

关于独头探矿坑道通风风量的计算问题

· 吴 厥 初 ·

在有色金属矿床的詳細勘探过程中，現已大量采用了坑道探矿。由于地質勘探的特点，而多系开掘独头坑道。因此，在独头坑道掘进中，如何正确地計算与供給足够的风量，合理解决通风問題，乃是改善劳动条件，加快掘进速度的一个重要措施。但目前对风量計算問題，无论在理論上与实际工作中都还没有得到很好的解决。因此，如何学习苏联学者的风量計算方法，結合我們自己坑探工程的特点与具体条件来加以分析与应用，則是我們在这方面进行試驗研究工作的开端。現將个人对这一問題的分析与認識提出来与大家共同研討。

探矿坑道的特点及其通风的基本要求

从探矿坑道掘进的实际資料来看，普遍为独头坑道等。其坑道长度一般在500~2000公尺之間，一个坑口包括探矿坑道（穿脈、天井、盲井）的总长度常达1000~4000公尺；坑道断面不超过3~5平方公尺，平均約为4平方公尺；一个坑口經常进行放炮作业的工作面，一般为1~3个，不超过5~6个；一次放炮的总炸藥量为8~30公斤，平均約为20公斤；坑內一般用木材支护，但岩石硬度一般不小于M.M.普洛托吉亞高諾夫的硬度系数 f 的6~8，故在水平巷道中，常不用支护，必要时用間隔支护；坑內工作人員一般为8~30人，不超过40人。以上这些特点都是影响通风方法的选择和风量計算的因素。此外还应注意的是通风对防尘的重要意义，因为有些坑道是在高度砂化的或石英質的岩石（最有害的是石英岩、砂岩、花崗岩、片麻岩、石英斑岩等）中掘进，或在鉛矿、汞矿和其他（鋅、鋁、鐵、銅、砷）含有毒素的金属矿床內掘进的，所以改善通风也是防尘的一个重要措施。根据上述情况，独头探矿坑道通风所需风量的計算，应当滿足以下通风的基本要求：

一、坑內空气所含氧之体积不得少于20%，二氧化碳不得多于0.5%；

二、当工人进入放炮后的工作面前，工作面以及

通往工作面的坑道內的有害气体必須稀薄至以一氧化碳来換算的0.02%的程度；

三、在含有10%以上石英（游离二氧化矽）的岩石或矿石中进行探矿时，坑內空气的矿尘濃度在1立方公尺空气中不得超过2毫克。

四、送入坑內每一个工作面的空气量不得少于每人3立方公尺/分鐘。

上面这些是規程中对通风的基本要求，也就是供給坑內所需风量的决定因素。

对风量計算常用公式的討論

对独头探矿坑道来说，稀釋与排出放炮后炸藥所产生的有害气体和打眼、裝岩等工作所产生的矿尘，究竟供給若干风量的問題，目前还没有得到充分的研究解决。我們在实际工作中采用已有的計算公式来給定风量，往往由于条件的不相适应，而不能滿足要求。因此，应当根据坑道掘进中的各种不同特点与条件，对坑內的实际情况进行观察测定与分析研究，总结实践中的經驗。只有这样，才有可能得出比較正确的风量計算的公式，合理供給通风所需之风量。下面准备結合探矿坑道的特点来討論現有常用的計算风量的公式。这些計算公式都是取决于放炮后所用炸藥量的多少，这是因为在放炮后有害气体排出坑道时所需要的风量为最大。

风量計算的示例

在独头坑道的通风設計中，根据通风方法的不同，常用的計算放炮后通风所需风量的方法是B.H.沃罗宁的計算方法，也有的采取A.И.克謝諾鳳朵娃和П.И.穆司鉄立的計算方法。在这里并引用B.И.沃罗宁及И.И.沃罗宁娜的計算方法（当用他們的公式計算风量时，也应用他們所提出的参数和系数），一起来討論和比較风量計算中的一些問題。現采用一个帶有普遍性的独头探矿坑道条件，作一示例。給定：独头平窿长度 $L=500$ 公尺，断面 $S=4$ 平方公尺，工作面每一次放炮的炸藥消耗量 $A=8$ 公斤，通风时间 $t=30$ 分鐘。

一、压入式通风——利用扇风机经风筒向工作面附近吹入新鲜空气，有害气体则沿独头坑道向出口方向排出。

1. B. H. 沃罗宁的风量计算方法：他的公式是从坑道通风中试验得出的。在《采矿手册》中推荐了他的计算公式，也是设计中常用的公式。

$$Q_{H1} = \frac{7.8}{v} \sqrt[3]{A(SL)^2} = \frac{7.8}{30} \sqrt[3]{8(4 \times 500)^2} = 83 \text{ 立方公尺/分；}$$

式中： Q_{H1} —独头坑道的整个长度内通风所需直接压入的风量，立方公尺/分钟，下面 Q_{H2} 、 Q_{H3} 、 Q_{H4} 相同。

2. A. H. 克谢诺瓦茨的风量计算方法：她的公式是在马克耶夫实验平窿内用硝甘炸药试验得出的，并在所著的《矿井通风习题汇编》中予以推荐。

И. М. 伯克罗斯基在所著的《非巷工程》一书中也引用了她的风量计算公式。

(1) 当放炮后炸药所产生有害气体在坑道内扩散的长度， $q = 15 + \frac{A}{5}$ 公尺时：

$$\begin{aligned} Q_{H2} &= 5 \frac{SL}{v} \sqrt{\frac{n_0}{n} \cdot \frac{1}{L}} \\ &= 5 \frac{SL}{v} \sqrt{\frac{Ab}{10(15 + \frac{A}{5})S} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{L}} \\ &= 5 \frac{SL}{v} \sqrt{\frac{40A}{10(15 + \frac{A}{5})S \cdot 0.008L}} \\ &= \frac{250}{v} \sqrt{\frac{ASL}{75 + A}} \\ &= \frac{250}{30} \sqrt{\frac{8 \times 4 \times 500}{75 + 8}} = 116 \text{ 立方公尺/分；} \end{aligned}$$

