

大连市地表天然放射性水平调查

韩志滨¹, 马宏伟², 杜广仁¹

1. 核工业 240 研究所, 辽宁 沈阳 110032; 2. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

摘 要: 利用 ARD 型 γ 能谱仪对辽宁省大连市地表天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 含量进行了现场测量. 调查结果显示, 大连市 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 比活度平均值分别为 23.09 Bq/kg (范围值 1.24~151.91 Bq/kg)、18.99 Bq/kg (范围值 0.41~92.57 Bq/kg)、386.39 Bq/kg (范围值 31.30~1095.50 Bq/kg), 均显著低于全国和世界的平均值. 在测得的 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 含量基础上, 计算了距地面 1 m 高处空气中 γ 辐射吸收剂量率、外照射指数、内照射指数和年有效剂量等参数, 并据此对大连市地表天然放射性水平进行了评价. 空气中 γ 辐射吸收剂量率 (D_r) 平均值为 39.04 nGy/h, 远低于全国 (81.5 nGy/h) 和世界 (80 nGy/h) 平均水平. 外照射指数、内照射指数平均值分别为 0.23、0.12, 均远小于国家对建筑材料外照射指数的限值 1. 年有效剂量为 0.048 mSv, 远低于世界年平均有效剂量 (0.46 mSv) 以及公众外照射年有效剂量 (1.0 mSv) 的限值. 评价结果表明, 大连市地表天然放射性辐射处于安全的水平.

关键词: 天然放射性核素; 天然放射性水平; 外照射指数; 年有效剂量; 大连市

开放科学标志码 (OSID):



DOI: 10.13686/j.cnki.dzyz.2020.05.011

INVESTIGATION ON THE NATURAL RADIOACTIVITY LEVEL OF GROUND SURFACE IN DALIAN URBAN AREA

HAN Zhi-bin¹, MA Hong-wei², DU Guang-ren¹

1. No. 240 Institute of Nuclear Industry, Shenyang 110032, China; 2. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: The contents of natural radionuclide such as ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K on the ground surface of Dalian City, Liaoning Province, are surveyed with the ARD γ -ray spectrometer. The results show that the average specific radioactivity of ^{238}U is 23.09 Bq/kg (ranging from 1.24 to 151.91), ^{232}Th 18.99 Bq/kg (0.41~92.57), and ^{40}K 386.39 Bq/kg (31.30~1095.50), which are all significantly lower than the national and world averages. On the basis of measured radionuclide concentration, the parameters including the absorbed dose rate of γ radiation (D_r) at 1 m above the ground, external exposure index (I_r), internal exposure index (I_{Ra}) and annual effective dose (D_{aed}) are calculated, and then the natural radioactivity level are evaluated. The average D_r of 39.04 nGy/h is far lower than the national average (81.5 nGy/h) and world average (80 nGy/h). The average values of I_r and I_{Ra} are 0.23 and 0.12 respectively, much less than the national limit (1) for external exposure index of building materials. The D_{aed} of 0.048 mSv is far below the world average annual effective dose (0.46 mSv) and limit of annual effective dose for external public exposure (1.0 mSv). The evaluation results show that the natural radioactive radiation of surface in Dalian urban area is at a safe level.

Key words: natural radionuclide; natural radioactivity level; external exposure index; annual effective dose; Dalian City

收稿日期: 2020-04-03; 修回日期: 2020-05-08. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“大连海岸带陆海统筹综合地质调查”(编号 DD20189504).

作者简介: 韩志滨 (1987—), 男, 主要从事区域地质、工程地质、放射性地质、地球物理方面工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区岐山东路 4 号, E-mail// 290279285@qq.com

0 引言

环境中的天然辐射本底主要有宇宙射线、宇生放射性核素和原生放射性核素的辐射 3 部分组成^[1]。宇宙射线主要来源于地球外层空间,而宇生放射性核素为宇宙射线与大气原子核发生核反应的产物,其含量极低,对环境辐射贡献很小。天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 广泛分布于各种岩石、土壤、水等介质中,几乎遍地皆是。联合国原子辐射效应和科学委员会(UNSCEAR)在 1982 年报告书中指出,地球 γ 辐射主要产生于地壳表面岩石、水、土壤中的天然放射性核素,形成辐射本底,天然本底辐射是人类所受到的集体剂量的最大部分,约占 80%^[2]。世界上经济发达国家对天然放射性辐射环境开展的研究很多,尤其对岩石、土壤天然放射性水平进行了大量调查和评价,取得了较丰硕的成果^[1-4]。我国许多大中城市如北京、青岛、重庆、成都、泉州等不同程度地开展了这方面的工作^[5-10],并且建立了全国天然放射性水平数据库^[11]。

