拡散ポンプ排気速度測定における テストドームの影響

株式会社徳田製作所 小 宮 宗 治
池 田 猛

The Effects of the Test Dome in the
Measurements of the Pumping speed
of an Diffusion Pump.

Soji KOMIYA
Takeshi IKEDA
(Tokuda Manufacturing Co.Ltd)

In the measurement of the pump speed of an oil diffusion pump by Dayton's method, the speed measured with a test dome of a larger diameter than that of the pump mouth shows a value smaller than the one obtained with test dome of the same diameter as the pump mouth.

The reason for it is considered to lie in that the former conductance is smaller than the latter, when a distance between the pump mouth and the measuring position is smaller than a mouth diameter.

We measured pressure distribution in an axial and a radial direction in a test dome and determined the conditions in the test dome for speed measurement.

§1 テストドーム径とポンプロ径の関係

従来拡散ポンプの排気速度測定の際、テストドームを如何にすべきかは、かなり整理されて

考えられて来、我々は通常B.B.Dayton (1)を典拠として、拡散ポンプの性能を発表する際一般性を持たす意味で、所謂 Dayton の方法を採用して来た。

ところが一昨年来、Dayton の説く所が必ずしも明確でなく、解釈の仕方によつては、測定されたデータが区々になりうる可能性がありうることを痛感して来た。

即ち Dayton の報文では、テストドームの径はポンプロ径と同じか又は大きくするように書かれているが、実はテストドーム径がポンプロ径より大きな場合には、当然太い配管から細いポンプへ入るときの流れの散乱の影響が表われるので一概にテストドーム口径を大きくしてもコンダクタンスが増す結果とはならない。

拡散ポンプの排気速度を一先ずポンプの上部フランジ面におけるそれと規定すれば、測定位置によつて起る影響をなるべく小さくしなければならない。従つて測定位置までのフランジ面からのコンダクタンスはなるべく大きくとらなければならない。

今、仮りにポンプロ径(Dcm)と等しい径のもの、及び2Dの径をもつテストドームのフランジ面から等しい距離(Lcm)に於けるコンダクタンスを比較してみよう。

Fig. 1 テストドームの比較

Fig. 1において、流れが上流で充分完成しておれば、分子流におけるコンダクタンスは (a)の場合 周知のように25°Cの空気については

$$C_s = 1.21 \frac{D^3}{L} \quad \ell/s \quad (1)$$

であり、(b)の場合 パイプのコンダクタンス C_{pipe} と孔のコンダクタンス C_{ap} の合成が

全コンダクタンスとなる。

$$C_{\text{pipe}} = 12.1 \frac{(2D)^3}{L}$$

$$C_{\text{ap}} = \frac{9.11 D^2}{1 - \left(\frac{D}{2D}\right)^2} = \frac{4}{3} \times 9.11 D^2$$

従つて合成コンダクタンス C_b は

$$C_b = \frac{8 \times \frac{4}{3} \times 9.11}{12.1 \frac{8D}{L} + \frac{4}{3} \times 9.11} \cdot 12.1 \frac{D^3}{L} \quad (2)$$

となる。^{*1}

(b)のテストドームのコンダクタンスが(a)のそれより大きくなるためには、次の条件が必要である。即ち $C_b \geq C_a$ になるためには

$$\frac{8 \times \frac{4}{3} \times 9.11}{12.1 \frac{8D}{L} + \frac{4}{3} \times 9.11} \geq 1$$

$$\frac{D}{L} \leq 0.86 \quad \therefore L \geq 1.14 D$$

これからみてテストドームの径が2倍になつてもポンプロ径の1.14倍の高さ以上の測定位置でなければ、ポンプロ径と同径のテストドームによるよりもコンダクタンスが小さくなるのである。

