

## 铀矿通风与降氡技术研究

梁 政, 周星火, 刘畅荣

(南华大学建资学院, 衡阳 421001)

**摘 要:** 铀矿通风中, 风量、风压和风流方向是三个影响降氡技术的重要因素。为了把铀矿井平均氡浓度降到一个合理的可接受水平, 必须对这三个因素综合考虑, 使铀矿井处于最佳工作状态和最优的辐射水平。

**关键词:** 铀矿通风; 降氡技术

**中图分类号:** X936

**文献标识码:** A

## Ventilation and radon reduction in uranium mine

LIANG Zheng, ZHOU Xing-huo, LIU Chang-rong

(Arthiture and Environmental Resources Institute, Nanhua University, Hengyang 421001, China)

**Abstract:** In uranium mine ventilation, wind force, wind pressure and wind direction are the three major factors affecting radon reduction technology. The three factors must be taken into consideration to reduce radon concentration to a reasonably acceptable level so that the uranium well can be kept in its best working condition with minimum radiation.

**Key words:** ventilation in uranium mine; radon reduction technology

通风降氡是铀矿通风防护的主要内容, 随着人们对氡及其子体的危害认识越来越清楚, 对通风降氡的要求也就越来越高, 发展铀矿通风降氡技术, 降低铀矿井下工作地点的氡及子体浓度, 这是发展铀矿通风防护新理论、新技术的重要基础。

一般而言, 铀矿通风对降氡具有四种作用:

(1) 排除: 把井下矿岩析出到井下空气中的氡及衰变的氡子体排至地表;

(2) 稀释: 从地面引入新鲜风流冲淡井下空气中的氡及其子体;

(3) 抑制: 利用通风压力状态和压力分布抑制井下通风空间的氡析出;

(4) 沉降: 氡子体能牢固地粘附于器物表面上, 通风可在一定条件下加速这种沉降。

搞好通风降氡就是要充分发挥铀矿通风降氡这

四种作用, 确保井下空气中氡及其子体浓度不超过国家规定的限值。

铀矿通风中风量、风压和风流方向是通风降氡中三个关键性因素。为了搞好铀矿通风降氡, 必须对这三个因素加以控制, 使矿井通风降氡效果最好。本文从铀矿通风的三个关键性因素出发探讨了铀矿通风与降氡的关系。

## 1 风量与降氡关系

## 1.1 风量与氡析出

为弄清风量与氡析出关系, 我们曾在不同类型几个实验铀矿井中进行了巷道、采场和全矿井的风量与氡析出实验。巷道与全矿井风量与氡析出回归关系见式(1)和式(2)<sup>[1]</sup>:

$$E = E_0 e^{(bQ + C * \Delta P)} \quad (1)$$

$$E = 73.186 e^{0.0106Q} \quad (2)$$

式中:  $E$ —矿井通风空间析出氡量,  $Bq/s$ ;

$E_0$ —不考虑通风参数影响的通风空间析出氡量,  $Bq/s$ ;

$Q$ —通过通风空间的风量,  $m^3/s$ ;

$\Delta P$ —矿井大气压力波动值,  $Pa$ ;

$b, c$ —回归系数。

从式(1)和式(2)看出, 矿井析出氡量随风量的增大而增大。由于氡析出量增大导致排入地表环境的氡量也增大, 从而对地面的辐射影响也就更大。故对铀矿通风而言, 不仅要考虑矿井内环境的影响, 也要考虑对外环境的影响。

## 1.2 通风量与氡浓度

铀矿井下工作面氡浓度( $C$ )和通风的关系见式(3):

$$C = \frac{10^{-3}E}{KQ} + C_0 \quad (3)$$

式中:  $E$ —通风空间氡析出量,  $Bq/s$ ;

$Q$ —风量,  $m^3/s$ ;

$K$ —风量利用系数, 无量纲;

$C_0$ —入风氡浓度,  $Bq/L$ 。

式(3)明显指出了井下工作面氡浓度与风量的关系及降低氡浓度几个可能途径。从我国铀矿山的实际情况来看。首先要解决的问题是入风氡浓度过高的问题, 工作面入风氡浓度高, 使工作面氡浓度降到限值需要稀释的风量就大, 通风成本就高。

