

ICS 13.280, 13.040.30

F 72

备案号: 19506-2007

# EJ

## 中华人民共和国核行业标准

EJ/T 359—2006

代替 EJ359-1989, EJ360-1989

---

### 铀矿井排氡及通风技术规范

Technical regulations for radon exhaustion and ventilation  
in underground uranium mine

2006—12—15 发布

2007—05—01 实施

---

国防科学技术工业委员会 发布

## 目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	3
5 矿井空气质量要求	4
6 通风工程设计要求	5
7 矿井通风计算	8
8 局部通风	12
9 通风工程构筑物	13
10 氡析出控制	15
11 氡析出率测定	17
12 矿井通风系统的测定	19
13 铀矿井通风管理	22
附录 A (规范性附录) 氡析出量计算方法	28
附录 B (规范性附录) 矿井通风体积计算方法	32
附录 C (规范性附录) 高温矿井排热降温通风计算公式	33
附录 D (规范性附录) 利用风流动压和导风墙(板)减少井底车场漏风	35
附录 E (资料性附录) 铀矿井排氡子体风量计算公式及其它相关公式	37
附录 F (资料性附录) 抛物线定积分法测定不规则巷道断面	41

## 前 言

铀矿井通风与排氦是铀矿井安全生产的重要环节之一。为了促进铀矿工业的可持续发展，加强铀矿井通风与安全防护工作，实现铀矿井通风与排氦技术的规范化，确保放射工作人员在生产过程中的安全和健康，提高铀矿井通风降氦工作水平，制定本标准。

本标准是根据GB 18871—2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》等有关标准的规定，吸收国内外近年来已成熟的通风降氦经验和科技成果，结合铀矿井生产技术进步给通风与排氦技术带来的新情况，对EJ 359—1989《铀矿井排氦通风技术规范》和EJ 360—1989《铀矿井排氦子体风量计算方法》两项标准进行合并、修订而成的，以进一步促进铀矿井通风与排氦技术的进步，适应铀矿安全生产发展的需要。

本标准代替EJ 359—1989和EJ 360—1989。

本标准对原标准中的术语、总则、铀矿通风技术等内容进行了修改补充，统一了氦及氦子体浓度控制值，删除了原标准中重复的内容，对标准结构进行了较大调整，增加了附录，增加了原地爆破浸出铀矿山和无轨采矿铀矿山通风设计的基本要求以及矿山救护应急预案的规定等。

本标准的附录A、附录B、附录C和附录D为规范性附录，附录E和附录F为资料性附录。

本标准由中国核工业集团公司提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：南华大学、核工业北京化工冶金研究院、核工业第四研究设计院。

本标准主要起草人：周星火、邓文辉、吴钢、李先杰、李向阳。

本标准于1989年3月首次发布。

# 铀矿井排氡及通风技术规范

## 1 范围

本标准规定了铀矿井通风与排氡的基本原则、技术要求和风量计算方法，给出了通风控制铀矿井氡所致辐射危害的措施及技术规范。

本标准适用于新建、改建、扩建和生产铀矿井的通风设计和通风管理。存在氡所致辐射危害的非铀矿井和地下工程，可以参照执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GBZ 1 工业企业设计卫生标准

EJ 993 铀矿冶辐射防护规定

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

氡 radon

氡 ( $^{222}\text{Rn}$ ) 是天然铀中  $^{238}\text{U}$  的第六代核素  $^{226}\text{Ra}$  衰变产生的放射性气体，又称为镭射气。它是氡子体的母体、 $\alpha$  辐射源，但与氡子体相比衰变产生的  $\alpha$  粒子数很少。

### 3.2

氡子体 radon daughters

$^{222}\text{Rn}$  短寿命衰变产物的总称。主要为  $^{218}\text{Po}$  (RaA)、 $^{214}\text{Pb}$  (RaB)、 $^{214}\text{Bi}$  (RaC) 和  $^{214}\text{Po}$  (RaC')。氡对人体健康的危害主要是氡及其子体  $\alpha$  粒子内照射对呼吸器官的损伤。

### 3.3

氡浓度 radon concentration

单位体积空气（或水）中的氡活度，单位为  $\text{Bq}/\text{m}^3$  或  $\text{kBq}/\text{m}^3$ 。

### 3.4

氡子体  $\alpha$  潜能浓度 potential alpha energy concentration of radon daughters

单位体积空气中存在的短寿命氡子体的任何混合物的全部子体原子按衰变链分别衰变到  $^{210}\text{Pb}$  (RaD) 的过程中所发射的总  $\alpha$  能量，单位为  $\mu\text{J}/\text{m}^3$  或 WL。

### 3.5

平衡因子 equilibrium factor

氡的平衡当量浓度与氡的实际浓度之比，无量纲。这里，平衡当量氡浓度是氡与其短寿命子体处于平衡状态、并具有与实际非平衡混合物相同的  $\alpha$  潜能浓度时的氡浓度。

3.6

**氡扩散 radon diffusion**

氡原子自身热运动造成的氡迁移。氡扩散以氡的浓度梯度为动力。

3.7

**氡渗流 radon permeation**

空气在多孔介质中的渗透引起的气相氡迁移。氡渗流以空气的压力梯度为动力。

3.8

**氡析出 radon emanation**

氡(<sup>222</sup>Rn)穿过两相介质的界面,从一种介质进入另一种介质的现象和过程。在铀矿井指氡穿过矿岩表面进入矿井大气的现象和过程。

3.9

**氡析出率 radon emanation rate**

单位时间内穿过单位面积界面析出氡的活度,单位为 Bq/(m<sup>2</sup>·s)或 kBq/(m<sup>2</sup>·s)。

3.10

**当量氡析出率 equivalent radon emanation rate**

单位时间内单位当量射气面积析出的氡活度,单位为 Bq/(m<sup>2</sup>·1%·s)或 kBq/(m<sup>2</sup>·1%·s)。

3.11

**氡析出量 radon emanation quantity**

单位时间内析出并进入特定空间的氡的总活度,单位为 Bq/s或 kBq/s。

3.12

**射气面积 radon emanation area**

能够析出放射性气体氡的含铀矿岩体暴露面积,单位为 m<sup>2</sup>。

3.13

**当量射气面积 equivalent radon emanation area**

将含铀矿岩体暴露面积换算为铀品位 1%、铀镭平衡系数为 1 的射气面积,单位为 m<sup>2</sup>·1%。

3.14

**氡污染 radon contamination**

矿井或井下工作面入风流中有氡及其子体进入其中而使风质下降的现象,称为氡污染。

3.15

**矿井通风系统 mine ventilation system**

由地面向井下工作地点供给新鲜空气、排除污浊空气的通风网路、通风设备、动力和通风控制设施的总称,它一般按入风井和排风井的相对位置来命名和分类。

3.16

**矿井通风方式 mine ventilation mode**

矿井通风方式又称为主扇工作方式,是指通风机安设在入风口将新鲜空气压入井下的方式或者安设在排风口将污浊空气抽出至地面的方式来实现井下空气的正常流动,前者称为压入式通风,后者称为抽出式通风。

3.17

**矿井通风网路 mine ventilation network**

矿井通风系统的所有巷道(含竖井和斜井)按其分叉与汇合的结构组成的使空气有向流动的连通体

系。

### 3.18

#### 局部通风 local ventilation

利用局扇或主扇产生的风压对局部地点进行通风的方法，包括采场、硐室通风不能满足要求而采取的辅助通风方法

## 4 总则

### 4.1 铀矿井通风的主要任务是排氡

铀矿井通风的主要任务是不断地向井下各工作面供给足够量的新鲜空气，稀释、抑制和排除氡以及粉尘等有毒有害物质，调节井下气候条件，为井下工作人员创造一个良好的工作环境，保证井下各种有毒有害物质浓度均不超过控制值。

为保障铀矿井下工作人员的安全和健康，对个人受到的放射性照射应加以控制，应坚持搞好机械通风、采空区和废巷道密闭、湿式作业、个体防护、剂量监测以及管理检查等综合防氡降尘措施，确保井下工作人员接受的年平均有效剂量不超过GB 18871规定的限值。

### 4.2 铀矿井应建立完善的机械通风系统

通风是铀矿井排氡降氡的基本方法和主要措施。铀矿井应建立完善的机械通风系统，严禁仅依靠自然通风。不仅要搞好矿井主风流通风，还要重视和完善采场和掘进工作面的局部通风。

### 4.3 铀矿井通风计算要求

铀矿井通风工程设计应以排氡为其主要任务，风量计算应按稀释和排除井下氡及其子体计算，使井下工作面平均氡及其子体浓度不超过控制值，同时满足稀释和排除矿尘、炮烟及其它有毒有害物质的要求。

### 4.4 氡析出的控制原则

矿井工程设计和生产建设中，其矿床开拓、采准和采矿方法的选择要与矿井通风方式、通风系统和通风网络相结合，确保通风网络风流稳定，应合理调配通风压力和氡渗流方向，减少和控制矿井氡的析出。

### 4.5 搞好湿式作业和洒水洗壁

在采矿、掘进、装载和运输作业中，应搞好湿式作业，要坚持湿式凿岩。爆破后装载耙运之前，矿岩和周壁应喷雾洒水。距掘进工作面 10m~15 m 以内的巷道周壁应洒水洗壁，入风巷道和运输巷道要定期洗壁。

### 4.6 通风系统管理

每年应进行一次矿井通风系统全面测定，内容主要包括风量、通风阻力和氡污染调查等，发现问题及时进行调整。要经常进行采场和掘进工作面入风风流质量检查，确保入风风质满足入风要求，及时消除入风氡污染。

### 4.7 健全通风与安全防护组织和专业队伍

铀矿山应健全矿井通风与安全防护组织和专业队伍。包括设立通风与安全防护技术管理人员，建立井下剂量监测、通风参数检查以及通风工程设施的施工、安装和维护队伍，配备必要的仪器仪表和设备。应建立处置炮烟中毒（一氧化碳中毒）等意外事故发生的应急预案，配备必要的自救器和呼吸器等救护设备。对专业队伍和业余兼职人员要定期进行培训和演练。

### 4.8 制定通风与安全防护的管理制度，加强对职工的相关教育和技术培训

铀矿山应根据国家有关安全生产的法律、法规和标准，结合自身具体情况，制订矿井通风与安全的各项管理制度，认真贯彻执行。应加强对井下工作人员通风与安全防护的教育和培训。

## 5 矿井空气质量要求

### 5.1 空气成分

井下采掘工作面的进风空气中氧的体积浓度不应低于 20%，二氧化碳的体积浓度不应高于 0.5%。矿井总排风流的二氧化碳体积浓度不应超过 0.75%。

### 5.2 氡和氡子体浓度控制值

铀矿井放射工作人员职业照射剂量限值应当符合 GB 18871 的规定。

井下工作场所空气中氡及其子体浓度控制值为：

- a) 平均氡子体  $\alpha$  潜能浓度控制值为  $5.4 \mu\text{J}/\text{m}^3$ ；
- b) 氡浓度控制值为  $2.7 \text{ kBq}/\text{m}^3$ 。

矿山企业可以根据剂量监测资料，按年平均有效剂量  $15 \text{ mSv}$  进行控制，扣除  $\gamma$  外照射等剂量所占份额后，对氡和氡子体浓度控制值进行适当调整，但需经上级主管部门确认。

### 5.3 其它有害物质浓度限值

井下工作面空气中粉尘浓度限值，见表 1。

矿井有害气体浓度限值，见表 2。

表1 井下工作面空气中粉尘浓度限值

粉尘中游离 $\text{SiO}_2$ 含量，%	最高允许浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$	
	总粉尘	可吸入性粉尘
<50	2.0	1.0
50~<80	2.0	0.5
$\geq 80$	2.0	0.3

表2 矿井有害气体浓度限值

名 称	最高允许浓度	
	体积浓度，%	质量浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$
一氧化碳 (CO)	0.0024	30
二氧化硫 ( $\text{SO}_2$ )	0.0005	15
氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ )	0.00025	5
硫化氢 ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0.00066	10
氨 ( $\text{NH}_3$ )	0.004	30

### 5.4 煤型铀矿井和使用柴油设备矿井空气中有毒有害物质浓度限值

煤型铀矿井下采掘工作面排风流中瓦斯浓度不应超过 1%，矿井总排风流和一翼排风流的瓦斯浓度

均不应超过 0.75%。

使用柴油设备的矿井；工作面空气中一氧化碳浓度不应超过 0.005%，氮氧化物浓度不应超过 0.0005%，甲醛浓度不应超过 0.0005%，丙烯醛浓度不应超过 0.0001%。

### 5.5 空气温度

采掘工作面空气温度（干温度，下同）应不超过 28℃，机电硐室空气温度应不超过 30℃。如果空气温度超过限值，应当采取降温或其它防护措施，其降温风速不应小于 1m/s。

入风井巷冬季的空气温度应高于 2℃。低于 2℃ 时，应有暖风设施，同时遵守下列规定：

- a) 禁止用明火直接加热空气；
- b) 空气预热后应保证入风井空气温度高于 2℃，同时满足入风井风流质量的规定；
- c) 在保证入风井风流质量的条件下，允许用废旧巷道和硐室预热空气，但不应用采空区预热空气。

