

# 宁夏石嘴山市土壤氡浓度分布特征及影响因素研究

杨秀龙 马 慧 李佐有

宁夏回族自治区核地质调查院(宁夏回族自治区放射性地质研究所) 银川 750001

**摘要:** 利用FD-216环境测氡仪对宁夏石嘴山市土壤中氡浓度进行了测量。调查结果显示,石嘴山市土壤中氡浓度一般为1002.0~9970.0Bq/m<sup>3</sup>,最大值为54000.6Bq/m<sup>3</sup>,最小值为567.3Bq/m<sup>3</sup>,平均值为4229.84Bq/m<sup>3</sup>,背景值3450.06Bq/m<sup>3</sup>。土壤中氡浓度绝大部分地区属于正常本底水平,属于辐射安全水平。但在银川-平罗断裂、F<sub>4</sub>断层及黄河断裂带形成3条带状展布。对黄河断裂带土壤氡浓集区开展了剖面测量,测量结果与地面土壤氡浓度测量结果吻合,更好的印证了土壤氡浓高值及断裂的存在,说明土壤氡浓度偏高、超标区与断裂构造、特别是深大活动断裂关系密切。

**关键词:** 石嘴山市;土壤氡浓度;黄河断裂;超标区

## 引言

氡(<sup>222</sup>Rn)是一种天然放射性惰性气体,是天然放射性<sup>238</sup>U系列中<sup>226</sup>Ra的衰变产物,其半衰期为3.825d<sup>[1]</sup>。氡及其子体被世界卫生组织(WHO)公布为19种致癌物质之一,国际癌症研究机构也将氡归为I类致癌因素。氡还会使人患白血病、骨癌和肾癌等一系列疾病,根据流行病学调查显示,氡是各种白血病的诱因之一<sup>[2]</sup>。因此,氡作为一种常见放射性物质,对于人体有着持久且长期的伤害。

通过国内外研究发现,室内氡与土壤氡具有很好的相关性,就全球而言,室内氡中有60%左右的氡气来源于地面和建筑物周围的土壤释放<sup>[3]</sup>,研究土壤氡也可以作为预测室内氡的一个实用工具<sup>[4]</sup>。因此,防御氡危害的关键就是调查了解土壤中氡浓度的特点及分布规律。

研究区位于黄河断裂宁夏段,正好位于宁夏沿黄流域生态保护和高质量发展先行区及宁夏北部农业绿色发展核心区。同时石嘴山市作为宁夏北部绿色发展先行区中重要的工业城市,煤炭资源丰富,煤化工企业较多。煤中含有天然存在的原生放射性铀系、钍系和<sup>40</sup>K等<sup>[5]</sup>。也会产生氡气,因此为填补石嘴山市土壤氡浓度

调查的空白,作者对石嘴山市土壤中氡浓度进行了调查,并对部分地区土壤中氡浓度偏高原因做了初步探讨分析。

## 1 土壤氡测量点位的布设及测量方法

### 1.1 仪器设备

本次土壤中氡浓度野外测量工作使用的仪器为核工业

北京地质研究院FD-216环境氡测量仪,其工作原理是以闪烁室法为基础,用气泵将含氡的气体吸入闪烁室,氡及其子体发射的 $\alpha$ 粒子使闪烁室内的ZnS(Ag)涂层发光,光电倍增管再把这种光讯号变成电脉冲并进行定时计数。单位时间内的脉冲数与氡浓度成正比,从而确定氡的浓度。

### 1.2 测量点位布设

采用网格法均匀布设测点,测量网度为1.0×1.0km,基本密度为1点/km<sup>2</sup>。利用“Google earth”中的网格功能(grid),确定并实现每个点位的坐标定位。利用手持GPS定位仪定点,将实际测点位置与网格法布设位置最大偏差控制在200m范围之内,实际测量偏差控制在50m范围之内。

### 1.3 测量方法及质量控制

本次测量工作严格按照国家标准的要求操作,选择远离水域地段打孔,孔深为70cm。对于测值较高测点进行重复测量。测量完成后详细记录测点处环境气象参数信息。野外调查期间,对仪器进行性能检查,结果显示各台仪器的短期稳定性及一致性均符合规范要求<sup>[6]</sup>。

