

# 湖南某铅锌金矿井下放射性水平调查与评价

张奇, 崔宏星, 张震, 练德幸

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 辐射防护与核应急中国疾病预防控制中心重点实验室, 北京 100088

**摘要:** **目的** 调查湖南某铅锌金矿井下放射性水平, 评价放射性危害程度及来源。**方法** 对井下不同位置  $\gamma$  剂量率以及氡浓度进行实地测量, 估算井下工作人员所受年有效剂量。**结果** 井下矿区  $\gamma$  剂量率范围为  $(0.05 \sim 0.63) \mu\text{Sv/h}$ 。累积测量氡浓度范围为  $(52 \sim 721) \text{Bq/m}^3$ , 井下工作人员所受最大年有效剂量约为  $4.84 \text{mSv}$ 。**结论** 根据本次调查, 该矿井下工作场所氡浓度较高, 存在放射性危害, 应采取相应防护措施。

**关键词:** 铅锌金矿; 放射性;  $\gamma$  剂量率; 氡

**Investigation and Evaluation of Radioactivity Level of a Lead – zinc – gold Mine in Hunan.** ZHANG Qi, CUI Hong – xing, ZHANG Zhen, LIAN De – xing. *National Institute for Radiological Protection, China CDC China CDC Key Laboratory of Radiological Protection and Nuclear Emergency, Beijing 100088 China*

**Abstract:** **Objective** To investigate the radioactivity level of lead – zinc – gold mine in Hunan and analyze possible measures of radiation protection of the underground mine to be taken. **Methods** The concentration of  $^{222}\text{Rn}$  and  $\gamma$  dose rate in underground holes of copper mine was measured to estimate the annual effective dose of the copper mine staff. **Results**  $\gamma$  dose rate is  $(0.05 \sim 0.63) \mu\text{Sv/h}$ , Radon concentration is  $(52 \sim 721) \text{Bq/m}^3$ . The annual effective dose of the lead – zinc – gold mine staff was  $4.84 \text{mSv}$ . **Conclusion** The underground workplace of the lead – zinc – gold mine has radioactive hazard. Radon concentration is high, and the corresponding protective measures should be taken.

**Key words:** Lead – Zinc – Gold Mine; Radioactive;  $\gamma$  Dose Rate; Radon

中图分类号: R144 文献标识码: B 文章编号: 1004 – 714X(2017)02 – 0159 – 03

我国是世界上为数不多的、矿产资源种类较齐全的、矿产自给程度较高的国家之一。通过对矿产资源的大规模勘查, 截至 2003 年, 我国已经发现的矿物种类达到 171 种, 查明资源储量的矿产(包括能源矿产、黑色金属矿产、有色金属矿产、贵金属矿产、稀有及稀土矿产、其他非金属矿产等)共计 158 种, 总量上约占世界的 12%, 居世界第三位。建成国有矿山 9000 多座, 其他所有制矿山 20 多万座, 矿产行业从事各种工作的人员达 2100 万人<sup>[1]</sup>, 其中井下工作人员数量众多, 虽然根据国际上相关文献公布的数量约为 300 万<sup>[2]</sup>, 但这一数据可能只统计了大型国有企业, 缺少小型私企及流动性人员信息, 另有文献报道我国仅煤矿井下工作人员就达 600 万, 估计总体井下矿工数量约为 1000 万以上<sup>[3]</sup>。

矿山井下开采人员暴露于天然辐射作业环境中, 受到放射性职业照射, 根据相关文献报道<sup>[2]</sup>, 我国不同行业职业照射中, 有色金属矿及煤矿井下矿工平均集

体有效剂量非常高, 比核与辐射技术应用、铀矿开采等行业高出 1 ~ 2 数量级, 年均个人有效剂量也相对较高, 分别为  $5.53$  和  $2.4 \text{mSv}$ , 均已超过 GB 18871 – 2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》<sup>[4]</sup>附录 B 中规定的公众剂量限值。本研究对湖南某铅锌金矿井下工作场所放射性水平进行检测, 并根据检测结果估算井下工作人员年有效剂量, 对其放射性职业病危害做出评价。

