

浅述非铀矿山的氡与防护问题

湖南省劳动卫生研究所 曾新元综述

中国医学科学院放射医学研究所 王燮华审

提要: 非铀矿山中氡气问题比较突出,许多国家测得其浓度超过地面大气中相应浓度 $10\sim 10^4$ 倍,最高可达职业性人员限值的100倍,氡致肺癌的危险度也比对照地区高。因此,开展非铀矿山的辐射防护监测,研究有关防护措施,加强防护监督,将是今后的重要任务。

早在1940年就证实,非铀矿井下空气中存在着氡的危害,从此,非铀矿山的辐射防护问题受到普遍重视。ICRP24、32和47号出版物^[1~3]把非铀矿山的辐射防护问题摆到了铀矿山辐射防护同一地位,明确提出要对地下所有矿山进行放射性监测,对非铀矿山的辐射防护应比以往予以更大的重视。为做好非铀矿山的辐射防护工作,本文对非铀矿山氡的水平、危害和防护的一些调查研究作一介绍。

一、地球是个大氡源

氡是天然放射性元素铀的衰变产物。铀属于分散性元素之一,在自然界中的所有岩石、土壤、水、空气、植物和动物有机体中普遍可见,这是由于铀具有较高的化学活度和迁移率所造成。铀以多种化合物形式存在于自然界,实际上任何一种原生岩中都有一定数量的铀,但多富集于酸性岩浆岩(如花岗岩)中,沉积岩中的铀主要来自受到破碎的花岗岩中被浸出的铀。在土壤形成过程中,铀和其他放射性元素一样,呈弥散状从破碎的母岩中流出来,被粘土和胶体物质吸附而集聚土壤的组分中,所以有的土壤含有较高的铀。地壳中有150余种矿物是以铀作为一种成分存在于其中的,这些矿物的组成部分多属于碱土金属、稀土金属和重金属。地壳中的铀平均丰度 2.8ppm ^[4],地表土壤中 1.8ppm ,花岗岩 4.7ppm ,页岩 3.7ppm ,石

灰岩 2.2ppm ,基性大成岩 0.9ppm ,砂岩 0.45ppm 。陆地表面的氡发射率平均为 $59.3\text{Bq}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ ^[5]。

二、氡危害的历史与现状

矿山氡危害问题实际上最初是由非铀矿山提出,早在十六世纪中欧两个相邻开采金属银的Schneeberg和Jachymov矿山,矿工中常患一种称为“矿山病”的呼吸道疾患,后来研究查明患的是恶性肿瘤^[6]。1875~1925年, Schneeberg矿686名死亡矿工中有289人死于肺癌。1924~1943年, Jachymov矿156名死亡矿工中,有71名患呼吸道恶性肿瘤。这些矿山,矿工肺癌标化死亡率达 $900\sim 1800/(10\text{万人} \cdot \text{年})$,而在当地男性居民对照组中只有 $20\sim 40/(10\text{万人} \cdot \text{年})$ 。病因学研究直到1924年才断定,上述两矿矿工高肺癌发病率是由于矿中高浓度的氡所引起。加拿大Newfoundland萤石矿从1933~1961年统计矿工的死亡情况,矿工肺癌死亡率33%,1952~1961年为45%,肺癌观察值为预期值的29倍,经调查井下矿工接受了平均 $2.5\sim 10\text{WLM}$ 的氡子体暴露,井下氡主要来自矿井水。矿工吸氡引起肺癌的绝对危险度达 $8.0 \times 10^{-8}/(\text{人} \cdot \text{年WLM})$,与捷克铀矿工吸氡引起肺癌的绝对危险度相类似^[7]。英国Cumberland地区赤铁矿矿工吸氡也引起了肺癌的危险,1948~1967年统计的矿工肺癌死亡率比“正常”地区高出70%;井下氡浓度平均 3.7Bq/L ;

