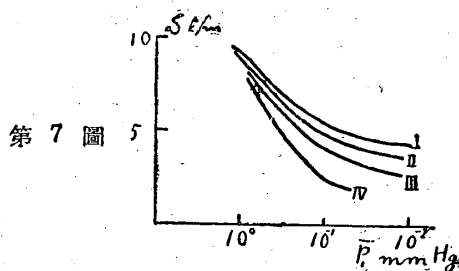


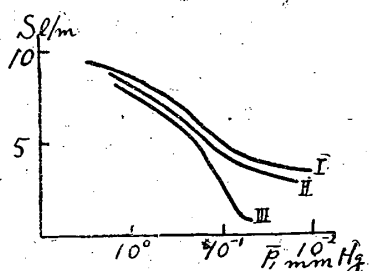
Knudsen の理論値より大きくなつてゐる。

§ 5. 實驗結果 (2)

我々は更に同一の油を用い、その温度を變えて $S-P_1$ 曲線を求めた。



第7圖



第8圖

ポンプはセンコハイバックポンプを用い、第7圖はセンコハイバックポンプ油、第8圖は魚臭のある機械油を使用した。

第7圖に於て油の温度夫々 30°C ~ 32°C, 45°C ± 2°C, 60°C, 80°C ± 3°C に應じて曲線 I, II, III, IV を得た。

第8圖に於ては油の温度 30°C, 50°C, 80°C に應じて夫々 I, II, III, の曲線を得た。

この實驗によれば油の温度が高くなるにつれて S は小さく、従つて (9) 式より導管の抵抗は増して行く但し前述の油の温度はすべてポンプの外部の油の温度でポンプの内部は更に高いと思われる。

§ 6. 結 論

前記實驗結果を説明するために我々は次の様に考える。即ち回轉ポンプの内部は温度が高く従つて油によつては相當の蒸氣壓を示し、これが導管に充満して更にこの蒸氣は温度の低い導管の上部に噴出してそこで液化していると考えられる。このため容器から流入してくる氣體はこの蒸氣分子と衝突して導管の抵抗が増すのである。この様に考えれば油の蒸氣壓はその種類により、又その温度により異なるため、従つて導管のコンダクタンスも亦 Knudsen の計算した値と異なる筈である。

我々は目下油蒸氣中の空氣分子の擴散現象を實驗しているが、以上の結論は量的にも相當正しい事が分つた。

最後にこの實驗について種々御教示を賜つた熊谷寛夫先生並びに實驗の手傳いをして下さつた西川正巳君に對して厚く御禮申上げる。

文 獻

- (1) 山田, 柴田, 岩永, 理工學研空所報告, 回轉真空ポンプの到達真空度について
- (2) Knudsen, Ann. d. Phys. 28 (1909) 75.
- (3) Dunoyer, Vacuum Practice.

真空導管中に於いてポンプ油蒸氣の示す抵抗について

岩永賢三・山田和郎

(1948年1月15日受理)

1. 序 言

前報告『廻轉真空ポンプの排氣速度について』に於いて述べられた様に第1圖に示すポンプと Mc.Leod Gauge とを結ぶ導管を單位時間に流れる空氣の體積 S は到達真空度附近の壓力に於いては

$$S = S_0 G_0 / (S_0 + G_0) \quad (1)$$

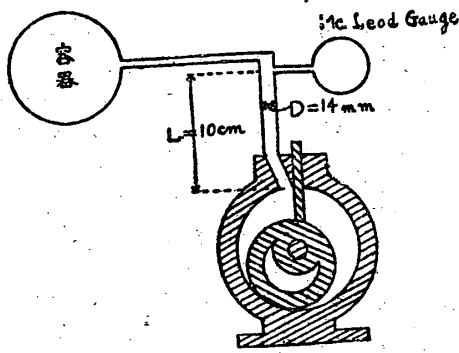
となる。此處に S_0 はポンプの理想的排氣速度 110 l/min であり、 G_0 は導管の conductance である。今 G_0 に Knudsen の式より計算された純粹に導管だけ

