

建材放射性检测结果显示软件开发

计算逻辑

1. 仅进行一次测量时输入内容

1.1 测量信息

例如：

镭 $A_1=83.439\text{Bq/kg}$ ，钍 $A_2=116.995\text{ Bq/kg}$ ，钾 $A_3=554.268\text{ Bq/kg}$

1.2 仪器信息

例如：

校准系数 镭 $a=0.916$ ，钍 $b=0.884$ ，钾 $c=0.961$

不确定度： $U_a=6.3\%$ ， $U_b=6.9\%$ ， $U_c=6.7\%$ ； $k=2$

1.3 样品信息

是建筑主体材料还是空心率大于 25%的建筑主体材料还是装饰装修材料

2. 计算

2.1 检测结果

$$\begin{aligned} I_{Ra} &= \frac{C_{Ra}}{200} = \frac{A_1 \times a}{200} = \frac{83.439 \times 0.916}{200} = 0.38 \\ I_r &= \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{260} + \frac{C_k}{4200} = \frac{A_1 \times a}{370} + \frac{A_2 \times b}{260} + \frac{A_3 \times c}{4200} \\ &= \frac{83.439 \times 0.916}{370} + \frac{116.995 \times 0.884}{260} + \frac{554.268 \times 0.961}{4200} = 0.73 \end{aligned}$$

2.2 计算不确定度

2.2.1 重复性不确定度 A 类 (u_A)

$$u_A(I_{Ra}) = 0$$

$$u_A(I_r) = 0$$

2.2.2 B 类不确定度(u_B)

校准系数不确定度

$$u_B(a) = \frac{U_a \cdot a}{k} = \frac{0.916 \times 6.3\%}{2} = 0.0289$$

$$u_B(b) = \frac{U_b \cdot b}{k} = \frac{0.884 \times 6.9\%}{2} = 0.0305$$

$$u_B(c) = \frac{U_c \cdot c}{k} = \frac{0.961 \times 6.7\%}{2} = 0.0322$$

2.2.3 计算灵敏系数

2.2.3.1 内照射指数灵敏系数

$$c_{A_1} = \frac{a}{200} = \frac{0.916}{200} = 0.00458 \text{kg/Bq}$$

$$c_a = \frac{A_1}{200} = \frac{83.439}{200} = 0.417$$

2.2.3.2 外照射指数灵敏系数

$$c_{A_1} = \frac{a}{370} = \frac{0.916}{370} = 0.00248 \text{kg/Bq}$$

$$c_a = \frac{A_1}{370} = \frac{83.439}{370} = 0.226$$

$$c_{A_2} = \frac{b}{260} = \frac{0.884}{260} = 0.00340 \text{kg/Bq}$$

$$c_b = \frac{A_2}{260} = \frac{116.995}{260} = 0.450$$

$$c_{A_3} = \frac{c}{4200} = \frac{0.961}{4200} = 0.000229 \text{kg/Bq}$$

$$c_c = \frac{A_3}{4200} = \frac{554.268}{4200} = 0.132$$

2.2.3 内照射指数和外照射指数标准不确定度

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{u_B^2}$$

$$u(I_{Ra}) = \sqrt{0 + [c_a \cdot u_B(a)]^2} = \sqrt{[0.417 \times 0.0289]^2} = 0.012$$

$$u(I_r) = \sqrt{[c_a \cdot u_B(a)]^2 + [c_b \cdot u_B(b)]^2 + [c_c \cdot u_B(c)]^2}$$

$$= \sqrt{[0.226 \times 0.0289]^2 + [0.450 \times 0.0305]^2 + [0.132 \times 0.0322]^2} = 0.016$$

2.2.4 内照射指数和外照射指数扩展不确定度

$$U = u \times 2$$

$$U(I_{Ra}) = u(I_{Ra}) \times 2 = 0.012 \times 2 = 0.024$$

$$U(I_r) = u(I_r) \times 2 = 0.016 \times 2 = 0.032$$

2.2.5 内照射指数和外照射指数相对扩展不确定度

$$U_r = \frac{U}{\bar{x}} \times 100\%$$

K=2

$$U_r(I_{Ra}) = \frac{U(I_{Ra})}{\bar{I}_{Ra}} \times 100\% = \frac{0.024}{0.38} \times 100\% = 6.3\%$$

$$U_r(I_r) = \frac{U(I_r)}{\bar{I}_r} \times 100\% = \frac{0.032}{0.73} \times 100\% = 4.4\%$$

