

二衝程式機關充填作用の數量的研究

所 員 富 塚 清
柴 田 浩
大 空 金 次

第七編 氣筒の大きさ及充填氣流速度の相違が 充填効率に及ぼす影響

44. 緒 言

之迄の六編中に記された實測効率線はいづれも直徑 60mm 高さ 90mm の氣筒で或一定の充填條件のもとに求めたものである。それ以外の大いさ及び充填條件については全然關説しなかつたが、結果を活用せむがためにはそれらの相違の影響を詳細に考へておく必要がある。著者等のもともとの意圖はこの結果を自動自轉車或は飛行機用發動機等 100mm 内外の直徑のものに應用せむとするにあつたから先づ此模型で充分と考へて居た次第であるが最近この研究が marine Diesel engine の製作家の興味を引きこれを直徑 600mm もある大氣筒に適用する事の可否を質される事がしきりであるので、此問題の研究の必要を痛感した次第である。これは hydrodynamics で常に遭遇する所謂 scale effect の問題であるが charging はその process さへ第六編に於ける假想以上には判らない狀況である故計算的には到底誰にも齒がたゝないらしいから、著者等はこれには疾くに見切りをつけ、實驗的にこれを行ふべく志した次第である。幸はひに著者等の實驗裝置は 600mm も直徑がある様な大型氣筒用にも容易に工作出来るから、實用される範圍のすべてを full scale model で實驗して結果をしらべる計畫であるが、裝置の工作に多額の費用と長年月を要するため未だすべてを盡くすに至らない。然し直徑 40mm より 124mm までのほぼ automotive engine に使用される範圍はすでに實行し new charge の壓力も極めて低いところから大氣壓以上一氣壓と云ふ程高い所まで實驗済みであるので問題の片鱗は窺ふ事が出来ると信ずるのでとりあへずこゝに紹介する次第である。従來此問題は誰にも手をつけられて居ない故貧弱なこの研究も若干問題の性質を開明するであらうし、又従來の實驗の範圍以上のところを extrapolate することの信頼性も或程度確かめられる故若干役に立つであらう。尙將來實驗進行と共に補足を加へて行くことにする。

従來此問題を意識的に取扱つたものは絶無に思はれるが H. RICARDO はその著書 “Internal Combustion Engine,” Vol. I. p. 207~311 に於て、大型發動機の充填効率は小型機關のそれよりも遙かに高く brake thermal efficiency が殆んど四衝程式と同等の域に達するものがある。と云ふ事實を實地經驗上より述べて居る。然し氏はこれが氣筒大いさの影響ではなくてむしろ構造上充分の注意を大型に向つては拂ひ得られる事に歸して居るらしい。實地の經驗ある人には此事實を知つて居る人が多いであらうが、單なる想像を廻らして居る人にはこれと反對の概念を持つて居る人が相當多いのではないかと思ふ。現に 1931 年の夏著者等の實驗室を訪れたボストン工科大学の TAYLOR 教授などもさうだつた様である。これらの人は氣筒が尨大だと scavenge し難いと云ふ様に考へるのである。我々の今回の實驗の結果は H. RICARDO の記述の方にむしろ一致を見出す。此結果から見ると大型氣筒で効率の上るのは RICARDO が思つて居るであらう如く單に有利な形式を探り得る事と充填量の少い所で運轉を行ふと云ふことのみ原因が存するのではなくて氣筒の大きくなつた事が若干有利に働いて居るのではないかと思ふ。然し此程度はさう著大なものでなくて普通程度の狀況では氣筒の大小にかゝはらぬと考へてよい。又噴氣速度の遲速も一寸考へると大きい影響を與へさうであるが實際は極僅かの影響しか與へない。少くも各様式の効率曲線の優劣順位が氣筒大いさならびに充填條件の變化のために狂ふと云ふ様な事は先づないと見てよい。よつて従來の著者等の實驗結果は形式の優劣判定の際それを略そのまゝ一般に適用して大過ないと云へさうである。

45. 實驗裝置

今回の實驗裝置の構造は第一編^{*}に於て述べた物と全く同様であるが、第 195 圖に外觀が比較されてある如き、大小四種を使つた。最小は最左方のもので直徑 41mm 次が之迄大多數の實驗を行つた $D=62\text{mm}$ のもの、次が $D=91\text{mm}$ のもの、最大は $D=124\text{mm}$ である。Exhaust 及 transfer の兩 cock を動かす仕掛けは、低速の場合には以前と同様 pendulum を使つたが、高速の場合にはそれでは不充分だから、第 196 圖に示す如き仕掛けを使用した。これは helical torsion spring H と inertia wheel との兩者によつて shaft に定時運行性を附與した仕掛けであつて、さながら懐中時計の振子の如き運動をする。この shaft に brake wheel B をつけておき、これに click をかけて運行を制御する。實驗の際には先づ neutral から或角度だけねぢつてそして click をかけてとめておき氣筒の方の準備が出来たところで click を外してやると shaft は運動を起して neutral をすぎ反對

* 「二衝程式機關の充填作用の數量的研究」第一編 實驗方法、航空研究所彙報第 67 號

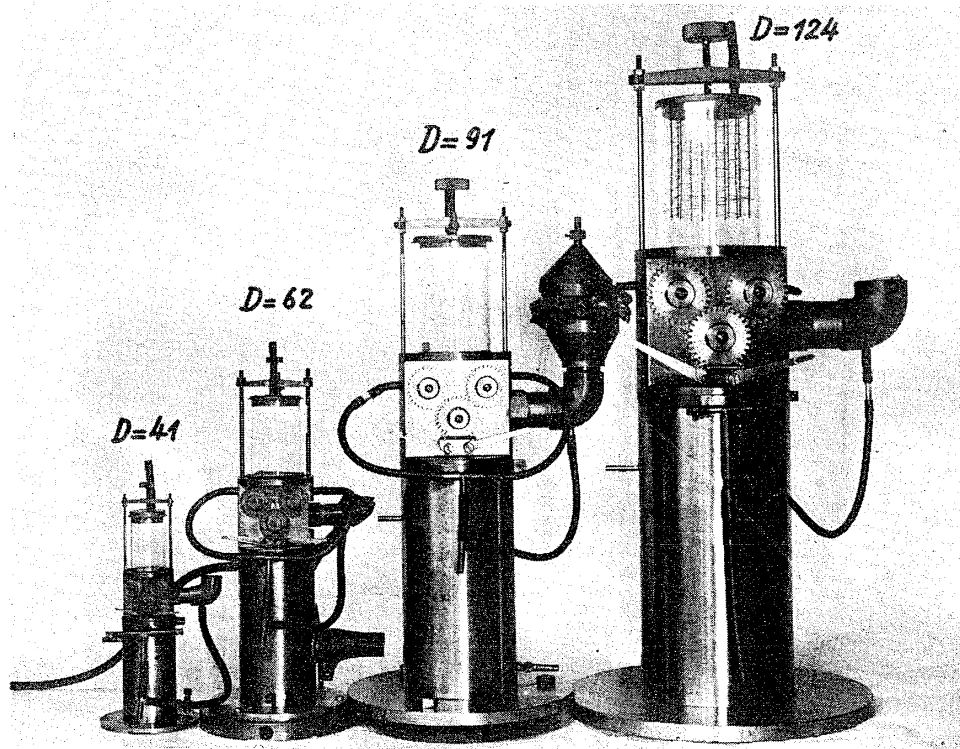


Fig. 195

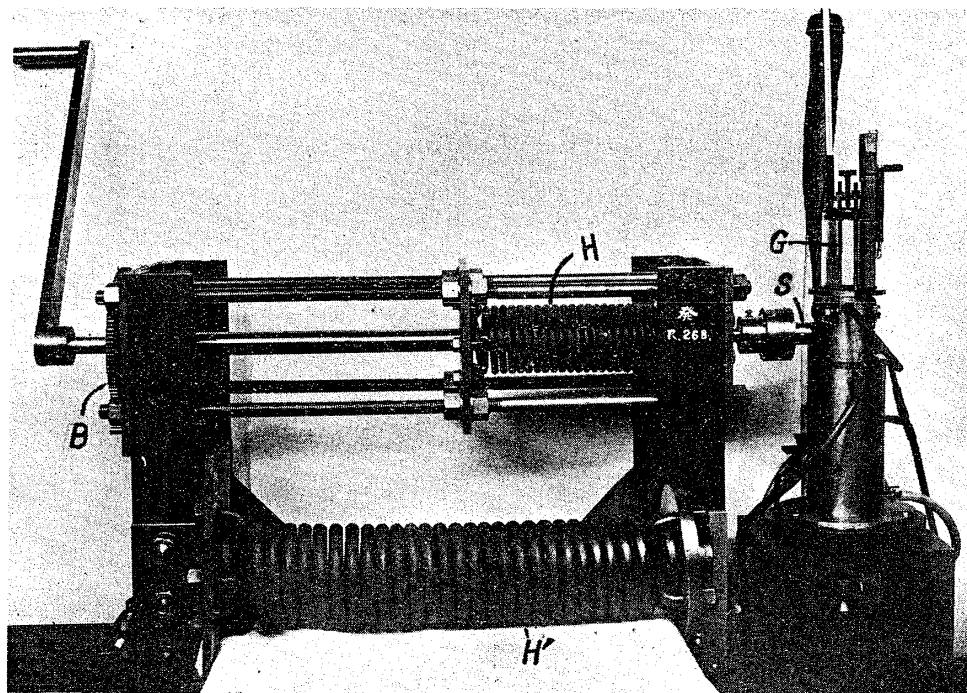


Fig. 196

側まで行き speed が零になつた所で第二の click の作用で停止せしめられる。下方に見えて居る H' は H より更に高速を與ふる spring であつて今 H の装されてある位置に入れ換へ得る。shaft の運行の角度は約 180° である。今度の實驗に於てはこれを出せる範圍の高速しか實驗しなかつたが、若し之以上を望む場合には、それ自身に相當の inertia のある spring を棄て、compressed air を利用するのが最適だと思ふ。

