

文章编号:1673-0062(2013)03-0028-04

铀矿井氡排出污染的模拟计算

单 健,刘 彦,肖德涛,刘 凯,位楠楠

(南华大学 核科学技术学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:铀矿开采会产生大量的氡排放到大气中,对环境产生一定程度的放射性污染.本文通过建立氡气扩散模型,对矿井排出的氡的污染程度和范围进行了合理的理论估算,讨论在不同的自然条件下选择适当高度的排风口和相应范围内的重点防护区域.计算结果表明:当排风口的选取在高出周围环境 20 m 以上时,排风口周围氡污染的程度不高,但考虑到经济、矿山地形以及通风条件等因素的影响时,选取排风口的位置和相应的重点防护区域应作最优化分析和设计.

关键词:铀矿山;氡浓度;扩散范围;污染程度
中图分类号:X831;X591 **文献标识码:**B

Uranium Mine Radon Discharge Pollution Simulation

SHAN Jian, LIU Yan, XIAO De-tao, LIU kai, WEI Nan-nan

(School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: Large amount of radon is emitted to the atmosphere in uranium mining, which have a certain degree of radioactive pollution to the environment. Through the establishment of the radon diffusion model, the article carried out reasonable theoretical estimates for calculating the degree and range of radon pollution caused by uranium mining, and discussed how to select the appropriate height of the exhaust vents and the key protection area within the corresponding neighborhood under different natural conditions. The results show that the radon pollution level is not high around the exhaust vents when the height of the exhaust vents is 20 meters higher than the surrounding environment. However, given the influences of economy, mining terrain, ventilation conditions and other factors, the analysis and design should be optimized for selecting location of exhaust vents and the corresponding key protection areas.

key words: uranium mines; radon concentration; diffusion range; pollution levels

收稿日期:2013-05-26

作者简介:单 健(1975-),男,湖南衡东人,南华大学核科学技术学院副教授,博士.主要研究方向:气载放射性测量方法及示踪技术研究.

铀矿中含有除铀以外的大量放射性核素²³²Th、²²⁶Ra 等,它们在衰变过程中会产生大量的氡。氡能从岩石的缝隙中扩散出来,使矿井巷道中的氡浓度不断升高,从而增大对铀矿工人的辐照危害。所以,在铀矿开采过程中,要不断的对铀矿井进行通风,稀释矿井内的氡使其浓度降低到国家规定的限值以下。但是大量的氡随着通风尾气排放到环境中,势必会对排风口周围的环境造成一定程度的危害。而对于新建住房,住房内的平衡当量氡浓度年平均值不得超过 100 Bq/m³^[1-2],氡子体/氡浓度转换平衡因子 F=0.4^[3],故,住房内的氡浓度不得超过 400 Bq/m³。

为了达到这一标准,应保证所建住宅在其所处的环境中,氡浓度要小于 400 Bq/m³,因此,针对铀矿井排出风的氡污染范围及污染程度的估算,就显得十分必要。本文通过对排风口排出氡的扩散情况进行了模型化理论计算,并对污染范围及污染程度进行了合理估算。

1 方法与计算

要计算氡的排放及扩散污染情况,首先对铀矿井排风口排风情况模型化。由于铀矿井通风是在风机的作用下完成的,在排风口处排出的污风风量、风速相对稳定,对于此种情况可以近似的用平稳均匀型湍流场。排风口的大小相对较小,相对于周围的环境来说可以近似地将其认为为一个点源,且²²²Rn 的半衰期为 3.82 d,能够在数小时的时间内扩散到几千米以外。如果先不考虑氡的衰变,氡的扩散与弥散过程为定常态,即空间某一定点处空气污染浓度不随时间改变,而仅为空间坐标的函数。

放射性尾气中心轴线近地氡浓度扩散方程^[4-5]如下所示:

$$\bar{X} = \frac{\dot{Q}}{\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}} \tag{1}$$

