

第3章 扇風機（ファン）

第1節 空気およびガスの基礎理論

1 完全ガスの状態変化

気体はさえぎるものがなければいくらでも広がり、もしこれをさえぎるときはある圧力を示す。また圧力を一定に保ったとしても、温度の変化によって大きく膨張あるいは収縮する。このように、気体の状態はその重量・体積・圧力および温度によって著しく変化するが、それらの状態量の間には何らかの関連性がある。

なお、0℃、1気圧における気体の状態を物理学上の標準状態といい、この状態における1キモル〔kmo1〕の完全ガスの占める体積は全て22.4〔m³〕である。また、標準状態における気体の体積を表わす単位には〔Nm³〕を用いる。空気機械における取り扱いガスは空気であるので、一般的に標準空気の状態を標準状態として取り扱う場合が多い。標準空気とは、20℃・1気圧（101.325kPa）において、相対湿度65%・密度1.20 kg/m³なる湿り空気のことである。

気体の状態変化に関する各種の法則を、以下に示す。

1) ボイルの法則

気体の温度を一定に保った場合、その気体の占める体積は圧力に反比例する。すなわち、一定量の気体の初期圧力を P_1 、体積を V_1 とし、圧力を変化させて P_2 としたとき、その気体の占める体積が V_2 になったとすれば、常に次式の関係が成り立つ。これをボイルの気体弾性の法則（一般に、ボイルの法則）という。

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} = (\text{一定}) \quad \text{あるいは} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2 = (\text{一定}) \quad \dots\dots (3.34)$$

2) シャールの法則

気体の圧力を一定に保った場合、その気体の占める体積は絶対温度に比例する。すなわち絶対温度 T_1 のとき体積 V_1 を占める一定量の気体が温度を変化させて絶対温度 T_2 としたとき、その気体の占める体積が V_2 になったとすると、常に次式の関係が成り立つ。これをシャールの気体膨張の法則（一般に、シャールの法則）という。

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = (\text{一定}) \quad \text{あるいは} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = (\text{一定}) \quad \dots\dots (3.35)$$

3) ボイル・シャールの法則

ボイルの法則とシャールの法則を合わせたのがボイル・シャールの法則「一定量の気体の占める体積は圧力に反比例し、絶対温度に比例する」である。本法則では、次式の関係が成り立つ。

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} \quad \text{あるいは} \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = (\text{一定}) \quad \dots\dots (3.36)$$

従って、ある気体の一定量をとればその状態がどんなに変化しても、 PV/T の値は一定である。この一定値を気体のガス定数と呼び、 R で表わす。このガス定数 R の値は個々の気体によって異なる。すなわち、 G [kg] の気体の状態を示す方程式は次のようになる。これを気体の状態方程式という。

$$\frac{PV}{T} = GR \quad \text{あるいは} \quad PV = GRT \quad \cdots \cdots (3.37)$$

また、これを体積 V のかわりに比体積 v (m^3/kg) を用いて表わすと $v = \frac{V}{G}$ だから、次式となる。

$$Pv = RT \quad \cdots \cdots (3.38)$$

ボイル・シャールの法則に従って状態が変化する気体を完全ガスあるいは理想気体と呼ぶ。実在の気体では、厳密にいうと、この法則を完全に満足するものではないが、一般的に、ほとんどの実在気体は近似的にこの法則を満足するので、それらの実在気体を完全ガスと見なしている。

2 空気の性質

1) 空気のガス定数 R

標準状態 ($0^\circ\text{C} = 273^\circ \text{K}$, $1 \text{ 気圧} = 1,013 \text{ hPa}$) における水分のない乾燥空気の密度が 1.293 [kg/m^3] であることから、その空気のガス定数 R は、次に示すようになる。

$$Pv = RT \text{ より, } 1.013 \times 10^5 \times \frac{1}{1.293} = R \times 273 \quad \text{となるから,}$$

$$R \doteq 287 \text{ } [\text{Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{K}]$$

ここで、 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$, $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$ であるから、 $1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$ となり、

$$R \doteq 287 \text{ } [\text{J} / \text{kg} \cdot \text{K}]$$

2) 乾燥空気の密度

重量 G [kg] なる乾燥空気の密度は、温度 t [$^\circ\text{C}$] ・圧力 P [hPa] とすると、

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{P}{RT} \text{ より, } \frac{P_1}{\gamma_1 T_1} = \frac{P_2}{\gamma_2 T_2} = (\text{一定})$$

$$\text{すなわち, } \gamma_2 = \gamma_1 * \frac{P_2}{P_1} * \frac{T_1}{T_2} \quad \cdots \cdots (3.39)$$

