

パーモシンモータ

鈴木 義廣(すずき よしひろ)

向坂 宗一(こうさか そういち)

緒方 幹也(おがた みきや)

1 まえがき

合成繊維機械では、多数の電動機を一定の速度関係で精度良く運転することが不可欠の条件であり、そのため一般に同期電動機が多く用いられている。

同期電動機にはリアクションモータ（反作用電動機）、スリップリングを通して直流励磁する方式のもの、および直流励磁の代わりに永久磁石を用いたものがある。

パーモシンモータ（Permanent Magnet Synchronous Motor）は永久磁石を用い、直流励磁が不要な小形軽量の同期電動機であり、富士電機の商品名である。

本稿ではその特長、構造および標準機種範囲について述べるとともに、特殊用途の概要について紹介する。

2 特長

パーモシンモータは永久磁石による同期電動機で、各種の特長を有している。以下にその代表例を述べる。

(1) 直方体の永久磁石が回転子コアに埋め込まれ、かつかご形構造としているため、一般のかご形誘導電動機と同様に保守・点検の必要がなく、取扱いが簡単である。

(2) 回転速度は負荷の変動に無関係に、周波数に完全に同期して運転できるため、インバータと組み合わせてフィードバック制御なしで高精度な回転速度制御が容易にできる。

(3) 永久磁石を使用しているため、外部から駆動された場合、発電機として運転することも可能である。

(4) 始動時は、かご形誘導電動機と同様に固定子巻線による回転磁界と回転子導体の相互作用により始動トルクを発生し、負荷トルクと電動機トルクが平衡する回転速度（同期速度に対し数%の滑りがある）まで加速される。さらに、回転子の磁石による吸引力によって滑り回転速度分だけ加速され、同期速度に引き入れられる。

3 構造と製作範囲

3.1 構造

固定子は一般の誘導電動機と同じであるが、固定子鉄心にスキュー（誘導電動機は回転子鉄心）を施し、始動時にトルクへこみを生じない工夫がしてある。

図1にパーモシンモータの回転子の断面図を示す。

電気機械に使用される永久磁石の条件は、例えば、始動

図1 パーモシンモータの断面図

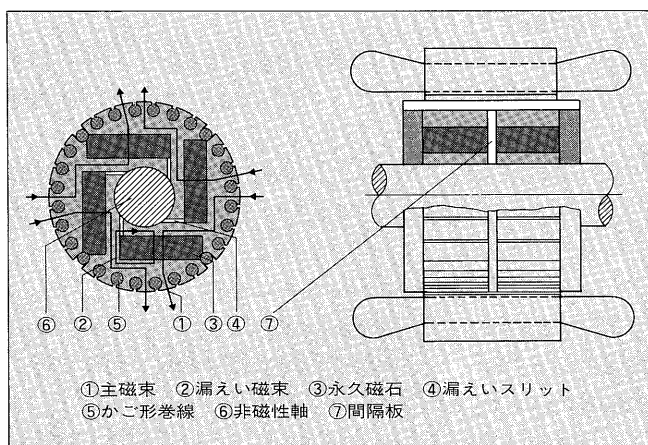


表1 パーモシンモータの出力表（標準形）

極数	出力(W)50Hz時	枠番	形式(脚取付形)
2	50	71	GFM1075A-2
	100	71	GFM1075A-2
4	50	71	GFM1075A-4
	150	80	GFM1085A-4
	500	100L	GFM1107A-4
	750	112M	GFM1115A-4
	1,500	132S	GFM1133A-4
	2,200	132M	GFM1135A-4
6	100	80	GFM1085A-6
	400	112M	GFM1115A-6
	750	132S	GFM1133A-6



鈴木 義廣

昭和46年入社。可変速電動機の開発・設計に従事。現在、三重事業所回転機工場設計部長補佐。



向坂 宗一

昭和37年入社。誘導電動機、パーモシンモータの開発・設計に従事。現在、三重事業所回転機工場設計部。



緒方 幹也

平成2年入社。誘導電動機の電気設計に従事。現在、三重事業所回転機工場設計部。

時のような大電流による強い減磁界に対して減磁しない特性が必要であり、そのため高保持力のフェライト系磁石を採用している。また、可能な限り磁石体積が大きくなる磁石配置に設計し、さらに磁石の両面の磁束を有効に利用し大きな出力を得ている。

漏えいスリットは始動時のように大電流によって大きな逆磁界が生じた場合に、磁束を漏えいさせ永久磁石が減磁しないように、また永久磁石による磁束が有効磁束となるように設けてある。このスリット幅は理論と実験検証の繰り返しにより最適な寸法に設計してある。