式中,
 $\bar{X}$ ——近地面处空气中平均氡浓度,Bq/m³;
 $\dot{Q}$ ——源强,氡的活度释放率,Bq/s;
 σ_y 、 σ_z ——下风向 x(m) 距离处侧风方向以及铅直方向上氡浓度分布的标准差,m;
h——氡有效释放高度。

依据布里格斯提出的 σ_y 、 σ_z 系数值公式为:

$$\begin{aligned} \sigma_y &= 0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}; \\ \sigma_z &= 0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2} \end{aligned} \tag{2}$$

氡的有效释放高度 h 为排风口高度与通风尾气的抬升高度之和,即:

$$h = h_s + \Delta h \tag{3}$$

其中 $\Delta h = 3 \frac{w_0}{u} D_i$, D_i 为排口的直径,考虑到有矿井排风口一般不会离地面很高,所以在本文中选取的排风口高度 h_s 分别取为:1、5、10、15、20 m。

对铀矿井通风降氡时,通风方式以及通风风量的不同,都会对矿井内氡的析出造成一定程度的影响^[6]。本文根据我国南方某铀矿的通风数据,排风口的直径 D_i 近似取为 3 m,排风井中氡浓度为大于 10×10^4 Bq/m³ 的污风(近似以 10×10^4 Bq/m³ 的浓度计算),以每秒 110 m³ 的速度从排风口处排出,计算可得排风口处的风速为 15.1 m/s。由于我国南方为亚热带季风气候,平均风力不大,所以本文中自然风速分别取为:1、3、6、9 m/s,并用 MATLAB^[7] 软件进行模拟,如图1~图5所示。

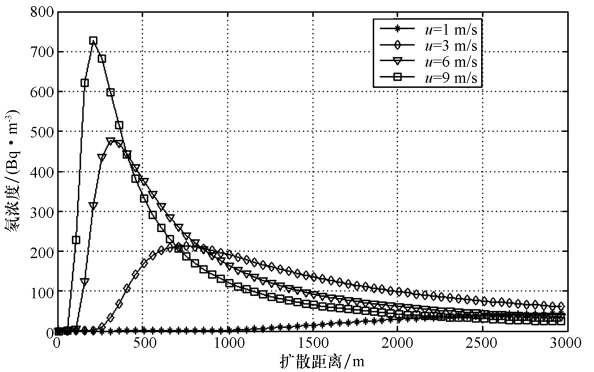


图1 排风口高于地面 1 m 处的氡浓度扩散图
Fig.1 Air vents above the ground at 1 m radon concentration diffusion figure

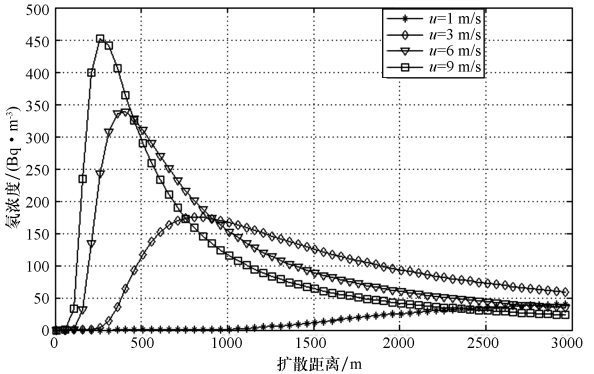


图2 排风口高于地面 5 m 处的氡浓度扩散图
Fig.2 Air vents above the ground at 5 m radon concentration diffusion figure

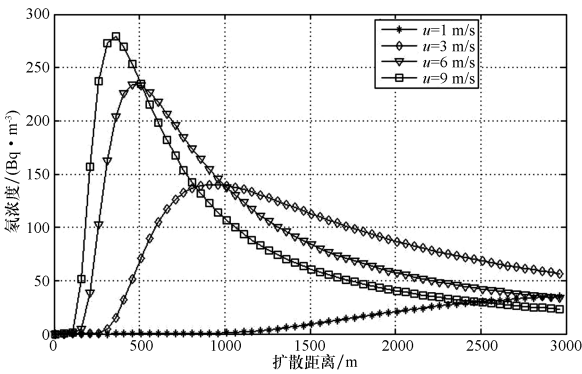


图 3 排风口高于地面 10 m 处的氡浓度扩散图
Fig.3 Air vents above the ground at 10 m radon concentration diffusion figure