になる。ここで、 γ_1 , P_1 , T_1 は標準状態における状態量、 γ_2 , P_2 , T_2 は任意の状態における状態量である。上式から、乾燥空気の密度 γ は次のようになる。

$$\gamma = 1.293 * \frac{P}{1,013} * \frac{273}{273 + t}$$

第2節 扇風機

1 扇風機の分類

(1) 使用目的による分類

① 主要扇風機

坑内通気の大勢を決定付ける主要なものとして使用される扇風機で、通常、排気坑口または排気坑口付近の坑内に設けられる。その容量は坑内の規模、ガスの湧出量などによって異なり、また型式は遠心式(主としてターボおよびシロッコ)または軸流式のものが使用されている。特に、最近新設される主要扇風機は軸流式がほとんどである。

② 補助扇風機

主要扇風機の負圧の一部を分担して坑内の全部または一部の主要分流の風量を増加させるために設ける。通気系統では坑内の一部について主要扇風機と直列になる。

③ 局部扇風機

主要扇風機の通気力の及ばない末端の一本延び坑道の通気などに使用するもので、通常押し込み式で風管を使用する。型式は電動機内蔵式の小型軸流扇風機が最も多く使用されている。坑道が長い場合は2台直列にして使用することもある。

(2) 型式による分類

① 遠心型扇風機

羽根車を回転させてその遠心力により羽根車の中を通過する気体に圧力を与えて送り出すもので、羽根の形状により後曲型（ターボファン）、前曲型（シロッコファン）および直線型がある。その羽根の型状を、図3.48に示す。近年使用されている遠心型扇風機としては、ターボファンが代表的であり、低圧（150mmAq以下）の場合はシロッコファンを用いることが多い。なお、直線型扇風機は、最近は使われていない。



図 3.48 扇風機羽根の形状模式図

② 軸流型扇風機

プロペラの回転によってプロペラ間の気体を軸方向に送り出す扇風機である。以前は電動機を内蔵した小容量の軸流扇風機を局部通気用に使用する程度であったが、近年大型の軸流型扇風機が主要扇風機として盛んに使用されてきた。

軸流扇風機が主要扇風機として急速に伸びてきた主な理由は、製作据付が格安で、効率が良いこと、可変ピッチによって風圧一定のもとに風量が変わえられることである。羽根には1段および2

段羽根があり、その駆動方法はモータ直結方式である。

2 扇風機の所要動力および効率

扇風機の所要動力 (W) は、風圧を P (Pa)、風量を Q (m^3/s) とすると、次式のように表わされる。

$$W = \frac{PQ}{102 \times 9.8} \quad [\text{kW}] \quad \cdots \cdots (3.40)$$

この W を空気動力 (ポンプの場合は水動力) という。

実際の扇風機では原動機の動力がそのまま扇風機の有効風圧とはならず、必ず損失がある。すなわち、機内および風筒などの摩擦損失、風筒吐出口の速度損失、漏洩損失などがあり、実際の所要軸動力 W_n [kW] は次のようになる。

$$W_n = \frac{PQ}{1,000 \eta} \quad [\text{kW}] \quad \cdots \cdots (3.41)$$

ここに、 η を扇風機効率といい、扇風機の型式。容量によって異なる。一般に45～85%程度の効率の中で、効率の良い方から軸流型>ターボ型>ラジアル型>多翼型の順になる。

また、扇風機の回転数 (N) と風量 (Q) 扇風機圧 (H) および動力 (W) との間には、次の三つの重要な関係がある。

① 風量は回転数に比例する。

$$Q \propto N \quad \text{または} \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \cdots \cdots (3.42)$$

② 扇風機圧は回転数の2乗に比例する。

$$H \propto N^2 \quad \text{または} \quad \frac{H_2}{H_1} = \frac{N_2^2}{N_1^2} \quad \cdots \cdots (3.43)$$

③ 動力は回転数の3乗に比例する。

$$W \propto N^3 \quad \text{または} \quad \frac{W_2}{W_1} = \frac{N_2^3}{N_1^3} \quad \cdots \cdots (3.44)$$

3 遠心型扇風機の構造

(1) ターボ扇風機

ターボ扇風機は、後曲型の羽根車とケーシングおよび駆動装置の3つの部分で構成されている。羽根車はボスに鋼板製の主板・側板・羽根板を溶接し、車軸にはめ込んだ溶接構造の羽根車にして、気流の抵抗を少なくするようにしている (図3.49参照)。またケーシングは鋼板製

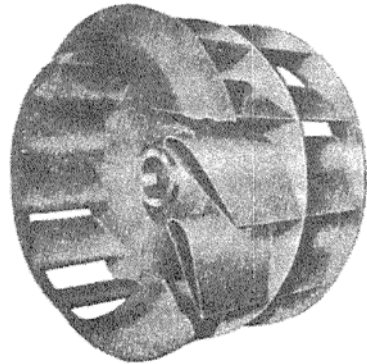


図3.49 扇型断面羽根の羽根車

であり、回転数が200～800rpm程度なので、Vベルトなどによる減速駆動方式である。軸受はころがり軸受グリス注入方式が多いが、大容量のものは滑り軸受に油ポンプによる強制潤滑を行っている。

