

# 成都经济区放射性环境评价分析研究<sup>\*</sup>

谷懿, 葛良全, 张庆贤, 曾兵, 张成江

(成都理工大学 核技术与自动化工程学院, 成都 610059)

**摘要:**运用区域 1/25 万土壤化探数据中铀、钍、钾的含量数据,对成都经济区的放射性水平进行了评价。介绍了放射性核素含量分布情况和环境放射性水平,通过成都经济区地质情况和成都经济区放射性环境分布情况,分析了地质条件对成都经济区环境放射性的影响,并初步研究了地质条件影响放射性水平的原因。最后总结了成都经济区地质环境对天然放射性水平分布情况的影响规律:除龙门山褶皱带和峨眉山-瓦山断块部分地区外,绝大部分地区射线内外照射指数都在国家建筑材料放射性核素限量标准控制式的范围内;地质构造、地表出露岩层和地表水对放射性水平有较大的影响。

**关键词:**天然放射性;化探数据;放射性核素

**中图分类号:**X171;TL941

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2009)03-0241-04

## Appraisal of Radioactive Environment for Chengdu Economic Region

GU Yi, GE Liang-quan, ZHANG Qing-xian, ZENG Bing, ZHANG Cheng-jiang

(College of Applied Nuclear Technology and Automation Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Based on the concentration of U, Th, and K in soil obtained from 1/250 000 geochemical exploration data, this article has made appraisal of Chengdu Economic Region. This paper introduces radionuclide distribution level and radioactive environmental level. By comparing the situation of geology and the natural radioactive environment distribution situation of Chengdu Economic Region, the authors analyze the relation between geological condition and radioactive environment distribution, and preliminarily study the way that radioactive level influenced by geological condition. Finally, the authors summarize the rules of effects caused by geological environment on the natural radioactivity level distribution situation of Chengdu Economic Region. First, the external and internal exposure indexes are both less than the national limit of radionuclides in building materials. Second, the situation of geologic structure, the surface appearing rock layer and the surface water have influence on the radioactive environment appraisal.

**Key words:** natural radioactivity; Geochemical Exploration data; radionuclide

## 1 成都经济区概况

成都经济区由成都、德阳、绵阳、眉山、资阳 5 市组成。位于东经 102°54' - 105°44', 北纬 28°53' - 32°05'。东北与江油市、东南与资阳市、自贡市毗邻,西南与峨边彝族自治县相接,西北与阿坝藏族羌族自治州接壤,南与雅安市相连。按照省政府确定的“城乡一体、率先跨越”的发展要求,构建成都平原城市群,逐步建设成为四川乃至我国西部最强大的经济密集区和人口密集区,成为全省参与全国区域竞争的龙头和主体。

## 2 地质构造

成都经济区位于准扬子台所属的四川盆地西部,与川西坳陷位置大体一致。川西坳陷是四川盆地西部的一个二级构造单元,西侧与龙门山冲断带相辅而行,走向均为 NE (45°~60°),再向西过渡到松潘-甘孜褶皱系;北与米苍山-大巴山区相接,向北过渡到南秦岭褶皱系;南于峨眉山、梁山断块相邻;东与川中平缓褶皱带过渡。

成都经济区北部构造变形较弱,从西向东依次发育龙门山前缘构造带,绵阳-苍溪低幅褶皱带,总

\* 收稿日期:2008-11-17

基金项目:国家自然科学基金项目(40774063);国土资源调查项目(200314200015)

作者简介:谷懿(1982-),男,博士研究生,研究方向:核技术及应用。E-mail: guyias@163.com

体构造面貌表现为“两隆夹一凹”的构造格局,总体上表现为不对称的向斜,西侧靠近龙门山山前地带地层倾角较陡,可达  $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ,向斜东翼向东低幅抬升,局部发育断层。

绵竹 - 德阳以南的南部构造较为复杂。总体上仍表现出“两隆夹一凹”的构造格局,西侧的龙门山山前地带断层发育,东部为熊山 - 龙泉山构造带,发育一系列雁行式 NE 向展布的断层。中间夹成都凹陷,是大兴鼻状隆起向北倾伏部位。

断层发育并构成该区构造格架是成都经济区南部主要的构造特征。从断层走向上来看,有两组,一组为 NE 向或 NNE 向,主要分布在名山 - 洪雅以北。另一组为近 NS 向或 NNW 向,主要分布在名山 - 洪雅以南。

