

西藏拉萨市土壤气中氡、汞环境地球化学特征

周晓成¹, 杜建国¹, 王传远², 曹忠权³, 易丽¹, 刘雷¹

(1. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 兰州 730000; 3. 西藏自治区地震局, 拉萨 850000)

摘要: 研究了拉萨市及其附近土壤气中的氡、汞地球化学特征, 利用地质累计指数法评价了其环境质量. 1 579 个测点的测量结果表明, 土壤气中氡、汞的背景值分别是 $7\,634.9\text{ Bq/m}^3$ 、 41.5 ng/m^3 , 标准偏差分别为 2.7 Bq/m^3 、 2.2 ng/m^3 . 土壤气氡环境质量在研究区东部和西部比较好, 在中部从南向北有逐渐加重的趋势, 最高达到中度污染; 氡的主要污染源是山间盆地沉积物中局部富集的放射性铀元素. 从拉萨郊区向市中心, 土壤气汞污染程度逐渐增加, 最高达到严重污染; 污染源主要是废气中的汞、宗教活动中使用的汞以及含汞的垃圾和废水.

关键词: 氡; 汞; 土壤气; 环境地球化学; 拉萨

中图分类号: X141 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)03-0659-05

Geochemical Characteristics of Radon and Mercury in Soil Gas in Lhasa, Tibet, China

ZHOU Xiao-cheng¹, DU Jian-guo¹, WANG Chuan-yuan², CAO Zhong-quan³, YI Li¹, LIU Lei¹

(1. Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China; 2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3. Earthquake Administration of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000, China)

Abstract: The geochemical characteristics of radon and mercury in soil gas in Lhasa and vicinity are investigated based on the measurements of Rn and Hg concentrations, and environmental quality for Rn and Hg in soil gas was evaluated by means of the index of geoaccumulation. The data of Rn and Hg of 1 579 sampling site indicate that the values of environmental-geochemical background of Rn and Hg are $7\,634.9\text{ Bq/m}^3$, 41.5 ng/m^3 with standard deviations of 2.7 Bq/m^3 , 2.2 ng/m^3 , respectively. The environmental quality for Rn in soil gas is better in the west and east parts of studied area, but becomes moderate pollution (level III) in the north part of the central area. Rn is derived from radioactive elements in granitic sediments in the intermountain basin and granite base, which are the major sources of pollution. The environmental quality for Hg in soil gas becomes gradually polluted from the suburban to the center of urban, and the highest pollution reaches level IV. The background of Hg in soil gas is mainly controlled by compositions of sediments, but the Hg pollution caused by human waste and religious use of mercury.

Key words: radon; mercury; soil gas; environmental geochemistry; Lhasa

土壤中的氡、汞污染严重危害生态环境, 已经引起人们的高度关注. 土壤中富含放射性铀元素是产生土壤气氡高浓度的主要原因. 在云南省个旧地区, 土壤气氡浓度的分布范围与含有高浓度的铀元素的花岗岩分布范围相吻合^[1]. 区域地球化学调查资料显示, 城镇地区某些重金属元素普遍存在地球化学异常, 其中以汞异常强度最大、分布面积最广^[2]. 西藏土壤汞浓度背景值是 0.026 mg/kg , 明显低于全国土壤汞浓度背景值 (0.065 mg/kg)^[3]. 北京市城区内表土汞含量平均值为 $1.12\text{ }\mu\text{g/g}$, 是全国土壤汞平均含量 ($0.06\text{ }\mu\text{g/g}$) 的 18.7 倍; 土壤气汞浓度范围是 $61.7\sim 3\,600.0\text{ ng/m}^3$, 平均值 (853.7 ng/m^3) 远远高于国内其他无污染地区背景值 ($< 10^2\text{ ng/m}^3$) 的水平^[4].

