水及びスチームエゼクタポンプ

小 林 実*

(昭和34年4月10日受理)

Water and Steam Ejector Pump

Minoru KOBAYASHI

(Nitinan Eng. Co. Ltd.)

は し が き

エゼクタにはゼット・ポンプ、インゼクタ、アスピレータ等、種々の名称のものがあつて、使用目的に依り夫々異つた呼び方をされている。例えば真空排気の目的に使用されるものをエゼクタと呼び、ボイラの給水の様に圧入を目的とするものをインゼクタと呼んでいる。一方駆動流体に依つてスチームゼット、オイルゼット、水ゼット、空気ゼットエゼクタと呼ばれているが、これらは又総称して、エゼクター又はゼット・ポンプとも呼び、高圧の流体を駆動源とし、低圧流体を吸入圧縮する一種のポンプである。

第 1 図

エゼクタの基本的な構造と作動状態を簡単に述べると第1図のように、ノズル、吸入室、デフューザからなり、夫々の口は導管に接続し、高圧の駆動流体をノズルから噴射させると、流体はノズル先端で圧力のエネルギーを失うと同時に速度エネルギーを得て低圧高速度の状態となる。この低圧の発生のために吸入口より第二の流体が吸

入室内え吸込まれ、高圧の駆動流体に接触して牽引されデフューザ先細部へと導かれる。駆動流体はこの接触のために減速するが、一方吸入流体は駆動流体に牽引、巻込作用を受けつつ速度を増し、相互間に運動量の交換を行いながら、デフューザ咽喉部（スロートと呼ぶ）に至る。この間激しい混合作用が行われ、混合した流体はデフューザのスロートから末拡がり部において、速度を次第に減ずると共に圧力を回復しデフューザ出口から送り出される。

以上のようにエゼクタは機械的な作動部分のない圧縮機またはポンプと云えるわけである。

この様にエゼクタは構造作動が簡単であるために、設備費が低廉であること、据付面積が少なくすみ、また機械的ポンプに比較して軽量な為に自由な場所に設置でき小型のものは別に架台を設けずに配管の一部として、または他の装置へ直接取付ける事ができる。

最も大きな特長は、機械的運動部分が無いために吸引ガスの腐蝕性に依じて自由に耐蝕性材料が使用できることである。また注油、調整の必要もなく操作は流体通路のバルブを開閉するだけに過ぎないため、作業上に特別な技術を要さない。また、寿命の点でも、高速度噴流による浸蝕とガス接触による腐蝕だけで、これは前記の如く耐蝕性材料の選択によつて解決されるので寿命は長く故障も極めて少ないわけである。

エゼクタは駆動及び吸入流体が気体か液体かによつて各々異つた特色を持つもので、ここに使用者の方々に各エゼクターの特性を理解して戴く様、便宜上下記の分類によつて説明をする。

1 液体噴射エゼクタ（一般には水エゼクタ）

(1) 液体吸引に使用されるもの

水、油、または他の液を駆動流体として目的の液を吸込むわけであるが、現今、家庭用深井戸ポンプに使用されているゼット・ポンプはこの使用例の一つであつて、また混合作用が良く行われる為、混合機としても適して

* 日南機械株式会社

第 2 図

第 3 図 水エゼクタ性能表 (液体吸引の場合)

いる。第 2 図にその使用例、第 3 図に液-液エゼクタの性能曲線の一例を示す。その特性は駆動圧を P_0 、吸入圧を P_s 、吐出圧を P_a 、駆動量を G_1 、吸入量を G_2 、とすれば、圧力比 σ

$$\sigma = (P_a - P_s) / (P_0 - P_a)$$

によって吸入比 $\mu = G_2 / G_1$ が変化する。

$\eta = \sigma \mu$ を効率とすれば、約 30% 前後の効率を得られる。ポンプとしての効率は多少低いが、前述の様に混合作用と耐蝕性が優れているため、化学工業装置においては液体混合、連続反応、抽出用として広く用いられ、また疎水、排水用としても適している。

