray Spectrometry in the Environment)

表 C 3 天然放射性核素的注量活度比*

衰变系	核素	能量 (keV)	分支比	注量活度比(m ⁻² s ⁻¹ Bq ⁻¹ g)
U-238	Pb-214	295	0.192	8.28E+03
		352	0.369	1.71E+04
	Bi-214	609	0.469	2.75E+04
		665	0.0158	9.65E+02
		768	0.0497	3.25E+03
		934	0.0319	2.29E+03
	Pa-234m	1001	0.00845	6.29E+02
	Bi-214	1120	0.155	1.22E+04
		1238	0.061	5.07E+03
		1378	0.041	3.61E+03
		1408	0.025	2.23E+03
		1509	0.022	2.03E+03
		1730	0.03	2.98E+03
		1765	0.162	1.62E+04
		1847	0.0216	2.22E+03
		2119	0.0125	1.38E+03
		2204	0.0525	5.92E+03
2448	0.0162	1.93E+03		
Th-232	Pb-212	239	0.434	1.73E+04
	Ra-224	241	0.0397	1.58E+03
	Ac-228	338	0.12	5.47E+03
		463	0.0464	2.41E+03
	Tl-208	511	0.0809	4.38E+03
		583	0.306	1.76E+04
	Bi-212	727	0.0675	4.30E+03
	Ac-228	795	0.0484	3.22E+03
	Tl-208	861	0.0453	3.14E+03
	Ac-228	911	0.29	2.06E+04
		965	0.0545	3.98E+03
		969	0.175	1.28E+04
		1588	0.0371	3.52E+03
	Bi-212	1621	0.0149	1.43E+03
Ac-228	1630	0.0195	1.87E+03	
Tl-208	2615	0.359	4.42E+04	
K-40	K-40	1461	0.107	9.71E+04

*数据引用 ICRU Report 53 环境测量中的 γ 射线谱仪法 (Gamma-Ray Spectrometry in the Environment)

附录 D
(资料性附录)
标准 γ 点源校准就地高纯锗谱仪有效前面积 η 及角度修正因子 W

D.1 标准 γ 点源校准就地高纯锗谱仪有效前面积

标准 γ 点源发射的特征 γ 射线能量应能够较均匀覆盖所关心的能量范围，一般包括 ^{241}Am 、 ^{133}Ba 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{152}Eu 等。

a) 将标准 γ 点源放在探测器轴向线上，尽可能远离探测器 (>10 探测器直径)，以便使得到达探测器前表面的光束近似为平行光束。开始获取数据，使待测的全能吸收峰面积的统计涨落小于 5%。计算在探测器晶体有效中心的注量率。

$$\varphi = \frac{Ap}{4\pi r^2} e^{-\mu_a x} e^{-\mu_n y} \quad (\text{D}\cdot 1)$$

式中：

φ —探测器晶体有效中心的注量率， $\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$

A —校准源的活度， Bq ；

p —能量为 E 的 γ 射线的分支比，量纲一的量；

μ_a —能量为 E 的 γ 射线在空气中的线性衰减系数， cm^{-1} ；

x —源容器外表面和探测器前表面之间的距离， cm ；

μ_n —能量为 E 的 γ 射线在源容器（壁）中的线性衰减系数， cm^{-1} ；

y — γ 射线在到达探测器途中，穿过源容器壁的距离， cm ；

r —校准源到晶体有效中心的距离， cm ；

1) 对 $E>1\text{MeV}$ 的 γ 射线，晶体的有效中心近似在晶体的几何中心；

2) 对 $E<0.1\text{MeV}$ 的 γ 射线，晶体的有效中心近似在晶体的表面；

3) 对能量处在上面两个值之间的 γ 射线，必须根据晶体的吸收系数作出平均穿透厚度的估算：

$$r = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1 - e^{-\mu d} (1 + \mu d)}{1 - e^{-\mu d}} + d_0 + x \quad (\text{D}\cdot 2)$$

