

# 土壤物理性质对土壤氡浓度及地表氡析出率的影响

孙凯男 郭秋菊 程建平

**【摘要】** 目的 探讨土壤性质对土壤氡浓度及地表氡析出率的影响。方法 在北京、贵阳、呼和浩特 31 个测量点进行土壤氡浓度及析出率的现场实测。采集土壤样品,在实验室进行土壤镭含量、含水量、孔隙度和粒径分布等物理性质测量。用线性拟合方法分析了实测土壤氡、析出率数据之间的相关性,以及它们与土壤镭含量的关系。结果 地表氡析出率与土壤氡浓度和土壤镭含量有正相关关系;土壤含水饱和度过高或过低均会使析出率和土壤氡浓度降低;贵阳地区土壤镭含量较高,但其粉砂黏土壤的特性使土壤氡浓度很难准确采样,导致结果偏低。结论 地表氡析出率和土壤氡浓度虽然与土壤镭含量有正相关关系,但在实际环境中易受含水量等多因素影响,而且土壤氡浓度的准确测量受土壤特性限制较大。

**【关键词】** 镭含量; 含水饱和度; 孔隙度; 粒径; 土壤氡浓度; 地表氡析出率

**The effect of some soil physical parameters on soil radon concentration and radon exhalation from soil surface** SUN Kai-nan\*, GUO Qiu-ju, CHENG Jian-ping. \*Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

**【Abstract】 Objective** To analyse the impacts of soil characters on radon concentration in soil and radon exhalation from soil. **Methods** Field measurements on soil radon concentration (60 cm under the soil surface) and radon exhalation rate from soil were carried out in totally 31 different types of soil samples collected from three cities in both South and North China. Soil radium contents, water contents, soil porosity and grain size were concretely analysed in our laboratory. The linear simulation was used to analyse the measurement data. **Results** Radon exhalation rate from soil and radon concentrations in soil had direct proportion to soil radium contents. No high soil radon concentration was gotten as expected in Guiyang area where soil radium content was high. **Conclusion** Compared with soil radium contents, radon exhalation rate from soil and soil radon concentration are more easily impacted by soil characters and changes in a rather large range.

**【Key words】** Radium content; Moisture saturation; Porosity; Grain size; Soil radon concentration; Radon exhalation rate from soil

半个世纪以来,天然放射性气体氡的危害得到了广泛的关注。在平房及低层建筑物内,空气中的氡主要来源于土壤和岩石的贡献<sup>[1]</sup>。氡在土壤中的浓度决定于诸多与土壤特性相关的物理参数,如土壤镭含量、土壤粒径大小、成土矿石的类型以及孔隙度、渗透性和射气系数等<sup>[2]</sup>。此外,土壤氡浓度还随土壤深度呈指数增长<sup>[3]</sup>。气压、气温等天气和气候因素也可能影响土壤氡浓度<sup>[4]</sup>。而地表氡析出率除了与土壤氡浓度密切相关以外,还必须考虑氡在析出过程中的扩散、对流、吸收和吸附等复杂作用的影响<sup>[5]</sup>。而且,地表氡析出率相比土壤氡浓度而言更容易受地表状况和外界气象因素的影响,如气温气压梯度、降雨和地表风速等。

本研究采用理论分析与现场实测相结合的综合研究手

段,试对土壤镭含量、含水量、孔隙度和粒径分布 4 个重要物理参数对土壤氡浓度及地表氡析出率的作用规律进行描述。

## 材料和方法

笔者于 2003 年春、夏两季对北京郊区、贵阳、呼和浩特和清华园等地的 31 个测量点进行现场土壤氡浓度和氡析出率测量,同时用环刀进行土壤样品的采样。采回的样品在实验室进行镭含量、孔隙度、含水量及粒径分布测量。采样点随机选取,多为农田、果园、农家院及学校院内的普通土壤。测量所使用的仪器设备的基本性能参数为:(1)德国产 ERS-2 氡析出率仪:是一个集衰变计数室、PIPS 探测器、256 道谱仪和微机控制系统于一身的静电式氡/钍射气测量仪。测量周期为 10 min,每点测量 4~5 个周期。(2)低本底高纯锗(HPGe)谱仪:用于测量土壤样品的放射性核素含量。能量分辨率(E = 1.33 MeV):1.87 keV;相对效率:48.3%;积分本底(50~2000 keV):85.2/min。样品密封时间大于 20 d。(3)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10375036)

