

某铀矿山废石场及尾砂库氡污染调查

黄建兵

(安徽省环境监测中心站, 安徽 合肥 230061)

摘 要:通过对某退役铀矿山的 14 个废石堆放场及 3 个尾砂库氡析出率的测量及内照射剂量的估算, 表明, 只有一个废石场的氡析出率超过国家规定的管理限值水平; 尾砂库的氡析出率较高, 个别测点的氡析出率超出管理限值水平近 7 倍; 因氡析出而使当地居民额外所受的年最大有效剂量当量为 0.058 mSv。指出在尾砂库表面覆盖黄土, 可以有效降低氡析出水平, 当覆盖厚度达 0.5 m 时, 可将氡析出水平降低 84% 以上。

关键词: 氡析出率; 内照射剂量; 年有效剂量当量; 铀矿山

中图分类号: X 591 文献标识码: A 文章编号: 1006-2009(2001)02-0027-04

Investigation of Radon Pollution of Waste-rock Yard and Tailing Sand Reservoir of A Uranium Mine

HUANG Jian-bing

(Anhui Provincial Environmental Monitoring Center, Hefei, Anhui 230061, China)

Abstract: The radon emanation rate of 14 waste-rock yards and 3 tailing sand reservoirs of a retired uranium mine was determined, and inter irradiation dose was estimated. The result indicated that only one waste-rock yard's radon emanation rate exceeded the restrictive value stipulated by state. The radon emanation rate of tailing sand reservoirs was 7 times more than restrictive value in average. The radon emanation contributed an extra radiation normal dose of 0.058mSv annual. To cover the surface of tailing sand reservoirs with loess can reduce radon emanation effectively. When the depth of cover loess was 0.5m, radon emanation was decreased more than 84%.

Key words: Radon emanation rate; Inter irradiation dose; Annual effective normal dose; Uranium mine

1 前言

氡对人体的危害众所皆知, 它是铀矿山水冶系统引起居民辐射照射的主要核素, 主要来源于铀矿的地下开采和尾砂库。安徽省某山区有一小型铀矿山, 退役近 20 年, 限于当时某些特殊情况, 退役时未对尾砂库及铀矿废石堆放场作处理。近年来, 为调查该地区有关因氡吸入所致的个人剂量当量的具体情况, 安徽省环境监测中心站对该铀矿 14 个废石堆放场及 3 个尾砂库的氡析出率进行了测量, 并据此进行内照射剂量的估算。

2 测量方法及仪器设备

2.1 测量方法

分别在 14 个废石堆放场及 3 个尾砂库上布设采样点, 在待采样点的表面扣置一个 500 mm × 500 mm × 500 mm 集氡罩, 所扣表面析出的氡都被集氡罩收集。在集氡罩内的氡浓度呈线性增长的时间范围, 将所收集的氡引到闪烁室内并测量其中

的氡浓度, 再计算出待测表面的氡析出率。

2.2 仪器设备

集氡罩, 闪烁室, 真空泵, FH-463A 型定标器, FD-125 室内氡分析仪, 稳压电源, 温度计, 气压计等。

3 结果与分析

在 14 个废石堆放场、3 个尾砂库和一小片受污染的农田, 共计 18 个场地进行了氡析出率的测量, 结果见表 1。

我国对铀矿山的氡析出率管理限值水平是 0.74 Bq/m²·s, 将实际测量的氡析出率数值与管理限值水平对照, 发现铀矿大多数废石堆放场的氡析出率在管理限值以内, 而尾砂库及尾砂库附近的农田皆超出管理限值, 个别测点的氡析出率超过管理