C_b/C_a と L/D の関係をテストドーム径 $2D$, $\frac{3}{2}D$ について求めたのがFig. 2である。

*1 短い管の末端の影響をこのように単純に考えるのは良くないことが Clausen によつて論じられているがその誤差は左程大きくないとみてよい。

次に、実験したポンプが4"口径のポンプであつたので、テストドーム径108φと216φの場合、ゲージ位置迄の距離L cmのコンダクタンスを計算してFig. 3に示した。

図から明らかなようにL=12 cm より小さな範囲では、テストドーム径がポンプ口径と同

じ方が、ポンプロ径の2倍のテストドームよりもコンダクタンスが大きい。

勿論口径の2倍の径をもつテストドームの方が高さによるコンダクタンスの変化の割合が少ない(Fig. 3参照)から若干の測定位置の上下の影響はなくなるが、この場合測定されるポンプの排気速度との兼ね合いが重要であつて排気速度(実測値)に及ぼすテストドームの影響をなるべく小さくするために、少くともポンプの「のど」の断面の分子流コンダクタンスの何倍のコンダクタンスをテストドームに持たせるかを規定すべきである。

例えば4「拡散ポンプの「のど」部の分子流コンダクタンス

$$\frac{\pi}{4} \times \frac{8}{9} \times 10.8^2 \times 11.7 \quad \ell/s$$

に対して10倍のコンダクタンスを持たせるには $9550 \ell/s$ 即ちFig. 1(a)の形のもので $L = 1.6 \text{ cm}$ 以内、(b)では L を如何にしても不足である。

§ 2 実測値と計算されたコンダクタンスによる推定値の差異

実験に使用したテストドームはFig. 4に示すものである。

先ずFig. 4(a)のテストドームで測定を行つてFig. 5の結果を得た。ゲージは同じ電離真空計IG-202を硝子コックの中間に置いて測定を、上下交互に行つた。ゲージの前には液体窒素のトラップを入れ、油蒸気を読まないようにした。

Fig. 5

Fig. 5の排気速度曲線の例えば 3×10^{-4} mmHg の処で両方の曲線から読みとれる排気速度の値は $L = 3.1$ cm で、 $S_1 = 360 \ell/s$ $L = 21.6$ cm で $S_2 = 250 \ell/s$ である。この数値とFig. 4(a)のコンダクタンスから計算されるフランジ面での排気速度 S_0 は、

$$L = 3.1 \text{ cm の方から計算すると } S_0 = 1.07 \times 360 = 389 \ell/s$$

$$L = 21.6 \text{ cm } \quad \quad \quad S_0 = 1.71 \times 250 = 429 \ell/s$$

となり両者の間に10%の差が出て来る。

それにしても一応10%の誤差を含めれば、分子流のコンダクタンスの式を用いてフランジ面での排気速度に引き直すことはこの場合ほぼ妥当であると云える。それに比べて、今ポンプのフランジ面での排気速度を上る値の中間で400 ℓ/s としてFig. 4(b)のドーム測定位置 (L=10.8 cm) から予想されるその位置での有効排気速度 S_3 は

$$S_3 = \frac{1300 \times 400}{1300 + 400} = 0.765 \times 400 = 306 \ell/s$$

が得られる筈である。

Fig. 6

然るにFig. 6から判るように実際測定された排気速度の値は 3×10^{-4} mmHg で260 ℓ/s である。この値は数回にわたる実験でいつも得られたもので、しかもFig. 4(a)のテスト

ドームと交互に同一ポンプに付け替えて測定して再現性を確認した。

仮りに 260 l/s の測定値でテストドームのコンダクタンスの計算値に誤りがないものとした場合、フランジ面では

$$S_0' = 325 \text{ l/s}$$

の排気速度に低下したことになるが、テストドームを付け替えた丈でポンプの排気速度自体が変化すると考えるのはおかしいからこの場合コンダクタンスの計算値が大きすぎると見る方が妥当だろう。するとフランジ面で 400 l/s 、 $L = 10.8 \text{ cm}$ の面で 260 l/s の排気速度になるためにはその間のコンダクタンス C' は、