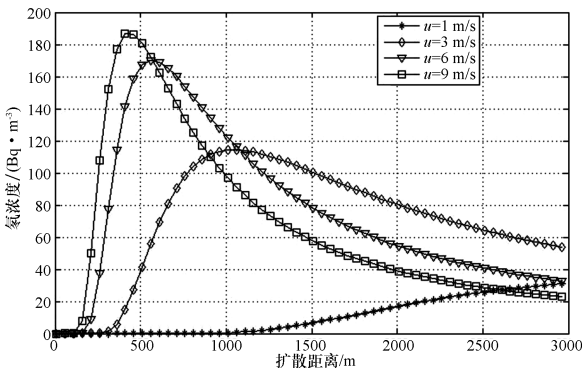


图 4 排风口高于地面 15 m 处的氡浓度扩散图
Fig.4 Air vents above the ground at 15 m radon concentration diffusion figure

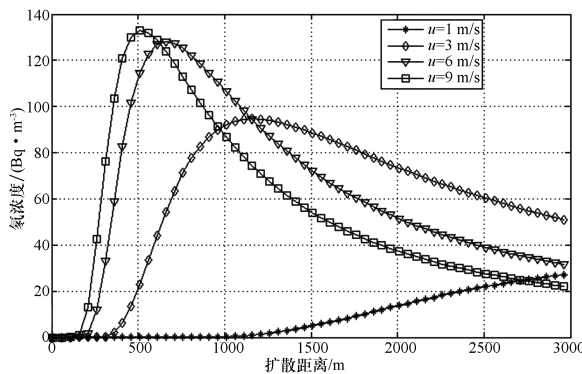


图 5 排风口高于地面 20 m 处的氡浓度扩散图
Fig.5 Air vents above the ground at 20 m radon concentration diffusion figure

如图 1~图 5 所示,在相同的排风口排出来的氡,随环境风速的增大,相应扩散距离处的氡浓度逐渐升高,在同一风速条件下,氡浓度随扩散距离的增大呈先升高后降低的趋势,会在某一扩散距离处出现峰值;在不同的排风口高度处,氡浓度的最

大值随风速的增大逐渐降低.如:当 $h_s = 1\text{ m}$ 时,在环境风速为 9 m/s 时在距离排风口 200 m 处出现最大值为 725 Bq/m^3 ,此时的 $\sigma_y = 15.8, \sigma_z = 10.5$;而当 $h_s = 10\text{ m}$ 时,在环境风速为 9 m/s 时在距离排风口 400 m 处出现最大值为 272 Bq/m^3 ,此时的 $\sigma_y = 31.4, \sigma_z = 19.0$.而且当排风口距离地面低时,近地面氡浓度相对较高,在 200 Bq/m^3 以上的范围也比较大,如:当 $h_s = 1\text{ m}, v = 3\text{ m/s}$ 时,在距离排风口 900 m 处氡浓度为 202 Bq/m^3 .

2 实地测量

根据实际的测量条件,所选取的排风口处排出的氡浓度为 $6.04 \times 10^3\text{ Bq/m}^3$ (比模拟计算中所选取的氡浓度小了两个数量级),利用脉冲电离室法^[8],在距离排风口 $50\text{ m} \sim 200\text{ m}$ 位置处设置监测点,所得的监测数据所绘制的检测曲线如图 6 所示.

