文章编号： 1001-1749(2022)01-0088-08

河北昌黎平原区土壤中氡气浓度调查与环境影响评估

程立群，刘　亮，孙建宏，赵彦军
（河北省地矿局　第八地质大队，秦皇岛　066000）

摘　要： 本次研究采用 FD216 环境氡测量仪，采样深度 70 cm，共计 656 个测点，对河北省昌黎县平原区土壤中氡气浓度现状进行了调查，对其环境危害程度进行了评价。结果表明，研究区内土壤中氡气浓度范围在 531.9 Bq/L～59 787.2 Bq/L 之间，背景值为 5 455.7 Bq/L，低于全国平均水平，属于土壤中氡气浓度正常区；土壤中氡气浓度的环境危害等级大部分属中低风险区，只有极少的一处区域为高风险级别，且分布于农田中，对人居环境危害程度较低；根据国家标准，97.62%区域可不采取防氡措施；整体看来，研究区内土壤中放射性核素含量较低、土壤松散、含沙量大，不利于氡气的生成与储存，特别是故河道及其附近区域，氡浓度明显低于背景值；宁河—昌黎断裂及其次级断裂经过区域土壤中氡气浓度较高；地质环境、土壤松散度、岩土性质、活动性断裂构造，为影响昌黎平原区土壤中氡气浓度的主要因素。

关键词： 土壤中氡气浓度；影响因素；环境影响评价；昌黎平原区
中图分类号： P 632　　**文献标志码：** A　　**DOI：** 10.3969/j.issn.1001-1749.2022.01.11

0　引言

氡及其短寿衰变子体是天然放射性系列中铀系、钍系的成员，是人类受天然辐射的主要来源之一。作为一种放射性危害物质，可通过呼吸道黏膜和血气屏障进入血液和全身，导致血液和其他脏器，如胸腺、脾脏和淋巴结等中枢和外围免疫器官都可能受到辐射的危害，进而诱发癌症、白血病等疾病的发生。而环境空气中的氡主要来源于土壤，因此，调查了解土壤中氡气浓度现状、分布规律、危害程度、影响因素等是防止氡危害的关键所在[1-4]。近年来，我国虽然陆续开展了一些土壤中氡气浓度调查工作，但工作程度还不够，很多地方尚属空白，特别是结合地区特点和地质背景的氡气浓度调查与评价更是少之又少[5]。

随着京津冀协同发展国家战略的实施，河北省特别是一些环首都市县将承接部分非首都功能。本着建设绿色、可持续的人居环境的理念，廊坊三河、唐山丰南等县市率先开展了土壤中氡气浓度水平调查与环境危害程度分类工作。成果显示：土壤气中氡浓度三河平均值在 20 000 Bq/L～25 000 Bq/L 之间，唐山平均值在 15 000 Bq/L～20 000 Bq/L 之间[6]。研究区内尚未开展过类似工作和研究。

通过本次调查，掌握了河北省昌黎县平原区土壤中氡气浓度水平、分布特征及影响因素，获取了区域土壤中氡气浓度背景值，并对其环境危害程度及作为民用建筑工程场地防氡措施等级进行了评价与分类。对今后区内的土地开发利用规划和减少土壤中氡气对人类生产生活的危害，具有重要指导意义。

收稿日期：2021-02-21
基金项目：河北省地矿局项目(454－0502－JBN－UGIR)
第一作者：程立群(1981－)，男，硕士，高级工程师，长期从事环境地质、地热地质研究工作，E-mai：qhdchengliqun@163.com。

1　研究区概况

1.1　自然地理

研究区位于河北省秦皇岛市昌黎县西南部，中心地理坐标：东经 118°57′24″，北纬 39°37′36″，面积约 66.60 km²。地貌属滦河冲洪积平原，地形总体平坦，略呈北高南低之势，地面标高在 13 m～18 m 之间。区内村庄星罗棋布，劳动力富足，主要以外出务工和农业种植为生。本区属暖温带半湿润大陆性季风气候区，四季分明；夏季多东南风，炎热多雨；冬季多西北风，干燥寒冷。区域内主要地表水系—滦河由研究区西 2 km 处自北向南流过，区内无常年径流地表水系，仅分布有三条人工沟渠及多个池塘(图 1)。

1.2　地质概况

研究区大地构造位置属于中朝准地台(Ⅰ$_2$)燕山台褶带(Ⅱ$_2^2$)山海关台拱(Ⅲ$_2^8$)西与黄骅台陷(Ⅲ$_2^{14}$)东北相接处。

1.2.1　地层

1)第四系(Q)。全区均被较厚第四系所覆盖，厚 120 m～420 m，北薄南厚。主要岩性为滦河洪冲积形成的粉土、粉沙土、细沙；黄褐色、浅灰色，半滚圆—滚圆状。局部夹淤泥质粉土，浅黄灰色，饱和，稍密，含沙量较高。具水平层理，地层水平延展性好；地下水位埋深 6 m～10 m；适宜作一般工业与民用建筑基础的持力层。