$$C' = \frac{400}{400-260} \times 260 = 743 \text{ l/s}$$

にならなければならない、これは計算値の 57% に当る。

従つてこの場合フランジ面での排気速度に引き直すためのコンダクタンス計算法は § 2 の仕方ではいけないのかも知れない。

§ 3 ゲージの処理及び測定条件の問題

拡散ポンプの排気速度を測定する際、特別の場合を除いては、ポンプのアドミッタンスが欲しいのであつて、実測排気速度をアドミッタンスに近い状態で測定するため、測定系の到達圧力を極力低くすることが望ましい。大抵はゲージの前にドライアイスとアセトン又は液体窒素等のトラップを附加することで、油蒸気又はテストドーム壁面から放出する凝縮性ガス（この場合大部分は水分と思う）をゲージで読まないようにすると、系の到達圧力は 10^{-7} mmHg 台になる。我々の実験では常にトラップを入れて到達圧力を無視し得る圧力の領域での排気速度測定を行つてみた。これは恰も final correction を測定値に施すのと効果からみて等しいことになる。

次にイオンゲージでの圧力の読みについてゲージの処理如何で大分値が変ることを確めた。この問題は既に論じて置いたが^{*3}、その後イオンゲージ（Fogel 型）によつて、測定されるイオン電流に、残留陽イオン電流が加わっている場合があることが報告され^{*4}、我々が使用

*2 真空用語集（案）昭和31年3月，p. 17. 参照

*3 中村，梶山，大塚，小宮 真空技術 Vol. V P. 106~115 (1954)

*4 恩地 真空技術 Vol. VI P. 7 (1955)

したIG-202についてもゲージをフラッシュする前には、矢張り Fogel 管程ではないが存在することが31年4月19日、東大における真空技術研究会の輪講の席上で唐沢氏から発表された。

その主な原因とみられるものはフィラメントから、K, Na等のイオンが析出することにあるらしい。そこでこのような現象を除くためにもボンバードを測定前に行う必要があるが、その他陽イオン放射現象では説明のつかぬ即ち圧力が高くなつて行つても、依然として圧力を高く読む現象がゲージを処理する前には認められた。

Fig. 6の点線(○印)の曲線はゲージをボンバードせずの一連のデータをとつたもので、1回ボンバード後再び一連のデータをとると実線(×印)の曲線になつた。双方のデータはゲージの処理を除いては同じ条件で行つた。

従つて我々は測定前にゲージをベークし、トラップを入れて、後必ず1回ボンバードを行つた後測定に掛けることにした。なお測定中には、トラップが入つておれば、ゲージをボンバードしても、しなくても同じ圧力値を読むことを確めた。

§ 4 半径方向の圧力分布

先ずFig. 4(b)のテストドームについて壁面から半径の $\frac{1}{3}$ 迄ゲージを挿入した場合と壁面にゲージを置いた場合のデータを採つた。Fig. 6の×印は $\frac{1}{3}R$ の位置、△印は壁面でのデータである。即ち測定誤差の範囲内で圧力分布が半径方向には現われないことを意味している。

然るにFig. 4(a)のドームで半径方向にゲージ位置を変化させて行くと、中心軸から4 cm迄は殆んど同一線上に乗るデータがとれているが、4.9 cmの位置では明かに圧力差が表われる。

この位置は壁面から5 $\frac{m}{m}$ の距離に当る。

Fig. 8はドームの半径方向の圧力分布の模型図である。

Fig. 7 ゲージ位置の影響（半径方向）

§ 5 軸方向の圧力分布

すでに § 2 で一部軸方向の圧力分布の測定に触れて置いたが、更に系統的に真空計の導管をテストドーム内の各々高さにずらして排気速度を測定してみた。

Fig. 9のデータはゲージの口は流れの方向に背を向けている。そのため、排気速度が例えばフランジ面で $500 \sim 540 \ell/s$ といったように、切口を流れの側面に(静圧を計る)置いた時の測定値に比べて、圧力を低く読んでいる。なおFig. 9の+5.1 cm (▲印)のデータはフランジ面より更にポンプ内へゲージを5.1 cm 入れた場合で、フランジ面から環状のジェットクリアランス迄は約7.3 cm ある。

