

知识介绍

氡-222 的环境污染与危害

曾 新 元

(湖南劳动卫生研究所)

一、氡的来源、性质^[1,2]

自然界的氡是由镭衰变形成,镭又是铀的衰变产物。铀在自然界分布很广,地壳中平均含铀量为 2.8 ppm。铀和镭在地壳中处于放射平衡,土壤和岩石中镭含量平均约为 1 微微居里/克。一居里镭每秒约产生 2 微居里氡,平均每克地球表面物产生的恒量氡约为 2×10^{-18} 居里/秒。氡是惰性气体,能迅速扩散,穿过表层土壤和岩石释入大气。地壳深部的氡当未与大气构成通道时一般难于进入环境,只有进行地下资源开采时,才把地下深部氡释入大气。

氡的化学性质极不活泼,在特殊条件下形成氟化物。氡的放射半衰期为 3.82 天,由于它半衰期长,又是气体,可以进入到环境中的每一角落。氡易溶于脂肪和水,所以地下水能富集氡移到地面。此外,氡易被活性炭吸附。

二、氡的衰变产物^[3,4]

氡发生放射衰变形成一系列的氡子体悬浮在大气中,对人危害最大的是短寿命氡子体。表 1 给出了短寿命氡子体的衰变特征及辐射类型。氡衰变形成的镭 A 原子最初带正电荷,称为自由离子。自由离子存在的平均寿命很短,很快与空气中的水分子、尘埃及烟雾结合形成结合态子体。自由镭 A 原子占的份额约为 4—10%。镭-B 和镭-C 有可能形成自由原子,自由原子进入呼吸道危害更大,支气管辐射剂量主要来自它。

三、环境中的氡^[1,2,5]

全地球平均陆地表面氡的释放率约 1600 微微居里/厘米²·年,用这个值乘以地球陆地表面积,全年释入环境的氡约 2.4×10^9 居里。海水中的镭含量低,约为土壤的 $\frac{1}{10^5}$ (0.05 微微居里/公斤),全年海洋释入环境的氡为

表 1 氡及短寿命氡子体特征

放 射 核 素	半 衰 期	辐 射 类 型	每个原子衰变到镭 D 释放的 α 能量(兆电子伏)
氡	3.82 天	α	不 计
镭-A	3.05 分	α	6.00+7.69
镭-B	26.8 分	$\beta \cdot \gamma$	7.69
镭-C	19.8 分	$\beta \cdot \gamma$	7.69
镭-C'	163.7 微秒	α	7.69

陆地的1%。地下水和植物将地下氢释入环境的量,估计可达陆地释入量的20%。地球表面氢释放量与表面孔隙度潮湿度有关,孔隙度大潮湿度小释放氢多。未开垦土地释氢少,潮湿土壤为干土壤释氢的 $\frac{1}{3}$ 。大气压改变也影响氢释放,气压变化1%氢释放率变化一倍。综合全世界的资料氢释放率UNSCEAR采用0.42微微居里/米²·秒。环境中氢浓度随高度、风向、季节和地点的改变,所测的结果不一样。表2给出了不同地点测量得到的环境氢平均浓度。

表2 实测的环境中平均氢浓度(微微居里/米³)

地 点	平均氢浓度	地 点	平均氢浓度
法 国	250	玻利维亚	40
伦 敦	90	华 盛 顿	122
纽 约 市	130	日 本	56
新墨西哥	240	印 度 洋	2
辛辛那提	260	北大西洋	6
德 国	70	南太平洋	2
俄 国	170	南 极	0.5
秘 鲁	42		

四、地下资源开采带来氢的环境污染^[1]

铀在地壳中分布很不均匀,只有当含量达到万分之三才有开采价值。铀常与其他矿物共生,其丰度变化在百万分之几到千分之

几。因此不论是铀矿开采和其他矿物开采均会把大量氢释入环境。一吨含铀品位为0.1%的矿石,若氢的析出系数为20%,每分钟将释放8400微微居里氢。所以铀矿井下氢浓度高达万个微微居里/升。非铀矿山据对湖南和云南72个有色金属矿的调查,氢浓度在30微微居里/升以上的占55%,最高为2500微微居里/升。井下这些高浓度的氢一般用通风方式排入环境。铀矿井下排出的空气氢浓度一般在200微微居里/升,年采一万吨矿石供风量达6—25米³/秒,这样年产一万吨铀矿石将有30—160居里的氢排入环境。

