油によるブースター の特性の変化

日本理化工業株式会社 中 川 洋, 石 島 三 郎

Performance of an Ejector Booster Vacuum Pump.

Influences of pumping fluids on Performance.

Hiroshi NAKAGAWA, Saburo ISHIJIMA
Nippon Rika Kogyo Co., Ltd.

Influences of the various pumping fluids on the operating performance of 8" ejector booster type vacuum pump are examined.

The fluids used are diethylphthalate, dibutylphthalate and hydrocarbon oil (mean molecular weight = 250). Another combined factors, i. e. diameter of throttle, heat input, foreside pressure are also changed together.

The authors have gotten some effective informations with these three pumping fluids about the relations between evacuating speed and heat input, boiler pressure and heat input, boiler temperature and heat input respectively.

§1. 緒 言

最近真空ポンプの1つの新しい行き方としてメカニカルブースターが登場し、従来の油を用いたエゼクターブースターの影がいささか薄らいだ感じがあるが、メカニカルブースターは工作精度を非常に要求されるためにその製作及び運転には相当の注意と熟練を要するようであり、従来のブースターが急に全部使われなくなるというようなことは未だ考えられない。

また高速流体力学の観点から従来主として化学工学，機械工学で取扱われて来た噴出蒸気の動作の解析研究と，一方高真空技術で取扱われていた高真空中でのガス蒸気の動作の問題とが一緒に考えられなければならないので，エゼクターブースターは理論的にも実際的にも極めて興味深い問題を含んでいる。筆者達はこの問題に関して出来得れば理論的に，少くとも工業用排気系の一員としてのエゼクターブースターのオブティマムな動作点，及び運転方法を得るために実験を続けている。本報告はその中間報告として，同じポンプで作動液を変えたときの動作がどのように変るか，また実際にはどの油を用いてどのような運転方法によれば最も経済的であるかについての知識を得るために行つた実験及びその結果である。すなわちたて型8吋油噴射ポンプを用い，D.E.P.， D.B.P.， 石油系炭化水素を用いた場合の，スロツトル径の影響，加熱入力 — 排気速度，加熱入力 — 油温，加熱入力 — 油圧，加熱入力 — 冷却水及びディフューサー温度等の関係について実験を行つた。

エゼクターブースターの動作機構については既に数多くの研究が行われある程度解析も行われているので本報告はただ得られたデータの紹介に止まつたが，少くとも油を変えることは動作機構解明上の1つの大きなファクターであると思うので紹介した。勿論動作機構を解明するのが本研究の最大目的ではあるが，本報告のデータのみでは不充分であるので今回は触れなかつた。

§ 2. 使用した作動油の諸性質

1. D.B.P. (Di-*n*-butylphthalate, $C_{16}H_{22}O_4$)

分子量：278，比重：1.047 (20°C)，1.045 (25°C)，沸点：135°C/0.5 mm Hg，蒸発熱：51.7 Cal/gr，182°C/5 mm Hg，粘度16.3 c.p. (25°C)，凝固点-35°C，引火点183°C，燃焼点，192°C

2. D.E.P. (Diethylphthalate, $C_{12}H_{14}O_4$)

分子量：222，比重：1.12 (20~25°C)，沸点：141°C/5 mm Hg，蒸発熱：79.5 Cal/gr，粘度：11.0 c.p. (25°C)，凝固点：-3°C，引火点：153°C，燃焼点：155°C

3. 石油系炭化水素油*

平均分子量：250，蒸気圧は略々D.B.P. と同じような石油溜分¹⁾である。推定

* 松村石油株式会社 Neovac #ME250

蒸発熱: 40 Cal/gr

§ 3. 実験装置, 測定方法

測定装置, 機具のレイアウトは第1図に示した通りであつて使用したポンプは日本理化製

第 1 図 実 験 装 置

EB-8B型油噴射ポンプで構造大きさ等は既に報告されている²⁾。補助ポンプは3000ℓ/min キニー型ロータリーポンプ(小美野製作所 RKS-5型)であり、両者は3" ガス管約2mで連結されている。この配管には背圧調整用として簡単なリークバルブ、及び背圧測定用として直読ピラニゲージ、ガイスラー管を取付けてある。ポンプのヒーターは3KWシーズヒーターの投込み式のもの2本であり、オートトランスによつて入力調節し、電圧計電流計によつて入力を測定した。投込式であるから本報告中の熱入力は他の外熱型ヒーターの熱入力に比してより真に近いと考えられる。ボイラーには他に温度計、ボイラー圧測定用油差圧計が附いている。蒸気噴出口のスロットルは内径35mmφと40mmφに変えられるようになっており、本実験では、D.B.P.とD.E.P.については両スロットルについて測定した。

