

济南—淄博—泰安地区地表伽玛辐射特征及环境影响评价

张春法^{1,2}, 姜怀坤^{1,2}, 吕振生^{1,2}

(1. 山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013; 2. 山东省金属矿产成矿地质过程与综合利用重点实验室, 山东 济南 250013)

摘要:通过对济南—淄博—泰安地区地表 γ 辐射和土壤放射性核素测量,深入研究了其放射性特征、分布规律及其影响因素。结果表明,研究区地表 γ 辐射剂量率平均值为53.94 nGy/h,变化范围为7.00~216.00 nGy/h; ^{226}Ra 放射性比活度平均值为23.36 Bq/kg, ^{232}Th 放射性比活度平均值为34.70 Bq/kg, ^{40}K 放射性比活度平均值为539.36 Bq/kg,均低于山东省平均值;研究区内土壤样品天然放射性核素放射性比活度分析结果总体水平不高。地质背景决定地面 γ 辐射剂量率值,同时环境因素对其剂量率也存在一定影响。研究区年有效剂量当量为0.33 mSv,低于公众照射年剂量当量限值1.0 mSv,人居环境基本不受影响。

关键词:天然放射性; γ 辐射剂量率;年有效剂量当量;济南—淄博—泰安地区

中图分类号:X826

文献标识码:B

0 引言

安全环境是人类赖以生存的基础,而天然放射性辐射环境是人类生存环境的重要组成部分^[1,2]。随着科技发展和社会进步,居住环境对人体健康的影响越来越被人们重视。环境研究不仅需要了解重金属和有机污染物,而且也需重视放射性污染^[3],我国许多城市或地区已经或正在开展环境放射性污染水平调查^[3-14]。济南—淄博—泰安地区是山东省的政治、经济和文化中心,做好该地区地表天然放射性调查和评价,不仅可以为保障人民群众身体健康提供重要依据,还可以提供环境综合治理和保护对策,为城市规划建设、环境保护和治理、矿产资源和地质旅游的合理开发利用提供重要的环境背景资料,同时有利于加强对国土资源的规划管理、保护和合理利用,保证国民经济可持续发展和社会的全面发展。天然放射性核素 ^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th , ^{40}K 广泛存在于岩石、土壤等介质,形成辐射本底^[12]。在济南—淄博—泰安地区范围内开展地表天然放射性调查与环境保护研究的基础上^①,对其放射性特征和分布规

律进行了深入探讨,将不同环境中的 γ 辐射剂量率进行了比较,并探讨了与岩性的关系,对该区环境放射性质量进行了全面评价。

1 取样及样品分析

1.1 取样

在研究区布设5条完整剖面进行现场取样室内放射性分析,跨越新太古代的泰山岩群及从前寒武纪—白垩纪各个时期的地层单元,穿过大小构造带12条。用1:5万地形图与手持GPS相结合来确定采样点位置。采样密度为1点/250 m,此分析样品为4点组合样,样品重量大于5 kg。在北部平原及泰安—莱芜谷地作土壤点取样室内测量。

1.2 样品分析

将所采集的样品破碎、磨细至200目,充分混匀,定量称取试样500 g,将其放入与标准样品几何形状一致的样品盒中,密封不少于20天至其中的天然放射性系列基本达到平衡后,待测。

* 收稿日期:2013-03-26;修订日期:2013-05-10;编辑:王秀元

作者简介:张春法(1978—),男,江苏邳州人,工程师,主要从事岩矿测试与地质矿产勘查工作;E-mail:chunfazhang@163.com。

①山东省地质科学实验研究院,山东省济南—淄博—泰安地区地表天然放射性调查与环境保护研究报告,2009年。

室内放射性分析利用低本底多道 γ 能谱仪来完成,设备包括:低本底测量铅室、同轴型高纯锗半导体探测器(美国 CANBERRA 公司生产)、高绝热性液氮罐、8 192 道 γ 能谱仪(美国 ORTEC 公司生产)、微型计算机及 γ 能谱分析软件(中国原子能科学研究院研发)。该系统探测器的效率为 30%,峰康比为 50:1,能量分辨率为 1.9 keV(对⁶⁰Co 1 332 keV 峰),长时间工作稳定性 24 h 道漂不超过 2 道,分析软件 SPAN 简单直观、给出结果准确可靠。