(2) 気体吸引に使用されるもの

これは、腐蝕性ガスの真空排気にしばしば使用されるもので、この典型的なものに実験室で用いられるアスピレータがあり、型式を大別してガス吸引用エゼクタと、蒸気を吸引凝縮せしめるエゼクタ・コンデンサの二型式がある。前のエゼクタ型式のものは、ゼットの効果を有効に生かしてデیفューザよりの出口圧力を強めたもので、ガスの吸引のみならず、気液混合用として化学反

応、吸収等に広く利用されている。第 4 図に断面図、第 5 図に性能表を示す。

次のコンデンサ型式のものは、エゼクタ型式にくらべ、ガス吸引能力を犠牲にして蒸気の凝縮を主目的とし、水ゼットの表面積を増大させたもので、このためノズルよりの噴射距離及びノズル数を増している。この型式はマルチゼット・コンデンサと呼ばれ、一般化学機械用復水器としてのバロメトリック・コンデンサ (大気脚復水器) と並んで広く用いられ、ゼット・エゼクタの真空吸引能力によるガスの排気が可能なるため、別に真空ポンプを必要とせず、腐蝕性蒸気の真空復水器として特

第 4 図 水エゼクタ

第 5 図 水エゼクタ性能表 (空気吸引の場合)

に有効である。第 6 図及び第 7 図にその断面図と性能表を示す。性能表は横軸に冷却水と凝縮蒸気の重量比を水量比として表し、縦軸に真空度をとつて、冷却水温と真空度による蒸気凝縮能力を示したものである。第 7 図に示される様に、マルチゼット・コンデンサは冷却水温が下ると、その凝縮能力が増大するが、前述の如く排気能力が比較的に弱いため、漏洩その他脱ガスによる不凝縮性ガスは極力、減すべきである。

尚、無負荷の場合最高到達真空度は理論上駆動水温の蒸気張力に一致すべきであるが実際には、それよりも 2 乃至 3 mmHg 低くなる。

これらの性能は最高到達真空度によらず、負荷を与えた場合の吸引作動特性における安定性及び吸引能力により判定すべきである。この種のエゼクタを設置する場合には垂直に据付けるべきで、特に考慮すべき点は、吸入ガス配管及び駆動水配管はなるべく圧損失の少くなる様

第6図 マルチゼットコンデンサ

要であつて、それによりコンデンサの据付高さが決定される。テールパイプが大気脚以下の場合、停電その他の理由により駆動水圧が低下し、コンデンサの放出圧が限界圧力より低下することによつて排気機能が失われた場合に冷却水の吸入配管への逆流を防ぐため逆止弁が必要である。

第7図

2 気体噴射エゼクタ（一般には蒸気エゼクタ）

（1）液体吸引に使用されるもの

この種のものに、ボイラの給水用に使用されているインゼクタがあるが、一般に効率が悪く特種の場合を除き使用されず、単にポンプとして考えた場合の効率は数%に過ぎないが、ボイラの給水用の如く、駆動蒸気の熱量が回収されるため、全体の効率は100% 近くなる。この種のものは、一般にボイラ給水用インゼクタとしてカタログ的に市販され、特定の仕様による設計製作は、あまり行われていない。

に配管し、一般に吸入ガスの管中速度は毎秒 50 乃至 70 m 位にとつておく。又、テール配管も垂直配管が好ましく、やむなく曲折する時には急な曲りを避け、垂直線から 30 度以内にすべきであり、下端はホットウェル水面下 200mm 位に水没すべきである。テールパイプの長さは、冷却水温、ガス量、便水真空度、ポンプ所要馬力、冷却水量を最も少なくするため適当な長さに決めるべきであり、少なくともテール管径の 20 倍 位は必

（2）気体吸引に使用されるもの

この種のものには、蒸気噴射又は空気其他不凝縮性ガスを噴射流体としてガスを吸引するものがあり、前者を蒸気エゼクタと呼び、後者をガスエゼクタと呼ばれ、主としてガスの吸引及び気体の混合用、反应用到にしばしば使用されるが、その構造、特性及び作動条件を蒸気エゼクタについて説明する。