46. 氣筒の大いさが充填効率に及ぼす影響

此研究の目的は、形狀相似である氣筒の大いさが色々に變つた場合充填効率が如何に變化するかを見出すにある。而して實測の結果は従前通り總使用氣量を abscissa に、充填効率を ordinate にとつた diagram に表示して比較を行ふ事とする。こゝで我々の云ふ使用氣量と云ふのは絶対の量ではなくて氣筒の大小に係らずその cylinder volume を unity としその%を以て表示するのである。又充填効率と云ふのは普通 engineer が volumetric efficiency と稱へて居るところの「氣筒容積の幾%が充填されたか」を示す値ではなくて、残留氣量と總使用氣量との比である。そこで我々は或 litre 流過さした時の残留 litre 數を大小氣筒について比較するのではなくて、各氣筒に於て、それ自體の容積の或%づゝ流した時の残留量と使用量との比率を比較するのである。ところが實際の engine では大型になればなる程一定の通氣割合を得る事が次第に困難となり、よつて engine speed を下げたり又は送氣の pressure を上げたりせねばならぬのであるが、この事實が屢々上の比較の考への中に、こんがらがつて來て、「大型氣筒では scavenging が困難だ」と云ふ誤解に到達する事があるが、我々はこの種の難易を勿論問題とするものでなく、一定の割合だけ流過した先きのところに於ける残留割合の良否を比較するものであるを先づ記憶願ひたい。

次に問題となるのは氣筒の寸法と充填條件とである。我々は結果を實地に適用する事を目的とする故、その方面の事情に合致しさへすれば先づよいと考ふべきであらうが、 D を變化させると、他の條件を一定に保つと云ふ事が不可能となるので、若し効率に變化が現はれても何による影響であるかを斷言出来ぬ困難があり、輕々に進み難い。既述の如く氣筒の形は geometrically similar にとるのが最簡單であるので我々はそれによるのであるが、これであると port area $= kD^2$, cylinder volume $= k'D^3$ となるから氣筒の直径の大きい物程 port area を保有する割合が減る。よつて一定の engine speed とせば一定の通氣割合を得るためには、直径に proportional に jet velocity を高めねばならぬ。逆に jet velocity 一定で、然も通氣割合一定を目ざせば engine speed は diameter に逆比例にせねばならぬ。此終りの狀況はよく實地に見られる事だ。又或實際の engine の場合には、氣筒直径の減するに従ひ port の寸法は similar よいも若干低目にとるが、こうすると氣流の流路の

形が length に關して similar と云へなくなつて具合が悪い様に見える。次に實地の考へを離れて理論的に flow の similarity を問題にすれば、Reynolds' number を考ふべきでめらうが、その一定を目ざすと jet velocity は $1/D$ に proportional にせねばならないかも知れぬ。斯の如く D を變へると云ふ事は他の充填條件の方に直ちに影響して來るので、我々は D だけの變化の影響を切り離して實驗の俎上にのぼすことが出來ぬのである。

斯様な事を縷々考へて行くと果しが無いから、今回は見當づけの目的で、條件を極簡單とし即ち氣箭の寸法は一切 similar とし、speed は constant, 而して pre-compressed air の reservoir の寸法も similar とする。よつてその容積は L^3 に proportional で、いづれに於ても略 cylinder volume の 4 倍である。これに空氣をつめておいて氣箭に吹き出さすのであるが、port-opening の時間はどれに對しても充分長くとり、充填の終りに於ては port の前後の壓力差は殆どなくなる様にする。この條件だと一定の通氣割合を得るためには reservoir に於ける初壓を常に一定としておけばよい事となる。従つて此場合は噴流の初速も一定である。斯の如き簡單な條件だからもとより既述の或種の考慮を満足させる事は出來ないが、極大づかみの比較は出來ると思ふ。而してこゝの條件から外れた事の影響がどうなるかは後で篤と吟味してその程度を明らかにする事とする。

此實驗に供した氣箭の cock 開閉の狀況は第 197 圖、第 198 圖及第 199 圖に示す。これらの中、最初のもは $D=41\text{mm}$ の氣箭に關するもの、次は $D=91\text{mm}$ 、最後は $D=124\text{mm}$ のものに關する $D=62\text{mm}$ に關しては從來の實驗結果を流用する。模型氣箭の恰好は第 200 圖に示す如き最平凡な flat head (H. No. I.) 反轉掃流 (S. P. No. I.), port の位置は diametrically opposite (P. A. No. I.), 而して噴流速度は充填期間中刻々に變

Table 6.

Diameter in mm.	$\int A_i dt$ in cm ² sec.	Relative value of $\int A_i dt$	Cylinder volume in cc.	Relative value of cylinder volume	Volume of reservoir of pre-compressed air in l.	Relative value of volume of pre-compressed air.
41	0.0747	1	88	1	0.334	1
62	0.172	2.3	290	3.3	1.23	3.67
91	0.375	5	927	10.5	3.828	11.5
124	0.682	9.15	2320	26.4	9.49	28.3