分析方法采用相对法,即待测样品与标准样品相同的测量条件下,标准样品的放射性活度已知,待测样品的仪器读数与标准样品的仪器读数相比从而求出待测样品中相应核素的放射性活度的方法。

2 地表 γ 辐射剂量率分布特征

2.1 地表 γ 辐射剂量率含量统计特征

剖面 576 件样品放射性测量结果统计表明,研究区 γ 辐射吸收剂量率数值主要集中在 10.0~130.0 nGy/h,占测点总数的 91.65%。其中,位于 0~10.0 nGy/h 区间的测点数占总测点数的 2.61%;位于 10.0~70.0 nGy/h 区间的测点数约占总测点数 66.96%;位于 70.0~130.0 nGy/h 区间的测点数约占总测点数 24.70%;位于 130~150 nGy/h 区间的测点数占总测点数的 3.65%;小于 10 nGy/h 和大于 150 nGy/h 的测点数总和占总测点数 4.70%。研究区 γ 辐射剂量率分布近正态分布见图 1,峰度为 0.94;偏度系数 1.11,表明剂量率值较低的数据占多数,这与研究区内的地质条件密切相关。但也存在一定数量的大于 160 nGy/h 的高值点,与局部较高的 γ 辐射区有关。

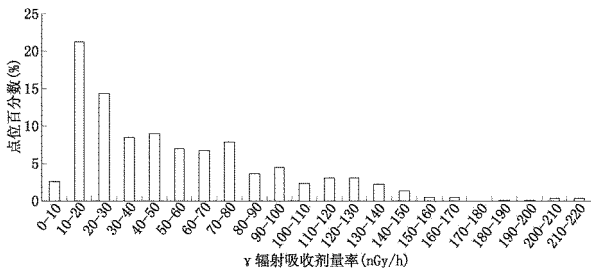


图 1 济南—淄博—泰安地区地表 γ 辐射剂量率分布直方图

研究区地表 γ 辐射剂量率平均值为 53.94 nGy/h,变化范围为 7.00~216.00 nGy/h,变异系数为

75.21%。地表 γ 辐射剂量率平均值与整个山东省天然辐射剂量率平均值(56.5 nGy/h)^[13,16]相近,远低于全国(81.5 nGy/h)^[14]和世界(80 nGy/h)^[14]平均值。

2.2 典型剖面放射性测量结果及分析

(1) 张夏馒头山—玉皇山剖面

该剖面位于研究区西北部,贯穿蒙山断裂等 3 条断裂带,地层主要是寒武纪—奥陶纪地层序列。有朱砂洞组、馒头组、张夏组、崮山组、炒米店组、三山子组、马家沟群^[17]。在玉皇山出露的是含黑云(辉石)角闪闪长岩。

γ 辐射吸收剂量率平均值 38.63 nGy/h,变化范围 8.7~136.2 nGy/h;²²⁶Ra 放射性比活度的值在 2.9~55.6 Bq/kg 之间,平均值为 18.74 Bq/kg;²³²Th 放射性比活度的值在 4.4~76.7 Bq/kg 之间,平均值为 23.35 Bq/kg;⁴⁰K 放射性比活度的值在 52~1 796 Bq/kg 之间,平均值为 381 Bq/kg。根据测量结果数据作出的剖面放射性比活度折线图如图 2。