收稿日期: 2000-12-13; 修订日期: 2001-02-14

作者简介: 黄建兵(1971-), 男, 安徽合肥人, 工程师, 大学, 现从事环境监测工作。

表 1 铀矿废石场及尾砂库氡析出率 $Bq/m^2 \cdot s$

测量点号	测量点数/个	测量值范围	测量均值	^{222}Rn 年释放量/ $(Bq \cdot a^{-1})$
1# 废石场	3	0.036~0.991	0.349	1.29×10^{10}
2# 废石场	6	0.022~3.039	0.716	2.42×10^{10}
3# 废石场	3	0.054~0.09	0.074	1.38×10^9
4# 废石场	2	0.086~0.133	0.109	1.42×10^{10}
5# 废石场	2	0.034~0.094	0.064	2.84×10^9
6# 废石场	2	0.025~0.063	0.044	9.46×10^8
7# 废石场	3	0.041~0.051	0.047	2.52×10^9
8# 废石场	3	0.060~0.092	0.077	3.78×10^9
9# 废石场	2	0.047~0.072	0.059	1.51×10^9
10# 废石场	2	0.422~0.793	0.608	1.54×10^{10}
11# 废石场	2	0.055~0.204	0.129	9.84×10^8
12# 废石场	2	0.187~0.366	0.276	2.12×10^{10}
13# 废石场	3	0.418~3.154	1.503	5.68×10^{11}
14# 废石场	2	0.075~0.407	0.241	2.24×10^{10}
1# 尾砂库	4	2.007~9.157	5.139	9.07×10^{11}
2# 尾砂库	4	2.731~7.650	5.176	9.21×10^{10}
3# 尾砂库	4	0.318~1.756	0.842	7.73×10^{10}
1# 尾砂库附近农田	3	0.371~3.224	1.660	7.33×10^{10}

限值水平近 7 倍。14 个废石堆放场及 3 个尾砂库总的氡年释放量为 $1.84 \times 10^{12} Bq$, 而超过管理限值水平的 5 个场所的氡年释放量为 $1.72 \times 10^{12} Bq$, 占总释放量的 93.5%。由此可见, 污染源主要集中在 3 个尾砂库及 13# 废石场。

内照射剂量当量的估算采用文献 [1] 的通用模式和参数。鉴于该铀矿地处山区, 人口密度低, 静风频率高, 大气扩散条件差, 故只考虑 1# 尾砂库周围 20 km 区域。首先根据当地的气象资料, 应用

其推荐的大气扩散模式计算各子区的氡浓度; 再由此计算相应的个人剂量当量。计算时考虑了以下几方面的因素:

(1) 以 1# 尾砂库为坐标中心, 计算确定各排放源项的相对位置, 在 16 个方位上划区。

(2) 该铀矿静风频率较高, 在计算中使用了有静风影响的长期扩散因子。对于较长距离的迁移, 考虑静风及混合层影响的长期扩散因子。由于缺乏实测的混合层高度, 计算时采用了各类天气的混合层高度均为 1 000 m 的虚定值。

(3) 该铀矿地处山区, 地面有较大的粗糙度, 计算时采用了 Briggs 城市扩散参数。

(4) 对于放射性衰变及干湿沉积所造成的烟羽耗损, 通过引入各自的校正因子加以校正。

表 2 是该铀矿各方位年平均风速和风向频率; 表 3 是 1# 尾砂库周围 20 km 16 个子区内 ^{222}Rn 的浓度; 表 4 是各子区内的年平均个人剂量当量。

表 2 各方位年平均风速和风向频率

方位	速度 $v/(m \cdot s^{-1})$	频率 $f/\%$	方位	速度 $v/(m \cdot s^{-1})$	频率 $f/\%$
N	1.966	10.87	S	1.778	1.64
NNE	2.202	11.32	SSW	2.045	2.01
NE	2.000	6.21	SW	2.650	3.65
ENE	1.966	2.65	WSW	2.450	3.65
E	1.625	1.46	W	2.357	1.28
ESE	1.536	2.56	WNW	1.933	1.37
SE	1.377	4.84	NW	2.000	0.82
SSE	1.452	5.66	NNW	2.103	2.65

