

第2章 通 気

1 通気の目的

近年鉱山における通気は、採掘個所の奥部化や深部への移行に伴い、ますますその困難性を増している。通気に関係する失敗は、ガス爆発などの重大災害につながるので、坑内保安係員としては通気の重要性を十分認識し、その基礎的技術を身につける必要がある。

通気の目的は、

- ・坑内で働く鉱山労働者の呼吸に必要な量の新鮮な空気を供給する。
- ・坑内において発生するメタン、人の呼吸、鉱石の酸化、坑木の腐敗、発破作業などによって発生する炭酸ガスその他の有害ガスを、新鮮な空気で危険のない程度に薄めて、坑外に導き排除する。
- ・坑内の空気は地熱、機械熱その他の原因で熱せられており、また多湿の空気となっているので、冷却して作業に適する温度と湿度を保たせ、作業環境を快適にする。

の3項目であるが、それぞれの鉱山、炭鉱の事情によって、通気の目的や重点の置き方が異なる。例えば、金属鉱山では発破の後ガスの排除を第1の目的とする鉱山もあるが、鉱石の酸化が激しく二硫化水素、炭酸ガス、亜硫酸ガスなどの有毒有害ガスの発生が多い鉱山や、坑内に温泉が湧出するなどの理由により、高温である鉱山もある。また、最近の重機械類の坑内導入で、その排出ガスの排除に十分な通気を必要としている鉱山もある。

炭鉱では、可燃性ガスであるメタンの排除が絶対的な条件であり、最も重要な保安対策であるが、高温な個所を冷却することが必要な炭鉱もある。

2 通気量

以上の目的を達成するため必要な通気量は、ガス発生量、坑内稼働人員、地熱などによって異なる。わが国の保安規則では、次のように定められている。

① 酸素および炭酸ガス

原則として酸素含有率19%以上、炭酸ガス含有率1%以下としなければならない(施行規則第16条第1項)。

② 可燃性ガス

主要排気中の可燃性ガス含有率は、原則として1.5%以下としなければならない(措置事例第4章1(2)-(1))。また、作業場は1.5%以下、通行箇所は2.0%以下としなければならない(措置事例第4章1(2)-(2)、(3))。

③ 坑内気温

坑内作業場における気温は、原則として37℃以下としなければならない(施行規則第16条第2項)。

④ 通気量

可燃性ガス、有害ガスおよび発破の煙を薄めて運び去るために必要な速度と量でなければならない(措置事例第14章1(2))。なお、鉱山労働者の数、ガス発生量、自然発火の可能性、気温、湿度などに基づいて決定しなければならない。(措置事例第14章1(2))。なお、甲種炭坑では、原則として1人当り毎分 3m^3 以上としなければならない(措置事例第14章1(1)①)。

⑤ 通気速度

炭鉱では、原則として毎分450m以下としなければならない。ただし、立坑では毎分600mまで許容される(措置事例第14章1(4)①、②)。

3 主要通気

坑内全般の通気を主要通気という。通気を行うためには、入気坑口と排気坑口との間に、ある圧力差が生ずるようにしなければならない。通気力を起す方法には、坑内外の温度差によって気流を起させる自然通気と、扇風機により人工的に圧力差を起させる機械通気とがある。金属鉱山においては、自然通気または機械通気によっており、炭鉱ではほとんど機械通気によっている。

(1) 主要通気の種類

1) 自然通気

坑外の気温は、四季・昼夜を通じて絶えず変化するが、坑内温度はあまり変化しない。

一般に、冬季は気温よりも坑内温度が高く、夏季は反対に低い。従って、入排気坑口の高さが異なるときは、両者の間に空気密度の差を生じ、通気力が起る。これを自然通気という。

2つの坑口の高さが異なる場合を考えると、夏季は坑内温度が外気より低いから、外気は上の坑口から入り下の坑口から出る。冬季はその反対となる(図2.30参照)。

自然通気は、主として坑内外の温度差によるものであるから、その差の少ない春秋には通気力が減少して、ときにより無風または逆流状態になるなど通気がきわめて不安定である。そのため、ガス発生の恐れのある鉱山や炭鉱では、自然通気だけに頼ることは危険である。

2) 機械通気

扇風機で通気を行う方法である。必要通気量と通気圧から、最も適当な性能の扇風機を選定する。

① 吹込式と吸出式

吹込式は、扇風機を入気坑口側に設け、坑内に空気を吹込む方式で、扇風機が止まったとき坑内気圧が運転時より下がるので、採掘跡や亀裂などからガスの湧出が多く危険である。

吸出式は、扇風機を排気坑口側に設け、坑内より空気を吸出す方式で、坑内は大気圧より低い気圧(負圧)となる。扇風機が止まったとき、坑内気圧が運転時より高くなって、逆にガスを押し