### 3 放射性环境评价

#### 3.1 地 - 空界面上天然放射性来源

地 - 空界面上天然放射性主要由宇宙射线、宇生放射性核素和原生放射性核素的辐射三部分组成。天然射线主要来自地表介质中天然放射性核素的核衰变,极少部分来自宇宙射线。在自然界中,存在三个天然放射性系列,即铀系、钍系和锕铀系,其原子序数都大于 81。另外自然界中还存在 180 多种原子序数中等,不成系列的天然放射性核素,它们经过一次衰变后即成为稳定元素,如  $^{40}\text{K}$ 、 $^{87}\text{Rb}$  等。各种元素含量接近克拉克值的岩石中, $^{40}\text{K}$  的辐射的能注量约占总能注量的 42%,平衡铀系及锕铀系约占 25%,

平衡钍系约占 32%,其它不成系列的放射性核素约占 1%<sup>[1]</sup>。天然放射性核素放出光子的能量范围从几十 keV 到 2.62 MeV,但由于近地表介质对射线的吸收作用,只有能注量较高的射线才对地 - 空界面上射线的能谱有较大贡献。

各个区域的放射性核素水平又不能完全依据地质岩性和土壤类型来确定,因此对天然放射性同位素进行测量,确定不同岩土类型的放射性水平,并对其所发射的放射线危险性进行评估,具有重要意义。国内外这些工作开展很多,但大规模高密度对一个地区进行采样,然后综合利用各种指数分析评估的研究较少。因此,对成都经济区进行大规模高密度的环境放射性水平全面评价,对成都乃至四川经济建设和人民生活水平的提高都有指导意义。

#### 3.2 基础理论与方法技术

根据地 - 空界面上天然放射性的来源、放射性核素衰变与积累规律、射线与物质相互作用原理等基本理论与方法,运用区域化探数据,建立相关模型与转换系数,预测地 - 空界面天然放射性水平。由于  $^{40}\text{K}$  和  $^{238}\text{U}$  系列核素、 $^{232}\text{Th}$  系列核素是地表介质中的主要辐射体。因此,根据放射性核素的衰变积累规律,当地质体中  $^{238}\text{U}$  系列和  $^{232}\text{Th}$  系列达到放射性平衡时,可以运用地表介质中钾、铀、钍的含量推算地表介质的放射性水平参数值的大小。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 - 空界面上空气中射线照射量与辐射剂量之间的转换系数。

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 - 空界面上射线剂量当量的转换系数

元素	土壤中放射性元素 质量分数/ ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	核素	放射性核素比活度转换系数 比活度转换系数/ ( $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	距地表 1 m 空气中射线照射量率 和辐射剂量之间的转换系数	
				照射量率 ( $\times 10^{-4} \text{ C/kg} \cdot \text{s}$ )	吸收剂量率 ( $\times 10^{-6} \text{ Gy/s}$ )
U	$1 \times 10^{-6}$	$^{238}\text{U}$ ( $^{226}\text{Ra}$ )	12.35	1.680	1.576
Th	$1 \times 10^{-6}$	$^{232}\text{Th}$	4.06	0.740	0.693
K	$1 \times 10^{-2}$	$^{40}\text{K}$	313	3.883	3.633

#### 3.3 放射性环境评价指标

评价地表介质(如岩石、土壤或建筑材料等)天然放射性水平可用放射性核素的比活度、内照射指数、外照射量指数、射线照射量率和辐射剂量来描述。年有效剂量(Daed, annual effective dose 单位为 mSv)是评价放射性核素辐射外照射的一个重要指标,年有效剂量定义为<sup>[2]</sup>:

$$D_{aed} = D \cdot a_1 \cdot a_2 (8760 \times 10^{-6}) \quad (1)$$

式中:  $D$  ——吸收剂量;  $a_1$  ——居民在室外的平均居留因子,取 0.2;  $a_2$  ——大气中吸收剂量率与有效剂

量的转换系数,目前对外照射而言,指定  $a_2 = 0.7 \text{ Sv/Gy}$ 。参考国家标准(GB 6566 - 2001),射线内照射指数( $I_{\text{Ra}}$ )和外照射指数( $I_{\text{r}}$ )由下式给出<sup>[3]</sup>

$$I_{\text{r}} = \frac{C_{\text{Ra}}}{370} + \frac{C_{\text{Th}}}{260} + \frac{C_{\text{K}}}{4200}, I_{\text{Ra}} = \frac{C_{\text{Ra}}}{200} \quad (2)$$

