

个旧地区环境中氡水平及其与地质特点的关系*

卢伟

王正铤

高福清

(天津地质矿产研究所, 天津 300170)

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

王任重

(西南有色地质勘探公司308队, 个旧 661400)

摘要 为了研究个旧地区环境中氡的浓度及分布、运移规律, 采用 SSNTD 方法, 于1990—1992年间在个旧地区进行了氡的环境地质野外考察和土壤、居室内布点监测, 共获479个数据。结果表明, 尽管在个旧地区未发现铀、钍矿物, 土壤氡水平普遍超过世界地壳土壤氡水平均值。居民室内氡水平均值高达 $471.9 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, 远高于我国部分省、市近年来所测氡水平值, 位于断裂带的居室氡水平高于远离断裂带的居室。个旧地区室内氡夏季高, 冬季低, 与一些国内、外有关报道结果相反。氡水平与楼层高度呈正相关, 顶层为底层的2.70倍。调查结果可能与个旧地区的环境地质因素有关。建议采取远离地质断裂带建房和防止上升气流逸入室内的防氡辐射进而防癌的措施。

关键词 个旧地区, 氡水平, 环境调查, 土壤, 居室, 地质特点。

联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) 1982年提出: 环境中氡所致内照射约占全部天然辐射源所致有效剂量当量的一半。近10年来, 环境科学中的“氡热”方兴未艾。美国的 D. Brookins^[1] 和 C. Brown^[2], 德国的 G. Keller^[3] 等调查了大面积地区室内氡水平, 并作了地质解释。美、德两国的国家环保局均估计本国每年约有2万人死于室内氡所致的肺癌。我国云南省个旧地区历年来肺癌高发, 居全国首位, 为世界罕见。中、美医学界长期协作研究, 已确证其主要病因之一是氡的过量吸入。在个旧地区没有发现铀钍矿物, 通常的“扩散理论”无法解释氡的聚集, 因此测定室内氡水平并探讨氡的环境地质规律十分必要。

1 材料与方法

(1) SSNTD 探测器 SSNTD 探测器由扩散盒、高效滤料和对 α 粒子极为灵敏的 CR39 片组成。扩散盒高度根据计算能使²²⁰Rn(钍系氡, 半衰期短)在到达灵敏体积前衰变到可忽略的程

度。进入扩散盒后氡气放出 α 粒子照射探测器片, 引起辐射损伤。照射一定时间后, 取出 CR39 片, 在热的苛性碱中蚀刻, 在显微镜下计数。

(2) 蚀刻条件 KOH 水溶液: 6.25 mol/L , 温度恒定: $70 \pm 0.1^\circ\text{C}$; 蚀刻时间: 8 h。

(3) 刻度系数的确定 经过衡阳第6研究所标准氡室比对, 在误差范围之内; 经过北京第3研究所氡室比对和计算, 确定刻度系数。

(4) 刻度系数的采用 北京 CR39 为 $4.93 \text{ 径迹} \cdot \text{cm}^{-2} / (\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h})$, 上海 CSR 为 $4.87 \text{ 径迹} \cdot \text{cm}^{-2} / (\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h})$ 。

由于 CR39 片上每单位面积径迹计数与氡的累积浓度成正比, 氡平均浓度计算公式为:

$$c = \frac{N/A - B}{K \cdot t} \times 1000$$

式中, c 为氡平均浓度 ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$), N 为样品径迹计数, A 为计数面积 (cm^2), B 为本底径迹密

* 国家自然科学基金资助项目, 在1994年获地矿部三等奖

收稿日期: 1994-10-17

度(径迹 $\cdot\text{cm}^{-2}$), K 为刻度系数[径迹 $\cdot\text{cm}^{-2}/(\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h})$], t 为监测时间(h)。

