

常用建筑材料放射性检测样品平衡时间的研究

冯振超

佛山市禅城区建设工程质量安全检测站，广东佛山，528000；

摘要：建筑材料中所含的长寿命天然放射性核素，会放射 γ 射线，直接对室内构成外照射危害， γ 外照射危害的大小与建筑材料中所含的放射性同位素的比活度直接相关。本文以常见的无机非金属建筑材料花岗岩、瓷砖、砂子和粉煤灰作为研究对象，观察样品平衡时间和放射性水平的关系，得出这几种样品趋向平衡的时间用作检测参考。

关键词：放射性； γ 射线；比活度

DOI：10.69979/3029-2727.25.11.016

前言

国标 GB 50325-2020 规定，无机非金属建筑主体材料及其预制构件和无机非金属装修材料，必须符合 GB 6566-2010 的规定。建筑材料放射性核素限量的测量要求是，天然放射性衰变链基本达到平衡后，对平衡时间没有相应的规定，而且放射性衰变链基本平衡的范围也没有给出具体规定。本人结合多年的建筑材料放射性检测工作，探讨建筑材料制样后，需要处理的平衡时间以及达到平衡的状态。无机非金属建筑材料放射性检测样品在粉碎后和烘箱干燥后，需要在干燥器中平衡至稳定状态再进行检测，若平衡时间比理论平衡时间长，则浪费检测资源，若时间过短未达到平衡，则检测结果不能做到真实有效，所以梳理总结常用建筑材料的放射性样品检测需要的平衡时间很有必要。

1 检测仪器设备

FYZY-II 型矿石粉碎机（湖北方圆环保科技有限公司）；

LT500B/0.1g 电子天平（常熟市天量仪器有限责任公司）；

FYFS-2002F 低本底多道 γ 能谱仪（湖北方圆环保科技有限公司）；

$\phi 70\text{mm} \times 65\text{mm}$ Ra Th K 模拟土壤样品（中国原子能科学研究院）

2 检测原理

天然放射性核素会发射 α 、 β 和 γ 射线，利用 γ 射线的能量不同，在能谱中，全吸收峰的道址和入射 γ 射线的能量成正比，是定性应用的基础。全吸收峰的净峰面积与探测器相互作用的该能量的 γ 射线数成正比，是定量应用的基础。 γ 射线作用于 NaI 探头使晶体接受 γ 射线后产生的光电效应强弱和能谱的差异经线性放大和前级放大，可在记录仪表上显示出不同能谱的道址峰，

从这些特征峰道址位置和峰面积，就可以判断属于哪种核素及其放射性强度。

3 检测与分析

随机抽取样品两份，每份不少于 2kg。一份封存以作重复试验，另一份作为检验样品。将检验样品破碎，磨细至粒径不大于 0.16mm，粒径可以用规格为 0.16mm 的筛子来检定。粉碎好后，放入烘箱，在 80~120℃ 温度下烘 2h。称样品盒净重（精确至 0.1g），装入已烘的样品粉末，装满至盒内没有晃动为止，密封。再称重量，得出试样重量。装盒后密封静置，等试样稳定再进行测试。

开始测量前用 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 标准源刻度标准曲线和测试本底空白值。由于碘化钠晶体探头对环境的湿度较为敏感，为了保证试验的客观严谨，实验室用到抽湿机和空调控制试验环境的温度、湿度。标准源模拟土壤样品镭 Ra，钍 Th，钾 K 测量时间为 3000S，3000 S，5000S，本底空白的测量时间是 20000S。为保证一致性，以下样品均用同一刻度的曲线，且温度控制在 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ，湿度 60%±2 的环境条件下进行。

当样品中天然放射性衰变链基本达到平衡后，在与标准样品测量条件相同情况下，采用低本底多道 γ 能谱仪对其进行 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 活度测量，用活度与样品质量的比值得出比活度，再根据以下两式算出内、外照射指数，综合评价其放射性水平

内照射指数，按照式（1）进行计算：

$$I_{Ra} = \frac{C_{Ra}}{200} \quad \text{式 (1)}$$

式中： I_{Ra} —— 内照射指数；

C_{Ra} —— 天然放射性核素 ^{226}Ra 的放射性比活度，单位为贝克每千克 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)；

200 —— 仅考虑内照射情况下，放射性核素 ^{226}Ra 的放

射性比活度限量，单位为贝克每千克 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

外照射指数按照式(2)计算：

$$I_r = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{260} + \frac{C_K}{4200} \quad \text{式 (2)}$$

式中：

I_r —外照射指数

C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_K —分别为天然放射性核素 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的放射性比活度，单位为贝克每千克 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)；

370、260、4200—分别为仅考虑外照射情况下，天

然放射性核素 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 在其各自单独存在时本标准规定的限量，单位为贝克每千克 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)

