

7 1 1 主 矿 带

氨析出率的动态法测定

(中 间 报 告)

国 营 七 一 一 矿

第 四 设 计 研 究 院

湖 南 第 六 研 究 所

一 九 七 八 年 十 二 月

铀矿井通风是控制矿井氡及其子体的一种有效的方法。因此在铀矿井设计中通风是不可缺少的重要内容之一。风量计算又是铀矿井通风设计中的核心。氡气析出率是风量计算的重要参数之一。它的正确与否直接影响着铀矿井通风防氡降氡效果及经济效果。因此有必要对于这一参数进行实际测定和研究。

本次对711矿主矿带130米中段14号穿脉34-4号矿体和7-5天井2-4号矿体用动态法进行氡气析出率的测定。通过二十多班次的实测,获得几百个数据,初步获得它的变化范围($0.092 \sim 0.236$) $\times 10^{-8}$ 居里/秒米² dsm。

通过误差的分析实测氡气析出率考虑误差在内,它的范围是($0.040 \sim 0.225$) $\times 10^{-8}$ 居里/秒米² dsm, 其平均值为($0.080 \sim 0.160$) $\times 10^{-8}$ 居里/秒米² dsm。

影响氡气析出率的因素很多,本次测定着重研究了风量与氡气析出率的关系;矿井空气大气压力对氡析出量和析出率的影响。并应用二元回归分析法对14号穿脉测定的数据进行了分析,获得回归方程式:

$$\hat{J} = 2.835 + 4.727 \times 10^{-6} Q - 3.574 \times 10^{-8} P$$

式中: $\hat{J}$ 氡气单位当量析出率

10^{-8} 居里/秒米² dsm

Q 通过测量区段的风量 米³/秒

P 矿井空气大气压力 毫米汞柱。

这个方程基本上是反映客观规律的。与文献[11]中法国学者 J. Pradel, R. Zettwog, G. Madeleine 实验获得的 $Q - Q_{Rn}$

曲线是相吻合的。利用这个方程来预报氡气析出率，它的把握性是在95%以上。它的精度为 $S = 0.017$ 。若用 $\hat{\sigma} \pm 2S = \hat{\sigma} \pm 2 \times 0.017$ 时预报的氡气析出率95%的误差不会超过0.034。

氡气析出率是铀矿井通风风量的重要参数之一，要求安全可靠，但是也必须有良好的经济效果。若用回归方程计算出的 $\hat{\sigma}$ 值，计算风量，当选用 $\hat{\sigma} + S$ 时，它的可靠性为84%；当选用 $\hat{\sigma} + 2S$ 时，它的可靠性为97.5%。

利用回归方程计算出24号矿脉的氡气析出率的范围（0.082~0.165） $\times 10^{-6}$ 居里/秒·米³ d.m.，其平均值的范围（0.103~0.137） $\times 10^{-6}$ 居里/秒·米³ d.m.。

上述关系式虽然做了分析和肯定，但是工作值得还是不够的，有待今后在更大的范围内来研究它的规律性，找出有它特殊意义的结论来。

由于实验工作尚在进行中，许多的工作要在来年完成。如通风方式与氡析出率的关系；喷射洒水对降氡的效果；在压入式通风条件下风量、大气压力对氡析出的影响；采场氡气析出与降氡措施等。以及动态法测氡气析出率和局部静态法测氡气析出率的对比。所以今年的报告仅是工作小结，肯定有许多问题说的不透彻，望领导和同志们提出宝贵的意见。

本次测定的氡气析出率，其值可供有关方面人员在设计铀矿井通风风量计算和调整铀矿井通风系统时参考。也可作为研究氡气析出规律的人员参考。

一九七八年十二月

一、概 述

矿井通风目前仍然是铀矿井井下防尘降氡的基本方法，也是铀矿井卫生防护工作中的一个重要环节。它不仅能够供给井下新鲜空气、排除炮烟、排除矿尘，给井下创造良好的气象条件，而且是冲淡并排除氡气及其氡子体和其他有害气体的主要措施。