## 1 对象与方法

**1.1 对象** 该矿为大型有色金属矿山, 生产规模位居全国同类矿山前五位, 主要产品为铅精矿、锌精矿、金硫精矿, 有三十多年开采历史。采矿方式为井下开采, 每年工作 300 日, 每日三班, 每班 8 h。井下岗位包括风钻、爆破、松石、填充、钻探、机运、通风等。主要防护用品包括: 口罩、安全帽、耳塞、工作服、套靴、手套、护目镜、防砸鞋、绝缘鞋等。每年由当地职防院组织进行职业病危害相关培训, 并由职工医院开展健康体检。

## 1.2 方法

**作者简介:** 张奇(1978 – ), 男, 辽宁抚顺人, 副研究员, 2006 年毕业于兰州大学, 获硕士学位, 主要从事辐射防护、评价、检测工作。

1.2.1  $\gamma$  辐射水平检测 利用 6150AD 5/h + b/h 便携式  $\gamma$  剂量率仪对井下工作场所  $\gamma$  辐射水平进行测量,采取瞬时测量的方式,每个检测点测读 5 次,计算平均值。

1.2.2 空气中氦及氦子体检测 依据 GB/T 14582 - 93《环境空气中氦的标准测量方法》<sup>[5]</sup>,利用 LIH 测氦杯进行氦浓度累积测量。

1.2.3 井下工作人员年受照剂量估算 受照剂量主要由内、外照射导致的剂量组成,其中内照射剂量主要由氦及氦子体引起,外照射剂量主要由  $\gamma$  辐射所致。工作人员年受照剂量可表示为:

$$H = H_{\text{内}} + H_{\text{外}} \quad (1)$$

式中: $H$  - 工作人员年受照剂量,单位:mSv; $H_{\text{内}}$  - 内照射引起的年受照剂量,单位:mSv; $H_{\text{外}}$  - 外照射引起的受照剂量,单位:mSv。

(1) 内照射剂量估算

$$H_{\text{内}} = C_{\text{Rn,a}} \times (DCF_{\text{Rn}} + F \cdot DCF_{\text{RnD}}) \times t^{[6]} \quad (2)$$

式中: $C_{\text{Rn,a}}$  - 氦浓度年均值, Bq/m<sup>3</sup>;  $DCF_{\text{Rn}}$  - 氦的剂量转换因子,  $0.17 \times 10^{-6}$  mSv/(Bq · h · m<sup>3</sup>);  $DCF_{\text{RnD}}$  - 氦子体的剂量转换因子,  $9 \times 10^{-6}$  mSv/(Bq · h · m<sup>3</sup>);  $t$  - 全年工作时间, h;  $F$  - 氦子体平衡因子, 无量纲, 一般取 0.4。

(2) 外照射剂量估算

$$H_{\text{外}} = (E_{\gamma} - E_{\text{本底}}) \times t \quad (3)$$

式中: $E_{\gamma}$  - 工作场所  $\gamma$  剂量率, mSv/h;  $E_{\text{本底}}$  - 天

然本底  $\gamma$  剂量率, mSv/h;  $t$  同公式(2)。

1.2.4 质量控制 参与本次调查的工作人员均经过相关培训,具备检测能力和多年检测经验;检测用仪器设备均已经过剂量监督部门检定,在有效期内使用;现场检测工作依据相关标准、规范和技术文件开展,所使用的检测方法和方案均经过专家讨论。

## 2 检测结果

2.1 氦及氦子体活度浓度 各检测点累计测量氦浓度见表 1。

表 1 累积测量氦浓度(Bq/m<sup>3</sup>)

区域	测量位置	氦浓度
地面	井口值班室	3
	办公楼安环室主任室	91
井下	11 层 1101 - 1w. 103	570
	103A 压采	386
	盲斜井	721
	井下 11 层电梯旁	52