SSNTD 测氡器灵敏度极高, 探测下限为 $2.2 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{月}$, 适用于环境(包括室内)氡监测; 稳定性好, 可以长时间监测, 放置几天, 数月甚至几年不变化; 适用于各种场合监测氡, 如挂在室内^[4], 埋在土壤中, 置于水中等。

2 SSNTD 布设原则与方法

根据致肺癌的室内氡是由地质环境提供的(此地建材提供室内氡份额较少)情况, 布设 SSNTD 从下列7个因素考虑: (1) 岩石种类与性质及其铀钍含量; (2) 地质构造断裂、岩溶是否发育; (3) 地形与海拔高度的不同; (4) 气象条件与季节的不同; (5) 水文地质、潜水中氡水平; (6) 居室建材及楼层的高低不同; (7) 肺癌流行病学。

在1990-07-1992-11期间, 进行了5次大规模的野外环境地质考察和布放 SSNTD 测氡器, 每次野外工作2个月。在岩石^[5]、矿井、溶洞、不同深度的土壤及居民室内布样, 放置时间: 土壤中为7-12 d, 室内3个月左右。获可靠数据479个。

3 结果与分析

3.1 个旧地区氡环境地质分布特点

个旧地区位于云南省东南部的云贵高原上, 自北端的海拔2600 m 向红河谷倾斜直至红河谷

的144 m 甚至更低至0 m。其地质环境特点是构造裂隙发育, 岩溶现象普遍。事实上个旧地区处于3个大的区域性构造单位的交汇部位, 同时也是3条深断裂交汇的部位。在个旧地区近4000 km^2 的范围内主要出露三叠系地层, 东区为个旧组灰岩、白云岩, 西区主要是法郎组的泥质碳酸盐岩及泥质岩类、碎屑岩等; 西部出露面积320 km^2 的大杂岩体, 包括幔源或深源岩浆系列侵入的二长岩、碱性岩和花岗岩, 后者属壳源重熔花岗岩。

个旧的辉长岩、二长岩、花岗岩含铀钍稍高于该类岩石克拉克值。大面积出露的灰岩、白云岩、泥质岩类含铀钍不高。个旧地区基本上没有发现铀矿物。

在个旧地区共研究过5条地质路线, 本文仅就沿个旧大断裂走向直到红河谷的南北路线以及个旧市区座落于个旧断裂破碎带上的建筑物室内氡水平加以讨论。

根据 G. Keller 的观点, 土壤氡水平高的地区其建筑物室内氡水平也高, 成正相关关系。沿个旧大断裂沿途村寨土壤氡测定值见表1。

从表1可以看出, 个旧断裂带上的地质环境是氡偏高的, 土壤氡值普遍地高于地壳土壤氡水平均值, 在断裂破碎明显的地方甚至高出2倍以上。土壤氡对室内氡的影响见表2。

在个旧市区的88户居民室中(氡均值471.9 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$), 座落在断裂破碎带上的居室又比远离断裂破碎带的居室高得多, 见表3。

表1 沿个旧断裂带的土壤氡水平

地 名	海拔(m)	环境地质特征	土壤氡($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)	对地壳氡比 ¹⁾	样 点 数
个旧市	1680	断裂破碎带, 灰岩	27129	3.7	12
风筝山	1970	断裂破碎带, 灰岩	30926	4.2	2
头道水	1800	断裂破碎带, 灰岩	74678	10.1	1
卡 房	1710	断裂破碎带, 红土	16049	2.2	3
田 心	1330	灰岩, 红土	11299	1.5	1
棉花山	1050	页岩, 黄土	12712	1.7	2
水 头	500	灰岩, 黑土	10650	1.4	4
黄木树	288	灰岩, 红土	16637	2.2	1
黄草坝	144	灰岩, 红土	14603	1.97	6