式(3)也表明, 铀矿通风技术发展主要集中在减少铀矿井下的氡析出量( $E$ )上。正如式(1)和式(2)所知, 氡析出量( $E$ )又随风量的加大而加大, 因此单纯依靠增加风量来改善井下辐射防护条件, 即降低平均氡浓度, 其结果可能得不偿失, 因为风量大到一定程度时, 平均氡浓度反而随风量的加大而增大, 因此对某一铀矿井而言, 可能存在一个合理的经济风量范围。为此我们在某铀矿井进行了不同风量下全矿井析出氡量与平均氡浓度的实验, 实验结果见表1:

表1 某铀矿井不同风量的析出氡量与平均氡浓度

风量 $m^3/s$	20	40	60	80	100	120	140	160
析出氡量 $kBq/s$	90.47	111.81	138.23	170.87	211.23	261.11	322.79	399.01
平均氡浓度 $Bq/L$	4.51	2.81	2.29	2.07	2.11	2.18	2.29	2.48

表1看出, 铀矿通风量的稀释作用是有限制的, 当风量超过一定值时, 继续增加风量, 由于氡析出量随风量增加而增加, 其降氡效果并不明显。因此在铀矿通风设计和风量计算时, 要特别注意风量与析出氡量的关系, 尽可能通过最优化的方法选取合理经济风量。某铀矿通过最优化分析, 选取矿井供风量  $60m^3/s$ , 取得了明显的技术经济效果。

## 2 通风压力与降氡技术

### 2.1 通风压力降氡机理

矿井氡析出涉及半无限大射气介质的氡传播, 对多孔介质, 当其两端通风压力不同时, 在介质内便会有空气从高压侧流向低压侧。对无限延展矿体有限厚度为  $X_0(cm)$ , 其高压侧和低压侧的氡析出率分别为<sup>[2]</sup>:

$$J_{高} = \frac{D \cdot A}{\lambda} \left[ b \text{cthb} X_0 - \frac{b}{\text{sh}b X_0} \exp\left(-\frac{V X_0}{2D}\right) - \frac{V}{2D} \right] \quad (4)$$

$$J_{低} = \frac{D \cdot A}{\lambda \cdot e} \left[ b \text{cthb} X_0 - \frac{b}{\text{sh}b X_0} \exp\left(-\frac{V X_0}{2D}\right) + \frac{V}{2D} \right] \quad (5)$$

式中:  $J_{高} J_{低}$ —分别为高压侧和低压侧氡析出率,  $Bq/(cm^2 \cdot s)$ ;

$D$ —氡在介质中的扩散系数,  $cm^2/s$ ;

$A$ —介质中产生可移动氡的能力,  $Bq/(cm^2 \cdot s)$ ;

$e$ —介质中的孔隙率, 无量纲;

$\lambda$ —氡的衰变常数,  $1/s$ ;

$V$ —介质中空气渗流速度,  $cm/s$ ;

$b$ —系数,  $b = (V^2 + 4\lambda D e)^{1/2} / 2D$

从式(4)和式(5)可以看出: 高压侧和低压侧的氡析出率相差一个  $\frac{AV}{\lambda e}$ , 铀矿通风压力降氡机理就是要在通风状态下使  $\frac{AV}{\lambda e}$  析出的氡要背离所有需风工作面达到降低工作面氡浓度的目的。而通风状态下  $\frac{AV}{\lambda e}$  产生的氡析出简称为氡渗流析出。

### 2.2 通风压力降氡技术

对一个铀矿井而言, 由于采用的通风方式不同而使其处于不同的压力状态和压力分布, 从而造成矿井内部与地表、矿井内部各坑道与工作面之间、采空区

与风路之间具有不同的压力分布和压力梯度,这个压力分布和压力梯度将引起矿井内部不同方向和大小的氡渗流。通风压力降氡就是利用通风压力来控制氡的渗流方向和大小。控制原则是使可能产生渗流的地区或区段的氡析出方向背离矿井或工作区,指向地表或回风系统。通风压力降氡技术主要有:

### (1) 全矿控制

全矿控制是指涉及范围广,对矿井氡污染起重要影响的氡渗流控制方法。该方法利用矿井主扇风机产生的风压对整个矿井实行调压降氡通风。当矿井氡污染来自内部渗流(矿井通风系统内相邻区间多孔介质的氡渗流)时,应通过通风建(构)筑物或局部风机来调整通风系统内部的压力分布来控制氡渗流方向;当矿井主要氡污染来自外部渗流(矿井通风系统内与地表大气之间多孔介质中的氡渗流)时,应主要通过风压状态改变氡渗流方向,从而对氡析出加以控制。如本溪铀矿通过调整压力分布,控制“几个氡源”氡的渗漏方向,全矿井平均氡浓度由调改前的  $11.3\text{ kBq/m}^3$  降至改后  $2.2\text{ kBq/m}^3$ <sup>[3]</sup> 又如广东某铀矿,采用充填采矿法,随开采延续,形成大量充填体,通过采用压入式屏风,调整压力状态,在总风量降低 25% 情况下,矿井析出氡量反而减少了 25%。

### (2) 局部控制

局部控制主要是矿井内具有开放性裂隙的岩壁、充填体、留矿堆、崩落体和塌陷采空区等氡渗流析出压力控制方法。常用 3 种局部调整压力分布的控制氡析出方法:一是通风负压沟控制。如采用崩落采矿法的矿井,其采场上部崩落体压力分布调成低压带的负压沟,使崩落体的氡全部流向负压沟而不污染采场工作面,使崩落区采场氡浓度由  $29.6\text{ kBq/m}^3$  降至  $1.6\text{ kBq/m}^3$ ;二是高压带控制。该方法是在氡污染的渗流区采用局扇、辅扇或其它通风建(构)筑物建立高压带,使之改变氡渗流方向达到降低氡浓度的目的。如湖南某铀矿井采用充填采矿法,当采场上部充填平巷调至处于通风高压区,充填平巷上部采空区相对处于通风低压区,采场下部也处于低压区时,采场工作面氡浓度只有  $(0.1 \sim 0.7)\text{ kBq/m}^3$ ,而通风压力相反时,采场工作面氡浓度高达  $(37 - 74)\text{ kBq/m}^3$ ;三是强制抽排氡控制。该方法是对集中的氡污染渗流区,采用局扇或辅扇强制抽排氡污染渗流区的氡。如留矿法采场,用局扇强

制抽排留矿堆中的氡,使留矿堆中的氡渗流方向背离作业面,则留矿法采场工作面的氡浓度大大降低,一般氡浓度可控制在  $(2.0 \sim 2.7)\text{ kBq/m}^3$  范围内。

上述分析表明,合适的通风压力状态和通风压力分布可以降低矿岩表面的氡析出率,从而可以减少通风空间的析出氡量,从而降低矿井平均氡浓度,收到明显的降氡效果。这些结果还表明,只要有传导的通路,通风压力都可以发挥作用,选择合适的压力状态和压力分布,可导致降氡风量的减少,使通风降氡达到最优化。

## 3 风流方向与降氡

铀矿通风中,必须对通风网络进行稳定性分析,只有这样,才能对风流加以调整控制,如果风流方向不稳,一旦造成失控,氡污染和通风空间的析出氡量就会增大,有时甚至造成大区域的氡污染。控制风流方向重要的是使氡污染风流不经过入风段,根据若干个铀矿井通风系统调整的经验,风流方向与降氡关系比较密切有:

### (1) 角联通风网风流方向与降氡

角联通风网络是在两并联巷道中间有一条联络巷道。判断一条 AB 对角巷道的风流方向有三种情况,一是无风流流动,二是由 A 流向 B,三是由 B 流向 A。由于边缘巷道风阻比例关系变化,常引起工作风流方向改变或造成灾害的角联。如本溪铀矿,采用无轨采矿,斜坡道开拓,斜坡道处于两个中段之间,斜坡道采用折返式,斜坡道通过掘联络道与采场相连,显然斜坡道处在角联位置,通风系统调改前,处在角联巷道的斜坡道时而微风,时而上行风,时而下行风,斜坡道风流极不稳定,使斜坡道氡浓度高达  $48\text{ kBq/m}^3$ ,后通过边缘两端调整风阻,形成上下行间隔中段通风网,斜坡道氡浓度降至  $1\text{ kBq/m}^3$  以下,通过斜坡道风流方向调整,使全矿入风氡污染得以消除,确保了该矿井通风系统调整顺利完成。