大连市地理位置位于东经 $120^{\circ}55' \sim 123^{\circ}31'$,北纬 $38^{\circ}40' \sim 40^{\circ}11'$ 之间,主要地形地貌为低山、丘陵,夹少量台地、平原。大连城区大地构造位置位于华北陆块东部,辽东新元古代—古生代拗陷带南端,主要地层为新元古界变质岩、变质杂岩基底以及大面积新元古界以来的沉积盖层。本研究在核工业 240 研究所 2018 年承担的中国地质调查局沈阳地质调查中心专题项目“大连市天然放射性辐射环境调查评价研究”基础上,开展了大连市区天然辐射水平调查工作,研究结果将为大连沿海区域规划及重大工程的建设提供科学的放射性数据,为提高国土资源管理的科学性提供依据。

1 技术方法

1.1 仪器设备

本次野外调查工作使用的主要仪器为石家庄核工业航测遥感中心生产的 ARD 型便携式多道伽马能谱仪 3 台和 GARMIN 公司生产的 eTrex 201x 型手持 GPS 卫星定位仪 4 台。在进行野外工作前,能谱仪经过石家庄国家一级放射性计量检测站进行精确性检定,检定合格并出具检定报告。之后对 3 台仪器分别进行了短期稳定性检查 2 次(间隔一个月),结果显示 3 台仪器各道读数标准偏差均小于 1.5 倍各道读数的平均值的开方,符合规范要求^[12]。实际工作过程中每

天出工前、收工后均进行长期稳定性检查,结果显示,铀含量相对偏差为 $-4.7\% \sim +4.9\%$,钍含量相对偏差为 $-2.4\% \sim +4.7\%$,均在 $\pm 5\%$ 范围以内。钾含量相对偏差为 $-0.33\% \sim +9.55\%$,符合规范要求。此外,还对 3 台仪器之间进行了一致性对比检查,确保仪器的稳定和测量数据的真实、可信。手持 GPS 卫星定位仪根据当地坐标参数进行了校正,使用 2000 国家大地坐标系。

1.2 调查内容与测点布置

本次调查内容为利用 γ 能谱仪测量大连市区地表天然放射性核素 ^{38}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的含量。因大连市内建构物复杂,人口密集,根据城区目前格局及现场实际情况,测量时采用了自由网格的方式,不规定测点位置,随机分布。在荒郊、田野或类似面积较大,只有一个对象且地质、环境等影响因素一致时,进行测点稀疏处理,在构造带或地质环境复杂、岩性变化频繁的区域,进行了测点加密处理。根据以上原则,除部分无法到达的地段,其余地段保证了每平方千米网格中至少有 2 个测点。

1.3 测量方法

测量严格执行核行业标准 EJT 363—2012《地面伽马能谱测量规范》^[12]。测量时选择较平坦地面,并保证辐射立体角为 2π 。测量值为背景含量时,测量时间选取为 60 s 取一次读数;当发现异常时,测量次数增加为 3 次,并取其平均值。测量避开下雨时段,如有测量,均在雨停后(3~8 h)路面及土壤层无积水时进行。本次测量尽量选取土壤裸露地段开展工作,将沥青路面、水泥路面等完全人工介质的测点降到了最少。经检查点测量,铀含量误差范围为 $\pm 0.4 \times 10^{-6}$,钍含量误差范围 $\pm 0.8 \times 10^{-6}$,钾含量误差范围 $-0.2\% \sim +0.1\%$,符合规范要求。

1.4 γ 辐射水平评价指标

本次工作选取空气吸收剂量率、外照射指数、内照射指数、年有效剂量等评价指标对大连市区 γ 辐射水平进行评价。

考虑放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 对 γ 辐射的贡献,利用 Beck 公式法^[13]计算距离地表 1 m 高处的空气吸收 γ 射线的剂量率(D_r ,单位 nGy/h)。根据调查结果,可以认为大连市区天然放射性核素在土壤介质中分布均匀,辐射场无限大且均匀,铀、钍处于平衡状态,满足 Beck 公式法使用条件。其计算公式为:

$$Dr=k_{Ra}\times C_{Ra}+k_{Th}\times C_{Th}+k_K\times C_K \quad (1)$$

式中, C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_K 分别为 ^{226}Ra (^{238}U)、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的比活度(Bq/kg); $k_{Ra(U)}$ 、 k_{Th} 、 k_K 分别为镭(铀)、钍、钾的换算系数,取值 0.427、0.662、0.043^[14]。

