

山东省矿井下工作人员职业性照射初步评价

王欣¹, 陈英民², 王垒², 杨淑慧², 毕明卫², 许家昂²

1. 禹城市人民医院, 山东 禹城 250062; 2. 山东省医学科学院放射医学研究所

摘要: **目的** 分析 2015 年–2017 年山东省部分矿井中氡的活度浓度, 对工作人员照射进行初步评价。**方法** 依据《空气中氡浓度的闪烁瓶测定方法》(GB/T 16147–1995) 进行测量, 依据《地下建筑氡及其子体控制标准》(GBZ 116–2002) 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871–2002) 进行分析和评价。**结果** 2015 年–2017 年共检测煤矿氡样品 1002 件, 算术平均值为 $21 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, 活度浓度最大值为 $377 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$; 检测金矿氡样品 36 件, 算术平均值为 $65 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, 活度浓度最大值为 $228 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$; 检测铁矿氡样品 7 件, 算术平均值为 $21 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, 活度浓度最大值为 $40 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。**结论** 2015 年–2017 年所检测的山东省 261 家次煤矿、36 家次金矿和 7 家次铁矿的井下氡的活度浓度水平均低于《地下建筑氡及其子体控制标准》(GBZ 116–2002) 已用地下建筑的行动水平, 均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871–2002) 对工作人员剂量限值的要求。

关键词: 山东省; 煤矿; 金矿; 铁矿; 氡–222; 活度浓度; 职业照射

中图分类号: TL75⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2018)03-0273-03

A primary assessment of occupational exposure to underground miners in Shandong Province

WANG Xin, CHEN Yingmin, WANG Lei, YANG Shuhui, BI Mingwei, XU Jiaang

1. Yucheng People's Hospital, Yucheng 251200 China;

2. Institute of Radiation Medicine, Shandong Academy of Medicine Sciences

Abstract: **Objective** To analyze the levels of radon concentrations in some mines in Shandong Province from 2015 to 2017 and to preliminarily evaluate the dose levels of occupational exposure. **Methods** The activity concentrations of radon were determined according to the methods of "Scintillation flask method for measuring radon concentration in the air" (GB/T 16147–1995). The occupational exposure was evaluated according to "Standard for controlling radon and its progenies in underground space" (GBZ 116–2002) and "Basic Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources" (GB18871–2002). **Results** Among the inspection samples collected from 2015 to 2017, the average concentrations of ^{222}Rn in 1002, 36 and 7 samples from coal mines, gold mines and iron ores were $21 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, $65 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ and $21 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, and the ranges were $14 \sim 377 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, $20 \sim 228 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ and $25 \sim 40 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ respectively. **Conclusions** ^{222}Rn concentrations in the samples are lower than the action level set for underground constructions in "Standard for controlling radon and its progenies in underground space" (GBZ 116–2002), and the results of annual radiation exposure to the underground miners also conform to the occupational limits of "Basic Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources" (GB18871–2002).

Key words: Shandong Province; Coal Mines; Gold Mines; Iron Ores; ^{222}Rn ; Occupational Exposure

2006 年 UNSCEAR 第 54 届会议向联合国大会提交的科学报告中指出: 居民终生 (75 年) 受到 100 Bq/m^3 氡照射将产生终生超额危险为 $0.16^{[1]}$; 氡污染在肺癌诱因中仅次于吸烟, 是世界卫生组织公认的 19 种环境致癌物质之一; 氡广泛存在于矿山等环境中, 氡

暴露在国内外已被认为是天然辐射中危险度最大的因素之一。山东省是我国煤炭、黄金等生产大省, 其中仅煤炭年产量超过 1 亿吨, 从业人员超过 40 万人。2015、2016 和 2017 年我们收到省内矿井氡送检样品分别为 297、370 和 378 件, 使用《空气中氡浓度的闪烁瓶测定方法》(GB/T 16147–1995) 检测方法^[2] 对共 1045 件氡样品进行了氡–222 的检测。我们对送检的氡样品检测数据进行了分类汇总, 依据《地下建筑氡

