三、结 论

1. 凉山州的天然放射性核素赋存于前震旦纪至白垩纪地层中,分布趋势是西部较高,东部较低. 主要分布在磷块岩、稀土矿、煤炭和铜矿铁矿中.

2. 凉山州土壤中的天然放射性核素含量按面积加权平均,铀镭钍钾-40Σβ分别为 34.9, 35.0, 56.0, 531.1 和 809.2 (Bq · kg⁻¹). 基带土壤红壤中核素含量均高.

3. 凉山州水体中天然放射性核素含量,河水中铀钍较高,温泉水中钾-40 较高,且与其它水体差异极显著. 西部雅砻江水系中铀镭钍的浓度分别是东南部金沙江水系的 88.4 倍, 3.6 倍和 60.3 倍.

4. 凉山州陆地 γ 辐射水平按测点平均原野为 7.19 × 10⁻⁸Gyh⁻¹,间接计算为 7.37 × 10⁻⁸Gyh⁻¹,两种方法结果较吻合. 道路和室内 γ 辐射水平分别为 6.97 和 10.56 × 10⁻⁸Gyh⁻¹. 水平分布上西部高东部低.

5. 凉山州居民所受天然 γ 辐射年集体有效剂量当量为 3.72 × 10³Man · Sv,所受天然贯穿辐射年有效剂量当量为 103.11 × 10⁻²mSv.

6. 凉山州陆地天然 γ 辐射水平和地表水体中天然放射性核素浓度在水平分布上均与地层岩石和土壤中天然放射性核素含量呈显著正相关.

致谢 州环监站朱建华、张建平同志参加了调查工作,州地质学会李济生工程师给予大力帮助,样品分析由四川大学完成并提供,一并感谢.

参 考 文 献

- [1] 曾宪丰,环境科学,8(1),67(1987).
- [2] NCRP Report, *Natural Background Radiation in the united states*, p.45,1975.
- [3] 强永刚等,环境科学,10(6),30(1989).
- [4] 刘英俊等,元素地球化学,第 216—236 页,科学出版社,北京,1984 年.

(收稿日期: 1990 年 3 月 13 日)

柳州地区建筑材料放射性水平及其致居民剂量

曾 宪 丰

(广西柳州地区卫生防疫站)

摘要 本文采用全国统一方法,检测了广西柳州地区常用建材中 ²²⁶Ra、²³²Th、⁴⁰K 的比活度. 以煤灰砖最高,石灰石最低. 比活度依次为煤灰砖>粘土砖≈土壤>水泥>灰砂砖>混凝土制品>石灰石. 经估算,煤灰砖致居民的有效剂量当量较大,为 3.98mSv · a⁻¹; 其它各种建材致居民的有效剂量当量在 0.23—1.01mSv · a⁻¹ 之间,低于、等于或略高于本底.

关键词 建材;柳州地区;放射性水平.

建筑材料(以下简称建材)中的放射性,是对人类造成天然照射的重要来源. 根据目前的条件和习惯,居民在室内与室外居留的时间份额分别约为 0.8 和 0.2. 而室内的放射性通常比室外高,如地球 γ 外照射水平,室内是室外的 1.5 倍^[1];造成内照射的主要因素——氡及其子体的浓度,一般室内高于室外. 可估计,天然本底辐射致人体的年有效剂量当量中大部分来自室内. 而室内的放射性水平主要与建材中的天然放射性核素含量有关. 为此,国内外防护部门和学者对此给予很大关注. 我国也于

1986 年发布了《建筑材料放射卫生防护标准》^[2],对建材的放射性进行限制.

为摸清柳州地区常用建材的放射性水平,以便作出评价,我们于 1988—1989 年对建材的放射性作了检测.