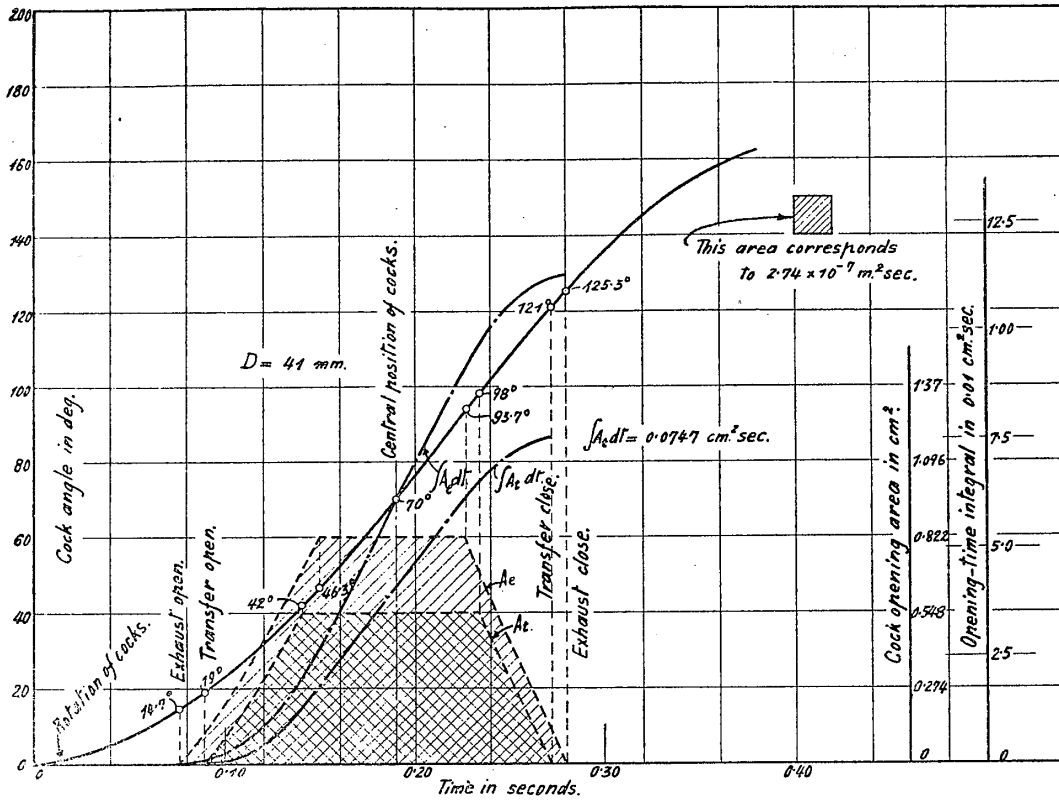


Fig. 197

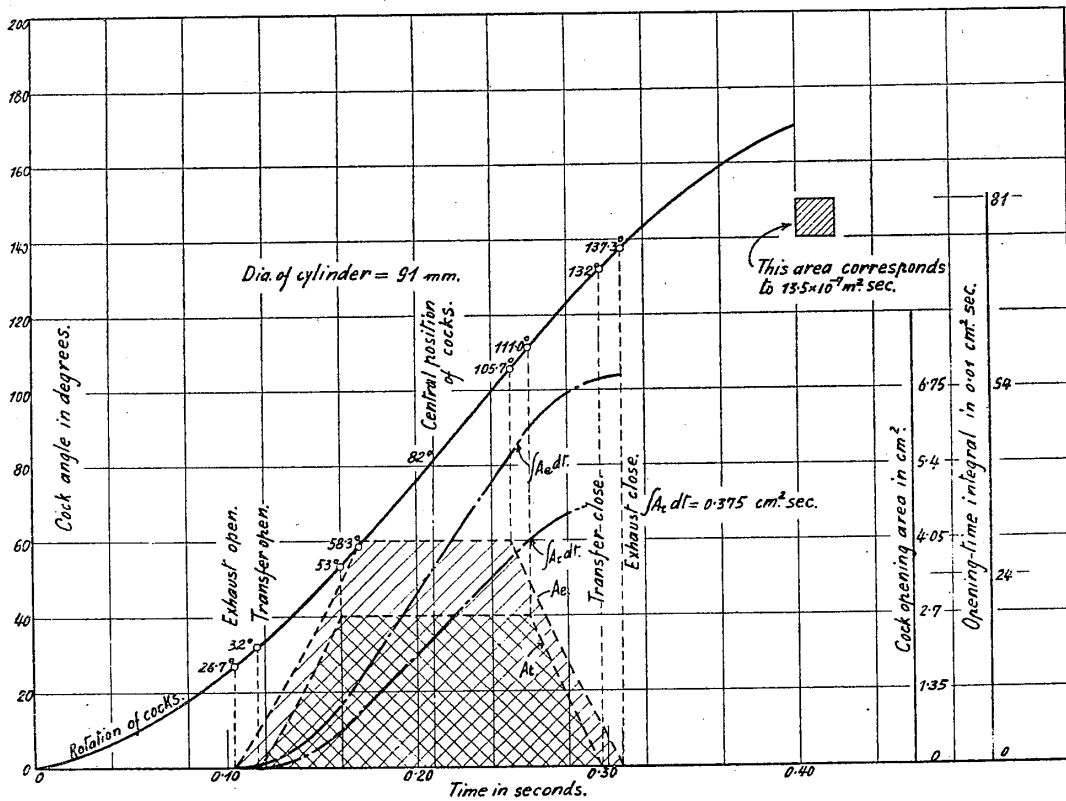


Fig. 198

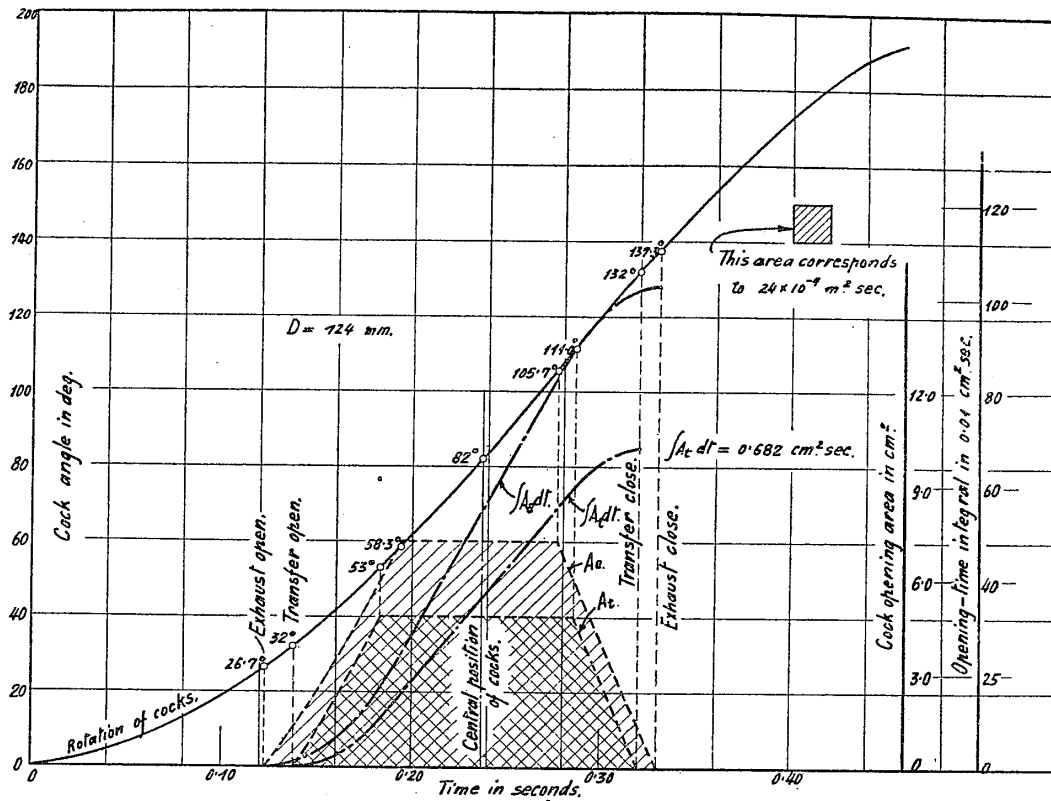


Fig. 199

化するもの (variable jet velocity) とした。模型氣箭に關する各種數量の比較は第 6 表に示す。實驗結果は第 200 乃至 206 圖に示す。實驗は常例通り噴流の吹き向け方を色々にかへ各に對する充填效率を測定したもので第 200 圖は $D=41\text{mm}$ の氣箭に關するもの第 202 圖は $D=91\text{mm}$ の氣箭に關するもの、第 204 圖は $D=124\text{mm}$ の氣箭に關するものである。而して 100% total charge の場合に於ける jet angle と充填效率との關係はそれぞれ第 201 圖、第 203 圖及第 205 圖に示される。 $D=62\text{mm}$ の氣箭については第 16 圖及第 17 圖の結果を流用する。第 206 圖には最左方に各氣箭の大きさの比較を示し、その右方に第 201 圖、第 18 圖、第 203 圖、第 205 圖の結果を合併したものを示す。これで見ると寸法はかなり著しい變化があるに係らず充填效率の方では殆んで大した相違のないことを認める。特に實際上重要である $\phi=50^\circ$ 以上のところが左様であつて然も線が高低様々によぢれ合つて居て、一定傾向を示さないので到底優劣をつけるわけには行かない。 $\phi=40^\circ$ 以下のところでは最高と最低との相違が效率の値にして 4% 内外の高に上るが、やはりこゝでも線の高低には何等大いさの變化によつての一貫した變化の傾向が認められず、全く氣まぐれに上り下りして居る。よつてこれで優劣を論ずるのは不可能と考へる。實際この邊に於ては效

