

· 解析评价 ·

# 成都市土壤天然放射性核素的外照射水平估算研究

刘合凡, 曾兵, 侯克斌, 葛良全

(成都理工大学地球核技术四川省重点实验室, 四川 成都 610059)

**摘要:**利用 IED 22000 A 便携式微机多道能谱仪对成都市区土壤的天然放射性核素进行了直接就地测量, 估算出天然环境放射性核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$  的比活度范围分别为 10.37 ~ 77.19 Bq/kg、17.85 ~ 225.74 Bq/kg、284.83 ~ 892.67 Bq/kg; 外照射指数范围为 0.16 ~ 0.8; 离地面 1 m 高的空气吸收剂量率均值为 83.23 nGy/h;  $\gamma$  外照射年有效剂量当量为 0.34 ~ 0.70 mSv; 等效镭浓度的变化范围是 59.06 ~ 386.45 Bq/kg, 均值为 164.15 Bq/kg。各项指标均在容许范围之内, 因而成都市属于外照射水平的安全区域, 人居环境不受影响。

**关键词:**天然放射性核素; 外照射指数; 等效镭浓度

中图分类号: X125

文献标识码: A

文章编号: 1674 - 6732 (2009) 02 - 0037 - 04

## Estimation of Natural Terrestrial External Exposure Levels of Nuclides in Soils in Chengdu

LIU He-fan, ZENG Bing, HOU Ke-bin, GE Liang-quan

(College of Nuclear Technology & Key Laboratory of Applied Nuclear Techniques in Geosciences, Chengdu, Sichuan, 610059, China)

**ABSTRACT:** Direct and In situ measurement of natural terrestrial external exposure levels of nuclides from soils in Chengdu was taken using the IED22000A, a portable microcomputer multi-channel spectrometer. It was estimated that the specific activity of radio nuclides  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  was between 10.37 ~ 77.19 Bq · kg<sup>-1</sup>、17.85 ~ 225.74 Bq · kg<sup>-1</sup> and 284.83 ~ 892.67 Bq · kg<sup>-1</sup>; the external hazard index was between 0.16 ~ 0.8. The average air absorbed dose rate measured 1 m above ground, was 83.23 nGy · h<sup>-1</sup>. The annual effective dose in  $\gamma$  external exposure was between 0.34 ~ 0.70 mS. The radium equivalent activity was between 59.06 ~ 386.45 Bq · kg<sup>-1</sup>, and its averaged value was 164.15 Bq · kg<sup>-1</sup>. The indicators were in the permissible range. The levels of external exposure in Chengdu stayed in safety range and had no adverse impact on people's living environment.

**KEY WORDS:** radionuclide; external hazard index; the radium equivalent activity

天然放射性辐射环境是人类生存环境的重要组成部分, 随着社会的进步与发展, 资源与环境日渐成为人们关注的热点。土壤是植物生长的基础, 是万物生长之源, 但土壤也是环境中放射性污染物的主要来源<sup>[1]</sup>。陆地辐射跟区域的地质、降雨、人类活动等均有关系<sup>[2]</sup>, 但一定区域内的天然本底辐射水平则是由岩石和土壤中的放射性元素所决定的(如  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$ )<sup>[3]</sup>。因此, 研究城市土壤放射性污染对保护环境和人体健康具有重要意义。

倾, 平均坡度仅 3‰ ~ 10‰, 地表相对高差都在 20 m 以下。成都市东西长 92 km, 南北宽 148 km, 面积约 1 290 km<sup>2</sup>。辖区西北部为龙门山区, 东南为龙泉山区, 腹地为平原, 平原与山地间分布有浅丘台地。龙门山区为浅覆盖、深切切割区或基岩裸露区, 龙泉山区为浅切割、浅覆盖地区, 平原区为深覆盖地区。除龙门山基岩裸露区外, 全市土壤是以第四系、第三系、侏罗系、白垩系母岩为基础发育而成的, 主要有水稻土、紫色土、黄土、棕壤等主要土壤类型<sup>[4]</sup>。