表 3 0 km~ 20 km 各子区 ^{222}Rn 的浓度

方位	0 km~ 1km	1 km~ 2km	2 km~ 3km	3 km~ 5km	5 km~ 10km	10 km~ 20km
N	0.359	0.168	0.254	0.142×10^{-1}	0.345×10^{-2}	0.108×10^{-2}
NNE	0.133	0.203×10^{-1}	0.993×10^{-2}	0.717×10^{-2}	0.150×10^{-2}	0.500×10^{-3}
NE	0.162	0.215×10^{-1}	0.112×10^{-1}	0.484×10^{-2}	0.173×10^{-2}	0.776×10^{-3}
ENE	0.772×10^{-1}	0.115×10^{-1}	0.535×10^{-2}	0.196×10^{-2}	0.743×10^{-3}	0.362×10^{-3}
E	0.537×10^{-1}	0.604×10^{-2}	0.277×10^{-2}	0.163×10^{-2}	0.659×10^{-3}	0.173×10^{-3}
ESE	0.865×10^{-1}	0.119×10^{-1}	0.529×10^{-2}	0.259×10^{-2}	0.102×10^{-2}	0.430×10^{-3}
SE	0.745×10^{-1}	0.921×10^{-2}	0.414×10^{-2}	0.205×10^{-2}	0.809×10^{-3}	0.304×10^{-3}
SSE	0.133	0.189×10^{-1}	0.512×10^{-2}	0.202×10^{-2}	0.793×10^{-3}	0.345×10^{-3}
S	0.444	0.694×10^{-1}	0.309×10^{-1}	0.158×10^{-1}	0.625×10^{-2}	0.250×10^{-2}
SSW	0.313	0.520×10^{-1}	0.224×10^{-1}	0.110×10^{-1}	0.429×10^{-2}	0.171×10^{-2}
SW	0.172	0.309×10^{-1}	0.142×10^{-1}	0.701×10^{-2}	0.216×10^{-2}	0.868×10^{-3}
WSW	0.793×10^{-1}	0.190×10^{-1}	0.606×10^{-2}	0.294×10^{-2}	0.120×10^{-2}	0.334×10^{-3}
W	0.165	0.299×10^{-1}	0.199×10^{-1}	0.455×10^{-2}	0.169×10^{-2}	0.772×10^{-3}
WNW	0.137	0.365×10^{-1}	0.102×10^{-1}	0.542×10^{-2}	0.197×10^{-2}	0.690×10^{-3}
NW	0.488	0.950×10^{-1}	0.406×10^{-1}	0.199×10^{-1}	0.710×10^{-2}	0.361×10^{-2}
NNW	0.852	0.159	0.803×10^{-1}	0.520×10^{-1}	0.196×10^{-1}	0.610×10^{-2}