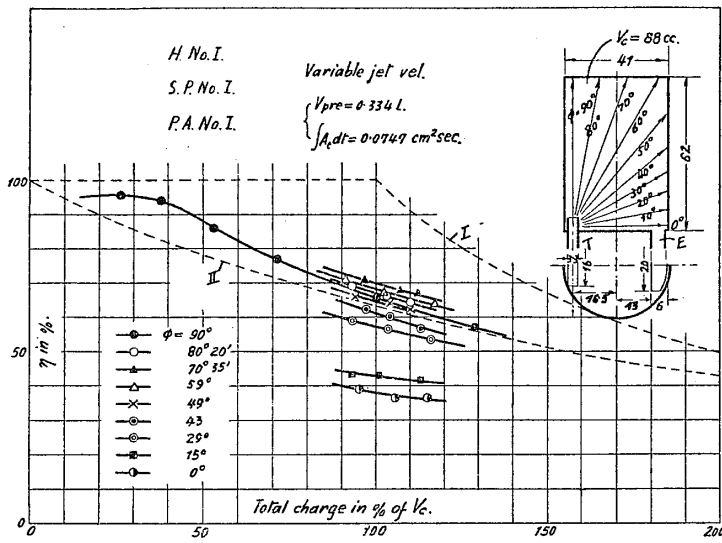


Fig. 200

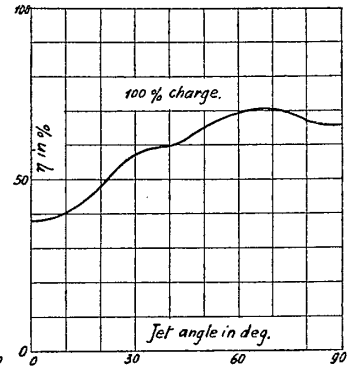


Fig. 201

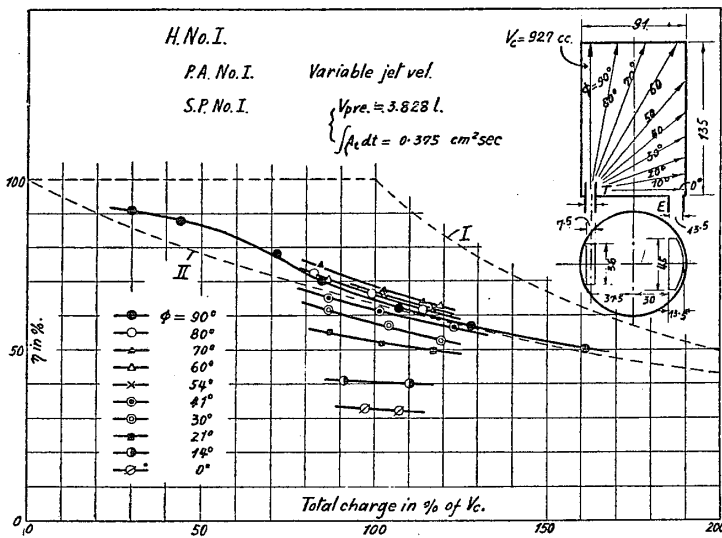


Fig. 202

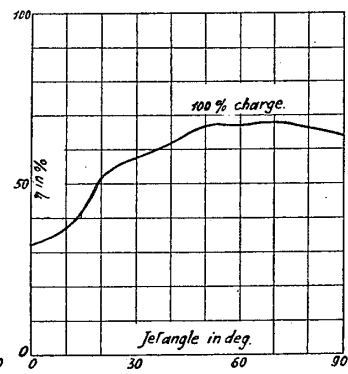


Fig. 203

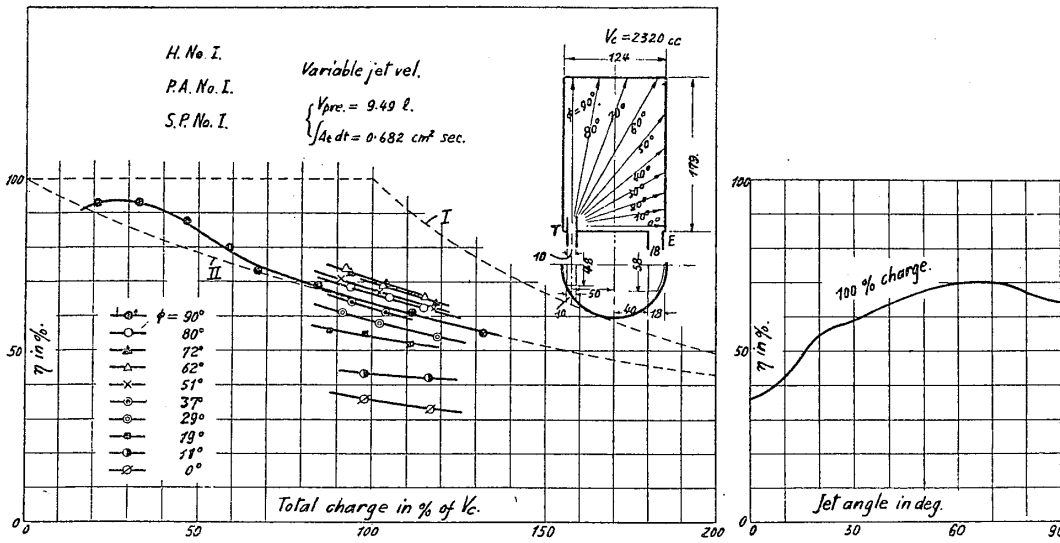


Fig. 204

Fig. 205

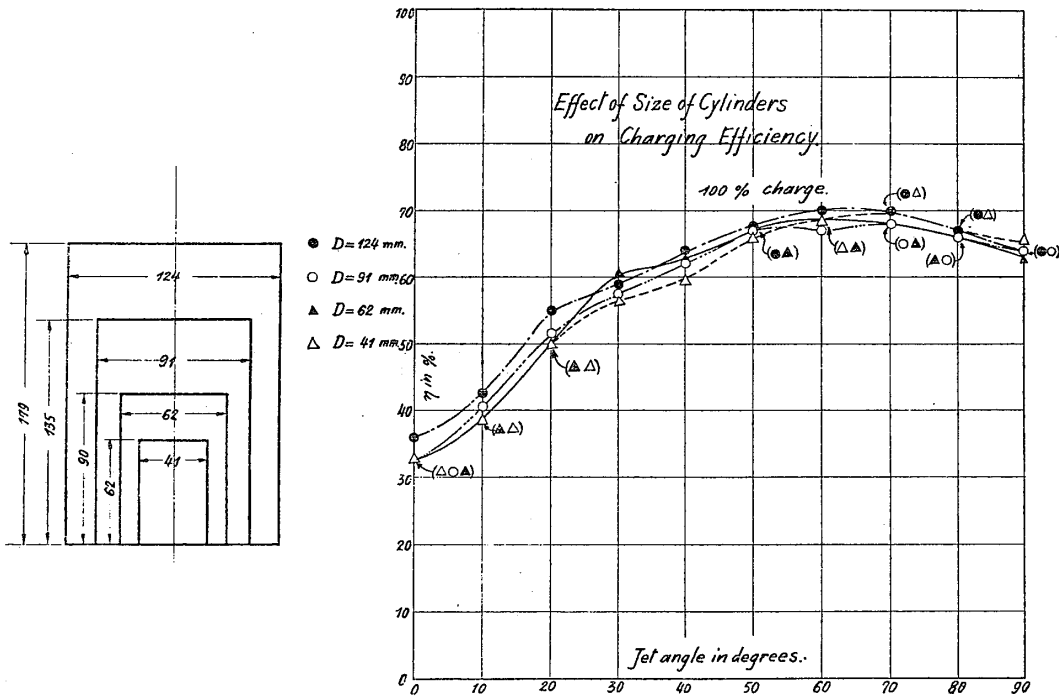


Fig. 206

率線が急峻であるので噴流の方向の僅かの相違も大きい影響を與へると想像されるころへ、今回の模型氣箭では噴嘴や氣箭の工作の精度が、大して高くはなかつたから、そのために此程度の不同が生じたと解せられる。一方 $\phi = 50^\circ$ 以上の所に於ては曲線が flat である故、噴流角度異動の影響が少くて、曲線の接近を見たものと考へられる。即ちこの各線の食ひ違ひは充填作用の本質の相違によつて生じたものでなく主として模型工作上の不同によつて招來されたものと解せられるから、最後の點を改良するならばもつと各線は接近するものと考へて大過ないと信ずる。

さてその経過が全く渾沌たる充填作用と云ふものゝ究極の結果が、かくの如く整然と一致して來ると云ふ事は何人にも奇異の感を懷かしむるに充分である。實際 TAYLOR 教授の如き専門家でも「信ずべからざる事」であるとしてその講義の中に述べたてゝ居る位であるが、我々が今日迄如何に努力して飛び外れた結果を得て見やうと骨を折つても不可能であつた事から見ると、上の事は偶然の一致や、實驗の誤謬ではなくて、動かすべからざる法則ではないかと思ふ。次に我々の實驗した大いさの範圍を超えた所ではどうかと云ふに、幸はひ著者等と略同一要項により直徑約 500mm の大型氣箭模型につき長崎三菱造船所研究部に於て實驗した結果を知らして貰ふ事が出來たので、それと對比して見ると、やはり實によい一致が見られた故、少くもこの程度の寸法迄は上の事があてはまると云つて大膽すぎはしなからうと思ふ。

さて之等の實驗に於ける氣流の状態を推知する一助として、各場合の Reynolds' number を調べて見やう。但し氣箭の中の流は、circular pipe の中に於ける整一な流の如き簡単なものでなく非常な local current を伴ふものだから、後者の場合の表式たる $\frac{VD}{\nu}$ にならふ事は理論的には無意味であるが、或種の見當はつくから、先づこれによる事にする。而して transfer nozzle から cylinder head に達する迄の流は neglect して、其處から撥ね返る流は uniform に cylinder の circular pipe の中を掃流する物と考へて見る。各種の數量の記號を

Mean jet velocity at nozzle = u_n in m/sec.

Port-opening-time integral = $\int A_i dt$ in cm^2sec .

Total charged volume = V in cc.

Nozzle size = $b \times w$ (b は短かい方の邊, 單位は m.)

Sectional area of cylinder = A .

Sectional area of nozzle = a

Mean flow velocity in cylinder = u_c in m/sec.

$$\begin{aligned} \text{Reynolds' number for flow in nozzle} &= R_n \\ &= \text{in cylinder} = R_c \end{aligned}$$

とすると

$$u_n = \frac{V}{\int A_t dt \times 100}$$

$$u_c = u_n \times \frac{a}{A}$$

而して

$$\begin{cases} R_n = \frac{u_n \times b}{\nu} \\ R_c = \frac{u_c \times D}{\nu} \end{cases}$$

として表はされる。これに $\nu = 0.145 \times 10^{-4} [m^2 s^{-1}]$ (これは大體 $15^\circ C$ に於ける値) を入れて 100% total charge に於ける値を計算すると第7表の値が得られる。

Table 7.

D	u_n	A/a	u_c	R_n	R_c
41	11.8	25	0.47	2700	1330
62	16.8	25.2	0.67	5800	2860
91	24.7	24	1.03	12800	6500
124	34	25.2	1.35	23500	11600

之で見ると $D=41$ に於ける R_c 以外は全部 critical Reynolds' number 2000 を超えて居る。然も本実験は上の計算で假定した如き constant jet velocity ではなくして實際は variable jet velocity であつたのだから, maximum velocity は實際は上記の値に數倍するものであり, 従つてこれで R を算出するなら表中の値に數倍する事となる。又 cylinder head から撥ね返る氣流は撃突點近くでは cylinder wall に接して恐らくは平均の流れに數倍する速度を有すると考へられるから turbulent になる傾向を益々強く認める事が出来る。尙, 上の假定では nozzle から head 迄の氣流を neglect してあるが, 若しこれを勘定に入れるなら, 値は當然若干高くなる。

次にこれらの値と實際の engine のそれとを比較して見やう。今回の模型機關ではその charge の際に與へられた時間は約 $\frac{1}{10}$ sec であるが, これ位が與へられる實際の engine

の speed は約 200 rev/min と云ふ非常な slow speed にすぎない。これに對し今日の小型機關では通例これの 10 倍位を normal speed とする故 R は著しく高いものである。よつて今回我々の行つた實驗は、實際起り得る R の最も低い値につき行つたものと見てよく、然もその値さへ大體通常の critical value 2000 を超えるのだから實際の engine は殆んど總て此 critical value より上の所で働いて居ると見て差支へない。

さて $\frac{u_c D}{\nu}$ をどれ位迄下げてても著しい變化が起つて來ないかを調べる目的で行つた若干の實驗を次に紹介する。第一例は $D=62\text{mm}$ の氣箭につき行つたもので、その port-opening の狀況は第 207 圖に示す。これでは normal のものゝ約 2 倍に相當する port-opening time integral を有する故 R_c は約 1500 となる。實驗の結果は第 208 圖及第 209 圖に示す。第 209 圖の點線は normal のものであるが、殆んど全く一致を見る。