一、内 容 和 方 法

1. 建材成品堆表面 γ 照射量率测定

在面积 2 × 2m²,厚度大于 0.5m 的建材成品堆上,距表面 10cm 处,按梅花形五点取样法测定中心

和四角五点的 γ 照射量率。同时在离建筑物 20m 外的空旷地上,距地面 1m 处测当地本底 γ 照射量率。

测试仪器采用 FD-71A 型闪烁辐射仪,该仪器用标准镭源刻度。

2. 镭-226、钍-232、钾-40 比活度测定

(1) 采样 在成品堆上五点以上随机取样 1.5 kg,打碎混匀后,取其中 300g 代表性样品供分析用。

(2) 分析方法 ^{226}Ra 用闪烁射气法测定; ^{232}Th 用萃取-分光光度法测定; ^{40}K 用原子发射光谱法测定。

二、结果与讨论

1. 成品堆表面 γ 照射量率

表 1 列出了建材堆表面 10cm 处的 γ 照射量率实测结果,其中混合建材 γ 辐射值是根据本文拟合的三元回归方程推算而得。由表 1 可见,煤灰砖(用本地煤灰制作)的 γ 照射量率最高,这主要是煤灰砖的 ^{226}Ra 比活度明显地高于其它建材的缘故。成品建材表面 γ 照射量率依次为煤灰砖 > 粘土砖 > 土壤(粘土) $\approx$ 普硅水泥 $\approx$ 灰砂砖 > 混凝土制品 = 石灰石 ($P < 0.001$ 或 $P > 0.05$, 其中灰砂砖、石灰石样品数少,未作统计学处理)。

表 1 常用建筑材料的放射性水平(均值 $\pm$ 标准差)

建材类型	样品数	表面 γ 照射量率 ($\mu\text{R} \cdot \text{h}^{-1}$)	放射性核素比活度 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)			mRa	m γ	ECR_a $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($\text{Pci} \cdot \text{g}^{-1}$)
			^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K			
粘土砖	40	14.3 $\pm$ 2.6	99.6 $\pm$ 40.9	54.9 $\pm$ 18.2	425.3 $\pm$ 256.0	0.50 $\pm$ 0.20	0.60 $\pm$ 0.15	205.0(5.54)
普硅水泥	14	11.3 $\pm$ 3.0	77.0 $\pm$ 59.3	32.4 $\pm$ 20.6	107.4 $\pm$ 73.7	0.39 $\pm$ 0.30	0.37 $\pm$ 0.26	127.1(3.44)
混凝土制品	6	5.4 $\pm$ 0.9	27.9 $\pm$ 12.6	12.3 $\pm$ 4.2	137.4	0.14 $\pm$ 0.07	0.16 $\pm$ 0.09	55.2(1.50)
煤灰砖	2	31.3	374.2	55.1	526.4	1.87	1.41	488.9(13.2)
灰砂砖	1	10.1	60.7	20.2	180.0	0.30	0.30	101.4(2.74)
土壤	4	10.6	52.4	69.6	310.2	0.26	0.49	166.8(4.51)
河砂	1	6.2	31.0	20.2	346.2	0.16	0.25	86.2(2.33)
石灰石	1	5.3	14.4	1.4	未检出	0.07	0.05	16.2(0.44)
石灰	1		14.5	2.9	未检出	0.07	0.05	18.2(0.49)
混合建材		12.4	63.0	34.4	327.7	0.32	0.39	134.2(3.62)

所检测的 64 份建材成品(其中有一份水泥砖)和所有粘土,其表面 γ 照射量率大于(10 + 本底) $\mu\text{R} \cdot \text{h}^{-1}$ 的有 5 份,其中两份仅高出 0.1 $\mu\text{R} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

2. 建材的放射性比活度

本地区常用建材的放射性比活度如表 1 所示。其中混合建材的比活度是根据我国住房混合建材的平均百分比(粘土砖 46.5%、水泥 5.1%、石灰 3.2%、砂 34.8%、碎石 10.4%)^[3] 及其比活度计算而得。