(2) 当用 $q = 2.4A + 10$ 公尺时：

$$\begin{aligned} Q_{H2} &= 5 \frac{SL}{v} \sqrt{\frac{n_0}{n} \cdot \frac{1}{L}} \\ &= 5 \frac{SL}{v} \sqrt{\frac{Ab}{10(2.4A + 10)S} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{L}} \\ &= 5 \frac{SL}{v} \sqrt{\frac{40A}{10(2.4A + 10)S \cdot 0.008L}} \\ &= 5 \frac{72}{v} \sqrt{\frac{ASL}{4.2 + A}} = \frac{72}{30} \sqrt{\frac{8 \times 4 \times 500}{4.2 + 8}} \\ &= 87 \text{ 立方公尺/分。} \end{aligned}$$

式中： n_0 — q 内的假设的（换算的）一氧化碳的最初浓度（%）， $n_0 = \frac{Ab}{10Sq}$ ；

b—每公斤炸药放炮所产生的有害气体概量，此处 $b = 40$ 公升/公斤；

n—独头坑道中排出的风流中假设的（换算的）一氧化碳最高许可浓度，此处取 $n = 0.008\%$ 。

3. И. И. 穆司铁立的风量计算方法：他的公式是用染色液体的水力模型实验导出的，与通风的实际条件有一定的距离，但 B. B. 溯马洛夫在所著《矿井内通风学》中，认为这一公式简单，且接近于实际，故予以推荐。

$$\begin{aligned} Q_{H3} &= \frac{21.4}{v} \sqrt{ASL} \\ &= \frac{21.4}{30} \sqrt{8 \times 4 \times 500} = 90 \text{ 立方公尺/分。} \end{aligned}$$

4. B. H. 沃罗宁及 И. И. 沃罗宁娜的风量计算方法：公式是 1943 年在所著《金属矿爆破后的通风》中提出的，A. X. 扎索霍夫及 И. B. 扎索霍娃在所著《矿井内通风及其检查方法》（1954 年）一书中予以推荐。

$$\begin{aligned} Q_{H4} &= 1.5 \sqrt[3]{\frac{Q \cdot q^2}{an}} = 1.5 \sqrt[3]{\frac{5Ab}{v} \cdot \left(\frac{SL}{v}\right)^2} \\ &= 1.5 \sqrt[3]{\frac{5 \times 8 \times 100}{30 \times 60} \cdot \frac{(4 \times 500)^2}{(30 \times 60)^2}} \\ &= 1.64 \text{ 立方公尺/秒。} \end{aligned}$$

或 $60 \times 1.64 = 98$ 立方公尺/分，

式中： Q —假定送入的与污风在一定容积内混合或

起稀释作用的新鲜风量， $Q = \frac{5Ab}{v}$ ，此处

取 $b = 100$ 公升/公斤炸药；

q—在规定时间内使整个坑道换一次空气所必须输入工作面附近区域的风量， $q =$

$$\frac{SL}{v} \text{ 立方公尺/秒；}$$

a—以十万分比计算的坑内气体的动阻力系数：

$140 \leq d \leq 250$ (0.0025)；此处给定用直径 18 公分圆木不完全的棚子支护的平窿，按木棚间距 L (100) 和支柱直径 d_{OK} 求得之

比值为 $\frac{L}{d_{OK}} = \frac{100}{18} = 5.5$ ，根据《采矿手

册》表 347 查得按十万分比的 $a = \frac{164 \times 157}{2}$

= 160.5，再乘以4平方公尺坑道断面的修正系数K得 160.5 × 0.95 = 153 (a × 10³ = 0.00153 × 10⁶)。

n 一同前，此处取0.02%。

二、抽出式通风——利用扇风机经风筒从工作面附近区域吸出有害气体，新鲜空气则沿坑道进入工作面。

1. B. H. 沃罗宁的风量计算方法：

$$Q_{B1} = \frac{18}{i} \sqrt{A \cdot K} = \frac{18}{i} \sqrt{A \cdot (2.4A + 10)}$$

$$= \frac{18}{30} \sqrt{8 \times 4(2.4 \times 8 + 10)}$$

$$= 21 \text{ 立方公尺/分。}$$

式中：Q_{B1}—用风筒直接从独头工作面吸出的污浊风量，即沿坑道直接流入独头工作面的新鲜风量，下面Q_{B2}、Q_{B3}相同。

2. A. H. 克谢诺风朵娃的风量计算方法：

(1) 当用 $q = 15 + \frac{A}{5}$ 公尺时：

$$Q_{B2} = 0.6 \frac{Sq}{i} \sqrt{\frac{n_0}{n}}$$

$$= 0.6 \frac{(15 + \frac{A}{5})S}{i} \sqrt{\frac{Ab}{10(15 + \frac{A}{5})S}}$$

$$= 0.6 \frac{(15 + \frac{A}{5})S}{i} \sqrt{\frac{40A}{10(15 + \frac{A}{5})S \cdot 0.008}}$$

$$= \frac{6}{i} \sqrt{8A(75 + A)} = \frac{6}{30} \sqrt{8 \times 4(75 + 8)}$$

$$= 10 \text{ 立方公尺/分。}$$

(2) 当用 $q = 2.4A + 10$ 时：

$$Q_{B2} = 0.6 \frac{Sq}{i} \sqrt{\frac{n_0}{n}}$$

$$= 0.6 \frac{(2.4A + 10)S}{i} \sqrt{\frac{Ab}{10(2.4A + 10)S \cdot 0.008}}$$

$$= \frac{20.8}{i} \sqrt{A \cdot (4.2 + A)}$$

$$= \frac{21}{30} \sqrt{8 \times 4(4.2 + 8)} = 14 \text{ 立方公尺/分。}$$

B. B. 潮马洛夫在所合著 [矿内通风学] 中，也

推荐 A. H. 克谢诺风朵娃的这一计算风量的公式，但认为在金属矿硬岩中，用 $q = 2.4A + 10$ 代入的计算结果比较正确。

3. B. H. 沃罗宁及 П. И. 沃罗宁娜的风量计算方法：

$$Q_{B3} = 1.5 \sqrt{\frac{Q_{q1}}{an}} = 1.5 \sqrt{\frac{5Ab}{i} \cdot \frac{Sq}{i}}{an}$$