μ —能量为 E 的 γ 射线在高纯锗晶体中的减弱系数， cm^{-1} ；

d —高纯锗晶体的厚度， cm ；

d_0 —探测器前表面到晶体的距离， cm 。

b) 采集并储存 γ 能谱，进行解谱，确定校准源特征峰的全能吸收峰的计数率 n_g 。

c) 采集不放源时的本底谱，进行谱分析，获取本底计数率 n_b 。

d) 由修正后的计数率($n_g - n_b$)除以注量率 φ ，得到 η 。

$$\eta = \frac{n_g - n_b}{\varphi} \quad (\text{D}\cdot 3)$$

e) 对于其它校准源，重复 a) ~ d) 步，得到探测器不同能量的有效前面积 η 。

D. 2 标准 γ 点源校准就地高纯锗谱仪角度修正因子

D. 2. 1 用标准 γ 点源校准探测器角响应因子 $R(\theta)$

校准高纯锗探测器角响应因子 $R(\theta)$ 的标准 γ 点源应与 D.1 相同, 一般包括 ^{241}Am 、 ^{133}Ba 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{152}Eu 等。

a) 尽可能远离探测器 (>10 探测器直径) 的固定长度放置标准点源, 在入射角 $\theta=0^\circ$ (垂直于探测器的正表面) 和 $\theta=90^\circ$ 之间, 每隔 10° 间隔测量净峰计数率 $N_f(\theta)$ 。

b) 用 $\theta=0^\circ$ 位置得到的计数率 N_0 去归一各角度的净计数率 $N_f(\theta)$, 得到相对响应 $N_f(\theta)/N_0$ 与角度 θ 的关系, 然后用多项式进行拟合。

$$R(\theta) = \sum_{i=0}^n k_i \times \cos \theta^i \quad (\text{D-4})$$

式中:

n —多项式的阶数, 量纲一的量, 一般情况下采用四阶多项式, 即 $n=4$;

k_i —拟合系数, 量纲一的量。

D. 2. 2 角度修正因子 W 计算

对于能量为 E 的 γ 射线, 高纯锗探测器的角度修正因子 W 用公式 (D-5) 进行计算。

$$W = \int_0^{\pi/2} \frac{\varphi(\theta)}{\varphi} \cdot R(\theta) d\theta \quad (\text{D-5})$$

式中:

$\varphi(\theta)$ — γ 射线注量率的角分布, 可以根据放射性核素在土壤中的分布计算出来, 详见附录 C;

θ —弧度, rad。

能量不同的的 γ 射线重复步骤 D.2.1 和 D.2.2 , 得到不同能量的角度修正因子 W 。

附录 E (资料性附录)

蒙特卡洛模拟方法计算就地高纯锗谱仪的有效前面积 η 和角度修正因子 W

蒙特卡洛方法能够准确地模拟粒子在物质中的输运过程,在处理复杂几何条件具有很大的优势。本附录提供了蒙特卡洛模拟计算高纯锗探测器的有效前面积和角响应的方法。

蒙特卡洛模拟计算的准确度取决于仿真计算模型与实际情况的一致性。因此,在构建几何模型前,用户需要获取探测器的准确材料组成和几何尺寸。一般情况下,用户虽然无法获得确切的探测器组件材料和几何尺寸,但能够根据所有已知的探测器组件信息和实验测量数据,构建一个合适的几何模型。

E.1 高纯锗探测器建模的准确度评估

以下步骤过程用于验证高纯锗探测器建模的准确度。

E.1.1 实验测量

a) 仪器与设备

- 1) 高纯锗谱仪: 见 5.1.1 所述的高纯锗谱仪。
- 2) 标准 γ 点源: 实验所用的标准 γ 点源都应可溯源至国家基准。标准点源的特征 γ 射线应至少涵盖低能、中能和高能区间,一般推荐使用 ^{241}Am 和 ^{152}Eu 标准点源。
- 3) 支架: 用于将放射源固定在固定位置的支架。该支架可在 0° 、 45° 和 90° 的方位角上固定,而且放射源与探测器之间的距离可准确获得。