2)第三系(N)。主要分布于研究区南部宁河—昌黎断裂南侧，隐伏于第四系地层之下，总厚度在 700 m 以上。岩性主要为长石岩屑砂岩、泥岩，局部分布有杏仁状玄武岩及镁质碳酸盐化凝灰岩。其中，长石岩屑砂岩呈灰色，中细粒结构，块状构造；矿物成分为石英、钾长石、斜长石、黑云母等。泥岩呈灰色，泥质结构，块状构造；主要成分为泥质，约占岩石总量的 94%～95%，碎屑主要为石英、长石；呈次棱角状～次圆状，粒径为 0.02 mm～0.55 mm。

3)太古界(Ar)。主要分布于研究区第四系及第三系地层之下，埋深较大，岩性主要为：混合花岗岩、片麻状混合岩、黑云变粒岩、混合岩化黑云变粒岩，次为磁铁石英岩、磁铁透闪石英岩、含磁铁铁闪石英岩、磁铁黑云变粒岩、斜长角闪岩等。

1.2.2　构造

区内构造发育，区域性深大断裂宁河—昌黎断裂及其次级断裂在研究区南部穿过。该断裂为一条地壳基底深断裂，西南起自宁河，向东北经本区，过昌黎转向东入渤海，断裂总体走向 NE50～NE70°，倾向 SE，为上陡下缓的铲形正断层，其控制了南侧黄骅台陷北段中、新生代沉积。资料显示，该断裂为

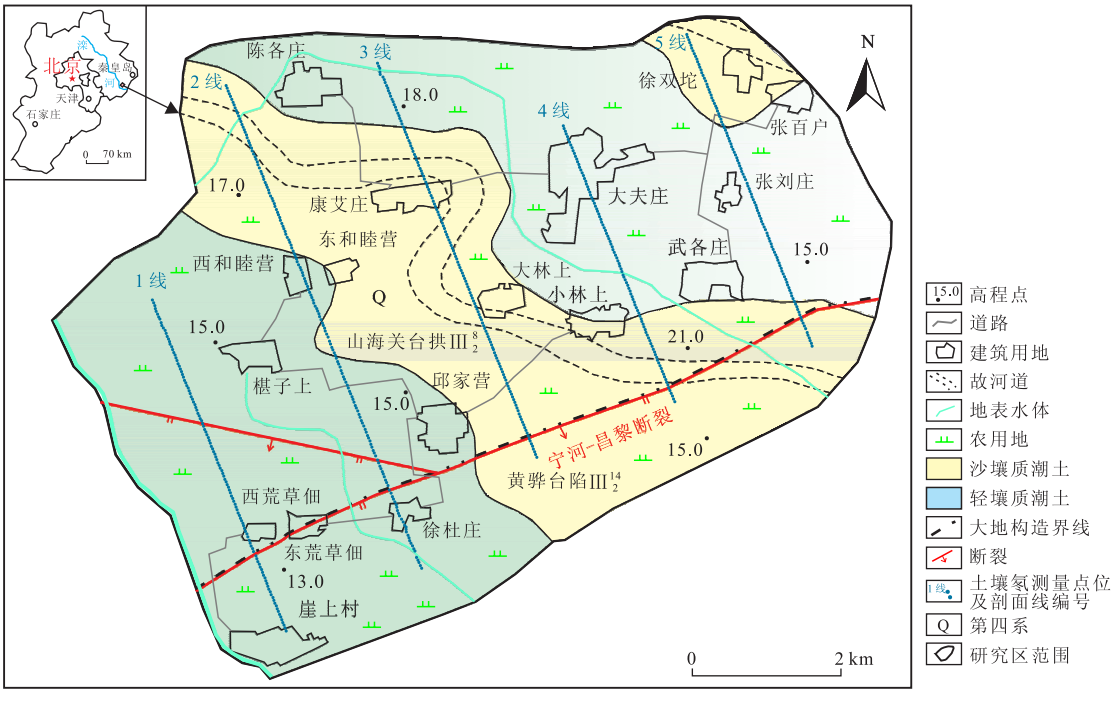

图 1　研究区位置及地貌地质图

Fig. 1　Location and geomorphology map of the study area

一多期活动性断裂，主要活动时代为晚更新世早期，近年昌黎县东南部小震频繁，与其活动有关[7-8]。

1.2.3 岩浆岩

区内岩浆活动较弱，在第四系地层之下只有零星脉状伟晶岩穿插于太古代变质岩中。

1.3 土壤概况

研究区内土壤类型主要为轻壤质潮土、沙壤质潮土(图 1)，有机质含量不高，土质贫瘠[9]。土壤中有大量沙、砾石夹杂，部分区域为河流冲积沙、砾层，土质疏松、土体空隙较大。

