

## 【论著】

云南省某铅矿<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 水平及  $\gamma$  剂量率调查唐 丽<sup>1</sup>, 王春泉<sup>2</sup>, 周玉斌<sup>2</sup>, 欧书萍<sup>2</sup>, 余开文<sup>2</sup>, 刘宏兴<sup>2</sup>

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2013)06-0641-03

**【摘要】** 目的 调查云南省某铅矿井下放射性水平, 分析可采取的井下辐射防护措施。方法 应用瞬时测量技术对铅矿井下不同海拔高度的五个矿洞进行<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 浓度和  $\gamma$  剂量率测量。结果 井下矿区<sup>222</sup>Rn 浓度中位数值为 1 367 Bq/m<sup>3</sup>, <sup>220</sup>Rn 浓度中位数值为 24 Bq/m<sup>3</sup>, <sup>222</sup>Rn 子体  $\alpha$  潜能浓度中位数值为 3.04  $\mu$ J/m<sup>3</sup>,  $\gamma$  剂量率平均值为 0.08  $\mu$ Gy/h; 不同监测矿洞的<sup>222</sup>Rn 浓度分布差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), <sup>220</sup>Rn 浓度分布差异无统计学意义( $P > 0.05$ ); 海拔最高的监测矿洞<sup>222</sup>Rn 浓度分布与其他各个监测矿洞差异有统计学意义( $P < 0.005$ ), <sup>222</sup>Rn 浓度低于其他各个监测矿洞; 采场与井下休息区的<sup>222</sup>Rn 浓度分布差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), <sup>220</sup>Rn 浓度分布差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 采场的<sup>220</sup>Rn 浓度高于井下休息区。结论 铅矿井下矿区<sup>222</sup>Rn 浓度超过国家标准规定的管理目标值(1 000 Bq/m<sup>3</sup>), 现有井下通风系统不能有效降低<sup>222</sup>Rn 浓度, <sup>222</sup>Rn 浓度是<sup>220</sup>Rn 浓度的 50 倍, <sup>222</sup>Rn 子体  $\alpha$  潜能浓度未超出国家标准规定的限值(3.57  $\mu$ J/m<sup>3</sup>),  $\gamma$  剂量率未超出国家标准规定的限值(1  $\mu$ Gy/h), 均在云南省本底范围内, 矿井下的工作人员应接受个人剂量监测和职业健康检查。

**【关键词】** <sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 浓度; <sup>222</sup>Rn 子体  $\alpha$  潜能浓度;  $\gamma$  剂量率

Investigation of the Levels of <sup>222</sup>Rn & <sup>220</sup>Rn and  $\gamma$  Dose Rate in A Lead Mine of Yunnan Province. TANG Li, WANG Chun-quan, ZHOU Yu-bin, OU Shu-ping, YU Kai-wen, LIU Hong-xing. 1 Yunnan Center for Disease Control and Prevention, Kunming 650022 China. 2 Lancang County Center for Disease Control and Prevention, Lancang 665600 China.

**【Abstract】 Objective** To investigate the radioactive level of a lead underground mine in Yunnan Province and analyze possible measures of radiation protection of the underground mine to be taken. **Methods** Concentrations of <sup>222</sup>Rn & <sup>220</sup>Rn and  $\gamma$  dose rate are measured in five underground holes of the lead mine with different elevation applying instant measuring technology. **Results** <sup>222</sup>Rn concentration is 1 367 Bq/m<sup>3</sup>, <sup>220</sup>Rn concentration is 24 Bq/m<sup>3</sup>, potential alpha energy concentration of <sup>222</sup>Rn daughters, 3.04  $\mu$ J/m<sup>3</sup> and  $\gamma$  dose rate, 0.08  $\mu$ Gy/h. <sup>222</sup>Rn concentration distribution is different ( $P < 0.05$ ) and <sup>220</sup>Rn concentration distribution is identical ( $P > 0.05$ ) among different monitored underground holes of the mine. <sup>222</sup>Rn concentration distribution of monitored underground hole with the highest elevation is different from that of other every hole ( $P < 0.005$ ), and <sup>222</sup>Rn concentration of the hole is less than that of other every hole. <sup>222</sup>Rn concentration distribution is identical between the stope and resting area of underground mine ( $P > 0.05$ ), and <sup>220</sup>Rn concentration distribution is different ( $P < 0.05$ ). <sup>220</sup>Rn concentration of the stope is higher than that of resting area of underground mine. **Conclusion** <sup>222</sup>Rn concentration exceeds managed target value (1 000 Bq/m<sup>3</sup>) specified by the national standard in the underground area of lead mine. Present ventilation system of underground mine doesn't reduce <sup>222</sup>Rn concentration effectively. <sup>222</sup>Rn concentration of underground mine is 50 times as much as <sup>220</sup>Rn concentration. Potential alpha energy concentration of <sup>222</sup>Rn daughters does not outnumber specified limit value (3.57  $\mu$ J/m<sup>3</sup>) of the national standard.  $\gamma$  dose rate does not surpass specified limit value (1  $\mu$ Gy/h) of the national standard and keeps within the background range of Yunnan Province. Workers of underground mine should receive individual dose monitoring and occupational health examination.