土壤气中氡、汞是大气中氡、汞的主要来源^[5,6]. 土壤气中氡和汞浓度与当地大气中氡和汞的浓度成正比^[4,7]. 空气中的氡、汞浓度受气压和气温的影响

大, 而土壤气中氡、汞浓度受气压、气温瞬变的影响小, 但受气候季节性变化影响明显^[8]. 因此, 通过测定土壤气中氡和汞的浓度, 不仅能够更好地进行土壤中的氡、汞环境评价, 而且对大气氡、汞的环境评价有重要意义. 拉萨市是西藏自治区首府, 海拔 $3\,650\text{ m}$, 气压在 653.6 hPa 左右^[9]. 目前, 拉萨市土壤气中氡、汞环境地球化学研究鲜见报道. 本研究的目的是在普查测量拉萨市及其附近土壤气中氡、汞浓度的基础上评价其环境质量.

1 野外测量

2004-08-01 ~ 2004-09-15, 在拉萨市近 100 km^2 区

收稿日期: 2006-03-08; 修订日期: 2006-03-29

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (10299045); 国家“十五”科技攻关计划项目

作者简介: 周晓成 (1978 ~), 男, 硕士, 研究实习员, 主要研究方向为环境地球化学和构造地球化学, E-mail: zhouxiaocheng188@163.com

域内,布置了5条近南北向的土壤气氡和气汞测线(图1),测线间距约为2~6 km,测点间距为20 m,共计测点1 579个.野外测量期间地温在18℃左右^[10].土壤气中氡、汞测量是在测点处打孔(深度约80 cm),将取样器置于孔内,封住孔口,进行取样.气氡是用HDC-B测氡仪现场测定,测量步骤是首先用土

壤气清洗采样气室(2 L),然后抽土壤气,气室压力达到 1.5×10^5 Pa时用薄膜采样3 min,最后将样品薄膜置入仪器测量室测定.气汞测量步骤是:首先用金丝收集汞,取样器抽气流速为1.2 L/min,取样10 min;然后用QM201G便携式荧光测汞仪测量汞浓度.氡、汞的重复检测点分别占总测点数的6.8%和

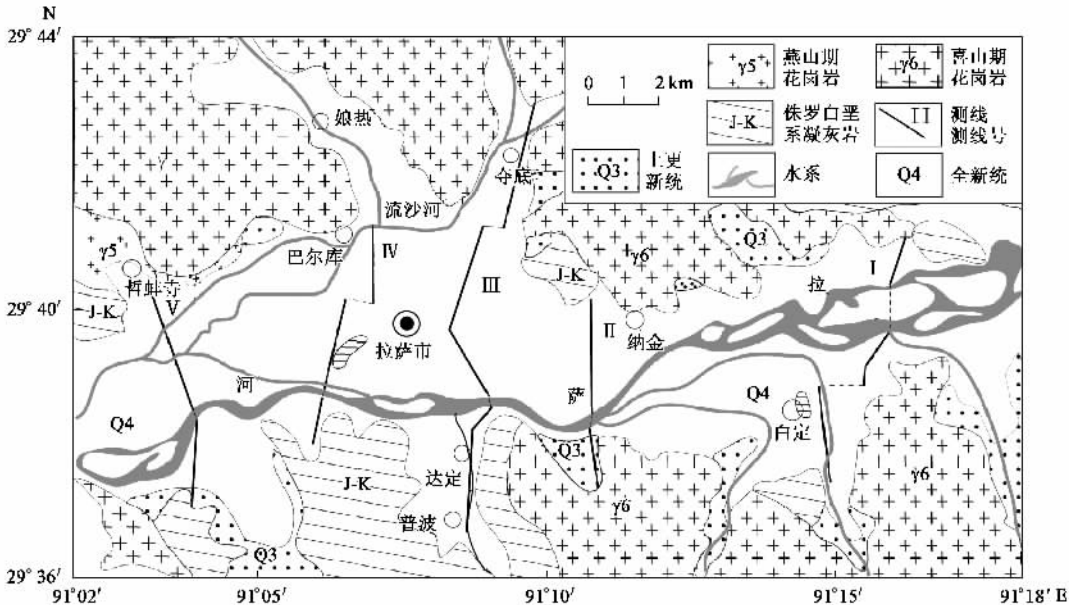


图1 拉萨市岩性和土壤气氡、汞测线分布

Fig.1 Distribution of petrology and surveying lines of Rn and Hg in soil in Lhasa City

5.8%,氡、汞的测量误差分别是0.3%和8%.