の conductance $G_K = 200$ l/min を代入すれば

$$S = 110 \times 200 / (110 + 200) = 71$$

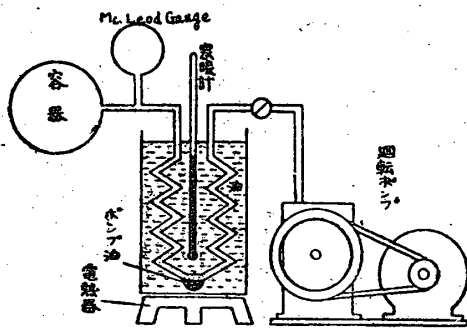
即ち 71 l/min となる。然るに S の實測値は廻轉ポンプ油 L を使用した場合約 35 l/min に過ぎない。これは摩擦のためポンプ内部の油の温度が高くなる爲に油は相當の蒸氣壓を呈する様になり、これが吸氣孔の方へ擴散し、流入しようとする空氣分子と衝突してその運動を防げるからであると考えられる。之を確め

る爲に次の実験を行つてみた。



第 1 圖

2. 装 置



第 2 圖

第2圖の様に容器とポンプとの中間に内径 4mm, 長さ 150 cm の蛇管を入れ, 下部に少量のポンプ油を入れるべきふくらみを作つておく。蛇管全體を油槽中に入れて一定の高溫に保てば蛇管中には油の飽和蒸氣が充満し, 油槽外に出たところで管壁に凝結する。

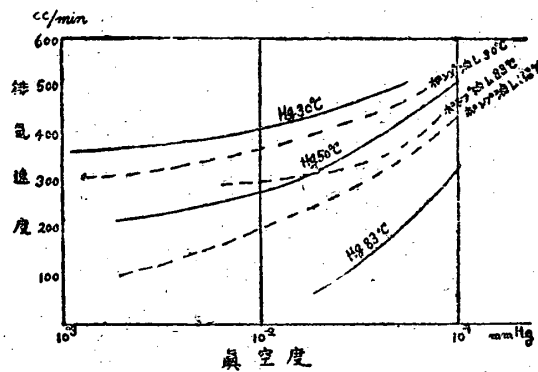
3. 實 験

- (1) 初め蛇管に油を入れなくて常溫のままポンプを廻して容器を排氣し, 蛇管の conductance を測定する。
- (2) 次に同じく油を入れなくて油槽を一定の高溫に保つて實驗する。
- (3) 次に蛇管にポンプ油を少量入れて常溫で試みる。
- (4) 最後にこれを (2) と同じ高溫にして實驗する。

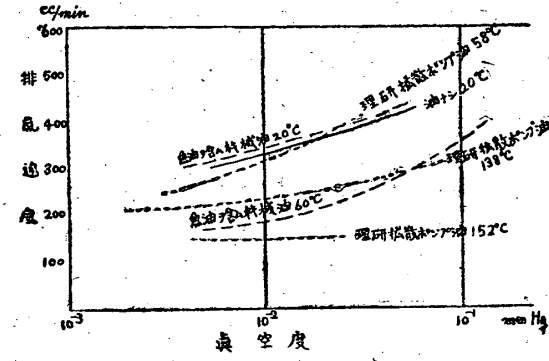
水銀, 魚油を含む機械油, 廻轉ポンプ油 L 及び理研擴散ポンプ油につき二三の溫度につき得られた結果を第8圖に示す。圖の縦軸は容器の排氣される速さ, 横軸は Mc. Leod Gauge で讀んだ容器の壓力である。