作者单位:100084 北京,清华大学工程物理系(孙凯男、程建平);北京大学物理学院技术物理系(郭秋菊)

激光粒度仪:分析土壤的粒径组成,以确定土壤的质地类型。

(4) 不锈钢环刀(200 cm<sup>3</sup>, 70 mm × 52 mm)、电子天平(量程 500 g, 灵敏度 0.1 g)、烘箱等:采取土壤样品和测量土壤容重及含水率。(5) FD-3017 测氡仪:测量土壤氡浓度。校正系数:146 Bq m<sup>-3</sup> 计数<sup>-1</sup>。

### 结 果

为了研究土壤铀、镭含量与土壤氡浓度和析出率之间是

否存在线性关系,笔者首先采用最小二乘法拟合实测数据,见图 1。由图 1 各分图中的线性拟合相关系数  $R$  的数值大小可以得出以下定性结论:图 1a:所测样品的铀、镭含量具有很好的线性关系,说明测量地点土壤基本处于铀、镭平衡状态;图 1b:地表氡析出率与土壤氡浓度有比较明显的线性相关性;图 1c 土壤氡浓度与土壤样品镭含量之间不具有明显的线性关系;图 1d:地表氡析出率与土壤镭含量之间也有较明显的线性相关性。

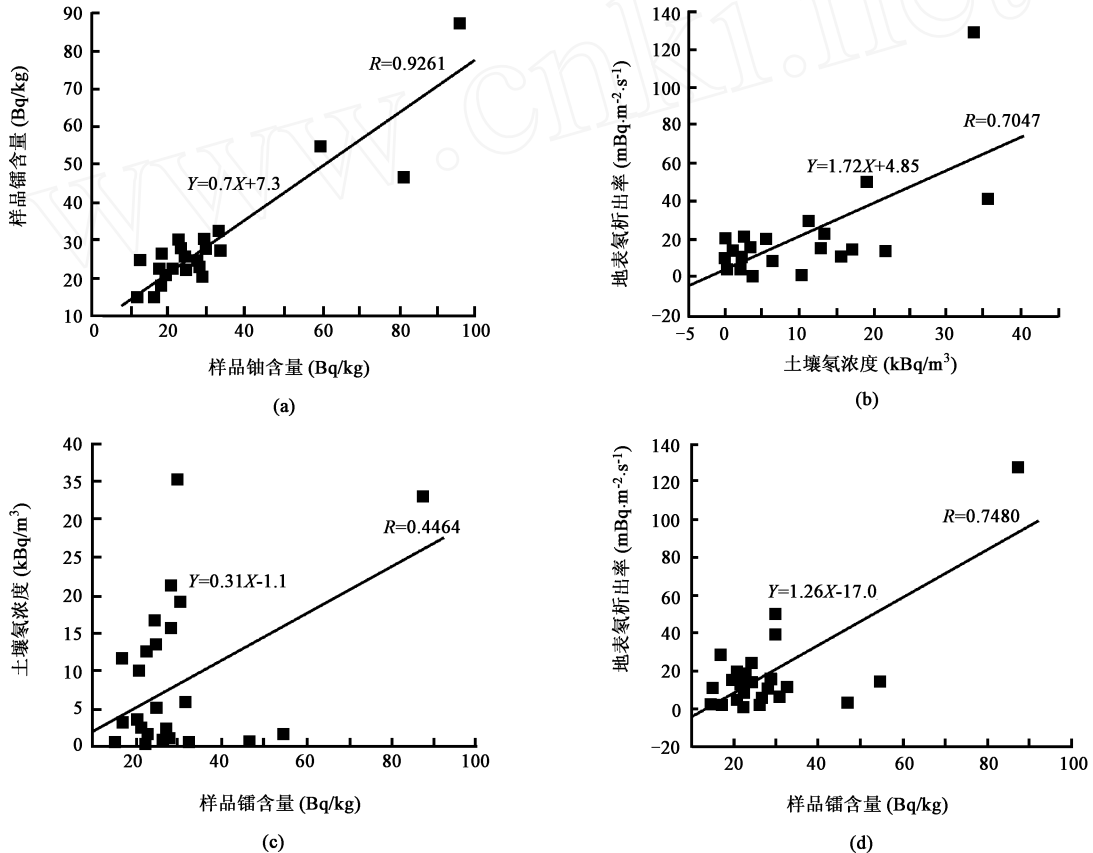


图 1 土壤铀、镭含量与土壤氡浓度和析出率之间的关系

土壤氡浓度抽气测量过程中产生的较大误差都可能是造成土壤氡浓度与样品镭含量之间分歧的原因。但由下面的详细数据分析可以看出,贵阳土壤氡浓度测量结果偏低应是导致此结果的主要原因。

上面是所有地区实测数据综合分析的结果,但是,由于不同地区土壤性质相差很多,而同一地区内部土壤性质又有高度的共同点,所以下面采用 4 个地区各项参数的平均值来具体分析土壤镭含量、粒径大小以及含水饱和度和孔隙度对土壤氡浓度及地表氡析出率的影响。

由表 1 可以看出,除了贵阳以外,其他 3 个地区铀、镭基本平衡,土壤氡浓度和地表氡析出率水平基本上与当地土壤样品中的铀、镭含量成正增长关系。只有在土壤铀、镭含量水平很高的贵阳地区,由于土壤黏度大,在分类上属粉砂黏土壤,且湿度大,FD3017 测量仪很难从土壤中采集到气体,导

