揺動ピストン形油回転真空ポンプの省エネルギー化

前田 拓^{*1}・加島 一三^{*2}・濱口 宗久^{*1}

Energy Saving of Rotary Plunger Vacuum Pump

Hiraku MAEDA^{*1}, Kazuso KASHIMA^{*2} and Munehisa HAMAGUCHI^{*1}^{*1}OSAKA VACUUM, LTD., 1300-81 Yabata, Nabari-shi, Mie 518-0605, Japan^{*2}OSAKA VACUUM, LTD., 7-775 Otorihigashimachi, Nishi-ku, Sakai-shi, Osaka 593-8324, Japan

(Received September 30, 2014, Accepted May 18, 2015)

A rotary plunger vacuum pump has high displacement efficiency and robust structure. The pumps are used in hard process of general industry. The demand of saving energy in industry is increasing these days. Rotary plunger vacuum pumps are required to suppress the energy as well. Therefore, the approach of the energy reduction for the pumps has begun. The pump's power consumption could be explained by two factors. One is the mechanical loss and the other is the compression work. We developed a rotary plunger vacuum pump which implement low frictional structure. The low frictional structure allowed low viscosity vacuum oil. With efficient driving by controlling rotation speed, this pump reduced energy by 30% compared to the conventional pump. Beyond that we introduced the way of energy saving by reduction of the compression work.

1. 緒 言

油回転真空ポンプは1900年代初頭に開発されて以来、さまざまな産業分野で使用されている。設置、運転が容易で、大気圧から運転が可能であり、排気効率がよく到達圧力も低い性能が得られるため代表的な中低真空用の真空ポンプと認知されている。比較的低価格で導入可能なことから今日、最も一般的な真空コンポーネントのひとつとなっている。

油回転真空ポンプは回転式の容積移送式真空ポンプのひとつで、一定体積の気体を吸気口から周期的に隔離して排気口へ移送する真空ポンプである。移送空間の容積減少を利用して気体を大気圧まで圧縮して放出弁を押し上げて排気する仕組みである。Fig. 1 に示すようなピストン、スライドピンで構成されるタイプや Fig. 2 に示す翼板で移送空間を構成するタイプがあり、前者を揺動ピストン形、後者を回転翼形という。

揺動ピストン形はポンプを構成する部品の磨耗が少なく堅牢で大型化が容易である。このタイプは真空熱処理炉や含浸装置等の一般工業用途で多く使用されている。また、回転翼形は小型のポンプに多く採用され、手軽に使用できるため、幅広い産業分野でさまざまな用途に使用されている。

近年、エネルギー問題が取り沙汰され、あわせて初期投資に加えてランニングコストも重視される中で真空ポンプも省エネルギー化の要求が高まっている¹⁾。本報では大型の揺動ピストン形油回転真空ポンプについて省エネルギー化の技術を紹介する。

2. 油回転真空ポンプの省エネルギー化

油回転真空ポンプにおける消費動力の分類を Fig. 3 に示した。機械損失と気体圧縮仕事に要する動力の大きく2つ

Fig. 1 Rotary plunger vacuum pump.

Fig. 2 Sliding vane rotary vacuum pump.

に分類される。

機械損失には各部品の摺動による摩擦損失や電動機の損失が挙げられる。高効率電動機の使用やポンプ運転条件の制御も動力の低減に寄与する。

2015年4月より三相かご型誘導電動機にトップランナー規制が適用される²⁾。トップランナー規制は地球環境保護や温暖化防止を目指して、エネルギー消費量を抑制するために、エネルギー消費効率の向上と普及促進を目指して導入された制度である。各々の機器においてエネルギー消費効率が現在商品化されている製品のうち、最も優れている機器の性能以上にする規制である。2.2項で述べる機械損失の低減を実現する方法とあわせて、油回転真空ポンプの省エネルギー

^{*1} 株式会社大阪真空機器製作所 (〒518-0605 三重県名張市八幡1300-81)

^{*2} 株式会社大阪真空機器製作所 (〒593-8324 大阪府堺市西区鳳東町7-775)

Fig. 3 Energy consumption of rotary vacuum pump.

化に寄与することが期待される。

気体圧縮仕事は吸入気体を大気圧まで断熱圧縮する動力である。油回転真空ポンプの動力低減には気体圧縮を効率的に行い、機械損失を減らす必要がある。

2.1 機械損失の低減

油回転真空ポンプは回転体が絶えず摺動しているため、摩擦損失が発生する。また、電動機の動力をポンプロータの回転軸へ伝達する際にも損失が発生する。

ポンプ各部品の摺動面にはシールと潤滑を目的とした真空ポンプ油が使用されているが真空ポンプ油の粘性抵抗による動力損失が発生する。真空ポンプ油の粘度は省エネルギー化の観点では動力低減のために低いほうが望まれる。一方、内部すきまに応じたシールおよび摺動部の潤滑のためにはこの部分に十分な油膜を形成する必要があるため、低すぎずに適正な粘度のものをを用いる必要がある。

さらに、伝達効率の高いベルトが使用される場合や一般的ではないが、部品摺動面へ低摩擦係数のコーティングを行う場合もある。

2.2 気体圧縮仕事の低減

油回転真空ポンプの排気過程はポリトロブ変化と考えられ、気体の断熱圧縮と等温圧縮の中間にある³⁾。Fig. 4に1段圧縮と2段圧縮のpV線図を示す。2段圧縮は1段に比べて図中の斜線部の動力が低減される。なお、Fig. 4に示されている曲線は理論断熱圧縮仕事に基づくもので、段間は等圧変化となるように適当な容積を持つものとした。

この原理を応用して、適当な排気量をもつ油回転真空ポンプは1段目ポンプの排気口に直列に接続して2段ポンプ化することにより、圧縮仕事は1段のポンプより低減された。

揺動ピストン形油回転真空ポンプでも1段目ポンプの背圧を下げることで、1段目ポンプでの気体の凝縮を抑制する副次的な効果と合わせて、導入する事もある。

油回転真空ポンプによる気体の圧縮仕事に影響する要因として排気口圧力と放出弁による圧力損失がある。油煙対策として油回転真空ポンプの排気口にオイルミストトラップを設置するが、排気口側での圧力損失により、気体を圧縮する際に背圧が高くなると圧縮仕事が増大する。油回転真空ポンプは背圧上昇により動力が上昇しないような排気口の設計は重要である。

Fig. 4 Compression work of two-stage rotary plunger vacuum pump.