2 测量结果

2.1 土壤气中氡、汞的背景值

研究区土壤气中氡、汞的浓度数据经过分布检验呈对数正态分布,整个测量区域属于一个地球化学景观区,用几何平均值代表背景值.气氡、气汞浓度测值范围分别是757.6~87 402.6 Bq/m³,3.4~2 274.0 ng/m³(表1).研究区土壤气氡的背景值是7 634.9 Bq/m³,高于吉林省四平市土壤气氡平均值(6 920 Bq/m³)^[11];土壤气汞背景值是41.5 ng/m³,小于湖北省黄石市城市土壤气中汞的平均值(197.1 ng/m³)^[7].土壤气氡、汞浓度标准偏差分别为2.7 Bq/m³、2.2 ng/m³.

2.2 土壤气中氡、汞浓度分布特征

土壤气氡平均浓度最高的测线是Ⅲ号,最小的是Ⅴ号;土壤气汞平均浓度最高的测线是Ⅳ号,最小的也是Ⅴ号线(表1),土壤气氡、汞浓度特征如下:

(1)Ⅰ号测线剖面上土壤气氡浓度在测线中部有2个较高的峰值.土壤气汞浓度在测线南段有一

个非常高的峰值,为2 274.0 ng/m³,是背景值的54.7倍(图2a).

表1 5条测线土壤气中氡、汞浓度的测值范围和平均值

Table 1 Averages and extrema of concentrations of Rn and Hg in soil gas in the profiles

测线号 /测点	Rn/Bq·m ⁻³		Hg/ng·m ⁻³	
	范围	平均值	范围	平均值
I/1-269	1 003.5~64 906.5	8 111.8	5.3~2 274.0	58.1
II/1-208	1 215.0~44 906.5	7 743.5	5.4~852.5	81.6
III/1-534	1 623.4~87 402.6	19 728.6	3.4~1 030.4	65.6
IV/1-293	757.6~65 194.8	12 403.4	5.4~1 194.9	98.5
V/1-275	887.9~36 363.6	5 011.3	5.4~451.9	37.0

(2)Ⅱ号测线剖面上土壤气氡浓度在测线北部和中部都有比较高的峰值,最高位于测线北部.土壤气汞浓度在测线南北段和中部都有比较高的峰值,最大值在测线中部,是背景值的20.5倍(图2b).

(3)Ⅲ号测线剖面上土壤气氡浓度整体偏高,有从北向南从高向低变化的趋势,最大值在测线中部,是背景值的11.4倍.土壤气汞浓度有2个较高的峰值,最大值在测线北端,是背景值的24.8倍(图2c).

(4)Ⅳ号测线剖面上土壤气氡也有从北向南从

高向低变化的趋势. 土壤气汞浓度在测线中部有一个跨度较大的峰值, 为1 194.9 ng/m³, 是背景浓度的28.8 倍(图 2d).

(5) V 号测线剖面上土壤气中氡、汞只在测线中部有较小的峰值(图 2e).