2 调查方法

2.1 测点分布

在 5 条北东向的测线上进行了土壤中氡气测量，测线间距为 2 km，测点间距为 40 m，测点采用 GPS+罗盘定位，定位误差小于 3 m，共计测点 656 个(图 1)。

2.2 测量仪器和测量方法

测量仪器：本次调查使用核工业北京地质研究院研发的 FD216 环境氡测量仪，探测下限为 300 Bq/m^3。该仪器以闪烁瓶法为基础，用气泵将土壤中含氡的气体吸入闪烁瓶，氡及其子体发射的 α 粒子使闪烁瓶中的 ZnS(Ag)发光，光电倍增管把光讯号变成电脉冲；经放大整形后由控制电路进行计数。根据单位时间内的电脉冲与氡浓度的正比关系即可确定闪烁瓶中氡浓度。

测量方法：在每个样点上，①用直径 2.0 cm 左右，长 80 cm 的钢钎，在土壤中打约 70 cm 深的孔；②将钢钎拔出迅速将取样器插入孔中，并将取样器顶端地表部分用土密封压实，以防抽气时大气进入孔中；③用软橡胶管将取样器与仪器连接，测量参数设置为：充气时间为 2 min(即采样体积为 1.5 L)，测量时间为 5 min，排气时间为 2 min；④按“土壤氡”键进行测量，测量过程为本底测量－充气－测量－排气；⑤测量完成，记录数据。

质量保障：为了避免温度、湿度等外界因素对测量结果的影响，本次工作选在了 2020 年 10 月－11 月进行，气温在 18℃～24℃之间；如遇下雨，雨后 48 h 内不进行野外测量工作，每个测点观测 3 次数据，取平均值作为实际观测结果。其中 6 个测点数值低于探测下限，整体报出率为 99.1%，说明本研究选用仪器和测量方法满足在本研究区开展土壤中氡气浓度测量工作要求；测量结束后对其中的 70 个测点进行了复查测量，大于实际测点的 10%，其中 3 个点测量重复性误差＞5%，重复测量合格率为 95.7%，测量数据可靠，满足研究要求。

表 1 土壤中氡气浓度统计(单位：Bq/L)

Tab. 1 Statistics of soil radon concentration

测点数	平均值	标准离差	最小值	最大值
656	5455.7	3199.3	531.9	59787.2

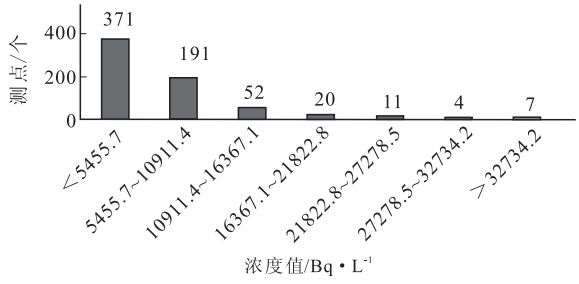

图 2 土壤浓度分布直方图

Fig. 2 Histogram of soil concentration distribution

3 调查结果

3.1 土壤中氡气浓度水平

从本次 656 个测点取得的土壤中氡气浓度测量数据结果来看(表 1)，昌黎平原区土壤中氡气浓度在 531.9 Bq/L～59 787.2 Bq/L 之间。用计算法[10]首先计算研究区土壤中氡气浓度平均值$\overline{X_1}$、标准离差 S_1，将研究区数据经$\overline{X}_1 \pm 2S_1$ 循环剔除后再计算其平均值$\overline{X_2}$和标准离差 S_2，即为最终全区土壤中氡气浓度背景平均值及标准离差，计算公式如下：

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{1}$$

$$S = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{X})^2 \tag{2}$$

计算出的本区背景值为 5 455.7 Bq/L，低于全国平均值[11]7 300 Bq/L，标准离差为 3 199.3，最高值为背景值的近 11 倍。有超过 50%的测量点数值小于全区背景值，约 40%的测量点氡气浓度值在背景值的 1 倍～3 倍之间，不到 3%的测量点氡气浓度值在背景值的 3 倍以上，7 个测量点氡气浓度值大于背景值的 6 倍(图 2)。