以下分别以花岗岩、瓷砖、砂、粉煤灰作为样品测试，随着平衡时间的增加对其放射性参数进行持续检测，由于数据量较多，仅选取部分时间的数据作为分析。

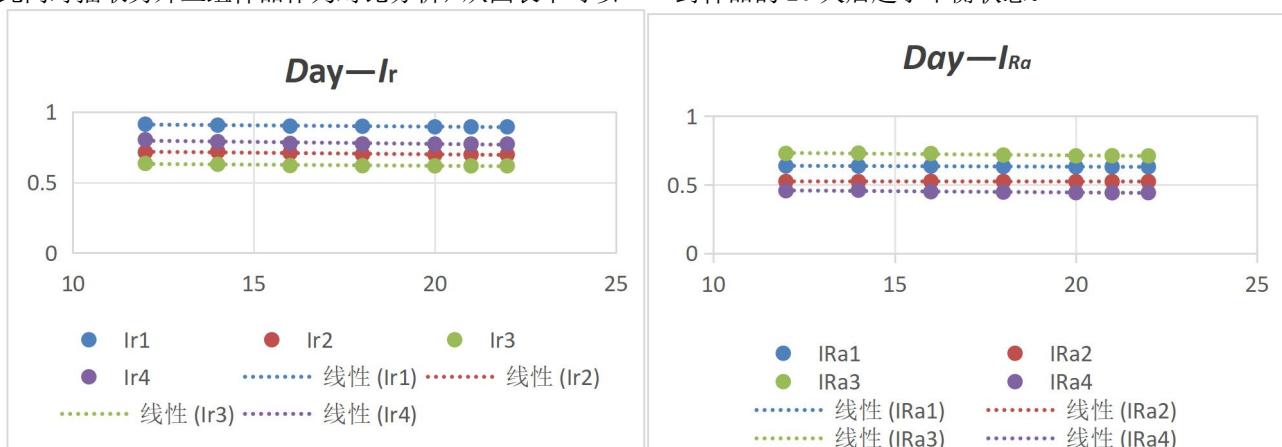
从表1中可以看出，367g的花岗岩粉碎样品从制样后20天基本达到平衡。按照GB 50325-2020规定，放射性限量内照射指数 $IRa \leq 1.0$ ，外照射指数 $Ir \leq 1.3$ ，本次试验的结果，考虑到修约对最终结果的影响保留了三位小数。

表1 花岗岩样品密封时间与内照射、外照射指数对照表

密封天数	Ra	CRa	Th	CTh	K	CK	内照射	外照射
	活度 Bq	Bq/kg	活度 Bq	Bq/kg	活度 Bq	Bq/kg	指数	指数
12	46.763	127.42	27.652	75.346	430.544	1173.144	0.637	0.913
14	46.669	127.163	27.321	74.444	425.371	1159.049	0.636	0.906
16	46.671	127.169	27.011	73.599	419.233	1142.324	0.636	0.899
18	46.414	126.469	26.995	73.556	420.549	1145.910	0.632	0.898
20	46.252	126.027	26.853	73.169	418.774	1141.074	0.630	0.894
21	46.253	126.030	26.822	73.084	419.911	1144.172	0.630	0.894
22	46.252	126.027	26.839	73.131	419.869	1144.057	0.630	0.894

上述试验为单一试验，不能代表样品的普遍性，对此同时抽取另外三组样品作为对比分析，从图表中可以

看出，花岗岩样品的内照射指数和外照射指数在制成密封样品的20天后趋于平衡状态。



瓷砖也是一种常见的无机非金属装饰材料，由于瓷砖是通过粘土或页岩等作坯料，来自土层更深更密实的页岩一般比粘土的辐射水平高，所以对瓷砖样品的放射

性抽检也是很有必要的。以下是358g的一个瓷砖样品在7~16天的放射性水平，从表2可以看出样品在平衡两周后，结果趋于稳定。

表2 瓷砖样品密封时间与内照射、外照射指数对照表

密封天数	Ra	CRa	Th	CTh	K	CK	内照射	外照射
	活度 Bq	Bq/kg	活度 Bq	Bq/kg	活度 Bq	Bq/kg	指数	指数
7	13.162	36.765	18.556	51.832	220.132	614.894	0.616	0.872
9	13.254	37.022	18.322	51.179	221.542	618.832	0.626	0.868
11	13.201	36.874	18.369	51.310	219.746	613.816	0.620	0.870
13	13.198	36.866	18.289	51.086	220.231	615.17	0.622	0.866
14	13.172	36.793	18.256	50.994	220.133	614.897	0.610	0.872
15	13.169	36.785	18.261	51.008	220.221	615.142	0.606	0.864
16	13.170	36.788	18.259	51.003	220.331	615.45	0.611	0.863

砂的用途涉及主体混凝土的细骨料、抹灰砂浆、砌筑砂浆等多个方面。砂的主要成分是二氧化硅，传统的建筑用砂为河床中天然冲蚀、风化形成的，由于河砂的枯竭，水洗海砂和机制砂成为现今建筑材料的主要用料。