外照射系数(I_r)、内照射指数(I_{Ra})是评价城市居住环境中居民所受到的辐射程度的重要指标。参考国家建筑材料放射性核素限量标准(GB6566—2010)^[15],外照射指数控制式为:

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

内照射指数控制式为:

$$I_{Ra}=C_{Ra}/200 \quad (3)$$

年有效剂量(D_{aef} , annual effective dose)是估算环境中天然伽马辐射对当地居民产生的外照射程度的指标。年有效剂量计算公式^[16]为:

$$D_{aef}=Dr\times 8760\times a_1\times a_2\times 10^{-6} \quad (4)$$

式中, Dr 是距离地面 1 m 高处空气吸收剂量率; a_1 是居民室外平均居留因子,取值 0.2; a_2 是空气吸收剂量转换成年有效剂量的换算系数,取值 0.7 Sv/Gy。

2 结果与影响因素分析

2.1 调查区地面放射性核素含量测量结果

大连市区内共完成有效放射性核素测量点位 1105 个。利用伽玛能谱测量所得的 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 天然放射性核素含量,经过单位换算系数转换^[17],可以得到 3 种放射性核素的比活度,换算系数见表 1。

表 1 放射性核素含量与放射性比活度单位换算表
Table 1 Conversion for radionuclide concentration and specific radioactivity

地面 γ 能谱测量		天然放射性评价		换算系数
核素	单位	放射性比活度	单位	
^{238}U	10^{-6}	^{238}U (^{226}Ra)	Bq/kg	$1\times 10^{-6}=12.35$ Bq/kg
^{232}Th	10^{-6}	^{232}Th	Bq/kg	$1\times 10^{-6}=4.06$ Bq/kg
^{40}K	10^{-2}	^{40}K	Bq/kg	$1\times 10^{-2}=313$ Bq/kg

由测量结果(表 2)可知,地面放射性核素 ^{238}U 浓度测量值变化范围为 1.24~151.91 Bq/kg,平均值为 23.09 Bq/kg,中位数为 22.23 Bq/kg,标准差 10.79,变异系数 46.73%。这表明大连市区地面放射性核素 ^{238}U 浓度变化范围较大,且呈现出总体较低,局部极小范围

表 2 大连市区土壤放射性核素比活度参数表

Table 2 Parameters of soil specific radioactivity in Dalian urban area

放射性核素种类	测点 数	浓度变化范围/ (Bq/kg)	算术平均值/ (Bq/kg)	中位数/ (Bq/kg)	标准 差	变异系 数/%
^{238}U	1105	1.24~151.91	23.09	22.23	10.79	46.73
^{232}Th	1105	0.41~92.57	18.99	18.27	11.71	61.66
^{40}K	1105	31.30~1095.50	386.39	375.60	152.93	39.58

高值异常的特点。全区识别出两片小面积高值区域,即大连海洋大学西北侧、大连北站西北侧区域。热液作用、构造运动以及人类影响(采石、煤渣、粉尘等)形成了局部放射性核素 ^{238}U 的小规模富集^[18],造成了异常高值。与同属北方海岸带沿海重要城市的青岛相比(表 3),其地面放射性核素 ^{238}U 平均浓度略低,与全国以及全世界相比(表 3),属于显著偏低的地区。

地面放射性核素 ^{232}Th 浓度测量值变化范围为 0.41~92.57 Bq/kg,平均值为 18.99 Bq/kg,中位数 18.27 Bq/kg,标准差 11.71,变异系数 61.66%(表 2)。由此可知,大连市区地面放射性核素 ^{232}Th 浓度值的离散程度比 ^{238}U 大,而其平均浓度值普遍很低。与青岛地区、全国以及全世界地面放射性核素 ^{232}Th 平均浓度相比(表 3),大连市区地面放射性核素 ^{232}Th 浓度属于显著偏低的地区。