最高测量值12Bq/L。此外,美国的金属和磷酸盐矿、瑞典的金属矿^[8]都出现了矿工吸氡增加肺癌的危险。Basson等人对南非119个金矿的227000名注册矿工随机抽取1100名,从1949年开始跟踪矿工肺癌调查到1967年。119个金矿氡子体平均浓度0.4WL,77%的矿氡子体浓度在0.3~0.5WL,平均暴露量为 35.8 ± 0.4 WLM,矿工肺癌平均年死亡率 2.96×10^{-4} 。与高暴露量矿山相比,矿工肺癌无明显增加。

我国非铀矿矿工吸氡引起肺癌的危险度亦有报道^[9、10],危害十分惊人。云南锡业公司在井下工作过的矿工约12000人,从1954~1984年共发生肺癌1540人,死亡1352人。1972~1981年井下矿工肺癌发生率为435.44/10万人·年,死亡率为370.16/10万人·年,每WLM单位的肺癌绝对危险度为6.04~8.05/10万人·年。1973~1977年,云南钨铜矿共有职工858人,肺癌死亡人数31人,肺癌死亡率为对照地区的53.8倍。对湖南五个金属矿调查,氡子体浓度超过国家标准,现有7514名职工中,1970~1983年共发生肺癌59例,肺癌发病数明显高于湖南省男性居民3.33~13.45倍^[11]。

三、非铀矿的氡水平

本世纪六十年代开始对非铀矿氡的水平进行了大量调查,近十几年来报道的结果,其浓度可超过地面大气中相应浓度 $10 \sim 10^4$ 倍,最高可达职业性人员限值的100倍。Newfoundland萤石矿1959年对通风区和独头进行氡和子体的测量,氡分别在0.2~56Bq/L和10~936Bq/L,氡子体0~12WL和0.4~193WL,平均2.5~10WL。1953年,Jacoe在Colorado调查了30个金属矿,在工作面取样,其中3个通风不良的矿,氡浓度分别达78Bq/L、44Bq/L和21Bq/L。12个粘土和煤矿氡浓度在0~20Bq/L。New York 14个地下工作区,其中包括铁、云母、

石膏和石盐开采矿及一个洞穴和废矿,洞穴氡浓度最高4Bq/L,其他在0~1.5Bq/L。瑞典60个非铀矿1970年测定的氡子体浓度有23个矿大于1.11~11.1Bq/L,40%的矿工接受了这样一个氡子体浓度的暴露^[12]。芬兰1972~1974年调查了23个铁、铜、锌、镍和石灰石矿,氡子体 α 潜能平均在0.2~0.4WL,大于0.3WL的占15.4%^[13]。到1976年8月底,英国已查明了80%的非铀矿(不包括煤矿)氡子体浓度,50%的矿工接受的年暴露量大于1WLM,28%的大于4WLM^[14]。Duggan等人在Egrement地区4个矿调查发现,3个矿有高浓度氡,范围在1.11~11.1Bq/L,没有一个低于ICRP 24号出版物^[1]规定的限值。此外,波兰的铜矿、铁矿、黄铁矿、磷酸盐矿、铅锌矿和重晶矿,氡子体浓度分别为1~2、1、4、0.8、0.9和0.2WL^[12]。煤矿井下的氡也是近年来最关心的课题,早在1940年,苏联就测量了顿巴斯煤矿井下氡浓度,28个样品平均值为2.96Bq/L。波兰煤矿氡子体 α 潜能水平0.1WL^[12]。英国所有国有化煤矿氡子体浓度平均0.01WL,私有煤矿高出一倍^[14]。1987年,在美国召开的“矿山辐射危害国际会议”上,一些国家报告了煤矿井下的氡浓度^[15]。南斯拉夫6个矿54个样品在0.075~0.655Bq/L;波兰12个矿115个氡子体样品,大于0.33WL的占6%。我国从七十年代开始就非常重视非铀矿氡水平的调查,并用来指导防护,湖南16个非铀矿山12个氡子体浓度超过0.3WL,78处地下设施内氡浓度0.032~2.57Bq/L。问题也十分突出。