由表 1 可知,本矿山井下场所氦浓度范围为 52 ~ 721 Bq/m<sup>3</sup>,未超过 GBZ/T 233 - 2010《锡矿山工作场所放射卫生防护标准》<sup>[7]</sup>中规定的井下工作场所空气中氦浓度管理目标值(1000 Bq/m<sup>3</sup>),但部分场所氦浓度超过 500 Bq/m<sup>3</sup>,根据有关标准<sup>[4-5]</sup>,应采取有效降氦措施。

2.2  $\gamma$  外照射水平 本次调查  $\gamma$  外照射辐射水平结果见表 2。

表 2 井下及地面  $\gamma$  外照射辐射水平( $\mu$ Sv/h)

序号	位置	结果	序号	位置	结果
1	候罐区	0.13	18	11 中段岔口(1101 - 1W 方向)	0.11
2	11 中段入口	0.10	19	11 中段 1101 - 1W 巷道口	0.47
3	11 中段入口巷道	0.15	20	11 中段 103A 压采掘面	0.12
4	11 中段巷道内	0.23	21	11 中段 103A 压采掘面	0.11
5	11 中段巷道内	0.67 ± 0.01	22	11 中段 103A 通风设施旁	0.21
6	11 中段三岔口	0.51	23	11 中段 1101 - 1W - 103 线	0.28
7	11 中段 103 巷道	0.07	24	11 中段巷道	0.22
8	11 中段 1101 - 1W 巷道	0.12	25	11 中段巷道	0.45 ± 0.02
9	11 中段 103 风机处	0.19	26	11 中段倒矿区	0.26
10	11 中段休息区	0.17	27	11 中段倒矿区操作位	0.20
11	11 中段库房外	0.16	28	11 中段倒矿区机械	0.21
12	11 中段火工品发放硐室外	0.16	29	11 中段倒矿区周围	0.46
13	11 中段库房外	0.33	30	11 中段倒矿区临时休息点	0.17
14	11 中段检修硐室	0.14	31	11 中段 1101 - E	0.35
15	11 中段风爆 101A	0.05	32	办公楼操场(本底)	0.11
16	11 中段采五区 101A	0.09	33	门禁等待区(本底)	0.15
17	1 废弃巷道入口	0.11			

根据表 2 所示,井下巷道内  $\gamma$  辐射水平最高 0.67  $\mu\text{Sv/h}$ ,本底  $\gamma$  辐射水平约为 0.13  $\mu\text{Sv/h}$ 。

### 3 剂量估算

3.1 内照射年有效剂量 由表 1 可知,井下工作场所氡活度浓度最大值约为 570  $\text{Bq/m}^3$ 。经调查,井下工作人员每班工作 8 h,井下有效工作时间约为 6 h。每年按工作 300 天计算,相关参数带入公式 2,则最大内照射年有效剂量  $H_{\text{内}} = 3.87 \text{ mSv/a}$ 。

3.2 外照射年有效剂量 由表 2 可知,井下巷道内  $\gamma$  辐射水平最高 0.67  $\mu\text{Sv/h}$ ,本底水平约为 0.13  $\mu\text{Sv/h}$ 。经调查,井下工作人员每班工作 8 h,井下有效工作时间约为 6 h。每年按工作 300 天计算,相关参数带入公式(3),则最大外照射年有效剂量  $H_{\text{外}} = 0.97 \text{ mSv/a}$ 。

3.3 工作人员年有效剂量 根据上述剂量估算,井下工作人员最大年受照剂量  $H = H_{\text{内}} + H_{\text{外}} = 3.87 + 0.97 = 4.84 \text{ mSv/a}$ ,虽然未超过 GB 18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》<sup>[4]</sup>附录 B 中规定的由审管部门决定的连续 5 年的职业照射年平均有效剂量(20 mSv)和 GBZ/T 233-2010《锡矿山工作场所放射卫生防护标准》<sup>[7]</sup>7.1 规定的工作人员的有效剂量管理目标值(10 mSv/a),但超过了 GB 18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》<sup>[4]</sup>附录 B 中规定的公众剂量限值(1 mSv/a)。工作人员年有效剂量主要来源于氡及氡子体,由其导致的剂量约占受照剂量的 80%。