地面放射性核素 ^{40}K 浓度平均值为 386.39 Bq/kg,中位数 375.60 Bq/kg,测量值变化范围为 31.30~1095.50 Bq/kg,标准差 152.93,变异系数 39.58%(表 2)。结果显示,大连市区地面放射性核素 ^{40}K 浓度值的离散程度小于 ^{238}U 、 ^{232}Th ,其平均浓度值也较低。与青岛地区、全国以及全世界地面放射性核素 ^{40}K 平均浓度相比(表 3),大连市区地面放射性核素 ^{40}K 的浓度显著偏低。全区地面放射性核素 ^{40}K 浓度分布与空气中 γ 辐射吸收剂量率(Dr)的分布情况最接近(图 3),表明 ^{40}K 浓度与空气中 γ 辐射吸收剂量率相关性最好。全区识别出 ^{40}K 浓度相对高值区 3 处,即西北营城子站-牧城子水库偏高值区、东北部后关西立交桥-南关湿地公园偏高值区、南部大连海洋大学-大连市森林动物园偏高值区。

2.2 调查区地面放射性核素含量影响因素

2.2.1 地质环境影响因素

地质环境影响因素主要有岩性、岩石蚀变、构造环

表 3 大连市土壤天然放射性核素比活度对照表

Table 3 Comparison of soil specific radioactivity between Dalian and other countries/regions

国家或地区	土壤天然放射性核素比活度/(Bq/kg)						空气中 γ 辐射吸收剂量率/(nGy/h)	
	^{238}U		^{232}Th		^{40}K		均值	范围
	均值	范围	均值	范围	均值	范围		
埃及	17	5-64	18	2-96	320	29-650	32	20-133
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
全国	38.5	7.3-449	54.6	10.3-1844	584.0	n.d.-1548	81.5	11.6-523
世界	40	—	40	—	580	—	80	—
青岛	27.9	3.3-185.3	60.1	6.9-157.2	1082.6	115.8-7834.4	98.6	13.4-433.2
大连	23.09	1.24-151.91	18.99	0.41-92.57	386.39	31.30-1095.50	39.04	10.08-136.91

全国数据引自文献[19],世界数据引自文献[1,19],青岛数据引自文献[7],其他国家数据引自文献[15]. n.d.为未检出.

境等. 不同岩石由于岩性的不同,放射性核素含量也不同. 即使相同的岩性,所处地层、地质年代不同,其放射性核素含量也不相同. 岩石蚀变种类、蚀变发育程度、构造环境不同,也会造成地面放射性核素含量的不同.

大连市内绝大多数区域已被第四系沉积物所覆

盖. 在大面积第四系沉积物覆盖地区,地面放射性核素浓度与下伏岩石岩性、岩石蚀变情况以及所处的构造环境密切相关^[6]. 调查结果显示,不同地质背景下的放射性核素含量会产生差异(图 1,表 4). 新元古界震旦系金县群十三里台组(Pt_3^3s)放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 浓度在所涉及的地质单元中最高,分别达到