作者简介: 王欣 (1990–), 女, 山东禹城人, 学生, 住院医师, 从事影像诊断工作。E-mail: 276825267@qq.com

通讯作者: 许家昂 (1969–), 男, 山东胶南人, 硕士, 副研究员, 从事辐射环境监测与放射防护评价工作。E-mail: xujiaang2006@126.com

及其子体控制标准》(GBZ 116-2002)^[3]和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)^[4]对氡样品的活度浓度和所致矿工的年有效剂量进行了计算、分析和评价。本文可以在一定范围内反应了近 3 年来山东省部分煤矿、金矿和铁矿的井下空气中氡-222 的放射性水平和矿工职业照射情况。

1 材料与方法

1.1 样品采集 样品由山东省四家单位按照 HJ/T 194-2005^[5]要求进行采样和送检,采样袋规格 1.5 L 或 2.0 L 铝箔采样袋,在煤矿、金矿、铁矿井下(送检样品均为“矿井下氡-222 样品”)的检测点采样,采样后当日或第二天(最迟一般不得超过 3 d)送我单位实验室进行检测。从委托单位提供的送样单、委托单可知,采样点一般为综采工作面、综放工作面、矿区采场、掘进巷、材料道、泄水巷、集中运输巷、皮带巷、轨道巷、轨顺联络巷、采区轨道下山和回风大巷等。

1.2 测量方法 采用 FD-125 型室内氡钍分析器(配 FH-463B 型定标器,中核(北京)核仪器厂),对送检样品依据《空气中氡浓度的闪烁瓶测定方法》(GB/T 16147-1995)^[2],使用闪烁瓶测定方法进行检测,分别采用 2015、2016 和 2017 年由山东省计量科学研究院提供的校准因子进行氡-222 测量结果的计算(考虑了衰变校正因子等)。

1.3 氡-222 所致矿工剂量估算

氡-222 所致矿工剂量估算公式:

$$H = 5 \times (1.57 \times 10^{-6}) \times T \times C_{Rn} \times F \quad \text{式 1)}$$

式中: H :个人年有效剂量(mSv); 5 :工作场所空气中氡子体 α 潜能暴露量的有效剂量转换系数,mSv/WLM^[6]; 1.57×10^{-6} :平衡当量氡浓度暴露量($\text{Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$)与 α 潜能暴露量(WLM)之间的转换系数,WLM/($\text{Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$)^[6]; T :为矿工年工作时间,h; C_{Rn} :井下氡浓度, $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$; F :为氡子体平衡因子,取 0.35^[6]。

1.4 质量控制 ①按照山东省计量科学研院校准因子进行计算;②FD-125 型室内氡钍分析器使用中国计量科学研究院提供的液体镭-226 源(源编号:FM 241-1205)进行仪器核查;③样品采集、送检和实验检测按相应国家标准^[2,5]进行。

2 结果

2.1 矿井氡-222 活度浓度测量结果 2015 年-2017 年我们共接收样品 1045 件,样品量、被检单位数和氡-222 的活度浓度结果见表 1。铁矿样品取自淄博、莱芜等地;金矿样品取自莱州、蓬莱和招远等地;煤矿样品主要取自枣庄、济宁等地,少部分取自泰安、齐河和龙口等地。

2015 年-2017 年共检测铁矿氡样品 7 件,活度浓度最大为 $40 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$;检测金矿氡样品 36 件,活度浓度最大为 $228 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$;检测煤矿氡样品 1002 件,活度浓度最大 $377 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$;上述活度浓度均低于国标 GBZ 116-2002 已用地下建筑的行动水平 400 Bq/m^3 (平衡当量氡浓度)^[3]。

上述样品测量的探测下限(LLD),在进行算术平均值和标准误的计算时,均取 LLD 的二分之一。

表 1 2015~2017 年山东省部分矿井井下氡-222 活度浓度($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)