### 1 成都地理概况

成都市是四川省工农业、政治、经济、文化中心, 位于四川省中部, 四川盆地西部, 成都平原腹地。成都市地跨东经 102°55' ~ 105°53', 北纬 30°6' ~ 31°26', 海拔 450 ~ 750 m, 地势平坦, 由西北向东南微

收稿日期: 2009 - 05 - 31; 修订日期: 2009 - 06 - 03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40774063)

作者简介: 刘合凡(1983—), 男, 湖北黄石人, 硕士研究生, 研究方向: 运用核科学技术、应用地质研究、环境调查等。

2 理论基础及测量保证体系

2.1 理论基础

假定在有效探测范围内,  $^{238}U$ 、 $^{232}Th$ 、 $^{40}K$  的分布均匀且  $^{238}U$ 、 $^{232}Th$  系列处于放射性平衡状态, 则地表介质的放射性水平参数可根据地表介质中铀、钍、

钾的含量估算出来, 表 1 列出了岩石或土壤中天然放射性元素含量与放射性核素比活度、地-空界面上空气中  $\gamma$  射线照射量与辐射剂量之间的转换系数<sup>[5]</sup>。该方法的剂量率不确定度主要取决于活度测定的不确定度, 以及地表土壤中核素分布的均匀性。

表 1 岩石或土壤中天然放射性元素含量与放射性核素比活度、地-空界面上空气中  $\gamma$  射线剂量当量的转换系数

土壤中放射性元素		放射性核素比活度转换系数		距地表 1 m 空气中 $\gamma$ 射线照射量率和辐射剂量之间的转换系数	
元素	质量分数	核素	比活度转换系数 /(Bq · kg <sup>-1</sup> )	照射量率 /[10 <sup>-4</sup> C · (kg · s) <sup>-1</sup> ]	吸收剂量率 /[10 <sup>-6</sup> Gy · s <sup>-1</sup> ]
U	1 × 10 <sup>-6</sup>	$^{238}U$ ( $^{226}Ra$ )	12.35	1.68	1.576
Th	1 × 10 <sup>-6</sup>	$^{232}Th$	4.06	0.740	0.693
K	1 × 10 <sup>-6</sup>	$^{40}K$	313	3.883	3.633

为了评价研究区内的居民周围环境中土壤岩石中的  $\gamma$  辐射是否超标, 需要计算该区域的外照射指数。外照射指数是指建筑材料产品中的放射性核素  $^{238}U$ 、 $^{232}Th$ 、 $^{40}K$  的比活度对居民所造成的外照射程度, 以此来评价居民所受到的外照射风险程度。按照《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566—2001), 居民环境中的放射性核素  $^{238}U$ 、 $^{232}Th$ 、 $^{40}K$  的比活度所贡献的外照射指数为:

$$I_r = C_{Ra}/370 + C_{Th}/260 + C_K/4200 \quad (1)$$

式中:  $C_{Ra}$ 、 $C_{Th}$ 、 $C_K$  分别为  $^{238}U$ 、 $^{232}Th$ 、 $^{40}K$  的放射性核素比活度, Bq/kg。

根据环境天然放射性水平评价的要求, 可利用环境天然  $\gamma$  辐射剂量率对当地居民产生的年有效剂量进行估算。年有效剂量也是评价放射性核素  $\gamma$  辐射外照射的一个重要指标, 计算公式 (UNSCEAR, 2000) 为:

$$D_{aed} = D \times 8760 \times a_1 \times a_2 \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中:  $D$ ——离地表 1 m 高处空气的  $\gamma$  辐射吸收剂量率, nGy/h;

$a_1$ ——居民的平均居留因子, 室外、室内分别为 0.2, 0.8;