### 1.4 数据统计分析

由于土壤中氡浓度受土壤类型、土壤结构、基底岩石、构造条件、气候因素的影响,造成了测量数据具有一定离散性,为了消除这些因素对统计结果的影响,本次采用迭代法剔除离散较大的数据,经多次迭代后(剔除限为 $\bar{x}\pm 3S$ ),数据服从正态分布,最终确定研究区土壤氡浓度的背景值为3450.06Bq/m<sup>3</sup>(表1)。

表1 土壤氡浓度数据统计结果表

调查项目	剔除前数据				剔除后数据				剔除数	备注
	最大值Bq/m <sup>3</sup>	最小值Bq/m <sup>3</sup>	平均值Bq/m <sup>3</sup>	标准偏差	最大值Bq/m <sup>3</sup>	最小值Bq/m <sup>3</sup>	背景值Bq/m <sup>3</sup>	标准偏差		
土壤氡浓度	54000.6	567.3	4229.84	4580.49	9970.0	1002.0	3450.06	1897.33	177	

## 2 结果与影响因素分析

### 2.1 研究区土壤中氡浓度分布特征

本次研究共完成测量点2456个,石嘴山市土壤中氡浓度最高54000.6Bq/m<sup>3</sup>,最低567.3Bq/m<sup>3</sup>,平均值为4229.84Bq/m<sup>3</sup>,其中介于10000~20000Bq/m<sup>3</sup>的测点91个,大于20000Bq/m<sup>3</sup>的测点39个。根据国家标准GB50325-2020《民用建筑工程室内环境污染控制规范》中工程地点土壤中氡浓度调查及防氡的一般规定,将研究区土壤氡浓度划分为正常区(<10000Bq/m<sup>3</sup>)、偏高区(10000~20000Bq/m<sup>3</sup>)和超标区(>20000Bq/m<sup>3</sup>)。区域上土壤中氡浓度整体处于正常水平,局部地段形成偏高、超标区。其中研究区西南部圈定2处氡浓度偏高区,并有小范围超标区,超标区面积0.09km<sup>2</sup>。中北部有4处偏高区呈带状展布,2处超标,超标区面积7.68km<sup>2</sup>。在研究区东北部圈定2处土壤氡浓度偏高、超标区,超标区面积2.31km<sup>2</sup>。研究区东部圈定土壤氡浓度偏高区8处、超标区7处,超标区面积1.91km<sup>2</sup>。

### 2.2 调查区土壤氡浓度主要影响因素

#### 2.2.1 断裂构造对土壤氡浓度的影响

研究表明,地质构造断裂区域土壤氡浓度为非构造断裂区域土壤氡浓度的3~20倍,土壤氡浓度异常主要集

中在断裂带附近,断裂带土壤氡的浓度异常特征与活动断裂内部构造发育程度有密切关系,断裂带土壤气中氡气释放强度也揭示了断层的活动状态。室内氡气污染风险较高的城市多位于活动断裂带上<sup>[7]</sup>。本次研究圈定的土壤氡浓度偏高区及超标区均分布在断裂构造处,其中研究区西南部芦花台断裂带、中北部惠农区境内银川-平罗断裂、研究区东北部F4断裂及东部黄河断裂均呈带状展布。可以发现土壤氡分布特征在断裂构造区域尤其是活动断裂区域,沿断裂构造和破碎带方向土壤中氡浓度明显偏高,如在黄河断裂一带,土壤氡浓度具有明显的偏高趋势,其总体呈带状展布方向与断裂走向基本一致,因为构造有利于深部氡气的向上迁移和释放,对地表土壤中氡浓度水平影响较大。

调查区圈定的偏高、超标区均位于断裂构造附近,因此本次研究在黄河断裂带土壤氡浓集区开展了剖面测量(表2),测量结果与地面土壤氡浓度测量结果吻合,更好的印证了土壤氡浓度高值及断裂的存在,说明土壤氡浓度偏高、超标区与断裂构造、特别是深大活动断裂关系密切,活动断裂构造更有利于深部氡气的向上迁移和释放,反之土壤中氡浓度偏高、超标可印证断裂的存在及其活动性<sup>[7]</sup>。

表2 土壤氡监测剖面位置及特征表

序号	剖面编号	方位(°)	长度(km)	测点间距(m)	测值范围(Bq/m <sup>3</sup> )	测值平均值(Bq/m <sup>3</sup> )	环境特征
1	P1	115	2	100	1030-15140	5057	耕地,壤土
2	P2	121	2	100	1360-11190	4459	耕地,壤土
3	P3	134	1.5	100	1070-37640	11790	耕地,黏土
4	P4	132	2	100	1520-25490	7271	耕地,壤土
5	P5	137	2.4	100	2180-27860	12755	耕地,壤土
6	P6	128	2	100	1470-14960	4723	耕地,壤土