$$= 1.5 \sqrt{\frac{5 \times A \times 100}{i} \cdot \frac{S(2.4A + 10)}{i}}{a \times 0.02}$$

$$= 1.5 \sqrt{\frac{5 \times 8 \times 100}{30 \times 60} \times \frac{4(2.4 \times 8 + 10)}{30 \times 60}}{153 \times 0.02}$$

$$= 0.33 \text{ 立方公尺/秒，或 } 60 \times 0.33$$

$$= 20 \text{ 立方公尺/分；}$$

式中：q₁—在规定通风时间内使有害气体扩散区域换一次空气单位时间内所必须输入的风量，

$$q_1 = \frac{Sq}{i} \text{ 立方公尺/秒。}$$

三、混合式通风——利用一台扇风机，将新鲜空气通过风筒压入工作面，同时利用一台或多台扇风机，将有害气体通过风筒吸出坑道出口。也就是压入式和抽出式混合使用的方法。以下公式都是用压入式通风计算的，为避免有害气体沿独头坑道扩散或是透过风筒空隙流入坑道，当确定抽出式的风量时，应比压入式的大10~15%。

1. B. H. 沃罗宁的风量计算方法：

$$Q_{K1} = \frac{7.8}{i} \sqrt{A(\geq q_1)^2} = \frac{7.8}{30} \sqrt{8(4 \times 40)^2}$$

$$= 15 \text{ 立方公尺/分；}$$

式中：q₁—从工作面到风筒的距离，取 q₁ = 40 公尺。当不设风筒时，也用上式计算，但 q₁ 的值最好根据抽出式风筒末端至工作面的距离，一般可以取 q₁ 值为 50 公尺。

2. A. H. 克谢诺风朵娃的风量计算方法：

$$Q_{K2} = 0.5 \frac{Sq_1}{i} \sqrt{\frac{n_0}{n}} = 0.5 \frac{Sq_1}{i} \sqrt{\frac{Ab}{10 \geq q_1}}{n}$$

$$= 0.5 \frac{Sq_1}{i} \sqrt{\frac{40A}{10 \geq q_1 \cdot 0.008}} = \frac{11.25}{i} \sqrt{A \geq q_1}$$

$$= \frac{11.25}{30} \sqrt{8 \times 4 \times 40} = 14 \text{ 立方公尺/分。}$$

在这里值得提出的是，B. B. 濶馬洛夫等在所著《矿内通风学》中，介绍的 A. H. 克謝諾鳳朵娃的两个公式。即：

当风幘或抽出式风筒末端距离工作面的长度 $l_1 < 50$ 公尺时，

$$Q_{K2} = \frac{15.6}{l_1} \sqrt{A \cdot l_1} = \frac{15.6}{30} \sqrt{8 \times 4 \times 40}$$

$$= 19 \text{ 立方公尺/分；}$$

此处取 $l_1 = 40$ 公尺。

当 $l_1 \geq 50$ 公尺时，

$$Q_{K2} = \frac{112}{l_1} \sqrt{A \cdot l_1} = \frac{112}{30} \sqrt{8 \times 4}$$

$$= 21 \text{ 立方公尺/分。}$$

由以上两式计算结果看出，用风幘防止有害气体扩散比其自然扩散为好。

3. B. H. 沃罗宁及 H. H. 沃罗宁娜的风量计算方法：

$$Q_{K3} = 1.5 \sqrt{\frac{Q_{q2}^2}{a_{11}}} = 1.5 \sqrt{\frac{5Al_1}{l_1} \cdot \left(\frac{l_1}{l_1}\right)^2}$$

$$= 1.5 \sqrt{\frac{5 \times 8 \times 100}{30 \times 60} \times \left(\frac{4 \times 40}{30 \times 60}\right)^2}$$

$$= 0.62 \text{ 立方公尺/秒，或 } 60 \times 0.62$$

$$= 37 \text{ 立方公尺/分。}$$

式中： q_2 —在规定通风时间内使工作面至风幘或吸风筒末端区域，换一次空气的单位时间内所必须输入的风量， $q_2 = \frac{S \cdot l_1}{t}$ 立方公尺/秒。此处取 $l_1 = 40$ 公尺。

上述计算放炮后所必须向独头坑道输入风量的公式，都是根据在实验室条件下或在实际工作条件下进行的多次研究试验而导出的。由于放炮后通风的具体情况各有不同，对实际资料的观测研究不够，因此

导出的公式就显然不能满足每一种具体情况的通风要求。

但是，从所有公式可以看出都具有 $Q = f(V)$ 的形式，（式中： Q —单位时间内所需输入的风量； V —需要通风的坑道容积， $V = S \cdot l$ ， l 为 L 、 l 或 l_1 ）。也就存在 $I = Q/V$ 的关系，（式中： I —新风更换系数或称为变换系数，表示放炮后在规定通风时间“ t ”内把需要通风的坑道段内“ V ”更换了多少次新鲜空气，以使其中的有害气体从 n 稀释到 n' ； Q —放炮后在规定通风时间内输入坑道的全部新鲜空气的体积。）在实际工作中， V 和 A 值是变换的，同时，采用通风方法不同和各个公式计算出的风量不同， I 值也就不相同。例如，当用压入式通风时，根据 A. H. 克謝諾鳳朵娃的公式：

$$Q = \frac{72}{l_1} \sqrt{\frac{A \cdot S \cdot l_1}{4.2 + A}} = \frac{72}{l_1} \sqrt{\frac{A \cdot V}{4.2 + A}}$$

$$\text{则 } I = \frac{Q}{V} = \frac{72}{l_1} \sqrt{\frac{A}{4.2 + A}} \quad \text{根据 H. H. 穆司鉄}$$

$$\text{立的公式：} Q = \frac{21.4}{l_1} \sqrt{A \cdot S \cdot l_1} = \frac{21.4}{l_1} \sqrt{A \cdot V}$$