軸は磁束が短絡されないように、非磁性の材料を使用している。回転子鉄心はリベットによりかしめられて、アルミダイカスト、または銅バーの始動用かご形巻線により堅固に保持されている。

3.2 製作範囲

標準系列として、表1に示す範囲を製作している。

パーモシンモータは通常、インバータで駆動される可変速電動機であり、周波数に比例した出力で運転できる。表1には50Hzにおける出力を表示する。通常の運転可能な周波数範囲は、低速度と高速度でそれぞれ限界がある。すなわち低速度の限界は主として同期引き入れの条件から、高速度の限界は主として回転子の強度の点から制約される。一般的な目安として4極・6極では20~150Hz、2極では20~100Hzである。

また、特殊用途向けとして次章で述べるロールヒータ用、高精度用などについても製作している。

高速度、大出力(9,000rpm, 5kW)ロール駆動用では、高速回転における遠心力の点から回転子外径を小さく、軸の危険速度の点から軸径(回転子内径)は太くする必要があり。これらの条件を満足させるため、希土類の磁石を採用することにより、磁石の体積を小さくした特殊な製品も製作している。

4 応用例

4.1 ロールヒータ用パーモシンモータ

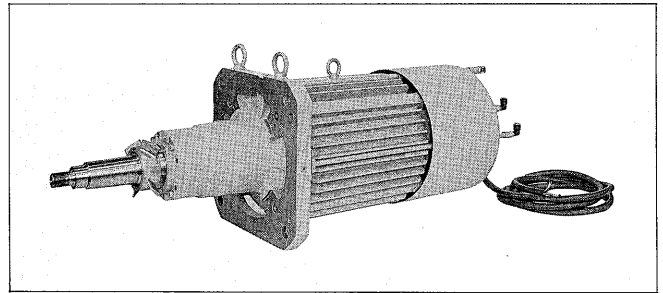
合成繊維の紡糸工程には、回転速度を一定に制御する必要からパーモシンモータが多く使用される。熔融原料を一定量送り出すギヤポンプ用、糸の延伸部に使用されるロールヒータ用(ゴデットロール用)、巻取部に使用されるフリクションロール用などが一般的である。

なかでも延伸工程に使用されるロールヒータ用パーモシンモータは、軸端に高温の誘導加熱ロールがオーバーハングされ、しかも高速で運転されるため、各種の技術的検討が必要である。

近年、紡糸速度の高速化、誘導加熱ロールの大形化(大径化、長尺化)が進みつつあり、それに対応した駆動電動機の開発要求も高まっている。

ここでは、最近製作したロールヒータ用パーモシンモータについて、その概要を紹介する。

図2 ロールヒータ用パーモシンモータ



10812

図2にその外観を示す。

(1) 仕様

定格出力 : 5 kW

電圧, 周波数 : 400V, 170Hz

回転速度 : 5,100rpm

軸受 : ロール側 背面組合せアンギュラ玉軸受
: 反ロール側 単列アンギュラ玉軸受

軸受潤滑方式 : オイルミスト潤滑

誘導加熱ロール : $\phi 220 \times 400L$ (ジャケット)
表面温度 (最高) 240°C

ロール温度検出 : 回転トランス方式

(2) 誘導加熱ロールからの熱影響の抑制

電動機の負荷側ブラケットに150°C前後の誘導加熱ヒータフランジがオーバーハングされ、軸端には200°Cを超えるロールボスがテーパ嵌合(かんごう)されるため、電動機側は各部に熱影響を抑制する構造としている。以下にその代表構造を示す。

(a) 電動機の負荷側ブラケットと誘導加熱ヒータフランジとの接合面に特殊断熱板を入れ、しかも接合面積を小さくして電動機への熱伝達を抑えている。

(b) 負荷側軸にアルミ製の冷却ファンを設け、軸受周辺の冷却と軸端部からの熱を放熱させ、軸受への熱影響を抑制している。

(c) 軸材にはステンレス鋼を使用しており、一般炭素鋼に比べ熱伝導率が小さい(約25%)ことから軸端部からの熱伝導を少なくしている。

(d) 軸受潤滑は、オイルミスト潤滑を採用し、潤滑性能の向上とオイルミストエアによる軸受の直接冷却により、軸受温度上昇を抑えている。

(3) 大形ロール、高速運転に対する配慮

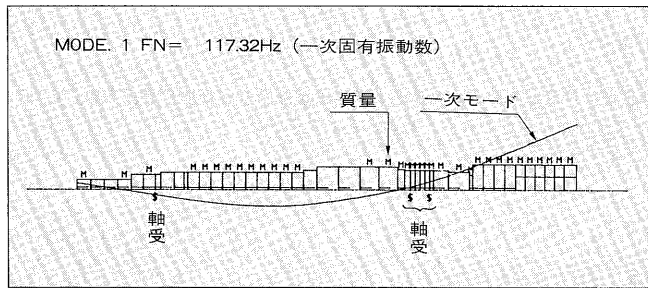
電動機軸端に大形の誘導加熱ロールがオーバーハングされ、高速運転されるため、最高使用回転速度に対し回転系の一次危険速度を十分高くしておく必要がある。