3.2 土壤中氡气浓度分布特征

根据本次实测 656 个测点数据制作土壤中氡气浓度等值线图(图 3)。由图 3 可知，土壤中氡气浓度值低于背景值的区域主要分布在研究区中部和

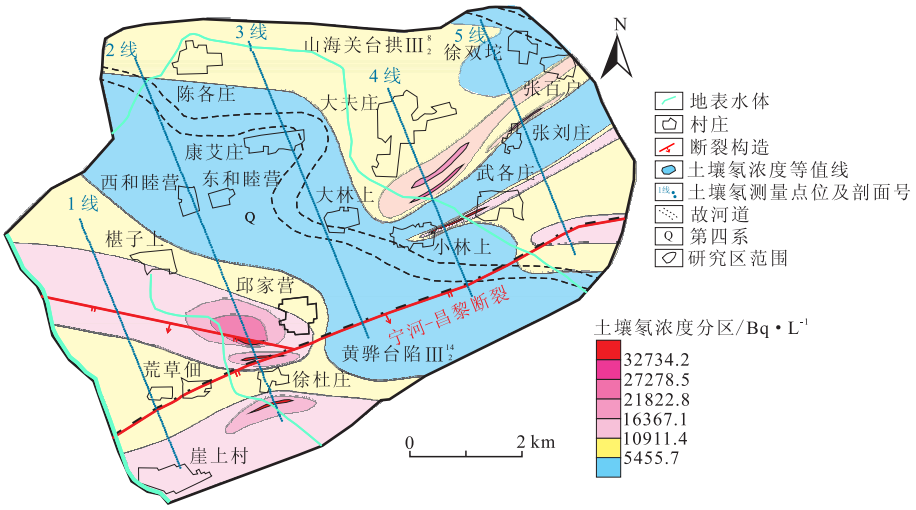

图 3　土壤中氡气浓度分布图

Fig. 3　Distribution of soil radon concentration

东北部故河道附近，面积约 27.09 km²，占研究区总面积的 40.67%；土壤中氡气浓度值大于等于背景值而低于 2 倍背景值（≥5 455.7 Bq/L～＜10 911.4 Bq/L）区域，主要分布于研究区中北部故河道沿岸一带，面积约 25.86 km²，占研究区总面积的 38.83.%；土壤中氡气浓度值大于等于 2 倍背景值而低于 3 倍背景值（≥10 911.4 Bq/L～＜16 367.1 Bq/L）的增高区，主要呈条带状分布于研究区西南和东部区域，面积约 11.41 km²，占研究区总面积的 17.13.%；大于等于 3 倍背景值（≥16 367.1 Bq/L）的异常区，主要分布于研究区中南部和东部区域，面积约 2.24 km²，占研究区总面积的 3.37%。

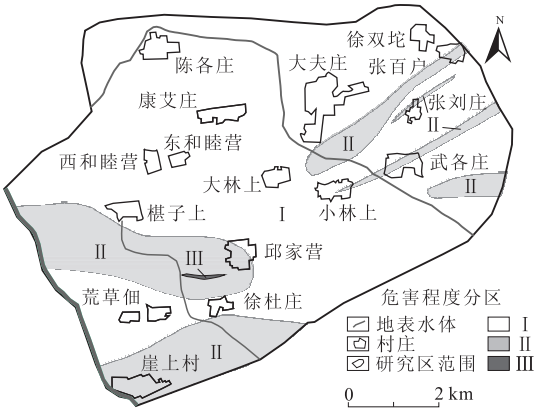

图 4　土壤中氡气浓度对环境危害程度分区图

Fig. 4　Zoning map of soil radon concentration to environmental hazards

4　环境影响评价

4.1　环境危害程度评价

Akerblom[12]将土壤中氡气浓度对环境危害分为 3 级：Ⅰ级（低风险）土壤中氡气浓度≤10 000 Bq/L；Ⅱ级（中风险）土壤中氡气浓度在 10 000 Bq/L～50 000 Bq/L 之间；Ⅲ级（高风险）土壤中氡气浓度≥50 000 Bq/L。

将研究区内所有测点按该分类等级进行统计，并制作成危害程度分区图（图 4）。从图 4 中可知，研究区内环境危害Ⅰ级（低风险）区面积为 52.75 km²，占研究区总面积的 79.20%；环境危害Ⅱ级（中风险）区面积为 13.81 km²，占研究区总面积的 20.74%；环境危害Ⅲ级（高风险）区面积为 0.04 km²，占研究区总面积的 0.06%。总体来看，研究区属土壤中氡气危害中低风险区，只有极少的区域为高风险级别，且分布于农田中，对人居环境危害程度较低。