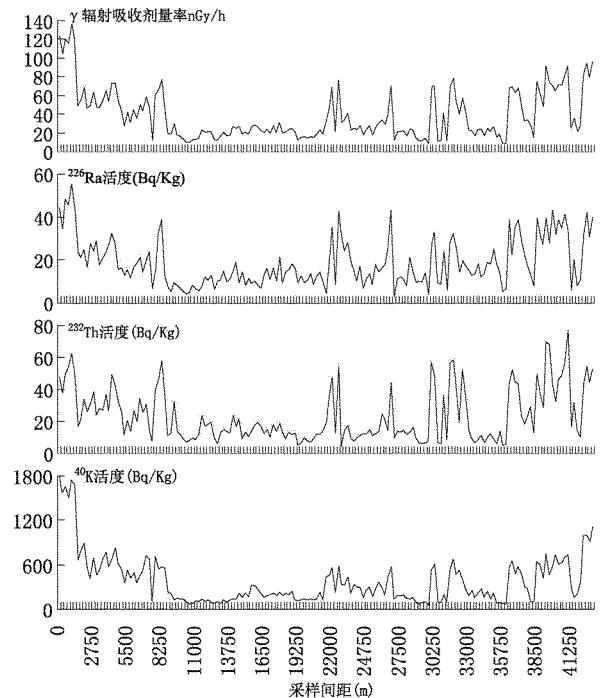


图 2 张夏馒头山—玉皇山剖面放射性比活度折线图

(2) 十八盘—桃科庄剖面

该剖面位于研究区西部、泰安以北的岩浆岩区,长度 15.5 km,自西南端十八盘起向东北端桃科庄方向,分别为新太古代峰山期峰山岩套大众桥岩体

的黑云石英闪长岩、窝铺岩体的黑云英云闪长岩；古元古代吕梁期傲徕山岩套松山岩体的二长花岗岩；新太古代蒙山期蒙山岩套望府山岩体的片麻状黑云英云闪长岩，大众桥岩体的黑云石英闪长岩，窝铺岩体英云闪长岩，窝铺岩体英云闪长岩，望府山岩体片麻状黑云英云闪长岩等。从测量数据可以看出， γ 辐射吸收剂量率平均值 61.78 nGy/h，变化范围 8.0 ~ 128.0 nGy/h； ^{226}Ra 放射性比活度的值在 2.8 ~ 68.8 Bq/kg 之间，平均值为 26.0 Bq/kg； ^{232}Th 放射性比活度的值在 4.4 ~ 93.9 Bq/kg 之间，平均值为 35.34 Bq/kg； ^{40}K 放射性比活度的值在 71 ~ 1 314 Bq/kg 之间，平均值为 713 Bq/kg。根据测量结果数据作出的剖面放射性比活度折线图如图 3。

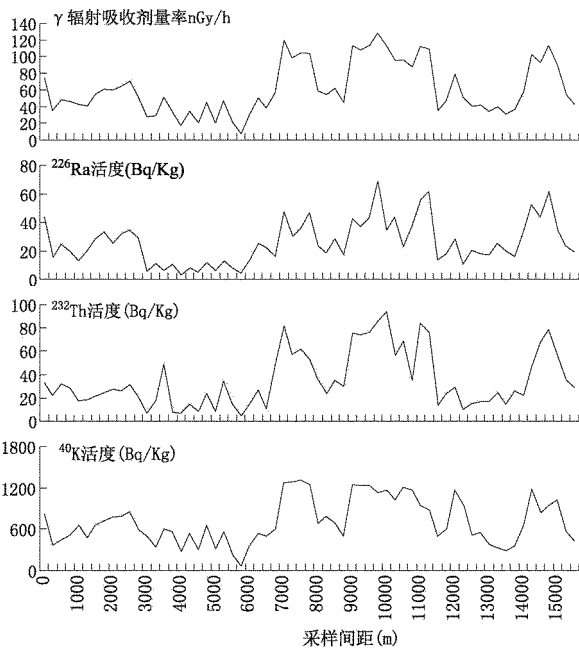


图 3 十八盘-桃科庄剖面放射性比活度折线图

(3) 黄巢关-泮水剖面

该剖面位于研究区东部，长约 25 km，穿过淄河大型断裂和 3 条较小断裂。地层有寒武纪炒米店组、奥陶纪马家沟群、石炭纪-奥陶纪本溪组、太原组。

从测量数据可以看出， γ 辐射吸收剂量率平均值 24 nGy/h，变化范围 9.0 ~ 72.0 nGy/h； ^{226}Ra 放射性比活度的值在 5.3 ~ 32.5 Bq/kg 之间，平均值为 13.9 Bq/kg； ^{232}Th 放射性比活度的值在 2.1 ~ 47.8 Bq/kg 之间，平均值为 12.66 Bq/kg； ^{40}K 放射性比活度的值在 62 ~ 1 013 Bq/kg 之间，平均值为

