

日立 高圧水中モータ

Hitachi High Vo Hage Submersible Motors

篠田 和男*
Kazuo Shinoda

内 容 梗 概

水中モータは需要増加の一途をたどっており、日立製作所においても低圧水中モータを多数製作納入してきたが、単機容量の増大に伴い高圧水中モータの必要が生じており、ここ数年間試作を進めてきたがその完成を期にその概要を述べたものである。

最初に高圧水中モータの構造、用途を簡単に述べ、次に高圧水中モータの重要な点、すなわち高圧水中コイル、軸受などに関し詳述した。最後に試作機の寿命試験結果の概要も紹介し、高圧水中モータの信頼度が相当に高いことを説明した。

1. 緒 言

水中モータはポンプ用として小形で据付面積が小、低騒音で設備費が安い、保守が簡便であるなどのすぐれた特長を有しており、日立製作所では早くから 200~400V 級のものを多数製作納入してきた。しかし単機容量の増大に伴って 3,000V 級の高圧三相水中モータの需要が予想され、ここ数年間試作検討を重ね開発を進めてきたがここに完成をみたのでその概要を紹介する。

2. 水中モータの用途

水中モータは本来深井戸用として開発されたものであるが、最近では水道施設の取水ポンプ昇圧ポンプなどにも利用され、水中モータの真価を発揮している。それとともに水中モータの単機容量も増大の傾向にあり、やがては 500kW 程度まで陸上用モータから水中モータにとって代わるものと予想される。第1図にこれらの水中モータの応用例を示す。

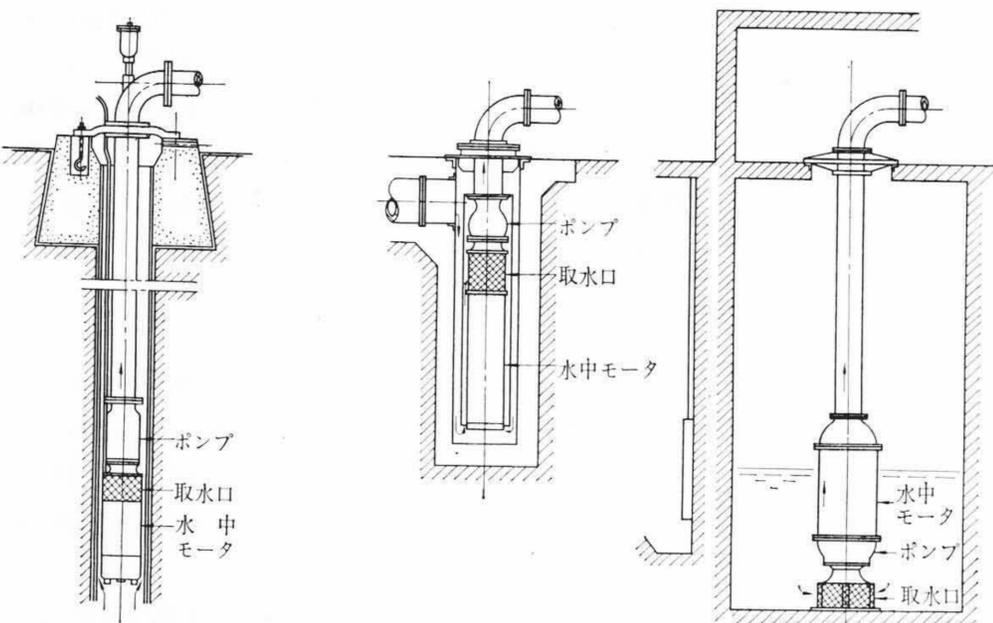
このような大容量水中モータにおいては当然低圧では電源の設備費が高価となるため、3,000V 級の高圧水中モータが必要とされる。