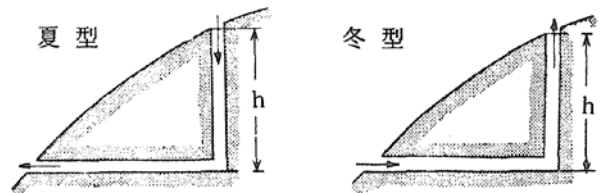


図 2.30 自然通気 (夏型と冬型)

込む形となり安全である。現在、大部分は吸出式が採用されている。

② 中央式と対偶式

入排気坑口が接近している通気方法を中央式、遠く離れている通気方法を対偶式という。

中央式では、通気距離が長くなり通気抵抗が増大するほか、目抜などからの漏風が多い欠点がある。対偶式では、通気距離は減少し、通気戸や風橋が少なくて済み、かつ漏風の恐れがない。また、坑内爆発などが発生した場合、扇風機の運転が可能な間は坑内通気が途絶せず、また排気が入気に吸引される恐れがない。このため、通気方法としては対偶式が望ましい。

(2) 坑道の通気抵抗

1) 坑内空気の流れおよび通気抵抗

① ベルヌーイの定理

圧縮性と粘性とを考えない理想流体の流れにおいて、その任意断面における水頭は圧力水頭（静圧）と速度水頭（動圧）と位置水頭の和に等しい。

図2.31に示す管路AB間に流れの抵抗がないものとすれば、A点における流体の持つエネルギーは、B点における流体の持つエネルギーに等しい。

このエネルギー保存の法則は、ベルヌーイの定理と呼ばれ、水や空気などを取り扱う流体力学の基礎をなすもので次の式で表わされる。

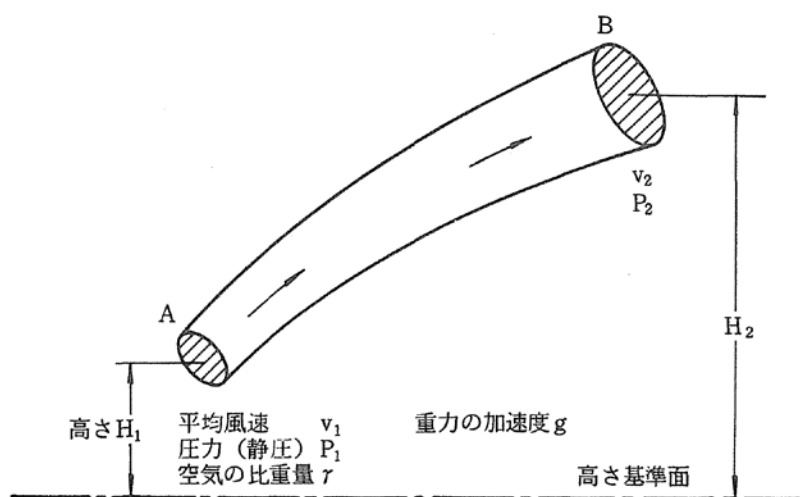


図 2.31 ベルヌーイの定理関係図

$$P_1 + \frac{v_1^2}{2g} \cdot r + H_1 \cdot r = P_2 + \frac{v_2^2}{2g} \cdot r + H_2 \cdot r \quad \cdots \cdots (2.1)$$

(2.1) 式を一般式に書きなおすと、

$$P + \frac{v^2}{2g} \cdot r + H \cdot r = \text{一定} \quad \cdots \cdots (2.2)$$

となる。(2.2)式の第1項のPは静圧、第2項の $\frac{v^2}{2g} \cdot r$ は動圧である。第3項のH・rは、高さの違いによる位置の圧力で、空気の場合ではH=0とみなせるので、

$$P + \frac{v^2}{2g} \cdot r = \text{一定} = \text{全圧} \quad \cdots \cdots (2.3)$$

となる。従って、静圧と動圧の和が全圧になる。静圧を P_s 、動圧を P_v 、全圧を P_t とすれば、(2.3)式より、次のようになる。

$$P_s + P_v = P_t$$

(静圧 + 動圧 = 全圧)

全圧と静圧はピトー管で測定できるので、全圧から静圧を差引けば動圧が分かる。また、

$$\text{この動圧から } v = \sqrt{\frac{2g \cdot P_v}{\gamma}} \text{ の式によって風速を計算で求めることができる。}$$

② 坑道の通気抵抗

坑道を空気が流れる場合、坑道断面積が小さく、長さが長く、木枠支柱で壁面に凹凸があると、通気抵抗が大きくなり風が通りにくい。通気のためには通気抵抗に打ち勝つために圧力が消費されることになる。通気抵抗は普通水柱 mm で表わされる。