$I = \frac{Q}{V} = 21.4 \sqrt{\frac{A}{V}}$ 。根据上面两个公式，用不同的 V 值和 A 值求得的 I 值如下表：

V (立方公尺)	A (公斤)		20		
	公式	A. H. 克謝諾鳳朵娃	H. H. 穆司鉄	A. H. 克謝諾鳳朵娃	H. H. 穆司鉄
250		3.8	4.3	5.4	6.1
500		2.7	3.0	3.8	4.2
1000		1.9	2.1	2.7	3.0

再从上面的示例，当 $A = 8$ 公斤， $t = 30$ 分钟时，根据 Q 和 V 的变化，用 $I = \frac{Q}{V}$ 的公式，可以作出下表：

压入式								抽出式				混合式							
$V = 4 \times 500 = 2000$								$V = 4(2.4 \times 8 + 10) = 117$				$V = 4 \times 40 = 160$							
Q_{K1}	I_{B1}	Q_{K2}	I_{B2}	Q_{K3}	I_{B3}	Q_{K4}	I_{B4}	Q_{B1}	I_{BC1}	Q_{B2}	I_{BC2}	Q_{BC3}	I_{BC4}	Q_{K1}	I_{K1}	Q_{K2}	I_{K2}	Q_{K3}	I_{K3}
83	1.25	87	1.30	90	1.35	98	1.47	21	5.38	14	2.56	20	5.12	15	2.81	14	2.63	37	6.94

由此可知，在一定的条件下，放炮后所需的风量，不仅由于采用通风方法及其所造成的空气动力条

件的不同而有相差，也因所引用的公式不同而计算出来的风量数值也不同。这就说明，根据具体条件合理

的选择通风方法,和搞清各个计算公式的相同形式及其参数、系数以及整个公式导出的理论基础和试验条件,才有可能比较正确的决定通风所需的风量和有效的利用通风设备的功率。

对几个与决定风量有关数值的分析

一、关于坑道风流最小平均速度 V_{min} 值

根据试验,为使通风有效,坑内风流的平均速度应不小于某一临界值。最小平均风速 (V_{min}) 必须保证风流在坑道内具有横向的稳定的脉动速度,使放炮后的有害气体和输入的新鲜空气适当的混合,充分的发展其紊流性,并沿巷道形成稳定乱流状态。因此,按照公式所计算出的风量,必须用公式 $Q_{\text{min}} = V_{\text{min}} \times S$ 来予以检验。

1. B. H. 沃罗宁计算最小平均风速的公式:

在粗造管道内进行的试验,证明流体为紊流运动时,划分层流和紊流(自由风流)状态界限的数据标准的雷诺数 Re 为:

$$Re > \frac{191.2d}{\Sigma \sqrt{\lambda}}$$

式中: d — 管道直径, 公尺;

Σ — 管道壁的平均粗造度, 即平均突出高度;

λ — 管道的阻力系数。

因为圆形风管,

$$Re = \frac{V_{cp} d}{\nu}$$

则
$$V_{\text{min}} \geq \frac{191.2\nu}{\Sigma \sqrt{\lambda}}$$

式中: V_{cp} — 空气流动的平均速度, 公尺/秒;

ν — 空气的动力粘度, 当湿度约为 $+15^{\circ}\text{C}$, 气压为 760 公厘水柱时, 为 $15 \cdot 10^{-6}$ 或 0.000015 平方公尺/秒;

λ — $\lambda \geq 65.4a$, a 为空气在管道内的万分之几的动阻力系数。

Σ — 当用不完全支柱时,

$$\Sigma \approx \frac{3}{4} d_{\text{ок}}$$

$d_{\text{ок}}$ — 棚木直径, 公分。

将以上各值代入, 得

$$V_{\text{min}} \geq \frac{191.2\nu}{\Sigma \sqrt{\lambda}} \geq \frac{191.2 \times 0.000015}{\frac{3}{4} d_{\text{ок}} \sqrt{\frac{65.4}{10000} a}}$$

$$\geq \frac{5}{d_{\text{ок}}/a}, \text{ 公尺/秒。}$$

用上述示例中数值计算 V_{min} ,

将 $d_{\text{ок}} = 18$ 公分; $s = 4$ 平方公尺;

$a = 0.00153 \times 10^4$; 代入:

$$V_{\text{min}} = \frac{5}{d_{\text{ок}}/a} = \frac{5}{18/15.3} = 0.07 \text{ 公尺/秒。}$$

用 V_{min} 检验示例中的 Q_{B1} :

$$V_{cp} = \frac{Q_{B1}}{S} = \frac{21}{60/4} = 0.09 \text{ 公尺/秒,}$$

得: $V_{cp} > V_{\text{min}}$ 。

即按 B. H. 沃罗宁的抽出式通风风量计算公式得出的 Q_{B1} 可以满足最小平均风速的要求。

2. B. B. 濶馬洛夫认为, 根据炸藥使用量来计算的风量应使冲洗坑道的有效风流, 特别是冲洗放炮后有害气体排出的坑道的风流速度不得低于 0.15~0.20 公尺/秒, 并着重指出在任何情况下不得低于 0.15 公尺/秒。这是因为要使空气与有害气体混合所必须的流速, 当其混合而结成整体之后, 流速则可根据情况适当降低。A. A. 斯濶成斯基指出: 只有在 $Re \geq 20000-40000$ 时, 才能保证形成紊流。在井巷中空气运动时,

$$Re = \frac{4SV_{cp}}{U\nu} = \frac{4 \times 4 \times V_{cp}}{4.161/\sqrt{4} \times 0.000015}$$