3. 構造一般

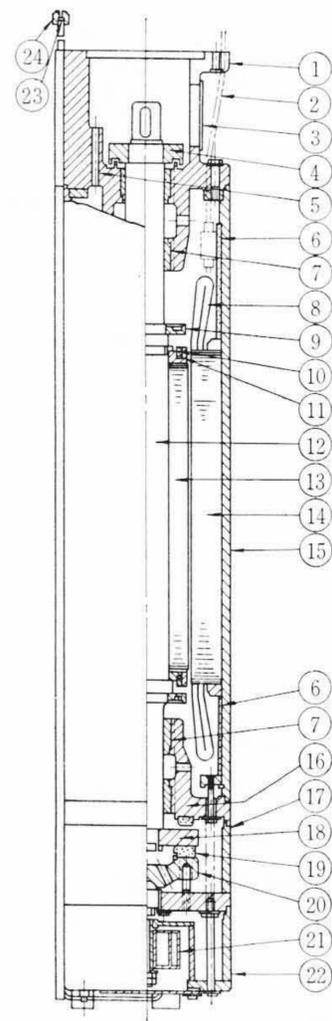
第2図は 3,000V 50~75kW 高圧三相水中モータを深井戸用として製作した場合の外観写真である。本機は限られた口径の井戸に入れて使用するため外径を極力小さくして同一出力の陸上用モータに比し形状が著しく細長くなっている。その構造は第3図に示すと