式中:  $C_{\text{Ra}}$ 、 $C_{\text{Th}}$ 、 $C_{\text{K}}$  —— $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$  放射性核素比活度  $\text{Bq/kg}$ ; 370, 260, 4200 ——仅考虑外照射时,分别考虑外照射时  $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$  在单独存在时,该标准规定的基本限量  $\text{Bq/kg}$ ; 200 ——仅考虑内照射时,建材中镭 - 226 放射性核素比活度基本限量  $\text{Bq/kg}$ 。

4 放射性环境评价处理结果

成都经济区 1/25 万化探资料在研究区内提供有土壤中放射性元素铀、钍和钾的重量含量数据,4 km ×4 km 采样取点,共 15 426 个数据。经铀镭平衡系校正和天然放射性参数转换,由放射性核素<sup>40</sup>K、<sup>238</sup>U 和<sup>232</sup>Th 的比活度等值线图与成都经济区地质图的对比,看出放射性核素<sup>40</sup>K、<sup>238</sup>U 和<sup>232</sup>Th 等比活度与成都经济区的地质构造和地表出露岩层岩性有较大的关系,同时地表水系的分布对放射性核素<sup>40</sup>K、<sup>238</sup>U 和<sup>232</sup>Th 的比活度值也有较大的影响:

(1) 成都经济区<sup>40</sup>K 比活度值为 47.801 ~ 1601.346 Bq/kg,均值为 621.463 Bq/kg,均方差为 167.234 Bq/kg。总体上来看,龙门山冲断褶皱带和峨眉山-瓦山断褶带的<sup>40</sup>K 比活度值较高,部分地区超过 1000 Bq/kg;其他地区出露地层为侏罗纪蓬莱镇组(岩性为:灰色、紫灰色黏土岩和砂岩互层,夹砂质泥岩)和成都平原第四纪冲洪积物(岩性为:黏土质砾石层,砂质黏土或腐质黏土)较白垩纪和三叠纪出露地层的<sup>40</sup>K 比活度值偏高;第四纪上更系统砾石层的<sup>40</sup>K 比活度值相对则较低。

(2) 成都经济区<sup>232</sup>Th 比活度值为 4.06 ~ 225.73 Bq/kg,均值为 54.56 Bq/kg,均方差为 13.51 Bq/kg。成都经济区<sup>232</sup>Th 比活度分布上,南部比北部偏高,白垩纪泥岩和粉砂岩出露地区的<sup>232</sup>Th 比活度值较其它地区低 10 Bq/kg;另外成都平原河流流经的第四纪上更新统砾石、砂质黏土层区域<sup>232</sup>Th 比活度值最高,初步分析河流对核素<sup>232</sup>Th 的运移作用可能是该区<sup>232</sup>Th 比活度值较高的原因之一。

(3) 成都经济区<sup>238</sup>U 比活度值为 6.42 ~ 230.20 Bq/kg,平均值 32.28 Bq/kg。<sup>238</sup>U 比活度值分布情况与成都经济区地质情况有密切的联系:<sup>238</sup>U 比活度较高的地区有:龙门山冲断褶皱带、峨眉山-瓦山断褶带、龙泉山-熊山断裂带以及蒲江-新津隐伏断裂和大邑-彭县断裂对冲带;从<sup>238</sup>U 比活度值与地表出露地层分布关系上看,三叠纪和侏罗纪地层总体上比白垩纪和第四纪地层的<sup>238</sup>U 比活度值高。

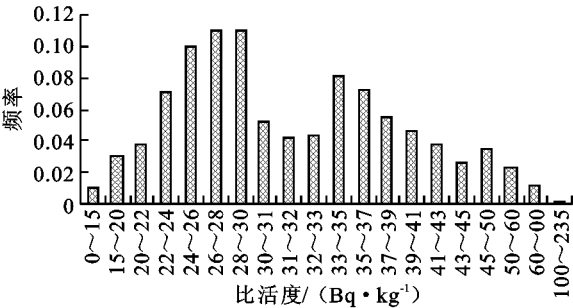


图 1 <sup>238</sup>U 比活度频率分布直方图

5 放射性环境评价分析

(1) 成都经济区天然环境放射性核素<sup>40</sup>K、<sup>238</sup>U 和<sup>232</sup>Th 的比活度分别为:47.801 ~ 1601.346,6 ~ 230,4 ~ 225 Bq/kg。放射性核素<sup>40</sup>K、<sup>238</sup>U 和<sup>232</sup>Th 的比活度与成都经济区地质情况联系紧密:放射性核素<sup>238</sup>U 比活度呈双峰型,在 22 ~ 30 Bq/kg,35 ~ 45 Bq/kg 值区间的区域较多,与成都经济区侏罗纪和白垩纪岩层出露区域广有关,如图 1 所示;<sup>40</sup>K 和<sup>232</sup>Th 的比活度则呈正态分布,如图 2,3 所示。