当 $Re = 20000$, $V_{cp} = 0.16$ 公尺/秒;

$Re = 40000$, $V_{cp} = 0.31$ 公尺/秒;

式中: S — 坑道断面, 平方公尺;

V_{cp} — 流体(风流)流动的平均速度, 公尺/秒;

U — 巷道的周边(以支架的内边计), $U = 4.161/\sqrt{S}$;

ν — 流体的动力粘度, 为 15×10^{-6} 平方公尺/秒。

即 A. A. 斯濶成斯基提出的 V_{min} 值为 0.16~0.31 公尺/秒。

3. A. H. 克謝諾瓦娃从水平坑道和圆形井筒的试验指出, 即使当风速很小(0.5~1 公尺/秒)时, 在井巷中所形成的也是紊流。例如在平坑中, $s = 4$ 平方公尺, $U = 8.32$, 当 $V_{cp} = 0.5$ 公尺/秒时, $Re = 46750$ 。又认为当用抽出式通风计算风量时, 应根据独头坑道中的风速进行验证。为使放炮后炸藥所产生的瓦斯不向新风吹来的方向扩散或不从工作面沿独头坑道向外扩散, 应使最低风速大于或等于 0.1 公

尺/秒。在檢驗計算例題時，則取 $V_{\text{min}}=0.15$ 公尺/秒。

4. [有色、稀有、貴重金屬採礦技術規程] 中規定：地下坑道的空氣最低流速 (V_{min}) 不得低於 0.25 公尺/秒。為滿足此一要求，則用公式計算出的風量必須以 $Q_{\text{min}}=0.25S$ 公尺/秒來檢驗。如當 $S=4$ 平方公尺時，則風量應不小於 $Q_{\text{min}}=0.25 \times 4 = 1$ 立方公尺/秒，或 60 立方公尺/分。

5. 從通風有利於防塵來考慮，在坑道掘進中，使空氣中的礦塵含量降低至規定的限度所需風量的計算，更是一個還沒有科學的解決的問題。不過，很明顯的是風速的大小是影響礦塵飛揚程度的重要因素，B. H. 沃羅寧在這方面曾經指出：在獨頭坑道內有 1 台或 2 台風鑽進行濕式打眼時，用壓入式通風，且工

作區域經過定期澆濕的情況下，適當的通風風速是 0.6~0.8 公尺/秒，亦即輸風量要達到： $Q=60VS$ ，當 $S=4$ 平方公尺，代入得 144 立方公尺/分，或 192 立方公尺/分。這種以風鑽台數為計算坑道掘進時所需風量的方法，在英國有些礦山是按每台風鑽 56

立方公尺/分來給定的，以 $V = \frac{Q}{60S} = \frac{56}{60 \times 4} = 0.23$ 公尺/分。由此可知，從坑道掘進中的防塵對風量的要求來看，不僅不低於放炮後稀薄有害氣體所需的風量，甚至還要高得多。

6. 小結：從上述示例用各個公式計算的風量，

以 $V = \frac{Q}{S}$ 公尺/秒公式算出 V 值如下表：

由表看出，在所給定的條件下，計算出的壓入式

壓 入 式				抽 出 式				混 合 式											
Q_{H1}	V_1	Q_{H2}	V_2	Q_{H3}	V_3	Q_{H4}	V_4	Q_{B1}	V_5	Q_{B2}	V_6	Q_{B3}	V_7	Q_{K1}	V_8	Q_{K2}	V_9	Q_{K3}	V_{10}
83	0.35	87	0.48	90	0.38	98	0.41	21	0.09	14	0.06	20	0.08	15	0.06	14	0.06	37	0.15

通風風量具有 0.37 公尺/秒左右的風速，各公式的最大差值為 18%；抽出式的風速為 0.08 公尺/秒左右，最大差值為 50%；混合式的風速為 0.09 公尺/秒左右，最大差值達 164%。

上面也已經講到，所有列舉為使通風有效的風速要求，都是從試驗或是直接觀察放炮後氣體（炮煙）在坑道內流動和掘進作業時粉塵飛揚的實際情況得出的。但是，風速數值是由小於 0.1 到大於 0.6 公尺/秒，差距是很大的。因此，對於決定最低風速以至正確的計算風量的問題，還有待於今後更多的研究觀測和積累資料來解決。

此外，有時還應考慮到坑內空氣溫度對風速的要求問題，例如 301 隊 $\times \times$ 探礦坑口坑內溫度在夏季達到 35°C 的特殊情況時，如果按規程規定：溫度超過 24°C 時，風速不得低於 2.5 公尺/秒。很明顯，在獨頭探礦坑道條件，用局部機械通風是不能滿足這一要求的。在此情況下，只有從降低進入坑內的空氣溫度和貫通坑道造成通風系統方面尋求解決辦法，最好是在佈置坑口時儘可能避免地面氣候對坑內溫度的巨大影響。

在目前獨頭探礦坑道通風中，從坑道特點所決定的通風技術條件，以及根據風速要求的理論和觀測，初步可以得出如下一個概念，就是蘇聯規程所規定的最低風速不得小於 0.25 公尺/秒，必須作為檢驗風量