既然矿井通风至今仍是控制矿井氡及其子体的一种有效的方法，故合理确定矿井所需风量是一个关键性问题。它确定的合理与否直接影响着铀矿井通风的好坏和降氡排氡效果以及经济效益。铀矿井通风所需风量必须能稀释和排除矿井空气中的氡及其子体，保证在国家允许浓度以下，又能经济合理。故确定铀矿井通风所需风量的重要依据是为矿井氡气析出量。怎样合理的确定矿井中的析出量成为通风计算中的一个关键。过去在铀矿井通风设计中我们曾用苏联贝霍夫斯基 (A. B. Beხოфский) 等人提出的按排氡和按排氡及其子体的计算风量方法。该方法中有一个重要的参数——单位当量氡气析出率。如何合理确定这参数，过去多数是按相似矿床选取，对我国不同赋存条件的铀矿床实测的很少，因此在应用当中出现一些问题。为了对现行铀矿井通风计算风量的方法加以研究，并结合对当前国际上美国济伏格劳 (E. O. Tsivoglou) 哈里斯 (R. L. Harris) 等人按排氡子体的计算方法以及捷克霍默 (M. Homér) 等人提出按氡析出量、氡子体潜能值和矿井通风体积的计算方法的研究分析，提出适合我国铀矿床赋存条件以及开采技术条件的铀矿井通风计算风量的方法。我们首先从研究氡气析出率入手。氡气析出率的测定方法、氡气析出受哪些因素影响，氡气析出量与风量的关系、氡浓度与风量的关系、氡气析出量与外界压力的关系等等。我们将通过现场实测，对测量方法进一步研究和获得

实际数据来指导我们的设计工作。

氡气析出率的测定方法按照所测定的空气状态它可以分为动态法和静态法。所谓动态法是在矿井空气流动状态中测量氡气析出率；静态法则是在不流动的矿井空气中测量氡气析出率。按照射气面积来区分为全巷法和局部法。所谓全巷法是包括井巷的四周暴露面积；局部法则包括的面积仅是井巷的一部分暴露面积。我们这次测定是以全巷动态法为主，并将在今后以局部静态法为辅来检查验证。

今年的工作仅仅以研究氡析出率的测量方法为主，同时作了一定的测定工作。对于氡气析出率受哪些因素的影响；氡气析出量与风量的关系；氡气浓度与风量的关系；氡气析出量与外界压力的关系；氡气析出与通风方式的关系等等研究的还不够。同时测定的范围尚有局限性，这些工作还需在今后全面开展的基础上，进一步分析研究，找出它们的规律，以便进一步改进铀矿井通风计算风量方法提供可靠的依据。

二、矿山基本概况

721矿于1958年筹建，1960年建成投产。它主要包括主矿带、东矿带和东矿带北部。全长约有3.5公里左右。目前主要生产的是主矿带和东矿带，东矿带北部正在勘探之中。本次测定氡气析出率主要在主矿带。

主矿带采用平峒——端部上盘竖井开拓方案。原设计为1#主井和1#付井（风井），后扩建增加了4#主井和4#付井（风井）。主要中段分为330米中段、280米中段、230米中段、180米中段、130米中段、80米中段。330米中段已经结束，280米中段即将结束。主要的生产中段为180米中段和130米中段。80米中段基建、探矿、采准。以后深部尚有+30米中段、-20米中段、-70

米中段。现有通风系统为单翼对角抽出式。即是由走向北部的230米中段、280米中段、330米中段各平峒口以及1#主井和4#主井进风，由各中段回风平巷与走向南端的1#风井和20#天井分别由500瓦轴流式风机和200瓦离心式风机抽出地表。

矿床属于沉积变质类型矿床。矿体赋存于矽化带内。矽化带是由交替石英岩构成，分布最广的岩石是黑色和灰色微石英岩、石英岩以及石英胶结的和石英黄铁矿胶结的角砾岩。

矿体大部分生于微石英岩以及黄铁矿胶结和石英胶结的角砾岩中。矿体不论在黑色微石英岩中或在黑色和灰色石英岩中其产状要素均与矽化带岩石的产状要素一致。矿体大部分与其矽化带围岩相整合，矿体没有明显的地质界线。一般是由工业矿石逐渐过渡到废石，矿体多半被表外矿石所包围，只有个别地点商品位矿石突然过渡到废石。

矿体形状为柱状和透镜状。

矿体的围岩为矽化带中的矽化炭质泥质页岩和黑色微石英岩和石英岩以及石英胶结的和石英黄铁矿胶结的角砾岩。

构成矽化带的岩石十分坚硬稳固，普氏硬度系数 $f = 16 \sim 18$ ，坑道内只有在交叉处或构造断层处、软弱带和裂隙带才需要支护，一般不予支护。矿石的容重 $\gamma = 2.64$ 吨/米³，矽化带废石容重 $\gamma = 2.5$ 吨/米³，矿石和围岩的松散系数为 $K = 1.5 \sim 1.6$ 。