表 4 0 km~ 20 km 各子区年龄段年平均个人剂量当量

Sv/a

方位	年龄组	0 km~ 1 km	1 km~ 2 km	2 km~ 3 km	3 km~ 5 km	5 km~ 10 km	10 km~ 20 km
N	INFANT	0.245×10^{-4}	0.115×10^{-4}	0.174×10^{-4}	0.969×10^{-6}	0.236×10^{-6}	0.736×10^{-7}
	CHILD	0.245×10^{-4}	0.115×10^{-4}	0.174×10^{-4}	0.969×10^{-6}	0.236×10^{-6}	0.736×10^{-7}
	ADULT	0.163×10^{-4}	0.762×10^{-5}	0.115×10^{-4}	0.643×10^{-6}	0.157×10^{-6}	0.489×10^{-7}
NNE	INFANT	0.911×10^{-5}	0.139×10^{-5}	0.679×10^{-6}	0.490×10^{-6}	0.103×10^{-6}	0.342×10^{-7}
	CHILD	0.911×10^{-5}	0.139×10^{-5}	0.679×10^{-6}	0.490×10^{-6}	0.103×10^{-6}	0.342×10^{-7}
	ADULT	0.605×10^{-5}	0.921×10^{-6}	0.451×10^{-6}	0.325×10^{-6}	0.681×10^{-7}	0.227×10^{-7}
NE	INFANT	0.110×10^{-4}	0.147×10^{-5}	0.766×10^{-6}	0.331×10^{-6}	0.119×10^{-6}	0.531×10^{-7}
	CHILD	0.110×10^{-4}	0.147×10^{-5}	0.766×10^{-6}	0.331×10^{-6}	0.119×10^{-6}	0.531×10^{-7}
	ADULT	0.733×10^{-5}	0.975×10^{-6}	0.509×10^{-6}	0.219×10^{-6}	0.787×10^{-7}	0.352×10^{-7}
ENE	INFANT	0.527×10^{-5}	0.788×10^{-6}	0.365×10^{-6}	0.134×10^{-6}	0.508×10^{-7}	0.248×10^{-7}
	CHILD	0.527×10^{-5}	0.788×10^{-6}	0.365×10^{-6}	0.134×10^{-6}	0.508×10^{-7}	0.248×10^{-7}
	ADULT	0.350×10^{-5}	0.523×10^{-6}	0.243×10^{-6}	0.888×10^{-7}	0.337×10^{-7}	0.164×10^{-7}
E	INFANT	0.367×10^{-5}	0.413×10^{-6}	0.189×10^{-6}	0.111×10^{-6}	0.450×10^{-4}	0.118×10^{-7}
	CHILD	0.367×10^{-5}	0.413×10^{-6}	0.189×10^{-6}	0.111×10^{-6}	0.450×10^{-4}	0.118×10^{-7}
	ADULT	0.244×10^{-5}	0.274×10^{-6}	0.126×10^{-6}	0.783×10^{-7}	0.299×10^{-7}	0.783×10^{-8}
ESE	INFANT	0.592×10^{-5}	0.815×10^{-6}	0.362×10^{-6}	0.177×10^{-6}	0.698×10^{-7}	0.294×10^{-7}
	CHILD	0.592×10^{-5}	0.815×10^{-6}	0.362×10^{-6}	0.177×10^{-6}	0.698×10^{-7}	0.294×10^{-7}
	ADULT	0.393×10^{-5}	0.541×10^{-6}	0.240×10^{-6}	0.117×10^{-6}	0.463×10^{-7}	0.195×10^{-7}
SE	INFANT	0.509×10^{-5}	0.630×10^{-6}	0.283×10^{-6}	0.140×10^{-6}	0.553×10^{-7}	0.208×10^{-7}
	CHILD	0.509×10^{-5}	0.630×10^{-6}	0.283×10^{-6}	0.140×10^{-6}	0.553×10^{-7}	0.208×10^{-7}
	ADULT	0.338×10^{-5}	0.418×10^{-6}	0.188×10^{-6}	0.929×10^{-7}	0.367×10^{-7}	0.138×10^{-7}
SSE	INFANT	0.912×10^{-5}	0.129×10^{-5}	0.350×10^{-6}	0.138×10^{-6}	0.542×10^{-7}	0.236×10^{-7}
	CHILD	0.912×10^{-5}	0.129×10^{-5}	0.350×10^{-6}	0.138×10^{-6}	0.542×10^{-7}	0.236×10^{-7}
	ADULT	0.606×10^{-5}	0.855×10^{-6}	0.232×10^{-6}	0.919×10^{-7}	0.360×10^{-7}	0.157×10^{-7}
S	INFANT	0.304×10^{-4}	0.475×10^{-5}	0.211×10^{-5}	0.108×10^{-5}	0.427×10^{-6}	0.171×10^{-6}
	CHILD	0.304×10^{-4}	0.475×10^{-5}	0.211×10^{-5}	0.108×10^{-5}	0.427×10^{-6}	0.171×10^{-6}
	ADULT	0.202×10^{-4}	0.315×10^{-5}	0.140×10^{-5}	0.715×10^{-6}	0.284×10^{-6}	0.113×10^{-6}
SSW	INFANT	0.214×10^{-4}	0.355×10^{-5}	0.153×10^{-5}	0.751×10^{-6}	0.293×10^{-6}	0.117×10^{-6}
	CHILD	0.214×10^{-4}	0.355×10^{-5}	0.153×10^{-5}	0.751×10^{-6}	0.293×10^{-6}	0.117×10^{-6}
	ADULT	0.142×10^{-4}	0.236×10^{-5}	0.102×10^{-5}	0.499×10^{-6}	0.195×10^{-6}	0.744×10^{-7}
SW	INFANT	0.117×10^{-4}	0.211×10^{-5}	0.968×10^{-6}	0.497×10^{-6}	0.148×10^{-6}	0.593×10^{-7}
	CHILD	0.117×10^{-4}	0.211×10^{-5}	0.968×10^{-6}	0.497×10^{-6}	0.148×10^{-6}	0.593×10^{-7}
	ADULT	0.779×10^{-5}	0.140×10^{-5}	0.643×10^{-6}	0.318×10^{-6}	0.979×10^{-7}	0.394×10^{-7}
WSW	INFANT	0.542×10^{-5}	0.130×10^{-5}	0.414×10^{-6}	0.201×10^{-6}	0.822×10^{-7}	0.229×10^{-7}
	CHILD	0.542×10^{-5}	0.130×10^{-5}	0.414×10^{-6}	0.201×10^{-6}	0.822×10^{-7}	0.229×10^{-7}
	ADULT	0.360×10^{-5}	0.864×10^{-6}	0.275×10^{-6}	0.133×10^{-6}	0.546×10^{-7}	0.152×10^{-7}
W	INFANT	0.113×10^{-4}	0.204×10^{-5}	0.815×10^{-6}	0.311×10^{-6}	0.115×10^{-6}	0.528×10^{-7}
	CHILD	0.113×10^{-4}	0.204×10^{-5}	0.815×10^{-6}	0.311×10^{-6}	0.115×10^{-6}	0.528×10^{-7}
	ADULT	0.751×10^{-5}	0.136×10^{-5}	0.541×10^{-6}	0.207×10^{-6}	0.765×10^{-7}	0.350×10^{-7}
WNW	INFANT	0.935×10^{-5}	0.249×10^{-5}	0.697×10^{-6}	0.371×10^{-6}	0.135×10^{-6}	0.472×10^{-7}
	CHILD	0.935×10^{-5}	0.249×10^{-5}	0.697×10^{-6}	0.371×10^{-6}	0.135×10^{-6}	0.472×10^{-7}
	ADULT	0.620×10^{-5}	0.166×10^{-5}	0.463×10^{-6}	0.246×10^{-6}	0.896×10^{-7}	0.313×10^{-7}
NW	INFANT	0.334×10^{-4}	0.650×10^{-5}	0.277×10^{-5}	0.136×10^{-5}	0.485×10^{-6}	0.247×10^{-6}
	CHILD	0.334×10^{-4}	0.650×10^{-5}	0.277×10^{-5}	0.136×10^{-5}	0.485×10^{-6}	0.247×10^{-6}
	ADULT	0.221×10^{-4}	0.431×10^{-5}	0.184×10^{-5}	0.901×10^{-6}	0.322×10^{-6}	0.164×10^{-6}
NNW	INFANT	0.582×10^{-4}	0.109×10^{-4}	0.549×10^{-5}	0.356×10^{-5}	0.134×10^{-5}	0.417×10^{-6}
	CHILD	0.582×10^{-4}	0.109×10^{-4}	0.549×10^{-5}	0.356×10^{-5}	0.134×10^{-5}	0.417×10^{-6}
	ADULT	0.386×10^{-4}	0.722×10^{-5}	0.365×10^{-5}	0.236×10^{-5}	0.890×10^{-6}	0.277×10^{-6}