**【Key words】** <sup>222</sup>Rn Concentration; <sup>220</sup>Rn Concentration; Potential Alpha Energy Concentration of <sup>222</sup>Rn Daughters;  $\gamma$  Dose Rate

矿山氡及其子体的辐射危害与防护问题已经受到世界各国的重视。氡及其子体是非铀矿山井下矿工受照射剂量的最主要来源, 氡可以通过岩石的孔隙或缝隙向空气中扩散, 并从矿内各种工作表面扩散到其他工作空间。氡还可以从矿井水中析出, 造成氡及其子体浓度的不断积累。研究表明, 由于井下空间狭小及通风条件的限制, 某些非铀矿山井下矿工接受的照射剂量超过了《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 职业照射个人剂量限值<sup>[1]</sup>, 必须引

起足够的重视<sup>[2,3]</sup>。因此, 对非铀矿山井下辐射水平进行调查和分析, 采取积极、科学的井下辐射防护措施很重要。笔者于 2012 年 4 月至 7 月对云南澜沧铅矿有限公司老厂矿山进行了<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 水平及  $\gamma$  剂量率的调查。

## 1 材料和方法

1.1 调查对象 云南澜沧铅矿有限公司是集采、选、冶为一体的国有中型企业, 主要原料基地为老厂矿山。

1.2 监测点布设 根据矿区生产特点, 考虑作业场所、人员分布等情况, 选取老厂矿山不同海拔高度的 5 个矿洞作为监测对象, 每个矿洞内设置 3 个监测点, 共

作者单位: 1 云南省疾病预防控制中心, 昆明 650022; 2 澜沧拉祜族自治县疾病预防控制中心, 澜沧 665600

作者简介: 唐丽(1980-), 女, 云南昆明人, 主管医师, 主要从事辐射监测与评价工作。

计 15 个监测点。监测点类型包括采场(距离工作面不超过 50 m)和井下休息区。

1.3 仪器与测量方法  $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$  浓度采用 RTM 1688-2 型氡浓度测量仪进行现场瞬时测量,每个监测点每次测量 30 min,仪器刻度系数 $^{222}\text{Rn}$ 为 1.02, $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$  探测下限分别为 33 Bq/m<sup>3</sup>、11 Bq/m<sup>3</sup>。 $\gamma$  辐射剂量率采用 JB 4000 智能化 X- $\gamma$  辐射仪现场测量,在矿区地表进行测量,探头距离地面 1 m,每个监测点每次测量时间为 1 s,仪器相对误差 $\leq \pm 10\%$ 。采用多功能风速智能测定仪测量每个监测点的风速瞬时读数。

1.4 质量控制 在调查前、中、后期均采取质量控制手段,包括检测人员培训、测量之前仪器设备检定、现场设置质控人员、省级督导员现场督导以及后期数据的整理等。

1.5 统计学方法 应用 SPSS 16.0 统计软件处理数据。因非正态分布, $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$  浓度及风速采用中位