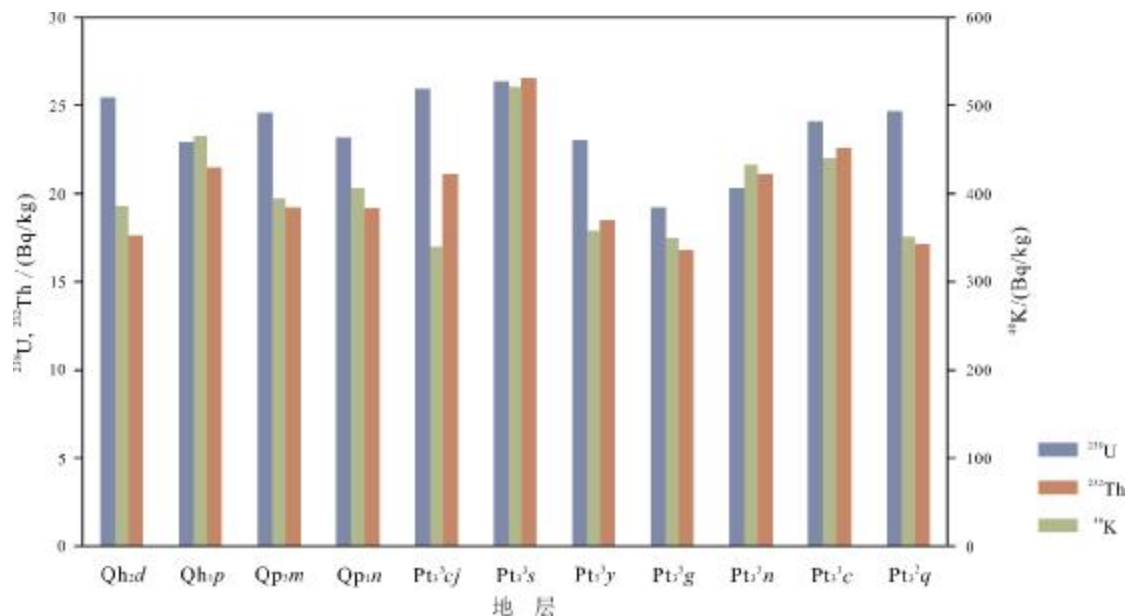


图 1 不同地层单元天然放射性核素浓度平均值直方图

Fig. 1 Histogram for radionuclide concentration by stratigraphic units

Qh₂d—大孤山组(Dagushan fm.); Qh₁p—泡子组(Paozi fm.); Qp₂m—马兰组(Malan fm.); Qp₁n—黏泥岭组(Nianningling fm.); Pt₃³j—崔家屯组(Cuijiatun fm.); Pt₃³s—十三里台组(Shisanlitai fm.); Pt₃³y—营城子组(Yingchengzi fm.); Pt₃³g—甘井子组(Ganjingzi fm.); Pt₃³n—南关岭组(Nanguanling fm.); Pt₃³c—长岭子组(Changlingzi fm.); Pt₃³q—桥头组(Qiaotou fm.)

表 4 不同地质背景下的放射性核素浓度统计表

Table 4 Radionuclide concentration of different formations in Dalian

地质层	代号	统计点数	²³⁸ U 浓度	²³² Th 浓度	⁴⁰ K 浓度
大孤山组	Oh _d	60	25.46	17.66	386.03
泡子组	Oh _p	39	22.93	21.51	465.49
马兰组	Qp _m	129	24.59	19.21	394.77
黏泥岭组	Qp _n	8	23.16	19.18	406.90
崔家屯组	Pt ₃ ³ cj	7	25.94	21.11	339.83
十三里台组	Pt ₃ ³ s	11	26.38	26.57	520.72
营城子组	Pt ₃ ³ y	79	23.03	18.51	358.17
甘井子组	Pt ₃ ³ g	148	19.21	16.82	350.22
南关岭组	Pt ₃ ³ n	111	20.34	21.09	433.12
长岭子组	Pt ₃ ³ c	216	24.09	22.61	440.08
桥头组	Pt ₃ ³ q	245	24.68	17.14	351.58

浓度单位: Bq/kg.

26.38、26.57、520.72 Bq/kg. 震旦系五行山群甘井子组 (Pt₃³g)放射性核素 ²³⁸U、²³²Th 浓度最低,分别为 19.21、16.82 Bq/kg. 而震旦系金县群崔家屯组 (Pt₃³cj)放射性核素 ⁴⁰K 浓度最低,为 339.83 Bq/kg.

十三里台组主要岩性为薄层、中厚层粉屑灰岩,调查发现其放射性核素含量相对偏高的原因可能是十三里台组沿北东向构造分布规律明显,多分布于断裂发育的地区,岩石受构造影响裂隙较发育,蚀变较强,造成放射性核素 ²³⁸U、²³²Th、⁴⁰K 浓度相对偏高.

甘井子组岩性主要为各类白云岩,是调查区唯一的白云岩分布区,面积较大,几乎无蚀变发育,构造环境稳定.这表明调查区白云岩本体可能 ²³⁸U、²³²Th 含量很低,造成地质背景为甘井子组的地表放射性核素含量的偏低.

2.2.2 地表测量介质影响因素

地面放射性核素浓度调查除受地质环境因素影响外,也受地表测量介质、介质颗粒度、温度、湿度、建筑物等影响^[17, 20-23]. 在城市放射性调查工作中,因绝大多数区域已被第四系沉积物所覆盖,故不同地表测量介质对放射性核素浓度的影响显著.本次研究对比了基岩、砂砾、砂、黏土质砂、砂质黏土、黏土、水泥地面、沥青地面、红砖地面等 9 种测量介质对放射性核素浓度的影响情况(图 2,表 5).