b) 实验测量

- 1) 将标准 γ 点源固定在高纯锗探测器的支架上,分别在 0° 、 45° 和 90° 的方位角位置测量 γ 能谱。当感兴趣区全能吸收峰净计数的超过 10 000 时,停止测量(即计数统计涨落小于 1%)。
- 2) 在 90° 的方位角位置,与第一次测量位置相差 120° 和 240° 的极角的情况下,各重复测量下测量 γ 能谱一次。
- 3) 比较三次方位角 90° 的测量值。如果有任何一个测量值大于平均值的 5%,就应计算该探测器的径向偏移量,或者拒绝使用该探测器。若计算探测器的径向偏移量,则在后续的计算和测量中都应用偏移量的数值。
- 4) 解谱分析标准源 γ 射线的特征峰探测效率。

E.1.2 蒙特卡洛建模

a) 根据仪器制造商或其它方式获取的高纯锗探测器几何结构和材料信息,构建蒙特卡洛计算模拟模型,确保高纯锗晶体、探测器外壳、冷指孔、死层和其它外壳内的组件都得到恰当的建模;

注:除厂家提供尺寸外,还可以通过 X 射线透射成像、电子计算机断层扫描(CT)或 γ 射线

透射成像等获得晶体尺寸。

b) 根据实验测量的几何条件, 建立放射源、探测器、空气、支架及其它影响探测器效率的组建模型。

c) 利用蒙特卡洛模型程序计算标准点源各特征峰的全能吸收峰探测效率。尽量增加计算的粒子数或多次运行计算, 保证各能量点的标准偏差小于 1%。

d) 比较测量和模拟中得到的探测效率, 调整探测器的相关参数。保证最终模拟计算结果, 每个能量在各位置的相对偏差都在 5% 以内。

结合实验测量结果, 得到最终的高纯锗探测器模型。

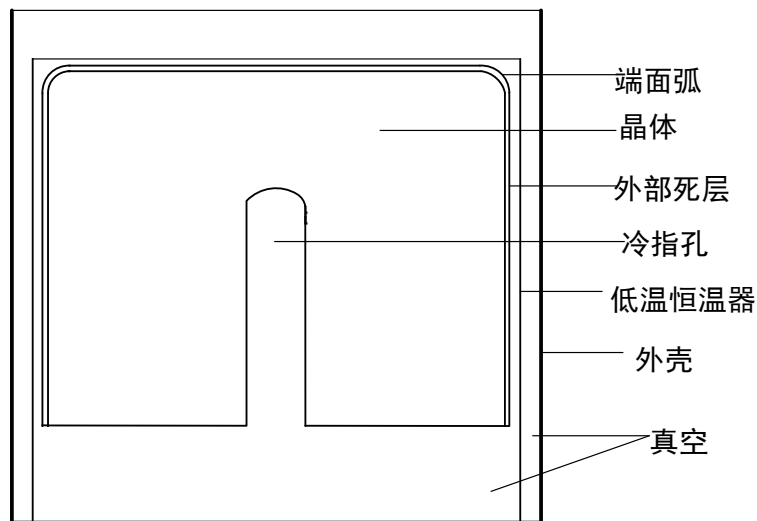


图 E.1 典型同轴 HPGe 结构示意图

E.2 蒙特卡洛模拟计算有效前面积 η

下面的步骤用于计算高纯锗探测器的有效前面积。只有经过 E.1 的步骤检验后, 下面的步骤才能够进行。

a) 建立平面源模型: 源平面与探测器的端面相平行; 平面源的形状和面积与探测器相同; 平面源位于探测器端面正前方; γ 射线是平行光束, 入射至高纯锗探测器端面。

b) 计算不同能量的 γ 射线探测效率, 能量范围涵盖低能、中能、高能区间。

c) 根据计算的探测效率与高纯锗探测器的灵敏面积相乘, 计算得到高纯锗探测器的有效前面积 η 。

E.3 蒙特卡洛模拟计算角响应因子

下面的步骤用于计算高纯锗探测器的角响应因子 $R(\theta)$ 。只有经过 E.1 的步骤检验后, 下面的步骤才能够进行。

a) 建立平面源模型: 平面源在探测器端面前方, 距灵敏体积的距离大于 $\sqrt{r^2 + h^2}$; 平面源所在平面的法向量与探测器端面法向量呈 θ 度角 (θ 角在 $180^\circ \sim 90^\circ$ 之间); γ 射线是平行光束, 从平面源平行入射至高纯锗探测器; 平面源在任意 θ 角位置探测器晶体上的投