四、井下氡的特点

非铀矿不同于铀矿,井下氡的来源和分布有它的特殊性,了解这些特殊性对解决非铀矿山辐射防护问题是极为重要的。

1. 井下氡浓度高的原因:调查发现,非铀矿井下氡浓度高的原因不是由于开采区

中暴露矿石表面氡的逸出,而是来自①旧巷道和废采场:尽管这些地区氡析出率低,但是那里有许多充填物、塌落物,氡析出面积大,能累积大量氡,如Schneeberg矿废采场氡浓度高达2000Bq/L,工作采场只有259Bq/L;②地下水:地下水可富集地层中氡,携带进入矿井,氡从水中释放污染矿井;Newfoundland萤石矿矿井水氡浓度高达200~4500Bq/L;③不恰当的通风方式:当进风通过废巷道和废采场会使大量氡带入工作面;进风通过密闭的钻孔、巷道和裂隙处,如处于较高的负压状态,氡会迅速地从上述地段逸出进入风流^[11]。

2. 井下氡分布极不均匀:各个工作面的氡浓度悬殊较大,最低值和最高值与平均值之比可达几十倍,甚至百倍^[11]。

3. 氡浓度高的测点多集中在独头和独立不通风区。

4. 与岩石有一定的关系:岩石不一样氡析出率也不一样,含铀量高的不一定析出的氡多。例如磷灰石和褐帘石两者含铀量前者比后者低1.4倍,但氡析出量相同。砂岩、砾岩和花岗岩释放的氡比其他岩石要多得多,石灰岩和辉长岩释放氡最低。湖南省13个氡浓度高的矿山,6个是花岗岩。

5. 风流经过工作面,氡浓度不会有明显的上升。

6. 井下氡浓度有明显的季节性差别,特别是采用自然通风的矿井。

五、防护要求

1. 非铀矿有无氡危害难以预估:从上述资料看,非铀矿井下氡浓度高的原因,不完全是由于矿石本身铀的含量及矿石氡逸出造成,氡浓度虽与矿石、围岩有一定关系,但很难根据矿石含铀量预估井下是否存在氡危害。国外按照开采的矿料进行分类分析测定,未能得出矿井大气中的氡与开采矿料、开采地点的 γ 本底有直接关系。纽芬兰萤石

矿矿石中的含铀量只有0.015~0.075%, γ 外照射 $7.74 \times 10^{-11} \text{C/kg} \cdot \text{h}^{-1}$ (30 $\mu\text{R/h}$),比铀矿低得多,而氡浓度不一定比铀矿低。虽然采空区和地下水是非铀矿氡污染的一个重要原因,但不是所有采空区和地下水都是氡污染源。因此,对某一非铀矿是否要采取防氡措施,必须依文献^[3]所指出的,先对非铀矿山进行放射性监测。

2. 一般地说,控制非铀矿井下氡危害的措施是加大风速和缩短从地表到工作区的风路,能收到较好的效果。从南非金矿做的实验看,风量增加55%,氡子体浓度下降43%^[16]。但并不是所有的情况加大通风量都能达到降氡目的,有的增大通风量反而使工作面氡浓度增高,这是由于抽风引起负压增加,导致较多的污染空气不断从旧巷道逸出,因此,密闭采空区和废巷道是十分重要的。不便于采用通风的地段辅以个体防护措施也是十分重要的,文献^[14]对巷道长度超过160公里以上的矿山,使用一种过滤式供风头盔以达到减少吸入氡危害的目的。此外,有人试图把煤矿工业中排除沼气的原理,用来排除和处理氡气的污染。

3. 排氡风量:目前铀矿山的排氡风量约为非铀矿山排尘风量的3倍多,不能认为非铀矿山的排氡风量需按铀矿山计算,事实上没有必要,因为非铀矿山的氡污染主要来自采空区和废巷道及地下水,工作面的氡逸出很少,要比铀矿山低3~4个数量级。如果按氡析出计算风量,那么风量还要小于目前的通风量。因此,非铀矿山的排氡通风,主要是防止风源污染,不要让风流从废巷道、采空区进入到工作面,或采用正压通风防止上述地段氡进入风流。同时还要避免循环通风。