致该地区实测的土壤氡浓度偏低。

表 1 不同地区实测平均土壤氡浓度及析出率水平与实测平均土壤铀、镭含量的比较

地区	样品数 (个)	土壤 <sup>238</sup> U 含量 (Bq/kg)	土壤 <sup>226</sup> Ra 含量 (Bq/kg)	土壤氡 (kBq/m <sup>3</sup> )	氡析出率 (mBq m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
贵阳	4	55 ± 23	67 ± 28	9 ± 16	40 ± 59
北京郊区	10	26 ± 6	27 ± 4	14 ± 10	21 ± 13
呼和浩特	3	18 ± 2	18 ± 3	7 ± 6	14 ± 14
清华园	14	22 ± 5	22 ± 3	2 ± 3	9 ± 6

由图 2 可看出虽然土壤氡浓度和地表氡析出率的波动范围都远大于土壤镭含量,但从总体趋势上还是可以看出上述两者与土壤镭含量呈正增长关系。

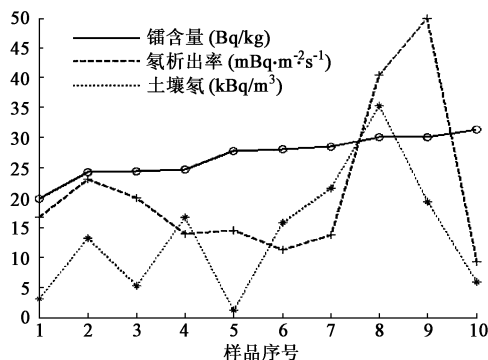


图 2 北京郊区 10 个采样点的土壤镭含量、土壤氡浓度和土壤氡析出率的分布图

表 2 不同地区实测平均土壤氡浓度及析出率与典型土壤类型及平均土壤粒径

地区	样品数 (个)	土壤氡 (kBq/m <sup>3</sup> )	氡析出率 (mBq·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	土壤类型	粒径 (μm)
贵阳	4	9 ±16	40 ±59	粉砂黏土壤	39.2 ±16.2
北京郊区	10	14 ±10	21 ±13	砂土壤	47.4 ±13.7
内蒙古	3	7 ±6	14 ±14	砂土壤	86.3 ±24.1
清华园	14	2 ±3	9 ±6	砂土壤	66.7 ±21.8