(1), (2) 及び (3) は豫想の如く殆ど差がない事が確められた。そこで (1) と (4) との差から蛇管中の油蒸氣だけの示す抵抗が計算出来る。次節以下

に於いては此の結果を使つて導管の conductance の低下の説明, 油の氣化熱の計算及び油の蒸氣壓の推定を試みた。



第 3 圖



4. 油の氣化熱の計算

理研擴散ポンプ油につき前節の結果を用ひて其の氣化熱を出してみよう。今蛇管中の油の蒸氣壓を p , 溫度を T とすれば 其の中を空氣分子が擴散してゆく速さ, 即ち油蒸氣の conductance G は單位體積中の油蒸氣の分子數, 即ち p/T に逆比例する。この事は云ひ換へると油蒸氣の抵抗 $1/G$ が油蒸氣の分子密度に比例することであつて當然である。一方 p と T との関係は溫度差の少い範圍では

$$p \propto e^{-L/RT} \quad (2)$$

但し R は氣體常數 (8.3×10^7 erg/mol·deg), L は氣化熱である。故に T_1, T_2 に於ける油蒸氣の conductance を夫々 G_1, G_2 とすれば

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{P_2/T_2}{P_1/T_1} = \frac{T_1}{T_2} e^{-\frac{L}{R}(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1})} \quad (3)$$

さて前節の結果に於いて T_1 (138°C), T_2 (152°C) の場合の G_1, G_2 を求むるに, 蛇管の T_1, T_2 に於ける抵抗から常溫に於ける抵抗を引いたものが夫々 T_1, T_2 に於ける油蒸氣だけを持つ抵抗であるから,

$$1/G_1 = \frac{1}{220} - \frac{1}{315} \quad \text{より} \quad G_1 = 660$$

$$1/G_2 = \frac{1}{160} - \frac{1}{315} \quad \text{より} \quad G_2 = 324$$

故に(3)式は

$$\frac{660}{324} = \frac{411}{425} e^{-\frac{L}{R} \left(\frac{1}{425} - \frac{1}{411} \right)}$$

$$\frac{L}{R} = 8500$$

$$L = 17000 \text{ cal/mol (138}^\circ\text{C} \sim 152^\circ\text{C)}$$

同様に水銀の氣化熱を計算すれば

$$L = 19200 \text{ cal/mol}$$

ちなみに Smithonian Table によれば沸點 358°C に於ける水銀の氣化熱は 14000 cal/mol である。

5. 油の蒸氣壓と導管の抵抗との關係

第一節にもどつて導管の流速 S の理論値が 71 l/min であるのに對して實測値が 35 l/min にしかならないが、この差違が我々が考へて來た通り、導管中の油蒸氣の及ぼす抵抗のみに依るものと假定して其の抵抗を計算してみよう。抵抗の逆數即ち conductance を G とすれば、

$$1/G = 1/35 - 1/71$$

$$\therefore G = 70 \text{ l/min}$$

即ち油蒸氣の示す conductance は約 70 l/min となる。これだけの conductance を持つべき油蒸氣の溫度を次に求める。先づ蛇管の實驗に於いてポンプ油 L を使用した場合、 86°C と 143°C の時の結果を較べることによつてポンプ油 L の氣化熱を出せば、

$$1/G_{86} = \frac{1}{300} - \frac{1}{400} \quad \text{より} \quad G_{86} = 1200 \text{ cc/min}$$

$$1/G_{143} = \frac{1}{120} - \frac{1}{400} \quad \text{より} \quad G_{143} = 171 \text{ cc/min}$$

$$\frac{G_{86}}{G_{143}} = \frac{416}{359} e^{-\frac{L}{R} \left(\frac{1}{359} - \frac{1}{416} \right)}$$

$$\therefore \frac{L}{R} = 5200$$

$$L = 10400 \text{ cal/mol (86}^\circ\text{C} \sim 193^\circ\text{C)}$$

但し此の場合常溫の conductance が 400 cc/min であり、前節の 315 cc/min と異なるのは使用した蛇管が異なる爲である。

此の蛇管の場合と前述の導管の場合とを比較するに一般に油蒸氣の示す conductance は管の斷面積に比例し、管の長さとお蒸氣の分子密度とに逆比例するから導管 ($L_1 = 10 \text{ cm}$, $D_1 = 4 \text{ mm}$, $T_1 = T$) と蛇管 ($L_2 = 150 \text{ cm}$, $D_2 = 4 \text{ mm}$, $T_2 = 86^\circ\text{C}$) とを比較して、