高真空側にはテストドーム(引口と同径)をつけ、リークよりのガス導入口、そのバツフル、真空計取位置等は真空機器協会規格(JIS原案)によつてゐる。

リークはシリカゲル乾燥瓶を通じて精密可変ニードル弁にて加減し、流量は傾斜ビュレットによつて測る。真空計は、液体酸素トラップを通じ、アイオニゼーションゲージ2ヶ、ガイスラー管1ヶを組合せてある。アイオニゼーションゲージを2ヶ取付けたのは測定途中での断線予防のためと、夜間液体酸素がなくなるために油蒸気がゲージに附着するためのエミッション減退等の相互誤差を電離真空計増結装置³⁾を用いて常にチェックして真空度を測定した。

ポンプ油の交換は慎重に行ない、また機壁に附着した油膜によるガス吸着及脱着の影響や新しい油からの脱ガスの影響をなくするため、機体をよく加熱すると同時に測定前2日間の空運転を行い、測定は1日で終るようにした。従つて厳密な到達真空度を測定出来なかつたので排気速度はJIS原案に規定されたように $S=Q/p-p_{min}$ によつては計算せず単に $S=Q/p$ によつた。この両方法は到達真空度の附近では多少異なるが、その他では殆んど差はない。

またエゼクターポンプでは冷却水温度、デフューザー温度が特性に非常に影響するので予備実験によつて最もクリティカルな点の温度を測つた。この方法は第2図に示したように極めて簡単であるが、デフューザー温度が入力と直接関係のあることが判明した。

第 2 図

§ 4. 測定結果及考察

a) 排気速度と入力との関係

D.B.P. による排気速度とヒーター入力の関係を測定した。スロットル $40\text{ mm } \phi$ の場合を第3図, $35\text{ mm } \phi$ の場合を第4図に示す。両者には殆んど差がなく, 最大排気速度を得る真空度及びその入力は大體同じである。ただ $35\text{ mm } \phi$ (第4図) の方が中程度の入力で複雑な形を画いており, これは衝撃波が丁度定常的に起るような条件のときに相当するものと思われるがこのデータだけでは詳しく論議出来ない。何れにしても入力 $4.3 \sim 5.0\text{ KW}$ 附近で $10\text{ } \mu\text{Hg} \sim 20\text{ } \mu\text{Hg}$ で最大排気速度 $750\text{ } \ell/\text{sec}$ が出ている。極端にヒーター入力が高い場合即ち第4図 1.74 KW では特殊な形となっており, $3\text{ } \mu\text{Hg}$ 附近で $560\text{ } \mu/\text{sec}$ となっており Q 値で比較すれば $4.3 \sim 5.0\text{ KW}$, $10 \sim 20\text{ } \mu\text{Hg}$ の Q が $15,000\text{ } \ell\text{ } \mu/\text{sec}$, 1.74 KW , $3\text{ } \mu\text{Hg}$ では $1,680\text{ } \ell\text{ } \mu/\text{sec}$ と1オーダー異っている。

次に作動油をD.E.P. に変えてスロットル40mmφの場合を第5図, 35mmφの場合を第6図に示す。この場合には2つのスロットルによる特性の変化が明確に表われて来て、40mmφの場合はヒーター入力によつて最大排気速度の真空度は5~10μHgとあまり変わらないが、35mmφの場合には3~30μHgと大きく変つている点が注目に値する。この原因については噴射量とスロットル径との間に密接な関係があることによるものと推測され現在解析を行つているが、事象が複雑なため満足すべき結論には達していない。スロットル径をもつと変化させ、あるいは蒸気圧を直接測定して信頼し得べきデータを集めてから解析したいと思う。

次に作動液を炭化水素に変えた場合を第7図に示す。明らかにD.B.P. と似た動作曲線が得られる。もつとも蒸発潜熱が異なるためヒーター入力は異り、最大排気速度はD.B.P. は4.3KWのとき得られるのであるが、炭化水素では2.5KWのときとなり相当顕著な差を見せている。

b) 最大排気速度を与える入力

以上の得られた結果のうち各作動油に対し最大排気速度を与える場合の入力、即ちD.L.P. については4.3KW, D.E.P. については3.8KW, 炭化水素については2.5KWのときのQ-P曲線として第8図に示す。大体5~20μHgではQ値に差がないにもかかわらず、ヒーター入力は極めて異なることは興味のある問題である。しかしながら許容背圧はどの作動油についても殆んど同じで大体ヒーター入力に比例しているので当然油が変つても入力が高い方が背圧に強いわけでこの点は注意を要する。

c) ホイラー圧, 油温

第9図, 第10図に各作動油についてヒーター入力とボイラー圧及び油温との関係を示しておく。前記第3~7図の特性曲線中ホイラー圧, 油温を省略したが、この図によつて代表させておく。当然のことではあるが各油とも大体同じような関係にあり、僅かに同じ入力では炭化水素が一番ホイラー圧が高くなり(蒸発潜熱の関係), D.B.P. が一番油温が高くなる(蒸気圧の関係)ことを示している。使用中の分解を考えると温度の点ではD.E.P. が一番安全であるが、化学構造上は炭化水素が一番安定であろう。従つて経済的な面ではブースター油としては一番優れていると判定しても大過ないと思う。