### 5.6 入风流风质要求

矿井工作面入风流中氡、氡子体和粉尘浓度应不超过表 3 的规定。

表 3 矿井总入风流和工作面入风流风质要求

名 称	氡浓度 kBq/m <sup>3</sup>	氡子体浓度 μ J/m <sup>3</sup>	总粉尘浓度 mg/m <sup>3</sup>
矿井总入风流	0.2	0.3	0.2
工作面入风流	1.0	2.0	0.5

### 5.7 井巷最高允许风速

井巷和工作面的风速限值，见表 4。

表 4 通风巷道风速限值

序号	井 巷 名 称	最高风速 m/s
1	专用的风井和风硐	15
2	专门物料提升井筒	12
3	风桥	10
4	升降人员和物料的井筒、修理中的井筒	8
5	主要入风道和排风道	8
6	运输巷道和采区入风道	6
7	采场、采准巷道	4

## 6 通风工程设计要求

### 6.1 通风工程设计一般要求

通风工程设计应遵循下列一般要求：

- a) 矿井开拓方案、开拓系统选择要充分考虑有利于通风降氡，主要运输巷道和主要通风巷道应布置在脉外围岩中；
- b) 应选择合理的通风系统类型及构成要素，充分发挥主扇的通风作用，使通风系统尽可能完善合



理；

- c) 通风设计中应给出矿井的风压、风量分布图和氡渗流方向分布图。

## 6.2 通风方式和通风系统

### 6.2.1 矿井通风方式

铀矿井通风方式应根据矿井实际情况，经技术经济比较后选择确定。

在矿岩松软破碎、裂隙发育或用崩落法开采的矿井和高山矿井，应采用压入式通风。矿岩致密、裂隙节理不发育的矿井，或者采用压入式通风有困难的矿井，可采用抽出式通风。当井田尺寸大、风路长，单一压入式或抽出式通风不能满足要求时，可采用压抽混合式通风。

### 6.2.2 矿井通风系统

铀矿井应优先采用分区通风系统。矿床埋藏较深，矿体较集中，井田长度不超过1000m的矿井，采用统一集中通风。矿床埋藏较浅，矿体较分散，通地表井巷较多，井田尺寸大或作业中段多的矿井，应采用分区通风。划分通风区域的原则是，将矿量比较集中、生产上密切相关的地段划在一个通风区内。

入风井和排风井应优先采用侧翼对角式或两翼对角式布置。

高山矿井的入风井应布置在背阴处，风机风流方向应尽可能与自然风流主导方向一致。

### 6.2.3 入风井要求

箕斗提升井和年提升矿石量大于100000t的罐笼提升井不应作入风井。

## 6.3 矿井通风网络

### 6.3.1 铀矿井通风网路选择

铀矿井应优先采用并联通风网路，避免串联网路，减少角联网路。

### 6.3.2 中段通风网路选择

矿体规整的脉状矿床，采用后退式回采并能严格遵守回采顺序时，可采用阶梯式中段通风网路。

在矿体较厚、开采强度较大的矿井，可采用平行双巷式中段通风网路。

平行密集脉状矿床，可采用梳式中段通风网路。

不能严格遵守后退式回采顺序、开采强度较大的矿井，可采用上下行间隔式中段通风网路。

### 6.3.3 采场通风网路

#### 6.3.3.1 无耙道底部结构的采场通风网路

无耙道底部结构的浅孔留矿法、充填法、房柱法和壁式崩落法的采场，均应利用主扇总风压通风。并且：

- a) 当采场工作面较短时，可在一端维护一个人行天井作入风井，另一端应有贯通上中段排风道的排风天井；
- b) 当采场工作面较长或开采强度较大时，可在两端各维护一个人行天井作入风井，在中央开凿贯通上中段排风道的排风天井；
- c) 当矿体极不规则或在边远地段，难于开凿贯通上中段的排风天井时，可维护两个顺路天井，一个入风，一个排风。

#### 6.3.3.2 有耙道底部结构的采场通风网路

有耙道底部结构的崩落法、分段法、阶段矿房法及留矿法采场，其耙矿巷道工作面和凿岩工作面均应利用贯穿风流通风，并应有各自独立的通风路线。耙矿巷道中的风流方向，应与耙矿方向相反。

#### 6.3.3.3 留矿法采场通风网路

留矿法采场一般应采用下行通风，并应将下行污风引入排风道或工作人员最少的巷道中。

#### 6.3.3.4 井下原地爆破浸出采场通风网路

原地爆破浸出采场的布液巷和集液巷应与矿井排风系统贯通，确保原地爆破浸出采场析出的氢引入排风系统。

#### 6.4 井下专用硐室通风

变电硐室、机修硐室、水泵房、水仓、炸药库、绞车房等井下专用硐室应具有入、排风系统，并保证足够的新鲜入风风量。

井下炸药库应有独立的通风系统，排风风流应直接引入矿井的总排风道（或主要排风巷）中或直接引出地表。

原地爆破浸出矿井中，流经总集液池、中段集液池的污风应直接引入排风道；井下破碎硐室和主溜井的污风应直接引入排风道，否则应采取有效的湿法降尘和风流净化措施（如静电除尘或过滤等）。

#### 6.5 主扇风机

##### 6.5.1 入风井、排风井布置

主扇安装后，其通地表的入风井和排风井应符合下列要求：

- a) 入风井要设在污染源（矿仓、废石场、选冶厂和堆浸场）主导风向的上风侧；
- b) 排风井一般应设和生活区或工业广场主导风向的下风侧；
- c) 入风井和排风井的距离应满足 EJ 993 中的有关规定。

##### 6.5.2 主扇安装位置

主扇一般应安装在地面，也可以安装在井下，应根据矿井实际情况确定。主扇安装位置一般应满足下列要求：

- a) 主扇应安装在不受地压及其它灾害威胁的安全可靠的地方；
- b) 如果主扇安装在井下，应有井下和地面两套控制主扇“关停”的控制系统；
- c) 主扇噪声不能影响井下其他工作地点工作人员的工作，超过 GBZ 1 有关规定时，则应采取隔音或消音措施。

##### 6.5.3 运转方式

铀矿井应采用机械通风，主扇风机应连续运转。对间断生产的矿井，开工前应提前两小时开动主扇。

##### 6.5.4 主扇安装要求

主扇安装应满足下列要求：

- a) 每台主扇应配备一台型号规格相同的备用电动机，并有能迅速调换电动机的装置。有瓦斯或自然发火危险的矿井，应备用一台同等能力的主扇，并设反风装置。反风装置应能在 10min 内达到反风要求，主扇反风风量应不低于正常风量的 60%；
- b) 主扇风机房应安装压差计、电流表、电压表、功率因素表和轴承温度计，用以测定主扇风硐的全压、静压、动压，测定主扇的轴功率和轴承温度。

##### 6.5.5 主扇风机选择要求

###### 6.5.5.1 主扇风机工况点

应满足下列要求：

- a) 主扇工况点风压不应超过其特性曲线最高点风压值的 90%，且位于最高点的右侧；
- b) 主扇效率应不低于 70%；
- c) 主扇性能应与矿井阻力特性相匹配；
- d) 多台主扇联合作业时，应进行风机联合作业工况分析，保证每台主扇的工况点都满足前面 a)

和 b) 的要求。

### 6.5.5.2 主扇风机选择

选择主扇风机设备时，还应考虑扇风机装置的风量漏风备用系数和反向的矿井自然风压、装置的通风阻力和出口动压损失。铀矿井应优先选用新型高效节能风机，在通风线路过长、阻力过大时尽可能采用多级机站通风。多级机站应满足下列要求：

- a) 几级串联机站的风压之和，应大于该风路按分风计算的井巷总阻力与机站局部阻力之和；
- b) 对于通过回采分段的风路，应保证回采分段处于微正压；
- c) 选用风机的个体特性曲线应没有明显的马鞍型；
- d) 机站风机应安设吸风口、扩散口，或者采取其它降阻措施，尽量降低机站的局部阻力；
- e) 某一机站风机停止运转时，应保证其它机站风机仍能正常工作，井下风流不应反向和循环。

### 6.6 矿井风压损失和有效风量率

矿井进风道和排风道的风压损失之和，不应超过矿井总风压的60%。

矿井有效风量率：压入式通风不应低于60%、抽出式通风不应低于70%。

## 7 矿井通风计算

### 7.1 矿井总风量计算

#### 7.1.1 矿井风量分项计算法

矿井风量分项计算法是指按该矿井每个采场、掘进工作面 and 硐室的所需风量以及采场、掘进工作面和工作硐室的数目分项计算的各项风量之和。其计算如公式 (1)：

$$Q = K(\sum n_1 Q_1 + \sum n_2 Q_2 + \sum n_3 Q_3) \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$Q$ ——矿井通风所需总风量，单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )；

$n_1$ ——采场数目 (包括备用采场、溶浸作业采场)；

$Q_1$ ——每个采场所需风量，单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )；

$n_2$ ——掘进工作面数目；

$Q_2$ ——每个掘进工作面所需风量，单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )；

$n_3$ ——需独立通风的硐室数目；

$Q_3$ ——每个硐室所需风量，单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )；

$K$ ——矿井漏风备用系数，无量纲，地表无崩落区  $K=1.25\sim 1.40$ ，地表有崩落区

$K=1.35\sim 1.50$ 。

采场风量按排氡和排氡子体计算 (考虑入风氡污染)，其计算公式如公式 (2) 和公式 (3)。

a) 按排氡计算：

$$Q = \frac{D}{C_L - C_0} \dots \dots \dots (2)$$

式中：

$Q$ ——采场排氡所需风量，单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )；

$D$ ——采场 (含该采场专用采准巷道) 氡析出量，单位为千贝可每秒 ( $\text{kBq/s}$ )；

$C_L$ ——采场排风氡浓度，取  $C_L=2.7 \text{ kBq/m}^3$ ；

$C_0$ ——采场入风氡浓度，取  $C_0=1.0 \text{ kBq/m}^3$ 。

b) 按排氡子体计算:

$$Q = K_x \sqrt{\frac{\lambda_E K_E D V}{C_{PL} - C_{P0}}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- Q——采场排氡子体所需风量, 单位为立方米每秒 (m<sup>3</sup>/s);
- D——采场 (含该采场专用采准巷道) 氡析出量, 单位为千贝可每秒 (kBq/s);
- V——采场 (含该采场专用采准巷道) 通风体积, 单位为千立方米 (×10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>);
- K<sub>E</sub>——氡子体 α 潜能换算系数, K<sub>E</sub>=5.56 μ J/ kBq;
- λ<sub>E</sub>——氡子体等效衰变常数, λ<sub>E</sub>=0.316×10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>;
- C<sub>PL</sub>——采场排风氡子体 α 潜能浓度, 取 C<sub>PL</sub>=5.4 μ J/m<sup>3</sup>;
- C<sub>P0</sub>——采场入风氡子体 α 潜能浓度, 取 C<sub>P0</sub>=2.0 μ J/m<sup>3</sup>;
- K<sub>r</sub>——公式简化修正系数, 考虑入风氡污染时取 K<sub>r</sub>=0.954 (或≈1.0), 无量纲。

每个采场风量应根据矿体赋存条件分类统计计算。备用采场风量取同类型工作采场风量的 50%; 原地爆破浸出采场进行喷淋作业时, 其风量按同类型工作采场风量的 50%选取。

每个掘进工作面风量应根据其工作面类型分别按排氡或排炮烟计算选取, 或者按巷道断面 9 m<sup>2</sup>以下者取 1.5 m<sup>3</sup>/s~2.5 m<sup>3</sup>/s、大于 9 m<sup>2</sup>者取 2.5 m<sup>3</sup>/s~3.5 m<sup>3</sup>/s。

每个硐室风量应根据其硐室类别和大小计算选取。用贯穿风流通风、不需建立独立通风系统的硐室, 不单独给风。各类硐室风量推荐值见表5。

按分项计算法得出的矿井风量计算结果应用表格具体列出。

表 5 硐室风量推荐值

硐室名称	风量 m <sup>3</sup> /s	硐室名称	风量 m <sup>3</sup> /s
水泵房	1.5~3.0	炸药发放硐室	1.0~1.5
充电及变电硐室	2.0~2.5	机修硐室	1.5~2.0
井下绞车房	1.0~2.0	电耙硐室	2.0
井下空压机房	1.0~3.0	混凝土搅拌站	2.0
井下炸药库	1.5~3.0	溜矿井和穿脉放矿点	1.5~2.0

7.1.2 矿井风量总体计算法

矿井风量总体计算法是指根据全矿井总的氡析出量和通风体积, 按排氡或氡子体计算, 然后按采场、掘进工作面和硐室的不同需要分配风量。

7.1.2.1 按排氡计算, 如公式 (4):

$$Q = \frac{D}{C} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- Q——矿井排氡所需风量, 单位为立方米每秒 (m<sup>3</sup>/s);
- D——矿井氡析出量, 单位为千贝可每秒 (kBq/s);
- C——矿井总排风口氡浓度值, 单位为千贝可每立方米 (kBq/m<sup>3</sup>)。

7.1.2.2 按排氡子体计算, 如公式 (5):

$$Q = K_X \sqrt{\frac{\lambda_E K_E D V}{C_{PL}}} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$Q$ ——矿井排氡子体所需风量, 单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$D$ ——矿井氡析出量, 单位为千贝可每秒 ( $\text{kBq/s}$ );