228 Bq/kg。根据测量结果数据作出的剖面放射性比活度折线图如图 4。

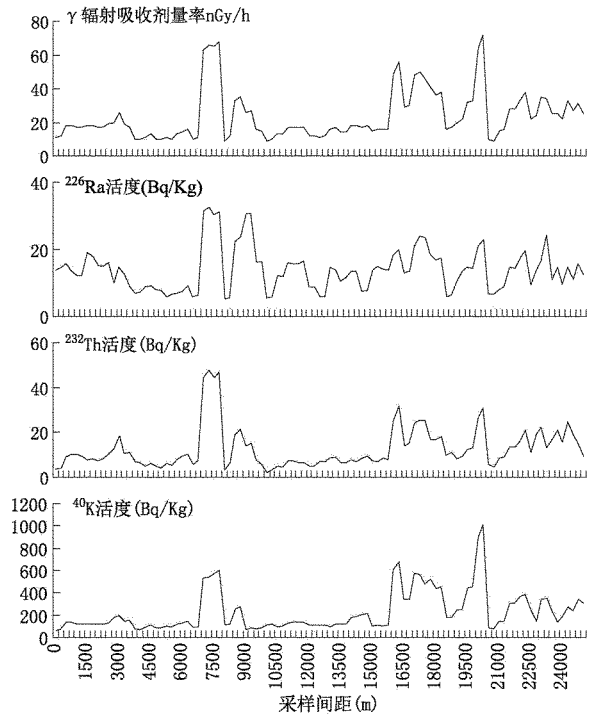


图 4 黄巢关-泮水剖面放射性比活度折线图

根据典型剖面放射性测量结果， ^{226}Ra 放射性比活度的值在 2.5 ~ 77.8 Bq/kg 之间，平均值为 23.36 Bq/kg，比山东省 ^{226}Ra 放射性比活度平均值 25.9 Bq/kg 低； ^{232}Th 放射性比活度的值在 2.1 ~ 217.9 Bq/kg 之间，平均值为 34.70 Bq/kg，比山东省 ^{232}Th 放射性比活度平均值 40.0 Bq/kg 低； ^{40}K 放射性比活度的值在 45 ~ 2 213 Bq/kg 之间，平均值为 539.36 Bq/kg，比山东省 ^{40}K 放射性比活度平均值 604 Bq/kg 低。

放射性元素的地球化学性质决定着其在岩石中的分布，一般岩浆岩的放射性比沉积岩和变质岩高，而且铀、钍、钾是随着硅含量的增加而增加。岩石中含有的放射性核素在开采和应用过程中会部分释放到环境中。天然放射性核素比活度高的地区，主要是二长花岗岩和闪长岩地区； ^{40}K 放射性比活度的值比较高地方主要是二长花岗岩地区，由于二长花岗岩中钾的含量比较高，同位素 ^{40}K 的含量也相对较高，所以 ^{40}K 放射性比活度值比较高。白云岩、灰岩和页岩地区天然放射性核素比活度水平相当，相对二长花岗岩和闪长岩地区较低。一般在页岩和碳

质页岩中最高,碳酸盐岩中最低。砂岩居中,且变化最大,取决于颗粒组分和大小。沉积岩产生碳酸盐化、黄铁矿化、硅化、白云岩化和石膏化时,放射性通常明显下降。碎屑物质来源于花岗岩的沉积岩—花岗质砂岩、长石砂岩和冲击碎屑岩等具有较高的放射性。