4.2　防氡措施等级评估

根据 2010 年公布的中华人民共和国国家标准（GB50325－2010），即《民用建筑工程室内环境污染控制规范》要求，土壤中氡气浓度不同，民用建筑工程场地要采取相应的防护措施[13]：Ⅰ级防氡区 土壤中氡气浓度≤20 000 Bq/L 时，民用建筑工程场地可不采取防氡措施；Ⅱ级防氡区 土壤中氡气浓度 20 000 Bq/L～30 000 Bq/L 时，应采取建筑物底层地面抗开裂措施；Ⅲ级防氡区 土壤中氡气浓度为 30 000 Bq/L～50 000 Bq/L 时，应采取建筑物底层地面抗开裂措施和一级防水；Ⅳ级防氡区 土壤中氡

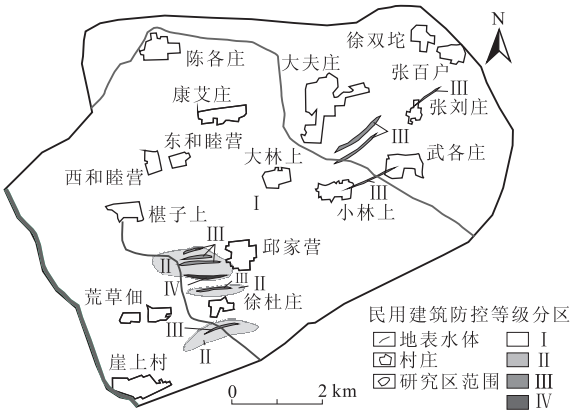

图 5 民用建筑防氡措施分区图

Fig. 5 Zoning of radon prevention measures for civil buildings

气浓度≥50 000 Bq/L 时，应采取建筑物综合防氡措施。

由图 5 可知，Ⅰ级防氡区面积为 65.02 km^2，占研究区总面积的 97.62%；Ⅱ级防氡区面积为 1.35 km^2，占研究区总面积的 2.03%；Ⅲ级防氡区面积为 0.19 km^2，占研究区总面积的 0.29%；Ⅳ级防氡区面积为 0.04 km^2，占研究区总面积的 0.06%。总体来看，研究区内绝大部分区域作为民用建筑工程场地可不采取防氡措施；少部分需要采取建筑物底层地面抗开裂措施或一级防水；极少部分需采取建筑物综合防氡措施。且这些需要采取防氡措施的区域均分布于村庄之外，对人居环境没有影响。

5 影响因素讨论

研究表明，影响氡气在土壤中浓度的因素较多，如气候、气象、测量深度[14-17]等。本次研究统一了测量深度，并在相同季节、气象条件下开展野外测量工作。因此，本次着重从地质角度对土壤中氡气浓度起到决定作用的因素进行探讨。

5.1 地层岩性因素

土壤中的放射性氡气主要由土壤中含有的 U、Th 等放射性核素衰变产生，因此土壤中这些放射性元素含量的高低直接影响了土壤中氡气浓度水平[18]。由表 2 可知，研究区土壤中 U、Th 含量均低于冀东平原及全国平均水平，是造成本区土壤中氡气浓度背景值相对较低的一个重要因素。

和其他气体一样，氡气在土壤中的运移主要体现在扩散作用和对流作用上，这两种作用的强弱取决于土壤的孔隙度等结构状态。研究区地貌类型为滦河洪冲积扇中Ⅰ级阶地。由于地质历史时期，滦河曾发生过多次重要改道，在冀东平原上遗留下众多故河道及洼地，近河道地带多沙垅[21]。1970 年以来的多次造林改造，活动沙丘已基本消灭，但本区土壤中的含沙量及疏松的物理性质却没什么变化，特别是故河道分布范围内土壤成分主要为含砾中细沙；浅灰黄－浅灰色，松散；矿物成分以石英为主，含长石及少量暗色矿物；次棱角状；富水性、透水性较好。因此，故河道及其附近区域，氡气浓度明显低于背景值及其他区域(图 3、图 6、图 7)，甚至包括宁河－昌黎断裂经过的部分区域，说明这些区域土壤的性质不利于氡气的储存，深部运移上来的氡气能够迅速逃逸到空气中。

表 2 土壤中放射性核素含量

Tab. 2 Radionuclide content in soil

区域	$\omega(U)/10^{-6}$	$\omega(Th)/10^{-6}$
研究区[19]	1.29	6.8
冀东平原[19]	1.56	9.4
全国平均值[20]	2.60	12.5