$V$ ——矿井通风体积, 单位为千立方米 ( $\times 10^3 \text{m}^3$ );

$K_E$ ——氡子体  $\alpha$  潜能换算系数,  $K_E = 5.56 \mu \text{J/kBq}$ ;

$\lambda_E$ ——氡子体等效衰变常数,  $\lambda_E = 0.316 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ ;

$C_{PL}$ ——矿井总排风口氡子体  $\alpha$  潜能浓度值, 单位为微焦每立方米 ( $\mu \text{J/m}^3$ );

$K_X$ ——公式简化修正系数, 考虑入风氡污染为零时取  $K = 0.80$ , 无量纲。

7.1.2.3 为了保证井下工作面平均氡及其子体浓度不超过浓度控制值, 建议矿井总排风口氡浓度控制值取  $7.4 \text{kBq/m}^3$ , 氡子体浓度控制值取  $10.4 \mu \text{J/m}^3$ 。

### 7.1.3 矿井风量计算法的选用

新建矿井和老矿井扩建通风工程设计风量计算一般采用分项计算法, 生产矿井通风系统调整时风量计算可用总体计算法。

矿井氡析出量和通风体积计算方法, 分别见附录 A 和附录 B。

### 7.1.4 矿井风量设计计算选择确定

矿井风量设计计算时, 应按采掘工作最大展开时期的条件计算。排氡风量应按排氡和排氡子体两种方法计算, 取其较大值。

选择确定的采场和掘进工作面风量还应满足最低排尘风速 (或排尘风量) 的要求: 硐室型采场风速不低于  $0.15 \text{m/s}$ , 巷道型采场和掘进工作面风速不低于  $0.25 \text{m/s}$ , 电耙和二次破碎巷道风速不低于  $0.50 \text{m/s}$ 。

采用深孔爆破 (大爆破) 的采场, 爆破后通风所需风量应专门设计计算, 采取适当延长通风时间和临时调节风量的方法加大爆破区通风, 缩小炮烟污染范围。

使用柴油设备的矿井和煤型铀矿井, 选择确定的风量还应满足排柴油废气和排瓦斯的要求。

高温矿井选择确定的风量还应满足排热降温的要求。高温矿井采场和掘进工作面排热降温风量计算方法, 见附录 C。

### 7.1.5 矿井风量设计计算合理性判断

采场风量按排氡计算等于或大于按排氡子体计算的合理性判断: 在氡及其子体浓度分别取浓度值  $2.7 \text{kBq/m}^3$  和  $5.4 \mu \text{J/m}^3$ 、采场入风氡及其子体浓度分别取  $1.0 \text{kBq/m}^3$  和  $2.0 \mu \text{J/m}^3$  的条件下, 当氡析出密度  $D/V \geq 2.65 \text{Bq}/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$  时, 按排氡计算的风量等于或大于按排氡子体计算的风量; 否则, 按排氡计算的风量小于按排氡子体计算的风量。

## 7.2 矿井风量分配

矿井的风量分配应能最大限度地缩小控制分风范围, 扩大自然分风范围, 使风量的自然分配尽可能接近按需分配。矿井风量分配应符合 7.2.1~7.2.5 的要求。

7.2.1 新建、改建矿井通风工程设计中, 需风段风网风量按采场、掘进工作面和硐室各自的需要分配。

7.2.2 矿井通风工程设计中，入风段和排风段风网风量应通过解算风网来分配，以使风量分配符合风网的风阻条件。

7.2.3 平行巷道风量应根据各巷道的氨析出量和通风体积通过计算进行分配。设两条平行巷道汇合点风量为  $Q$ ，第一、第二两条巷道氨析出量分别为  $D_1$ 、 $D_2$ ，通风体积分别为  $V_1$ 、 $V_2$ ，则第一、第二条巷道风量  $Q_1$  和  $Q_2$  分别为公式 (6) 和公式 (7)：

$$Q_1 = Q\sqrt{D_1V_1} / (\sqrt{D_1V_1} + \sqrt{D_2V_2}) \dots\dots\dots (6)$$

$$Q_2 = Q\sqrt{D_2V_2} / (\sqrt{D_1V_1} + \sqrt{D_2V_2}) \dots\dots\dots (7)$$

7.2.4 矿井总风量分为有效风量和漏风量两部分。漏风量应分配在风网预计主要漏风地点。矿井主要漏风地点：压入式通风矿井在入风段，抽出式通风矿井在回风段。应在预计漏风点设一漏风回路并给出漏风量，以保持矿井风量平衡。

7.2.5 矿井风量分配结果应标在矿井通风系统图和中段平面图上。

### 7.3 矿井通风阻力计算

#### 7.3.1 原则要求

矿井通风阻力计算应遵循下列要求：

- 矿井通风阻力包括风流从入风口到排风口沿任何一条风路流动中所产生的摩擦阻力和局部阻力之总和；
- 通风阻力应按主扇整个服务期限内通风最容易时期和最困难时期两种情况分别计算，并考虑反向自然风压的影响；
- 对于通风系统比较复杂的大型矿井，如果在直观上难以判断哪条风路通风阻力最大，应选择几条风路通过计算比较选定；
- 高山矿井通风阻力计算和通风机选型时，应考虑海拔高度对通风阻力和主扇风压的影响；
- 矿井开拓巷道尤其是通风专用巷道，设计时应从经济性、合理性和施工技术等方面综合考虑确定，断面要经济合理，通风阻力不宜过大。

#### 7.3.2 通风阻力计算方法

矿井通风阻力计算之前，应根据矿井通风系统图绘制通风系统示意图，在图上将选定的路线从入风口到排风口逐段编号，并将各段风量标出，然后列表计算。

巷道通风摩擦阻力应分段按公式 (8) 计算：

$$h = \frac{\alpha LPQ^2}{S^3} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$h$ ——某段巷道的摩擦阻力，单位为帕 (Pa)；

$L$ ——巷道长度，单位为米 (m)；

$P$ ——巷道断面周界长，单位为米 (m)；

$Q$ ——风量，单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )；

$S$ ——巷道断面积，单位为平方米 ( $\text{m}^2$ )；

$\alpha$ ——摩擦阻力系数，单位为牛顿平方秒每四次方米 ( $\text{N s}^2/\text{m}^4$ )。

矿井总摩擦阻力  $h_f$  为各分段巷道摩擦阻力之和，即  $h_f = \sum h$ ，单位为帕 (Pa)。

矿井总通风阻力为总摩擦阻力和总局部阻力之和。矿井通风总局部阻力可根据矿井总摩擦阻力进

行估算，一般取总摩擦阻力  $h_f$  的 20%。即矿井总通风阻力如公式 (9)：

$$h_t = 1.2h_f \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$h_t$ ——矿井总通风阻力，单位为帕 (Pa)；

$h_f$ ——矿井总摩擦阻力，单位为帕 (Pa)。

采用压入式通风的矿井，利用导风墙风流动压的方向性解决井底车场漏风问题时，其局部通风阻力可按附录 D 中的公式进行计算。

矿井通风阻力、通风网络解算和通风机选择计算，应尽量通过计算机经多方案比较选择确定。

#### 7.4 相关的一些计算公式

矿井氡子体  $\alpha$  潜能浓度积累方程、氡浓度与氡子体  $\alpha$  潜能浓度的换算公式以及排氡子体风量计算公式的推导等，参见附录 E。

### 8 局部通风

#### 8.1 局部通风设计、工作方式和运转要求

##### 8.1.1 局部通风设计

矿井开拓、采准巷道掘进或采场切割时，应编制局部通风设计。掘进工作面、通风不良的采场和硐室，应设置局部通风机（局扇）和风筒通风。如果工作面距主风流进风道不超过 6 m，有害物质的浓度均不超过浓度限值，则允许采用扩散通风。

##### 8.1.2 局扇工作方式

局扇工作方式应优先采用压入式。当掘进工作面长度超过 200m 时，可采用压抽混合式。

多分支独头巷道的局部通风，应采用压抽混合式。压入式局扇应安设在不通风分支巷道氡污染不到的地方，抽出式局扇应安在不通风的分支巷道口。

##### 8.1.3 局扇运转要求

局扇从贯穿风流巷道中吸入的风量不应超过该巷道总风量的 70%。工作人员进入用局扇通风的工作面，应提前 20min~30 min 开动局扇。有人作业时，局扇应连续运转。

#### 8.2 局扇和风筒安装要求

##### 8.2.1 局扇和风筒安装要求

局扇和风筒安装应符合下列要求：

- a) 应选用高效低噪风机，风机噪声不应超过 GBZ 1 的规定；
- b) 压入式局扇的进风口应安装在新鲜风流处，距排风流不小于 10 m，出风口距工作面一般不大于 10 m；
- c) 抽出式局扇的进风口距工作面距离应满足有效射程要求，一般不超过 5 m，出风口应安设在回风道或者在距该分支风流交叉口不少于 10m 的下风侧；
- d) 压抽混合式通风时，作抽出式工作的局扇排风口应位于贯穿风流巷道的下风侧，距离独头巷道口不应小于 10 m；同时要求吸入口的风量比压入式工作局扇的风量大 20%~25%，吸风口比压入式局扇吸风口超前 10 m；
- e) 风筒应当吊挂平直稳固，风筒百米漏风率不应大于 10%。

##### 8.2.2 天井掘进通风

吊罐法掘进天井时，可扩大中心孔加强通风或用风筒随吊罐上下进行通风。支柱法掘进天井时，风筒应伸出保护台，并加保护罩。

### 8.3 煤型铀矿的局扇通风要求

瓦斯煤型铀矿井在开动局扇通风之前，应先检查瓦斯浓度。当局扇和电气开关附近10 m内瓦斯浓度不超过0.5%时，方可开动局扇。

### 8.4 结束作业撤除通风设施地点的安全要求

已经结束生产作业或撤除通风设施的地点需要进入检查或工作时，应预先测量空气中各种有害物质浓度，确认安全后方可进入。

## 9 通风工程构筑物

### 9.1 主扇风硐、扩散器和排风扩散塔

#### 9.1.1 主扇风硐

主扇风硐应满足下列要求：

- 风硐风压损失不应超过主扇工作风压的10%；
- 风硐漏风量不应超过主扇工作风量的5%；
- 风硐应留有人员进出口；
- 风硐内应安设测压管，并与主扇机房的压差计连通。

#### 9.1.2 主扇扩散器

主扇扩散器应满足下列要求：

- 轴流式主扇应采用圆锥形内筒和外筒构成的环状扩散器，外圆锥体的扩张角可取 $7^{\circ}\sim 12^{\circ}$ ，内圆锥体的扩张角可取 $3^{\circ}\sim 4^{\circ}$ ；
- 离心式主扇应采用长方形扩散器，扩张角可取 $8^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 。

#### 9.1.3 主扇排风扩散塔

主扇排风扩散塔断面为长方形，出口断面尺寸可取 $2.1\phi\times 2.4\phi$ （ $\phi$ 为主扇叶轮直径）。

### 9.2 风桥和导风墙

#### 9.2.1 风桥

风桥应满足下列要求：

- 通过风量大于 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 时，应开凿绕道式风桥；通过风量为 $10\text{ m}^3/\text{s}\sim 20\text{ m}^3/\text{s}$ 时，可用砖、石和混凝土砌筑；通过风量小于 $10\text{ m}^3/\text{s}$ 时，可用专制铁风筒做风桥；
- 木制风桥只准临时使用；
- 主要风路上的风桥断面积应大于 $1.5\text{ m}^2$ ，次要风路上的风桥断面积应大于 $0.75\text{ m}^2$ ；
- 各种风桥与巷道的连接处应做成圆弧形。

#### 9.2.2 导风墙

为防止压入式通风矿井的井底车场或硐口漏风，应优先采用导风墙（导风板）。在入风道与中段运输巷道交叉处安设导风墙，利用风流动压的方向性引导风流进入采区。

导风墙一般应用砖砌筑，并用水泥抹面。其出口断面可按公式（10）计算：

$$S_b = \frac{1.2}{SR} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$S_b$ ——导风墙出口断面，单位为平方米（ $\text{m}^2$ ）；

$S$ ——导风墙出口处的巷道断面，单位为平方米（ $\text{m}^2$ ）；

$R$ ——导风墙出口经采区至排风井口的总风阻，单位为牛顿平方秒每八次方米（ $\text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$ ）；



1.2——换算系数，单位为牛顿平方秒每四次方米（ $N \cdot s^2 / m^4$ ）。

入风巷道与沿脉巷道的交叉角可取  $45^\circ$ ，巷道转角和导风墙均应做成圆弧形，导风墙长度应超过巷道交叉口  $0.5\text{ m} \sim 1.0\text{ m}$ 。

导风墙造成的有效风压和设计计算，见附录 D。

### 9.3 风门和调节风窗

#### 9.3.1 风门

在既要行人、运输又要隔断风流的地方，可使用风门。行人少、不运输或运输很少的巷道，可采用普通风门；行人、运输比较频繁的主运输巷道，应采用双道自动风门。风门允许漏风量应不超过表 6 的规定。