3. 省エネ型揺動ピストン形油回転真空ポンプ

3.1 低粘度真空ポンプ油の適用

ポンプを構成する部品の摺動摩擦による機械損失は使用される真空ポンプ油の粘度によって大きく変化することが知られている³⁾。

油回転真空ポンプに用いられる真空ポンプ油は蒸気圧、潤滑性、熱酸化安定性、抗乳化性、水分離性が要求される。一般的には低価格で廃液処理も容易な鉱物油をベースにした真空ポンプ油が使用される。しかし、大型の揺動ピストン形油回転真空ポンプはポンプ部品の摺動面にかかる荷重が大きいため、低粘度の鉱物油を使用することは容易ではなかった。一般的には鉱物油と比べて合成油は潤滑性、熱酸化安定性、化学的安定性に優れる反面、非常に高価であり、幅広く使用することは難しい。

我々は低粘度の真空ポンプ油の使用を目的とし、Fig. 5に示すポンプロータに低摩擦機構を採用した揺動ピストン形油回転真空ポンプ EP450を開発した。低粘度の真空ポンプ油を用いることで Fig. 6の曲線(b)に示すようにポンプの動力は高粘度の真空ポンプ油使用時に比べて最大で約20%低

Fig. 5 EP450.

Fig. 6 Energy consumption of EP450.

減した。さらに、摺動摩擦を低減することで、摩擦による発熱で引き起こされる真空ポンプ油の劣化を抑制する効果も期待できる。

3.2 ポンプ回転数の制御

吸入圧の低い領域では気体の圧縮仕事は摩擦損失を始めとする機械的損失と比べてほとんど無視できる³⁾。吸入圧が3 kPa以下の領域では動力は電動機の定格出力の50%以下である。誘導電動機では負荷が小さいほど効率が低下するが、回転数を制御することで軽負荷時の電動機の損失を低減させることが可能である⁴⁾。インバータを用いて吸入圧の低い領域での回転数を適切に低速にすると、到達圧力の上昇を抑え、この圧力領域での動力低減を確認した。

回転数制御を行ったときの動力特性をFig. 6の曲線(a)に示した。吸入圧3 kPaをしきい値として、低い圧力領域で電動機回転数を60 rps から50 rps に下げることで、従来型に

Table 1 Effect of energy saving by EP450.

	P450	EP450	EP450 with Speed Control
Power [kW] (@Ultimate Pressure)	2.9	2.7	2.2
Power [kW] (@6 kPa)	6.25	6	6
Annual Energy [kWh]	40,077 (±0)	38,106 (-1,971)	35,916 (-4,161)

対してEP450では最大約30%の動力が低減されることを確認した。ここで、入力電流の周波数は60 Hzである。EP450は運転圧力に応じて回転数を二段階に自動的に切り替えることが可能である。この性能は、真空排気をバッチ処理で行う場合等、真空ポンプを無負荷の状態でも運転する時間の比率が比較的多い用途等に特に有効である。

3.3 省エネ型摺動ピストン形油回転真空ポンプ EP450

ポンプロータの摩擦低減と回転数の制御を組み合わせたEP450は従来型ポンプP450に対して最大30%の動力を削減した。

省エネ型摺動ピストン形油回転真空ポンプについて、省エネルギー化による運用コストのメリットを説明する。無負荷運転と吸入圧6 kPaの割合がそれぞれ50%で運転した場合、省エネ型摺動ピストン形油回転真空ポンプは従来型に比べてTable 1に示すように年間で4000 kWh以上の省エネ効果がある。無負荷運転の割合が多くなるほど省エネの効果が大きくなり、無負荷運転の時間が70%の場合には約5000 kWhの節電となる。なお、電力量は365日、24時間稼働の条件で計算した場合である。

4. まとめ

一般産業用途に広く使用されている摺動ピストン形油回転真空ポンプについて省エネルギー化の技術を紹介した。摺動面の摩擦低減技術とポンプの回転数制御による消費電力の低減により従来の摺動ピストン形油回転真空ポンプに対して最大30%の動力低減を実現した。これにより年間で約4000 kWh以上の省エネルギー化が期待される。

近年、地球環境問題やエネルギー問題が取り沙汰される中で省エネルギー化の要求がより高まっている。今後、省エネルギー形真空ポンプの重要性がより一層理解されるものと期待する。

〔文 献〕

- 1) H. Osato: J. Vac. Soc. Jpn., **55** (2012) 421.
- 2) S. Ogawa: Denki, April (2013) 26.
- 3) T. Kanaji: *Shinku Gijutsu Handbook* (Nikkankogyoshinbun, Tokyo, 1990) 1st ed., p. 194 [in Japanese].
- 4) H. Doumeki: *Genba no Sokusenryoku Dendo Motor Drive no Kiso to Ouyou*, (Gijutsuhyouron, Tokyo, 2010) 1st ed., p. 110 [in Japanese].