(1) 比活度以煤灰砖最高,其 ^{226}Ra 是我国粘土砖典型值和世界典型值(均为 $50 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[3] 的 7.5 倍。使用最多的粘土砖,其 ^{226}Ra 比活度比典型值高近 1 倍, ^{232}Th 、 ^{40}K 则与典型值(分别为 50 和 $500 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$) 一致。混合建材 ^{226}Ra 略高于典型值。其它建材各种放射性核素的比活度一般低于典型值。

除石灰石和石灰外,同一建材的放射性核素比活度以 ^{40}K 最高, ^{232}Th 最低。

同一种放射性核素在不同建材中的含量不尽相同,如 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的最高值分别是最低值的 26、49.7 和 4.9 倍。其趋势是: ^{226}Ra 为煤灰砖 > 粘土砖 $\approx$ 水泥 $\approx$ 土壤 > 混凝土制品 ($p < 0.01$ 或 $p > 0.05$; 粘土砖与土壤 $p < 0.05$); ^{232}Th 为土壤 > 煤灰砖 = 粘土砖 > 水泥 > 混凝土制品 ($p < 0.01$ 或 $p > 0.05$); ^{40}K 为煤灰砖 > 粘土砖 > 土壤 > 水泥 $\approx$ 混凝土制品 ($p < 0.01$ 或 $p > 0.05$)。

(2) 为了比较不同类型建材的相对 γ 放射性,计算了其平均镭当量值 ($\text{ECR}_a, \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$) 于表 1。计算模式^[4]为:

$$\text{ECR}_a = C_{\text{Ra}} + 1.26C_{\text{Th}} + 0.086C_{\text{K}}$$

式中, C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_{K} 分别为建材中 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的比活度 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

可见,柳州地区建材的 ECR_a 值变化在 16.2—488.9 $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ (0.44—13.2 $\text{pCi} \cdot \text{g}^{-1}$) 之间,以煤灰砖最高,是最小值的 30 倍,是我国粘土砖典型值

(155.8Bq·kg⁻¹)的 3.13 倍。其它建材的 EC_{Ra} 值上限为 205.0Bq·kg⁻¹，其中大部分低于典型值。凡以石灰石和以其为主要原料的建材，其比活度和 EC_{Ra} 值均很低。EC_{Ra} 值的变化趋势为煤灰砖>粘土砖≈土壤>水泥>混凝土制品 (p<0.01 或 p>0.05)。

(3) 建材放射性的内、外照射指数 内照射指数 (m_{Ra}) 和外照射指数 (m_r) 是评价建材放射性是否超标的依据,限制式规定其值均应≤1^[2]。计算式为:

$$m_r = A_{Ra}/350 + A_{Th}/260 + A_K/4000;$$

$$m_{Ra} = A_{Ra}/200$$

式中, A_{Ra}、A_{Th}、A_K 分别为 ²²⁶Ra、²³²Th、⁴⁰K 的放射性比活度 (Bq·kg⁻¹)。

本调查除煤灰砖的 m_{Ra} 和 m_r 均大于 1 外,其余建材的平均值为 m_{Ra}0.07—0.50; m_r0.05—0.60, 与我国常用建材的相应变化^[3]基本一致。

作比活度测定的 63 份样品中,有两份煤灰砖和一份水泥的 m_{Ra}、m_r 均大于 1, 另有一份粘土砖 m_{Ra}>1, 总的超标率为 6.3%。

3. 建材比活度与表面 γ 照射量率的关系

(1) 建材堆表面的 γ 空气照射量率, 是距其表面 10cm 处测定的。关于建材比活度与其表面 10cm 处的 γ 照射量率的关系, 笔者根据 40 份粘土砖样品的放射性比活度和砖堆表面 10cm 处的 γ 空气照射量率实测值, 应用多元线性回归分析方法, 拟合出三元线性回归方程:

$$\dot{D} = (7.67 + 0.03C_{Ra} + 0.018C_{Th} + 0.002C_K) \times 10^{-9} \quad (1)$$