#### 9.3.2 调节风窗

调节风窗应安设在无行人、无运输或行人、运输很少的巷道中，以减少巷道漏风量。对于抽出式通风的矿井，可设置在各中段排风道；对于压入式通风的矿井，可设在各中段进风道。

在有行人、运输的巷道中，可在风门上设置调节风窗。

表 6 风门允许漏风量

风门两端的风压差 Pa	风门的允许漏风量 $m^3/s$
<290	0.25
290~490	0.33
>490	0.42

### 9.4 风幕

在既要行人、运输又要隔断风流的巷道中，当安装风门有困难或风门使用效果差时，可安设风幕。风幕的设计与安装应满足下列要求：

- a) 风幕产生的有效风压应大于或等于未安设风幕时巷道的漏风风压；
- b) 风幕供风器缝口的风速应分布均匀；
- c) 风幕本身通风阻力小；
- d) 风幕不能妨碍行人运输。

宽口大风量循环型矿用风幕的有效风压，按公式(11)计算：

$$\Delta h = \frac{\gamma v_0^2 \cos \theta}{K + 0.5 \cos \theta} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- $\Delta h$ ——风幕的有效风压，单位为帕（Pa）；
- $\theta$ ——风幕射流轴线与巷道轴线的夹角；
- $v_0$ ——风幕出口平均风速，单位为米每秒（ $m/s$ ）；
- $\gamma$ ——空气密度，单位为千克每立方米（ $kg/m^3$ ）；
- $K$ ——断面比例系数， $K=S/S_0$ ；
- $S$ ——巷道断面积，单位为平方米（ $m^2$ ）；
- $S_0$ ——风幕出口断面积，单位为平方米（ $m^2$ ）。

### 9.5 密闭

在不需行人、运输的地方，为隔断风流，减少氡的析出与泄漏，应采取密闭措施。当巷道中有水时，在密闭墙下部应留有放水管，并把放水管一端做成“U”型，保持水封。

通风密闭的漏风量不应超过表 7 的规定值。

表 7 密闭墙允许的漏风量

密闭两端的风压差 Pa	密闭的允许漏风量 $\text{m}^3/\text{s}$
<290	0.17
290~490	0.25
>490	0.33

## 10 氡析出控制

### 10.1 氡析出运移方向的判断和矿井风压分布要求

#### 10.1.1 氡析出运移方向的判断

以氡的浓度梯度为动力的氡扩散，其方向总是由氡浓度高的地方指向氡浓度低的地方；以风流的压力梯度为动力的氡渗流，其方向总是由风压高的地方指向风压低的地方。

#### 10.1.2 矿井风压分布要求

应根据矿井风压分布形成的氡渗流区和氡渗流大小调整矿井风压分布，确保产生氡渗流区段的氡析出方向背离工作区，指向地表或排风道。应减小入风道之间、工作面之间、工作面与入风道之间的风压差。应降低采空区和密闭区的风压差。

### 10.2 控制氡析出的方法和措施

#### 10.2.1 利用风压控制氡析出

风压控制氡析出的技术要求：

- 当矿岩裂隙节理较发育，或存在崩落区、地表塌陷区，外部氡渗流造成入风污染较大（工作面入风氡浓度或氡子体浓度达到浓度控制值的 30%~50%）时，应采用正压通风，使通风空间处于正压状态。如果采用正压通风有困难，应在通风空间与地表之间建立低压区，使采区工作面形成高于相邻采空区或回风空间的风压，外部氡渗流方向背离生产中段，指向建立的低压区；
- 调节井下风压分布，或者采用钻孔、低压管抽排氡，把采空区、密闭区析出的氡引到地表或回风道，减少采空区、密闭区的氡向作业空间泄漏；
- 对渗透性较好的局部地点，可用局部增压的方法，抑制局部地点的氡析出。

#### 10.2.2 常规采场氡析出控制

常规采场氡析出控制的技术要求是：

- 分层崩落法采场：在采场顶部崩落区建立低压区，或者在采场用局扇加压，使顶部崩落区的氡析出方向背离采场工作面；
- 充填法采场：采场的充填料一般应采用放射性含量较低的物料，如河沙、卵石、石料或者废石，如果采用堆浸尾渣或尾矿做充填料时，顺路井应砌筑严密，并应采用下行通风；
- 留矿法采场：应采用下行通风。当采用下行通风会污染下部主风流、采用上行通风入风污染严重时，可在采场留矿堆中强制抽排氡。

#### 10.2.3 原地爆破浸出采场氡析出控制

应根据井下风流方向并联布置，防止污风串联，加强集液系统和布液系统通风，布液与集液全部采用管道输送，杜绝明沟集液，管道引入采场的孔或联络巷道均应严格密闭，减少氡从采场逸出的通道。

布液巷和集液巷之间宜采用均压通风或强制抽排氡，同时应根据通风系统氡渗流方向，将集液池与布液系统布置在回风巷一侧，背离进风方向。井下原地爆破采场应根据一次爆破炸药消耗量确定所需通风时间，进入采场前应对有毒气体进行监测，确认安全后方可进入工作面。

#### 10.2.4 无轨采矿采场氡析出控制

无轨采矿的铀矿井，确定斜坡道在各中段进出口位置时，既要考虑采掘方便与经济合理，还应考虑避免在通风系统中造成风流串联，并确保处于角联位置的斜坡道、无轨采场有足够的预定风量进入。

#### 10.2.5 利用密闭控制氡析出

密闭控制氡析出的技术要求是：

- a) 降压区内的密闭墙位置应选在进风段。当密闭墙建在进风段有困难，不得不建在回风段，或对主风流有氡污染时，可在密闭墙上留一小口，允许有少量漏风，以控制氡析出方向；
- b) 增压区的密闭位置应选在回风段；
- c) 防氡密闭应砌筑严密，比通风密闭应具有更好的气密性，严防密闭区内氡、氡子体的泄漏；
- d) 对于三个月以上、一年以下暂不作业的采场和独头巷道应进行临时性密闭。对一年以上暂不作业的采场和独头巷道应进行长期性密闭。

#### 10.2.6 利用防氡覆盖层控制氡析出

防氡覆盖层适用条件：对穿过矿体或裂隙发育的岩体，又与采空区有空气动力学联系的入风巷道，如果入风风流氡浓度增高值达到工作面氡浓度控制值的30%以上时，可采用防氡覆盖层减少巷道周壁的氡析出量。

覆盖层材料的选择要求：

- a) 材料能牢固地粘附在矿岩表面，能形成连续的膜；
- b) 材料不自燃、不助燃，施工中不会产生有害气体和难闻的气味，遇火不会产生有害的烟雾；
- c) 材料对氡的溶解系数和扩散系数小；
- d) 材料不妨碍矿石的开采和加工处理。

铀矿井可采用水泥砂浆和防氡涂料做覆盖层。

#### 10.2.7 工程控制氡析出

工程控制氡析出的措施有：

- a) 将进风巷道布置在脉外；
- b) 用钻探代替坑探；
- c) 选用矿岩暴露面积小，矿石存留量小且存留时间短的采矿方法；
- d) 严格遵守回采顺序，合理设计采场结构，减少采场的通风死角；
- e) 对高含氡水涌出地点，应用注浆法堵塞裂隙，或采用专用管路、密闭水沟等措施，将高含氡水引到指定地点，并排至地表。

#### 10.2.8 控制氡子体的增长

控制氡子体增长的措施有：

- a) 防止入风污染，尽量减小通风空间，减少漏风，缩短风流在井下通风空间的滞留时间；
- b) 消除通风死角，防止氡子体在局部空间积累；
- c) 在主扇风压作用不到的局部地点，如果氡子体 $\alpha$ 潜能浓度超过控制值3~5倍时，应采用过滤、净化氡子体的措施；
- d) 应根据各进风巷道的通风空间体积和氡析出量合理分配进风量，使矿井平均氡子体 $\alpha$ 潜能浓度达到最低。

## 11 氡析出率测定

### 11.1 氡析出率测定方法选择

用于通风设计计算的氡析出率，应以全巷动态法测定为准。当氡析出率较低，用全巷动态法测定有困难时，可用局部静态法测定，经修正以后可供设计选用。

### 11.2 全巷动态法

#### 11.2.1 全巷动态法测定的基本要求

采用全巷动态法应满足下列要求：

- 被测巷道周壁矿岩的氡析出性质应有较好的代表性；
- 被测巷道不能堆有矿岩，不能有通风死角，不应有循环风。测量段不能与其它井巷贯通；
- 测量段的当量氡析出面积应不小于  $30\text{m}^2$ ；
- 被测巷道的风流和氡浓度分布稳定时方可测定。每次测定都应详细记录测点和地面的气象条件。

#### 11.2.2 全巷动态法的测点布置

当被测巷道有贯穿风流时，应在巷道的入风侧建立入风测点，在巷道的出风侧建立出风测点。

当被测巷道为独头巷道，采用压入式局部通风时，入风测点距压入式风筒出风口应不小于  $5\text{m}$ ，出风测点距主风流巷道应不小于  $4\text{m}$ 。

#### 11.2.3 全巷动态法测量结果的计算

##### 11.2.3.1 巷道有贯穿风流时，氡析出率按公式（12）计算：

$$J = \frac{Q(C_1 - C_2)}{S} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- $J$ ——氡析出率，单位为千贝可每平方米秒 ( $\text{kBq} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )；
- $Q$ ——被测巷道通过风量，单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3 / \text{s}$ )；
- $C_1$ ——出风测点的氡浓度，单位为千贝可每立方米 ( $\text{kBq} / \text{m}^3$ )；
- $C_2$ ——入风测点的氡浓度，单位为千贝可每立方米 ( $\text{kBq} / \text{m}^3$ )；
- $S$ ——测量段的氡析出面积，单位为平方米 ( $\text{m}^2$ )。

##### 11.2.3.2 巷道用局扇通风时，按公式（13）计算：

$$J = \frac{Q_1 C_1 - Q_2 C_2 - (Q_1 - Q_2) C_0}{S} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- $J$ ——氡析出率，单位为千贝可每秒平方米 ( $\text{kBq} / (\text{s} \cdot \text{m}^2)$ )；
- $Q_1$ ——出风测点风量，单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3 / \text{s}$ )；
- $C_1$ ——出风测点氡浓度，单位为千贝可每立方米 ( $\text{kBq} / \text{m}^3$ )；
- $Q_2$ ——入风测点风量，单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3 / \text{s}$ )；
- $C_2$ ——入风测点氡浓度，单位为千贝可每立方米 ( $\text{kBq} / \text{m}^3$ )；
- $C_0$ ——压入式局扇的入风氡浓度，单位为千贝可每立方米 ( $\text{kBq} / \text{m}^3$ )；
- $S$ ——测量段的氡析出面积，单位为平方米 ( $\text{m}^2$ )。

#### 11.2.4 全巷动态法测量结果的应用

全巷动态法测得的氡析出率或当量氡析出率，不能直接用于通风设计。应按风速和大气压波动的影

响对测量结果进行修正之后，才能用于通风设计。

首先求出风速和大气压波动对氡析出率影响的回归方程，然后用该回归方程对风速和大气压进行修正，得出氡析出率，如公式（14）：

$$J = a + bv_0 + c\Delta p_0 \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- $J$ ——氡析出率，单位为千贝可每秒平方米（kBq / (s · m<sup>2</sup>))；
- $a$ ——回归常数，单位为千贝可每秒平方米（kBq / (s · m<sup>2</sup>))；
- $b$ ——对风速的回归系数，单位为千贝可每立方米（kBq / m<sup>3</sup>）；
- $v_0$ ——矿井最常见的风速，单位为米每秒（m / s）；
- $c$ ——对大气压波动的回归系数，单位为千贝可每秒平方米帕（kBq / (s · m<sup>2</sup> · Pa)）；
- $\Delta p_0$ ——当地气象部门确定的最大气压波动幅度，单位为帕（Pa）。

### 11.3 局部静态法

#### 11.3.1 局部静态法测定基本要求

采用局部静态法应满足下列要求：

- a) 被测的氡析出介质表面应光滑平整，最好能刻出与积累箱大小相似的槽，槽深可取 2 cm~5 cm；
- b) 积累箱的高度应小于 10 cm，积累箱与氡析出介质表面接触的边缘部分应仔细密封；
- c) 氡的初始浓度不应大于 3.7 kBq / m<sup>3</sup>；
- d) 每次取样量应小于积累空间体积的 10%，取样等间隔时间应小于 1h，用真空法取样时取样速度不应太快；
- e) 全部取样工作应在积累箱内氡浓度线性增长段完成。

#### 11.3.2 局部静态法测量装置

积累箱应采用不透气、不吸附氡的材料（如铁皮）做成。箱子与氡析出介质表面构成一个密封的积累空间。积累箱上应留有氡气取样口和进气口。

#### 11.3.3 局部静态法测量结果计算

局部静态法测量结果按公式（15）计算：

$$J = \frac{KV(C_2^2 - C_3C_1)}{S(C_2 - C_1)} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- $J$ ——氡析出率，单位为千贝可每秒平方米（kBq / (s · m<sup>2</sup>))；
  - $K$ ——系数，1 / s，取值见表 8；
  - $V$ ——积累空间体积，单位为立方米（m<sup>3</sup>）；
  - $S$ ——被测氡析出介质的表面积，单位为平方米（m<sup>2</sup>）；
  - $C_1$ ——氡的初始浓度，单位为千贝可每立方米（kBq / m<sup>3</sup>）；
  - $C_2$ ——经过 1 倍取样间隔时间的氡浓度，单位为千贝可每立方米（kBq / m<sup>3</sup>）；
  - $C_3$ ——经过 2 倍取样间隔时间的氡浓度，单位为千贝可每立方米（kBq / m<sup>3</sup>）。
- 氡的初始浓度是指测量装置刚安装完毕，即从取样口取第一样品测得的氡浓度。