使用範囲としては200～800rpm, 200～400mm Aq, 1,000～10,000m³/hのものが大部分であるが、最近では20,000m³/h以上のものもある。

近年主要扇風機に軸流扇風機が採用されはじめてからは、従来ほどは使用されていないが、軸流型に比べて保守が簡単で騒音が少ない長所がある。また、最近では羽根の断面形状を翼型にし、軸流型に匹敵する効率最大88%ぐらいまでのターボファンが製作されている（図3.50参照）。

(2) シロッコ扇風機

前曲型翼の代表的なもので、主板および側板に短い多数の羽根板を取り付けた多翼型扇風機である。羽根車は溶接や鋲接構造が多く、回転数がターボファンと同程度なのでVベルトなどによる減速駆動をする。主扇風機として広く使用されたが、効率が良くないのでターボおよび軸流型に取って代わった。現在では150mm Aq以下の低圧で比較的多量の風量を要する場合および補助扇風機として使用されている。多翼通風機の構造例を、図3.51に示す。

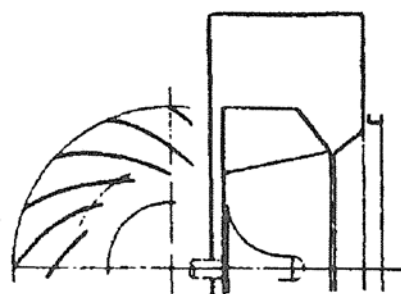


図 3.50 ターボ通風機（後向き羽根）

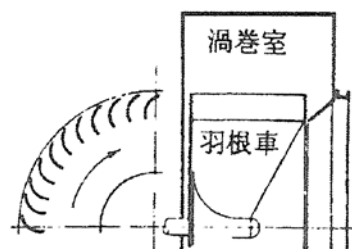


図 3.51 多翼通風機（前向き羽根）

4 軸流型扇風機の構造

最近、軸流型扇風機が主要扇風機として盛んに採用されるようになった。軸流扇風機には、外筒と内筒の間に動翼および固定翼があり、排風気流がこの間を流れる構造である（図3.52参照）。

内筒内部は、軸、軸受および動翼支持部から成り、扇風機の負圧を利用して外気を入れる。内・外筒は鋼板製、動翼は通常軽合金製である。軸受潤滑は、ころがり軸受グリス注入方式が多いが、原動機出力500kW程度以上の大容量機種は、滑り軸受に油ポンプで

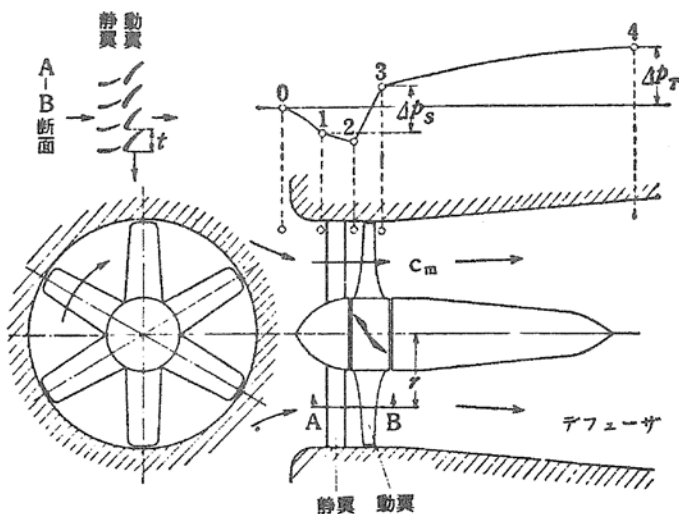


図 3.52 軸流扇風機の構造

強制潤滑を行う。

主軸受のほかにスラスト軸受を必要とするが、そのスラスト軸受にはころがり軸受を用いる。
軸流扇風機の特徴を、次にあげる。

長 所

- ① 扇風機の効率が良いので動力消費が少ない。
- ② 高速回転なので小型軽量となり、製作・据付費が安くて済み、また電動機と直結できる。
- ③ 回転部の重量が少なく軸受間隔が短いので曲げ荷重が少なく回転が安定する。
- ④ 風の方角に変化が少なく風筒の建設が容易である。
- ⑤ 動翼のピッチを変えることによって、回転数。風圧を変えずに風量が変わえられる。

短 所

- ① 構造上、主軸受が内筒内部にあり検査用のマンホールを要し、軸受の検査がしにくい。
- ② 高速回転なので騒音が大きい。
- ③ 動翼と外筒内面・側面との間隔がきわめて少ないので、正確な据付調整を要する。