式中, $\dot{D}$ 为建材堆表面 10 cm 处的 γ 空气吸收剂量

率 (Gy·h⁻¹), C 为比活度 (Bq·kg⁻¹)。

经对式(1)作方差分析, p<0.01。可认为这是较理想的回归方程。它表明了比活度与表面 γ 空气吸收剂量率的数量关系, 因此根据建材的比活度, 就能方便地估算出其表面 10 cm 处的 γ 辐射水平, 为实际工作提供了方便。笔者用式(1)对广西粘土砖的 γ 辐射水平进行推算, 结果与实测值很吻合。对于水泥成品, 推算值与实测值也吻合得较好。

(2) 粘土砖表面与其原料粘土(占 88%)、内燃煤(占 12%)表面的 γ 辐射水平的数量关系, 如下式所示:

$$\dot{D} = (3.67 + 0.6878D_1 + 0.1336D_2) \times 10^{-8} \quad (2)$$

$\dot{D}$ 为粘土砖表面 γ 空气吸收剂量率 (Gy·h⁻¹) 的估算值, $\dot{D}_1$ 、 $\dot{D}_2$ 分别为粘土砖、内燃煤表面的 γ 空气吸收剂量率 (μrad·h⁻¹, 由照射量率换算而得) 的实测值。式中斜率(0.6878)较大, 可以认为在上述原料配比和原料表面 γ 辐射水平已定的情况下, 粘土是影响砖表面 γ 辐射水平的主要因素。

4. 建材放射性致居民的年剂量当量估算

根据建材的比活度和氡的释出率^[3], 估算了由建材给居民造成的内、外照射年有效剂量当量 (H_{E内} 和 H_{E外} mrem·a⁻¹) 如表 2 所示, 计算式^[3]为:

$$H_{E外} = 9.777A_{Ra} + 14.06A_{Th} + 0.775A_K;$$

$$H_{E内} = 311.4A_{Ra} \cdot \eta.$$

式中, A_{Ra}、A_{Th}、A_K 分别为 ²²⁶Ra、²³²Th、⁴⁰K 的放射性比活度 (pCi·g⁻¹), η 为建材中氡的释出率 (%)。

可见, 以混凝土制品、普硅水泥, 石灰石为建材建造住宅, 所致的剂量很小, 低于世界典型比活度建

表 2 各种建材致居民室内、外照射年有效剂量当量 (mSv·a⁻¹)

建材类型	氡释出率 (η, %)	年有效剂量当量			附加年有效剂量当量		
		H _{E内}	H _{E外}	小计	H _{E内}	H _{E外}	小计
粘土砖	3.3	0.276	0.560	0.836	0.026	0.130	0.156
煤灰砖	8.5	2.677	1.309	3.986	2.427	0.879	3.306
混凝土制品	6.1	0.143	0.149	0.292	-0.107	-0.281	-0.388
灰砂砖	11.6	0.593	0.275	0.868	0.343	-0.155	0.188
普硅水泥	3.8	0.246	0.349	0.595	-0.004	-0.081	-0.085
石灰石	15.2	0.184	0.043	0.227	-0.066	-0.387	-0.453
土壤	12.2	0.539	0.468	1.007	0.289	0.038	0.327
混合建材	6.2	0.328	0.365	0.693	0.078	-0.065	0.013

材所致的内、外本底照射^[1] ($H_{B外} = 0.43 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$, $H_{B内} = 0.25 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$)。混合建材所致剂量与本底相当, 煤灰砖致内、外附加辐射剂量均较大, 超过附加剂量限值^[1] ($2 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$)。其余建材所致的附加剂量不大。