1) 地壳土壤氡水平均值为7400 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$

表2 沿个旧断裂带的居民室内氡水平

地 名	海拔(m)	土壤氡 (Bq·m ⁻³)	室内氡 (Bq·m ⁻³)	测 点 数
个旧市	1680	27129	471.9	88
头道水	1800	74678	390	1
卡 房	1710	16049	480.4	14
田 心	1330	11299	336	3
棉花山	1050	12712	449	1
水 头	500	10650	127	14
黄草坝	144	14603	202	3

表3 个旧市区室内氡水平与断裂带关系

地 点	氡水平均值 (Bq·m ⁻³)	对4pCi/L 比	测点数
个旧市区(总计)	471.9	3.19	88
座落在断裂带的居室	541.1	3.66	73
离断裂带较远的居室	134.9	0.91	15

为比较起见,列出我国其他部分省市近年来测定的室内氡值,见表4。国外建议值附后。

表4 我国部分省市室内氡水平及国外对
室内氡值限值的建议

地 区	测点数	室内氡水平 (Bq·m ⁻³)	测量方法	文献
北京	1000	38	累积法	[6]
西北窑洞		69.5	累积法	[7]
安徽	1729	16.2	瞬时法	[8]
贵阳	20	38.3	静电径迹法	[9]
天津	7	25—101	累积法	[10]
河北	4	54—94	累积法	[10]
德国建议限值		250		[11]
英国建议限值		200		[11]
美国建议限值		150		[11]

可见个旧断裂带上室内氡水平不仅高于国内其他省市室内氡水平,甚至超过某些国家环保局建议的最高限值,这与医学界发现个旧肺癌特异高发并且氡吸入为致肺癌主因之一的结论是非常吻合的。

3.2 个旧地区室内氡的季节变化

据国内外报道,室内氡水平随季节变化而有规律地变化,冬天较高而夏天较低,可能因为冬天门窗关闭的缘故。与此相反,个旧地区(主要是市区数据)室内氡夏天高而冬天低。有较完整资料的16户居民室内氡的测定值(安放SSNTD3个月 after 测定)见表5。

表5 个旧市区16户居室内氡水平
与季节的关系(Bq·m⁻³)

SSNTD 号	夏季	冬季	夏季/冬季
416-443	422	79.6	5.30
393-450	502	210	2.39
396-449	339	153	2.22
408-445	424	97	4.37
398-442	245	115	2.13
410-457	2761	3268	0.85
413-458	515	39	13.2
417-446	747	64	11.7
418-460	429	224	1.9
238, 420-463	697, 741	283	2.5
419-464	538	122	4.4
397-455	448	15	29.9
394-459	516	92	5.6
395-454	326	69	4.7
399-462	228	105	2.2
235-444	398	70	5.7

3.3 个旧地区室内氡与楼层的关系

据国内外报道,楼房底层室内氡水平高于上层楼房,这是因为土壤氡首先扩散到底层居室内的缘故。个旧市部分楼房室内氡水平与楼层的关系与此相反,见表6。

表6 个旧市部分楼房室内氡与楼层关系

SSNTD 号	地 点	楼层数	室内氡 (Bq·m ⁻³)	顶层/底层
38	老厂办公楼	4	306	1.6
39		1	191	
47	老厂家属楼	4	476	3.35
46		3	343	
45		2	129	
43		1	142	
326	个金公路山	2	1932	4.88
72	前楼	1	396	
147	贾沙办公楼	2	308	2.33
148		1	132	
209	卡房红新村	4	853	1.14
213		2	769	

续表6 室内氡水平, 防止肺癌发生。

SSNTD 号	地 点	楼层数	室内氡 (Bq·m ⁻³)	顶层/底层
356	元阳招待所	6	189	1.87
363		3	155	
354		1	101	
234	个旧市北头	3	288	2.74
235	断裂带上	2	105	
448	个旧市宝华	5	1062	7.22
447	公园北	2	147	
793, 450	个旧市某居	4	356	1.45
396, 449	民楼	2	245	