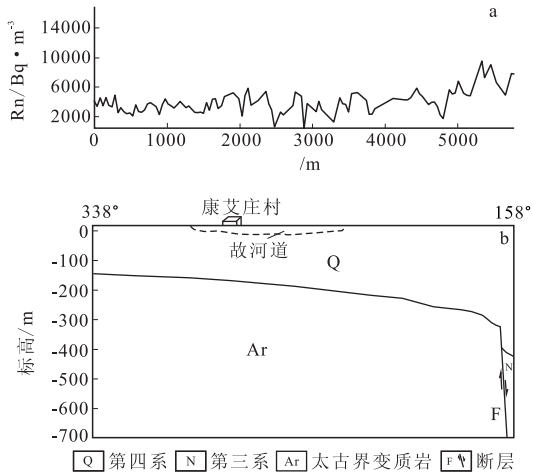

图 6 3 线土壤氡浓度地质综合剖面图

Fig. 6 Comprehensive geological profile map of 3－line soil radon concentration

(a)土壤氡浓度曲线；(b)地质剖面图

5.2 断层因素

由于区内基岩埋深较大，且岩性单一，均为太古代变质岩，基岩中矿物成分对区内土壤中氡浓度影响基本可以忽略不计。由图 7 可知，2 线剖面南段氡浓度值较高，分布范围较大，据前人成果分析推测为沿宁河－昌黎活断层从地壳深处向上迁移的 U、

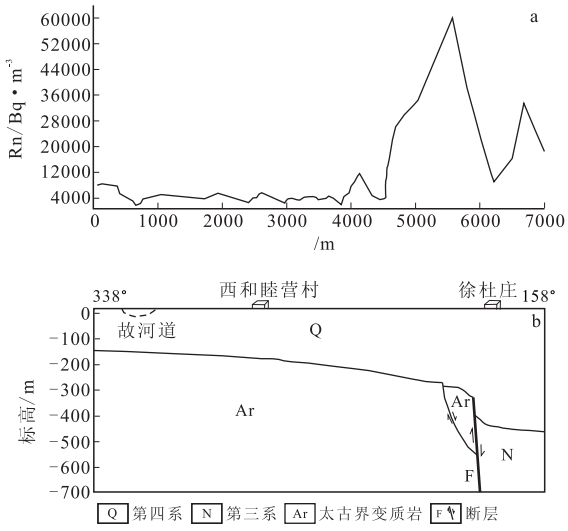

图 7　2 线土壤氡浓度地质综合剖面图

Fig. 7　Comprehensive geological profile map of 2－line soil radon concentration

(a)土壤氡浓度曲线；(b)地质剖面图

Ra、Rn 在断层中富集，形成氡源，随着氡的对流、扩散作用，由氡源形成的氡气不断向上迁移，在覆盖层中形成了以断层面为中心不断向四周衰减的氡浓度的分带[22－24]。而宁河－昌黎断裂的次级构造又增加了新的深部氡气来源，叠加在宁河－昌黎断裂的氡源之上，形成了本区的氡异常场；由于其形成时代更新、埋深更浅，在一些区域对土壤中氡气的贡献甚至超过宁河－昌黎主干断裂。虽然受地表浅部土壤理化性质的影响并不是所有区域土壤中氡气浓度都显示高异常，但其对研究区环境中氡气的分布还是具有重要作用，将来对土地规划利用时须引起足够重视。

同时，本次研究也对以往针对宁河－昌黎断裂的研究给予了一定的佐证，再次证明了运用土壤中氡气测量开展断裂构造研究的有效性。

6　结论

1)河北省昌黎县平原区土壤中氡气浓度范围为 531.9 Bq/L～59 787.2 Bq/L，平均值为 5 455.7 Bq/L，低于全国平均水平。

2)研究区整体属土壤中氡气危害中低风险区，只有极少的区域为高风险级别，但分布于农田中，对人居环境危害程度很低。

3)根据国家标准，研究区 97.62%的区域可不采取防氡措施；2.32%的区域需要采取建筑物底层地面抗开裂措施或一级防水；0.06%的区域需采取建筑物综合防氡措施。但这些需要采取防氡措施的区域均分布于村庄之外，对目前的人居环境没有影响。

4)整体看来，研究区内土壤中放射性核素含量较低、土壤松散、含沙量大，不利于氡气的生成与储存，特别是故河道及其附近区域，氡气浓度明显低于背景值；土壤氡气浓度较高区域主要受宁河－昌黎断裂及其次级断裂的影响，该活动性断裂为氡气的运移提供了良好通道。

参考文献：

[1]　International Programme on Chemical Safety(IPCS). Enviromental Health Criteria 211. Health effects of interactions between obecoouse and exposure to other agents [M]. Genewa: World Health Organization (WHO), 1999.