表 8 系数  $K$  的取值

单位为秒分之一

取样间隔时间 min	岩 石 条 件				
	致密、裂隙 很少	较致密、 有裂隙	中等孔隙、 裂隙较多	多孔隙、裂隙 很发育	松散岩体
15	$1.1 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-3}$
30	$5.6 \times 10^{-1}$	$5.6 \times 10^{-1}$	$6.0 \times 10^{-1}$	$6.6 \times 10^{-1}$	$8.5 \times 10^{-1}$
60	$2.8 \times 10^{-1}$	$2.9 \times 10^{-1}$	$3.2 \times 10^{-1}$	$3.9 \times 10^{-1}$	$6.0 \times 10^{-1}$

#### 11.3.4 局部静态法测量结果的应用

局部静态法测得的氮析出率或当量氮析出率，不能直接用于通风设计。应乘以一个修正系数  $k$ ，得出氮析出率修正值才能应用。修正系数  $k$  取值见表 9。

表 9 修正系数  $k$  取值

氮析出介质孔隙度	修正系数 $k$
1%~2%	5
5%~10%	10
20%~30%	20

## 12 矿井通风系统的测定

### 12.1 通风系统测定的目的和基本要求

#### 12.1.1 通风系统测定的目的

通风系统测定的目的是为分析评价矿井通风技术经济效果提供必需的数据，分析通风系统存在的主要问题及其原因，提出调整改进或补救措施，以保持和提高矿井通风系统的完善性与合理性。

#### 12.1.2 通风系统测定的基本要求

通风系统测定应满足如下基本要求：

- 通风系统全面测定应在矿井生产正常、通风正常的条件下进行，所有测点的测定工作应在一个工班内完成；
- 污染检查和主扇工况检查，应在一个工班内完成全部测点的测定工作。如果在一个工班内完成确有困难，可在连续两个工班内完成测定工作，但应把全部测定数据换算成一个工班的测定数据，供分析计算；
- 凡主要风道均应建立固定测风站，测风站应符合下列要求：测风站应设在平直的巷道中，前后各 10m 内不应有障碍物、拐弯等；测风站位于巷道断面不规整处时，巷道壁应用水泥砂浆抹面，使表面平整光滑，长度不少于 4m；测风站应有明显标记，并有巷道断面记录；
- 铀矿山应配备足够数量的通风防护检测仪器仪表，并对仪器仪表按规定要求进行校正。

## 12.2 氮污染检查

### 12.2.1 氮污染检查的测点布置

氮污染检查的测点布置应满足下列要求：

- 为检查入风风质，应在矿井总入风口、各中段进风口以及各采掘工作面入风口布置测点；
- 为检查矿井总排氮量，应在各中段回风道或总回风道出风口附近布置测点；
- 每个工作面均应布置测点，并根据需要在采掘工作面的排风流中布置测点；
- 为检查矿井风流污染率，应沿风路均匀布置测点；

e) 为查找氡污染源,应在可疑点的上风侧和下风侧布置测点。

#### 12.2.2 氡污染检查的测定要求

污染检查的测定应满足下列要求:

- a) 取样位置的选择应能满足测点布置的目的和要求;
- b) 同一测点应同时测量氡、氡子体 $\alpha$ 潜能浓度和风量;
- c) 取样时,应弄清周围环境有关情况。

#### 12.2.3 氡污染源类型与位置判定

##### 12.2.3.1 氡污染源位置的判定方法

判定氡污染源可采用下列方法:

- a) 全面测定污染率法:适用于判定比较重要风路上的氡污染源;
- b) 追踪测量法:当井下某测点出现异常氡浓度时,逆风布置测点追查氡污染源;
- c) 不通风区域氡污染源查找法:在出现异常氡浓度的测点周围,凡有通道的地点都布置测点,氡浓度最高的测点附近就是氡污染源所在位置。

##### 12.2.3.2 氡污染源类型

根据氡污染源所在位置氡浓度的变化,可判定氡污染源的类型:

- a) 均布污染源:它连续地分布于风路上的某一段井巷。受其污染的主风流的氡浓度是逐渐增加的,不会发生突变;
- b) 集中污染源:它存在于风路上某一局部或某几处。受其污染的主风流的氡浓度在氡污染源附近不是逐渐增加的,而是突然增加。

#### 12.2.4 氡污染检查结果分析和评价

氡污染检查结果分析应进行下列工作:

- a) 对测定结果进行氡量平衡;
- b) 绘出各中段通风平面图;
- c) 确定每个氡污染源在通风系统中的位置,分析氡污染源污染矿井大气的原因;
- d) 计算工作面的氡、氡子体 $\alpha$ 潜能浓度合格率,计算工作面 and 矿井的平均氡浓度;
- e) 根据氡污染源评价指标——污染强度、污染能力和污染程度的大小,确定每个氡污染源在通风系统中的地位,评价矿井的氡污染状况,提出改进或补救措施。

### 12.3 风量检查测定

#### 12.3.1 风量检查的测点位置

风量检查的测点位置应满足下列要求:

- a) 测点应设在平直巷道中,测点前后各5m内巷道断面无明显变化;
- b) 测点不应布置在风流分支或汇合处附近。不得不布置在这些地方时,应保证测点距分风点大于2倍巷道宽度,距汇风点大于3倍巷道宽度。

#### 12.3.2 测点断面和平均风速的测定

规则断面按常规方法测量,用相应的几何面积公式计算。不规则断面按抛物线定积分法测量计算,参见附录F。

平均风速测定应符合下列要求:

- a) 风表应正对风流,移动方向与风流方向垂直;
- b) 线路法应使风表在断面上均匀移动,格点法应在断面上均匀布点;
- c) 每个测点测量次数不少于三次,测量相对误差应不超过 $\pm 3\%$ 。

### 12.3.3 矿井总风量检查

矿井总风量检查应按下列要求进行：

- a) 压入式通风矿井：主要检查矿井总进风、生产中段的供风量及氧浓度，判断矿井总风量是否满足排氧通风的要求；
- b) 抽出式通风矿井：主要检查中段及分区的回风量与氧浓度，检查矿井总进风和中段进风是否受到污染；
- c) 压抽混合式通风矿井，检查内容包括前面 a) 和 b) 两项。

### 12.3.4 工作面风量检查

工作面风量检查按下列要求进行：

- a) 判断采场有无漏风；
- b) 分析入风污染对工作面的影响；
- c) 计算工作面需风量，检查工作面风量分配是否合理。

### 12.3.5 漏风检查

漏风检查按下列要求进行：

- a) 沿风路布置测点，通过测定风量的差异来查找漏风地点与漏风量；
- b) 对入风段和需风段的漏入风流，应按入风风质要求作仔细检查；
- c) 除了为控制氧析出方向而给的必要漏风外，其它的漏出新风都是无益的。抽出式矿井回风段的漏入风流也是无益的。

### 12.3.6 风量检查结果分析

风量检查结果分析按下列要求进行：

- a) 对测定结果进行风量平衡；
- b) 检查井下风速是否符合要求；
- c) 根据矿井总进风的入风风质和风量，判断矿井供风量是否满足需要；
- d) 找出中段之间、工作面之间风量分配不合理的原因；
- e) 找出主要漏风地点和漏风量，分析产生漏风的原因，评价漏风对降氧的影响，提出改进或补救的措施。

## 12.4 通风阻力测定

### 12.4.1 测点布置

测点布置应符合下列要求：

- a) 凡主要风流分支或汇合的地点附近应布置测点。当测点位于风流分支或汇合处之前（风流方向为准）时，其间的距离应大于巷道宽度的 3 倍；当测点位于风流分支或汇合处之后（以风流方向为准）时，其间的距离应大于巷道宽度的 6 倍；
- b) 测点前后各 3 m 长的巷道断面无明显变化，支架完好，无堆积物；
- c) 同一风路上相邻两测点间的通风阻力应不小于 10 Pa，不大于测压仪器的量程；
- d) 每条通风阻力测定线路中，各测点的风向应一致；
- e) 矿井各中段均应布置测点。保证通过对所有测点的测定，能计算出通风阻力测定所需的结果。

### 12.4.2 通风阻力测定方法

矿井通风阻力可用倾斜压差计、恒温压差计或精密气压计测定。

倾斜压差计应采用静压法测量，适用于风路较短的小矿井。对于风路较长或倾斜压差计测定有困难的矿井，应用恒温压差计或精密气压计测定，采用基点法（逐点测量法）测量。



12.4.3 通风阻力测定要求

通风阻力测定应符合下列要求：

- a) 读数波动较大时，应取几次读数的平均值作为测点读数；
- b) 每个测点应往返各测定一次，两次读数相对误差应不超过±5%。

12.4.4 通风阻力测定结果分析

通风阻力测定结果分析按下列要求进行：

- a) 对测定结果进行风压平衡，算出每条测定线路的通风阻力；
- b) 绘出矿井氡渗流方向示意图；
- c) 找出压抽混合式通风矿井的零压点位置；
- d) 作出每条测定线路的压力坡线图，找出压力损失大的地段，分析氡污染源所处位置的压力状况，提出改进或补救的措施。

12.5 主扇工况检查

12.5.1 主扇工作风量测定

主扇工作风量应在主扇风硐的风流稳定地段测定。

12.5.2 主扇工作风压测定

主扇工作风压测定按下列要求进行：

- a) 压入式主扇测定风硐断面全压，主扇工作风压在数值上等于风硐断面风流全压；
- b) 抽出式主扇测定风硐断面全压和扩散器出口平均速压，主扇工作风压在数值上等于风硐断面风流全压与扩散器出口平均速压的算术和；
- c) 压抽混合式主扇测定出风风硐与进风风硐的风流全压差，主扇工作风压在数值上等于出风风硐与进风风硐的风流全压差；
- d) 测定时应在主扇风硐断面上均匀布点（不少于九点），取各点压力平均值作为风硐断面的风压。

12.5.3 主扇电机功率测定

主扇电机功率可用功率表直接测定，也可测定主扇电机的线电流、线电压和功率因数，按公式（16）计算：

$$N = \sqrt{3}IU \cos \phi \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- $N$ ——主扇电机功率：单位为千瓦（kW）；
- $I$ ——主扇电机线电流，单位为安（A）；
- $U$ ——主扇电机线电压，单位为千伏（kV）；
- $\cos \phi$ ——主扇电机功率因数，无量纲。

12.5.4 主扇工况测定结果分析

主扇工况测定结果分析按下列要求进行：

- a) 找出主扇工况点，分析判断主扇与矿井阻力特性是否相适应；
- b) 计算主扇效率和主扇电机效率，分析主扇电机与主扇的匹配情况；
- c) 分析判断多台主扇联合作业的稳定性与经济性；
- d) 根据测定结果，提出改进或补救措施。

13 铀矿井通风管理

13.1 铀矿井通风降氡专业队伍的职责

铀矿井应建立通风降氡专业队伍，其职责是：

- a) 定期监测井下通风参数和有害物质浓度，并按规定上报监测数据和资料；
- b) 矿井通风设施的施工、安装和维护；
- c) 矿井通风系统的测定与检查；
- d) 矿井通风系统的调整；
- e) 矿井通风资料的整理汇总。

### 13.2 通风监测与通风系统测定的频度

#### 13.2.1 通风参数监测频度不应小于表 10 的规定。

表 10 通风参数监测频度

单位为次/月

通 风 参 数	监 测 频 度
矿井总入风量、总排风量	1
采掘工作面和主要通风巷道的风量	1
矿井气象条件	1/3
辅助工作面的风量	1/3

#### 13.2.2 有害物质监测频度不应小于表 11 中的规定。

#### 13.2.3 矿井通风系统全面测定应每年进行一次，氡污染检查和主扇工况检查应每季进行一次。

表 11 有害物质监测频度

单位为次/月

测 量 地 点	氡浓度	氡子体浓度	粉尘浓度
矿井总入风、总排风	1	1	1
中段和采场的入风	2	2	2
井下主要工作面	2	2	2
井下辅助工作面	1	1	1

### 13.3 铀矿井通风系统常规测量参数

铀矿井应进行常规的通风系统调整和测试，需要测量的主要参数为：

- a) 矿井风量、通风阻力及主扇工况；
- b) 气压、温度、相对湿度；
- c) 粉尘、氡及氡子体  $\alpha$  潜能浓度；
- d) 氧 ( $O_2$ ) 和一氧化碳 ( $CO$ ) 等气体浓度。

### 13.4 经常性通风管理

#### 13.4.1 通风系统管理与维护

通风系统管理与维护包括：

- a) 保持矿井风流稳定：防止角联网路的对角巷道风流反向，防止并联网路巷道与采空区沟通，加强对角式通风网路中部的工作面或采空区密闭的管理；
- b) 遵守入风要求：保证矿井总入风从预定的入风口进入，防止从采空区、塌陷区及岩体裂隙等事先未考虑的通道入风；
- c) 防止漏风：防止污风进入矿井入风段和需风段，限制新风的漏出。对压入式通风的矿井，应尽量减少井底车场和平硐口的漏风。对抽出式通风的矿井，应特别注意地表塌陷区和采空区的漏风，防止短路吸风；
- d) 通风构筑物维护：经常检查维护各通风工程构筑物和排风井巷，保持通风构筑物和排风系统的