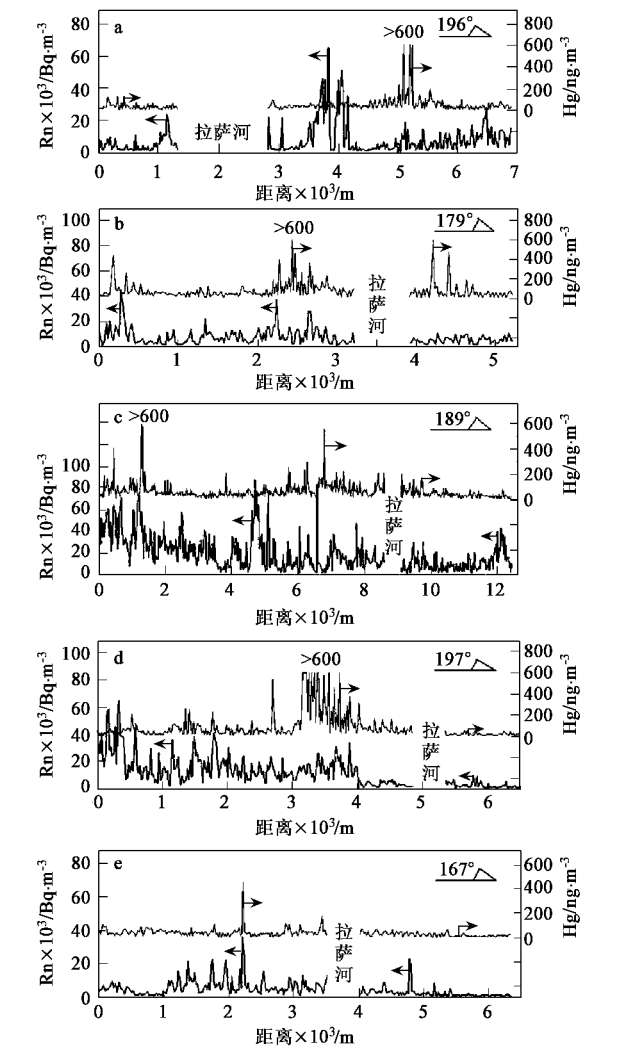


图 2 5 条测线氡、汞浓度曲线(下曲线: Rn, 上曲线: Hg)
Fig.2 Variations of Rn and Hg concentrations in the profiles

3 讨论

3.1 土壤气中氡、汞的环境评价

常用的环境质量评价方法有地质累积指数、富集因子分析、污染因子和程度等方法^[12], 富集因子分析方法是以前测量元素背景值与土壤中浓度变化较小的参考元素背景值的比值为标准进行评价. 污染因子和程度法是以元素在无污染的表层土壤中的浓度为参考来评价. 与以上 2 种方法不同的是, 地质累积指数法不需要测量其它元素的浓度, 并且它考虑

到了自然成因作用可能引起背景值变动的因素, 对背景值有 1.5 倍的修正, 所以本次环境评价选用地质累积指数法, 其表达式^[13]为:

$$I_{geo} = \log_2 [c_n / (1.5BE_n)] \quad (1)$$

式(1)中, c_n 是样品中元素 n 的测量浓度; BE_n 是背景浓度值; 1.5 为修正指数, 通常用来表征沉积特征、岩石组成等其他影响. 地质累积指数法的级别见表 2^[14].

表 2 地质累积指数法的级别

Table 2 Pollution levels classified by means of the index of geoaccumulation

分级	地质累积指数值(I_{geo})	土壤环境质量
0	$I_{geo} \leq 0$	无污染
I	$0 < I_{geo} \leq 1$	轻污染
II	$1 < I_{geo} \leq 2$	一般污染
III	$2 < I_{geo} \leq 3$	中度污染
IV	$3 < I_{geo} \leq 4$	严重污染
V	$4 < I_{geo}$	极严重污染

拉萨市土壤气中氡浓度污染界线是11 452.3 Bq/m³, 大于矿井中工作环境允许氡浓度的限值(3 700.0 Bq/m³)^[6]. 拉萨市土壤气中汞的污染界线是 62.2 ng/m³, 略小于湖北省黄石市的土壤气汞污染界线 76.0 ng/m³^[7]. 为了消除偶然误差, 对测量数据进行 5 点平均滑动, 然后, 对滑动后的数据进行环境质量评价.

3.1.1 土壤气氡

土壤气氡污染程度在城区中部有从南向北增加的趋势(图 3A). 无污染区主要分布在拉萨西南部和东部, 在巴尔库和夺底乡附近达到一般污染, 最高在夺底乡北部以及夺底路和扎基路的交叉口附近, 达到中度污染(Ⅲ级).

3.1.2 土壤气汞

拉萨市土壤气汞环境在郊区基本是无污染, 而向市中心, 污染逐渐加强, 在北京中路与德吉路的交叉口附近达到严重污染(Ⅳ级); 在白定地区也达到严重污染(图 3B). 黄石市土壤气汞污染地带分布也具有从郊区到市中心污染程度增加分布特征^[7].