第2図 高圧水中モータ

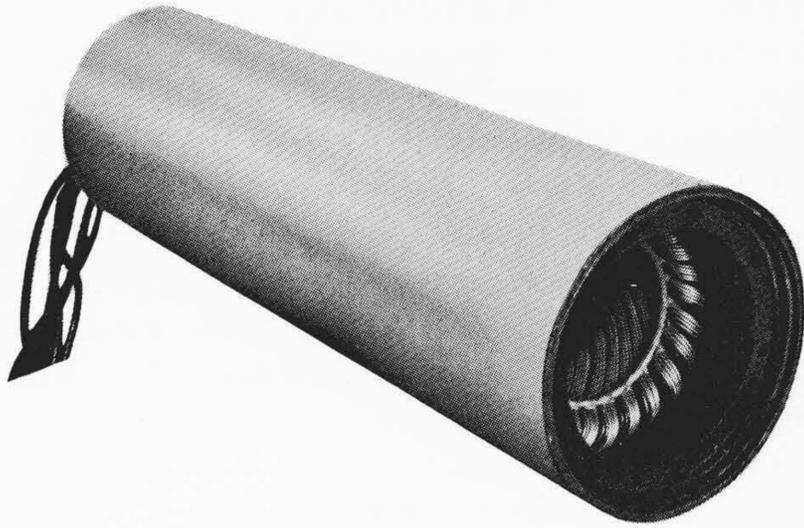


第1図 水中モータの応用例

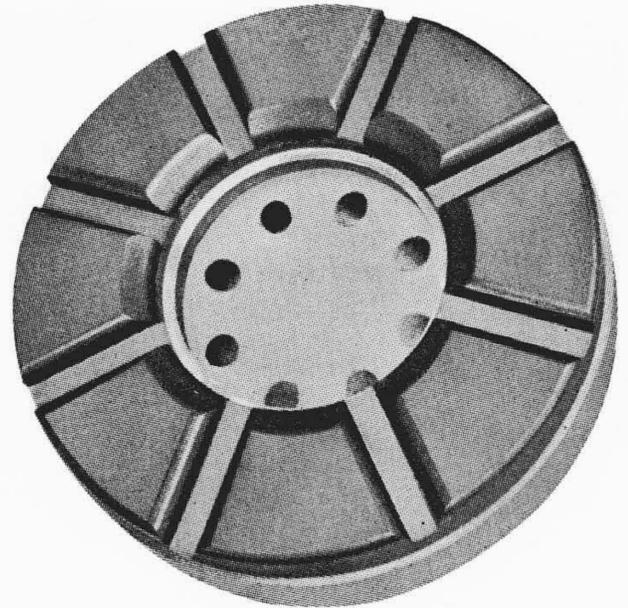


第3図 高圧水中モータ構造図

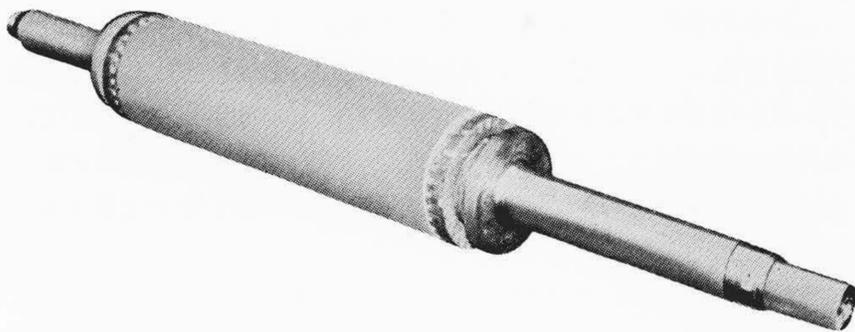
* 日立製作所日立工場



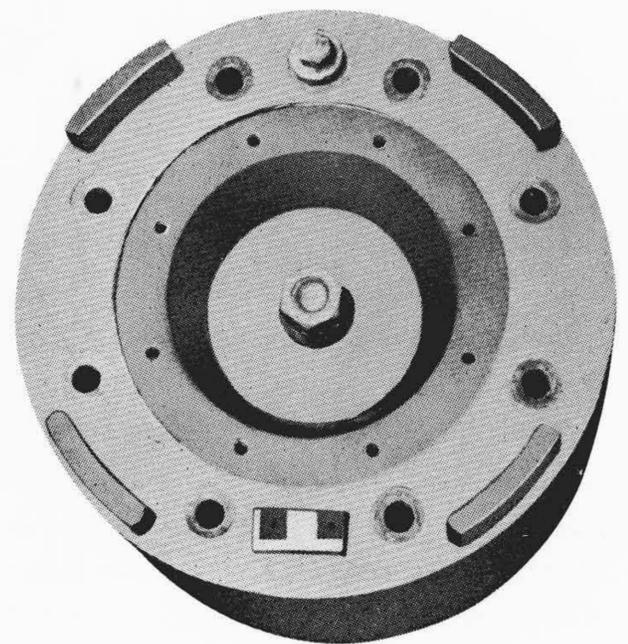
第4図 コイルを納めた固定子



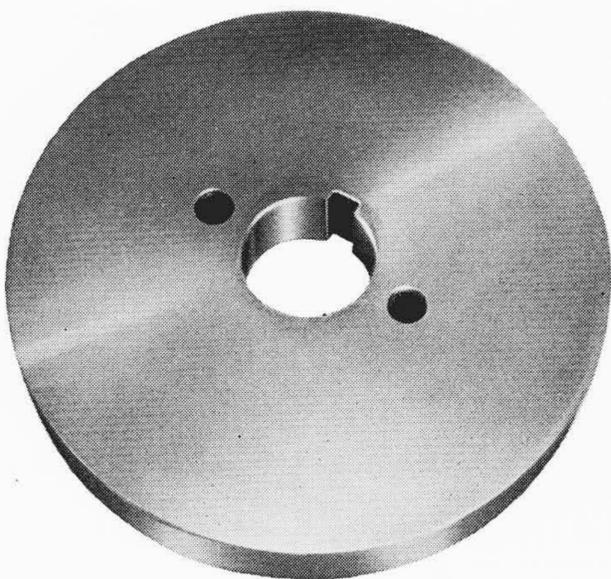
第7図 特殊黒鉛スラスト軸受



第5図 回 転 子



第8図 下部ろ過器



第6図 す べ り 板

りであるが以下にその概要を述べる。

3.1 浸 水 形

水中モータにはモータ内部に油や空気などを入れ、その圧力によりモータ内部に浸入を許さない構造の水密形と、モータの固定子コイルを耐水性とし、内部は水で充満されている浸水形がある。日立高圧水中モータは浸水形を採用しており、据付保守が簡便である。

3.2 水潤滑スラスト軸受

モータおよびポンプのスラストはモータ下部に設けられたスラスト軸受部¹⁸¹⁹²⁰で受けている。スラスト軸受¹⁹には特殊カーボン軸受を使用し均一に水潤滑される構造となっている。