一次危険速度を高くする方法として、一般的には軸径を太くする、軸受位置をロール重心に接近させる、さらに軸受支点数を増加させる、軸受剛性を向上させる、などがある。

今回はこれらの要素を各種制約条件のなかで効果的に取り入れ、シミュレーション解析を重ねて回転系の諸元を決めている。

図3に、伝達マトリックス法による回転系の一次固有振

図3 回転系の一次固有振動数シミュレーション解析



動数のシミュレーション解析の一例を示す。

このなかでの注意点は、軸受の等価剛性の考え方、ロールボスと電動機軸との結合状態およびロール形状の影響を配慮することである。

一方、高速運転に対応するため、軸受潤滑はオイルミスト潤滑を採用し、軸振れ精度は、7 μm (TIR) 以下、回転子のバランス精度は、JIS の G1 級としている。

さらに、軸端テーパ精度も高精度に管理している。

(4) 軸受部

特にロール側軸受は、先に述べたロールからの熱影響の抑制をもとに、回転系の一次危険速度を高くするため、ロール重心へ接近させ、軸受剛性の向上を配慮した特殊間座付背面組合せアンギュラ玉軸受を採用した。

ここでは従来の詳細温度分布データをもとに、内外輪温度差、軸と内輪の線膨張係数差を加味したはめあい、さらに反ロール側からの予圧および誘導加熱ロールによる交番荷重を考慮し、必要な軸受剛性と軸受寿命を確保している。

(5) その他

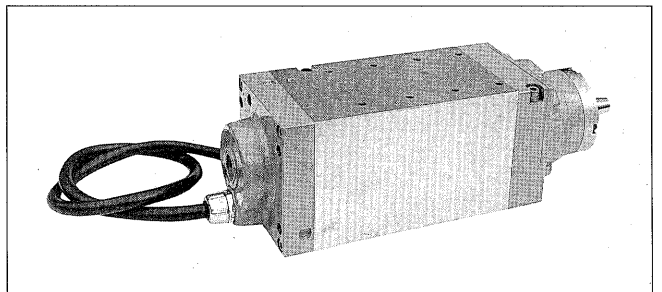
- (a) 誘導加熱ロールによる電磁振動から軸受を保護するために適正な予圧を与えている。
- (b) 機械設備のコンパクト化と電動機据付およびメンテナンスを容易とするため、必要なインタフェースはすべて電動機最後部に集中させた。

4.2 工作機械用高精度スピンドルモータ

工作機械用スピンドルモータは産業のハイテク化に伴い、ますます高い精度が要求されるようになってきている。

なかでも研削盤用スピンドルモータは軸端に直接、砥石が取り付けられるため、電動機の温度上昇、振動、回転精

図4 研削盤用高精度スピンドルモータ



10612

度などが直接、研削盤の性能に影響する。

ここでは、駆動電動機にパーモシンモータを採用した例を紹介する。

パーモシンモータは運転中に回転子での発熱がほとんどないことから、軸の熱膨張と軸受温度上昇が抑えられる。

さらに同期電動機であることから研削抵抗の変化にかわりなく、一定の回転速度で研削できるという特長を持っている。

軸受は高精度特殊アンギュラ玉軸受を採用し、軸剛性を考慮した軸受配列としている。

また、各構成部品の加工精度を厳しく管理することで静的精度を 1 μm に抑えている。

さらに運転中の各部温度上昇を極力抑えるため、電動機外被冷却は、温度管理した研削液による液冷構造とし、電動機内部の冷却は、軸受潤滑用オイルミストエアによる強制空冷を併用した。

図4に高精度スピンドルモータの外観を示す。

5 あとがき

合成繊維機械用（特に巻取り、延伸機用）の用途では近年、高品質化、糸速度の増速化から電動機の高速度化が要求されおり、軸の危険速度、精度、磁石材質（希土類磁石の採用）などの技術課題がある。一方、負荷変動、電動機の温度変化に対して回転速度が変化しない同期電動機の特性を生かし、新しい用途（工作機械のスピンドル駆動用など）の開拓もある。今後ともこれらにこたえるべく努力する所存である。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。