3.2 土壤气中氡、汞的主要污染来源

3.2.1 土壤气氡

土壤气氡是由土壤中母体元素铀(钍)经衰变产生的, 通过扩散和对流, 经通道部分进入空气, 其背景浓度值主要受控于沉积物成分、母岩类型、地下水位和断层等地质因素^[15]. 土壤气中氡浓度随着砂砾增多而减少, 随着粘土增多而增加^[16]. 花岗岩中铀的含量通常高于页岩、石灰岩和砂岩^[17], 花岗岩发

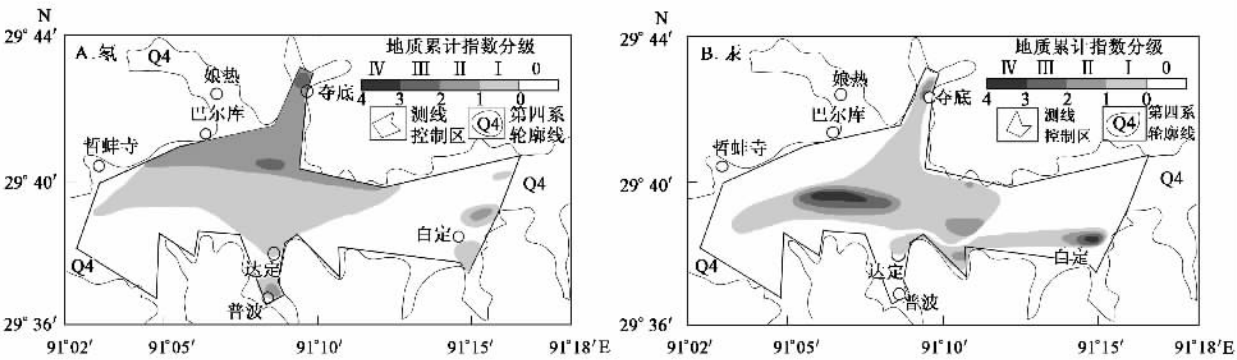


图 3 拉萨城及近郊土壤气氡、汞环境质量评价

Fig.3 Evaluation of environmental quality of Rn and Hg in soil in Lhasa urban and vicinity

育的土壤中铀的含量也较高,因此这种土壤气中氡浓度也较高^[18].拉萨附近分布有大量花岗岩,花岗岩中铀的平均值是 $3.5 \mu\text{g/g}$ ^[19],高于世界土壤铀含量平均值($1.8 \mu\text{g/g}$)^[20].北部夺底乡和巴尔库附近土壤气氡浓度普遍高于背景值,最大达到背景的 11.4 倍,有从南向北增加的趋势.在拉萨地区北部巴尔库至夺底一带第四系的主要物源是喜山期、燕山期花岗岩(图 1).测线经过的地区,第四纪沉积物覆盖在花岗岩风化物顶部;放射性铀元素在花岗岩风化物堆积层富集形成氡浓度高值区.因此,拉萨市土壤气中氡污染主要来源是花岗岩和山间盆地沉积物中局部富集的放射性元素(U, Ra).在云南省个旧地区,花岗岩分布区和氧化矿分布区土壤气中氡浓度也高^[1].拉萨西南部有大量的侏罗白垩系凝灰岩出露,东部的土壤是由含有大量砂砾的拉萨河沉积物,铀的含量较低,这些地区基本无污染(图 3A).

3.2.2 土壤气汞

拉萨市土壤气汞背景值比黄石市和北京市汞的背景值低,主要原因是由于土壤沉积物、母岩(如砂岩、灰岩和页岩等)中汞的含量很低,这与整个西藏地区土壤汞背景值低于全国背景值的事实相符^[3].

