揚水発電所向け発電電動機への樹脂軸受の初適用

Application of Nonmetallic Thrust Bearing to Pumped Storage

久保田 一正	新井 秀忠	南波 聡	宇野 修悦	
KUBOTA Kazumasa	ARAI Hidetada	NAMBA Satoshi	UNO Shuetsu	

摩擦・摩耗特性の優れている樹脂スラスト軸受を揚水発電所向け発電電動機へ適用することで,軸受の信頼性向上, スラスト押上げ装置の省略が期待されていた。われわれは,揚水機への適用課題を軸受特性解析やモデル試験により解 決し,1999年6月,揚水機としては日本で初めて東京電力(株)安曇発電所6号機へ樹脂スラスト軸受を適用した。 適用後,約3年間の軸受特性データを収集し分析した結果,軸受の高い信頼性と,スラスト軸受押上げ装置の省略,保 守の簡素化が実現できることを実証した。

There have been high expectations that reliable thrust bearing operation and elimination of the need for high-pressure-oil lifting devices could be achieved by applying nonmetallic thrust bearings to hydro generator-motors for pumped storage. In June 1999, nonmetallic thrust bearings were applied to a hydro generator-motor for pumped storage for the first time in Japan, after undergoing analysis of thrust bearing characteristics for application difficulties and model tests.

We have analyzed the bearing operation condition data over a period of about three years (1999-2002). As a result, the high reliability of the nonmetallic thrust bearing has been proven, and it has been verified that the high-pressure-oil lifting device can be eliminated and that maintenance can be simplified.

まえがき

従来,水車発電機のスラスト軸受には,すべり面に金属材料(ホワイトメタル)を使用したホワイトメタルスラスト軸受を 適用していた。近年,摩擦・摩耗特性に優れる樹脂材料を すべり面に使用した樹脂スラスト軸受を開発し,94年に一方 向回転機である発電専用機向け発電機(以下,発電機と略 記)へ初適用して以来,多くの発電機に適用して,高い信頼 性が実証されている。また,スラスト軸受押上げ装置の省略 を可能にしている。

一方,両方向回転機である揚水機向け発電電動機(以下, 発電電動機と略記)は発電機に比べ,電力需要に応じたすば やい始動・停止が頻繁に行われ,更に,高速・大容量化に伴 い軸受の支持荷重とすべり面速度が大きくかつ速くなり,ス ラスト軸受としては過酷な運転条件となっている。

また,発電電動機は両方向回転機ゆえの軸受支持構造に より,発電機に比べ始動時にすべり面上に油膜が形成され にくい。加えて,始動・停止過程の軸受すべり面上に形成さ れる油膜の厚さが薄いときに,すべり面材料の摩耗や面荒 れを起こす場合がある。このため,従来はすべり面を保護 する目的でスラスト押上げ装置を運転し,すべり面上に強制 的に油膜を形成させていた。

更に,揚水始動時においては,スラスト軸受押上げ装置を

運転することにより反抗トルクの低減を図っていた。

発電電動機へ樹脂スラスト軸受を適用することにより,す べり面材料の摩耗や面荒れなどが発生しにくい高い信頼性 が確保できること,スラスト軸受押上げ装置の省略により設 備の簡素化,保守の省力化が期待されていた。

実機への適用を実現するために,解析により軸受支持構造,すべり面形状,油膜厚さの最適化を図った。更に,スラストの支持荷重の変化を模擬した縮小モデルにより解析の 妥当性を検証した。

その後,99年6月に,東京電力(株)安曇発電所6号機 (109 MVA/106 MW)の軸受更新時に,揚水機としては日本 初となる樹脂スラスト軸受を適用した。以来,2002年5月ま での3年間,運用中の軸受特性の監視とデータの収集・分析 を行い,良好な軸受特性を示すことを確認した。

また,1年ごとに軸受点検を実施し,摩耗や面荒れなどは なく,高い信頼性を確認した。また,2001年3月からは揚水 始動時も含めた全運転において,スラスト軸受押上げ装置 運転を省略した運用に入った。

2 樹脂スラスト軸受諸元

東京電力(株)安曇発電所6号機に適用した樹脂スラスト 軸受の諸元を表1に,軸受全景を図1に示す。

揚水発電所向け発電電動機への樹脂軸受の初適用

65

表	1	•	樹脂スラス	卜軸受諸元
---	---	---	-------	-------

Specifications of nonmetallic thrust bearing

項目	仕様	
スラスト荷重	581 ton(定常時最大)	
回転速度	187.5 rpm	
軸受外径	2,100 mm	
軸受内径	1,200 mm	
セクタ数	12	
軸受平均面圧	31.1 kgf/cm ²	
平均周速	16.2 m/s	
潤滑油種	ISO-VG56	