$a_2$ ——大气中吸收剂量转换成年有效剂量的换算系数, 这里采用 0.7 Sv/Gy。

由于土壤中的放射性核素铀、钍、钾分布的非均衡性, 一般将材料中的铀、钍、钾的放射性核素比活度换算成等效镭浓度作为衡量辐射暴露的指标。根据国家质量技术监督局对建筑材料产品及建材

用工业废渣中放射性物质控制的要求, 等效镭浓度  $Ra_{eq} < 370$  Bq/kg (GB 6763—2000)。等效镭浓度可用下式计算<sup>[6]</sup>:

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43C_{Th} + 0.07C_K \quad (3)$$

式中字母的意义同式(1)。

2.2 测量方法及质量保证体系

根据成都市 1:50 000 的地形图选择所测量的范围控制为外环路以内约 680 km<sup>2</sup>, 地理坐标: 东经 103°55′—104°13′, 北纬 30°33′—30°47′。

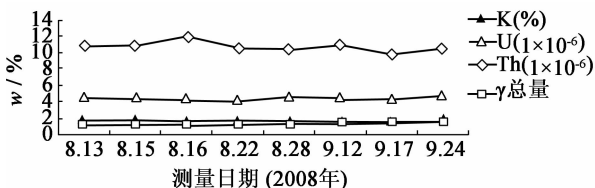
测量仪器采用成都理工大学研制的 IED 2000 A 便携式微机多道能谱仪。仪器的主要技术指标为: NaI 闪烁计数器,  $\phi 75$  mm × 75 mm; 能量分辨率 < 9% ( $^{137}Cs$  0.661 MeV 光电峰); 1 024 道, 每道计数容量为 65 535; 总能区 A: 30 ~ 2 810 keV; K 道能区: 1 370 ~ 1 565 keV; U 道能区: 1 600 ~ 1 800 keV; Th 道能区: 2 420 ~ 2 810 keV。仪器的照射量率用已知活度的点状镭源刻度, 含量刻度在铀、钍、钾饱和模型(国家一级模型站)上完成。测量用 GPS 定位, 要求误差  $\pm 15$  m。

地质描述和环境观测录入掌上电脑。掌上电脑记录的选项内容, 根据工作区地质、环境等实际情况, 进行规范化描述。

全程测量基本遵循网格布点原则, 测点之间距离控制在 500 m 以内, 在隐伏断裂带附近测量点间距加密至 100 m 以内, 研究区域内共布测点 225 个。每次测量读数时间选定为 120 s, 每点读数 3 次。探头位置:  $\gamma$  总量测量时距地面 1 m,  $\gamma$  能谱测量直接放置地面。为减少地面起伏造成的  $\gamma$  散

射,要求在距探头 1 m 范围内相对平整。测量过程严格执行《环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583—93)和中国地质矿产行业标准《地面  $\gamma$  能谱测量技术规程》(DZ/T 0205—1999)。测量后,在测点地表 40 cm 以内取大于 300 g 的表层土壤样,带回实验室烘干、磨成目的粉样,一部分用于化学分析铀、钍、钾含量,另一部分用器皿密封 30 d,待 Ra - Rn 平衡后,放置铅室内用  $\gamma$  能谱测量其中镭、钍、钾的含量。

每日测量前后对固定地位进行测定,校准  $\gamma$  能谱仪,将每个工作日的测量前后  $\gamma$  能谱仪各道的检查结果绘制仪器长期稳定性曲线(见图 1),整个工作期间,仪器的读数稳定性良好,相对误差达到规范要求。



注:  $\gamma$  测量单位为:  $Bq \cdot m^{-3} \times 10^{-12}$ 。

图 1 IED 22000 A 长期稳定性观测曲线

### 3 测量结果及外照射水平估算

#### 3.1 土壤中 $^{238}U$ 、 $^{232}Th$ 、 $^{40}K$ 的放射性比活度

根据 IED 22000 A 便携式微机多道能谱仪测得的土壤中铀、钍、钾含量和表 1,换算出天然环境放射性核素  $^{238}U$ 、 $^{232}Th$ 、 $^{40}K$  的比活度,同时给出其他国家地区相应放射性核素平均含量,见表 2。