通気抵抗(通気圧)と風量、坑道の性質、断面積などの関係については、アトキンソンの公式があり、気流の摩擦抵抗を示す公式として、通気学においてのみ使用される大切な式である。

$$h = k \cdot \frac{L \cdot U \cdot V^2}{S} \quad \text{または} \quad h = k \cdot \frac{L \cdot U \cdot Q^2}{S^3} \quad \left(\because V = \frac{Q}{S} \right)$$

ただし h : 通気抵抗(水柱 mm) V : 風速(m/s)
 k : 摩擦係数 S : 断面積(m^2)
 L : 坑道長(m) Q : 風量(m^3/s)
 U : 坑道周長(m)

すなわち、次のようにもいえる。

- ・通気抵抗は、同一坑道においては、風速の2乗に比例する。
- ・通気抵抗は、坑道の断面積に逆比例し、坑道長、坑道周長に正比例する。

アトキンソンの公式における、 $k \cdot \frac{L \cdot U}{S^3}$ は、坑道条件などによって決まる定数で、坑道の比抵抗(R)と呼ばれる。この値は小数点以下非常に小さな数値となるので、実用上、1000倍にしたものを使用し、ミュルグという。これを M とすれば、

$$M = k \cdot \frac{L \cdot U}{S^3} \times 1,000 \quad (\text{ミュルグ}) \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$= R \times 1,000 \quad (\text{ミュルグ})$$

従って、アトキンソンの公式は、次の式のように表わされる。すなわち

$$h = k \cdot \frac{L \cdot U \cdot Q^2}{S^3}$$

$$= \frac{M}{1,000} \times Q^2 \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

となり、通気抵抗(h)は風量の2乗に比例し、比抵抗が大きいくほど大きくなることを示している。

今日では、通気網の計算はほとんどコンピュータによって行なわれているが、その基礎となる比抵抗に、(2.4)式より計算して求めた比抵抗(M)を用いると、計算結果に大きな誤差を生ずることがあるので、鉱山気圧計などで比抵抗を実測することが望ましい。

2) 摩擦係数(k)

通気圧力損失に関するアトキンソンの式で、摩擦係数は、坑道周壁の性質、坑道の屈曲、断面積の急激な変化、その他種々の障害物により異なる個々の坑道特有のもので、実測により求める。屈曲のない坑道の摩擦係数の例を、表2.4に示す。kの値が小さいほど、通気抵抗は小さくなる。また、坑道の屈曲程度が大になれば、通気抵抗は増加するので、できるだけ丸味を付けるようにする。

3) 等積孔(A)

通気抵抗を表わすのに、等積孔(m²)がある。いま、1枚の薄板に孔をあけて、その孔を通る風量がある坑内の風量と等しくし、この孔の前後における圧力差をその坑内の通気圧と等しくなるように、孔の大きさを仮定することができる。この仮定された孔の大きさを、この坑内の等積孔という。等積孔は、風量と通気圧が分かれば、次の公式によって算出できる。

$$A = 0.38 \frac{Q}{\sqrt{h}} \quad \dots\dots (2.6)$$

ただし A：等積孔(m²)

h：通気圧(水柱mm)

Q：風 量(m³/s)

等積孔を大きくすることは、通気抵抗を減ずることであって、通気をよくするために肝要である。

いかに理論風量の大きな扇風機を設置しても、等積孔が伴わなければ、風量は増加するものでない。このため、主要坑道の拡大、切り替え、分流の増加などによって、等積孔を大きくすることが必要である。等積孔(A)と比抵抗ミュルグ(M)との関係は、次の式で表わされる。

$$A = \frac{12}{\sqrt{M}} \quad \dots\dots \text{比抵抗を等積孔に換算} \quad \dots\dots (2.7)$$

$$M = \frac{144}{A^2} \quad \dots\dots \text{等積孔を比抵抗に換算} \quad \dots\dots (2.8)$$

両式は単に等積孔(A)と比抵抗(M)との関係を示すのみでなく、比抵抗を等積孔に、また、等積孔を比抵抗に換算することができ、坑道の比抵抗を合成する場合に使われる便利な式である。

表 2.4 坑道の摩擦係数(k)

| 坑 道 形 状 | | k の 値 |
|-----------------------|-----------|--------|
| アーチ型 | コンクリート巻 | 0.0005 |
| | ブ ロ ッ ク 巻 | 0.0006 |
| | 鋼 枠 | 0.001 |
| 無 枠 坑 道 | | 0.001 |
| 木 枠 坑 道 | | 0.002 |
| 立坑(コンクリート巻, 上下接続部を含む) | | 0.001 |