从井下采出一吨矿石,将采出0.7—1.8吨废石,露天开采有2—5吨废石。这些废石堆放地面是长期污染环境的氢源。表3给出了几个矿区环境中的平均氢浓度,可以看出氢污染环境十分明显。

矿石加工过程中,氢亦不断析出进入环境。加工过程中除少量铀、镭随废水流失成为污染大气的氢源外,99%的镭进入尾矿砂堆放地面。稳定的铀尾矿砂氢的平均析出率为500微微居里/米²·秒。据美国四个尾矿砂堆上的测量,氢平均浓度为7.8, 16.0, 3.5和10微微居里/升,比本底高出9—25倍。离开尾矿砂空气中的氢浓度很快下降,一公里降低90%,四公里降低95%。虽然如此,但污染面积仍然很大。

表3 实测矿区环境中的平均氢浓度(微微居里/米³)

矿 址	开 采 方 式	平均氢浓度	备 注
江 西 × 矿	露天开采	2440	—
广 西 × 矿	露天开采	2000—9000	—
湖南柏坊铜矿	井下开采	360—4200	—
贵 州 × 矿	井下开采	750	沿河上游离矿2公里室内
		2050	沿河下游离矿5公里室内
广 东 × 矿	露天开采	15000	—

堆放地面的尾砂和废石，如存放不善渗入建材，否则对住房内空气的氡污染是十分严重的。表 4 给出了尾矿砂污染建材和场地建筑物内的氡浓度。

表 4 尾砂污建材及场地住房中氡浓度(微微居里/升)

尾砂污染住房部位	测 量 条 件	平均氡浓度	备 注
尾矿砂刷墙	关闭门窗	6.19	距矿区 2 公里
	开 门 窗	1.23	
地面填有尾矿砂	关闭门窗	38.36	—
	开 门 窗	5.75	
房外地面有尾矿砂	关闭门窗	5.53	尾矿砂离房 30 米
	开 门 窗	1.07	

五、吸入氡和氡子体在体内的沉积^[6]

氡随气体吸入肺内经肺泡壁进入血液分布于全身，大约一小时之后体内的氡浓度与环境中氡浓度达到动态平衡。氡在组织中分配不是均匀的，脂肪中分布较多。当人离开含氡的环境，氡很快从体内排出。

氡子体进入呼吸系统约有 20—60% 沉积在肺内。自由氡子体和大颗粒氡子体主要沉着在上段支气管内，小颗粒进入肺泡。沉着在支气管内的氡子体，经粘液和纤毛的机械作用向外转移。由于它们的寿命短，经血液转移到全身的很少，在转移之前几乎全部在肺内衰变。所以吸入氡和子体损伤的主要组织是肺。氡与子体比较致肺组织的剂量 95% 来自子体，因此，吸氡引起的危害主要是吸入氡子体的危害。

六、氡污染环境的危害^[7-9]

氡污染环境对人们将带来什么样的危害，这是当前世界上许多学者最关心的课题。要了解这一问题，先回顾一下矿工吸氡引起危害的资料。早在 16 世纪就报道过德国的斯尼伯格和捷克的亚希莫夫两矿矿工中流行着一种使人早夭折的肺部“矿山病”。到 19 世纪末才弄清两矿死者中有 50—75% 患肺癌。引起高肺癌发生的原因到 1924 年提出是吸氡所致，1951 年进一步肯定矿工吸入氡

子体是产生高肺癌的病因。从认识矿工吸氡引起高肺癌率起，全世界许多学者对矿工吸氡危害进行了大量流行病学调查。表 5 表明一些国家和地区矿工吸氡引起肺癌的情况。

居民吸入环境氡的影响，一般由矿工吸氡产生的危险率和居民接受的照射量来估计。BEIR 以表 5 的资料为基础，估计低照射效应时危险率取 6.5×10^{-6} /年·WLM。居民接受的环境氡照射量 UNSCEAR 给出为 0.22WLM/年，若一个居民平均照射 35 年，累积照射量为 7.7 WLM。科恩应用上述数值粗略估计美国公民吸入环境氡引起的肺癌病例每年有 11000 人，保守的数字也不会低于 10000 人。