[2]　常桂兰. 氡与氡的危害[J]. 铀矿地质，2002，18(2)：122－128.
CHANG G L. Radon and its hazards[J]. Uranium Geology, 2002, 18(2): 122－128. (In Chinese)

[3]　孙凯男，郭秋菊，程建平. 我国部分地区钍壤氡析出率的理论模型[J]. 中华放射医学与防护杂志，2004，24(6)：581－584.
SUN K N, GUO Q J, CHENG J P. A theoretical model on radon exhalation from soil in some regions of China [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2004, 24(6): 581－584. (In Chinese)

[4]　颜国旭，李佳俊，陈文秀. 几种常用土壤氡浓度测量技术分析[J]. 科学技术创新，2020(28)：70－71.
YAN G X, LI J J, CHEN W X. Technical requirements and comparative analysis of measuring methods for radon content in soil[J]. Scientific and Technological Innovation, 2020(28): 70－71. (In Chinese)

[5]　王南萍，肖磊，李灿苹. 中国高本底城市的土壤氡水平及分布[J]. 物探与化探，2012，36(4)：646－650.
WANG N P, XIAO L, LI C P. The distribution and level of Radon Gas in soil in a high radiation background city of China [J]. Geophysical&Geochemical Exploration, 2012, 36(4): 646－650. (In Chinese)

[6]　周志华，赵烽帆，李营，等. 首都圈土壤气中氡环境地球化学特征[J]. 生态学杂志，2014，33(7)：1729－1733.
ZHOU Z H, ZHAO F F, LI Y, et al. Radon environmental geochemistry in soil gas around the capital area of China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(7): 1729－1733. (In Chinese)

[7]　朱坤静，彭远黔，周月玲. 宁河－昌黎断裂基于浅层地

震勘探资料研究[J]. 地震工程学报,2019,41(5):1242－1250.
ZHU K J,PENG Y Q,ZHOU Y L. Research on the Ninghe－Changli fault based on data from shallow seismic exploration [J]. China Earthquake Engineering Journal,2019,41(5):1242－1250. (In Chinese)

[8] 王明格,李昌存. 河北平原主要断裂及其分布、活动特征[J]. 河北理工学院学报,2005,27(1):113－118.
WANG M G,LI C C. The main fault in Hebei plain and its distribution and activity character[J]. Journal of Hebei Institute of Technology,2005,27(1):113－118. (In Chinese)

[9] 徐春霞,李博文,李志伟,等. 秦皇岛市蔬菜产地土壤环境质量评价与分析[J]. 河北农业大学学报,2007,30(6):16－20.
XU CH X,LI B W,LI Z W,et al. Analysis and assessment of soil environment in the vegetable producing areas:a case study in the city of Qinhuangdao[J]. Journal of Agricultural University of Hebei,2007,30(6):16－20. (In Chinese)

[10] 李亚平,陈曦,许正繁,等. 广州市南沙区土壤中氡浓度水平调查研究[J]. 工程地质学报,2006,14(S1):47－50.
LI Y P,CHEN X,XU Z F,et al. Investigation of the radon concentration level in soil of Nansha district, Guangzhou city[J]. Journal of Engineering Geology, 2006,14(S1):47－50. (In Chinese)

[11] 王喜元,朱立,吕磊,等. 中国土壤氡概况[M]. 北京:科学出版社, 2008.
WANG X Y,ZHU L,LV L,et al. General situation of soil radon in China[M]. Beijing:Science Press, 2008. (In Chinese)

[12] AKERBLOM G. Investigation and mapping of radon risk areas[R]. Lulea:Swedish Geological Company Report,RAP 86036,1986.

[13] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 民用建筑工程室内环境污染控制规范[S]. 北京:中国计划出版社,2010.
Ministry of Housing and Construction of the People's Republic of China, General administration of quality supervision,inspection and quarantine of the People's Republic of China. Code for indoor environmental pollution control of civil engineering[S]. Beijing: China Planning Press,2010. (In Chinese)

[14] 吴自香,刘彦兵,贾育新,等. 土壤氛测定的影响因素探讨[J]. 中国辐射卫生,2006,15(1):23－24.
WU Z X,LIU Y B,JIA Y X,et al. Study on the influence factors about the soil radon measurement[J]. Chinese Journal of Radiological Health,2006,15(1):23－24. (In Chinese)

[15] 石玉春,徐英凤,马宏伟,等. 土壤氡浓度随气象因素变化规律及其应用[J]. 中国科学(B 辑),1994,24(11):1190－1196.
SHI Y C,XU Y F,MA H W,et al. Variation law of soil radon concentration with meteorological factors and its application[J]. Science in China(Series B), 1994,24(11):1190－1196. (In Chinese)

[16] HUBBARD LM,HAGBERG N. Time－variation of the soil gas radon concentration under and near a Swedish house[J]. Environ Int,1996,22(S1):477－482.