$$\frac{G_T}{G_{86}} = \frac{L_2}{L_1} \frac{D_1^2}{D_2^2} \frac{T_2}{T_1} e^{-\frac{L}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{359} \right)}$$

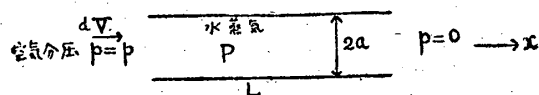
$$\text{但し} \quad G_T = 70 \text{ l/min} \quad G_{86} = 1200 \text{ cc/min}$$

$$\therefore e^{-\frac{L}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{359} \right)} = 1.12$$

$$\therefore T = 334 \text{ (61}^\circ\text{C)}$$

即ちポンプ吸氣孔と Mc.Leod Gauge とをつなぐ導管内に約 60°C の油蒸氣が一樣に充満して靜止してゐるとすれば、 S の理論値と實測値との不一致を大略説明出来ることになる。ポンプ排氣孔附近の油の實際の溫度は大體 40°C であるから内部の油蒸氣の溫度は 40°C より幾分高いはずである。

6. 油の蒸氣壓の推定



第4圖

第4圖の如く水蒸氣を含む長さ l 、半径 a の管の兩端に於ける空氣の分壓が夫々 p 及び 0 である時、管の任意の斷面を dt 時間に流れる空氣の mol 數 dS は、空氣の mol 密度の勾配が dc/dx である時次式で與へられる。

$$dS = k\pi a^2 dc/dx \cdot dt \quad (4)$$

k は擴散係數であり、空氣が一氣壓の水蒸氣の中を動く時は $k = 0.25$ であつて、水蒸氣の壓力に逆比例する。空氣の流れを體積で dV とすれば

$$dS = \frac{PdV}{RT}, \quad dc = \frac{dp}{RT}$$

$$\therefore \frac{dV}{dT} = \frac{k\pi a^2}{p} \frac{dp}{dx}$$

今 $dp/dx = p/L$ であり、1秒間に $G \text{ cm}^3$ が流れ込めば

$$G = k\pi a^3/L \text{ cm}^3/\text{sec}$$

水蒸氣の分壓が P_{mm} の時には $k = 0.25 \times \frac{760}{P}$

$$\therefore G = \frac{0.25\pi a^3}{PL} \times 760$$

l , a を mm で測つて夫々 l , a' とし G を l/sec で測つて G_D' とすれば

$$G_D' = 6 \times 10^{-2} \frac{a'^3}{l} \frac{1}{P} \text{ l/sec}$$

上式は空氣の分壓 p を含まないことは Knudsen の式と同様である。水蒸氣がない時は

$$G_K' = \frac{a'^3}{l} \text{ l/sec}$$

さて流管中に P_{mm} の水蒸氣が靜止してゐる時の抵抗 W' を求めるには

$$W_D' = \frac{1}{G_D'}, \quad W_K' = \frac{1}{G_K'} \quad \text{より}$$

$$W' = W_D' + W_K'$$

或は流れる空氣の體積で表せば

$$\frac{1}{G'} = \frac{1}{G_D'} + \frac{1}{G_K'}$$

W_D' は水蒸氣の壓力 P に依存し、 W_K' は無關係で

ある。P が小なら W_K' が主となり、P が大なら W_D' が主となる。両者が同程度の大きさとなる蒸気圧を P_0 とすれば $W_D' = W_K'$ より

$$P_0 = \frac{6 \times 10^{-2}}{a'} \text{ mmHg}$$

$a' = 10 \text{ mm}$ では $P_0 = 6 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$ 。故に流管中に静止してある異気體の抵抗が充分問題になり得るわけである。上式の限界は水蒸氣の中の空氣分子の mean free path λ が管の直径と等しい程度になる壓力を示す。