影应大于探测器的面积。

- b) 计算不同能量的 γ 射线探测效率，能量范围涵盖低能、中能、高能区间。
- c) 根据计算的探测效率与平面源的面积，得到高纯锗探测器在 θ 角时平行 γ 射线单位注量率下的计数率 $(N_f)_\theta$ 。
- d) 依次改变平面源所在平面的法向量与探测器端面法向量的角度，在 $180^\circ \sim 90^\circ$ 之间角度间隔不大于 10° ，重新计算注量率 $(N_f)_\theta$ 。
- e) 根据计算得到的注量率 $(N_f)_\theta$ ，计算不同能量在各个角度注量率与 180° 角之比，得到 $(N_f)_\theta / (N_f)_{180^\circ}$ 。利用附录 D 中式 D-4，计算得到角响应因子 $R(\theta)$ 。
- f) 对于能量为 E 的 γ 射线，高纯锗探测器的角度修正因子 W 用附录 D 中式 D-5 计算得到。

能量不同的 γ 射线重复步骤 a) ~ f)，得到不同能量的角度修正因子 W 。

附录 F
(资料性附录)
就地高纯锗谱仪有效前面积 η 及角度修正因子 W 经验值

F.1 典型就地高纯锗谱仪的有效前面积校准 η

对于 P 型高纯锗谱仪，有效前面积 η 利用下式进行校准

$$\ln(\eta) = a - b \times \ln(E) \quad (F.1)$$

式中：

η —就地高纯锗谱仪的有效前面积， cm^2 ；

E — γ 射线的能量，MeV；

a, b —与探测器有关的拟合参数，可用式 F.2，F.3 计算。

$$a = 2.689 + 0.4996 \times \ln \varepsilon + 0.0969 \times (\ln \varepsilon)^2 \quad (F.2)$$

$$b = 1.315 - 0.02044 \times \varepsilon + 0.00012 \times \varepsilon^2 \quad (F.3)$$