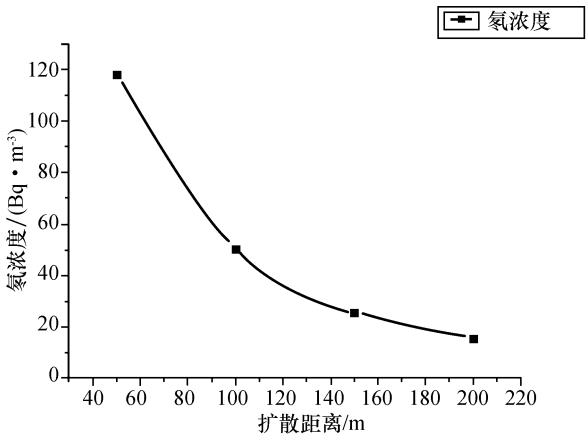


图 6 排风井口不同距离处的氡浓度变化曲线

由于测量条件的限制,只选取了距离排风口 $50, 100, 150$ 及 200 m 位置处的氡浓度进行了测量,其变化趋势与上述模拟计算中后半部分的变化趋势基本保持一致,可以看出,本文所采用的数值模型是可靠的.而对于前半部分上升曲线的验证,由于测量条件等因素的限制,有待进一步验证.

3 分析与总结

虽然上述模型在计算中没有考虑到环境本底氡浓度的影响,但是,在天然环境中氡会不断地在土壤或岩石中析出,这样环境中本身就有一定量的氡存在.在无外在氡污染的情况下,大气环境中的氡浓度一般在 $11 \sim 44\text{ Bq/m}^3$ ^[9] 范围内,而在铀矿区周围,土壤中析出的氡对居民室内的氡浓

度的贡献约为 154.29 Bq/m^3 ^[10]. 所以,选取理想情况下大气中氡浓度约 200 Bq/m^3 为限值浓度,才能使的在室内氡浓度累积量过高时通过通风有效的使氡浓度降到国标限值一下.

在排风口取为 20 m 以上时无论风速多大,最高氡浓度也低于此限制浓度,所以不用对排风口处进行重点防护.当排风口选取的位置为高于地面不足 10 m 时,应该确保排风口周围 600 m 的范围内无人居住,当排风口选取的位置为高于地面不足 1 m 时,应该确保排风口周围 900 m 的范围内无人居住.若不考虑其他因素,单纯从污染最小化的角度考虑,排风口的选取位置距离地面越高,对地面环境的污染程度也就越低.

虽然以上的计算结果是在忽略氡自身衰变的情况下得到的,但是,根据结果中氡扩散达到最高浓度的位置来看,氡扩散到达该点所需要的时间也是很短的,所以计算结果是合理并有参考价值的,再加上铀矿山的排风口并不像真正的烟囱,考虑到矿山实际地形条件、通风条件、气候气象等因素,在经济与技术条件允许的情况下,铀矿井通风的排风口位置及相应的重点防护区域应作更优化的分析和设计考虑,以保证对矿山周围的生物以及人类尽量小的危害.

参考文献:

- [1] GB/T 16146-1995 住房内氡浓度控制标准[S]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [2] Al-Khateeb H M, Al-Qudah A A, Alzoubi F Y, et al. Radon concentration and radon effective dose rate indwelling sof some villages in the district of Ajloun, Jordan [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2012, 70 (8): 1579-1582.
- [3] 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,2004.
- [4] 宋妙发,强亦忠.核环境学基础[M]. 北京:原子能出版社,1999:105-111.
- [5] Lauritzen B, Baklanov A, Mahura A, et al. K-model description of probabilistic long-range atmospheric transport in the Northern Hemisphere [J]. Atmospheric Environment, 2006, 40: 4352-4369.
- [6] 周友生.关于铀矿井下通风若干问题的探讨[J]. 金属矿山, 2009(S1): 761-765.
- [7] 王沫然. MATLAB 与科学计算[M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2004.
- [8] Kada W, Dwaikat N, Datemichi J, et al. A twin-type airflow pulse ionization chamber for continuous alpha-radioactivity monitoring in atmosphere [J]. Radiation Measurements, 2010, 45(9): 1044-1048.
- [9] 陈迪云,陈智营,胡瑞英,等.广东省下庄和南雄铀矿区周围大气环境氡浓度调查[J]. 中国环境科学, 1999, 19(1): 91-96.
- [10] 王志勇,刘畅荣,王汉青,等.铀矿区居民室内氡污染水平调查与原因分析[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(6): 15-18.