(2) 成都经济区 吸收剂量率为 17.49 ~ 192.98 nGy/h,呈正态分布,其均值为 79.64 nGy/h,与全国(81.5 nGy/h<sup>[21]</sup>)和世界(80 nGy/h<sup>[21]</sup>)的平均值基本一致; 外照射年有效剂量为:0.021 ~ 0.237 mSv,其均值为 0.098 mSv,均方差为 0.018 mSv,低于世界评价水平(0.46 mSv<sup>[21]</sup>),如图 4。除龙门山冲断褶皱带、峨眉山-瓦山断褶带和龙泉-熊山断裂带及成都平原第四纪全新统洪冲积扇集中区的 吸收剂量率偏高外,大部分属于正常范围。

(3) 内照射指数为 0.032 ~ 1.151,外照射指数 0.103 ~ 1.107。比较内外照射指数等值图与成都经济区地质平面图可知除龙门山褶皱带和峨眉山-瓦山断块,大部分地区都在国家建筑材料放射性核素限量标准控制的范围内。

(4) 由于龙门山褶皱带、峨眉山-瓦山断块的影响和龙泉山-熊山褶皱带以及成都平原各隐伏断裂带的影响,使得断裂带附近外照射指数和 照射量率相对偏高,并且造成成都经济区南部外照射指数和 照射量率都高于东部的情形,其外照射指数比东部约高 0.15, 照射量率约高 5 ~ 10 C/(kg·s)。此外,经龙门山冲断褶皱带流至成都冰水冲积扇状平原上河流水系对放射性核素的迁移和富集都有一定的影响,使得由第四纪全新统冰水冲洪积物组成的河漫滩和一级阶地放射性水平较高的原因。

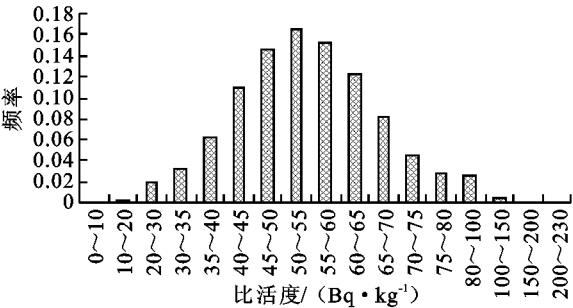


图 2 <sup>232</sup>Th 比活度频率分布直方图

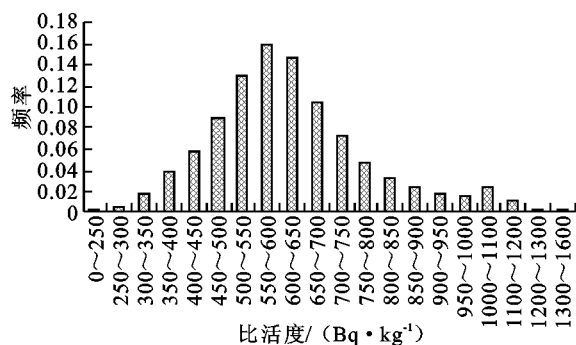
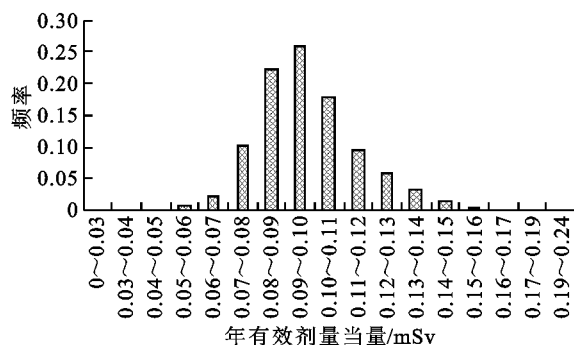
图 3  $^{40}\text{K}$  比活度频率分布直方图