[17] ABURNURAD KM,Al－TAMIMI M. Emanation power of radon and its concentration in soil and rocks[J]. Radiat Meas,2001(34):423－426.

[18] 陈华英. 泉州市、晋江市土壤中氡气浓度与地质背景的关系[J]. 物探与化探,2009,33(2):186－189.
CHEN H Y. The relationship between radon gas concentration and geological background of Quanzhou city and Jinjiang city[J]. Geophysical&Geochemical Exploration,2009,33(2):186－189. (In Chinese)

[19] 郭海全,马忠社,郝俊杰,等. 冀东土壤地球化学基准值特征及研究意义[J]. 岩矿测试 ,2007,26(4):281－286.
GUO H Q,MA Z S,H J J,et al. Characteristics and significance of reference values of the geochemical elements in soil samples from eastern Hebei province[J]. Rock and Mineral Analysis,2007,26(4):281－286. (In Chinese)

[20] 鄢明才,顾铁新,迟清华,等. 中国土壤化学元素丰度与表生地球化学特征[J]. 物探与化探,1997,21(3):161－167.
YAN M C,GU T X,CHI Q H,et al. Abundance of chemical elements of soils in China and supergenesis geochemistry characteristics[J]. Geophysical&Geochemical Exploration,1997,21(3):161－167. (In Chinese)

[21] 黎刚,殷勇. 滦河下游河道及三角洲地貌的近期演化[J]. 地理研究,2010,29(9):1606－1615.
LI G, YIN Y. Recent geomorphological evolution of downstream channel and delta of Luanhe river[J]. Geographical Research,2010,29(9):1606－1615. (In Chinese)

[22] 赵建明,申伟坤,李明,等. 秦皇岛地区地震活动特征及未来地震危险性[J]. 华北地震科学,2016,34(1):70－75.
ZHAO J M,SHEN W K,LI M,et al. Seismicity feature and seismic risk in the future of Qinhuangdao area[J]. North China Earthquake Sciences,2016,34(1):70－

75. (In Chinese)

[23] 刘菁华，王祝文. 活断层上覆盖层中土壤氡浓度分布的数值模拟[J]. 地球物理学进展，2009，24(2)：644－650.
LIU J H，WANG Z W. Numerical simulation of the soil radon concentration distribution in the overburden above active faults[J]. Progress in Geophysics，2009，24(2)：644－650. (In Chinese)

[24] 滕彦国，郑洁琼，庹先国，等. 测氡技术在泉州清源山地下水源勘查中地应用[J]. 物探化探计算技术，2011，33(1)：75－78＋120－121.
TENG Y G，ZHENG J Q，TUO X G，et al. Application of radon－detection for groundwater exploration in Qingyuanshan of Quanzhou region [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration，2011，33(1)：75－78＋120－121. (In Chinese)

Investigation and environmental impact assessment of radon gas concentration in soil in Changli plain, Hebei

CHENG Liqun, LIU Liang, SUN Jianhong, ZHAO Yanjun

(The Eighth Geological Brigade of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration，Qinhuangdao　066000，China)

Abstract: In this study, the FD216 environmental radon measuring instrument was used with a drilling depth of 70cm and a total of 656 measuring points. The current situation of the radon concentration in the soil in the plain area of Changli County, Hebei Province was investigated, and the degree of environmental damage was evaluated. The results showed that the range of soil radon concentration in the study area was between 531.9～59787.2Bq/L, the background value was 5455.7Bq/L, which was lower than the national average level, and belonged to the normal area of soil radon concentration; Most of the environmental hazard levels of soil radon concentration belong to the low－and medium－risk areas of soil radon hazards, and only a very small area is of high－risk level, and it is distributed in farmland and has a low degree of harm to the surrounding environment; According to national standards, 97.62% of the area may not take radon prevention measures; On the whole, the low content of radionuclides in the soil in the study area, loose soil, and large sand content are not conducive to the generation and storage of radon, especially in the old river and its nearby areas, where the radon concentration is significantly lower than the background value; The Ninghe－Changli fault and its secondary faults pass through areas with higher soil radon concentration; Geological environment, soil looseness, rock and soil properties, and active fault structure are the main factors affecting the soil radon concentration in Changli Plain.

Keywords: radon concentration in soil; influencing factors; environmental impact assessment; Chang li plain