由表6可知楼层越高室内氡值越高, 平均顶层为底层的2.70倍。这可能与地质环境有关。

4 讨论

(1) 高原风力压差抽吸作用理论 个旧市区海拔1680 m, 大气压78658.8 Pa, 个旧市气象站32年来气象资料表明冬季风力为夏季的1.5倍以上, 夜间风速常达22 m/s。又最新的地质研究表明: 地壳深部气压比以往设想的高得多。个旧市位于高原断裂带交汇部位, 有较低的大气压, 较强的风力, 可使地壳深部(有较高的气压)有强大的气流被抽吸上升, 高楼层在抽吸路途的远端, 由于重力作用使氡减速而形成的乱流与水平扩散作用将氡首先送入较高的楼层中。冬季更大的风速进一步降低了高原上方的大气压, 使之与地壳深部产生更大的气压差, 通过断裂带被抽吸上升的气流速度更高因而不易减速、不易横向扩散入室内, 因此冬季室内氡反而有所降低。“高原风力压差抽吸作用”能较好地解释个旧市氡水平的反常行为。传统的“扩散作用”理论无法解释氡在个旧地区地质环境中的迁移, 因氡在地壳中扩散程仅7 m, 而且个旧地区大面积灰岩中很少含铀钍。

(2) 氡害防治 避免在地质断裂破碎带上或构造活动多、裂隙或岩溶发育的地方建筑住宅; 在居室窗台下加斜板阻挡地下上升气流逸入室内; 改变依山坡建房舍的习惯, 以降低室

5 结论

(1) 个旧地区室内氡普遍偏高, 断裂带上室内氡值为安全值的3倍以上, 这可能是个旧地区居民肺癌高发的环境地质病因。

(2) 个旧地区室内氡水平平均值471.9 Bq·m⁻³, 远高于北京、贵阳、陕西等地, 这与个旧地区的环境地质因素有关。

(3) 个旧地区室内氡水平为夏天高, 冬天低, 这与一些室内氡冬季高, 夏季低的国内、外报道相反; 楼层越高室内氡水平越高, 顶层为底层的2.70倍, 这可能与高原风力压差抽吸作用有关。

(4) 建议在个旧地区采取远离地质断裂带建房和防止上升气流逸入室内的防氡辐射进而防癌的措施。

致谢 本工作在中国科学院环境科学委员会主任刘东生先生的全面指导下进行; 地质科学院李家熙先生和中国肿瘤研究所黎钧耀教授对本工作给予了指导; 中国核协会冯玉水、周智新、庞德聆、林玉飞、吴慧山, 个旧劳研所钟兴基、杨绍文, 个旧防癌办蔡树昆、方云, 气象站陈锦云、郑浩志, 水利局张邦初, 保和卫生院张福安, 308队庄永秋, 昆明防疫站梅水笙, 天津地矿所陈明、赵永波给予工作上帮助, 在此一并致谢。

参考文献

- 1 Brookins D. Environ. Geol. Water Sci.. 1992, 19(1): 11
- 2 Bronw C. Environ. Geol. Water Sci.. 1992, 19(3): 193
- 3 Keller G. Environ. Geol. Water Sci.. 1992, 19(2): 113
- 4 Matiullah, Bashir A et al.. Nucl. Trac. Rad. Meas.. 1993, 22(S1-4): 395
- 5 Lu Wei. Nucl. Trac. Rad. Meas.. 1993, 22(S1-4): 379
- 6 林莲卿. 中华放射医学与防护. 1990, 10(1): 10
- 7 张智慧. 中华放射医学与防护. 1992, 12(4): 266
- 8 翟云. 中华放射医学与防护. 1993, 13(1): 19
- 9 李锁照, 金益和. 中华放射医学与防护. 1991, 11(6): 396
- 10 国外医学(放射医学核医学分册). 1994, 18(2): 68

Key words: wastewater treatment, two-phase granular sludge, UASB, mathematic model, anionic exchange.