表 2 研究区土壤中放射性核素比活度和空气中的吸收剂量率

国家或地区	土壤中放射性核素比活度/( $Bq \cdot kg^{-1}$ )						空气中的吸收剂量率/( $nGy \cdot h^{-1}$ )	
	$^{238}U$		$^{232}Th$		$^{40}K$		均值	范围
	均值	范围	均值	范围	均值	范围		
美国	40	8 ~ 160	35	4 ~ 130	370	100 ~ 700	47	14 ~ 118
日本	33	6 ~ 98	28	2 ~ 88	310	15 ~ 990	53	21 ~ 77
瑞士	40	10 ~ 900	25	4 ~ 70	370	40 ~ 1000	45	15 ~ 120
希腊	25	1 ~ 240	21	1 ~ 190	360	12 ~ 1570	56	30 ~ 109
印度	29	7 ~ 81	64	14 ~ 160	400	38 ~ 760	56	20 ~ 1100
香港	59	20 ~ 110	95	16 ~ 200	530	80 ~ 1100	87	51 ~ 120
西班牙	32	6 ~ 250	33	2 ~ 210	470	25 ~ 1650	76	40 ~ 120
葡萄牙	44	8 ~ 65	51	22 ~ 100	840	220 ~ 1230	84	4 ~ 230
中国	38.5	7.3 ~ 449	54.64	10.3 ~ 184	584.0	n. d. ~ 1548	81.5	11.6 ~ 523
世界	40	-	40	-	580	-	80	-
成都	29.63	10.37 ~ 77.19	55.70	17.85 ~ 225.7	715.88	284.83 ~ 892.67	83.23	29.95 ~ 183.99
中值	35	16 ~ 110	44	11 ~ 64	400	140 ~ 850	51	-
人口加权平均	33	-	45	-	420	-	60	-

注: n. d. 为未检出;文中未标注参考文献的国家地区的数据均引自文献[7]。

由表 2 可见,研究区内土壤中的  $^{238}U$  含量低于全国及世界平均值; $^{232}Th$  含量是世界均值含量的 1.39 倍,与全国的均值含量相当; $^{40}K$  含量分别是全国和世界均值含量的 1.22 倍和 1.23 倍。

#### 3.2 年有效剂量、外照射指数和等效镭浓度

采用表 1 换算得到本区离地表 1 m 高处空气的  $\gamma$  辐射吸收剂量率,再由公式(2)计算  $\gamma$  外照射年有效剂量当量(由于测量全在户外进行,故  $a_1$  应取居民在室外的平均居留因子 0.2)为 0.34 ~

0.70 mSv,均值 0.41 mSv,低于世界平均年有效外部剂量限值 0.46 mSv,可以认为本区属于正常辐射水平地区。

评估天然  $\gamma$  辐射还须计算研究区内的外照射指数和等效镭浓度,利用公式(1)和公式(3)计算得到该区的外照射指数均在 0.16 ~ 0.8 之间;等效镭浓度的变化范围是 59.06 ~ 386.45 Bq/kg,均值为 164.15 Bq/kg。图 2 为研究区的外照射指数和等效镭浓度频率分布直方图。