一般にこれらのエゼクタは、液体噴射のエゼクタに較べてノズルより流体の噴射される速度は、非常に高く、音速の数倍にも達し蒸気エゼクタでは毎秒 1000m 以上になり、デフューザ・スロート内のガス速度が音速以上か以下かにより、超音速エゼクタと低音速エゼクタ、とに分ち、超音速のものを一般にエゼクタ、低音速のものをゼットポンプ、又は、ファンと呼び夫々異つた特性を持っている。

イ、エゼクタの構造と特性

蒸気エゼクタの構造を第8図に示す。高压蒸気は、ノズル前の状態からノズル咽喉部直径 d_n 、ノズル出口 d_n' にかけて断熱的に膨張し、その断熱差に相当する圧力エネルギーを速度エネルギーに変換する。実際には、ノズル表面の外部摩擦及び蒸気の内部摩擦によるエントロピーの増分だけ膨脹は少くなる。

この様にして噴射蒸気はノズル出口において高速低圧の状態となる。

$(d_n'/d_n)^2 = \varepsilon$ を膨脹比と呼び、同じ駆動圧を基準とすれば高真空程、 ε は大となる。一方この高速低圧の駆動蒸気に吸引されたガスはデフューザにおいて混合し、圧縮される。

$(d_t/d_n)^2 = D_r$ を咽喉面積比と云い、 D_r は同じ駆動圧を基準とすれば高真空程大となり、また同じ吸引真空度に於いて圧縮比を大きくする程、 D_r は小となる。

デフューザの受口面積（直径 d_e の部分）及びその形状は、各メーカーにより異なるが概ね面積にて表せばスロート部の 2～3 倍を取つている。

次にある仕様のもとに設計された蒸気エゼクタの吸引特性曲線を第9図に示す。図は横軸にガス吸引量、縦軸に真空度をとつてエゼクタの吸引能力と吸引真空の関係

第8図

第 9 図

要とし、それ以上の圧力となると吸引真空が急激に低下する。この最大圧力を最高放射圧力といい、吸引真空と最高放射圧力の範囲内では放射圧力が変化しても、吸引量に対する真空度は一定でありエゼクタはこの状態において使用されるものであるが、一般には使用放射圧力は最高放射圧力の 90～95 % 位とする。同一エゼクタで駆動圧が変化したとき、吸引真空は殆んど一定であるが、ノズルの膨脹比が同じであるため、最高到達真空度は駆動圧が低い程、高真空となり、一方最高放射圧力は吸引量の大小に拘らず駆動圧が高い程高くなる。尚、同一真空度において吸引ガスの比容積が大となると吸引量は減少し、その割合は比容積比の平方根の逆数となる。

ロ、エゼクタの効率

エゼクタが駆動圧 P_0 、吸入圧力 P_1 、放射圧力 P_2 、で作動しているとき、便宜上吸入流体を蒸気として駆動量 G_1 、吸入量 G_2 とすれば、圧力 P_0 の蒸気 G_1 を圧力 P_2 迄膨脹させることにより圧力 P_1 の蒸気 G_2 を圧力 P_2 迄圧縮することとなるから、第10図の様に駆動蒸気が $i_1 \sim i_1'$ の変化を、吸入蒸気は $i_2 \sim i_2'$ の変化をしたと

第 10 図

を吸引曲線に示し、吸引量と圧縮圧力との関係を放射圧力曲線として示したものであつて、正常に作動するエゼクタは或る吸引量において示す吸引真空度を保持するためにはある範囲内の放射圧力を必要とし、それ以上の圧力となると吸引真空が急激に低下する。この最大圧力を最高放射圧力といい、吸引真空と最高放射圧力の範囲内では放射圧力が変化しても、吸引量に対する真空度は一定でありエゼクタはこの状態において使用されるものであるが、一般には使用放射圧力は最高放射圧力の 90～95 % 位とする。同一エゼクタで駆動圧が変化したとき、吸引真空は殆んど一定であるが、ノズルの膨脹比が同じであるため、最高到達真空度は駆動圧が低い程、高真空となり、一方最高放射圧力は吸引量の大小に拘らず駆動圧が高い程高くなる。尚、同一真空度において吸引ガスの比容積が大となると吸引量は減少し、その割合は比容積比の平方根の逆数となる。