完好。凡是保护入风的密闭，均属防氨密闭，一般不应留出入口，更不能随意拆开；

- e) 主扇检查：主扇每月应由机电部门检查一次。对自动遥控的主扇，每两周应对自控系统检查一次；
- f) 采空区监测检查：加强对采空区、废旧巷道氨析出的监测检查与控制；
- g) 通风系统调整：经常检查通风系统，调节风量分配，尽可能使工作面供风量等于其需风量；随着生产的发展变化，保持通风系统的完善性与合理性。

#### 13.4.2 采场和掘进工作面通风管理

采场和掘进工作面通风管理包括：

- a) 新采场设计应做出采场通风设计。生产采场的进风天井和排风天井不应堵塞；
- b) 对探矿、找边形成的采场通风死角，可用小风机、压气引射或水流引射等措施加强通风。采场爆破后，应加强通风；
- c) 采场需风量核算，出现下列情况之一者，应重新计算采场需风量：采场的氨和氨子体 $\alpha$ 潜能浓度均稳定地低于浓度控制值的一半；采场入风符合要求，采场工作面的氨、氨子体 $\alpha$ 潜能浓度均超过浓度控制值；正常通风条件下，采场平衡因子偏高；
- d) 采掘工作面一般不能串联通风。有时不得不采用串联通风时，应采取有效措施，保证下一个风流工作面的有害物质浓度均不超过规定的要求。

#### 13.4.3 调整生产能力和基建期的通风管理要求

凡新建、改建、扩建或采取措施增加生产能力的矿井和中段，应有相应的通风防护措施。矿井开拓新中段或新水平的排风，应引入总排风道或主要排风道。

基建期未形成正常通风系统时，应采取有效措施，确保井下工作面通风良好。

#### 13.4.4 通风系统有关图纸资料

铀矿井应绘制矿井通风系统立体示意图、矿井氨渗流示意图和生产中段通风平面图，建立矿井通风与排氨技术档案。

通风系统立体示意图应标明风向、风量和氨浓度。矿井氨渗流示意图应标明风向、氨浓度和氨渗流方向。生产中段通风平面图应标明风向、风量、氨浓度，并标出井巷、工作面、通风设施和氨污染源的实际位置。

上述图纸每年应重新绘制一次，每季应根据矿井通风状况的变化修改一次。

#### 13.5 矿井通风经济分析

矿井通风管理和工程设计都应进行通风经济分析，计算开采每吨矿石的通风总费用。通风总费用项目包括：

- a) 通风设备折旧费；
- b) 矿井通风动力费；
- c) 矿井通风材料消耗费；
- d) 通风人员工资（含劳保、医疗和保险等）；
- e) 通风专用井巷工程折旧和维护费；
- f) 通风仪表购置、维修费。

#### 13.6 通风系统技术经济效果评价

##### 13.6.1 矿井通风技术经济指标评价

矿山企业每年年底进行一次通风技术经济指标评价，并向主管部门上报，由主管部门进行检查评价。

##### 13.6.2 矿井通风系统技术经济评价指标体系

矿井通风系统技术经济评价指标体系由 3 类 11 项指标组成，见表 12。

表 12 矿井通风系统技术经济评价指标体系

指 标 名 称	单 位	数 值			备 注
		最小	最大	平均	
A 排氡降尘指标					
1 年平均氡和粉尘浓度					
工作面平均氡浓度	kBq/m <sup>3</sup>				
工作面平均氡子体浓度	μ J/m <sup>3</sup>				
工作面平均粉尘浓度	mg/m <sup>3</sup>				
2 年平均氡和粉尘浓度合格率					
工作面平均氡浓度合格率	%				
工作面平均氡子体浓度合格率	%				
工作面平均粉尘浓度合格率	%				
B 通风技术指标					
1 主通风机效率	%				
2 矿井有效风量率	%				
C 通风经济效益指标					
1 年产万吨矿石通风量	(m <sup>3</sup> /s)/(10 <sup>4</sup> t/a)				
2 单位矿石年通风电耗	kW h/t				
3 单位矿石年通风费用	元/t				

### 13.6.3 几项主要指标的计算方法

#### 13.6.3.1 平均氡和粉尘浓度计算方法如下：

1) 工作面年平均氡浓度：

$$C = \frac{\sum C_i}{n} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$C$ ——全矿井工作面年平均氡浓度，单位为千贝可每立方米 (kBq / m<sup>3</sup>)；

$C_i$ ——每个工作面的年平均氡浓度，单位为千贝可每立方米 (kBq / m<sup>3</sup>)；

$n$ ——工作面总数。

2) 工作面年平均氡子体 α 潜能浓度：

$$C_p = \frac{\sum C_{pi}}{n} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$C_p$ ——全矿井工作面年平均氡子体 α 潜能浓度，单位为微焦每立方米 (μ J/m<sup>3</sup>)；

$C_{pi}$ ——每个工作面的年平均氡子体 α 潜能浓度，单位为微焦每立方米 (μ J/m<sup>3</sup>)；

$n$ ——工作面总数。

3) 工作面年平均粉尘浓度：

$$C_d = \frac{\sum C_{di}}{n} \dots\dots\dots (19)$$

式中:

$C_d$ ——全矿井工作面年平均粉尘浓度, 单位为毫克每立方米 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );

$C_a$ ——每个工作面的年平均粉尘浓度, 单位为毫克每立方米 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );

$n$ ——工作面总数。

13.6.3.2 平均氡和粉尘浓度合格率计算方法如下:

工作面年平均氡、氡子体或粉尘浓度合格率:

$$\eta = \frac{N_1}{N_t} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中:

$\eta$ ——工作面年平均氡、氡子体或粉尘浓度合格率, %;

$N_t$ ——全矿井工作面全年氡、氡子体或粉尘浓度监测样品总数, 个;

$N_1$ ——全矿井工作面全年氡、氡子体或粉尘浓度监测样品总数中低于标准限值的样品数。

13.6.3.3 主扇(主通风机)效率计算方法如下:

$$\eta_f = \frac{H_f Q_f}{1000W \eta_d \eta_c} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中:

$\eta_f$ ——主扇效率, %;

$H_f$ ——主扇工作风压, 单位为帕 (Pa);

$Q_f$ ——主扇工作风量, 单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$W$ ——主扇电机输入功率, 单位为千瓦 (kW);

$\eta_d$ ——主扇电机效率, 应实测, 如无条件实测, 可取  $\eta_d=0.85\sim 0.90$ ;

$\eta_c$ ——主扇与电机之间传动效率, 直接连接  $\eta_c=1.00$ , 其它传动  $\eta_c=0.85$ 。

13.6.3.4 矿井有效风量率计算方法如下:

$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_f} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中:

$\eta_e$ ——矿井有效风量率, %;

$Q_e$ ——矿井有效风量(即进入各种工作面的风量之和), 单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$Q_f$ ——主扇工作风量, 单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

13.6.3.5 矿井年产万吨矿石通风量计算方法如下:

$$q = \frac{Q_f}{A} \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

$q$ ——矿井年产万吨矿石通风量, 单位为立方米每秒每万吨 ( $(\text{m}^3/\text{s})/(10^4\text{t})$ );

$Q_f$ ——主扇工作风量, 单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$A$ ——矿井年产矿石量, 单位为万吨 ( $\times 10^4\text{t}$ )。

13.6.3.6 矿井单位矿石年通风电耗计算方法如下:

$$E = \frac{\sum TW_f}{A} \dots\dots\dots (24)$$

式中：

$E$ ——矿井单位采掘矿石量通风电耗，单位为千瓦时每吨 (kWh/t)；

$T$ ——主扇、辅扇或局扇的年运转时间，单位为小时 (h)；

$W_f$ ——主扇、辅扇或局扇功率 (实测，局扇可取额定功率)，单位为千瓦 (kW)；

$A$ ——矿石年产量，单位为吨 (t)。

附录 A  
(规范性附录)  
氡析出量计算方法

### A.1 矿井氡析出量计算方法

A.1.1 生产矿井通风系统调整时, 矿井氡析出量可以用实测方法确定, 即根据矿井入、回风氡浓度和风量按公式 (A.1) 计算。

$$D = (C_2 - C_1)Q \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- $D$ ——矿井氡析出量, 单位为千贝可每秒 (kBq/s);
- $C_1$ ——矿井入风氡浓度, 单位为千贝可每立方米 (kBq/m<sup>3</sup>);
- $C_2$ ——矿井回风氡浓度, 单位为千贝可每立方米 (kBq/m<sup>3</sup>);
- $Q$ ——矿井风量, 单位为立方米每秒 (m<sup>3</sup>/s)。

在矿井排氡和排氡子体风量计算时, 矿井氡析出量不包括已密闭的采空区和废巷道的氡析出量。

A.1.2 新建、改建矿井通风设计中, 矿井预计氡析出量一般按三部分计算, 见公式(A.2)。

$$D = D_a + D_b + D_c \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- $D$ ——矿井预计氡析出量, 单位为千贝可每秒 (kBq/s);
- $D_a$ ——矿壁表面氡析出量, 单位为千贝可每秒 (kBq/s);
- $D_b$ ——崩落矿堆氡析出量, 单位为千贝可每秒 (kBq/s);
- $D_c$ ——矿井水氡析出量, 单位为千贝可每秒 (kBq/s)。

### A.2 矿壁表面氡析出量

A.2.1 矿壁表面氡析出量按公式 (A.3) 计算。

$$D_a = J_d S_d \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- $D_a$ ——矿壁表面氡析出量, kBq/s;
- $J_d$ ——当量氡析出率 (即单位当量氡射气面积的氡析出量), kBq/(s·m<sup>2</sup>·1%);
- $S_d$ ——当量射气面积 (即折算为铀品位为 1%、铀镭平衡系数为 1 的氡析出面积), m<sup>2</sup>·1%。

采空区和废巷道矿壁表面氡析出量也可以按公式 (A.3) 计算。

A.2.2 当量射气面积按公式 (A.4) 计算。

$$S_d = SaK_p \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

- $S_d$ ——当量射气面积, m<sup>2</sup>·1%;
- $S$ ——矿壁面积 (即岩矿体暴露面积), 单位为平方米 (m<sup>2</sup>);
- $a$ ——矿石和围岩铀品位, %;
- $K_p$ ——铀镭平衡系数, 相对单位。

矿壁面积包括巷道周壁面积和端部断面面积。周壁面积按公式 (A.5) 计算。

$$S = PL \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

$P$ ——巷道（包括井筒、采场和硐室）周边长，单位为米（m）；

$L$ ——巷道长度，单位为米（m）。

矿石和围岩铀品位不同，其当量射气面积应分别计算。

A.2.3 矿壁面积和当量射气面积应根据矿井通风系统图、中段平面图、采矿方法图和巷道断面图列表统计计算。统计计算范围包括入风段、需风段和回风段（不包括采空区和废巷道）。

矿石和围岩铀品位应根据地质报告确定。其中，工业矿体铀品位按矿石平均品位计算；围岩铀品位如为平衡表外矿石，则取表外矿石平均品位，如为非表外矿石，则根据矿化的均匀性、距矿体的远近及其与矿体的相对位置选取。

铀镭平衡系数应由地质报告提供。改建矿井和生产矿井的铀镭平衡系数应当根据实测资料确定。

A.2.4 新建矿井当量氡析出率一般由地质报告提供，也可参照类似条件的生产矿井测定资料选取。

生产矿井和改建矿井当量氡析出率应当用“全巷动态法”测定（即以该法为准，局部静态法测定的结果应当进行修正）。

几种铀矿石的当量氡析出率，见表 A.1。

表 A.1 几种铀矿石的当量氡析出率

矿石名称	铀品位 %	铀镭平衡系数	当量氡析出率 kBq/ (s·m <sup>2</sup> ·1%)
花岗岩、花岗斑岩	0.153	1.04	0.11
斑状花岗岩	0.179	1.12	0.15
斑状花岗岩	0.37	1.13	0.13
黑云母花岗岩	0.198	1.08	0.13
流纹岩	0.09	1.05	0.14
炭质硅岩、炭质砂岩	0.098	1.09	0.17
黑色石英岩、嫩石英岩	0.1~0.2	1.0~1.1	0.12
含铀褐煤	0.27	1.3	0.18

### A.3 崩落矿堆氡析出量

A.3.1 崩落矿堆氡析出量根据矿堆中铀—238 金属量及其放射性活度（ $1.23 \times 10^7$  kBq/t）、氡—222 衰变常数（ $2.1 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ ）和射气系数等参数按公式（A.6）计算。

$$D_b = 0.258W\alpha\eta K_p K_s \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

$D_b$ ——崩落矿堆氡析出量，单位为千贝可每秒（kBq/s）；

$W$ ——矿堆矿量，单位为吨（t）；

$\alpha$ ——矿石铀品位，%；

$\eta$ ——矿岩射气系数，相对单位；

$K_p$ ——铀镭平衡系数，相对单位；

$K_s$ ——氡从矿堆析出后的衰减系数，相对单位。

采空区和废巷道的填体、陷落体氡析出量也可按公式（A.6）计算。

A.3.2 矿井崩落矿堆矿石总量根据矿井生产能力、采矿方法和采掘进度计划确定。矿岩射气系数由地质报告提供或者试验测定，也可参照类似条件的矿井测定资料选取。一些含铀岩石的射气系数，见表 A.2。