式中：

ε —高纯锗谱仪的相对探测效率，量纲一的量。

F.2 典型就地高纯锗谱仪的角度修正因子 W

高纯锗探测器晶体长度为 L cm，直径为 D cm，可以根据长度与直径的 L/D ，参考图 F.1 和图 F.2 校准 P 型高纯锗谱仪的角度修正因子 W 。

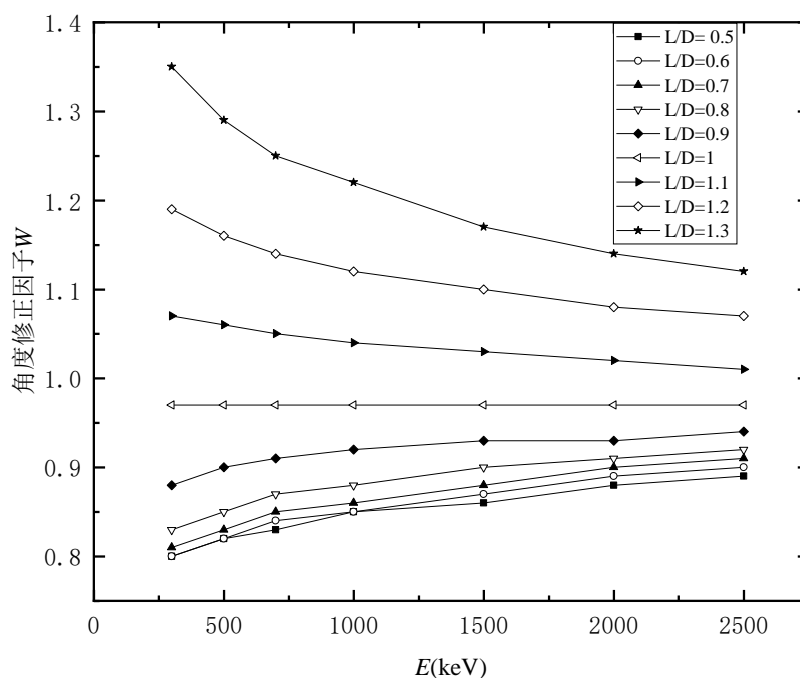


图 F.1 质量张弛深度 $\beta=0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 时，就地高纯锗谱仪的角度修正因子 W

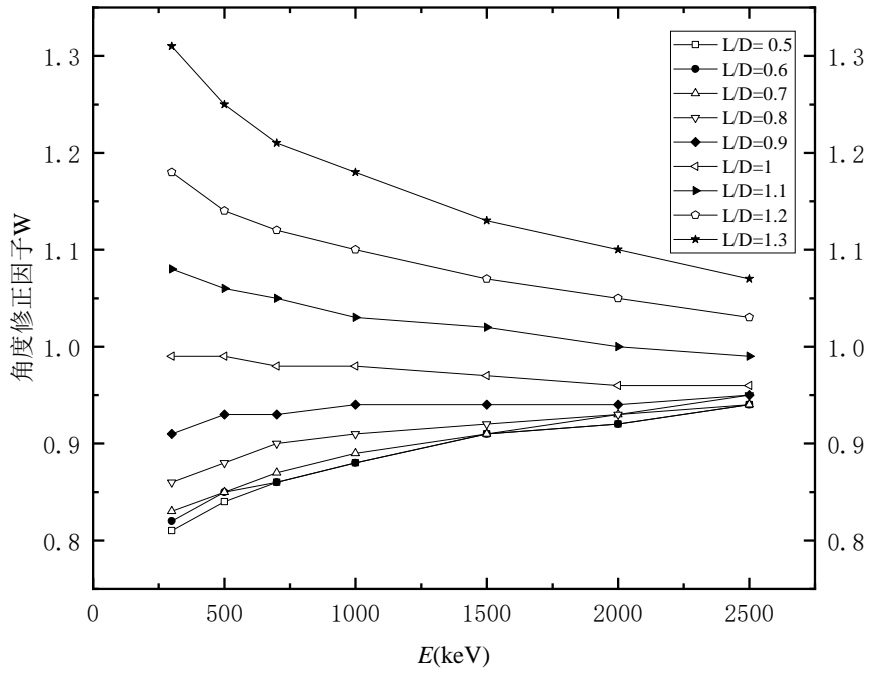


图 F-2 质量张弛深度 $\beta = \infty \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 时, 就地高纯锗谱仪的角度修正因子 W

注: 本附录数据引用 Irene K. Herlfer, Kevin M. Miller. Calibration for Ge Detectors Used for Field Spectrometry [J]. Health Physics, 1988, 55(1):15-29

附录 G
(资料性附录)
就地高纯锗谱仪测量土壤中 γ 核素活度浓度的影响因素

G.1 监测点位的选择

监测点位应尽可能地满足：

- a) 表面平坦（田野、牧场或草地），没有障碍物（树木、岩石、建筑）；
- b) 尽可能大（大于探测器的视阈）；
- c) 未经人为活动影响（尽管测量天然放射性核素不受人为活动的影响）；
- d) 地表以下没有非均匀的部分（凸出岩石）。

注 1：放射性沉降灰（人工放射性核素）受雨水冲洗后，在雨水浸泡后的区域进行测量会影响测量结果的准确度。

注 2：测量点位附近（即使在探测器的视阈之外）有较大的海拔高度变化（悬崖、河岸、山丘）也可能干扰测量结果的准确度。

注 3：在地表具有坡度的位置进行测量，降水会导致放射性沉降灰的分布不是均匀的，坡面处人工放射性核素的浓度较低，凹陷处人工放射性核素的浓度较高。

G.2 土壤表面粗糙度

土壤地表的粗糙度会影响探测器的视阈，因为地形的凸凹会影响后面的区域。对于质量张弛深度较小的情况，土壤表面粗糙度的影响更为显著。此时，质量张弛深度应当使用 $0.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，而不是 $0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ （用于理想的表面沉积情况）。