整个矿区的放射性平衡向偏钨的方向移动。但个别试样也说明了放射性平衡向铀的方向移动。目前主矿带开采已经进入深部，放射性铀钨平衡系数未进行测定，根据其地质条件来看可以认为是1。矿石的射气系数为 $10 \sim 11\%$ 。

主矿带内大小矿体约有60多个。主要的矿体有3#、2#、6#、9#、12#和34#等等，有的矿体已经开采完。目前开采的主要矿

体为2#、6#和34#矿体。原设计的地质平均品位为0.092%，采出矿石的平均品位为0.086%。今年要的采出矿石的平均品位是0.090%，实际采出的矿石平均品位为0.085%。

主矿带原设计生产能力为14万吨/年，1968年扩建为22万吨/年。1978年实际完成为14万吨/年左右。

主矿带矿井通风体积分约20万米³（未包括已结束的330米中段）左右。其中采场的通风体积约为3.5万米³左右。

主矿带矿井总排氡量根据1978年4月和11月实际测定（在通风机的风筒中测定）分别为 3.16×10^{-6} 居里/秒（其中500瓦通风系统为 2.18×10^{-6} 居里/秒，200瓦通风系统为 0.98×10^{-6} 居里/秒），和 2.53×10^{-6} 居里/秒（其中500瓦通风系统为 1.92×10^{-6} 居里/秒，200瓦通风系统为 0.61×10^{-6} 居里/秒）。

三、测点的选择

由于主矿带开采多年，330米中段和280米中段已经基本结束，230米中段即将采完，目前主要的采矿中段为180米中段和130米中段。本次测定氡气析出率是采用全巷动态法。故要想在上部中段找一段完整的巷道或天井是比较困难的，因此只好在深部130米中段选择了14#穿脉和7-5天井。