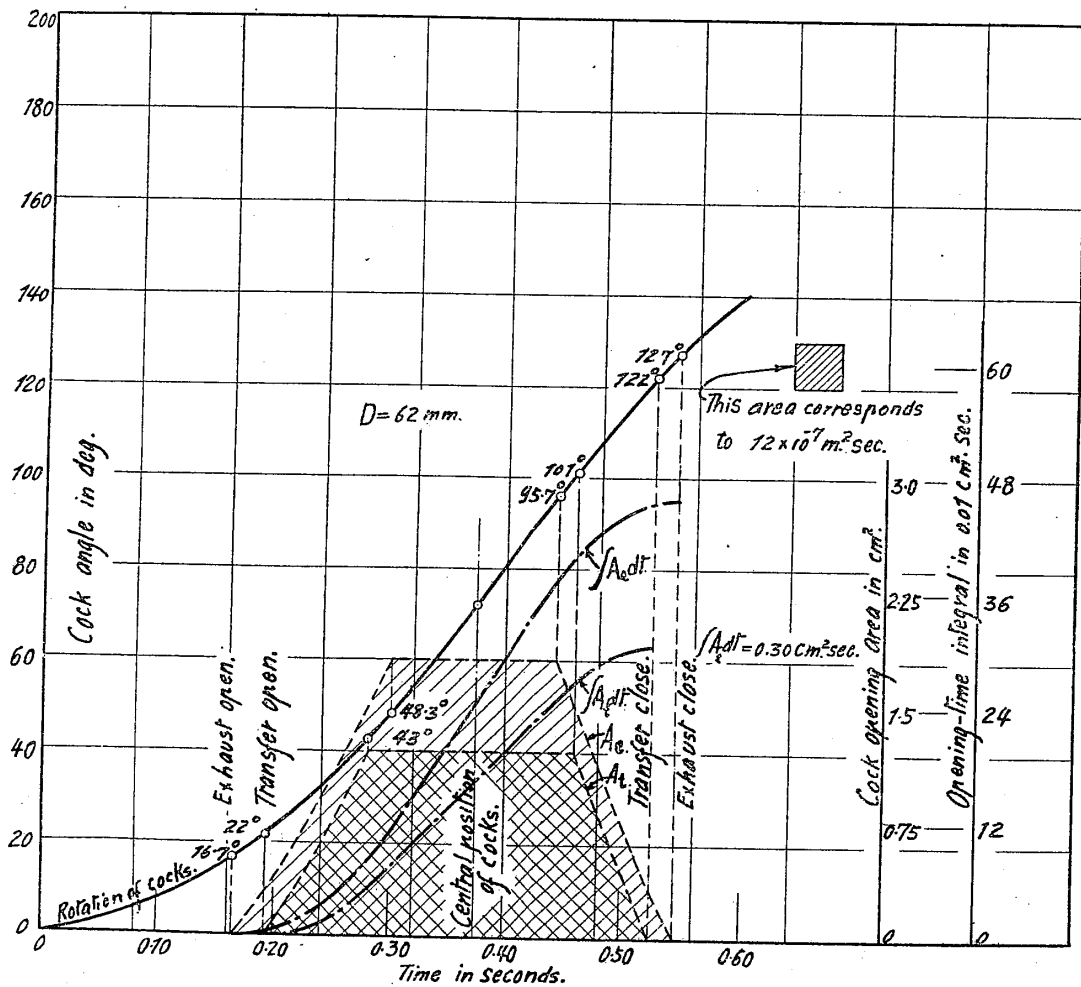


Fig. 207

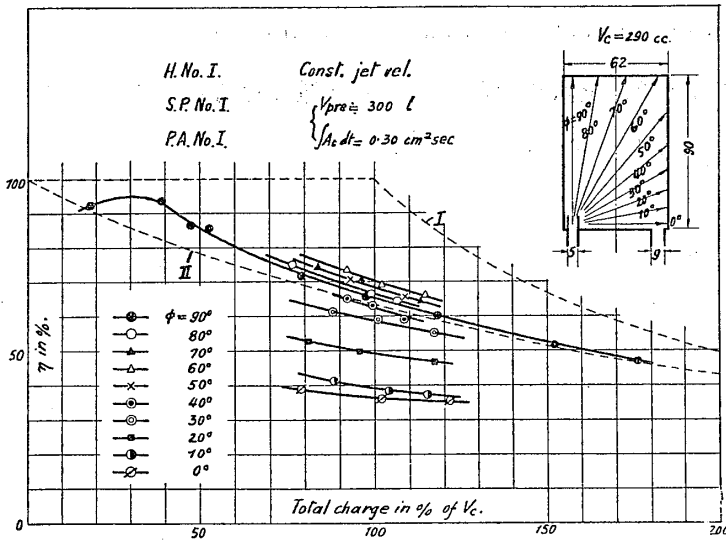


Fig. 208

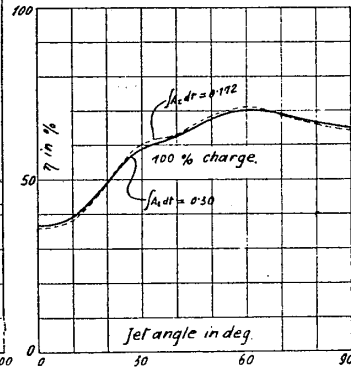


Fig. 209

第二例は極端に port-opening time integral を大きくする目的を以て, cock を手でゆるゆる開閉したもので, 正確な integral の値は判明しないが, stop watch で測つて判断したところでは, 平常のものゝ約6倍位はあつたと信ぜられる。

即ちこれでは $\int A_c dt = 0.172 \times 6 = 1.03 \text{ cm}^2\text{sec}$ であつて, $R_c = 480$ にすぎないわけだが, 充填効率も平常の $\int A_c dt = 0.172 \text{ cm}^2\text{sec}$ に於ける値と毛頭相違しなかつた。即ち未だこの程度では流の状況が充填と云ふ見地からは何等狂つて来ないと認むべきであらう。

然し之よりも進んで流が全く laminar の状況になれば効率は急に低下して来るであらう事は殆んど確實である。貧弱な實驗であるが, 第四編第二十八章にこれの一實例が示される。然し此邊の事は單に理論的興味があるだけであつて, 實地方面には何等關係はない。

之を要するに, 充填効率に對しては molecule の運動による diffusion も影響するであらうが主影響は flow が與へるものと想像され, よつて, 氣箭大きさをきり離して單獨に考へる事は不都合でやはり上の如く $\frac{uD}{\nu}$ の値を基礎にして比較するのが妥當と思ふが, 實際の engine の場合はすべて turbulent flow の状況にあるらしく, 而して左様なつた上では殆んど全く $\frac{uD}{\nu}$ の大小の影響は看取出來ない。これで, jet velocity をどうとるべきかとか, engine speed をどうすべきかと云ふ問題は解消する。但し nozzle area はこれを變へると流の形體が變はるので, あくまでも similar を嚴守しなくてはならない。

* 航空研究所彙報第八十二號第 389 頁第 143 圖参照。

若しそれを變へる場合には、それが小さくなればなる程僅かながら効率⁽¹⁾は次第に低下すると考へて大過ない。但しこれは nozzle の sectional area が cylinder の sectional area の約 $1/3.6$ 以下の所⁽²⁾にあてはまることで、それ以上のところでは逆になるが、後者は實際に使ふ範圍ではないから普通は考へるに及ばない。

47. (氣流速度)×(直徑)の値が非常に大きい場合の特殊現象

前章に於ては(氣流速度)×(直徑)の値即ち R_c が中庸の所から極低い所に互つて概略調査記述したのであるが、本章では、それが極大くなつた場合の影響を調べて見ることとする。 R_c の値が前章記載の加く 12000 程度の所迄は効率線の上に何等 appreciable な影響が見られなかつたのであるが、これ以上になると次第に氣流の攪亂が甚しくなるから何等かの影響が現はれて來ると想像される。從來一般に想像されたのは、「 R_c が大きくなると共に効率は低下するであらう」と云ふ事であつた。此際確かに氣體の奔放性が増加する故損失の二つの原因たる boring と diffusion の雙方共漸増すると云ふ考へ方は一應人を肯かしめるに足る。然し一定の流通割合を得るを目標とすれば jet velocity と port-opening time integral との積は一定とならねばならぬので、兩者は互に逆比例する。即ち jet velocity が増加する際は必らず開放時間の減少と云ふ條件を伴ふ。而して時間の減少があれば boring や diffusion による損失の機會はそれだけ減少する事となるべきである故、此際の効率變化は實は輕々に豫斷すべからざるものである。

本章で紹介する數個の實驗に於ける諸條件は第 8 表に示す。各に於ける port 開閉の景況は第 210 圖、第 211 圖、第 212 圖に示す。

Table 8.

No.	D	$\int A_i dt$	u_n	u_c	R_n	R_c
1.	62	0.0362	91	3.6	31500	15400
2.	62	0.0273	106	4.2	36500	18000
3.	91	0.0632	146	4.1	75500	38500