スラスト軸受台²⁰は固定した半球状のスラスト受によってささえられ自由に傾斜できるようになっており、モータ軸に固定したステンレス鋼製のすべり板¹⁸とスラスト軸受面¹⁹との間に自由に水が誘導され、すぐれた潤滑が行なわれるようになっている。

3.3 防 砂 構 造

水中モータを水中に設置する前に地上で清水をモータ内に注入する。運転中は温度上昇し熱膨張した水が流通孔⁵を通りさらにポンプ側ろ過器から流出し、下部ろ過器には外部から冷たい水が流入す

るので、このとき砂のような有害なごみが侵入せぬように防砂を完全に行なう必要がある。

モータの上部下部に耐水性の合成樹脂ろ過器²¹²²を取り付けるとともに、モータ軸貫通部にもスリング⁴を設け完全を期している。第8図はろ過器²¹をモータ下部の取付わくに納めた外観である。

3.4 さび止め処理

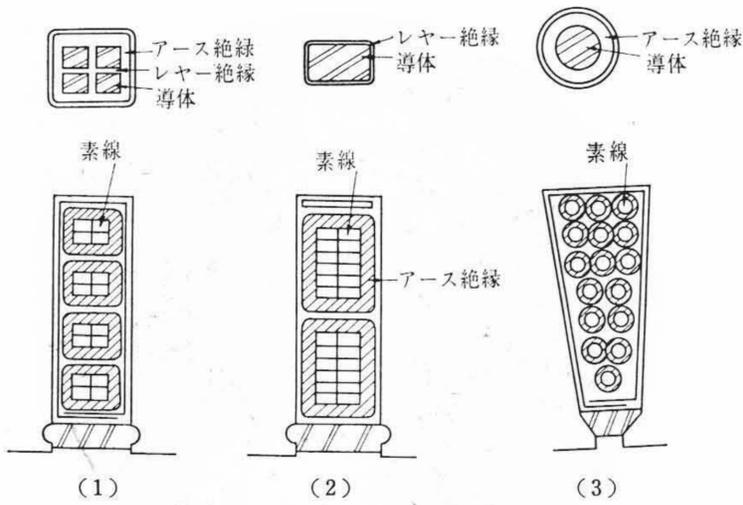
種々のさび止め処理の比較試験結果を検討して、耐食性金属以外の部分にはすべて特殊下地処理を施した上に耐水性密着性の合成樹脂塗料を塗布している。この特殊下地処理はさびの発生を抑えるとともに塗料のはく離を完全に防止する。

4. 日立高圧水中コイル

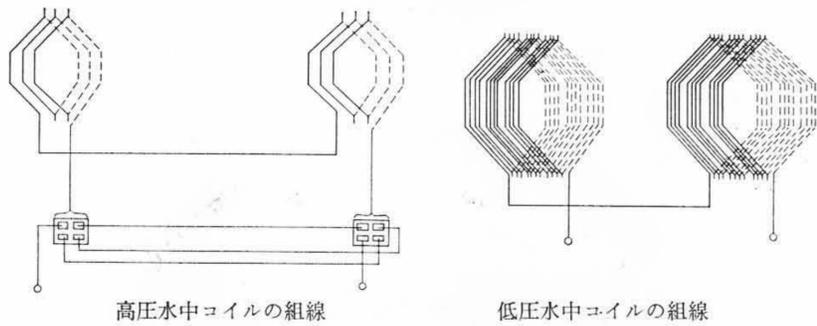
4.1 固定子コイル

固定子コイルは完全に水中に浸っているからコイルの全表面が直接アースされることになりきわめて信頼度の高い絶縁が必要とされる。小容量機においては固定子コイル全体を合成樹脂によってコアと一体にモールドすることが可能であり絶縁特性も良好な結果が得られるが、大容量機においては運転中の温度上昇に伴う固定子コイルの膨張が大きく、このようなモールドではき裂を生じ絶縁が破壊される。したがって大容量機と小容量機とでは当然異なった絶縁方法の固定子コイルとなる。

日立高圧水中コイルの構成は第9図(1)のようになっているおり、信頼度が高くコイル導体の占積率が高いので小形に製作できる特長を有している。参考までに陸上用モータのコイルおよび低圧水中コイルの構成を第9図(2)(3)に示す。