选择测点的基本情况参见表1所示。

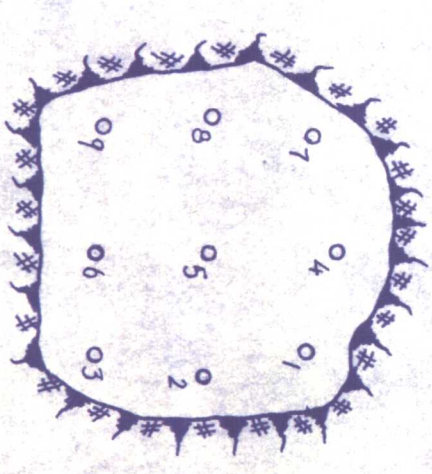
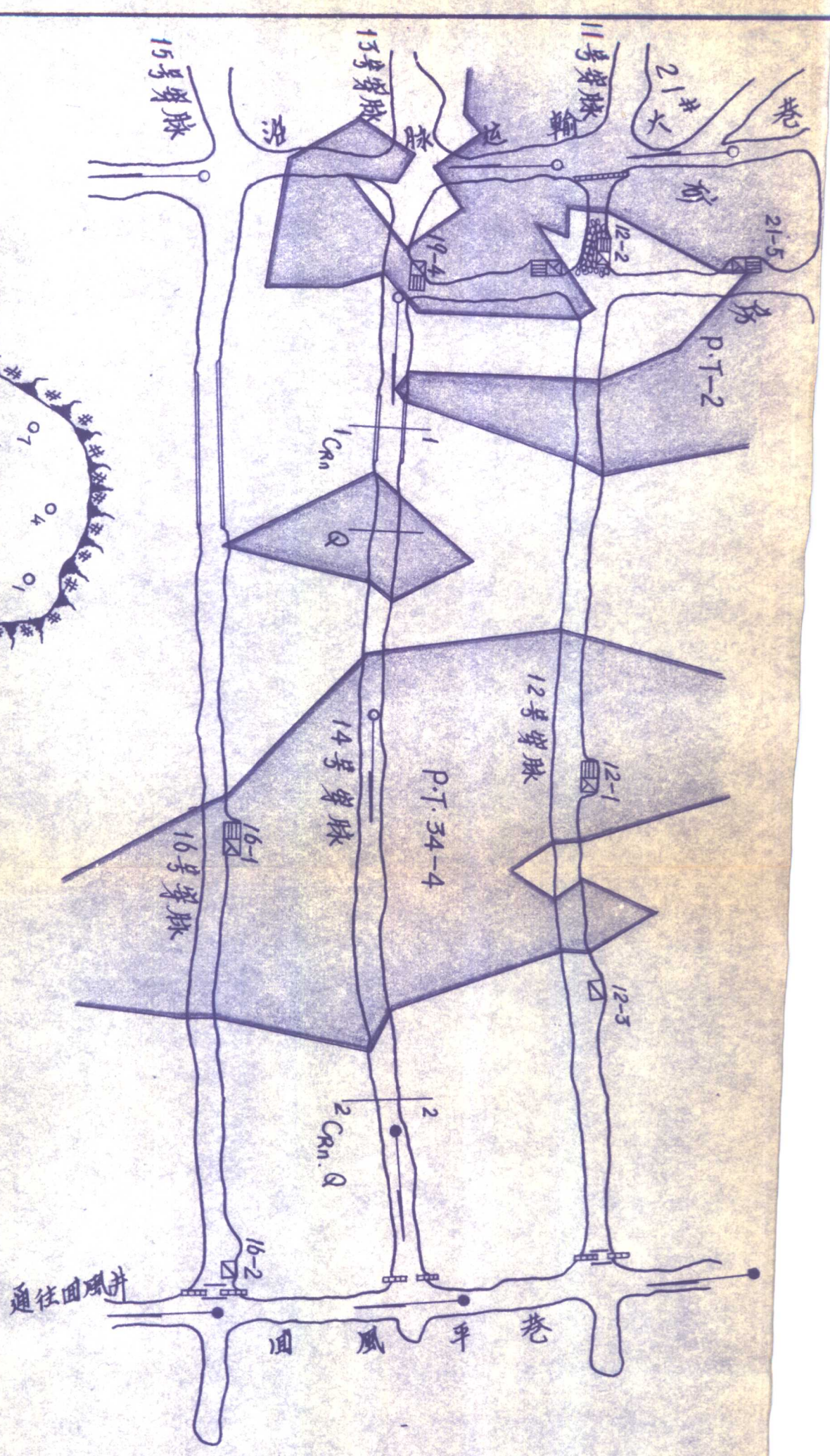
选择测点的位置参见图1和图2所示。

单位当量氨气析出率测点基本情况简述表

表 1

序号	长度 L (米)	周长 P (米)	平均品位 O (%)	当量射气面积 S_{dsm} (米 ² dsm)	地 质 概 述	备 注
1	62	6.58	含矿段为 0.138。 无矿段为 0.010	44	黑色微石英岩和黑色石英岩，局部地方有砂质角砾岩。致密坚硬。有黄铁矿细脉出现，局部地方较发育。局部地方尚有少量黑色及肉红色沥青铀矿脉可见。 细小裂隙和裂隙较发育，局部地方由于又受挤压作用的影响，使岩石较为破碎。裂隙多半被铁质和泥质物充填，个别地方为铁锰质物充填，有时形成胶结出现。 本穿脉穿过的主要矿体为34号矿体中最大的34—4矿体。它从6号穿脉延长至22号穿脉，全长为136米。最大厚度约40米。中间大，两端小，呈长条形往两端尖灭。该穿脉穿过矿体的最大厚度的部位。34—4号矿体在130米中段上暴露面积为1980米²，平均品位为0.117%。 14号穿脉所穿过34—4矿体的平均品位为0.133%，钴平衡系数为Kp=1.0。 14号穿脉中的岩石（无矿段）的平均品位为0.01%。 底板有水，故不计算当量射气面积。	巷道位置是在主矿带130米中段14号穿脉。 14号穿脉于1967年6月至1968年5月掘进并 进行编录的。 地质简述和矿、岩的平均品位以及射气面积的计算均以地质编录资料和物探编录资料整理和计算的。
2	52	7.00		8.2	黑色石英岩，颜色较浅呈灰至灰黑色，裂隙和节理表面呈灰色。岩石内部呈灰黑色，坚硬颗粒中等。在30—48米处石英脉比较发育。 构造比较简单，仅有短小的裂隙出现，而且裂隙内充填铁质、锰质、黄泥，呈黄褐色和棕色。 本天井系穿过2—4号矿体。	巷道位置是在主矿带130米中段7号穿脉的7—5天井。 该天井是1978年4月掘进并进行了编录。根据此资料整理和计算射气面积的。