K=1

$$U_r(I_{Ra}) = \frac{u(I_{Ra})}{\bar{I}_{Ra}} \times 100\% = \frac{0.012}{0.38} \times 100\% = 3.1\%$$

$$U_r(I_r) = \frac{u(I_r)}{\bar{I}_r} \times 100\% = \frac{0.016}{0.73} \times 100\% = 2.2\%$$

2.2.6 置信概率为 95%的真值区间

$$P_{2.5} = \bar{Y} - U(Y)$$

$$P_{97.5} = \bar{Y} + U(Y)$$

内照射指数

$$P_{2.5} = \bar{I}_{Ra} - U(I_{Ra}) = 0.38 - 0.024 = 0.36$$

$$P_{97.5} = \bar{I}_{Ra} + U(I_{Ra}) = 0.38 + 0.024 = 0.40$$

外照射指数

$$P_{2.5} = \bar{I}_r - U(I_r) = 0.73 - 0.032 = 0.70$$

$$P_{97.5} = \bar{I}_r + U(I_r) = 0.73 + 0.032 = 0.76$$

3. 分析判定

3.1 有效性判定

如果 $A_1 \cdot a + A_2 \cdot b + A_3 \cdot c \leq 37\text{Bq/kg}$ 时, 检测结果有效

如果 $A_1 \cdot a + A_2 \cdot b + A_3 \cdot c > 37\text{Bq/kg}$ 时且 $U_r(I_{Ra}) \leq 20\%$, 检测结果有效

3.2 临界值判定

3.2.1 建筑主体材料

如果检测结果有效, 检测结果真值区间是否包含极限值 ($I_{Ra} \leq 1.0$, $I_r \leq 1.0$), 如果不包含, 测量值小于极限值, 判定合格。否则判定不合格

3.2.2 空心率大于 25%的建筑主体材料

如果检测结果有效, 检测结果真值区间是否包含极限值 ($I_{Ra} \leq 1.0$, $I_r \leq 1.3$), 如果不包含, 测量值小于极限值, 判定合格。否则判定不合格

3.2.3 装饰装修材料

3.2.3.1 如果检测结果有效, 检测结果真值区间是否包含极限值 ($I_{Ra} \leq 1.0$, $I_r \leq 1.3$), 如果不包含, 测量值小于极限值, 判定符合 A 类。否则进行下一步。

3.2.3.2 不满足 A 类时, 检测结果真值区间是否包含极限值 ($I_{Ra} \leq 1.3$, $I_r \leq 1.9$), 如果不包含, 测量值小于极限值, 判定符合 B 类。否则进行下一步。

3.2.3.3 不满足 B 类时, 检测结果真值区间是否包含极限值 ($I_r \leq 2.8$), 如果不包含, 测量值小于极限值, 判定符合 C 类。如果测量值大于极限值, 则判定不合格, 不能用于建筑材料使

用。

3.2.4 检测结果真值区间包含极限值的判定

如果检测结果真值区间包含极限值，建议增加测量次数为 6 次。按以下步骤进行。

4. 进行 6 次试验输入内容

输入 6 次镭、钍、钾的测量结果+仪器信息+样品信息

5. 计算

5.1 计算镭、钍、钾的平均值、标准偏差和标准不确定度

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

式中：u 是标准不确定度；

S 是标准偏差；

n 是测量次数。

5.2 模拟实验

根据表 1 的结果进行随机抽样，按照（公式 1）和（公式 2）进行 10000 次迭代计算最佳估计值、标准偏差、95%概率下的真值区间、不符合概率。

$$I_{Ra} = \frac{A_1 \times a}{200}$$
（公式1）

$$I_r = \frac{A_1 \times a}{370} + \frac{A_2 \times b}{260} + \frac{A_3 \times c}{4200}$$
（公式2）

表 1 输入量概率分布表

Table 1 Input Probability Distribution				
输入量	平均值	不确定度	来源	概率分布
镭-226	A ₁ Bq/kg	u（A ₁ ） Bq/kg	测量重复性	正态分布
镭-226 校准系数 a	0. 916	6. 3%， k=2	校准证书	正态分布
钍-232	A ₂ Bq/kg	u（A ₂ ） Bq/kg	测量重复性	正态分布
钍-232 校准系数 b	0. 884	6. 9%， k=2	校准证书	正态分布
钾-40	A ₃ Bq/kg	u（A ₃ ） Bq/kg	测量重复性	正态分布
钾-40 校准系数 e	0. 961	6. 7%， k=2	校准证书	正态分布

6. 输出

6.1 样品编号、计算日期

6.2 内照射指数和外照射指数最佳估计值、95%置信区间, $k=1$ 时的相对扩展不确定度

6.3 95%置信概率下不符合概率