5. 调查检测了本地区 10 个县、市 90% 以上的建材生产企业的成品, 木板除外, 因木板的放射性通常很低。由上述结果, 可认为柳州地区目前使用的建材, 除煤灰砖和个别水泥、粘土砖外, 其放射性都较低, 符合国家标准, 用以建造住宅对居民所致的剂量近于甚至低于本底水平, 是安全的。然而, 对掺煤灰的建材, 如粘土砖、水泥等, 应选用放射性低的燃煤, 并限制其掺入量, 以保证建材成品的比活度低于限值。煤灰砖所致的附加剂量较大, 超过限值 0.65 倍, 不宜用于建造住宅和公共生活用房, 对其生产和使用应加强管理。

三、小 结

1. 柳州地区常用建材的放射性比活度, 以煤灰砖最高, 超过限值, 其中主要是 ^{226}Ra 比活度过高。石灰石和以其为主料的建材的比活度最低。除煤灰砖和个别粘土砖、水泥外, m_{Ra} 和 m 的平均

值在 0.07—0.50 和 0.05—0.60 之间, EC_{Ra} 值在 16.2—205.0 $\text{Bq} \cdot \text{Kg}^{-1}$ 之间, 其比活度符合国家标准。

2. 建材致居民的内、外照射附加剂量以煤灰砖最高, 超过限值, 不宜用于建造住宅和公共生活用房。石灰石和以其为主料的建材所致的剂量低于本底。其他建材所致剂量则等于或略高于本底水平, 未造成明显的附加照射。

致谢 建材放射性核素比活度由广西区卫生防疫站放射卫生科检测; 本站欧杰、陈汉德、江耀安同志参加部分外照射测定, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 王其亮等, 中华放射医学与防护杂志, 5(增刊), 74 (1985).
- [2] 中华人民共和国国家标准, 建筑材料放射卫生防护标准, GB6566-86。
- [3] 孙性善等, 中华放射医学与防护杂志, 6(5), 289 (1986).
- [4] 潘郁燕, 中华放射医学与防护杂志, 6(6), 413 (1986).

(收稿日期: 1990 年 4 月 24 日)

(上接第 27 页)

毒的天然高分子 F_{691} 粉接上活性基团而制成的。从本质上讲, 它的原料是极其便宜的, 接枝聚合也简单, 活性基团便宜易得, 催化剂又是采用 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$, 可见接上活性基团这一步也是便宜的。另外, 它的投加量很少, 仅为 PAM-C、DG-II 型的一半左右。所以, 使用 SFC 在经济上是可行的。

三、结 论

1. 阳离子絮凝剂 SFC 具有分子量大、正电荷密度高等特点。作为高岭土溶液的澄清剂, 它具有用量少, 形成的团絮大, 沉降速度快, 剩余浊度低等长处。因此, 它可作为水处理的澄清剂与无机污泥的脱水剂。

2. 投加相对于干污泥 0.5% 的 SFC, 在 0.4 bar 的真空度下过滤, 污泥的含水率由 99.5% 降至 75%。污泥体积降至原来的 1/

50, 燃烧热值增大 70 倍, 比阻下降 1 倍多, 而且泥饼的剥离性能好, 滤液澄清度高。脱水性能优于国产的阳离子型聚丙烯酰胺絮凝剂 (PAM-C)、可与日本产 DG-II 型污泥脱水剂相媲美。可见是一种很好的且值得推广的污泥脱水剂。

3. SFC 的保存性能好, 使用时稀释容易。

4. SFC 本身是一种天然高分子物质, 污泥进行焚烧处理时, 它不会引起残灰量的增大。

参 考 文 献

- [1] 顾夏声等, 水处理工程, 第 242 页, 清华大学出版社, 北京, 1985 年。
- [2] 哈尔滨建筑工程学院编, 排水工程(下), 第 147 页, 中国建筑工业出版社, 北京, 1981 年。

(收稿日期: 1990 年 1 月 10 日)

Effects of Fluorides on Subcells. Wang Ying-yan (Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection): *Chin. J. Environ. Sci.*, **12**(1), 1991, pp. 69—74

This article reviews the effects of fluorions on various subcellular systems: enzyme, collagen, chromosone, mitochondria, membrane and the system in synthesis.