- 混凝土浇灌支护巷道
- 小支护巷道
- 矿体
- 砖石材料密闭风墙
- 软塑料板风帘
- 风量调节阀
- 污染风流
- 新鲜风流
- 测风或测气取样断面处



测风断面测气布置图

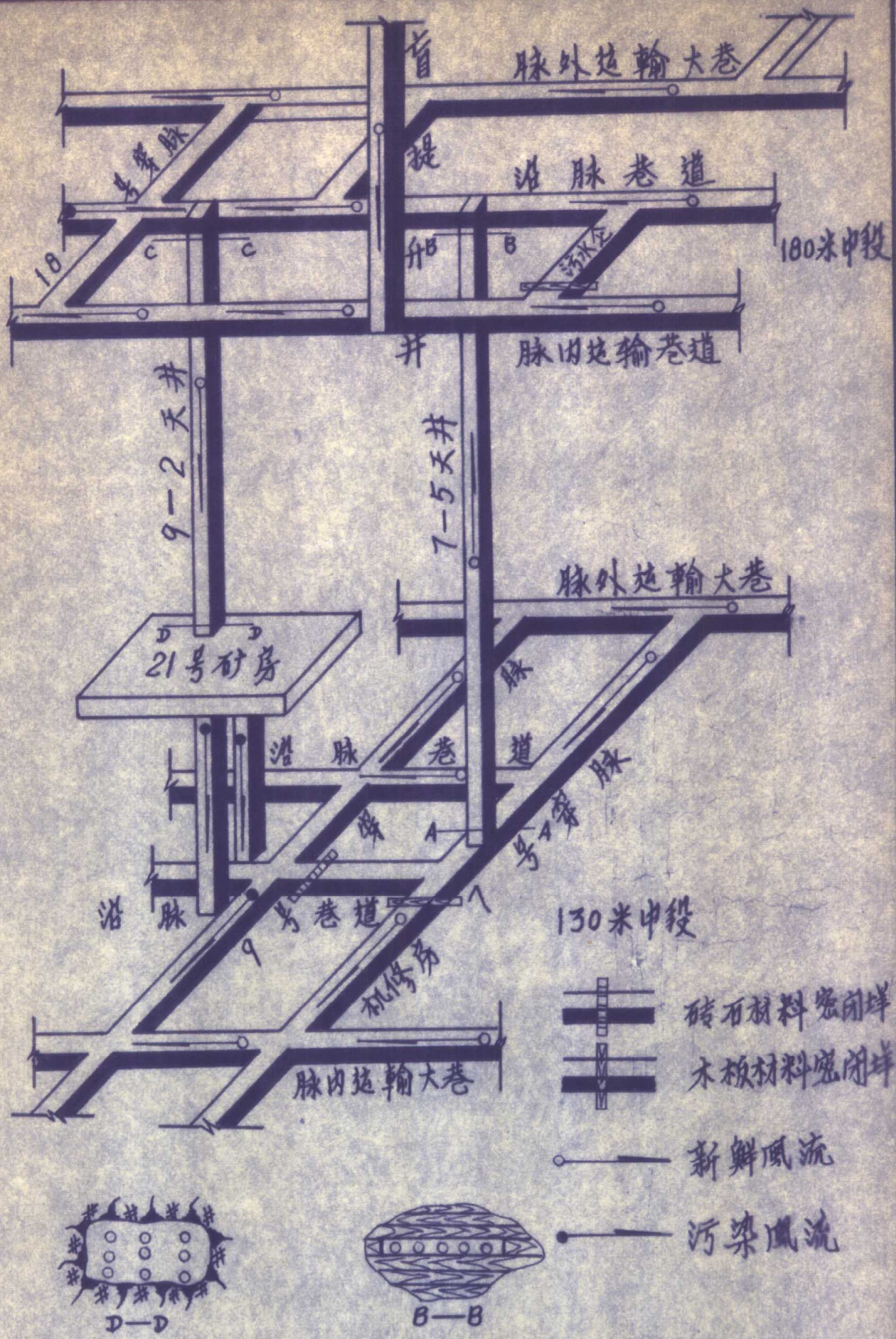


图 2 130米中段天井测臭布置示意图 7

四、测量方法

(一)、测量氡气析出率的基本原理：

矿井内氡气浓度的变化应服从于以下的关系：

$$C = \frac{\sigma \cdot P}{\lambda \cdot S} \left[1 - e^{-\frac{\lambda}{V} \cdot \ell} \right] \dots\dots\dots (1)$$