考え Δi_1 と Δi_2 を各々の断熱々落差とし、

$$\eta = G_2 \cdot \Delta i_2 / G_1 \cdot \Delta i_1$$

を断熱効率と考えられる。尚、一般には最高 30 % 程度とされている。

効率は駆動圧と吸引真空度（即ち膨脹比）及び圧縮比によつて夫々異なるものであり、場合によつては数 % のものもあり一様には限定出来ない。この低効率にも拘らず真空ポンプ、圧縮機、送風機の代りに広く用いられるのは耐蝕性に優れ、高圧縮比がとれ、保守が容易で設備費が低廉なるに他ならない。

ハ、必要蒸気圧力及び蒸気状態

駆動蒸気圧力が低い場合エゼクタの圧縮比が小さくなることは前述したが、更に圧を低下させると遂にはエゼクタとしての特性が得られなくなる。大気放射の一段型エゼクタで 4 気圧以下で使用されている例もあるが経済的運転の範囲において安定した性能と高い効率を得るためには大気放射のエゼクタは 7 気圧以上の圧力を必要とする。この必要蒸気圧力は高真空用になれば低くなる。これは、ノズル膨脹比が大きくなり充分な噴射速度が得られるからである。尚、エゼクタの計画的圧力は設置位置における最低蒸気圧力の 80～85 % の圧力で計画し使用することが望ましい。蒸気の状態は乾燥状態が望ましいが、極度の過熱は性能に変化を与える場合がある。また、逆に湿度の大きなときは、所期の性能が得られない場合を生ずる。

ニ、吸引真空度とエゼクタ段数の関係

一段のエゼクタでは、到達真空度、圧縮比に限度があるため高真空用には多段型のものを使用する。所要真空度に応じて実際運転上採用されている段数は、駆動蒸気圧力及び熱回収の要否によつても異なるが、一般に別表に示すような段数を用いる。

多段型エゼクタでは一般に各段エゼクタの間に、中間コンデンサを設け次段に入る蒸気を凝縮して、次段エゼクタの負荷を軽減することにより、蒸気消費量を節減を計っている。

高真空度の段では冷却水温の関係から、蒸気を凝縮出来ないため、中間コンデンサを省略する。4 段型エゼクタの 1・2 段間、5 段型エゼクタの 1・2・3 段間には中間コンデンサを使用しないが、省略した前後のエゼクタを特にブースタと称する。尚、低真空のものでも、吸引ガス量が少ない場合、または、運転時間の短い場合、設備

絶対圧力(mmHg)	段 数
80以下	1
20～120	2
5～30	3
1～10	4
0.1～3	5
0.01～0.5	6

第 11 図 5 段型 蒸 気 エ ゼ ク タ

費の点からも省略することがある。

中間コンデンサには、蒸気と冷却水を直接々触させるパロメトリック・タイプとサーフェース・タイプがあつ

第 12 図

て、一般には前者が使用され、後者は凝縮液の回収とか、熱回収を必要とする場合に用いられる。

以上蒸気エゼクタを中心に述べたが、吸引ガスの性状及び真空度によつて、エゼクタと他のものとを有効に組合せた実用的な例を示す。

吸引ガスに不凝縮性ガスが多く、特に腐蝕性が無い場合には、これらのエゼクタを用いた真空装置の最終段のものに 第12図 のように真空ポンプを用いれば、蒸気消費量を節減出来る。またこの組合せにより、排気容量の小さな真空ポンプの排気能力をエゼクタで補助することが出

第 13 図

来る。また、主として連続運転に使用され、吸引ガスが殆んど蒸気で、不凝

縮性ガスの少ない場合には、第13図のように前述の特性を有するマルチゼット・コンデンサを中間コンデンサ及び真空ポンプの代りに取付けたものを使用すれば、第12図の欠点たる腐蝕性のガスを随伴した場合にも、優秀なる排気装置として用いられる。更に、発生蒸気が冷却水では復水不可能な範囲の低温蒸気、例えば、高真空に於ける低温晶析、濃縮及び大容量の凍結乾燥の如き場合には、第14図のようにパロメトリック・コンデンサの前にブースタを1乃至2段取り付けて高真空ならしめている。吸引蒸気中の不凝縮性ガス量が比較的少ない場合には、第15図に示すように、パロメトリック・コンデンサを取り除き蒸気エゼクタとマルチゼット・コンデンサを直結した装置を用いるべきである。この型式は、設備費が節減され、腐蝕性の強い蒸気の復水にも最適にして、蒸気ブースターの段数を重ねれば高真空度が得られ、日南機械の実施範囲において0.1~0.01mmHgのものがある。このマルチゼット・コンデンサとブースタを組合せたものは、我が国では日南エゼクタと呼ばれ、国外では米国のクロール・レイノルド社に於けるアクア・バクタがあり