8" 油 噴 射 ボ ン プ 排 気 速 度 曲 線

8" 油 噴 射 ポ ン プ 排 気 速 度 曲 線

△ 1050

-20~3-

第 5 図

型式 EB-8B (投込ヒーター)
作動液 D.E.P. スロツトル 40 φ
X 1.8 KW 許容背圧 0.09 mmHg
+ 2.6 KW 0.1 mmHg
△ 3.8 KW 0.3 mmHg
○ 4.6 KW 0.3 mmHg

8" 油 噴 射 ホ ン ノ 排 気 速 度 曲 線

-20~4-

S (l/sec)

8" 油 噴 射 ポ ン プ 排 気 速 度 曲 線

-20~5-

800

第 7 図

排

700

気

600

速

度

500

400

300

200

100

0
10⁻⁵

5

10⁻⁴

5

10⁻³

5

10⁻²

10⁻¹

型式 EB-8B (投込ヒーター)
作動液 石油系炭化水素
スロツトル 40φ
許容背圧 8×10⁻² mmHg

△ 2.5KW
□ 3.8KW
◇ 4.6KW
× 5.4KW
+ 6.8KW

9×10⁻²
9×10⁻²
0.4
0.4
"

Q
($\ell \cdot m Hg$)

第 8 図 最大排気速度を与える入力の場合の Q-P 曲線

第 9 図 加熱入力とボイラー圧の関係 (スロットル 40mmφ)

第 10 図 油温と入力の関係

d) デイフューザー面温度，冷却水温度

第2図に示したように，一番温度上昇の甚だしい点の壁温と冷却水温度を第11図に示す。これによると少くともこのポンプではD.B.P. について入力6 KW，即ちボイラー圧170 mmOil，油温208°Cでデイフューザー壁の外面で50°Cまで温度が上昇することが見出される。デイフューザー壁の内外では相当の温度差があると思われるが，一応計算では10°Cくらいになる。かくすると60°Cのデイフューザー内壁における蒸気圧はD.E.P. で約80μ

Hg, D.B.P. では約 2μ Hg となる。D.E.P. では油分子はせつかくデیفューザー壁で凝縮しても再び蒸発してしまう率が多くなり、到達真空度も悪くなり、油蒸気の逆流も多くなることであろう。本測定では真空計に液体酸素トラップを用いているので、測定した真空度は空気分圧だけを測っているか、勿論このデیفューザー面上の蒸気圧を無視することは不可能であつて事実第6図のヒーター入力 5.7 KW の場合の特性曲線が真空度の悪い方によつていのはこの影響の現れであると思われる。第5図の 4.6 KW の場合のように排気速度が真空度の悪い方で再び増加する現象もこの原因によつていのではないかと思われる。この附近におけるポンプの動作は極めて不安定であつて再現性に乏しいので、確たる論議を進めるためにはより信頼出来るデータを取らな

第11図 デیفューザー壁温，冷却水温と入力の関係

ければならないが、エセクターの理論的解析にはこのような不安定な状態こそ最も役に立つ所であるので今後詳しく検討したいと思う。

§ 5. 結 論

EB-8B型ブースターポンプについて3種の作動油を用い、スロットルとヒーター入力を変えた場合について特性の変化を測定し、使用する作動油々々について最もオプティマムな条件を求めた。ブースターポンプ油としては経済的な面(分解の危険度、ヒーター入力の多少)から考え、かつ背圧は十分に低く保たれるとすれば炭化水素油が一番優れているように思われた。

また動作機構の解析については本報のデータだけでは不充分で今後の研究にまたねはならない点が多いが、デフューサー壁面の温度が大きなファクターになっていることが分つた。この解明には1つの油について行うよりも蒸気圧の異つた油について比較検討した方が判明し易いと思われるので今後も続けて行きたいと思つている。

ともかくもD.B.P.を使用するように設計されたポンプが、D.E.P.や炭化水素を用いても結構働き、場合によつてはより良い性能を示すことは仲々興味ある問題であり、現在多效用いられている噴射ポンプも今後この観点から見直されてもよいのではないかと思われる。

終りに本研究を行うに当つて種々助言を頂いた 田島英三氏、高島洋一氏 及び援助を与えて頂いた日本理化工業株式会社の各位に感謝する。

文 献

- 1) 河野信通, 真空化学 5 13~19(1957).
- 2) 田島英三, 片山 章, 陶山三男, 科研報告, 28, 73~80(1952).
田島英三, 金子桑太郎, 片山 章, 真空技術 3 No. 3 13(1952).
Eizo Tajima, J.Sci.Res.Inst., 47, 87(1953)
- 3) 石島三郎, 真空工業 3, 389(1956).