式中： σ单位当量氡气析出率（居里/米² d s m · 秒）

P巷道的周长（米）

S巷道的横断面积（米²）

λ氡气的衰变常数（秒⁻¹）

V通过巷道风流速度（米/秒）

ℓ巷道的长度（米）

C氡气浓度 居里/升

对于 $e^{-\frac{\lambda}{V} \cdot \ell}$ 可以按照幂级数展开即为：

$$\begin{aligned} e^{-\frac{\lambda}{V} \cdot \ell} &= 1 + \left(-\frac{\lambda}{V} \cdot \ell \right) + \frac{\left(-\frac{\lambda}{V} \cdot \ell \right)^2}{2!} + \\ &+ \frac{\left(-\frac{\lambda}{V} \cdot \ell \right)^3}{3!} + \dots\dots\dots \end{aligned}$$

第二项以后的其值极小可以忽略不计。故式中的 $e^{-\frac{\lambda}{V} \cdot \ell} \doteq 1 -$

$\frac{\lambda}{V} \cdot \ell$ 所代替，(1) 式可以简化为：

$$C = \frac{\sigma \cdot P}{\lambda \cdot S} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\lambda}{V} \ell \right) \right\}$$

$$C = \frac{\sigma \cdot P}{\lambda \cdot S} \cdot \frac{\lambda}{V} \cdot \ell \dots\dots\dots (2)$$

化简上式并令 $P \cdot \ell = S_{dsm}$ 是为巷道的当量射气面积 (米²_{dsm}) ;
 $V \cdot S = Q$ 是通过巷道的风量 (米³/秒)。

$$\therefore C = \frac{\sigma \cdot S_{dsm}}{Q} \dots\dots\dots (3)$$

假设: C_1 为巷道进风流中氡的浓度居里/升。

C_2 为巷道出风流中氡的浓度居里/升。

把它们代入(3)化简获得:

$$\sigma = \frac{KQ(C_2 - C_1)}{S_{dsm}} \quad \text{居里/秒} \cdot \text{米}^2_{dsm} \dots\dots\dots (4)$$

式中: σ 单位当量氡气析出率 居里/秒 · 米²_{dsm}

K 单位换算系数。

Q 通过巷道的通风量 米³/秒

C_1 入经巷道初始风流中氡气浓度。居里/升。

C_2 流经巷道后出风流中氡气浓度。居里/升。

S_{dsm} 巷道的当量射气面积 米²_{dsm}

由公式(4)中可知只要我们准确地测定出流经巷道中进、出风流中的

氡气浓度 C_1 和 C_2 ；测定流经巷道中的风量 Q ；根据矿石中（或岩石中）含铀量以及铀钍平衡系数 K_p 和巷道的暴露面积，就可准确地计算出当量射气面积 S_{dsm} 。最后代入(4)中，获得单位当量氡气析出率。

(二)、取样装置及测量仪表：

氡浓度测量方法我们这次采用静电计电离室和气球法快速测氡两种方法。并进行对比。前者是采用换气法把矿井空气采集到电离室内。

（如图3所示）首先应用DK-60采样器把矿井空气抽入容积为20升的气球内（如图3a）；然后再将气球内的矿井空气通过DK-60采样器抽入电离室内（图3b）。这样用气球内20升矿井空气置换电离室内的1升空气，以保证电离室内充满矿井空气，达到测量精度的要求。取样后，放置三小时，等氡及子体达到完全平衡，在FD-105静电计上测定电离电流格值换算出氡浓度。它应用的仪表主要有：FD-105静电计，其格值为 0.051×10^{-10} 居里/升/格/分。1升的电离室。取样采用DK-60型采样器和采样头以及20升气球。