(1) 航空研究所彙報第八十二號第 380 頁參照。

(2) 航空研究所彙報第八十七號第 681 頁參照。

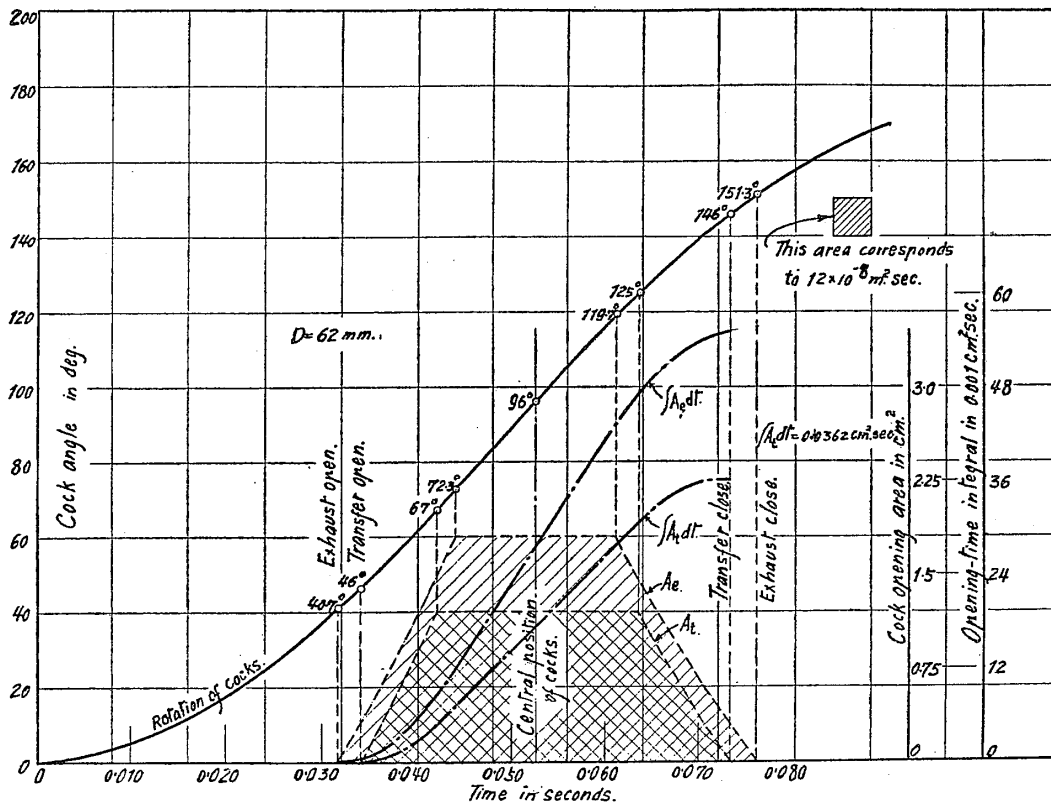


Fig. 210

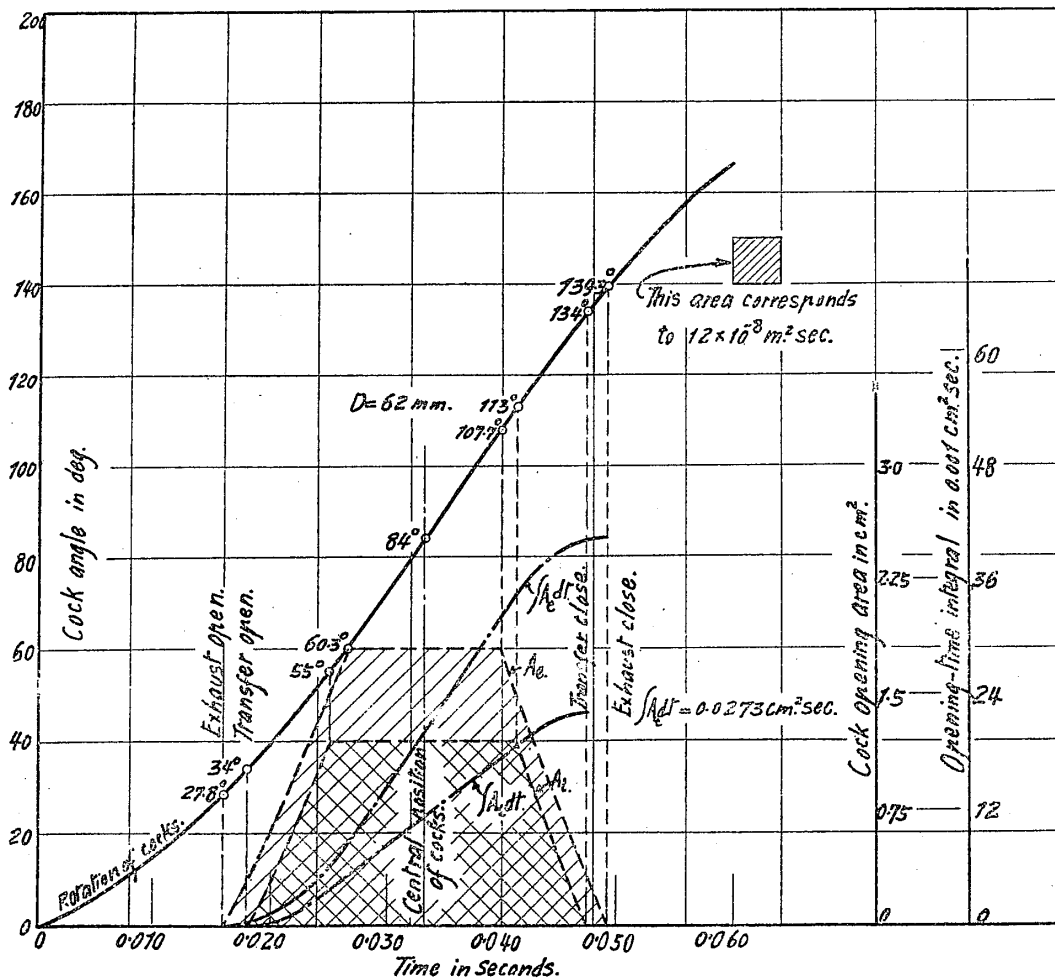


Fig. 211

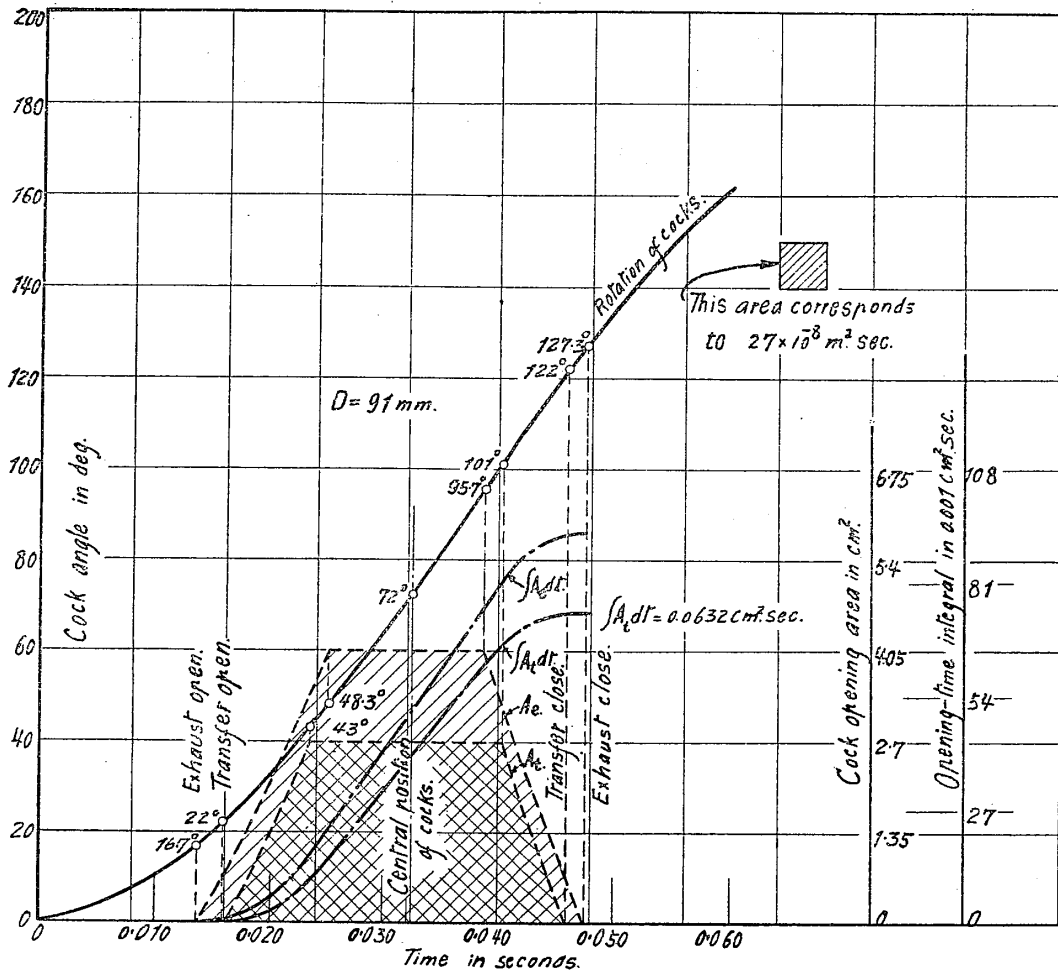


Fig. 2 1 2

實驗の結果は表中の No. 1 に關するものが第 213 圖, 第 214 圖に, No. 2 に關するものが第 215 圖, 第 216 圖に, No. 3 に關するものが第 217 圖, 第 218 圖に示す。圖中點線で描き加へたのは $D=62\text{mm}$ のものゝ常例の方法による成績であるが, それと對比していづれも線が上位に現はれる。然も R_e の増加と共に次第に効率線が全體的に上昇して來る事が明らかに示される。之等に於ては jet の maximum velocity を詳記はしないが pre-compression の最大の値は約大氣壓以上一氣壓位を採用した。これで氣箭内の壓力が畧大氣壓に近いと考へれば transfer jet velocity は畧 critical velocity になつて居るわけである。これは orifice を通して流過する氣量の最大を得る條件である故, 充填作用に關しては之以上は絶対に考へるを要しない。普通 pre-compression に要する馬力を考へに入れ engine の overall efficiency の最高を得んがための豫壓は大氣壓以上 0.3~0.4 氣壓位のものであつて今回の値よりもずつと低い。さてこの最高限度の高速を採用しても, 一般の