调查结果显示,测量介质为基岩露头时,放射性核素 ²³⁸U、²³²Th、⁴⁰K 浓度平均值均较高,其中 ²³²Th、⁴⁰K 浓

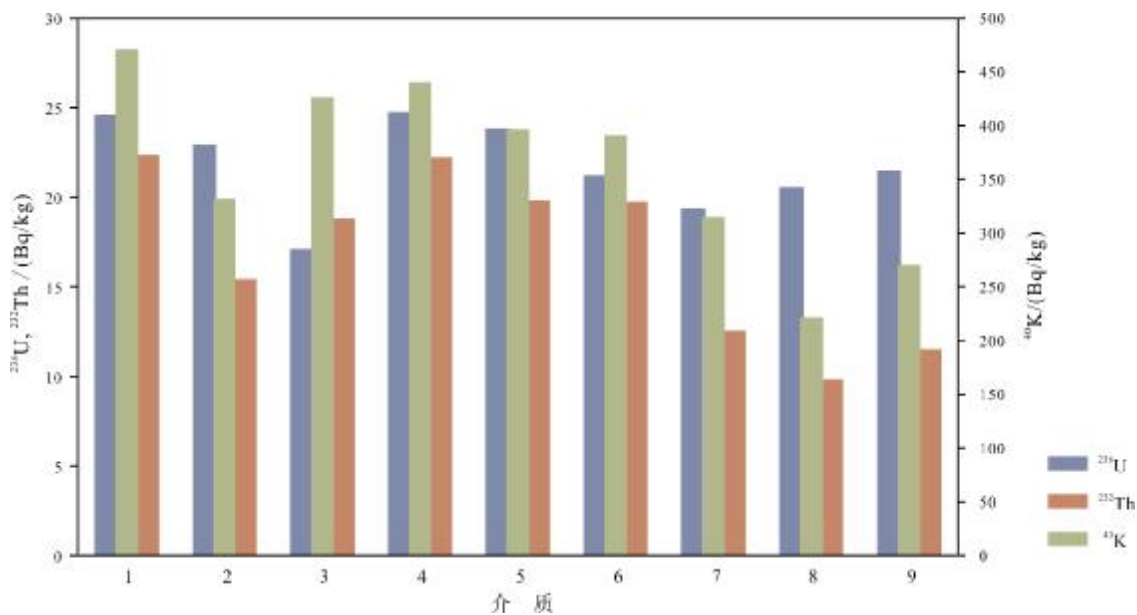


图 2 不同测量介质的放射性核素浓度平均值直方图

Fig. 2 Histogram for radionuclide concentration by measured media

1—基岩 (bed rock); 2—砂砾 (gravel); 3—砂 (sand); 4—黏土质砂 (clayey sand); 5—砂质黏土 (sandy clay); 6—黏土 (clay); 7—水泥地面 (cement ground); 8—沥青地面 (asphalt ground); 9—红砖地面 (red-brick ground)

表5 不同测量介质的放射性核素浓度统计表

Table 5 Statistics for radionuclide concentration of different media in Dalian

序号	介质类型	统计点数	^{238}U 浓度	^{232}Th 浓度	^{40}K 浓度
1	基岩露头	64	24.58	22.35	470.97
2	砂砾	73	22.92	15.43	331.87
3	砂	21	17.11	18.81	426.28
4	黏土质砂	17	24.77	22.21	440.04
5	砂质黏土	692	23.86	19.83	396.72
6	黏土	146	21.21	19.77	390.82
7	水泥地面	34	19.40	12.55	314.84
8	沥青地面	45	20.58	9.82	221.88
9	红砖地面	8	21.46	11.52	269.96

浓度单位: Bq/kg.

度平均值为9种介质中最高, ^{238}U 浓度平均值在9种介质中排名第二. 这可能因为基岩出露区为原生环境, 岩石受后期人类活动影响很弱, 放射性核素保存较好, 故浓度较高. 水泥地面、沥青地面、红砖地面等3种人工介质的放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 浓度平均值较低. 其中水泥地面 ^{238}U 浓度排名倒数第二, ^{232}Th 浓度、 ^{40}K 浓度排名倒数第三; 沥青地面 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 浓度均最低, ^{238}U 浓度排名倒数第三. 这可能由于3种人工介质对原生土壤层起到了强屏蔽作用, 明显削弱了 γ 辐射强度, 造成测得的放射性核素地表浓度均处于较低水平. 而测量介质为砂砾、砂、黏土质砂、砂质黏土、黏土等第四系沉积物覆盖区时, ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 浓度平均值基本处于中游水平, 除黏土质砂介质 ^{238}U 浓度稍高于基岩露头介质外, 其余均低于原生基岩露头介质环境. 这是由于5种覆盖层在长期地表淋滤作用下, 放射性核素发生了一定程度的流失, 造成浓度相比基岩露头较低^[24].

3 γ 辐射水平评价结果与分析

项目组选取空气吸收剂量率、外照射指数、内照射指数、年有效剂量等评价指标对大连市区 γ 辐射水平进行了评价. 利用克里金插值法^[7], 运用 Surfer 计算机软件成图, 绘制了空气吸收剂量率、外照射指数、内照射指数等指标的等值线图(图3).