### 4 讨论

4.1 存在的主要问题 根据现场检测结果来看,调查对象存在放射性危害,主要来自氡及氡子体的贡献。GB 18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》<sup>[4]</sup>规定,工作场所中的氡持续照射情况下补救行动的行动水平为 500~1000  $\text{Bq/m}^3$ ;GBZ/T 233-2010《锡矿山工作场所放射卫生防护标准》<sup>[7]</sup>中也规

定:工作场所氡浓度超过 500  $\text{Bq/m}^3$ ,需要采取有效降氡措施。根据检测结果,本调查对象井下场所氡浓度范围为 52~721  $\text{Bq/m}^3$ ,但由于管理部门对放射性危害缺乏足够认识,未采取有针对性的防护措施,也未开展放射防护培训、工作场所和个人剂量监测、职业健康体检等相关工作。工作人员也不了解放射性危害的来源和性质。该矿山辐射防护状况不容乐观。

4.2 防护建议 为防治氡及氡子体的危害,应根据国家法律、法规和标准的要求,采取有效的防护措施:①加强井下通风,以降低井下作业场所氡及氡子体活度浓度;②封闭废弃巷道及采空区,及时清除废矿石;③加强个体防护,井下工作必须佩戴高效防护口罩;④定期开展氡及其子体活度浓度监测;⑤委托有资质的技术服务机构定期开展工作人员个人剂量监测;⑥尽量减少工作人员井下工作时间;⑦严禁井下饮水、饮食,尽量减少接触有害物质;⑧加强相关教育培训,向工作人员普及辐射防护知识;⑨对井下工作人员定期开展职业健康体检;发现职业禁忌的应及时采取措施。

### 参考文献

- [1] 彭望通. 矿产资源业可持续发展初探[J]. 北京市经济管理干部学院学报, 2005, 20(3): 71-76.
- [2] 潘自强, 刘艳阳. 人为活动引起的天然辐射照射的增加—当前我国国民所受人为活动照射的最大者[J]. 辐射防护, 2011, 31(6): 323-327.
- [3] 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.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局. GB 18871-2002 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] 国家环境保护局. GB/T 14582-93 环境空气中氡的标准测量方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [6] 国家环境保护局. GB/T 16146-2015 室内氡及其子体控制要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [7] 国家环境保护局. GBZ/T 233-2010 锡矿山工作场所放射卫生防护标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

收稿日期: 2016-12-08 修回日期: 2017-04-09

(上接第 158 页)平的重要途径之一,充分有效发挥进修的作用,增进全国辐射防护与核安全机构间人才培养交流,提升人员的业务素质,提高应对核与辐射突发事件的能力,促进行业水平的提高。

### 参考文献

- [1] 吴静燕, 全逸芳, 周文浩. 儿科进修人员规范化培训与管理的探索[J]. 中华医学教育探索杂志, 2014, 13(7): 741-744.

- [2] 习聪, 王宏涛, 王晓刊, 等. 放射卫生继续医学教育工作的分析与研究[J]. 中国辐射卫生, 2016, 25(3): 290-292.
- [3] 李丹, 米黎, 赵涌, 等. 病理进修生的现状及管理[J]. 重庆医学, 2006, 35(22): 2102-2103.
- [4] 吴林秀, 刘茜, 张丽君, 等. 不同等级医院护士在三甲医院进修期间真实体验的质性研究[J]. 中国实用护理杂志, 2014, 30(8): 67-70.
- [5] 陈倩, 彭霞, 郭华. 大型综合医院进修生管理转型的思考与探索[J]. 中华医学教育杂志, 2015, 35(5): 783-785.

收稿日期: 2016-08-07 修回日期: 2017-03-10