从表 3 和表 4 中可以看出, NNW 方位各距离段内的氡浓度均比相应的其他子区高, 氡浓度最大值落在 NNW 方位 0 km ~ 1 km 子区, 为 0.852 Bq/m^3 。NNW 方位的个人年均有效剂量当量也高于其他方位, 最大值为 0.058 mSv/a , 其主要原因是大多数的排放源项均在 1# 尾砂库的 NNW 向。

文献[1]表明, 我国铀矿水冶系统正常运行时对居民产生的照射, 其关键人群为邻近厂矿的居民组, 关键核素绝大部分是 ^{222}Rn , 关键途径绝大部分为空气吸入。各矿山系统正常运行时的氡排放量在 10^{13} Bq/a 数量级, 由此而致的个人年均有效剂量当量在 0.5 mSv 左右。从表 1 中可以看出, 该铀矿 ^{222}Rn 年排放量累计达 $1.84 \times 10^{12} \text{ Bq}$, 大约是铀矿水冶系统正常运行时氡释放量的 18%, 由此而致的个人最大年均有效剂量当量为 0.058 mSv 。文献[2]表明天然贯穿辐射对安徽省居民产生的年均有效剂量当量为 0.745 mSv , 该铀矿居民因氡析出而额外获得的年均有效剂量当量大约是安徽省天然贯穿辐射水平的 7%。