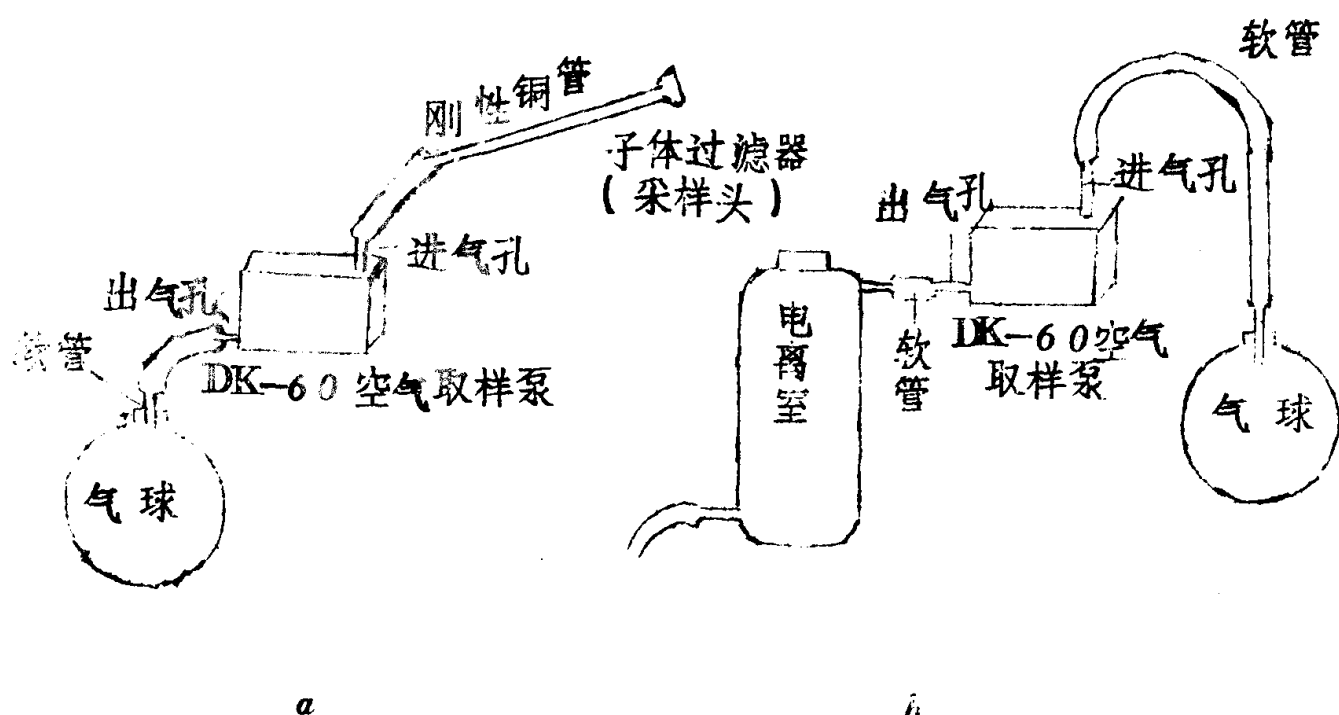


图3 取样装置示意图

利用气球法快速测氡是DK-60型采样器通过采样头把矿井空气抽入20升的气球内(如图3a),然后用EJ-13 α 探测器测量气球内“新子体”的 α 放射性,换算出氡的浓度。气球常数 $K = 1.03 \times 10^{-8}$ 。

风速测量是采用国产QDF-2A型热球式电风速计。采用九点法测量取其算术平均值确定平均风速。

井下气象条件测量。干、湿温度和湿度采用DHM2型通风干湿表,矿井空气大气压力采用DYJ I型空盒气压计测量。

地表气压监测采用DYJ 1-1型自记空盒气压计。

三、取样及测量

取样前的准备工作:

(1) 首先待测坑道内进行通风,排除坑道内积聚的氡,以保坑道内空气中的氡浓度接近于稳定。对于通风的坑道,若调节坑道内的通风量,也必须在测定的前一天调整好,使坑道内氡浓度在该通风条件下尽量接近于稳定。

(2) 应用静电计电离室测氡浓度时,必须事先把电离室清洗干净,以保电离室的本底合乎要求。测量好本底,并编好号码。

(3) 在DK-60型采样器上扣气的一端接一个软管,再在软管的另一端接一根刚性管,刚性管的长度应保证该管的末端能达坑道断面上的任意一点,在刚性管的尽端装上采样头。

(4) 各种测量仪器必须在测量前进行检查,以保它的精度和灵敏度。

取样方法:

(1) 应用DK-60型采样器把矿井内的空气在50秒内采集到20升气球内。操作者拿着装有采样头的刚性管在巷道横断面上作均匀的移动。一般线路按图4所示。

(2) 然后把气球内采集的矿井空气再用DK-60型采样器的抽气机打入电离室内，最后把电离室封闭好。

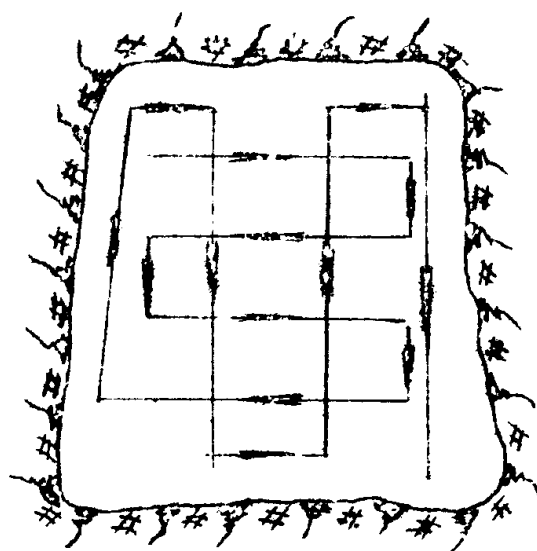


图4 测氡取样线路示意图

测量方法：

应用静电计电离法测量氡气浓度，将取完样的电离室，放置三小时后，即可在静电计上测定电离电流的格值，然后换算出氡浓度。每次取样3—5个，取其算术平均值。

应用气球法快速测氡，即将取样后的气球等待三分钟后，开始用DK-60采样器对气球放气。50秒内放完，然后把带有“新子体”的滤布，用EJ-13α探测器测定它的α放射性，根据三分钟内的计数换算出氡的浓度。每次取样3—5个，取其算术平均值。

换算公式一般采用如下的公式：

$$O_{Rn} = K \cdot N_{4-7} \times 10^{-10} \text{ 居里/升} \dots\dots\dots (5)$$

式中： C_{Tn} 测定时空气密度 居里/升

K 气球常数

N_{4-7} 第四至七分钟三分钟累计读数。

风速测量采九点法（如图5所示）求其算术平均值。每次测量2—3次，其误差控制在5%以下。

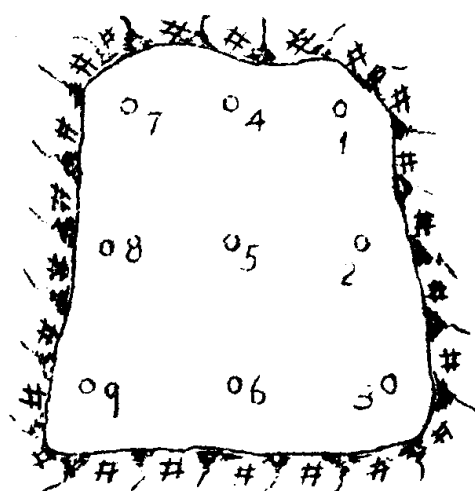


图5 风速测量九点法布置示意图

巷道断面的测量对于不规则不支护的坑道采用抛物线定积分近似计算断面面积。

风量测量进、出风两处其结果误差控制在5—10%以下。

静电计电势室与气球法快速测氡结果比较表

表 2

序 号	地 点	气球法快速测氡 O快 1×10^{-10} 居里/升	静电计电势室测 氡 O电 1×10^{-10} 居里/升	偏 $\text{O快} - \text{O电}$ 1×10^{-10} 居里/升	差	偏差百分数 $\text{O快} - \text{O电}$ %	备 注
1	230米中段 4号穿脉	7.52	7.36	+0.16		+2.2	
2	"	7.15	7.31	-0.16		-2.2	
3	"	6.98	7.26	-0.28		-3.9	
4	"	13.10	12.00	+1.10		+9.2	
5	"	5.00	5.16	-0.16		-3.1	
6	130米中段 14号穿脉	0.49	0.49	0		0	
7	"	0.59	0.58	+0.01		+1.7	
8	"	0.62	0.62	0		0	
9	"	0.60	0.60	0		0	

注：1、气球法快速测氡时标定的气球常数 $K = 1.03 \times 10^{-8}$ ；

2、此对比结果是在1978年11月23日~11月27日进行的。

3、气球法快速测氡与静电计电势室测氡两种测量方法的偏差不大于 $\pm 10\%$ 。