Study on the photodegradation of Dyes in Aqueous Solution over a Ag-loaded TiO_2 Catalyst. Jiang Weichuan et al. (Dept. of Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310027); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(2), 1995, pp. 15–18

Photodegradation of dyes in aqueous solution was investigated by irradiating with a 300 watts high pressure mercury lamp and using silver loaded titanium as a catalyst. The results show that the Ag loaded TiO_2 had a higher catalytic activity than a pure TiO_2 . An aqueous solution containing 50 mg/L of dye could be decoloured over a Ag loaded TiO_2 catalyst with a 40–60 min irradiation, which was 15–40 min less than that in the case of using a pure TiO_2 as a catalyst. The effects of temperature, pH, photo-intensity and quantity of catalyst agent were also investigated.

Key words: silver, catalyst, photodegradation, dye.

Radon Levels in the Regional Environment of Gejiu, Yunnan, and Their Relationship to the Geological Features. Lu Wei et al. (Tianjin Institute of Geology and Minerals, Tianjin 300107); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(2), 1995, pp. 19–22

By using a SSNTD method, the study on the concentrations of radon and its distribution and transportation patterns in the regional environment of Gejiu was carried out, during the period of 1990–1992, through an environ-geological field survey and the soil and indoor monitoring at selected sites, with 479 data obtained. The results show that, although uranium or thorium ores had not yet discovered in this area, the soil radon levels were generally higher than the world average of soil radon in the earth's crust. In the residential houses located on geological faults, there was an average indoor radon level of up to $471.9 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, much higher than the average radon level measured in some parts of this country in recent years. In contrast to the results reported in domestic and international literatures, the indoor radon levels in this area were higher in summer and lower in winter and were positively correlated to the number of building storeys, with the indoor radon level at a top storey being as much as 2.70 times that at a ground storey. This could be related to the environmental and geological factors in Gejiu area. It was suggested that

the measures for preventing radon from causing a cancer should be taken, including the construction of residential houses at a distance far away from the geological faults, and the prevention of ascending air streams with radon radiation from the escape into the residential rooms.

Key words: Gejiu area, radon level, soil, indoor.

Study on the Combined Bacteria-Emulsion Process for Coal Desulfurization. Chen Min, Xu Fuming et al. (School of chemical Eng., Nanjing Univ. of Science and Technology, Nanjing 210094); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(2), 1995, pp. 23–26

A study was made on the principles of a combined bacteria-emulsion process for removing sulfur from coal, the species of bacteria used for this purpose, and the operation conditions of this process. The results show that a combination of emulsification technology with microbial desulfurization technology has substantially improved the efficiency of desulfurization. During a period of 2 or 3 days, 53.2% of pyrite were removed from coal at a total desulfurization rate of 32.7%. The sulfur removal varies with the changes in the size of coal particle and the conditions of reaction, with a maximum removal of up to 47% in 2 days.

Key words: coal desulfurization, microbial desulfurization, combined bacteria-emulsion, desulfurization process.

Study on Desulfuration Characteristics of Limestone with Thermogravimetric Analysis Technique. Liu Qianxin, Ni Xiaofen et al. (Thermoenergy Eng. Research Institute, Southeast Univ., Nanjing 210008); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(2), 1995, pp. 27–30

A thermogravimetric analyzer was used in studying the desulfuration reaction of limestones from Jiawang, Changshan and Tongshan in Xuzhou city. The effects of limestone type, desulfuration temperature, the concentration of SO_2 and limestone particle size on sorbent conversion rate were investigated; the values of constant K of chemical reaction velocity and the coefficient b of reaction velocity were calculated. A particle size of less than 0.5 mm gave a value of K in the range of $9.4 \times 10^{-4} - 22 \times 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$; a particle size between 0.5–1.0 mm, $b = 1254 \text{ min}^{-1}$; and a particle size between 1.0–2.0 mm, $b = 1103 \text{ min}^{-1}$.

Key words: thermogravimetry, limestone, desulfuration.