数和四分位数间距表示,多组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验,每两组做独立样本的秩和检验。 $\alpha'$  的调整公式为<sup>[4]</sup>:

$$\alpha' = \frac{2\alpha}{k(k-1)}$$

式中: $k$  为组数; $\alpha$  为检验水准; $\alpha'$  为调整后检验水准。本研究中  $\alpha = 0.05$   $k = 5$   $\alpha'$  调整为 0.005。

## 2 结果

2.1 不同监测矿洞 $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$  浓度 由表 1 可见,矿井内 $^{222}\text{Rn}$  浓度范围为 73 ~ 4 335 Bq/m<sup>3</sup>,中位数值为 1 367 Bq/m<sup>3</sup>。 $^{220}\text{Rn}$  浓度范围为 11 ~ 113 Bq/m<sup>3</sup>,中位数值为 24 Bq/m<sup>3</sup>。不同监测矿洞的 $^{222}\text{Rn}$  浓度分布差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), $^{220}\text{Rn}$  浓度分布差异无统计学意义( $P > 0.05$ );海拔最高的监测矿洞 $^{222}\text{Rn}$  浓度分布与其他各个监测矿洞均差异有统计学意义( $P < 0.005$ ), $^{222}\text{Rn}$  浓度低于其他各个监测矿洞。

表 1 不同监测矿洞 $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$  浓度

监测矿洞	$^{222}\text{Rn}$ 浓度(Bq/m <sup>3</sup> )			$^{220}\text{Rn}$ 浓度(Bq/m <sup>3</sup> )		
	监测数	范围值	中位数值( $P_{25} \sim P_{75}$ )	监测数	范围值	中位数值( $P_{25} \sim P_{75}$ )
主井 1650	18	73 ~ 4 335	1 684(685 ~ 1 932) <sup>1)2)</sup>	15	17 ~ 56	24(21 ~ 31) <sup>6)</sup>
辅井 1650	12	77 ~ 2 763	2 423(386 ~ 2 697) <sup>1)3)</sup>	10	13 ~ 113	24(21 ~ 28) <sup>6)</sup>
辅井 1800	18	219 ~ 4 002	1 126(502 ~ 1 695) <sup>1)4)</sup>	14	15 ~ 40	24(21 ~ 28) <sup>6)</sup>
辅井 1875	17	785 ~ 3 414	1 945(1563 ~ 2 528) <sup>1)5)</sup>	15	11 ~ 86	26(21 ~ 57) <sup>6)</sup>
辅井 1900	15	91 ~ 1 139	205(127 ~ 632) <sup>1)</sup>	11	15 ~ 85	24(19 ~ 41) <sup>6)</sup>
合计	80	73 ~ 4 335	1 367(456 ~ 2074)	65	11 ~ 113	24(21 ~ 31)

注:1)五个监测矿洞的 $^{222}\text{Rn}$  浓度分布比较  $H = 27.793$   $P < 0.05$ ;2)辅井 1900 与主井 1650 比较  $Z = -3.616$   $P < 0.005$ ;3)与辅井 1650 比较  $Z = -2.928$   $P < 0.005$ ;4)与辅井 1800 比较  $Z = -3.724$   $P < 0.005$ ;5)与辅井 1875 比较  $Z = -4.740$   $P < 0.005$ ;6)五个监测矿洞的 $^{220}\text{Rn}$  浓度分布比较  $H = 0.981$   $P > 0.05$ 。

2.2 不同类型监测点 $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$  浓度 表 2 中,采场 $^{222}\text{Rn}$  浓度范围为 77 ~ 4 335 Bq/m<sup>3</sup>,中位数值为 1 512 Bq/m<sup>3</sup>; $^{220}\text{Rn}$  浓度范围为 11 ~ 113 Bq/m<sup>3</sup>,中位数值为 24 Bq/m<sup>3</sup>。井下休息区 $^{222}\text{Rn}$  浓度范围为 73 ~ 1 245 Bq/m<sup>3</sup>,中位数值为 791 Bq/m<sup>3</sup>; $^{220}\text{Rn}$  浓度范围

为 24 ~ 56 Bq/m<sup>3</sup>,中位数值为 28 Bq/m<sup>3</sup>。采场与井下休息区的 $^{222}\text{Rn}$  浓度分布差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), $^{220}\text{Rn}$  浓度分布差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),采场的 $^{220}\text{Rn}$  浓度高于井下休息区。