このように流れに背を向けたゲージを仮りにI型ゲージと呼ぶことにする。

次にゲージの切口を通常の排気速度測定の際のように、静圧を測る位置に置いた場合の軸方向の圧力分布を検べた。

これを前者の I 型に対して J 型ゲージと呼ぶことにすると、J 型ゲージの測定値は当然のことながら前に Fig. 5 で得た結果と同じデータであつた。ここで注意すべき点は I 型ゲージのフランジ面から +5.1 cm へゲージを移した際排気速度が異常に増している（即ち圧力を低く読んでいる）のに比べて J 型ゲージではさ程目立つた排気速度の増加のない点である。

この Fig. 9, Fig. 10 の代表的位置（フランジ面）、（フランジ面から上方 21.6 cm）、（5 cm）ランノ面からポンプへ入った位置）の 3 つを選び同じグラフ上に、 $Q \sim P$ の値をとって Fig. 11 に示した。この図から同じ空気流量（ $Q \text{ } \ell \text{mmHg/sec}$ ）における I 型、J 型の各々の 3 位置における圧力の差異を第 1 表にまとめて置く。

第 1 表

$Q \text{ mmHg/sec}$	位 置	I ゲージ mmHg	J ゲージ mmHg	I/J %
5×10^{-2}	+ 5	6.65×10^{-5}	1.1×10^{-4}	60.5
	0	9.9×10^{-5}	1.23×10^{-4}	80.5
	-21.6	1.57×10^{-4}	1.8×10^{-4}	87.3
0.1	+ 5	1.3×10^{-4}	2.1×10^{-4}	62.0
	0	1.9×10^{-4}	2.4×10^{-4}	79.3
	- 21.6	3.0×10^{-4}	3.5×10^{-4}	85.7
0.2	+ 5	2.5×10^{-4}	4.0×10^{-4}	62.5
	0	3.6×10^{-4}	4.8×10^{-4}	75.0
	- 21.6	$.0 \times 10^{-4}$	6.8×10^{-4}	88.3

I/J の平均値	ゲージ位置	+ 5	0	- 21.6
	平 均 %	62.7	78.3	87.1

I/J のパーセンテージはテストドーム内での上向きに運動する分子の数と横向きに運動する分子の数の割合を表わしていると考えられ、そのような意味を持たせると、拡散ポンプ内へ流れ込んで行く空気分子は次第に並進運動をして油蒸気の噴流の内へ飛び込んで行くと考えた方がよい。

それは次のようにしても立証することが出来る。Fig. 4(a)のテストドームの軸方向、フランジ面から 3.1 cm と 21.6 cm の位置にFig. 12の如き管の側面に孔を明けたゲージを挿入して流量を一定に保ちながら管を1回転させることによつて起る圧力変化を読むのである。

流体力学の方からみれば流れに孔を向けた時に総圧、流れの方向に孔を向けた時静圧を計つていることになるがFig. 13は、そのようにして得られた圧力変化の図である。

Fig. 13 流れの方向に対する孔の位置による圧力分布

さてこの分布図から原点に対して対称にある圧力値の和は常に一定であると仮定する。それとJ方向の圧力値は左右とも等しいことを条件とすると、圧力分布を次のような極方程式で表現することが出来る。J方向の圧力値を P_j 、I軸を基線として任意の角 θ における圧力値をPで表わすと、

$$P = P_j (1 - K \cos \theta) \quad (3)$$

となる。ここでKは、テストドーム内の真空計の切口のの高さを指定すれば、常数となり、I方向とJ方向の圧力の比($\S 5$ における I/J)との関係は、

$$I/J = 1 - K \quad (4)$$

である。Kが0に近づけば圧力分布は球状(図では円、軸を含む面が円になる廻転体即ち球状となる)になり、Kが0から1に向つて行く程、球状分布からの歪が大きくなる。 $\S 5$ の表から計算された I/J からKを計算すると、