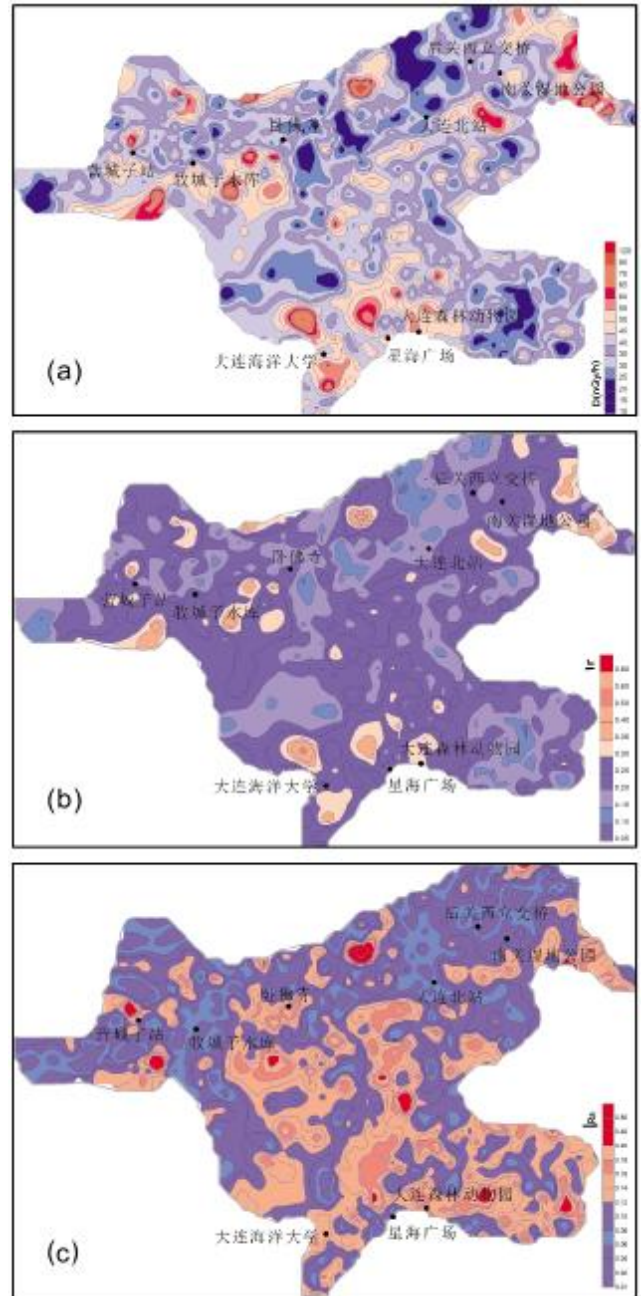


图3 调查区放射性指标等值线图

Fig. 3 Isopleth maps of radioactivity indexes in Dalian urban area
a—空气吸收剂量率(air absorbed dose rate); b—外照射指数(external exposure index); c—内照射指数(internal exposure index)

由图3a、表3、式(1)可以得出, 大连市区空气吸收剂量率范围 10.08~136.91 nGy/h, 绝大部分地区处于较低水平, 全区空气吸收剂量率平均值(39.04 nGy/h)显著低于全国(81.5 nGy/h)和世界(80.0 nGy/h)水平^[1, 19]. 仅在大连森林动物园、星海广场、大连海洋大学、牧城子水库南侧、大连北站、卧佛寺等小面积区域, 空气吸收剂量率相对较高, 数值在 60~90 nGy/h, 与全

国和世界水平相比,也属于正常范围。

据式(2)(3)及图 3b、c 得出调查区内的外照射指数为 0.06~0.83, 平均值 0.23; 内照射指数为 0.01~0.76, 平均值 0.12。外照射指数和内照射指数的平均值、最大值均低于国家对建筑材料外照射指数、内照射指数的限值 1^[24]。外照射指数仅在大连海洋大学西北侧、营城子-牧城子水库南侧、大连北站西北侧局部小片区稍有增高,内照射指数仅在大连海洋大学东北侧、大连森林动物园东侧、老虎滩公园东侧局部区域稍有增高。上述地区高值均在国家限值之内,可以认为大连市区内辐射水平处于安全范围之内。

据式(4)计算结果,调查区年有效剂量范围为 0.012~0.168 mSv/a, 平均值为 0.048 mSv/a, 远低于 UNSCEAR 推荐的世界平均年有效剂量 0.46 mSv/a^[1]。因此可以认为调查区属正常辐射水平的地区。