由表 2 可以看出,地表氡析出率随着土壤平均粒径的增加有明显的降低趋势。贵阳地区土壤氡浓度反常性的偏低。

表 3 不同地区土壤含水饱和度和有效孔隙度与单位镭含量土壤氡浓度及氡析出率的关系

地区	样品数 (个)	含水饱和度	有效孔隙度	土壤氡/镭	氡析出率/镭
贵阳	4	0.69 ±0.06	0.15 ±0.03	0.11 ±0.18	0.55 ±0.63
北京郊区	10	0.49 ±0.15	0.24 ±0.09	0.50 ±0.35	0.79 ±0.43
呼和浩特	3	0.46 ±0.19	0.25 ±0.10	0.39 ±0.33	0.83 ±0.79
清华园	14	0.19 ±0.06	0.41 ±0.04	0.11 ±0.14	0.42 ±0.28

由表 3 可以看出,土壤的含水饱和度与有效孔隙度之间呈反增长关系,即土壤含水饱和度高的地区有效孔隙度低。单位镭含量的土壤氡浓度及氡析出率的变化一致,都是在含水饱和度最高的贵阳地区和含水饱和度最低的清华园地区数值偏低。在含水量很高的贵阳地区,由于水对氡扩散作用的阻碍,地表氡析出率较低,而土壤氡也由于水的封闭作用难以以气体形式被收集;相反,在含水量很低的清华园地区,一方面低含水量降低了氡的射气系数;另一方面,干燥的土壤增大了氡吸附在固体颗粒表面的几率,也降低了土壤氡浓度和地表氡析出率。

## 讨 论

笔者尝试了用线性拟合方法处理规律性较差、不确定因素较多的实地测量数据,并用不同地区的平均数据来分析各种土壤物理性质参数对土壤氡浓度及地表氡析出率的影响方式。以往研究土壤参数对土壤氡浓度或地表氡析出率影响时,多在实验室内土箱中装入人为设计并可人为改变参数的土壤来进行研究<sup>[6]</sup>。这样的研究方法好处在于,可以人为控制使一些参数恒定而另一个或一些参数改变,从而可以精确定量的研究土壤氡浓度或氡析出率随可改变参数的变化规律。但是缺点在于,土壤经过大量的人为加工,结果可能不能反映错综复杂的天然原状土。本次研究采用天然原状土地测量的方法来获得不同土壤样品的各种参数,这样的好处在于可以了解天然土壤的各个参数的数值范围和大致变化规律,缺点在于各种参数之间的关系很难定量化,土壤氡浓度和氡析出率实测结果往往是多种因素甚至是没有测量的气象因素共同作用的结果。

总的来说,由于实测土壤氡浓度和氡析出率是多因素共同作用的结果,各种土壤物理参数与上述两者反映出的相关性都比较弱。但是,即使在这样的情况下,本研究的数据分析还是反映出了一些土壤性质对土壤氡及析出率的影响关系,而且与理论预测比较吻合。文中给出的我国几个土壤性质不同地区的各种土壤物理性质参数和土壤氡浓度及析出率数值及大致变化范围也为今后环境氡相关的调查研究工作提供重要参考。今后,还需要大量的工作来不断完善土壤氡浓度和氡析出率的评价方式或评价模型,为最终完成全国范围内土壤氡及析出率的调查奠定基础。

## 参 考 文 献

- 1 任天山. 室内氡的来源、水平和控制. 辐射防护, 2001, 9: 291-298.
- 2 Mazur D, Janik M, Loskiewicz J, et al. Measurements of radon concentration in soil gas by CR-39 detectors. Radiat Meas, 1999, 31: 295-300.
- 3 Aburnurad KM, Al-Tamimi M. Emanation power of radon and its concentration in soil and rocks. Radiat Meas, 2001, 34: 423-426.
- 4 Hubbard LM, Hagberg N. Time-variation of the soil gas radon concentration under and near a Swedish house. Environ Int, 1996, 22 (Suppl 1): 477-482.
- 5 Rogers VC, Nielson KK. Multiphase radon generation and transport in porous materials. Health Phys, 1991, 60: 807-815.
- 6 Shweikani R, Gaddui TG, Durrani SA. The effect of soil parameters on the radon concentration values in the environment. Radiat Meas, 1995, 25: 581-584.

(收稿日期: 2004-03-17)