拉萨市土壤气汞的污染区域主要集中在拉萨市老城区(图 3B),这主要归因于以下几个方面:

(1)在城区燃煤、汽车燃油过程中释放出来大量含汞废气^[21,22].燃煤已是中国城市汞污染的主要来源^[23],在拉萨市汽车主要集中在城市中心活动^[24],汽车燃油也是汞的重要来源之一.拉萨市目前垃圾主要是填埋处理,城市污水未经处理就直接流入拉萨河或渗入地下^[25].垃圾、城市废水中汞的含量相对较高^[26,27],这些汞主要来自电子设备、荧光灯泡、温度计、电池以及其它一些化学试剂^[28].在贵阳市郊区高雁垃圾填埋场排气桶气态汞总平均浓度变化范围为

$175.2 \sim 1406.0 \text{ ng/m}^3$ ^[29].位于夺底乡、白定和 2 号测线南端的土壤气汞污染可能也是人为因素引起.

(2)宗教活动中汞的使用对土壤气汞有很大的影响.拉萨市有众多的宫殿和寺庙,其中各种法器法物、屋顶以及佛像都使用鎏金工艺进行镀金^[30,31].在鎏金过程中大量的汞进入大气,然后沉降在寺院周围的土壤中,形成长期的汞污染.敦煌研究院专家组对布达拉宫壁画和唐卡的颜料分析结果显示,壁画颜料含有朱砂^[32].在成都市一些古建筑附近也发现汞异常,这些异常与颜料中朱砂有关^[33].北京市内遗留大量古建筑,在历代建筑物的彩绘、鎏金过程中使用了大量金属汞、硫化汞以及其它汞的化合物,近 500 a 时间内,仅硫化汞颜料就用了 100 t 以上,颜料经过长时间风化、剥落,它们已对古建筑周围的土壤、河流、底泥、植物造成了汞污染^[34].

(3)拉萨市工业主要集中在西郊和北郊.西郊在测线控制范围之外.北郊的汞污染主要是由于工业污染造成的,目前有多种工业生产排放的“三废”中含有大量的汞^[35],北郊的水泥厂、化工厂、印刷厂、制药厂等都是汞的重要来源.在南京市近郊土壤汞污染比较严重的地区都是在工业区附近,工业和生活废物是造成土壤汞污染的重要原因^[36].

4 结论

(1)拉萨市土壤气中氡、汞的浓度呈对数正态分布,整个测量区域属于 1 个地球化学景观区.土壤气中氡、汞的背景值分别是 7634.9 Bq/m^3 、 41.5 ng/m^3 .土壤气中气氡、汞背景受控于测区沉积物和母岩.

(2)拉萨市土壤气氡污染程度在研究区中部呈现从南向北逐渐加重的趋势,最高在夺底附近达到中度污染,其主要污染源是山间盆地沉积物中局部富集的放射性铀元素.

(3)从郊区向市中心,土壤气汞污染程度逐渐增加,最高达到严重污染,污染源主要是废气中的汞、宗教活动中使用的汞以及含汞的垃圾和废水。

致谢:衷心感谢吴同海高级工程师,伍显宏、谢萍和美朵工程师在野外测量中的帮助。

参考文献:

[1] 朱立,刘海生,肖桂义,等.云南省个旧地区氡地质填图测量方法比较分析[J].岩矿测试,2001,20(1):1~6.

[2] 肖桂义,朱立新,马生明.城镇地区土壤中汞的累加量及其存在形式[J].物探与化探,2004,28(3):265~272.

[3] 张晓平,朱延明.西藏土壤中汞的含量及其地理分布[J].环境科学,1994,15(4):27~29.

[4] 葛晓立,唐莉,曾太文,等.环境汞调查报告[J].岩矿测试,1996,15(2):150~153.

[5] 王定勇,石孝洪,杨学春.大气汞在土壤中转化及其与土壤汞富集的相关性[J].重庆环境科学,1998,20(5):22~25.

[6] 常桂兰.氡与氡的危害[J].铀矿地质,2002,18(2):122~128.

[7] 李小青,蒋敬业,叶荣.黄石市城市大气汞、壤中汞气污染研究[J].安全与环境工程,2005,12(1):21~23.

[8] 杜建国,宇文欣,李圣强,等.八宝山断层逸出氡地球化学特征及其与地震对应关系[J].地震,1998,18(2):155~162.