图 4 年有效剂量当量频率分布直方图

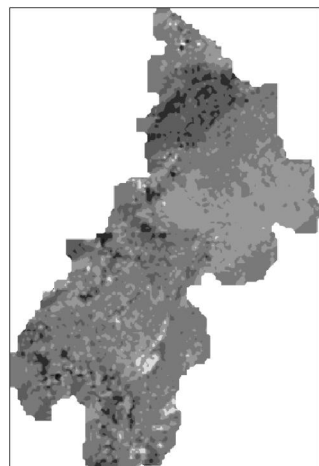


图 5 吸收剂量率等值线图

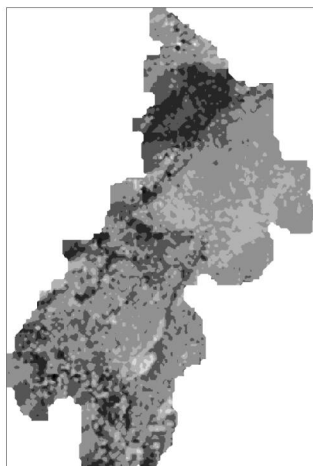


图 6 射线外照射指数等值线图

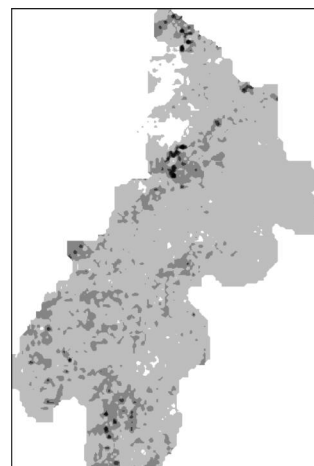


图 7 射线内照射指数等值线图

## 6 结论

(1) 利用化探取得的土壤中放射性元素的含量,通过铀-钍平衡系数的校正,推算地-空界面上天然放射性水平,如放射性比活度,射线内、外照射指数,空气中射线照射量率和吸收剂量率等参数,是一种可靠的、有效的和快速的评价方法。

(2) 成都经济区 吸收剂量率为 17.49 ~ 192.98 nGy/h,呈正态分布,其均值为 79.64 nGy/h,均方差为 14.73 nGy/h,与全国(81.5 nGy/h<sup>[21]</sup>)和世界(80 nGy/h<sup>[21]</sup>)的平均值基本一致; 外照射年有效剂量为:0.021 ~ 0.237 mSv,其均值为 0.098 mSv,均方差为 0.018 mSv,低于世界的评价水平(0.46 mSv<sup>[21]</sup>);成都经济区天然环境放射性核素  $^{40}\text{K}$ 、 $^{238}\text{U}$  和  $^{232}\text{Th}$  的比活度分别在:57 ~ 1 929 Bq/kg、6 ~ 230 Bq/kg、4 ~ 225 Bq/kg,其内照射指数为 0.032 ~ 1.151,外照射指数 0.103 ~ 1.107。在射线内外照射指数等值图上可清楚看出:除龙门山褶皱带和峨眉山-瓦山断块少部分地区外,成都经济区范围内二者都在国家建筑材料放射性核素限量标准控制式的范围内。

(3) 成都经济区环境放射性水平评价应紧密联

系该区地质情况综合分析,地区内的地质构造、地表出露岩层和地表水对放射性评价有较大的影响:在区域地质构造中,褶皱断裂带区域放射性水平较高;随着出露地表岩层的不同,地面放射性水平也随之变化,尤其是对不同的核素分别考虑的时候,将表现出一定的规律;地表水对某些放射性核素的运移有较大的影响,例如 Th 元素在成都平原河流区域的含量较平原其他地区高。

### 参考文献:

- [1] 章晔,华荣洲,石柏慎.放射性勘查方法[M].北京:原子能出版社,1990.
- [2] UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). Exposure from natural sources of radiation [M]. United Nations: New York, 1993.
- [3] 中华人民共和国国家标准 (GB6566 - 2001). 建筑材料放射性核素限量[S]. 2001.
- [4] IAEA. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data [M]. IAEA TECDOC - 1363, 1991.
- [5] 葛良全,赖万昌,黄元清.运用 1/5 万化探数据评价天然放射性水平[J].成都理工大学学报:自然科学版, 2008, 35(3): 325-326.