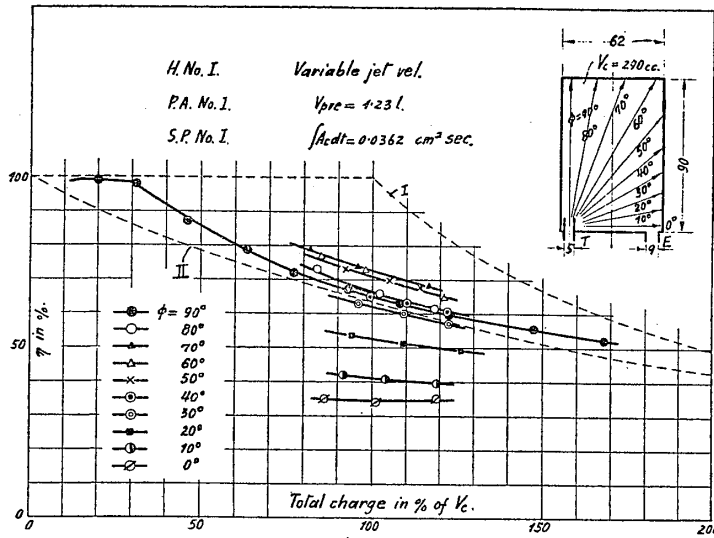


Fig. 213

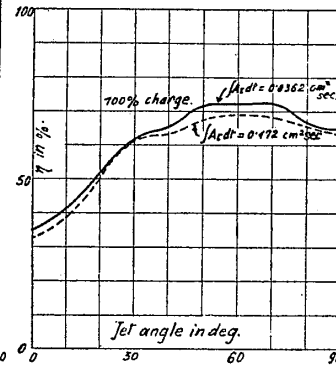


Fig. 214

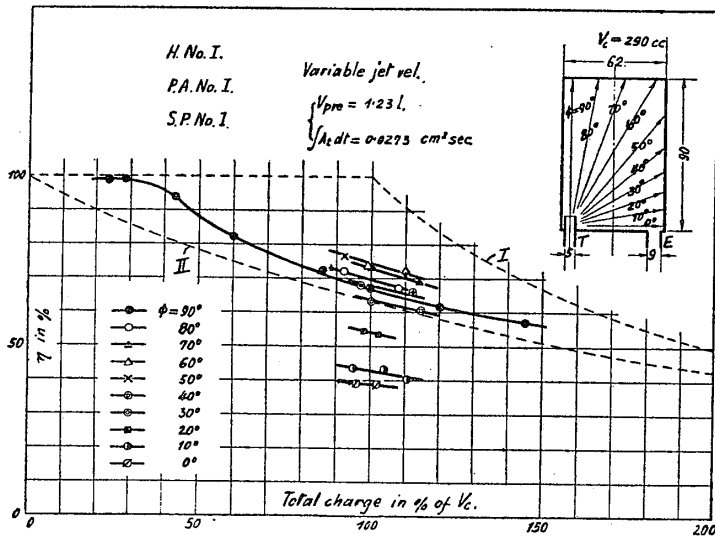


Fig. 215

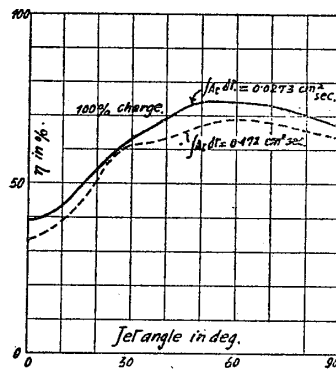


Fig. 216

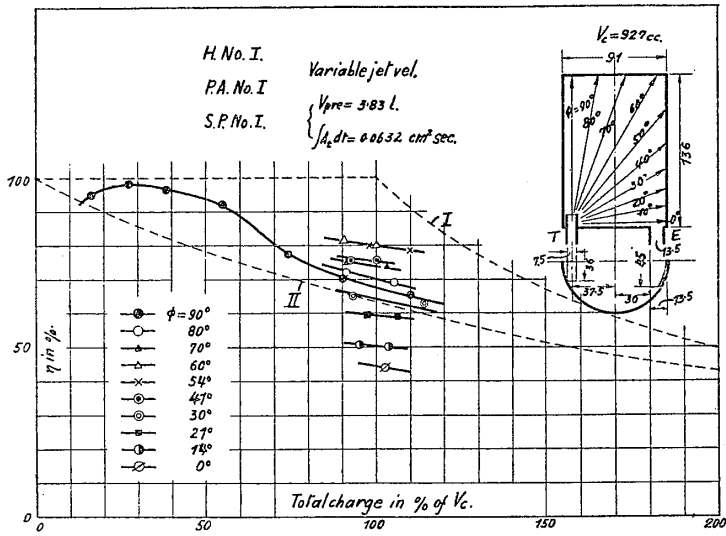


Fig. 217

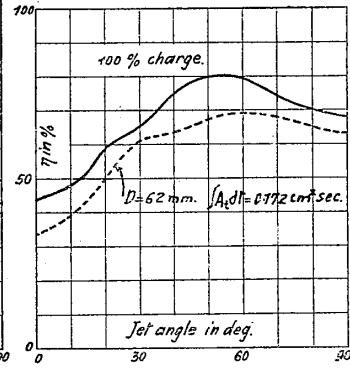


Fig. 218

想像に反対で効率低下するどころか却つて著しく上昇するのだから奇異である。著者等もこれを正確に豫見する事は出来なかつたのである。然し此事實を知つたからには後から尤もらしい説明をつける事は出する。

大體, jet の増加と共に効率の低下が起らぬ主理由は冒頭に云つた如く, port-opening-time integral が jet velocity と逆比例に増減し effect を cancel するためと考へられる。之は判り易く云ふと次の様になる。若し jet が入つた時のまゝの velocity で進むとすれば jet の遅速に關せず, 一定の total charge を得るためには port の開いて居る間に jet の頭端は一定の距離だけ進むのである。よつて jet が速くとも特別に突抜けが多くなる理由はない。そのみならず, molecule の運動に起因する擴散作用によつては失はれる量は, port の開放時間の減少のため減ずる傾向だと思はれるから, これが効率を積極的に上げる方に利いたものと考へられる。

此外に副次的理由ではあるが, 効率線を見掛けの上で上昇せしむるに與つて力あるものは, 充填作用終了後に於ける, 氣筒内の残留壓力である。これは常例の實驗の如き port-opening-time integral の充分大きい場合には殆んど negligible であるが, integral の値の小なる場合には exhaust port の内外の壓力の平衡するに著しく先つて閉めきられる。今回の實驗に於ては, 此残留壓力が 100 mm Hg にも達した事がある。計測に當つてはこれを free air に換算する故に, retained charge の volume は實際氣筒の中にある volume に比し, 10% 以上も擴大するのである。此壓力残留は engineer の所謂 super-charging であるが, かゝる戻ぬけ充填法に際してこれが得られるであらうとは全く期待しなかつたものである。

此 supercharge の作用のある事は實質的に確かに有利であるが、充填氣流の良否を問題にする場合には、之迄の如く free air になほして算定比較する事は妥當でないと思惟される。むしろ cylinder 中に包含されて居る時の volume によつて算定されるのが妥當と信ぜられる。然し充填の行はれて居る最中に、氣體の各部が果してどれだけの容積をしめて居るかは正確に判らないので我々は簡單に残留壓力に相當する壓力の所から isothermal expansion により V_1 及 V_2 (共に free air に於ける容積) が得られたものと考へて、もとの容積の推知を行つて見る。その際 P_0 =atmospheric pressure, P_c =pressure of retained charge in cylinder とすれば、改算された total charge は
$$=(V_1+V_2)\frac{P_0}{P_c}$$
 となる。これに對する充填効率はおもとのまゝでよろしい。此改算を施行すると第 213 圖, 第 215 圖, 第 217 圖等に於て測定點は高さをそのまゝとして位置が左方に推移する事となる。即ち効率線はもとのものよりも若干低位に現はれる事となる。其上に total charge の値の高い時程残留壓力は大きい故、correction factor P_0/P_c は必然小になる。即ち右方にある點程 correction によつて左による割合が増す。よつて第 213 圖に於ける $\phi=90^\circ$ の線の如く、右端が尻上りになつて居るところが、平常の位置に復歸するのである。斯て外見上異様な形のところが此 correction の結果消失して平凡な形になつて來る。さて此 correction により第 214 圖, 第 216 圖等では結果が非常に接近して來るが、未だ大體に於て平常のものより數%の上位に現はれる様である。第 218 圖に示すものでは correction が前二者よりもきついが、効率線は平常のものより尙顯著に上位にある様である。尙、第 213 圖, 第 215 圖, 第 217 圖等に於て total charge の小なる所に於ける値が、平常に於ける値よりも明瞭に高く maximum value として 98~99% 位が得られるのを見る。この maximum value に對しては correction の適否は問題にならないのであるから、high jet velocity のものゝ優越が文句なしに承認されるであらう。

次にあらゆる氣筒形式に對して high jet velocity が有利であるかどうかを調べる目的で、劣等と最優との兩形式に對してそれを施行して見た結果を紹介する、第 219 圖及第 220 圖は劣等の代表たる hemispherical head の結果である。圖に於て先づ注目されるのは $\phi=90^\circ$ に於ける効率の maximum value が約 95% であつて、平常の jet velocity のものより少しも上つて居ない點である。然もその線は total charge 40% の邊から急に下降して、平常のものよりも若干低位迄降る。第 220 圖に於て點線は平常のものゝ結果であつて、兩方の比較が明示される。これに於ては、flat head に於ける如き、線の全體的上昇が見られず、 $\phi=0^\circ\sim 60^\circ$ 以外の所では却つて線が低位に現はれる。若しこゝに残留壓力による correction を施すなら劣化は一層明瞭となる。斯の如く、突き抜け損失の多い形式にあつては、 R_c の増大と共に、以前の實驗と異つて却つて損失が多くなると認められる。即

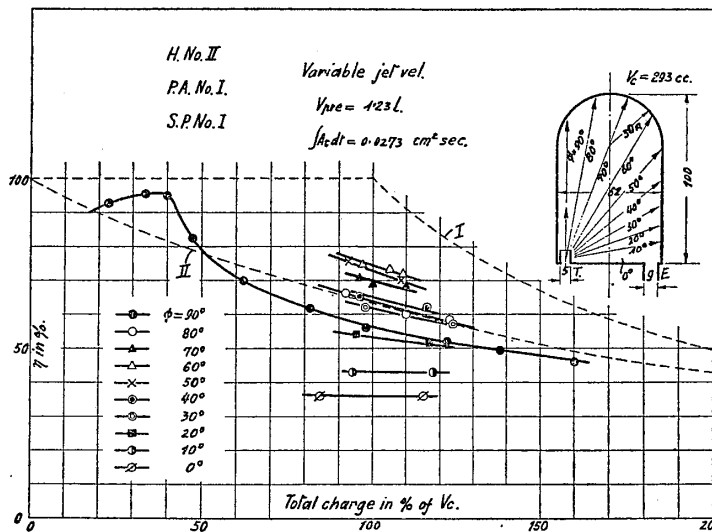


Fig. 219

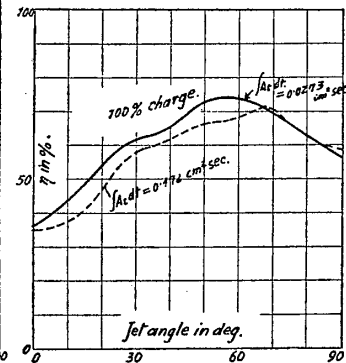


Fig. 220

ち一概に R_c の大小だけで効率の消長を論ずることは出来ず、やはり形式と併せ考へなければ不充分であることを悟らしめられる。然らば如何なる形式が R_c の増大と共に効率の高くなるのと低くなるとの分岐点をなすのであるかは、どうも今のところ、はつきり判らない。只 jet の進路に當つて撃突の全くない様な形式は危険であると漠然云ひ現はす事は許されさうである。即ち其の形式は平常でも効率が悪いのに、jet velocity の上昇と共に益々悪くなるから全く取柄がない。撃突を伴ふ形式であると平常では大して効率の高くない様なものでも jet velocity の上ると共に大體は効率の上の方に傾くと見られるから、かゝる形式を採用しておけば大體に於て間違ひがないと云へる。

次に平常の speed の試験に於て今日迄に最高の効率を現はした形式につき特別の high jet velocity を採用した結果を第 221 圖に示す。これで残留壓力の correction を施せば點線で示された平常のものゝ方に若干は近づくが尙若干の優越は認められる。又 total charge の少い所に於ける効率の最高値も若干の向上を來たしたことが認められる。即ち大體その成績が flat head の形式から此 H. No. XXV. 迄の間に位するものでは jet velocity の増加と共に若干成績は上るものと見てよく、hemispherical head の成績に近いものでは若干低下が起ると見てよからう。然し、若し残留壓力の correction を施した結果で比較すれば、上述の増減の値は効率の値にして 2~3% の程度のものらしいから普通は大して問題にする必要はなく、又平常速によつて得られた効率の順位が高速噴流を使つたがために狂はされると云ふ事も大體に於いて無いものと考へてよからう。