的基本數據，亦即在任何情況下輸入坑內的風量不得少於以 $Q \geq 0.25S$ 立方公尺/秒公式計算的值。

二、關於風筒末端至工作面的最大

容許距離， Q_H 和 Q_{BC} 值

B. H. 沃羅寧計算風量的方法是根據自由風流（沒有固定邊界的紊流）的理論提出來的。

採用壓入式通風時，新鮮空氣自風筒（圓形）末端流出形成自由風流（圖 1 及圖 2）。自由風流邊界上（j）的縱向速度，即 x 軸向速度等於零。而附圖上的橫向速度（ V ）不等於零，所以自由風流的風量，沿軸向擴展的範圍不斷增加。風流的中心部分（aa 以內）是一個不變風量核心。由於附面層的內部邊界把從 BB' 断面開始流出的未經自由風流擾亂的部分空氣隔離開來，在容積 $BDBD'$ 的範圍內空氣流速保持着從

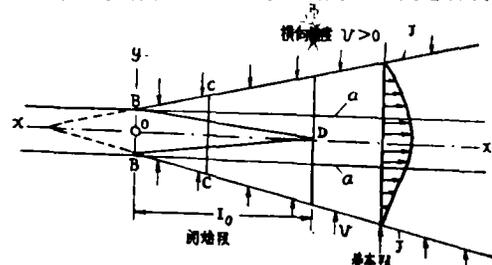


圖 1 自由風流

开始断面流出的速度。B. II. 沃罗宁应用这一圆形自由风流作用的长度，提出压入式通风用其公式



图 2 空气从风筒流入工端至工作面的最大距离作面时所形成的自由风流的公式：

$$L_H \leq 0.5 \sqrt{S} \left[1 + \frac{1}{2a} \right] = 3.6 \sim 4.6 \sqrt{S};$$

式中： a —自由风流的构造系数，此自由风流离风管口时，作用在工作面附近的空腔，其值新为 0.06，旧风筒为 0.08；

S —坑道掘子以內的断面，平方公尺。

上面示例中压入式通风用 B. II. 沃罗宁公式计算出的风量要求：

$$Q_H \leq 3.6 \sim 4.6 \sqrt{4} \leq 7.2 \sim 9.2 \text{ 公尺。}$$

抽出式通风时，空气是按圆形球面从各方面进入风筒口內（图 3）。因此，筒口附近的空气稀薄作用带有限，吸入速度随着距筒口断面的距离增加而很快的降低，当 $X = D$ 时，其速度仅为风筒中平均风速的 6%，即 $V_x = 0.06 V_{MP}$ （图 4）。B. II. 沃罗宁提出

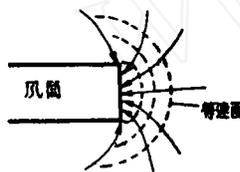


图 3 空气吸入风筒前沿等速面的分佈图

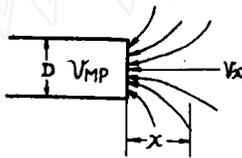


图 4 空气吸入风筒前的流速减弱程度示意图

当用其抽出式通风风量计算公式时，自风筒末端至工作面的最大距离应满足下式的要求： $Q_{BC} \leq 0.5 \sqrt{S}$ 公尺。如上示例中抽出式通风用 B. II. 沃罗宁公式计算出的风量要求 $Q_{BC} \leq 0.5 \sqrt{4} = 1$ 公尺。

B. II. 沃罗宁并指出：如果实际距离大于用上式计算出的 20~30% 时，则计算的风量或输入的风量要另外增加 0.5~1 倍。

另外，A. H. 克谢诺瓦朵娃从断面 S 为 3.6 平方公尺的平巷中实验得出，从风筒末端至工作面的最大距离为 $3.2 \sqrt{S}$ ， $6.4 \sqrt{S}$ ， $9.6 \sqrt{S}$ 三个数值，即 6，12，18 公尺。并根据实验结果提出用其公式计算风量时 Q_H 和 Q_{BC} 的相应计算公式：

当用压入式通风时，最小距离 $Q_H \leq 2 \sqrt{S}$ ；最大距离 $Q_H \leq 6 \sqrt{S}$ 。

当用抽出式通风时， $Q_{BC} \leq 3 \sqrt{S}$ 。

上面示例中用 A. H. 克谢诺瓦朵娃公式计算的风量，对 Q_H 的要求是 $Q_H \leq 6 \sqrt{4} = 12$ 公尺，对 Q_{BC} 的要求是 $Q_{BC} \leq 3 \sqrt{4} = 6$ 公尺。

从上述 B. II. 沃罗宁从自由风流理论提出的和 A. H. 克谢诺瓦朵娃从实际试验得出的 Q_H 和 Q_{BC} 的值是前者小于后者， Q_H 值相差 0.5 倍， Q_{BC} 值相差 6 倍。如果根据 B. II. 沃罗宁的要求，当距离增大 20~30%，风量要增加 0.5~1 倍，则当距离达到 A. H. 克谢诺瓦朵娃公式计算出来的数值时，风量应该大得多，而用他们的计算风量的公式所得结果，与实际要求并不适应。但相同的是 Q_{BC} 比 Q_H 要小，并且 Q_H 或 Q_{BC} 值越小对通风越有利。也可以认识，在很长独头坑道中（如大于 400 到 500 公尺），当 Q_{BC} 值很小时，抽出式通风比压入式通风能够将放炮后所产生的有害气体更快地排出。这是因为用压入式压入的新风，使有害气体（炮烟）的最初浓度不断地被稀释，并且顺着炮烟沿坑道扩散的方向向坑口流出；而抽出式则是使沿坑道进入的新风把有害气体带向工作面方向流动，此时，稀释过程缓慢，稀释作用很少，因而有害气体的浓度在坑道中的分佈是不均匀的，而被大量地吸入风筒排出坑口。

但是，必须注意，在实际工作中，为避免放炮时从工作面抛掷出的岩石击毁风筒，因而风筒末端至工作面的距离常为 25~30 公尺，这对放炮后的通风效率影响很大。从这一情况出发，目前应当做到经过放炮后的通风之后，人员进入工作面时，必须首先将准备好的活动风筒接向工作面，尽量缩短风筒与工作面的距离。另外也可考虑增大坑道风流速，从而增加风量或延长放炮后的通风时间来解决这一问题。