第 14 図

第 15 図

内外共広く利用されている。

ホ、ゼットポンプ

特性の相違上、超音速エゼクタと分れた低音速のゼットポンプは、真空発生を目的とせず、ガス吸引のみに主眼を置いたもので、構造は同じ駆動圧で設計された真空用のエゼクタに比較して膨脹比が小さく、咽喉面積比は、遙に大である。作動特性については駆動圧、吸引量が一定の場合に吸入真空は放射圧の変化に伴って変動す

るので、エゼクタの特性に見られるような最大放射圧力が存在しないのが特長であつて、吸引特性としては、吸引真空が低く、圧縮比が小さい代りに吸引能力が大であるため大気圧附近の大量ガスの排気用、又は送風用として用いられ、吸引ガス量は駆動ガスの数倍まで可能である。

結 語

以上エゼクタの概略を説明したが、これ等のエゼクタを使用する場合、駆動流体の種類、使用可能圧力及び量、吸引状態、例えば真空度、吸引量、吸引流体状即ち、分子量、温度及び冷却水温、据付位置等をメーカーに指示し、立地条件、耐蝕性の問題等を検討の上適当なる型式のものを選定されれば、今後、エゼクタの使用範囲は、益々増大し、真空、排気のみならず、廃熱回収その他、諸経費の節減に、大きな役割を占めるものと思われる。

海外ニュース

耐熱金属の真空電子精錬

真空炉の中で高圧電子を当てて高融点金属を溶融精錬する方法が、Temescal Metallurgical Corporation, Richmond, Calif. から発表されたが、製品は非常に純度が高いといわれている。この方法で作った超純度ニオブのインゴットは、焼鈍せずに 0.0005 インチの厚さの「はく」に圧延することができる。20,000 V の直流を電子ビームによって、酸素、窒素、炭素その他の不純物が除去される。

(Ozdance —p. 958 May—June 1959)

ベリリウムの真空焼結

ベリリウムの粉末を焼結するのに無圧焼結法 (Pressureless sintering) が使われる。これは密度 45~50% のベリリウム粉末を黒鉛の型に入れ、圧力をかけずに 1200°C で真空焼結をする方法である。

これは普通のプレスによる焼結法よりすぐれており、原子炉の燃料を作る上に便利である。すなわち酸化ウランの芯の周囲にベリリウム粉末を焼結させて、直接に燃料要素を作ることができる。製品の品質も他の方法のよりもすぐれている。

(Engineering—p. 437 April 3, 1959)

鋼にカドミウムの真空メッキ

アメリカの NRC Equipment Corp. (160 Charlemon^t St., Newton Highlands 61, Mass) が完成した真空カドミウム・メッキ法を使うと、高張力鋼製品に水素脆化現象を起させずに、電気メッキと同等の質で、競争のできるコストでメッキすることができる。真空メッキでは水素が出ないので、メッキされた部品に水素脆化は起かない。真空カドミウム・メッキ法では、厚さ 0.001 インチまたはそれ以上の孔の無い均質なメッキができる。これは真空室の中でカドミウムを蒸発させ、それを部品の上に凝縮させるのである。タングステンの針金に小さいカドミウムの釘を引掛け、電気を通じて加熱すると、それが蒸発して部品に附着する。この技術は高張力鋼で作った航空機用部品で、電気メッキでは水素脆化が起きてぐあいの悪いものに使われる。例えば着陸装置の構造材、コントロール用の部品、ネジのついたファスナーなどである。さらに自動車、工業用機械類の部品にも使われる傾向にある。

(Material in Design Engineering—p. 152 Apr. 1959)