フランジ面からポンプの方へ5 cm の位置で $K = 0.373$

フランジ面 $K = 0.217$

フランジ面からドーム上方へ21.6 cm の位置で $K = 0.129$

が得られ、 $P_j = 1$ とすると圧分布はFig. 14のようになる。

Fig. 14 圧力偏奇分布の模型

§ 6 実測コンダクタンスと計算値の相異

Fig. 11からJゲージ(静圧測定)の各位置での値を読んで観測されたコンダクタンスを出してみよう。測定位置が+5, 0, -21.6の3点であるから、これ等から3組のコンダクタンスが得られる。第2表にQ値を6種選んで表として置いた。そして各組の平均値をとり、その実測コンダクタンスと計算値との比をとり、再びその平均を求めた。

Fig. 15はこの表から、横軸を距離L cm, 縦軸をコンダクタンス ℓ/s にとつて計算値と、実測値のバラついた点、及び平均値、平均されたコンダクタンスと距離の関係を点線で表わして置いた。

Cobs は Ccal の18%大きな値を読んでいることになる。その誤差の原因は種々考えられるのであるが、我々の場合測定精度がこの問題を論ずるには粗すぎるので詳細にわたつた討論は割愛する。

第2表 コンダクタンス実測値*5

Q $\ell\text{mmHg/s}$	$P_{(+5)} \times 10^{-4}$ mmHg	$P_{(0)} \times 10^{-4}$ mmHg	$P_{(-21.6)} \times 10^{-4}$ mmHg	C_5 ℓ/s	$C_{21.6}$ ℓ/s	$C_{26.6}$ ℓ/s
4×10^{-2}	0.87	0.98	1.45	3740	850	690
5×10^{-2}	1.1	1.23	1.8	3540	876	715
7×10^{-2}	1.5	1.7	2.5	3500	875	700
1×10^{-1}	2.1	2.4	3.5	3330	910	715
1.5×10^{-1}	3.05	3.5	5.2	3330	880	698
2×10^{-1}	4.0	4.7	6.8	2860	950	715
平均値 Cobs				3430	890	700
計算値 Ccal				3100	720	580
比 Cobs/Ccal				1.1	1.23	1.21
Cobs/Ccal の平均値				1.18		

$$*5 \quad C_5 = \frac{Q}{P_{(+5)} - P_{(0)}} \quad C_{21.6} = \frac{Q}{P_{(0)} - P_{(-21.6)}} \quad C_{26.6} = \frac{Q}{P_{(+5)} - P_{(-21.6)}}$$

Ccalはテストドーム径をD cm, 2つの測定位置の距離をL cmとして(1)式から計算した値である。

§ 7 結 論

- (1) 拡散ポンプの排気速度を測定する際、テストドームとして、十分に長い一様な管から、途中で流れが乱されることなくポンプへ入るような構造のものでなければならない。ポンプ口径より大きな口径を持つテストドームでも、必ずしもコンダクタンスが大きくなるとは限らず、ポンプ入口よりの測定位置迄の距離によつてはむしろポンプ口径と同径のテストドームのコンダクタンスより小さくなる。
- (2) ポンプの排気速度をフランジ面で規定することが理想的であるが、現実にはフランジ面で直接測定出来なければ、定められたテストドームの、指定された位置での排気速度を公称とすべきで、みだりにコンダクタンスを計算から求めて、フランジ面の排気速度に引き直すことは誤差を大きくする原因となる。
- (3) 圧力測定は静圧を計ること。ゲージ入口は流れに平行な面で切つて、壁面よりテストドーム内へ挿入して測ること。その位置はテストドームの中心軸からドーム半径の75%の位置迄ならばどこでも比較的正当な読みを与える。