### (2) 大量松散矿石长期堆存井下的风流方向与降氡

原地爆破浸出采场和留矿法采场,经爆破后,大量矿石(总质量的 70% 以上)堆积在井下采场,爆破的矿石由于表面积增大,矿石结构受到破坏,孔隙裂缝增多,从而使析出的氡量明显增加,并在爆堆空隙

中积累了很高的氡浓度,如风流方向控制不好,就会污染井下空气。以蓝田铀矿 A 矿井为例,该矿井共有 9 个采场采用原地爆破浸出采铀,矿石堆放量约 12 万吨,部分采场内积聚的氡浓度高达  $290 \text{ kBq/m}^3$ ,如风流方向指向入风,微小的漏风均会对井巷风质产生严重污染。该矿 5 中段入风经 3 个原地爆破浸出采场后,入风氡浓度由 2 个  $\text{kBq/m}^3$  升至  $113.2 \text{ kBq/m}^3$ ,说明原地爆破浸出采场由于风流方向控制不好,造成入风氡浓度严重污染<sup>[4]</sup>。

### (3) 采空区风流方向与降氡

根据 5 个铀矿井实测,采空区析出氡量在全矿井排氡量中占有十分重要的比重,见表 2。

表 2 采空区析出氡量表

矿 井	A	B	C	D	E
全矿井排氡量 3.7kBq/S	271.37	120.56	282.06	341.67	212.50
采空区析出氡量 3.7kBq/S	162.82	106.73	200.57	252.52	144.77
采空区析出氡量 占的百分比(%)	60.00	88.53	71.11	73.91	69.73
通风方式	抽出	抽出	抽出	抽出	压入

由表 2 看出,采空区析出氡量在全矿井排氡量的比例达 60%—80%,因此控制采空区风流渗漏方向在铀矿通风中就具有重要意义。如 B 铀矿,采用分层崩落法,其中崩落体采空区析出氡量占总排量

88%以上,由于崩落体采空区风流方向控制不好,常造成工作面和人风流氡的污染,后通过调整崩落体风流渗漏方向,该矿井就取得了很好的通风降氡效果。

## 4 结 论

(1) 矿井通风中,风量、风压和风流方向是三个影响氡析出的重要因素,直接影响矿井平均氡浓度和矿井辐射水平。为了把铀矿井的平均氡浓度降到一个合理的可接受水平,必须对这三个因素进行综合控制,使之处于最佳的工作状态和最优的辐射水平。

(2) 铀矿通风的风量稀释作用是有限度的,必须很好处理风量、风压和风流方向与降氡的关系,在铀矿通风设计和管理中,应尽可能使这三个因素综合考虑,实现最优化的通风。

## 参考文献

- [1] 周星火. 铀矿通风对氡析出的影响与控制[J]. 工业安全与防尘, 1990, (11): 1~4
- [2] 周星火, 李向阳, 刘陶安. 铀矿井氡渗流机理与控氡技术[J]. 铀矿冶, 2004, 23(2): 98
- [3] 周星火, 李先杰. 某矿氡污染分析和通风降氡效果[J]. 辐射防护通讯, 2002, 22(3): 7~11
- [4] 李先杰, 邓文辉, 潘佳林. 原地爆破浸出铀矿山通风降氡问题初探[J]. 铀矿冶, 2004, 23(4): 192~195

## 特种劳动防护用品安全标志管理中心简介

特种劳动防护用品安全标志管理中心设在中国安全生产科学研究院,负责全国特种劳动防护用品安全标志管理工作;制定特种劳动防护用品安全标志管理工作的各种规章制度及审核程序;负责对特种劳动防护用品安全标志的受理、审核、检验、颁发等工作;以及承担国家安监总局交办的相关工作。

电话:010-64941276,64941337