以上はすべて水蒸氣の場合であつたが、油蒸氣の場合も之と同じ関係が成立つと假定する。即ち導管中の油蒸氣の中の空氣の mean free path λ が導管の直径と同程度となつた時、 W_D と W_K とが同程度になるものとする。導管では $G_K = 200 \text{ l/min}$ 、 $G_D = 71 \text{ l/min}$ であるから

$$\frac{W_D}{W_K} = \frac{3}{1}$$

次に油分子の cross section を空氣のそれと比較するに兩方の分子が同じ密度の球であると假定すればその球の斷面積は分子量の $2/3$ 乗に比例するから油分子と空氣分子の cross section の比は、空氣の分子量を 29、油の分子量を約 300 とする時

$$\left(\frac{300}{29}\right)^{2/3} \approx 4.6$$

即ち約 4.6 倍となる。故に油の蒸氣壓は 60°C 附近に於いて

$$P = \frac{6 \times 10^{-2}}{a'} \times 3 \times \frac{1}{4.6} \quad (a' = 7 \text{ mm})$$

$$\approx 5.6 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$$

即ち 10^{-2} mmHg の程度であらう。然し乍ら上記の計算は極めて大ざつばな假定に依るものである。

6. 結 論

導管中の油蒸氣が排氣速度を低下させるといふ事實は以上の實驗によつて充分確められたが、之より計算した油の溫度は實際より 20°C 前後高い。是迄の蛇管實驗では管が長い爲に油分子の流れの影響は少いと考へられたが、ポンプの導管の場合は管が短く、且つ溫度の勾配が大きい。従つて油分子の流れを考慮に入れば油の溫度は 60°C より更に低く出るはずである。又油に蒸氣壓の高い不純物が含まれることを考へると油の溫度が低くても相當の抵抗を示し得る。以上の考へによつてポンプ導管内の抵抗は油蒸氣によるといふ考へは妥當と思はれる。

以上の結果によつて實際の場合に注意すべきことは我々が利用出来る排氣速度はポンプの理想的排氣速度 S_0 と分子流的 conductance G_K とから計算した排氣速度より相當に低い場合が多いといふことである。この事實は排氣装置の設計に於いて参考になることである。

最後に此の實驗について種々御教示賜つた熊谷寛夫先生並びに實驗の手傳ひをして下さつた西川正己君に對して厚く御禮申上げる。

雷現象に伴う超短波の反射 (第2報)

庄 野 久 夫

(1947 年 11 月 11 日受理)

4. 考 察

本格的観測としては本年が始めてであり、陰極線管に現われる現象を眼にのみ頼つて記録したため必然的に多くの誤差を含んでいる事が考へられる。又空中線が固定であつた爲に限られた地域内の現象しか捉へ得なかつた。

その外送受信系の諸特性の完全な検討を経ていないので、今日迄の記録から早急に結論を下す事は大きな誤謬を起すとも考へられるが、許され得る範囲内で本年度の記録を中心として簡単な考察を試みたい。

4-1 送受信機と測定の精度

75 Mc の空中線は前記のように固定されていて送受共同型のものが別々に使用されていて、指向性の計算値は夫々第6及第8圖に示してあるが、空電は點線、反射は實線の特性和大體受信されるものと思ふ。観測には3.1に述べた所の SSE-120 G を 2.5 kV で用いた。この螢光物質は硅酸亜鉛を用いているので、殘光特性は Impulse 停止後 $1/100$ 秒にて 11%、 $1/20$ 秒にて 1% に低下する⁽⁴⁾。その外強勢な空電の中、中間周波の 10 Mc に相當する Component が空中線から侵入