注：现实中，无法找到完全平坦的表面源；总是有植物、地面粗糙或少量放射性核素已经在土壤中扩散，对 γ 射线造成一定衰减。然而， $\beta = 0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 的取值可用于计算等效表面沉积量，等效表面沉积量与实际沉积量相比，总是低估的。

G.3 地表植被

地表的植被会屏蔽土壤中发射的 γ 射线，这可能导致被测核素的放射性核素活度被低估。植被表面沉积的放射性核素，可能会影响放射性核素在土壤中分布的理论模型。

G.4 放射性核素在平面上非均匀分布

在同一土壤深度，若放射性核素浓度是非均匀，则改变了测量几何条件。非均匀性的影响大小依赖于非均匀区域的尺寸，活度浓度，以及与探测器的相对位置。离探测器近的区域的影响较大，距离远的影响小。如果没有放射性核素在土壤分布信息，则无法对测量的 γ 能谱进行定量分析。

注：尽量避免雨后进行测量天然放射性核素。这是因为氦子体会随雨水降至地表，无准确的分布规律，无法定量分析 ^{222}Rn 子体 ^{214}Bi 和 ^{214}Pb 的活度浓度。这种情况下， ^{226}Ra 的活度浓度只能通过测量其自身衰变的 γ 射线而活度。

G.5 土壤中放射性核素的分布

放射性核素张弛深度 β 的选择测量结果有较强的影响, 须根据现场取样测量或经验值而估算。

G.6 土壤成分

低光子能量 ($E < 100 \text{ keV}$) 和质量张弛深度 ($\beta > 3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$) 时, 土壤成分和含水率对注量活度比影响较大。附录 C 提供的结果是假设土壤组分为: Al_2O_3 13.5 %; Fe_2O_3 4.5 %; SiO_2 67.5 %; CO_2 4.5 %; H_2O 10 %, 土壤密度为 $1.6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

G.7 其他源项贡献

土壤中之外的源项 (如探测器的视阈内放射源或大气中的放射性核素) 能会导致测量结果偏高, 若导致测量结果的偏差高于测量不确定度, 则无法对就地谱仪的能谱进行定量分析。当已知大气中放射性核素活度浓度时, 可以进行修正。

G.8 探测器高度

对于离地 1 m 高的探测器, 高度在 5cm 内的偏差不会对测量结果有显著的影响。

G.9 效率校准

探测器有效前面积和角度修正因子对测量结果的不确定度有显著的贡献。可以通过精确地放置校准源、足够长的测量时间或准确的蒙卡模型来减小这项不确定度。

G.10 强辐射场对测量设备的影响

土壤中放射性核素活度浓度较高时, 导致初级 γ 射线的注量率高, 影响就地高纯锗谱仪的死时间。单位时间内在探测器晶体内沉积的能量, 是与周围剂量率成正比的量, 可以作为一个限制参数。探测器可以在高至 $10 \mu\text{Sv h}^{-1}$ 的剂量率条件下进行定量测量, 大致对应的测量表面活度为:

对于沉积在地表的情况 ($\beta=0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$):

- 4 MBq m^{-2} 的 ^{137}Cs
- 1 MBq m^{-2} 的 ^{60}Co

对于在土壤中均匀分布的情况:

- 150 Bq g^{-1} 的 ^{40}K

对于在土壤中均匀分布的情况, 所有衰变子体处于平衡状态:

- 15 Bq g^{-1} 的 ^{238}U
- 9 Bq g^{-1} 的 ^{232}Th

注:本附录引用 ISO 18589-7 环境放射性的测量-土壤-第 7 部分: γ 核素的就地测量 (Measurement of radioactivity in the environment - Soil - Part 7: In situ measurement of gamma-emitting radionuclides)