

煤矿及粘土矿氡暴露和矿工吸入氡子体剂量估算

The radon exposure and dose estimates caused by inhaling radon daughters in coal mine and clay mine

杨晴晴, 孙志娟, 王继先, 陈景云, 张欣, 妥娅, 赵永成

(中国医学科学院放射医学研究所, 天津 300192)

摘要: 对 2 个煤矿 (A、B)、2 个粘土矿 (C、D) 矿区的监测点进行氡含量测定。结果 4 个矿区的氡浓度、氡子体浓度、氡子体所致年有效剂量当量均低于国家标准, 但粘土矿浓度普遍高于煤矿。小型私有粘土矿内氡等环境问题有待改善。

关键词: 矿工; 氡浓度; 氡子体浓度; 氡子体所致年有效剂量当量

中图分类号: R144 **文献标识码:** B

文章编号: 1002-221X(2015)04-0286-02

DOI: 10.13631/j.cnki.zgggyx.2015.04.019

氡是一种天然放射性气体, 来源于分散存在的天然放射性元素铀钍的子体镭的放射性衰变, 广泛存在于各种矿场中。氡气具有致癌性, 呼吸时氡及其子体进入肺部沉积下来对人体产生内照射, 可最终诱发肺癌^[1]。在我国许多中小矿场及私有小型矿中, 普遍存在氡暴露问题^[2]。国内对煤矿氡的调查比较普遍, 但是对其他矿种的调查较少。故本次我们分别对 2 个中型煤矿和 2 个私有粘土矿进行监测。

1 材料与方法

1.1 基本情况

淄博市 A 煤矿至今已有近 50 年的开采历史, 由一井和三井两对对井开采, 年设计能力分别为 30 万 t 和 45 万 t, 属于中型煤矿; 滨州市 B 煤矿主要生产原煤、低质煤和硫化铁等, 已累计生产煤炭 3600 万 t, 属于中型煤矿; 淄博市两粘土矿 C、D 属于私人小型粘土矿, 基本上采用非机械开采。

1.2 现场实际测量方案

1.2.1 测量仪器 德国 SARAD RTM1688-2 连续测氡仪可进行所有氡测量项目, 具有高灵敏度及 α 能谱分析功能特性, 低水平氡浓度下快速响应。

1.2.2 测量方法 测量地点: 测量点选取人员比较集中的区域, 主要布置在采场 (距离工作面不超过 50 m)、主进风巷道 (距离进风口向内不小于 50 m)、主排风巷道 (距离排风口不小于 50 m) 和地面工作区 4 个监测点。

本次采用瞬时测量, 测氡仪运作 10 min 得出结果, 在每个监测点测 3 次取平均值。

收稿日期: 2015-03-27; **修回日期:** 2015-05-30

基金项目: 卫生部卫生标准制 (修) 订项目 (20130702); 2012 年度教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目——新教师类 (20121106120041); 协和青年基金和中央高校基本科研业务费专项资金 (33320140032)

作者简介: 杨晴晴 (1989—), 女, 在读硕士, 研究方向: 放射流行病与卫生统计。

1.3 计算方法

根据每天井下作业时间及工作年数计算矿工每年总计工作时间和所测氡离子体浓度, 依据 2000 年 UNSCEAR 提出的 ^{222}Rn 子体剂量换算系数 ($K = 9 \times 10^{-6} \text{ mSv}/(\text{Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3})$)^[3], 估算井下作业人员吸入氡子体年均有效剂量当量; HE (mSv) = 每年工作时间 $\times$ 平均呼吸频率 $\times 1.8 \times 10^8 \times C_p \times K$, 式中平均呼吸率 $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$, C_p 为井下氡子体年均 α 潜能浓度 (J/m^3)。

2 结果

2.1 矿工每年工作时间

此次共随机调查 432 人, 其中男 395 人、女 37 人; 井下作业者 358 人, 其他 74 人。井下矿工平均每月工作 22 d, 估算一年约工作 260 d。