#### 2.2.2 土壤类型对土壤氡浓度的影响

根据不同土壤类型统计结果显示(表3):研究区土壤氡浓度特征与土壤类型关系明显,土壤氡浓度总体分布特征为:壤土中氡浓度最高,平均值4844.1Bq/m<sup>3</sup>,黏土

中平均值3955.7Bq/m<sup>3</sup>,砂土中平均值3428.1Bq/m<sup>3</sup>,沙土中最低,平均2974.8Bq/m<sup>3</sup>。分布特征为:壤土>黏土>砂土>沙土。

表3 调查区不同土壤中土壤氡浓度值统计表

序号	土壤类型	测点数(个)	土壤氡浓度(Bq/m <sup>3</sup> )			
			测值范围	平均值	标准偏差	标准限值
1	壤土	1402	724.5-54000.6	4844.1	5441.2	20000
2	黏土	237	780.0-29260.0	3955.7	3559.6	
3	砂土	507	784.0-35540.5	3428.1	2924.7	
4	沙土	310	567.3-16410.0	2974.8	2147.5	

根据不同土壤类型统计结果显示,壤土及黏土分布区域,土壤氡浓度相对较高,因为壤土、黏土中富含有机质等物质,土壤有机质等含量愈高,其土壤中氡浓度愈高。另黏土、壤土相较于砂土,对氡气的封闭性以及吸附性更强,同时其具有较高的密度有利于氡气的储存。

#### 结论

本次完成测量点2456个,石嘴山市土壤中氡浓度最高 $54000.6\text{Bq/m}^3$ ,最低 $567.3\text{Bq/m}^3$ ,平均值为 $4229.84\text{Bq/m}^3$ ,其中介于 $10000\sim 20000\text{Bq/m}^3$ 的测点91个,大于 $20000\text{Bq/m}^3$ 的测点39个。区域上土壤中氡浓度整体处于正常水平,局部地段形成偏高、超标区,其中共发现偏高区域16处,超标区域12处,超标面积约 $11.99\text{km}^2$ 。

本次研究圈定的土壤氡浓度偏高区及超标区均分布在断裂构造处,其中研究区西南部芦花台断裂带、中北部惠农区境内银川-平罗断裂、研究区东北部F4断裂及东部黄河断裂均呈带状展布。通过黄河断裂土壤氡浓度剖面的测量结果,更好的印证了土壤氡浓度高值及断裂的存在。

研究区土壤氡浓度特征与土壤类型关系明显,壤土中氡浓度最高,平均值 $4844.1\text{Bq/m}^3$ ,黏土中平均值 $3955.7\text{Bq/m}^3$ ,砂土中平均值 $3428.1\text{Bq/m}^3$ ,沙土中最低,平均 $2974.8\text{Bq/m}^3$ 。壤土及黏土分布区域,土壤氡浓度相

对较高,因为壤土、黏土中富含有机质等物质,土壤中有机质等含量愈高,其土壤中氡浓度愈高。另黏土、壤土相较于砂土,对氡气的封闭性以及吸附性更强,同时其具有较高的密度有利于氡气的储存。

#### 参考文献

- [1]吴慧山,林玉飞,白云生,等.氡测量方法与应用[M].北京:原子能出版社,1995:1-67.
- [2]王喜元,朱立,吕磊,等.中国土壤氡概况[M].北京:科学出版社,2006.
- [3]任天山.室内氡的来源、水平和控制[J].辐射防护,2001,21(5):291-299.
- [4]姜子英,张燕齐,陈晓秋,廖海涛,潘自强.中国燃煤发电排放的放射性环境影响评价研究[J].辐射防护,2018,38(03):177-185.
- [5]国家技术监督局.GB/T 13163-91,氡及氡子体测量仪与监测仪一般要求[S].1992.
- [6]张磊,高小其,包创,等.呼图壁地下储气库构造气体地球化学特征[J].地震地质,2018,40(5):1059-1071.
- [7]张志勇,王强.新沂土壤中氡浓度的放射性调查研究[J].能源技术与管理,2014,39(2):186-188.