六、标准与管理

目前,非铀矿矿工接受的限制暴露量和导出空气浓度均采用ICRP 24号和32号出版

物提出的推荐值^[1、2]。年暴露量分别为4WLM和4.8WLM, 导出空气浓度各为0.3WL和0.4WL;平衡当量氡浓度是1.11Bq/L和1.50Bq/L。有些国家对非铀矿工接受的氡暴露量与居民接受的限值进行比较。英国虽采用4WLM年暴露标准^[14], 但对非铀矿酌情分别对待。煤炭技师委员会(CEC)基本安全标准, 对未过滤的空气氡浓度限值为3.7Bq/L, 平衡因子0.1, 煤矿是由于加强通风排瓦斯的办法得到的。对我国而言, 非铀矿山矿工接受的年暴露量如采用4WLM, 那么导出空气浓度需要作适当的调整, 因为国外矿工每月工作170小时, 而我国则为203小时。

上述暴露标准对于大多数非铀矿来说, 只要采取适当的防护措施是容易达到的。如瑞典矿工吸入平均氡子体水平1980年比1970年降低了85.7%, 年暴露量只有0.7WLM; 美国163座非铀矿1977年比1975年氡子体浓度下降了约70%; 英国非煤矿矿工接受的氡子体平均暴露量1973年为4.2WLM, 1981年为2.6WLM, 且只有4%的人大于1WLM^[16]。芬兰对23个非铀矿采取防护措施后, 1972~1977年氡子体水平下降到实际上无须监测的水平, 平均年暴露量只有0.4WLM, 接受1.2WLM的矿工只有3%^[13]。

铀矿与非铀矿工作人员职业比较, 前者是辐射职业, 当非铀矿辐射水平达到某一管理水平是否要划归辐射职业人员进行管理, 尚无明确定论。只是ICRP 24号和47号出版物^[1、3]把铀矿与非铀矿的辐射防护摆在同一高度。英国把接受氡子体暴露量大于1WLM以上的矿工视为是“辐射矿工”, 在国家的辐射工人登记中包括了这些矿工, 由矿山主和保健部门提供资料^[14]。

着工业建设的增长需求, 将有更多的采矿业投入生产。调查研究证明, 不论是何种非铀矿山, 尽管矿物含油量很低, 都有可能存在辐射危害。为了保护广大职工身体健康, 进一步广泛开展非铀矿山的辐射防护监测, 研究适合于非铀矿山的有关防护措施、放射卫生防护标准及放射卫生安全管理条例, 加强防护监督是今后的重要任务。

参 考 文 献

1. ICRP Publication 24, 1977
2. ICRP Publication 32, 1981
3. ICRP Publication 47, 1985
4. Oakley DT, U. S. Environmental Protection Agency Report ORP/SID 72~1, 1972
5. Hans TM, U. S. Environmental Protection Agency Technical Note ORP/LV-75-2, 1975
6. Turner JE, ORNL-5341, 1976
7. Fry RM, AAEC/1 P 9, 1975
8. Fleischer RL, Health Phys 1981, 41(1): 171
9. 孙世荃: 中华放射医学与防护1987, 7(4): 225
10. 孙世荃: 核防护 1980, (5): 1
11. 曾新元: 劳动保护科学技术 1985, (1): 54
12. UNSCEAR 1982 Report, Annex D, 1982
13. Annamak M, et al, Radon Monitoring in Finnish Miners, Paris, 1978.
14. O'Riorden MC, Operational Radiation Protection in UK Mining, Elliot Lake, Canada, Oct 1976.
15. 周星火: 湖南省放射医学与防护学会年会论文集, 湖南劳卫所编印, 1987, P88
16. Шалак НИ: Гиг и Сан 1984, (3): 73

七、结 语

矿业是工业发达国家最重要的财富, 随