2.2 氡浓度及氡子体浓度

根据平衡因子 (F) 推算氡子体浓度:

$$F = 1.81 \times 10^8 C_p / CR_n$$

式中: C_p 为氡子体潜在浓度, 也称暴露量, J/m^3 ; F 是氡与其子体之间平衡状态的一种量度, F 值的大小与许多因素有关, 尤与通风状态的关系最为密切。1988 年 UNSCEAR 建议, 铀矿山的 F 值取 0.3, 非铀矿山取 0.7, 住宅和工作场所的建筑物内取 0.4。此处取 0.7 作为氡子体潜在浓度的平衡因子^[4]。

根据中国计量科学研究院 (证书编号 DYhd2014—2008) 仪器检定结果, 氡浓度按以下公式校正:

氡浓度约定真值 = 实际测量值 / 体积活度响应

体积活度响应 = 1.08

由表 1 可见, A 煤矿和 B 煤矿氡子体浓度在各测量点位置都普遍低于 C 粘土矿和 D 粘土矿, 氡子体浓度: 主排风巷道 > 采场 > 地面工作区 > 主进风巷道。国有中型煤矿 A 和 B 的平均氡浓度比私营小型粘土矿 C 和 D 矿平均氡浓度普遍偏低, 氡浓度和氡子体浓度均低于国家标准 (矿井下 $1500 \text{ Bq}/\text{m}^3$, $8.3 \times 10^{-6} \text{ J}/\text{m}^3$)。

2.3 矿工吸入氡子体所致年有效剂量当量

为大致了解矿工吸入氡子体年受照射剂量, 以本次所测氡子体浓度代表井下年均氡子体浓度, 带入 HE 的计算公式, 结果见表 2。

由表 2 可见, 各矿均低于国家标准规定的放射工作人员年有效剂量当量 (50 mSv) 的十分之一, 与王教义^[5]测量结果基本一致。C 粘土矿和 D 粘土矿的氡子体所致年有效剂量当量 (2.6 mSv 、 2.5 mSv) 明显高于 A 和 B 矿 (1.3 mSv 、 1.6 mSv)。

表 1 现场氡浓度测定结果

测量地点	A 煤矿		B 煤矿		C 粘土矿		D 粘土矿	
	氡气浓度	氡子体浓度	氡气浓度	氡子体浓度	氡气浓度	氡子体浓度	氡气浓度	氡子体浓度
	(Bq/m ³)	(10 ⁻⁸ J/m ³)	(Bq/m ³)	(10 ⁻⁸ J/m ³)	(Bq/m ³)	(10 ⁻⁸ J/m ³)	(Bq/m ³)	(10 ⁻⁸ J/m ³)
采场	71.9±40.3	27.8±15.6	113.1±95.0	43.7±26.2	157.6±70.9	60.9±27.4	161.0±93.4	62.3±36.1
主进风巷道	37.7±29.4	14.5±11.4	30.8±24.4	11.9±9.4	41.1±15.6	15.9±6.0	51.4±36.5	19.9±14.1
主排风巷道	130.2±99.0	50.4±38.2	164.4±118.4	63.6±45.8	281.9±210.7	109.0±81.5	243.2±85.2	94.1±33.0
地面工作区	58.2±32.6	22.5±12.6	71.9±33.1	27.9±12.8	61.7±20.4	23.9±7.9	78.8±24.4	30.5±9.4
均值	74.5±50.4	28.8±19.4	95.1±67.7	36.8±26.2	135.6±79.4	52.4±30.7	133.6±59.9	51.7±23.1

表 2 矿工吸入氡子体所致年有效剂量当量

矿场	氡子体浓度 (10 ⁻⁸ J/m ³)	每年工作时间估算 (h)	有效剂量当量 (mSv/年)
A 煤矿	28.8	2366	1.3
B 煤矿	36.8	2262	1.6
C 粘土矿	52.4	2522	2.6
D 粘土矿	51.7	2496	2.5

3 讨论

氡是一种无色无味的气体，是镭核衰变的中间产物，可以溶于多种液体、血液和脂肪中^[1]。长期生活在低浓度氡的环境中，将会增加肺癌的发病风险^[6]。氡被国际癌症研究机构（IARC）列为第一类致癌物质，也是世界卫生组织（WHO）公布的 19 种主要环境致癌物质之一^[7]。