Key Words: fluoride, subcell, effect.

A Research on the Formulas of the Integrated Assessment of Environmental Quality. Li Ren-lei (Harbin University of Science and Technology, Harbin): *Chin. J. Environ. Sci.*, **12**(1), 1991, pp. 75—79

This paper makes a comparison of the formulas which have been already applied on the regional integrated assessment of environmental quality, i. e. indexization. Ten or less assessing factors are chosen in a region and each one will be divided into six grades. By the equal dividing indexization, a score is given for each factor, from which pollution situation is thus evaluated, and the integrated goal is ascertained.

Key Words: integrated assessment, environmental quality, indexization.

Integrated Assessment of Boiler Flue Gas on Air Quality Using Sulfur Dioxide and Total-Suspended Particulate (TSP) as Control Factors. Dai Ji-sen et al. (Division of Sanitary Science, Hunan Medical University, Changsha): *Chin. J. Environ. Sci.*, **12**(1), 1991, pp. 79—82

This article presents a case study in which SO₂ and TSP were used as control factors for assessing the impact of boiler flue gas on air quality. Conventionally, the pollutant SO₂ appears to be the only factor in the assessment concerned, however, smoke dust pollution will always be neglected. So, it has been showed in the case study that combining SO₂ with TSP in the assessment was of much accuracy.

Key Words: sulfur dioxide, total suspended particulate, boiler flue gas.

An Investigation on Natural Radioactive Levels and Their Distribution in Liangshan Region, Sichuan Province. Tang Wen-hao (Liangshan Prefectural Monitoring Station of Environmental Protection, Sichuan Province): *Chin. J. Environ. Sci.*, **12**(1), 1991, pp. 82—86

By means of radioactive chemical analysis and FT-620 environmental γ -radiation dosimeter, natural radionuclides in rocks of the earth's crust series, mines, soil and water were investigated in Liangshan region. Moreover, the indoor and outdoor γ -radiation doses in air and cosmic ray were also detected. On these basis, the background levels of natural radiation in the environment and their distribution have been investigated, the radiative doses absorbed by local residents evaluated, and the mutual relationship discussed.

Key Words: natural radioactive levels, distribution, Liangshan region of Sichuan Province.

The Levels of Radioactivity in Building Materials and Its Sendout to Local Resident in Liuzhou Area. Zeng Xianfeng (Station of Sanitation and Antiepidemic Station of Liuzhou Prefecture, Guangxi Zhuang Autonomous Region): *Chin. J. Environ. Sci.*, **11**(6), 1990, pp. 86—89

Reported in this paper is an investigation on radioactive levels in building materials, from which the doses accepted by local residents were estimated in Liuzhou area, Guangxi Zhuang Autonomous Region. It has been found that the specific activity (²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K) in coal-slag-made bricks is the highest, exceeding the limit value, and that of limestone is the lowest. The radioactive levels in order are coal-slag-made brick > clay brick $\approx$ earth > cement > concrete products > limestone. It has been estimated that the effective dose equivalent to the local residents from coal-slag-made bricks is 3.98 mSv/a, and those from other building materials are 0.23—1.01 mSv/a, equal to or slightly higher than background level.

Key Words: radioactive level, building materials, Liuzhou area.

Manual Method for Retrieval of the Literature of Environmental Science and Technology.

Xue Gu-wen (Shandong Professional College of Hydraulic Engineering, Tai'an): *Chin. J. Environ. Sci.*, **12**(1), 1991, pp. 90—92

Considering the lack of computer-retrieving system on professional literature at vast majority of libraries in China, a manual method for retrieving the literature of environmental science and technology has been presented in this article, in which some reference books and serial publications at home and abroad are introduced. It has also been discussed how to find out the ways and steps in retrieving the data and informative books concerned by the professionals' own hands.

Key Words: manual method, retrieval of literature, environmental science and technology.