氡从矿堆析出后的衰减系数根据矿石平均块度和孔隙度确定，见表 A.3。

表 A.2 一些含铀岩石的射气系数

岩石名称	样品数	射气系数 相对单位	
		范围	平均值
片麻岩和花岗片麻岩	13	0.002~0.265	0.22
花岗岩和花岗闪长岩	11	0.050~0.241	0.17
花岗岩：含钙铀云母 含铜铀云母 含铀黑	5	0.002~0.200	0.14
	16	0.085~0.923	0.14
	6	0.220~0.700	0.44
锆石英岩	16	0.035~0.923	0.07
粗面流纹岩	27	—	0.15
石英岩	8	0.130~0.300	0.21
石灰岩	19	0.009~0.250	0.11
石灰岩：含铀黑 含钾钒铀矿	7	0.021~0.625	0.26
	22	0.015~0.941	0.34
砂岩	14	0.009~0.122	0.11
砂岩（含钾钒铀矿）	20	0.017~0.592	0.34
灰质页岩	—	—	0.18
页岩（网格笔石类）	15	—	0.24
含铀褐煤	104	0.024~0.700	0.16

表 A.3 氡从矿堆析出后的衰减系数  $K_s$

岩矿平均块度 mm	岩矿孔隙度 %				
	>40	20~40	10~20	5~10	<5
50	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96
100	1.00	1.00	0.99	0.98	0.88
200	1.00	0.99	0.96	0.94	0.67
400	0.99	0.96	0.86	0.81	0.42
600	0.98	0.92	0.74	0.67	0.30
800	0.97	0.86	0.65	0.56	0.23
1000	0.96	0.81	0.56	0.48	0.19

#### A.4 矿井水氡析出量

A.4.1 矿井水氡析出量按式 (A.7) 计算。

$$D_c = \frac{(C_a - C_b)q}{3600} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

$D_c$ ——矿井水氡析出量，单位为千贝可每秒 (kBq/s)；

$C_a$ ——矿井涌出水氡浓度，单位为千贝可每立方米 (kBq/m<sup>3</sup>)；

$C_b$ ——井口排出水氡浓度，单位为千贝可每立方米 (kBq/m<sup>3</sup>)；

$q$ ——矿井涌水量，单位为立方米每小时 (m<sup>3</sup>/h)。

A.4.2 新建矿井通风设计中，矿井涌水量根据工程设计确定，水中氡浓度由地质报告提供。如果井口排

出水氨浓度无数据，可以取  $C_b=0$ 。

改建矿井设计和生产矿井通风调整计算时，矿井涌水量和水中氨浓度应取实测值。

#### A.5 采场氨析出量计算

A.5.1 采场排氨子体风量计算中，其氨析出量一般包括矿壁表面氨析出量和崩落矿堆氨析出量两部分。

A.5.2 采场矿壁当量射气面积统计计算范围包括该采场所属采准巷道、天井和工作空间的矿壁当量射气面积之和。

A.5.3 采场崩落矿堆矿量，空场采矿法、充填采矿法和分层崩落采矿法以及掘进工作面等取工作面实际落矿量；留矿采矿法采场矿堆矿量计算时，矿堆高度按下值选取：下行通风为2m~5m，上行通风为5m~10m。

附录 B  
(规范性附录)  
矿井通风体积计算方法

**B.1 通风体积计算公式**

通风体积（即通风空间体积）的计算见公式（B.1）。

$$V = \sum S_i L_i \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$V$ ——巷道（包括井筒、采场和硐室）通风体积，单位为立方米（ $m^3$ ）；

$S_i$ —— $i$ 巷道断面积，单位为平方米（ $m^2$ ）；

$L_i$ —— $i$ 巷道长度，单位为米（ $m$ ）。

如果各段巷道断面不同，其通风体积应分别计算。采场和硐室通风体积分别计算。

**B.2 矿井通风体积统计计算方法**

矿井通风体积应根据矿井通风系统图、中段面积图、采矿方法图和巷道断面图用列表计算法统计计算。

矿井通风体积计算范围包括入风段、需风段和排风段，即从地面新鲜空气入口到井下污风出口之间所有通风空间的体积，但密闭了的采空区和废旧巷道除外。

**B.3 采场通风体积计算**

采场排氡子体风量计算中，其通风体积包括该采场所属采准巷道、天井和工作空间的通风体积之和。由于排氡子体风量计算公式中，通风体积以 $10^3 m^3$ 为单位，因此将通风体积合计值代入风量计算公式中时应注意通风体积的计量单位。

附录 C  
(规范性附录)  
高温矿井排热降温通风计算公式

### C.1 矿井空气热平衡方程

当风流通过某段巷道时，空气与周围环境进行热交换，其热平衡方程式见公式 (C.1)：

$$i_2 \gamma_2 Q_2 = i_1 \gamma_1 Q_1 + \sum q \quad \text{..... (C.1)}$$

式中：

$\sum q$ ——某段巷道各种热源放热量（散热量）之和，单位为千焦每秒 (kJ/s)；

$i_1$ ——巷道入风口空气热焓，单位为千焦每千克 (kJ/kg)；

$i_2$ ——巷道出风口空气热焓，单位为千焦每千克 (kJ/kg)；

$Q_1$ 、 $Q_2$ ——分别为巷道入风、出风量，单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )；

$\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ ——分别为巷道入风、出风空气密度，单位为千克每立方米 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

因排风、入风温差不超过 15 °C，故排、入风空气密度相对误差不超过 5%，工程计算中可以取排、入风空气密度相等即  $\gamma_2 = \gamma_1$ ，或者取标准条件下的空气密度 ( $\gamma = 1.205 \text{ kg}/\text{m}^3$ )。在巷道无漏风的条件下，巷道排风量和入风量相等，即  $Q_2 = Q_1$ 。因此，公式 (C.1) 可以变为：

$$i_2 \gamma Q = i_1 \gamma Q + \sum q \quad \text{..... (C.2)}$$

$$\sum q = (i_2 - i_1) \gamma Q \quad \text{..... (C.3)}$$

### C.2 排热降温风量计算公式

根据热平衡方程，当巷道通风排热量等于该巷道各种热源放热量之和时，空气状态参数才能稳定下来。由公式 (C.3) 可以推导出排热降温风量计算公式：

$$Q = \frac{\sum q}{\gamma(i_b - i_a)} \quad \text{..... (C.4)}$$

式中：

$Q$ ——排热降温所需风量，单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )；

$\sum q$ ——巷道放热量，单位为千焦每秒 (kJ/s)；

$\gamma$ ——井下空气密度，单位为千克每立方米 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) (取  $\gamma = 1.205$ )；

$i_a$ ——设计入风温度相应的热焓，单位为千焦每千克 (kJ/kg)，见表 C.1；

$i_b$ ——设计出风温度相应的热焓，单位为千焦每千克 (kJ/kg)，取空气温度限值  $t_b = 28$  °C 相对应的热焓， $i_b = 89.27 \text{ kJ}/\text{kg}$ 。

显然，只有用低于井下空气温度限值 ( $t_b = 28$  °C) 的空气通风，才能将工作面温度降到不超过温度限值。如果温度过高，仅靠通风难以解决，应采取空气制冷与加强通风相结合等方法。为了提高通风降温

的效果,设计入风空气温度一般不宜超过 24℃,可取  $t_a=20^\circ\text{C}\sim 24^\circ\text{C}$ ,其相应热焓  $i_a=57.07\sim 71.85\text{ kJ/kg}$ 。

公式 (C.4) 主要用于新建矿井或老矿井扩建时采掘工作面通风排热降温风量计算(放热量按设计计算)。生产矿井通风排热降温风量调节设计计算时,还可按下列公式计算(假设风量调节前、后巷道放热量不变):

$$Q = \frac{Q_1(i_2 - i_1)}{i_b - i_a} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

$Q$ ——调节后排热降温所需风量,单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$Q_1$ ——调节前原有的风量,单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$i_2$ 、 $i_1$ ——调节前排风口、入风口空气温度相对应的热焓,单位为千焦每千克 ( $\text{kJ/kg}$ ), (或  $\text{kcal/kg}$ ), 见表 C.1;

$i_a$ ——设计入风温度相应的热焓,单位为千焦每千克 ( $\text{kJ/kg}$ ), 见表 C.1;

$i_b$ ——设计出风温度相应的热焓,单位为千焦每千克 ( $\text{kJ/kg}$ )。

### C.3 湿空气热焓

高温矿井空气中水蒸气接近于饱和状态,而且排热降温风量计算用的是出、入风口之间空气热焓之差,空气热焓按标准气压下的饱和湿空气热焓计算,对风量计算结果影响不大。因此,为使空气热焓的选取方便、简化,可按标准气压下饱和湿空气热焓计算,见表C.1。

表 C.1 标准气压下饱和湿空气热焓表

干球温度 ℃	密度 $\text{kg}/\text{m}^3$	饱和水汽含量 $\text{g}/\text{kg}$	湿空气热焓	
			$\text{kJ}/\text{kg}$	$\text{kcal}/\text{kg}$
18	1.213	12.93	50.75	12.12
20	1.205	14.61	57.07	13.63
22	1.197	16.60	64.14	15.32
24	1.189	18.81	71.85	17.16
26	1.181	21.20	80.01	19.11
28	1.173	24.00	89.27	21.32
30	1.165	27.03	99.06	23.66
32	1.157	30.41	109.82	26.23
34	1.150	34.23	121.72	29.07
36	1.142	38.56	134.99	32.24
38	1.135	43.35	149.43	35.69
40	1.128	48.64	165.22	39.46
42	1.121	54.25	181.84	43.43
44	1.114	61.04	201.56	48.14

附录 D  
(规范性附录)  
利用风流动压和导风墙(板)减少井底车场漏风

#### D.1 由巷道风流动压造成的附加有效风压

采用压入式通风的矿井中,专用入风道与运输大巷交叉处采取锐角,利用风流动压的方向性,使入风流指向采区,背向井底车场,可在一定程度上减少井底车场漏风。在该交叉处应设置引导风流的导风墙(板),以提高出口的风流动压,进一步改变风流分配,达到井底车场不漏风或少漏风。

由入风道出口风流动压造成的附加有效风压,按公式(D.1)计算:

$$\Delta h = \frac{Kv^2\gamma}{\cos\theta} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- $\Delta h$ ——附加有效风压,单位为帕(Pa);
- $v$ ——入风口风速,单位为米每秒(m/s);
- $\gamma$ ——空气密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);
- $\theta$ ——入风道与运输巷道之间指向井底车场处交角,取 $\theta=45^\circ$ ;
- $K$ ——风流动压有效利用系数, $K=0.8$ 。

#### D.2 导风墙的引导风流作用

导风墙造成的有效风压按公式(D.2)计算:

$$\Delta h = \frac{0.5\gamma v_b^2 S_b \left(2 - \frac{S_b}{S}\right)}{S} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

- $\Delta h$ ——导风墙造成的有效风压,单位为帕(Pa);
- $S$ ——入风道断面积,单位为平方米(m<sup>2</sup>);
- $S_b$ ——导风墙出口断面积,单位为平方米(m<sup>2</sup>);
- $v_b$ ——导风墙出口风速,单位为米每秒(m/s);
- $\gamma$ ——空气密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>)。

导风墙引风时,巷道的临界风阻(指自入风道与运输大巷交叉处通往井底车场的巷道既不出风也不入风时的风阻),按公式(D.3)计算:

$$R_x = \frac{0.5 \left( \frac{2S}{S_b} - 1 \right) \gamma}{S^2} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中：

$R_c$ ——巷道临界风阻，单位为牛顿平方秒每八次方米 ( $N s^2/m^8$ )；

其它符号的意义和单位同公式 (D. 2)。

### D.3 导风墙设计

导风墙出口断面积按公式 (D. 4) 计算：

$$S_b = \frac{1.2}{S_1 R_1} \dots \dots \dots (D. 4)$$

式中：

$S_b$ ——导风墙出口断面积，单位为平方米 ( $m^2$ )；

$S_1$ ——通采区运输巷道断面积，单位为平方米 ( $m^2$ )；

$R_1$ ——通采区运输巷道风阻，单位为牛顿平方秒每八次方米 ( $N s^2/m^8$ )。

导风墙出风口断面越小，风流动压越大，引风效果越好。但出风口断面太小，增大了矿井总风阻，使主扇总风量减小，不能收到预期效果。

导风墙通风阻力由风流突然收缩、突然扩大和拐弯等几种局部阻力构成，其风阻值可按公式 (D. 5) 计算：

$$R_d = 0.599 \left( \frac{\frac{S_1}{S_b} - 1}{S_1} \right)^2 \dots \dots \dots (D. 5)$$

式中：

$R_d$ ——导风墙风阻，单位为牛顿平方秒每八次方米 ( $N s^2/m^8$ )；

其它符号的意义和单位同公式 (D. 4)。

据试验测定， $S_b/S=0.3\sim0.4$  时，有效风量率在 90%左右 (井底车场漏风率 10%左右)。

巷道转角和导风墙转角都要做成圆弧形，圆弧半径取 0.5~1.0 倍巷道宽度。导风板长度要超过巷道交叉口一段距离 (应大于出风口宽度)。导风墙可以用砖砌筑，两面抹灰，要求做到不漏风。

附录 E  
(资料性附录)

铀矿井排氡子体风量计算公式及其它相关公式

E.1 铀矿井风流末端氡子体  $\alpha$  潜能积累方程

E.1.1 入风流未受氡污染时, 氡子体  $\alpha$  潜能积累方程见公式 (E.1):

$$C_{PL} = \frac{K_E C_{Rn} \lambda_E t}{\lambda_E t + 1} \dots\dots\dots (E.1)$$

将  $C_{Rn}=D/Q$  和  $t=V/Q$  代入上述公式 (E.1), 上述公式 (E.1) 变为下述公式 (E.2):

$$C_{PL} = \frac{\lambda_E K_E D V}{Q^2 + \lambda_E V Q} \dots\dots\dots (E.2)$$

式中:

- $C_{PL}$ ——风路末端 (或排风口) 氡子体  $\alpha$  潜能浓度, 单位为微焦每立方米 ( $\mu\text{J}/\text{m}^3$ );
- $C_{Rn}$ ——通风空间氡析出产生的氡浓度,  $C_{Rn}=D/Q$ , 单位为千贝可每立方米 ( $\text{kBq}/\text{m}^3$ );
- $D$ ——通风空间氡析出量 (简称氡析出量), 单位为千贝可每秒 ( $\text{kBq}/\text{s}$ );
- $Q$ ——风量, 单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
- $t$ ——换气时间 (通风换气一次所需时间, 即衰变时间,  $t=V/Q$ ), 单位为千秒 ( $\times 10^3\text{s}$ );
- $V$ ——通风体积, 单位为千立方米 ( $\times 10^3\text{m}^3$ );
- $K_E$ ——平衡当量氡浓度与氡子体  $\alpha$  潜能换算系数,  $K_E=5.56 \mu\text{J}/\text{kBq}$ ;
- $\lambda_E$ ——氡子体等效衰变常数,  $\lambda_E=0.316 \times 10^{-3}\text{s}^{-1}$ .