由表 3、4 及前述尾矿砂氡的污染可以看出，含铀矿物开采对周围环境造成氡的污染至少比本底高出 5—10 倍，因此这些氡污染区的居民如果长期吸入这种污染空气，肺癌发病率可能上升数倍。罗伯特等人根据尾矿砂析出的氡向周围扩散的情况，及铀矿工发生肺癌的流行病学资料，理论推导出尾矿砂周围居民产生肺癌的危险率与距尾矿砂距离有密切关系。距尾矿砂 0.1 英里，尾砂氡造成的肺癌危险率是自然肺癌危险率的 2 倍，只有当距尾砂 1 英里以上时，尾砂污染才无

(下转第 67 页)

国外的数据引入计算,看起来增大了统计样本量,实则降低了方程的准确性。

参加此次医院污水检验工作的还有本站吴民祁技师,统计数据的计算经本站张庆武医师校对,同时本文经武汉医学院卫生系统计学教研组林琼芳讲师审阅,在此一并致谢。

参 考 文 献

[1] 美国公共卫生协会等编著,张曾谔等译,水和废水标

准检验法,第13版,344页,中国建筑工业出版社,1978年。

[2] 中国医学科学院卫生研究所编著,水质分析法,第4版,256页,人民卫生出版社,1972年。

[3] 北京环境保护研究所编,水质物理化学分析基本知识,146页,中国建筑工业出版社,1974年。

[4] IO. IO. 卢里耶等著,沈阳药学院药物化学教研室译,工业废水化学分析法,39页,化学工业出版社,1960年。

[5] 日本分析化学北海道分会编,孙铁珩等译,水的分析,223页,中国建筑工业出版社,1979年。

[6] 山县 登、大喜多敏一编,环境污染分析法13, DO、BOD、OC, 50页,大日本图书,1973年。

(上接封三)

表 5 矿工吸氡诱发肺癌的资料

	总 人 数	肺癌发生数	照射量 (WLM)*		危 险 率 ×10 ⁻⁶ /年—WLM
			范 围	平 均	
美国铀矿工	4100	105	150—7000	930	3.2
			150—8000		10
			800—7000		4.5
捷克铀矿工		150	100—700		11
加拿大铀矿工		24	20—200		9
瑞典金属矿工	3900	29	15—1500	~300	4
纽芬兰萤石矿工	800	48	30—2000	550	8
美国金属矿工	1760	29	100—1000	344	3.3
其他矿工		37		~250	~12
埃尔茨山矿工				5000	2.4

* WLM=工作水平月。在子体浓度为—工作水平下照射170小时,称1WLM。一升空气中所有短寿命子体衰变到镭D释放 α 能为 1.3×10^5 兆电子伏,称—工作水平(WL)。

明显影响。

法。

七、减少氡污染环境是当务之急^[10]

我国当前含铀矿物开采中的废石和尾砂,均采用围坝露天存放处理。有的由于管理不善甚至流入江河湖泊、田野,对环境造成严重污染。对目前的状态必须采取措施,首先对现有废石、尾砂要妥善保管,不让流失,在尾砂废石上盖以粘土进行植护,减少氡的析出,防止氡源扩散。据报道用4.5—5米厚的粘土覆盖尾矿砂,氡通量减少90—95%。对今后新矿和冶炼厂的建设,堆放废石和尾砂的场地,可采用先剥离表土,后堆放废石尾砂,最后用剥离表土覆盖尾砂和矿石的办

其次要从法律上采取措施,发布含铀废石和尾砂处理操作规程,只有当达到规程要求的指标之后才允许进行生产。

参 考 文 献

[1] Cohen, B. L., 张哲译,铀矿开采增刊,6,1 (1981)。

[2] Fry, R. M., AAEC/1P9 (1975)。

[3] Evans, R. D., *Health Phys.*, 17, 229 (1969)。

[4] Raabe, O. G., *Health Phys.*, 17, 177 (1969)。

[5] UNSCEAR, *Levels and Effects*, 1, 32 (1972)。

[6] Gerge, A., *Health Phys.*, 17, 115 (1969)。

[7] Cohen, A. F., *Health Phys.*, 38, 53 (1980)。

[8] Cohen, B. L., *Health Phys.*, 39, 973 (1980)。

[9] Harley, N. H., *Health Phys.*, 40, 307 (1981)。

[10] Robert, F., 杨立译,铀矿开采增刊,3,35 (1981)。