三、关于放炮后有害气体从工作面沿

巷道扩散的长度， Q 值

苏联马克耶夫科学研究所试验提出：在煤矿及中硬岩石中， $Q = 15 + \frac{A}{5}$ ；在金属矿及硬岩中，

$Q = 2.4A + 10$ 。其他实测结果表明， Q 值平均在 30~40 公尺之间。并从公式得知，当单位面积的炸药消耗量增大或是 A 值增大时，则 Q 值随着增大。再从 $n =$

$$\frac{Ab}{10V}, \text{ 即 } V = S Q = \frac{Ab}{10n} \text{ 及 } Q = \frac{Ab}{10n \cdot S}, \text{ 可以看出，}$$

当 A 值或 V 值不变， Q 值随 S 值减小而增大，式中 V 表示有害气体扩散带的体积。在探矿坑道中，岩石硬度较大因而 A 值或 V 值也就较大，同时坑道断面

較小，都是使 Q 值增大的原因。因此，可以認為在我們探礦坑道通風計算風量時，採取 $Q = 2.4A + 10$ 是更有可能接近實際情況的。

在示例中，對 A.И. 克謝諾瓦朵娃的壓入式和抽出式通風的風量計算公式，用兩種 Q 值代入計算所得的風量數值，表明當壓入式通風時，Q 值越大，則所需風量越小；而用抽出式通風時，Q 值增大風量隨着增大。這是因為 Q 值與 n 成反比關係，而同 V 值成正比關係。所以用壓入式通風當 n 值小即 V 值大時風量小；而抽出式通風則當 n 值大即 V 值小時風量小。從示例計算結果可以看出 Q 值的大小對所需風量大小的影響是很大的，壓入式計算的風量相差 8%，抽出式相差 5%。同時，對 Q 值發生影響的因素是很複雜的，如炮眼的數量和質量，炮眼堵塞材料的好壞和堵塞系數的大小，炮眼同時爆炸數量等等，因此，Q 值在實際情況下的變化是很大的，據觀測有時會達到 70 公尺。因此當用抽出式通風時，為使輸入的風量正確而有效，在計算風量時就應該特別重視數值 Q 的選取，最好是根據實測來確定這一參數。

四 關於每公斤炸藥爆炸後所產生的有害氣體 b 值和排出的（當壓入式）或工作面附近的（當抽出式）風流中假設的一氧化碳最高許可濃度 n 值。

規程規定：用以沖淡放炮後所產生的有害氣體所需要的風量，是按每公斤炸藥所能產生的一氧化碳假定为 100 公升（0.1 立方公尺）來計算的，當工人進入工作面前，工作面以及通往工作面的坑道內的有害氣體必須稀薄至以一氧化碳來換算的 0.02% 的程度。

一氧化碳在坑內空氣中含量規定的概念是：最高含量為 0.02%，此時，工人進入工作面後，以同樣的風量輸風的延續時間不得少於 2 小時；含量為 0.008% 時，工人在此種空氣中停留的時間，不得超過 0.5~1 小時；工人長時間停留的坑道，其含量不得超過 0.0016%。

根據規定，為把有害氣體稀薄到 $n = 0.02\%$ 的 CO，當每公斤炸藥所產生的 CO 假定为 $b = 100$ 公升或 0.1 立方公尺時，則容許的通風負荷（允許工人進入工作面）為 $b/n = 0.1/0.02\% = 500$ 立方公尺風量/公斤炸藥。如為滿足這一要求，則示例中壓入式通風量 $Q = \frac{Ab}{i} = \frac{5 \times 8 \times 100}{30} = 133$ 立方公尺/分，

比用其他公式計算的結果顯然偏高。這是因為此一公式並不符合放炮後把新風供給工作面時的實際上所發生的過程，它是從假定壓入的新風和有害氣體在一定

容積內混合或起稀薄作用而提出的，並沒有考慮到實際上是新風壓入、污風排出，污風中的瓦斯（CO）是不斷的被新風所稀薄，污風中的瓦斯濃度是不斷的在下降，即是沒有壓入新風的瓦斯濃度是大于有新風進入的濃度，不考慮這一點，所計算出來的風量就會不夠正確，而一般要大，其影響數值是坑道長度 L 和 A/S。

通過實際測定，蘇聯冶金工業部礦山技術監察局 1949 年間頒佈的 20 種炸藥中，除一種 62% 的硝甘炸藥每公斤所產生的 CO 超過 75 公升外，其餘的 19 種，都沒有超過 50 公升。因此，A.И. 克謝諾瓦朵娃取 b 值為 40 公升，如以 n 值為 0.02%，則容許的通風負荷或風量為 $b/n = 0.04/0.02\% = 200$ 立方公尺/每公斤炸藥。但是，A.И. 克謝諾瓦朵娃的計算風量的公式中取 $n = 0.008\%$ ，即 $0.04/0.008\% = 500$ 立方公尺/每公斤炸藥，此數與 B.И. 沃羅寧計算風量公式中取 $0.1/0.02\% = 500$ 立方公尺/每公斤炸藥在總值上仍然是相等的。