研究区不同岩石、地层单元的放射性元素 Ra, Th, K 含量不同,决定于其成因及形成年代。就沉积岩而言,碎屑岩的放射性元素的含量比碳酸盐岩的要高,其中煤层的又比一般碎屑岩区的要高。就岩浆岩而言,按照年代先后进行比较,同一种类的岩浆岩元古宙的比二叠纪的放射性元素含量低;同一年代的岩浆岩,基性程度高的岩石单元要比酸性程度高的岩石单元放射性元素含量低,从中可以发现 U, Th, K 的含量随着岩浆演化有一定的规律,即越是后期岩浆岩的放射性含量越高。就不同的岩石、地层单元分布区域而言,凡是碳酸盐岩地层、基性、超基性岩浆岩分布区域,其空气吸收剂量率与公众照射剂量率都较低,更适合人居。而酸性岩分布区域,如新泰莲花山一带,空气吸收剂量率与公众照射剂量率相对较高。相对而言,在研究区内所有岩石、地层单位中,花岗岩、大理岩和闪长岩放射性核素比活度较高,这些岩石分布地区的空气吸收剂量率与公众照射也较高,应尽量避免在其中规划建设居民小区。由于研究区居民、厂矿主要分布于地势比较平缓地区,有些地区邻近花岗岩分布区和邻近碳酸盐岩分布区,该地区的放射性元素含量,空气吸收剂量率与公众照射剂量率相对要高。这与它们的沉积物源中的放射性元素含量有关,故可根据其母岩来判断其放射性水平。

2.3 第四纪土壤点状取样天然放射性分析

在研究区南部的泰安—莱芜盆地及北部平原,作土壤点状取样和室内天然放射性测量分析,结果见表 1。

从表 1 可以看出,研究区内土壤样品天然放射性核素放射性比活度分析结果总体水平不高,没有发现异常核素,接近于山东省土壤中天然放射性核素比活度平均水平^[12,15],总体维持在本底水平。

土壤天然辐射水平常受陆地形成、土壤成土母质等自然条件影响,主要取决于土壤质地,通常以花岗岩为母岩地区辐射水平最高。

表 1 土壤样品放射性比活度分析结果

采样地点	²²⁶ Ra(Bq/kg)	²³² Th(Bq/kg)	⁴⁰ K(Bq/kg)
满庄	19	36	570
夏张	23	29	541
万德	29	32	601
泰安市	25~36	31~42	470~653
山口	16	24	421
范镇	22	31	485
颜庄	27	28	502
羊里	26	69	668
口镇	25	78	850
高庄	27	88	911
莱芜市	27~38	66~92	564~994
淄川	25	37	522
泮水	23	31	499
张店	29	35	563
临淄	25	41	584
周村	26	44	594
王村	31	45	687
章丘	30	43	538
党家	36	40	607
龙山	29	39	545
孙村	37	47	666
郭店	41	37	654
洛口	31	41	570
济南市	36~45	40~53	596~692
平均值	29	45	613

3 地表 γ 辐射剂量率影响因素

3.1 地质因素的影响

从研究区不同岩石背景取 5 种不同岩性的样品进行分析,奥陶纪地层中致密厚层灰岩及蠕虫状或豹皮状灰岩,主要矿物成分为方解石;产于新太古代—古元古代峰山期桃科岩体的花岗岩,主要矿物成分以钾长石、斜长石和石英为主,其次含少量的白云母、磷灰石、锆石、萤石、磁铁矿等;新太古代泰山晚期侵入岩体中的石英闪长岩,主要矿物成分为石英、斜长石、角闪石、黑云母等;中生代三叠纪济南辉长岩,其主要矿物成分为拉长石、辉石、橄榄石、黑云母、磁铁矿、磷灰石及少量的石英、角闪石等;章丘盆地北缘产于二叠纪石盒子群万山组的铝土矿和矾土矿,主要矿物成分为高岭石,另有少量的水铝石。其放射性比活度分析结果见表 2。各岩性背景 γ 辐射剂量率分布规律为:花岗岩 > 铝土矿 > 石英闪长岩 > 辉长岩 > 石灰岩。

表 2 不同岩性样品放射性比活度分析结果

岩性	样品数	平均值			外照射指数	内照射指数
		²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)		
石灰岩	6	6.73	7.82	69.9	0.06	0.034
花岗岩	6	51.25	80.3	967	0.68	0.256
石英闪长岩	3	18.93	20.1	517	0.25	0.095
辉长岩	5	2.55	6.19	204	0.08	0.013
铝土矿	2	49.73	65.2	34	0.39	0.249