第9図 固定子コイルの構成



第10図 固定子コイル組線図

高圧水中コイルは低圧水中コイルに比し電源電圧に対する絶縁被覆が厚くなり機械も大形になる傾向があるので、絶縁特性を下げずにいかにしてスロット内の導体の占積率を高めるかが重要な課題となる。この点から水中コイルも(2)のように製作できれば理想的であるが、大容量機においてはこの方式で防水を完全にすることは至難である。そのため低圧水中コイルは(3)のように素線にアース絶縁を施しているが、高圧の場合はアース絶縁がきわめて厚くなるので(2)と(3)の長所を取り入れた(1)の方法を採用している。(特許出願中)

高圧水中コイルの組線も第10図に示すように低圧水中コイルに比べはるかに巧妙な方法を採用している。すなわち4本の導体からなる複合電線(複数の導体であればよく4本と限られたものではない)によりエンドレスコイルを作りその最終端において水密スリーブを用いて端末処理を行なう方法である。この方法は数本の導体をまとめてアース絶縁を施すため占積率が非常に良好となる。

4.2 固定子コイル用電線

第9図(1)(3)に示す固定子コイル用電線の絶縁被膜には、誘電体損失が小さく吸水率の低いポリエチレンを使用し、さらにその外側を機械的保護を兼ねてナイロンで被覆している。

3,000V コイル用複合電線としては試験電圧の約2倍、すなわち15,000V以上に耐えるものを採用している。

4.3 コイル端末処理とケーブルの絶縁

固定子コイルと同様に耐水性の高いことが条件となるのでネオプレンシーソ口出線およびネオプレンシーソキャプタイヤケーブルを使用している。

固定子コイル端と口出線の接続部には合成ゴムスリーブを、口出線とケーブルの接続部には成形した合成ゴムを用いて耐水絶縁構造としている。

5. 軸 受

水中モータはたて軸となっており軸は垂直の状態では運転する。したがってラジアル軸受とスラスト軸受が必要である。

5.1 ラジアル軸受

モータ回転中における軸の振れおよび固定子と回転子のギャップ

不平衡によって生ずる電磁力を受けるものであって、モータの負荷トルクは受けなため、軸にかかる荷重は大きなものではない。したがってラジアル軸受は単なる円筒軸受であるが適合性の良好な黒鉛系軸受を用いて信頼度を高めている。

5.2 スラスト軸受

スラスト軸受にはモータ回転子の自重のほかにポンプの回転部重量と揚水時インペラの受けるスラスト荷重がかかる。

水潤滑は油潤滑に比べ1/10程度の荷重でないと安定に運転ができない。またスラスト軸受には次のような条件を満足する材質が使用されなければならない。

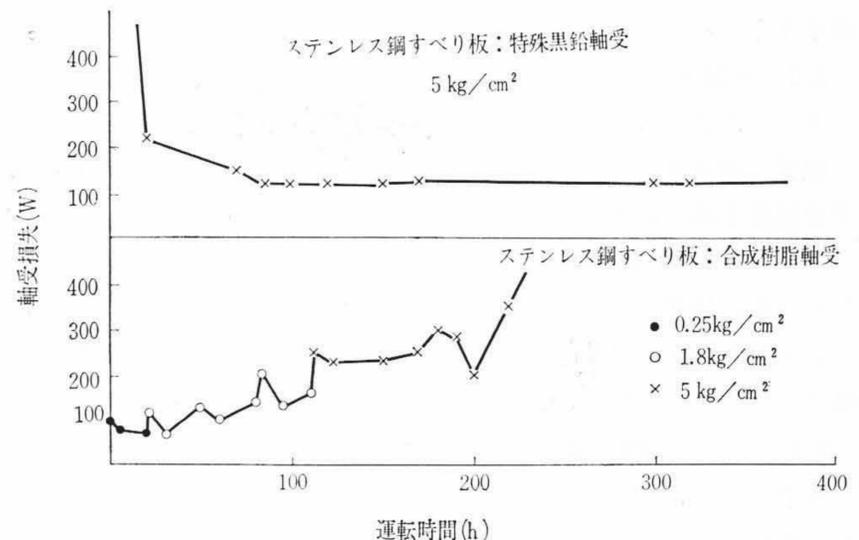
- (1) 軸受損失が少ないこと。
- (2) 耐摩耗性であること(長期寿命)。
- (3) 砂、じんあいなどの異物混入に対し影響が小さいこと。
- (4) 耐食性であること。