表 2 不同类型监测点 $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$  浓度

监测矿洞	$^{222}\text{Rn}$ 浓度(Bq/m <sup>3</sup> )			$^{220}\text{Rn}$ 浓度(Bq/m <sup>3</sup> )		
	监测数	范围值	中位数值( $P_{25} \sim P_{75}$ )	监测数	范围值	中位数值( $P_{25} \sim P_{75}$ )
采场	74	77 ~ 4 335	1 512(462 ~ 2 194) <sup>1)</sup>	60	11 ~ 113	24(21 ~ 29) <sup>2)</sup>
井下休息区	6	73 ~ 1 245	791(242 ~ 1 169) <sup>1)</sup>	5	24 ~ 56	28(26 ~ 44) <sup>2)</sup>
合计	80	73 ~ 4 335	1 367(456 ~ 2 074)	65	11 ~ 113	24(21 ~ 31)

注:1)两种类型监测点的 $^{222}\text{Rn}$  浓度分布比较  $Z = -1.735$   $P > 0.05$ ;2)两种类型监测点的 $^{220}\text{Rn}$  浓度分布比较  $Z = -2.022$   $P < 0.05$ 。

2.3 不同监测矿洞 $\gamma$  剂量率 由表 3 可见,矿井内 $\gamma$  剂量率范围为 0.01 ~ 0.30  $\mu\text{Gy/h}$ ,算术平均值 $\pm$ 标准差为(0.08 $\pm$ 0.07)  $\mu\text{Gy/h}$ 。

2.4 不同监测矿洞风速 表 4 中,矿井内风速范围为 0 ~ 0.8 m/s,中位数值为 0 m/s,不同监测矿洞的风速差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

2.5  $^{222}\text{Rn}$  子体 $\alpha$  潜能浓度计算 根据国家标准《锡矿山工作场所放射卫生防护标准》(GBZ/T 233-2010)<sup>[5]</sup>附录 A, $^{222}\text{Rn}$  浓度与 $^{222}\text{Rn}$  子体 $\alpha$  潜能浓度的

关系式  $C_{\text{Rn}} = \frac{180 \times C_p}{F}$  式中: $C_{\text{Rn}}$ ( $^{222}\text{Rn}$  浓度)为 1 367 Bq/m<sup>3</sup>  $F$ (平衡因子)取 0.4,换算得出矿井中 $^{222}\text{Rn}$  子

体 α 潜能浓度为 3.04 μJ/m<sup>3</sup>。

表 3 不同监测矿洞 γ 剂量率

监测矿洞	墙壁 γ 剂量率( μGy/h)		地面 γ 剂量率( μGy/h)		γ 剂量率( μGy/h)	
	监测数	范围值	监测数	范围值	监测数	$\bar{x} \pm s$
主井 1650	18	0.06 ~ 0.18	18	0.03 ~ 0.16	36	0.12 ± 0.04
辅井 1650	12	0.02 ~ 0.30	12	0.03 ~ 0.23	24	0.14 ± 0.08
辅井 1800	18	0.01 ~ 0.13	18	0.01 ~ 0.13	36	0.04 ± 0.04
辅井 1875	17	0.01 ~ 0.14	17	0.01 ~ 0.13	34	0.04 ± 0.05
辅井 1900	15	0.02 ~ 0.26	15	0.01 ~ 0.25	30	0.09 ± 0.08
合计	80	0.01 ~ 0.30	80	0.01 ~ 0.25	160	0.08 ± 0.07

3 讨论

氡被国际癌症研究机构( IARC) 列为第 1 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<sup>[6,7]</sup>。本次调查中 ,矿井内<sup>222</sup>Rn 浓度为 1 367 Bq/m<sup>3</sup> ,<sup>220</sup>Rn 浓度为 24 Bq/m<sup>3</sup> ,<sup>222</sup>Rn 浓度是<sup>220</sup>Rn 浓度的 50 倍。