E.1.2 入风流受氡污染时, 氡子体  $\alpha$  潜能积累方程见公式 (E.3):

$$C_{PL} = C_{P0} + \frac{K_E (C_0 + C_{Rn}) \lambda_E t}{\lambda_E t + 1} \dots\dots\dots (E.3)$$

将  $C_{Rn}=D/Q$  和  $t=V/Q$  代入上述公式 (E.3), 上述公式 (E.3) 变为下述公式 (E.4):

$$C_{PL} = C_{P0} + \frac{\lambda_E K_E (C_0 Q + D) V}{Q^2 + \lambda_E V Q} \dots\dots\dots (E.4)$$

式中:

- $C_{P0}$ ——入风氡子体  $\alpha$  潜能浓度, 单位为微焦每立方米 ( $\mu\text{J}/\text{m}^3$ );
- $C_0$ ——入风氡浓度, 单位为千贝可每立方米 ( $\text{kBq}/\text{m}^3$ );
- 其他符号的意义和单位同公式 (E.2)。

E.2 铀矿井排氡子体风量计算公式

E.2.1 当入风流未受氡污染时, 由公式 (E.1) 导出风量公式 (E.5) (适合矿井总风量计算):

$$Q_1 = 0.5 \left( \sqrt{\frac{4 \lambda_E K_E D V}{C_{PL}} + \lambda_E^2 V^2} - \lambda_E V \right) \dots\dots\dots (E.5)$$

在氡析出密度  $D/V=2 \text{kBq}/(10^3\text{m}^3\text{s}) \sim 7 \text{kBq}/(10^3\text{m}^3\text{s})$  的条件下, 上述公式 (E.5) 简化为下述公式 (E.6):



$$Q_2 = K_X \sqrt{\frac{\lambda_E K_E D V}{C_{PL}}} \dots\dots\dots (E. 6)$$

式中：

- $Q_1$ ——按未简化公式计算的排氡子体风量，单位为立方米每秒 ( $m^3/s$ )；
- $Q_2$ ——按简化后公式计算的排氡子体风量，单位为立方米每秒 ( $m^3/s$ )；
- $C_{PL}$ ——排风口氡子体  $\alpha$  潜能浓度，单位为微焦每立方米 ( $\mu J/m^3$ )；
- $D$ ——氡析出量，单位为千贝可每秒 ( $kBq/s$ )；
- $V$ ——通风体积 (简称)，单位为千立方米 ( $\times 10^3 m^3$ )；
- $K_E$ ——氡子体  $\alpha$  潜能换算系数， $K_E = 5.56 \mu J/kBq$ ；
- $\lambda_E$ ——氡子体等效衰变常数， $\lambda_E = 0.316 \times 10^{-3} s^{-1}$ ；
- $K_X$ ——公式简化修正系数， $K_X = 0.80$ 。

修正系数  $K_X$  的推算：假设矿井氡析出量  $D = 500 kBq/s$ ，氡析出密度  $D/V = 1 kBq/(10^3 m^3 s) \sim 7 kBq/(10^3 m^3 s)$ ，排风口氡子体  $\alpha$  潜能浓度  $C_{PL} = 10.4 \mu J/m^3$ ，修正系数  $K_X$  的推算见表 E. 1。

E. 2. 2 当入风流受氡污染时，由公式 (E. 2) 导出风量公式 (E. 7) (适合采场和掘进工作面风量计算)：

$$Q_1 = \frac{0.5}{C_{PL} - C_{P0}} [\sqrt{4\lambda_E K_E D V (C_{PL} - C_{P0}) + (\lambda_E V)^2 (C_{PL} - C_{P0} - K_E C_0)^2} - \lambda_E V (C_{PL} - C_{P0} - K_E C_0)] \dots\dots\dots (E. 7)$$

公式 (E. 7) 可以简化为公式 (E. 8)：

$$Q_2 = K_X \sqrt{\frac{\lambda_E K_E D V}{C_{PL} - C_{P0}}} \dots\dots\dots (E. 8)$$

式中：

- $C_{P0}$ ——入风氡子体  $\alpha$  潜能浓度，取  $C_{P0} = 2.0 \mu J/m^3$ ；
- $C_0$ ——入风氡浓度，取  $C_0 = 1 kBq/m^3$ ；
- $K_X$ ——公式简化修正系数， $K_X = 0.954$ 。

其他符号的意义和单位同公式 (E. 2)。

修正系数  $K_X$  的推算：假设某采场氡析出量  $D = 5 kBq/s$ ，氡析出密度  $D/V = 1 kBq/(10^3 m^3 s) \sim 5 kBq/(10^3 m^3 s)$ ，排风氡子体  $\alpha$  潜能浓度  $C_{PL} = 6.4 \mu J/m^3$ ，入风氡浓度  $C_0 = 1 kBq/m^3$ ，入风氡子体  $\alpha$  潜能浓度  $E_0 = 2.0 \mu J/m^3$ ，修正系数  $K_X$  的推算见表 E. 2。

E. 2. 3 采场风量按排氡计算等于或大于按排氡子体计算的条件主要取决于氡析出密度。由

$$\frac{D}{C_L - C_0} \geq K_X \sqrt{\frac{D V \lambda_E K_E}{C_{PL} - C_{P0}}}$$

和  $C_{PL}$  各值代入上式导出： $\frac{D}{V} \geq \frac{K_X^2 C_L^2 \lambda_E K_E}{C_{PL}}$ ， $\frac{K_X^2 C_L^2 \lambda_E K_E}{C_{PL}} = \frac{1.69(C_L - C_0)^2}{C_{PL} - C_{P0}} = 2.65$

$kBq/(10^3 m^3 s)$ ，即氡析出密度  $D/V \geq 2.65 (kBq/10^3 m^3 s)$  时，按排氡计算的风量等于或大于按排氡子体计算的风量；否则，按排氡子体计算的风量大于按排氡计算。

表 E.1 修正系数  $K_r$  推算表 (取入风氡污染为 0)

氡析出密度 $D/V$ kBq/s $(10^3\text{m}^3)^{-1}$	氡析出量 $D$ kBq/s	通风体积 $V$ $\times 10^3\text{m}^3$	风量 $Q_1$ , 按式 (E.3) $\text{m}^3/\text{s}$	风量 $Q_2^a$ , 按式 (E.4) $\text{m}^3/\text{s}$	修正系数 $K_r = Q_1 / Q_2$
1.0	500	500	141.17	205.51	0.687
1.5	500	333	123.16	167.71	0.734
2.0	500	250	111.05	145.30	0.764
3.0	500	167	95.28	118.77	0.802
4.0	500	125	84.87	102.76	0.826
5.0	500	100	77.46	91.91	0.843
6.0	500	83.3	71.75	83.88	0.855
7.0	500	71.4	67.19	77.66	0.865
平均					0.800

<sup>a</sup>表中  $Q_2$  计算公式中暂不考虑  $K_r$ 。

表 E.2 修正系数  $K_r$  推算表

氡析出密度 $D/V$ kBq / s $\cdot (10^3\text{m}^3)^{-1}$	氡析出量 $D$ kBq/s	通风体积 $V$ $\times 10^3\text{m}^3$	风量 $Q$ 按式 (E.5) $\text{m}^3/\text{s}$	风量 $Q_2^a$ 按式 (E.6) $\text{m}^3/\text{s}$	修正系数 $K_r = Q / Q_2$
1.0	5.00	5.00	2.96	3.16	0.937
1.5	5.00	3.33	2.44	2.58	0.946
2.0	5.00	2.50	2.13	2.23	0.955
3.0	5.00	1.67	1.76	1.83	0.962
4.0	5.00	1.25	1.53	1.58	0.968
5.0	5.00	1.00	1.37	1.41	0.972
平均					0.954

<sup>a</sup>表中  $Q_2$  计算公式中暂不考虑  $K_r$ 。

### E.3 氡浓度与氡子体浓度的换算

#### E.3.1 氡浓度与氡子体 $\alpha$ 潜能浓度的换算

矿井 (或采场) 平均氡浓度与氡子体  $\alpha$  潜能浓度之间可按下式 (E.9) 换算:

$$C_{Rn} = \frac{C_P}{FK_E} \dots\dots\dots (E.9)$$

式中:

$C_{Rn}$ ——矿井 (或采场) 平均氡浓度 (活度浓度), 单位为千贝可每立方米 (kBq/m<sup>3</sup>);

$C_P$ ——矿井 (或采场) 平均氡子体  $\alpha$  潜能浓度, 单位为微焦每立方米 ( $\mu\text{J}/\text{m}^3$ );

$K_E$ ——氡子体  $\alpha$  潜能换算系数,  $K_E = 5.56 \mu\text{J}/\text{kBq}$ ;

$F$ ——矿井 (或采场) 平均平衡因子, 无量纲 (相对单位)。

#### E.3.2 平衡因子和换气时间

平衡因子  $F$  和换气时间  $t$  可分别按公式 (E.10)、公式 (E.11)、公式 (E.12) 和公式 (E.13) 计算:

$$F = \frac{C_p}{K_E C_{Rn}} \dots\dots\dots (E. 10)$$

根据公式 (E. 1), 可以得到公式 (E. 11):

$$F = \frac{\lambda_E t}{\lambda_E t + 1} \dots\dots\dots (E. 11)$$

矿井通风换气时间  $t$  按公式 (E. 12) 计算:

$$t = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots (E. 12)$$

根据公式 (E. 11) 可以得到公式 (E. 13):

$$t = \frac{F}{\lambda_E (1 - F)} \dots\dots\dots (E. 13)$$

式中:

$t$ ——换气时间, 单位为千秒 ( $\times 10^3 \text{s}$ );

$\lambda_E$ ——常数,  $\lambda_E = 0.316 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ ;

$V$ ——通风体积, 单位为千立方米 ( $\times 10^3 \text{m}^3$ );

$Q$ ——风量, 单位为立方米每秒 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

其他符号的意义和单位同公式 (E. 9)。

附录 F  
(资料性附录)  
抛物线定积分法测定不规则巷道断面

### F.1 抛物线定积分法

抛物线定积分法是根据定积分的近似计算方法——辛卜生法，来精确测量计算不规则井巷断面的。

### F.2 不规则井巷断面的测量

不规则井巷断面的测量按下列要求进行：

- a) 量取巷道断面的最大宽度；
- b) 将最大宽度分成  $n$  等分，等分数  $n$  必须为偶数；
- c) 量取各等分点对应的巷道高度  $y_0$ 、 $y_1$ 、 $y_2$ 、……、 $y_n$ 。

### F.3 不规则井巷断面的计算

不规则井巷断面按公式 (F.1) 计算：

$$S = \frac{b}{3n} [y_0 + y_n + 4(y_1 + y_3 + \cdots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + \cdots + y_{n-2})] \quad \text{…………… (F.1)}$$

式中：

$S$ ——巷道断面积，单位为平方米 ( $\text{m}^2$ )；

$b$ ——巷道最大宽度，单位为米 (m)；

$n$ ——巷道最大宽度的等分数；

$y_0$ 、 $y_1$ 、……、 $y_n$  ——巷道最大宽度的各等分点对应的巷道高，m。

### F.4 不规则井巷断面测定要求

不规则井巷断面测定应满足下列要求：

- a) 巷道最大宽度的等分数应不小于 10。断面测定精度要求越高，等分数应越大；
- b) 注意巷道高度  $y_0$  和  $y_n$  的量取。