これらの条件を考慮に入れて種々の軸受とすべり板の組合せ比較試験を行なった。軸受には特殊処理を施した種々の硬度の黒鉛系軸受あるいは合成樹脂系軸受を、すべり板にも硬度が異なり加工方法の異なる各種ステンレス鋼を選んだ。また両方とも金属板の組み合わせ試験を行なった。これらの試験結果の一部を示せば第1表のとおりである。

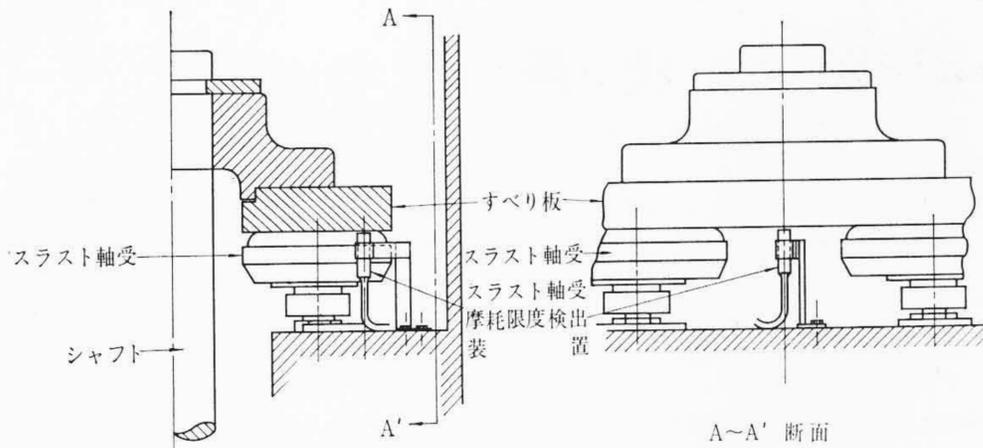
実際の運転においては潤滑水が完全な清水ではなく多少の砂、じんあいを混入している。第11図は混砂水中で運転した場合の2種の軸受の特性比較である。本図からわかるように混砂水中においては、合成樹脂系は不安定であるが黒鉛系はきわめて安定した特性を示している。

第1表 清水中におけるスラスト軸受特性比較

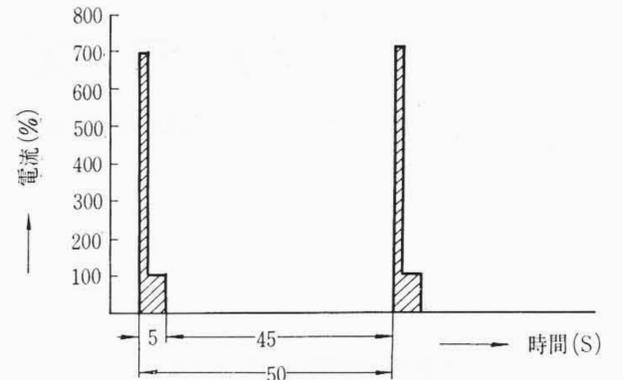
軸 受	すべり板	軸受損失	運 転 状 態	運 転 後 の 状 態
合成樹脂 A	ステンレス鋼A	小	安 定	すべり面に浅いかすり傷あり
合成樹脂 A	ステンレス鋼B	小	安 定	すべり面にさびが認められる
合成樹脂 B	ステンレス鋼A	大	安 定	両面に幅広のかすり傷あり
黒 鉛 A	ステンレス鋼A	大	適合性良好なるも若干不安定	すべり面良好
黒 鉛 B	ステンレス鋼A	大	高荷重に不安定	すべり面良好
黒 鉛 C	ステンレス鋼A	小	適合性優秀, 安定	すべり面にかすり傷少なく両面とも美面
黒 鉛 D	ステンレス鋼A	小	適合性優秀, 安定	すべり面にかすり傷少なく両面とも美面
黒 鉛 C	ステンレス鋼D	小	適合性優秀, 安定	すべり面にかすり傷少なく両面とも美面
黒 鉛 E (高硬度)	ステンレス鋼C (高硬度)	小	適合性優秀, 安定	すべり面にかすり傷少なく両面とも美面