3.2 环境因素的影响

地面 γ 辐射剂量率值除与地质因素有关外,还与环境因素密切相关。由于岩石(包括未风化、中等风化或强风化露头)的直接出露,地面 γ 辐射剂量率水平最高;人类活动造成自然环境有较大变化的地段(如水泥路面、砂石路面和人工填土等),其辐射剂量率水平较高,但低于基岩背景值;而自然环境变化较小的地段(如林地、草地和海滩等),剂量率值一般较低^[1,2]。但在所有地表环境中,基岩露头的 γ 辐射剂量率平均值都是最高的,它在一定程度上反映了岩石本身的放射性剂量。

4 天然放射性环境影响评价

4.1 年有效剂量当量的估算方法

利用环境天然 γ 辐射剂量率通过公式 $H_e = D_\gamma \times K \times t$ 对当地居民产生的年有效剂量当量进行估算^[1,2],其中, H_e 为有效剂量当量, Sv; D_γ 为地表 γ 辐射剂量率, Gy/h; K 为有效剂量当量率与空气剂量率比值,规范^[18]要求采用 $0.7 \text{ Sv} \cdot \text{Gy/h}$; t 为环境停留时间, h。通过地表 γ 辐射测量结果,研究区计算的年有效剂量当量为 0.33 mSv ,变化范围为 $0.04 \sim 1.32 \text{ mSv}$ 。

4.2 放射性环境影响评价

研究区天然辐射低值区与中值区的空气吸收剂量率均低于全国的自然环境空气吸收剂量率的平均水平 86 nGy/h ,而高值区大部分地方空气吸收剂量率水平也低于 110 nGy/h ,只有少数地区如岩性为钾长花岗岩的一些地方的放射性核素含量较高,大于 150 nGy/h 。按照我国《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定,公众照射剂量的限值每年不超过 1 mSv (114 nGy/h),研究区公众照射剂量为 $0.19 \sim 0.97 \text{ mSv}$ 之间;研究区计算的年平均有效剂量当量为 0.33 mSv ,变化范围为 $0.04 \sim 1.32 \text{ mSv}$,是良好的适合人类生活和居住的

地质环境。

在该范围内,根据上述的分析还可以看出,就不同的岩石、地层单位分布区而言,年代较老的岩石地层单元 Ra, Th, K 含量较低,其辐射强度较低,所以这些岩石分布地区的放射性辐射对人的健康伤害较小,适合人们生活和居住;就同一时代的岩浆岩分布而言,又是岩石的基性程度越高 Ra, Th, K 含量越低,故这些地区的天然辐射对人体伤害程度更小更适合人们生活居住;就沉积岩分布而言,则是碳酸盐岩的 Ra, Th, K 含量比碎屑岩低,故更适合人们生活居住。

5 结论

(1)总体来说研究区环境天然放射性水平不高,地表 γ 辐射剂量率平均值为 53.94 nGy/h ,变化范围为 $7.00 \sim 216.00 \text{ nGy/h}$ 。通过地表 γ 辐射测量结果计算的年有效剂量当量为 0.33 mSv ,变化范围为 $0.04 \sim 1.32 \text{ mSv}$ 。研究区完全适合人类居住。

(2)根据典型剖面放射性测量结果,²²⁶Ra 放射性比活度平均值为 23.36 Bq/kg ,低于山东省平均值 25.9 Bq/kg ;²³²Th 放射性比活度平均值为 34.70 Bq/kg ,比山东省平均值 40.0 Bq/kg 低;⁴⁰K 放射性比活度平均值为 539.36 Bq/kg ,比山东省平均值 622 Bq/kg 低。研究区内土壤样品天然放射性核素放射性比活度分析结果总体水平不高。

(3)研究区不同岩石、地层单元的放射性元素 Ra, Th, K 含量不同,决定于其成因及形成年代。天然放射性核素比活度高的地区,主要是二长花岗岩和闪长岩地区;白云岩、灰岩和页岩地区天然放射性核素比活度水平相当,相对二长花岗岩和闪长岩地区较低。

(4)天然放射性是一个普遍存在的问题,从降低群体所受剂量考虑,要防止人为活动使天然放射性的增加,因此要对矿山特别是建材矿山的开发利用要严格管理。

参考文献:

- [1] 代杰瑞,鲁峰,庞绪贵,等. 青岛市地表伽玛辐射特征及环境影响评价[J]. 世界地质, 2012, 31(4): 214-223.
- [2] 代杰瑞,董志成,喻超,等. 青岛市地表天然放射性水平及其主控因素特征[J]. 世界核地质科学, 2012, 29(3): 173-182.
- [3] 夏宁,姜学钧,刁少波,等. 青岛市天然放射性环境地质调查

- [J]. 物探与化探, 2008, 32(5): 559 - 563.
- [4] 徐婷婷, 夏宁, 张红, 等. 青岛市天然放射性环境地质调查中测量方法探讨[J]. 岩矿测试, 2006, 25(3): 219 - 225.
- [5] 吕志文, 张福山, 郝国凡, 等. 吉林省环境天然贯穿辐射水平调查研究[J]. 辐射防护, 1994, 14(5): 370 - 376.
- [6] 向晓军, 李保珠. 云南临沧盆地土壤天然放射性测定及环境影响评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, (Z1): 90 - 92.
- [7] 王卫星, 杨亚新, 王雷明, 等. 广东下庄铀矿田土壤的天然放射性研究[J]. 中国环境科学, 2005, 25(1): 120 - 123.
- [8] 姚可, 秦汉云. 西藏自治区环境天然贯穿辐射水平调查研究[J]. 辐射防护, 1994, 14(4): 267 - 275.
- [9] 宋刚, 张伯友, 龚经平, 等. 台山市某地块环境放射性水平研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(3): 177 - 181.
- [10] 张百义, 宋兰瑛. 广东花岗岩地区天然放射性辐射环境现状分析及对策[J]. 铀矿地质, 1995, 11(6): 368 - 373.
- [11] 张春芳, 李缉银. 陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究[J]. 辐射防护, 1994, 14(4): 276 - 283.
- [12] 徐磊, 夏宁, 姜学钧. 青岛地区地表天然放射性调查[J]. 核农学报, 2011, 25(4): 773 - 778.
- [13] 李洪昌, 谢锋, 王文团, 等. 山东省环境天然贯穿辐射水平调查研究[J]. 辐射防护, 1991, (1): 34 - 46.
- [14] 王其亮. 中国的天然 γ 辐射剂量率水平[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, 20(5): 358 - 362.
- [15] 何振芸, 朱兴胜, 黄乃明, 等. 世界室外 γ 辐射剂量率水平数据的变化及在环境监测中应注意的问题[J]. 辐射防护通讯, 2001, 21(4): 3 - 12.
- [16] 徐东宸, 王卫平. 山东黄河口地区环境放射性辐射水平及评价[J]. 物探与化探, 2000, 24(3): 178 - 183.
- [17] 杜圣贤, 张瑞华, 张贵丽, 等. 山东张夏-崮山地区华北寒武系标准剖面上寒武统研究新进展[J]. 山东国土资源, 2007, 23(10): 1 - 6.
- [18] 中国地质调查局. DD2005 - 01 多目标区域地球化学调查规范(1:5万)[S]. 北京: 地质出版社, 2005.

Gamma Radiation Characteristics and Environmental Impact Assessment of Surface in Jinan—Zibo—Tai'an Area

ZHANG Chunfa^{1,2}, JIANG Huaikun^{1,2}, LV Zhensheng^{1,2}

(1. Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Geological Processes of Metallic Resources and Resource Utilization, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Based on the survey of ground gamma radiation and radioactive nuclide in soil in Jinan—Zibo—Tai'an area, its radioactive characteristics, distribution law and influencing factors have been studied. It is showed that average value of ground gamma radiation dose rate is 53.94nGy/h, range scope is 7.00~216.00nGy/h, average value of ²²⁶Ra specific activity is 23.36Bq/Kg, average value of ²³²Th specific activity is 34.70Bq/kg, and average value of ⁴⁰K activity is 539.36Bq/kg. Specific activity values of natural radionuclides radioactivity of soil samples are generally low. Geological background was the main factor which effected the gamma radiation dose rate of the surface soil, and environmental factors on the dose rate also has certain influence. The annual effective dose in study area is 0.33mSv, which is lower than the public exposure dose limit of 1.0mSv. It is basically not harmful for the living environment.

Key words: Natural radioactivity; gamma radiation dose rate; annual effective dose; Jinan—Zibo—Tai'an Area