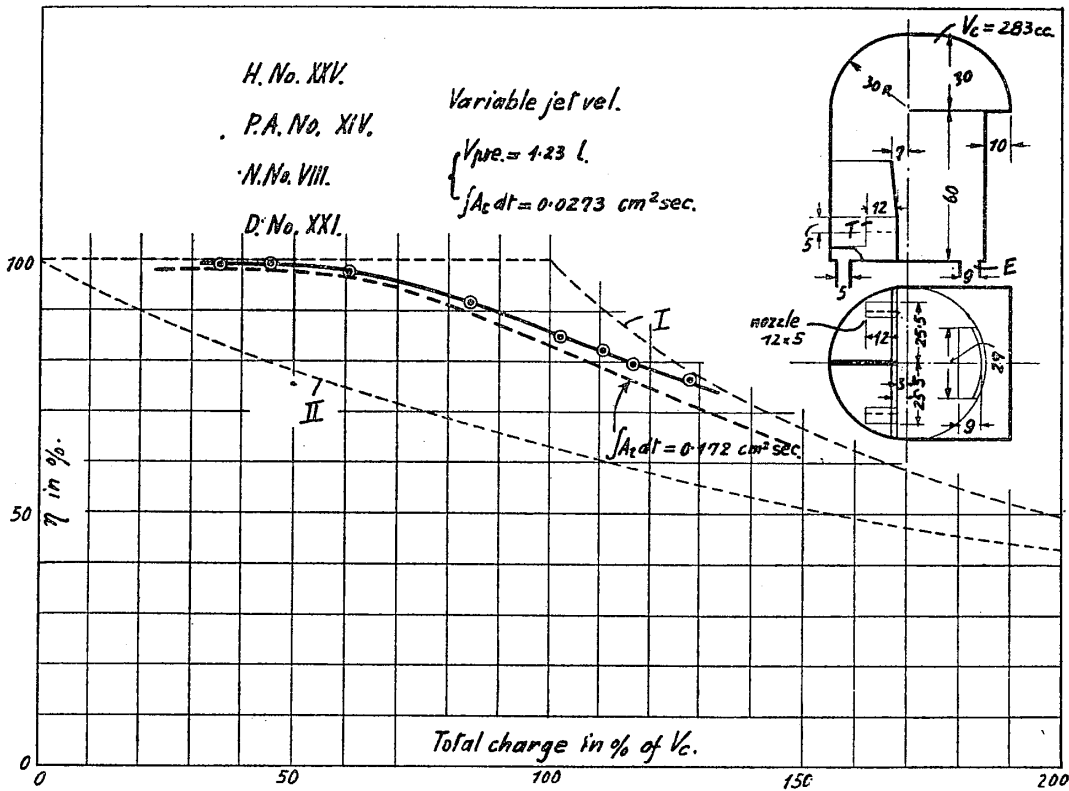


Fig. 2 2 1

次に今回の實驗に於て残留壓力が並外れて大きく現はれた理由につき一言する。此實驗に於ても port の開放の時間は約 0.02 sec 位である故、これは engine speed に當てはめて考へれば大體 1000 rev/min. 位となるにすぎない。よつて大體から見てさう高速な engine とは云ひ難いのに、何故、かくの如き大きい残留壓力を示したかと云ふに、それは port area の割合が實物の engine のそれよりも大分小さかつたによる。尤も $D=41 \text{ mm}$ の如き小型のものに對してはそう小さすぎもせぬのだが、形を similar とし然も大小を通じて畧同一の engine speed をとつたため、大型になるに従ひ一定割合の通氣を得るに並外れた大きい豫壓を要し、然も exhaust port の方も大きさが不充分であつたので、壓力の完全なる低下を見る前にしめきる事となつたためである。普通の engine の場合だとこれに數倍する面積を與へるから、残留壓力は殆んど問題にならぬ。

最後に R_c の値が實際の high speed engine に於てどれ位になつて居るかを 100% total charge の場合で比較して見ると次の如くである。

Table 9.

Name	Size	u_c m/sec.	R_c
Evinrude (5500 rev/min) 30 h.p.)	70 × 63.5	18	87000
K. B. Experimental	155 × 200	16	176000
Junkers Jumo 4	120 × 440	43	355000

よつて今回実行した実験に於ける R_c の最大値たる 38500 は未だ小さすぎる嫌ひはある。然し前項で云つた如く今回は port opening time integral が小であつたため u_n は 146 m/sec の如き高いもの迄試験して居る。これに對し, Table 9. のものでは u_n は 100 m 以下にすぎない。即ち今回の実験では nozzle area が小さく然も極 high speed の jet —これは効率の低下を招き易い條件である—をやつた結果である故 R_c の値だけ見れば小に失する様だが氣流の状況から見れば今回の実験の方が極端であつたと云へる。

然もその結果が既述の如く high speed jet を不利と認めぬ方に傾いて居るのである故, 實際の engine の場合には勿論更に問題は無い。但しこれは充填効率そのものだけについて云ふことであつて, pre-compression の馬力や overall efficiency などには全然觸れて居るものでないことを改めてことわつておく。

48. 第七編 總括

本編記載の「氣筒の大きさ及充填氣流速の相違が充填効率に及ぼす影響」の總括を下に述べる。

(a) 氣筒大きさ及氣流速の影響については今日迄信頼の出来る研究が絶無で, まるで見當がつかなかつたのであるが, 今回の実験ですこしは解明された。從來の憶測の中, 大型氣筒程 scavenge し難いと云ふ事も, 又効率を高めるには噴流の速度を出来る限り低くせねばならないと云ふ事も嘘である事が今回の実験により明瞭となつた。都合のよい事に影響は極めて僅少であつて, 從來の著者等の研究の結果は, あれよりも低速のものにも高速のものにも畧そのまま當てはまるし, 又氣筒の大小も殆んど問題とするに及ばぬ。

(b) 氣筒の大きさの実験は $D=40$ mm より 124 mm までしか実行して居ないから, それ以上の大きさについては憶測になるが恐らくは著しい影響は無いと考へる。(將來大きなものも全部実験する計畫ではある。) 長崎三菱造船所に於て約 500 mm の直径をもつ

model につき實驗した結果の數點を知らして貰つたのと對比して、此見當の大體誤りでないと云ふ信念を深め得たのである。

(c) Jet velocity が増加するに従ひ效率が次第に悪くなると漠然信ずる人は多いであらうが、充填氣流の太さの變らない場合には jet velocity の早いものゝ方が、同一の通氣割合を得るためには若干有利である。これは jet の早いと云ふことは必然開放時間の減少と云ふことを伴ふので兩者の作用が相殺するのみならず、molecule の運動に基く diffusion による損失が時間の減少と共に減ずるためと推せられる。但しこれは氣筒の形式如何にかゝはらず常に眞實であるとは云ひ難く、hemispherical head の如き過度に平滑なる流路を供給するものゝ場合には boring の増進のため效率の低下が起る。然し flat head の如く數個の急曲折を氣流に強要する形ならば殆んど間違ひなく jet velocity の増加と共に效率の増加が見られる。

(d) Cylinder の中に入る時の jet の早いのは既述の如く必ずしも悪くはないのだが、jet の細すぎる事はいつでもいけない。反轉式掃流の場合には jet は根本のところでは piston area の約 1/3-6 位の斷面積になつて居ることが一番よい。若し port の面積がこれよりすつと低かつた場合には deflector 等で先づ jet を受けて、適當の斷面積と方向とを與へた後 cylinder の主部に臨ます様にする事が望ましい。斯くした上は大體に於て噴流は早ければ早い程充填を有利に導く。

(e) 氣筒が小となり且つ jet velocity が低くなると、laminar flow の狀況に近づき壁に固着した waste gas が排除し難くなり充填效率の低下を招く。即ち Diameter \times Flow velocity の大なる程充填が若干有利に傾くと見て大體差支へない。但し此事は boring を特に起し易い形式に對しては當てはまらない。

(f) Port-opening-time integral が充分である場合には exhaust のしまる時に畧大氣壓になるが、integral が不十分なのに同量の空氣を通じやうとすると氣筒中の壓力の尙相當高い時に閉め切られる事となり、free air の狀況で實測した充填效率は著しく増加する場合がある。これが高速度 jet を使つた場合の結果を見かけの上で非常に優秀とする。實際の engine に於てはこれは明らかに實質的利益だが、效率線を理論的にとり扱ふ場合には cylinder の中に於て占有する volume に關して算定するが至當である。Isothermal change と考へて volume の改算を行つて效率線を引きなほすと、平常の jet velocity の場合の結果に非常に近づくが、尙普通は若干高速の jet の方に利がある。よつて他の事情が之を許すなら高速の jet の採用には躊躇する必要はない。

(g) 實際問題として、高速 jet を使ふなら、port の高さを減ずる事が出來従つて useful stroke は増大する。又 nozzle を通じて大きい pressure drop があり且 jet

velocity が damp し盡さぬ間に充填作用が完結するとせば, jet に相當の溫度降下が豫想されそれによつても volumetric efficiency の上に利益が得られる。然し豫壓のために大きい power を費やさねばならぬのは大缺點である。又 jet に於ける temperature drop を利用する考へなら pre-compression の際の temperature rise は cooling によつて取つておかねばならぬ。之等の得失を考慮に入れ maximum overall efficiency の條件を推定することは興味ある仕事と考へる。將來高能力の二衝程式機關の設計に當り相當考へて見る價值はあるであらう。

(此 編 終)

航空研究所彙報九月號正誤表			
頁	行	誤	正
476	2	$\sin\theta$	$\sin^2\theta$
〃	3—5	$\sin 2\theta$	$\sin^2\theta$
477	5	$L_s + L_s$	$L_s + L_e$
479	4	effectine	effective
〃	11	$f(P_e\phi)$	$f(P_a\phi)$
481	1	$\frac{D_s'n}{\eta} \cdot \frac{P_{m3}}{P_{m1}}$	$\frac{D_s'n}{\zeta} \cdot \frac{P_{m3}}{P_{m1}}$