4 结论

利用 γ 能谱仪测量得到大连市地表天然放射性核素 ^{38}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的含量。放射性核素 ^{40}K 比活度范围 31.3~1095.5 Bq/kg, ^{238}U 比活度范围 1.24~151.91 Bq/kg, ^{232}Th 比活度范围 0.41~92.57 Bq/kg。由此得出调查区空气吸收剂量率范围 10.08~136.91 nGy/h, 平均值 39.04 nGy/h, 显著低于全国(81.5 nGy/h)和世界(80.0 nGy/h)水平。外照射指数范围 0.06~0.83, 平均值 0.23, 内照射指数范围 0.01~0.76, 平均值 0.12, 均低于国家对建筑材料外照射指数、内照射指数的限值 1。年有效剂量范围 0.012~0.168 mSv/a, 平均值为 0.048 mSv/a, 远低于联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)推荐的正常地区年平均有效剂量 0.46 mSv/a 的限值,以及 1999 年国际放射性辐射防护委员会(ICRP) 82 号建议书建议的公众外照射年有效剂量 1.0 mSv/a 的限值^[6]。因此,大连市地表天然放射性辐射处于安全的水平,属环境辐射安全地区。

参考文献:

[1] 冯必达. 浅谈城市生态环境放射性调查[J]. 华东铀矿地质, 2001(2):45-47.
 [2] UNSCEAR. Exposure from natural sources of radiation[M]. New York: United Nations, 1993:12-28.
 [3] Malczewski D, Teper L, Dorda J. Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environs of

Swieradow Zdroj in Sudetes, Poland, by in situ gamma-ray spectrometry [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2004, 73(3):233-245.
 [4] Nuccetelli C, Bolzan C. In situ gamma spectroscopy to characterize building materials as radon and thoron sources[J]. Science of the Total Environment, 2001, 272(1/2/3):355-360.
 [5] 吴增新, 章文英, 郑汝宽, 等. 北京市 1989-1991 年环境辐射监测[J]. 辐射防护通讯, 1994, 14(3):15-29.
 [6] 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.
 [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.
 [8] 周勤, 张晟, 郑筱梅, 等. 重庆市高新区环境 γ 放射性监测与评价[J]. 重庆师范学院学报(自然科学版), 2002, 19(3):55-58.
 [9] 曾兵, 葛良全, 刘合凡, 等. 成都经济区天然放射性环境评价[J]. 物探与化探, 2010, 34(1):79-84.
 [10] 胡恭任, 于瑞莲. 泉州市环境放射性水平调查[J]. 重庆环境科学, 2002, 24(2):65-68.
 [11] 盛沛菇, 支仲冀, 李新德, 等. 全国环境天然放射性水平数据库及其应用[J]. 辐射防护, 1995, 15(2):104-110.
 [12] 国家国防科技工业局. EJ/T 363-2012, 地面伽玛能谱测量规范[S]. 2013.
 [13] Beck H L, DeCampo J, Gogolak G. In situ Ge (Li) and Na (Ti) gamma-ray spectrometry[R]. New York: United States Atomic Energy Commission, 1972.
 [14] UNSCEAR. Sources, effects and risks of ionizing radiation [M]. New York: United Nations, 1988:15-76.
 [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB 6566-2010, 建筑材料放射性核素限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
 [16] UNSCEAR. Sources, effects and risks of ionizing radiation[M]. New York: United Nations, 2000:179-204.
 [17] 黄元清. 城市环境天然放射性评价研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2005:39.
 [18] 文湘阳, 梁邦义, 袁之屏. 四川燃煤电厂对周围土壤的辐射影响[J]. 四川环境, 1995, 14(2):51-54.
 [19] Wang Z Y. Natural radiation environment in China[J]. International Congress Series, 2002, 1225:39-46.
 [20] 卢炎, 戴丽君, 王平. 地面 γ 能谱测量影响因素初探[J]. 长春地质学院学报, 1994, 24(1):92-95.
 [21] 周琪. 伽玛辐射测量中应注意的几个问题[J]. 干旱环境监测, 2001, 15(2):121-122.
 [22] 严振庄, 谢东, 李海良. 环境 γ 辐射本底的照射量率水平及其与建筑材料的关系[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 1996, 20(1):49-51.
 [23] 唐兆荣. 核电子学概要[M]. 北京: 原子能出版社, 1988:132.
 [24] 李祯堂, 王辉, 游志均. 放射性核素在页岩和黄土中的迁移研究[J]. 辐射防护通讯, 2004, 24(3):34-38.