第11図 混砂水中におけるスラスト軸受の摩擦特性



第12図 スラスト軸受摩耗限度検出装置



第13図 寿命試験 duty

合成樹脂系においても荷重を減らせば実用できるが、荷重が大きい場合は断然黒鉛系軸受のほうがすぐれている。

このような総合的試験の結果、標準のスラスト軸受としてはステンレス鋼すべり板Aと特殊黒鉛軸受Cの組み合わせを採用することに決定した

なお高硬度ステンレス鋼すべり板Cと高硬度黒鉛軸受Eの組み合わせはさらに良好な特性を有しているので、高荷重のものあるいは信頼度の強く要望される場合に高価ではあるが採用することになっている。

5.3 スラスト軸受摩耗限度の表示

水中モータは細部にわたり適切な考慮のもとに製作されたものであるからほとんど保守を必要としないが、摩耗部分のスラスト軸受には第12図のような摩耗限度の検出装置を備え、さらに信頼度を高めている。(実用新案申請中) この方法は従来の方式すなわち検出部を軸受に埋め込んだ方法に比べ軸受の交換が、検出部と無関係にできる特長を有している。

6. 過負荷保護

水中モータの電源電圧が低下したり単相運転した場合あるいは軸受が砂をかんで摩擦トルクが急増した場合などは、電流が増大し過負荷となり、固定子コイルは過熱して焼損する。水中モータの温度上昇の時定数は一般のモータに比べて非常に小さいので、過負荷保護には動作が確実に鋭敏な継電器を必要とする。

また水中モータの過負荷保護には周囲温度の影響を大きく受ける熱動形継電器(サーマルリレー)は不適當である。

以上の理由から電流オイルダッシュポット付電磁式過負荷保護継電器を採用して保護の確実性を持たせている。本継電器は周囲温度の影響で動作特性が変化することがなく、また500%の負荷電流に対しては5秒以内に動作し、熱動形継電器に比べはるかに短時間で動作するため固定子コイルの燃損を未然に防止することができる。

7. 日立高圧水中モータ試験結果

きわめて過酷な寿命試験を行ない総合的に性能の優秀性を確認したが以下にその概要を紹介する。

7.1 モータ仕様

出力	75 kW	形式	VTI-KK
電圧	3,000 V	極数	2
周波数	50 c/s	寸法	外径 320 mm
回転数	3,000 rpm		長さ 1,700 mm

7.2 試験結果

(1) ベアリング寿命

連続運転により軸受摩耗を測定した結果、長年の使用に十分耐える値であることを確認した。

(2) コイル強制劣化繰返し起動試験

強制劣化のため全電圧起動により(普通はY-Δ起動などの減電圧起動方式により起動する)第13図に示すdutyにて繰返し起動試験を約11,300回行った。1日2回起動するとして電動機の平均寿命20年間の通算起動回数は

$$2 \text{回} \times 1 \text{日} \times 310 \text{日} \times 1 \text{年} \times 20 \text{年} = 12,400 \text{回}$$

である。

本試験後コイルの耐圧値、メグ低下には全く異常が無かった。またスラスト軸受部はすべり板、軸受両面ともに美面であった。

8. 結 言

以上日立高圧水中モータの問題となる点を2, 3とりあげ述べてきたが最近の電気材料の目ざましい発達を十分に吸収し今後もさらに性能の向上、価格の低減に努力を重ねて行く所存である。

参 考 文 献

- (1) 松井, 久郷: 日立評論 別冊 22, 44 (昭33-2)
- (2) W.M. Wepfer, E.J. Cattabiani: Mech. Eng. 413 (May. 1955)
- (3) 日立化工: 日立炭素軸受
- (4) 松原: 機学誌 60, 289 (昭32-3)