我們目前普遍使用二號硝酸炸藥，在沒有經過實際測定 b 值之前，並當按公式計算或規程規定的風量和通風設備條件或坑道條件發生不相適應的情況時，可以考慮採用 $b = 40 \sim 50$ 公升和 $n = 0.02\%$ 數值來檢驗所需風量的大小。因此，下面的計算是可以參考的，即如示例中 $A = 8$ 公斤，用 $Q = \frac{5Ab}{i}$

$$= \frac{5 \times 8 \times 40}{30} = 53 \text{ 立方公尺/分鐘}$$

這與規程規定最小風速所求 $Q = VS = 0.25 \times 60 \times 4 = 60$ 立方公尺/分鐘是相近似的。

對風量計算的幾點初步認識

從風量的示例計算及其影響因素的分析，結合獨頭探礦坑道的特點及其對通風風量要求的討論，可以得出如下的初步認識：

一、在獨頭坑道掘進中，為滿足放炮後排出有害氣體和打眼、運搬作業時防止礦塵揚揚，對通風輸入風量的要求，是一個複雜的並且還沒有得出符合於各種情況的一致的計算方法。這就指出了我們在目前解決通風工作中存在的問題，必須首先在決定風量上，學習和吸取蘇聯的先進理論和實際經驗，從而廣泛的進行試驗測定和積累實際資料，並加以系統的分析研究。同時，在通風設計中必須考慮具體情況而引用現有的風量計算公式，應儘可能的使通風設備供給的風

（下轉第 15 頁）



西莫夫著《实用二、三、四等三角测量计算手册》后，首先对每一三角形，计算记于表中3、4、5、6及7等栏之系数的和，并记录之。例如第1三角形之

$$\Sigma a_1 = 0 + (-1) + 0 = -1, \quad \Sigma b_1 = -0.192 + 0 + 0.086 = -0.106 \text{等}$$

$$\text{及} \quad -\frac{\Sigma a_1}{3} = +0.3333, \quad -\frac{\Sigma b_1}{3} = +0.0353 \text{等。}$$

其次，按(8)式计算法方程式的系数，例如，第一法方程式中 k_1 之系数(平方的)为：

$$[r_{aa}] = (-1)^2 + (+1)^2 + (+1)^2 + (-1)^2 + (+1)^2 + (-1)^2 + (-1)(+0.3333) + (+1)(-0.3333) \\ + (+1)(-0.3333) + (-1)(+0.3333) + (+1)(-0.3333) + (-1)(+0.3333) = +4.00.$$

第一法方程式中 k_3 之系数为：

$$[r_{ac}] = (-1)(+0.219) + (+1)(-0.056) + (+1)(-0.056) + (-1)(+0.224) \\ + (+1)(+0.082) + (-1)(+0) + (-1)(+0.1033) + (+1)(-0.0993) \\ + (+1)(+0.0413) + (-1)(-0.1213) + (+1)(-0.0223) + (-1)(+0) = -0.535.$$

当法方程式系数计算完后，即按一般方法进行法方程式解算，将 k 值记入条件方程式表格相应栏中。

最后按(4)式计算 V' 及 V'' 之值，记入[附表]第8栏，并按(5)式计算概略平差角的最后改正数 V ，记入[附表]第9栏，每一三角形各角的改正数之和应等于零，以此作为改正数之计算的检查。

(上接第23页)

量得到有效利用，要求对局部扇风机和风筒的选择布置，以及坑道断面尺寸的决定都要达到经济合理。

二、对很长的独头坑道，特别是多工作面同时作业时坑道，用抽出式通风是适宜的，当有条件或有可能创造条件时，在放炮后的通风时间内采用混合式通风则更为有利。在此情况下采取压入式通风需要的风量很大和通风时间要长，并且通风设备往往不能满足这一要求，也有可能造成电力上不必要的浪费。

三、当用抽出式或混合式通风方法计算风量时，应用各个计算公式进行比较，再根据最小风速不小于0.25公尺/秒来检验。但是必须注意到风筒末端至工作面的距离和放炮后有害气体从工作面沿坑道扩散的长度两个实际数值大于计算数值的影响，因此，当有可能和有必要时，应该适当的增加风速即增大风量。

四、在坑道掘进中，一般是采取打眼运搬平行作业或是多工作面混合作业，从防尘工作出发，应考虑到同样用不小于以至大于0.25公尺/秒的风速进行延续的甚至是不间断的通风。当在高矽尘的和有毒素的矿床中掘进时，更必须考虑采用全作业时间的通风。并且应该竭力避免或禁止在一个独头坑道内的部分工作面放炮，而在其他工作面以及通往工作面的坑道同时进行其他作业。特别在风速小、风筒漏风大(抽出式)的情况下是不容许的，集中班末放炮是合理的。

最后还值得提到的是，为满足通风风速要求因而增大风量，对局部通风设备功率相应要求的问题。根据实际独头探矿坑道掘进资料来看，每个掘进工作面

所需最小风量，为45立方公尺/分(穿脉)到60立方公尺/分(沿脉)左右。当有三个工作面同时作业时，所需风量将为150立方公尺/分左右。从现有最优良的轴流式局部扇风机BЛ(即佳木斯电机厂仿制的ГВТ—4.2, 5.5, 11 缸; 后者即ВЛ—5型, 风量260立方公尺/分, 全压80公厘水柱。)及BM(BM—300型, 风量立300方公尺/分, 全压180公厘水柱, 16缸。)类型的通风效能并利用串联装置是可以满足或接近上述要求的(例如: 当金属风筒长400~500公尺, 直径500~600公厘, 风量送达系数0.5时, 是可以的)。但当工作面增加, 所需风量要求超过150~200立方公尺/分时, 这就要从调整施工顺序(减少同时掘进的工作面), 尽力消除漏风, 适当的加大坑道断面采用较大风筒, 以及延长放炮后的通风时间, 并当有条件有必要时, 应考也虑开凿通风井巷等方法, 来合理而安全的解决向所有工作面供给足够的风量问题。

主要参考文献

1. 矿内通风学(1951)A.A.斯濶成斯基、B.И.濶洛夫合著
2. 采矿手册第十四章(1952)B.И.沃罗宁著
3. 矿井通风习题汇编(1954)A.И.克谢诺瓦朵娃著
4. 矿井巷道的通风阻力(1950)A.И.克谢诺瓦朵娃等著
5. 矿内通风及其检查方法上册(1954)A.X.扎索霍夫、Л.В.扎索霍娃合著