从测量结果看出，C、D 粘土矿氡子体浓度在各测量点位置都普遍高于 A、B 煤矿。一是由于 C、D 粘土矿为私营小型煤矿，在管理、矿体设计、设施方面与国有煤矿（A、B）相比存在一定差距。所调查的小型私有粘土矿没有完整的通风系统，只能依靠自然通风或在作业面实行局部通风，造成污风循环，这种情况同时发生在山东招远矿区^[8]。二是粘土矿和煤矿本身成分不同，但是由于国内对氡的测量主要集中在煤矿^[1,2,6,9,10,11]，只有少部分测量黄金矿^[8,12]，而对于粘土矿内氡的测量国内并无相关报道，只有美国对粘土矿进行过小规模调查^[13]。

测量结果还表明，煤矿各监测位置氡子体浓度主排风巷道>采场>地面工作区>主进风巷道。主排风巷道氡浓度最高的原因是由于主排风巷空气比较集中，聚集各个方面的污浊气体，气体迂回不易排除。采场区则由于工作面空间小，难以汇入新鲜空气，污浊气体不易扩散稀释所致。其他地区气压相对较低，新鲜空气容易流入，氡的浓度相对较低^[14]。

从总体看虽然 4 个矿区的氡及子体浓度未超过国家标准，但其存在通风不良、工作人员防护措施不健全等问题。针对这些问题建议矿区尤其是小型私营矿区切实建立完善的通风系统，对采空区和废弃的井巷进行封闭，做好井下通风排风，减少污风回流^[8]，全面改善工作环境。

本次测量和剂量估算的过程中不可避免的存在一些不确

定性因素。测量方面的不确定性包括仪器操作的规范性问题、实际测量点与设计测量点的误差等；剂量估算方面本次瞬时测量无法估算井下氡浓度的日变化和季节变化，这样在计算井下氡子体浓度年平均水平时会有偏差，在结果的应用方面存在局限性。

参考文献：

[1] 任平, 赵志根. 煤矿中氡的危害及防治 [A]. 魏振岱. 煤矿深部开采地质保障技术研究与应用 [C]. 江苏: 中国矿业大学出版社, 2008: 654-657.

[2] Liu Fudong, Pan Ziqiang, Liu Senlin, *et al.* The estimation on the number of underground coal miners and the annual dose to coal miners in China [J]. Health Physics, 2007, 91 (2): 127.

[3] UNSCEAR. 电离辐射源与效应. UNSCEAR2000 年报告 [R]. 中国核学会辐射防护学会译. 山西科学技术出版社, 2002: 618.

[4] 张智慧. 空气中氡及其子体的测量方法 [M]. 北京: 原子能出版社, 1994: 21.

[5] 王教义. 煤矿井下氡及其子体浓度调查与剂量估算 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004, 24 (2): 157-158.

[6] Choi Humberto, Mazzone Peter. Radon and lung cancer: Assessing and mitigating the risk [J]. Cleve Clin J Med, 2014, 81 (9): 567-575.

[7] 孙世荃. 人类辐射危害评价 [M]. 北京: 原子能出版社, 1996: 157-158.

[8] 王治国, 王教义. 山东省黄金矿山氡及其子体浓度调查 [J]. 劳动医学, 1990, 16 (3): 134-137.

[9] 黄银萍, 杨明理, 蒋宇红. 北京、浙江两煤矿的氡和 R 放射性水平调查 [J]. 铀矿冶, 2013, 32 (1): 42-45.

[10] 青玲. 川南小型煤矿放射性氡职业危害现状调查 [J]. 职业卫生与病伤, 2013, 28 (2): 69-71.

[11] 刘晓美, 范亚光. 云锡矿工肺癌危险因素的队伍研究 [J]. 中国肺癌杂志, 2013, 16 (4): 184-190.

[12] 杜鹃, 马国学. 金矿等非铀矿山开采过程中氡及其子体的防护 [J]. 黄金科学技术, 2013, 21 (2): 61-64.

[13] 赵梓成. 矿井中的氡及其防护 (一) ——防氡的基本知识 [J]. 云南冶金, 1978, 1 (3): 70-76.

[14] 潘自强. 人为活动引起的天然辐射职业性照射的控制——我国国民所受的最大和最高职业性照射 [J]. 中国辐射卫生, 2002, 11 (3): 129-133, 180.