分类	年份	样品量	被检单位数	范围	算术平均值	标准误
铁矿	2015	1	1	-	$< LLD^{(1)}$	-
	2017	6	6	17~40	22	5
	合计	7	7	$< LLD^{(1)} \sim 40$	21	5
金矿	2015	9	9	33~173	104	17
	2016	13	13	$< LLD^{(2)} \sim 228$	66	18
	2017	14	14	$< LLD^{(3)} \sim 137$	38	10
	合计	36	36	$< LLD^{(3)} \sim 228$	65	9
煤矿	2015	287	87	$< LLD^{(4)} \sim 333$	27	2
	2016	357	92	$< LLD^{(5)} \sim 377$	19	1
	2017	358	82	$< LLD^{(6)} \sim 248$	19	1
	合计	1002	261	$< LLD^{(4)} \sim 377$	21	1

注:(1)、(2)、(3)、(4)、(5)和(6)的最小探测下限(LLD)分别为 25、22、20、14、14 和 $16 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

2.2 矿井氡-222 所致矿工剂量估算 2015 年-2017 年接收的上述铁矿、金矿和煤矿样品,由送样单位按照 HJ/T 194-2005^[5]要求进行瞬时采样并送检,

均为正常工况下的取样,基本能反应矿井下氡-222 的活度水平,因此,对所检测的铁矿、金矿和煤矿的矿工年有效剂量进行了估算,结果见表 2;为便于比较,

表 2 中工作时间采用文献^[6]中的数据。

表 2 2015 ~ 2017 年山东省部分矿井井下氡所致矿工年有效剂量估算结果

分类	氡活度浓度平均值 (Bq · m ⁻³)	氡活度浓度最大值 (Bq · m ⁻³)	工作时间 (h)	个人年平均剂量 (mSv)	个人年最大剂量 (mSv)
铁矿	21	40	2000	1.15×10^{-1}	2.20×10^{-1}
金矿	65	228	2000	3.57×10^{-1}	1.25
煤矿	21	377	2000	1.15×10^{-1}	2.07

3 讨论

3.1 山东省部分矿井氡的活度浓度水平 表 1 中 2015 年 - 2017 年所检测的山东省 261 家次煤矿、36 家次金矿和 7 家次铁矿的井下氡的活度浓度水平均低于《地下建筑氡及其子体控制标准》(GBZ 116 - 2002)已用地下建筑的行动水平 400 Bq/m³ (平衡当量氡浓度)^[3];也普遍低于中国煤矿井下氡的活度浓度水平^[6];与文献^[7]山东省煤矿氡浓度水平调查结果范围基本一致,但煤矿井下氡 - 222 活度浓度的平均水平较偏低^[7]。

3.2 矿工年有效剂量的评价 表 2 中 2015 年 - 2017 年所检测的山东省 261 家次煤矿、36 家次金矿和 7 家次铁矿的井下氡 - 222 所致矿工年有效剂量均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871 - 2002)中工作人员年剂量限值^[4]。表 1 中的检测数据为瞬时采样,不能代表年平均氡 - 222 活度浓度,因此,表 2 中的估算结果会存在一定的偏差;但该采样为正常工况下的代表性采样,基本能反应正常工况下氡 - 222 的活度浓度水平,也基本代表了山东省部分

煤矿矿工的年受照剂量水平。

参考文献

- [1] IRSN summary of the UNSCEAR reports for 2003 - 2007 (Version dated 15 september 2006): Sources - to - effects assessment for radon in homes and work places. France (2006).
- [2] 国家技术监督局、中华人民共和国卫生部. GB/T 16147 - 1995 空气中氡浓度的闪烁瓶测定方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [3] 中华人民共和国卫生部. GBZ 116 - 2002. 地下建筑氡及其子体控制标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB18871 - 2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [5] 国家环境保护总局. HJ/T 194 - 2005 环境空气质量手工监测技术规范 [S]. 北京: 中国环境出版社, 2005.
- [6] 陈凌, 潘自强, 刘森林, 等. 中国煤矿井下工作人员所受天然辐射职业性照射初步评价 [J]. 辐射防护, 2008, 28 (3): 129 - 137.
- [7] 李海亮, 李福生, 刘福东, 等. 山东省煤矿氡浓度水平调查与评价 [J]. 辐射防护, 2010, 30 (2): 117 - 121.

收稿日期: 2018 - 02 - 28

欢 迎 投 稿 欢 迎 订 阅