在尾砂库上覆盖黄土可以起到明显降氡作用, 衡阳铀水冶厂曾做过这方面的实验, 见表 5。

表 5 覆盖黄土降氡实验结果

序号	测量表面	覆盖黄土厚度 d/m	平均氡析出率 $I/(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	降氡比率 /%
1	尾矿堆	0.0	1.922	
2	尾矿堆上 覆盖黄土	0.5	0.302	84.29
3	尾矿堆上 覆盖黄土	1.0	0.265	86.21
4	尾矿堆上 覆盖黄土	1.5	0.186	90.32

从表 5 看出, 在尾矿堆上覆盖 0.5 m 厚的黄土时, 氡析出水平降低 84.29%, 再加厚黄土时降氡效果已不很明显。按此结论如果在上述尾砂库等 5 个超过管理限值水平的地方覆盖 0.5 m 厚的黄土, 氡析出量将降至 $2.7 \times 10^{11} \text{ Bq/a}$, 总的氡析出量将为 $3.9 \times 10^{11} \text{ Bq/a}$, 是铀矿水冶系统正常运行时

氡排放量的 4%; 相应的, 关键居民组关键人群的最大年均个人剂量当量降至 $9.11 \mu\text{Sv/a}$, 是安徽省天然贯穿辐射所致该省居民年均有效剂量当量的 1.2%。

4 结论

4.1 该铀矿 14 个废石堆放场大多地处偏僻, 交通不便, 少有人出没。氡析出率超过国家规定的管理限值水平 ($0.74 \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{s}$) 的只有 13# 废石场 ($1.503 \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{s}$), 其余均在管理限值水平以内。3 个尾砂库及附近农田的氡析出率大大超出国家的管理限值水平, 个别测点的氡析出率超过管理限值水平近 7 倍。

4.2 该铀矿目前总的氡析出量为 $1.84 \times 10^{12} \text{ Bq/a}$, 3 个尾砂库和附近农田以及 13# 废石场氡年释放量为 $1.72 \times 10^{12} \text{ Bq}$, 占总释放量的 93.5%, 是其主要的污染源, 其他地方只占很小份额。NNW 方位的氡浓度及年均个人剂量当量均比其他子区高, 氡浓度最大值为 0.852 Bq/m^3 , 最大年均个人剂量当量为 0.058 mSv , 均落在 1# 尾砂库 NNW 方位 0 km ~ 1 km 区域。

4.3 可在尾砂库上覆盖黄土进行初步污染治理。覆土 0.5 m 后, 尾砂库等地的氡年释放量降至 $2.7 \times 10^{11} \text{ Bq/a}$, 总的氡析出量为 $3.9 \times 10^{11} \text{ Bq/a}$, 是铀矿水冶系统正常运行时氡排放量的 4%; 相应的, 关键居民组关键人群的最大年均个人剂量当量降至 $9.11 \mu\text{Sv/a}$, 是安徽省天然贯穿辐射所致该省居民年均有效剂量当量的 1.2%。

[参考文献]

- [1] 陈竹舟. 用于核工业 30 年辐射环境质量评价的剂量估算模式与参数[A]. 潘自强. 中国核工业 30 年辐射环境质量评价[C]. 北京: 原子能出版社, 1989. 456.
- [2] 朱锦秋, 陈淑萍, 江山, 等. 安徽省天然放射性水平调查研究总报告[J]. 辐射防护, 1991, 11(3): 291.

本栏目责任编辑 李文峻

• 简讯 •

江苏省省辖市全部建立空气自动监测系统

截止 2000 年年底, 江苏省 13 个省辖市的 34 个子站全部建立了空气自动监测系统, 并编报全省自动监测空气质量周报, 项目有二氧化氮、二氧化硫和可吸入颗粒物。同时, 省内另有 14 个县级市的 22 个子站也建立了同样系统。这些系统的建立为实现全省城市空气质量日报打下了良好的基础。

范元中