[9] 普布卓玛,格央,伏阳虎.西藏高原气候概况及未来气候趋势[J].西藏科技,2005,11:45~48.

[10] 向毓意,杜军,马玉才.西藏高原深层低温气候特征分析[J].西藏科技,1999,87:56~58.

[11] 邹立芝,邹家衡.四平市市区土壤中氡的分布规律[J].吉林大学学报(地球科学版),2002,32(3):261~264.

[12] Loskaa K, Wiechulab D, Korus I. Metal contamination of farming soils affected by industry[J]. Environment International, 2004, 30: 159~165.

[13] Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine Rive[J]. Geojournal, 1969, 2: 108~126.

[14] Müller G. Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflüsse[J]. Chemiker-Zeitung, 1981, 6: 157~164.

[15] Choubey V M, Bist K S, Saini N K, *et al.* Relation between soil gas radon variation and different lithotectonic units, Garhwal Himalaya, India[J]. Applied Radiation and Isotopes, 1999, 51: 587~592.

[16] Khayrat A H, Oliver M A, Durrani S A. The effect of soil particle size on soil radon concentration[J]. Radiation Measurements, 2001, 34: 365~371.

[17] Baixeras C, Erlandssonb B, Fonta L. Radon emanation from soil samples[J]. Radiation Measurements, 2001, 34: 441~443.

[18] Cho J S, Ahn J K, Kim H C, *et al.* Radon concentration in groundwater in Busan measured with a liquid scintillation counter method[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2004, 75: 105~112.

[19] 涂光炽,张玉泉,王玉刚.西藏南部花岗岩类地球化学[M].北京:科学出版社,1982.106~107.

[20] 刘庆成,陈昌礼,程业勋,等.青岛市环境氡浓度分布规律与预测方法研究[J].现代地质,1998,12(1):135~137.

[21] 蒋靖坤,郝吉明,吴烨,等.中国燃煤汞排放清单的初步建立[J].环境科学,2005,26(2):34~39.

[22] Sunderland E M, Chmura G L. The history of mercury emissions from fuel combustion in Maritime Canada[J]. Environmental Pollution, 2000, 110: 297~306.

[23] 张磊,王起超,李志博,等.中国城市汞污染及防治对策[J].生态环境,2004,13(3):410~413.

[24] 平措,尤学.拉萨城市大气污染现状及防治对策[J].干旱区资源与环境,2005,19(7):106~109.

[25] 边吉.走进新世纪的拉萨——拉萨城市建设五十年[J].中国西藏,2001,4:19~24.

[26] Kim K H, Kim M Y. Mercury emissions as landfill gas from a large-scale abandoned landfill site in Seoul[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36: 4919~4928.

[27] Mand L A, Leckner B. Metal emissions from co-combustion of sewage sludge and coal/wood in fluidized bed[J]. Fuel, 2004, 83: 1803~1821.

[28] Bernard C, Janssen C R, Du-Delepierre A L. Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachates[J]. Chemosphere, 1997, 35(11): 2783~2796.

[29] 冯新斌,汤顺林,李仲根,等.生活垃圾填埋场是大气汞的重要来源[J].科学通报,2004,49(23):2475~2479.

[30] 赵振茂.古建筑中常用的鎏金工艺及其环保问题的解决[J].佛教,2003,2(4):1~4.

[31] 陈庆英.四至九世班禅大师以及他们的灵塔[J].青海社会科学,1989,3:89~98.

[32] 敦煌研究院专家组.布达拉宫壁画的颜料成分[J].敦煌研究,2003,3:49.

[33] 沈前斌,赵琦.成都市土壤测量 Hg 元素的发育特征及其来源[J].四川地质学报,2004,24(4):228~232.

[34] 高小玲.北京市城区大气环境中汞的污染状况分析[J].环境科学,1987,8(1):33~36.

[35] 郝晓地,张自杰.水体汞污染特征及防治[J].环境导报,1992,2:12~14.

[36] 房世波,潘剑君,杨武年,等.南京市土壤重金属污染调查评价[J].城市环境与城市生态,2003,16(4):4~6.