表 4 不同监测矿洞风速

监测矿洞	风速( m/s)		
	监测数	范围值	中位数值( $P_{25} \sim P_{75}$ )
主井 1650	18	0	0( 0 ~ 0) <sup>1)</sup>
辅井 1650	12	0 ~ 0.8	0( 0 ~ 0.4) <sup>1)</sup>
辅井 1800	18	0 ~ 0.5	0( 0 ~ 0) <sup>1)</sup>
辅井 1875	18	0 ~ 0.5	0( 0 ~ 0) <sup>1)</sup>
辅井 1900	16	0 ~ 0.5	0( 0 ~ 0) <sup>1)</sup>
合计	82	0 ~ 0.8	0

注: 1) 5 个监测矿洞的风速比较  $H=7.718$   $P>0.05$ 。

矿井内<sup>222</sup>Rn 浓度超过国家标准《锡矿山工作场所放射卫生防护标准》( GBZ/T 233 - 2010)<sup>[5]</sup> 规定的管理目标值( 1 000 Bq/m<sup>3</sup>) 。结合现场风速测量数据 ,说明现有的井下通风系统达不到要求 ,不能有效降低<sup>222</sup>Rn 浓度。今后实际工作中应采取连续通风措施 ,使矿井内空气与外界大气保持连续循环 ,将<sup>222</sup>Rn 浓度降低到标准规定限值以下。矿井中<sup>222</sup>Rn 子体 α 潜能浓度 3.04 μJ/m<sup>3</sup> 未超出国家标准<sup>[5]</sup> 规定的限值( 3.57 μJ/m<sup>3</sup>) 。根据测量结果 ,矿井下的工作人员应接受个人剂量监测和职业健康检查。

调查中还发现不同监测矿洞的<sup>222</sup>Rn 浓度分布差异有统计学意义(  $P < 0.05$ ) ,海拔最高的监测矿洞<sup>222</sup>Rn 浓度分布与其他各个监测矿洞均差异有统计学意义(  $P < 0.005$ ) ,<sup>222</sup>Rn 浓度低于其他各个监测矿洞。采场的<sup>220</sup>Rn 浓度与井下休息区分布差异有统计学意义(  $P < 0.05$ ) ,采场的<sup>220</sup>Rn 浓度高于井下休息区。由于井下矿区地质环境复杂 ,矿井下<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 浓度是否也随海拔高度的增加而减少 ,还有待进一步的针对性调查。

因为本次<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 浓度测量为瞬时测量 ,测量结果没有根据矿井内<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 浓度的日变化和季节变化进行时间影响的修正 ,也没有布放固体径迹探测器进行累积测量 ,测量结果并不能真实反映矿井内<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 浓度的年平均水平 ,所以此次调查不进行工作人员的年有效剂量估算。

矿井内 γ 剂量率 0.08 μGy/h 未超出国家标准<sup>[5]</sup> 规定的限值( 1 μGy/h) 。与云南省环境放射性水平<sup>[8]</sup> 比较 ,γ 剂量率在本底范围内 ,属于正常水平。

通过本次调查 ,提高了各级部门对氡、钍及其子体辐射危害与防护的认识 ,基本摸清了监测哨点矿区井下放射性水平 ,为进一步改善矿区辐射防护工作提供了科学依据。

志谢: 本次调查得到了云南澜沧铅矿有限公司的大力支持。

参考文献:

[1] 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.

[2] 翁德通 杨孝桐 钱庭荣 ,等. 福建部分非铀矿山氡及其子体浓度与评价[J]. 中国辐射卫生 ,1994 ,3( 3) : 153 - 156.

[3] 毕明卫 朱建国 卢峰 ,等. 某铁矿辐射职业危害因素调查[J]. 中国职业医学 2011 ,38( 4) : 280 - 282.

[4] 罗家洪 薛茜. 医学统计学[M]. 北京: 科学出版社 2008: 173.

[5] 中华人民共和国卫生部. 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.

[6] 王教义 赵清林 王治国 ,等. 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 - 159.

[7] 苏世标 杨鲁静 张卫 ,等. 某铀矿 10 年监测资料分析和井下氡及其子体浓度的分布[J]. 工业卫生与职业病 2006 ,32( 6) : 333 - 336.

[8] 李玉先 ,等. 云南省环境天然放射性水平调查研究[M]. 昆明: 云南科学技术出版社 ,1992.

( 收稿日期: 2013 - 06 - 15)