表 3 砂样品密封时间与内照射、外照射指数对照表

密封天数	Ra	CRa	Th	CTh	K	CK	内照射	外照射
	活度 Bq	Bq/kg	活度 Bq	Bq/kg	活度 Bq	Bq/kg	指数	指数
1	3.124	7.95	2.167	5.51	99.531	253.26	0.04	0.103
3	3.269	8.32	2.345	5.97	99.164	252.32	0.042	0.106
5	3.187	8.11	2.289	5.82	99.644	253.55	0.04	0.105
6	3.255	8.28	2.333	5.94	99.548	253.3	0.041	0.106
7	3.285	8.36	2.358	6.00	99.495	253.17	0.042	0.106
8	3.266	8.31	2.360	6.00	99.682	253.64	0.042	0.106
9	3.270	8.32	2.359	6.00	99.512	253.21	0.042	0.106

粉煤灰属于工业废弃物，经开发利用，在建筑领域主要运用于混凝土的参和料。燃煤里含有天然放射性核素，经过燃烧放射性核素大部分不会散发，而是富集在残渣中，其放射性较高，在建筑材料放射性检测中需要重点监测。表 4 是 272g 粉煤灰样品随平衡时间增加的放射性水平变化的关系，粉煤灰的放射性平衡趋向性并

砂的粉碎过筛操作较为简单，在粉碎机中振捣 2 分钟基本能过 0.16mm 的筛网。表 3 反映的是一份 393g 的砂样品在一周之内的放射性水平，砂的放射性较为稳定，在密封一周以后基本稳定。

表 4 粉煤灰样品密封时间与内照射、外照射指数对照表

密封天数	Ra	CRa	Th	CTh	K	CK	内照射	外照射
	活度 Bq	Bq/kg	活度 Bq	Bq/kg	活度 Bq	Bq/kg	指数	指数
7	38.935	143.143	28.328	103.412	123.137	452.71	0.716	0.892
9	38.496	141.529	28.601	103.312	124.985	459.504	0.708	0.889
11	38.208	140.47	28.432	103.426	125.089	459.886	0.702	0.887
13	37.996	139.691	27.989	102.901	124.162	456.478	0.698	0.878
14	37.764	138.838	28.067	103.301	126.998	466.904	0.694	0.884
15	37.744	138.765	28.098	103.301	125.012	459.603	0.694	0.882
16	37.755	138.805	28.122	103.390	124.144	464.482	0.694	0.883
20	37.754	138.801	28.134	103.433	125.876	462.779	0.694	0.883
21	37.610	138.272	28.032	103.056	125.137	460.062	0.692	0.881
22	37.724	138.691	28.103	103.320	124.979	459.482	0.693	0.882

4 总结

从以上的四种建筑材料来看，花岗岩样品的放射性水平在平衡 20 天左右达到平衡状态，瓷砖和粉煤灰样品平衡两周即 14 天后达到平衡状态，砂子的放射性则在样品平衡 7 天之后。花岗岩自身带有一定的放射性核素钍 (Th)、铀 (U)、镭 (Ra)，在粉碎和烘烤之后，破坏原有的晶体结构，加速放射性气体如 ^{222}Ra 的逸出，其平衡的相对周期相较其它已经过物理加工和煅烧的建筑材料要长。瓷砖所用的高岭土和釉料等原料本身含有一定的放射性元素，其原料的加工可看作第一次的粗制样，对放射性水平有初步平衡的作用，所以从其平衡时间来看较岩石要短。粉煤灰虽然经过高温煅烧，且其粉末样品也达到其它样品的粉碎状态，直接过筛即可，但其成分复杂而且其蓬松状态导致其吸水能力极强，经

不像花岗岩、瓷砖和砂样品一样明显稳定，甚至会在平衡期间出现反复变化。但仔细观察数值，可以发现内照射和外照射指数，样品在密封两周后稳定，为保证严谨性将样品平衡至 20 天后在作对比，虽然数值有变化，但是相比 7~14 天的数值明显变化不大，且修约后对结果的影响可以忽略。

过烘箱干燥的样品质量减少 2%~5%，因此粉煤灰的平衡关键在于装样时的压实和在干燥的环境下进行平衡，其平衡时间需要两周。砂子的放射性水平较稳定，实测样品一周后数据基本不变，砂子成分与结构相对单一使其放射性比较稳定。

参考文献

- [1] 王喜元·民用建筑工程室内环境污染控制 [M]. 北京: 中国计划出版社, 2011. 63.
- [2] GB50325 民用建筑工程室内环境污染控制技术规范 [S]. 中国计划出版社, 2013, 4.
- [3] GB6566 建筑材料放射性核素限量 [S]. 中国标准出版社. 2010, 2-3.
- [4] 刘宏, 余燕. 建材中的放射性检测及研究 [J]. 湖南有色金属, 2000, 16 (3), 40.