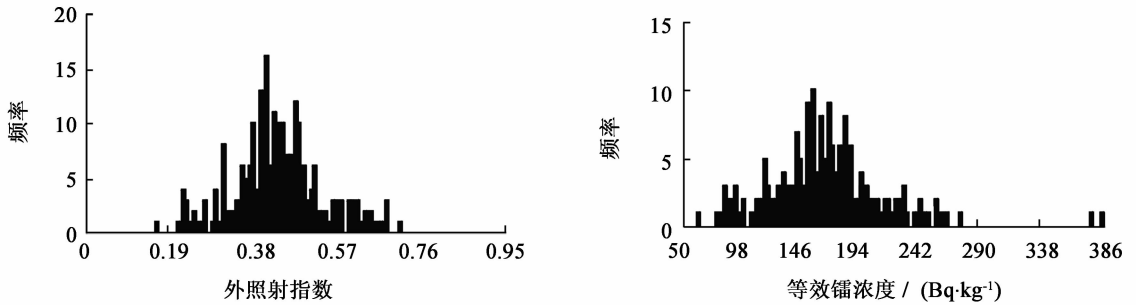


图2 外照射指数和等效镭浓度频率分布直方图

根据国家对建筑材料外照射指数的限制( $I_e < 1$ ),可以认为该区的土壤和岩石中的天然 $\gamma$ 辐射不会对人体造成伤害,另外区内的平均等效镭浓度也低于建议最大容许值(370 Bq/kg),可以认为该区属于安全辐射范畴。

#### 4 结论

天然本底辐射是人类所受年有效剂量的最大贡献者,也是评估各类人工辐射的比较基础。对成都市区土壤天然放射性核素的外照射水平研究表明:成都市区内土壤中的 $^{238}\text{U}$ 含量低于全国及世界平均值, $^{232}\text{Th}$ 含量分别是全国和世界均值含量的1.02倍和1.39倍, $^{40}\text{K}$ 含量分别是全国和世界均值含量的1.22倍和1.23倍,空气中的吸收剂量率与全国(81.5 nGy/h)和世界(80 nGy/h)的吸收剂量率相当。

通过能谱估算的 $\gamma$ 外照射年有效剂量当量、外照射指数、等效镭浓度均在世界均值或容许值范围之内,可以认为成都市区土壤的外照射水平属于安全辐射范畴。对成都市区环境天然 $\gamma$ 辐射水平进行评价,

可为合理、有效地利用成都市国土资源提供支持,也可为城市的规划和管理提供必要的参考。

#### [参考文献]

- [1] 董武娟,吴仁海. 土壤放射性污染的来源、积累和迁移[J]. 云南地理环境研究,2003,15(2):83-88.
- [2] Jibiri N N. Assessment of health risk levels associated with terrestrial gamma radiation dose rates in Nigeria[J]. Environment International,2001,27:21-26.
- [3] Arafa W. Specific activity and hazards of granite samples collected from the Eastern Desert of Egypt [J]. Journal of Environmental Radioactivity,2004,75:315-327.
- [4] 朱礼学,刘志祥,陈斌. 四川成都土壤地球化学背景及元素分布[J]. 四川地质学报,2004,24(3):159-165.
- [5] IAEA. Guidelines for Radioelement Mapping Using Gamma Ray Spectrometry Data [M]. 2003.
- [6] Beretka J, Mathew P J. Natural radioactivity of Australian building material, industrial wastes and by products[J]. Health Physics,1985,48:87-95.
- [7] 姚德,曲丽梅,夏宁,等. 青岛市区土壤天然放射性核素的外照射水平估算研究[J]. 生态环境,2006,15(5):979-982.

#### · 时讯快递 ·

### 《福布斯》:美国“最毒”城市排名公布

美国赌城拉斯维加斯从不以环境清洁而闻名,但在《福布斯》杂志“美国毒性最强城市”名单中,拉斯维加斯却成了毒性最小的40个大都市之一。

《福布斯》进行“最毒”城市进行排名的指标包括:主要城市超级基金场地的数量、释放有毒化学品设施的数量和有毒化学品的数量以及空气质量排名。美国超级基金制度是世界上最具代表性的污染场地管理制度,是多数国家建立土壤污染管理制度的范本。超级基金主要用于治理闲置不用或被抛弃的危险废物处理场,并对危险物品泄漏做出紧急反应。它对于解决美国的污染场地问题具有不可替代的作用,同时使工业界认识到必须对曾经污染的场地承担责任。

(摘自人民网)