実機軸受特性 3

樹脂スラスト軸受適用時は,全12パッド中1パッドにすべ り面油膜温度,軸受温度,油膜圧力,油膜厚さを測定するセ ンサを取り付け,軸受特性の監視ができるようにした。

これらの測定データは,適用後約3年間にわたり,常時八 イブリッドレコーダにて記録し,軸受特性を常に確認できる ようにした。発電運転時の軸受特性の推移を図2に,揚水運 転時の軸受特性の推移を図3に示す。これらは,軸受潤滑油 温度を基準にした。

すべり面油膜温度,油膜厚さ,油膜圧力などが安定してお り,軸受特性は良好であることを実証した。

軸受特性の解析値と実測値の比較例を図4に示す。 すべり面油膜温度,油膜厚さの解析値と実測値はほぼ一

致し,設計時に予測した軸受性能を満足していると言える。



→ すべり面油膜温度 (C) → すべり面油膜温度 (C) → 油槽内油温(C) → すべり面下12 mmの温度 (C) ← すべり面下12 mmの温度 I(C) --- すべり面下55 mmの温度 I(C) -*- すべり面下55 mmの温度 !(€) → 底面の温度 !(€) - すべり面油膜厚さ a(µm) -=-(skip) ----定電圧(V) ---- すべり面油膜厚さ b(µm) →- すべり面油膜厚さ c(µm) →- 油膜圧力(kgf/cm²) ・回転板すべり面位置(μm) --- 回転速度(rpm) ━━ 負荷(MW) 250 揚水始動リフターOFF







般

論

文

4 スラスト軸受押上げ装置の運転省略の検討

同期始動方式による揚水始動時に,スラスト軸受押上げ装置の運転を省略できるか否かは,寸動時のトルクが確保できるか否かにより決まる。寸動後に電動機が回転し始めれば,回転板とスラスト軸受のすべり面に油膜が形成され,スラスト軸受押上げ装置の運転を省略しても,それを運転している場合と同程度に摩擦係数が低下する。

4.1 スラスト軸受押上げ装置の省略可否の検討手法

寸動時に着目した発電機及び電動機の現象を,それぞれ の特性方程式を解く同期始動解析により検討した。

対象とする系統構成を図5に,検討手順を図6に示す。反抗 トルクを算出するための摩擦係数は,樹脂スラスト軸受を適用 している発電専用機での実測データから算出した値を用い た。また,落差及び初期位相差をパラメータとして解析を行った。



Schematic diagram for analysis of synchronous starting



4.2 同期始動解析結果

同期始動解析の結果,励磁比やガイドベーンの開口速度 などを既設機のまま変更することなく,いかなる条件におい てもスラスト軸受押上げ装置の運転を省略した同期始動が できるとの結果を得た。

5 スラスト軸受押上げ装置運転省略試験

5.1 実機運転試験結果

発電及び揚水始動時の回転速度の変化を図7に示す。 図7から,発電始動時と揚水始動時のいずれの場合にお いても,スラスト軸受押上げ装置の運転有無により回転速度 の変化に差がなく,スラスト軸受押上げ装置の運転有無が増 速に与える影響はほとんどないことが確認できた。また同様 に,発電及び揚水停止時においてもスラスト押上げ装置の運 転有無による回転速度の変化がないことを確認した。



図7.発電及び揚水始動時の回転速度の変化 - 始動時の軸受特性は, スラスト軸受押上げ装置の有無で変化はない。 Variation of rotation speed in generating and pumping

modes during unit starting



更に,スラスト軸受押上げ装置運転を省略した際の,揚水 始動時の軸受特性測定結果を図8に示す。

図8から,始動時の回転開始直後に油膜が形成され,回転 速度の上昇に応じて油膜厚さが増加し,すべり面温度も同 様に増加していることが確認できる。また,油膜圧力は,回 転開始と同時に50kgf/cm²程度まで上昇した後,ほぼ一定 となり安定していることがわかる。発電始動時の軸受特性 の変化も同様に安定した結果を得ている。

5.2 実機測定結果と同期始動解析結果の比較

同期始動の始動直後に着目した実機測定結果を図9に, 解析結果を図10に示す。

発電機のガイドベーンが開口してから電動機が3%回転速





Results of synchronous starting analysis

度に達するまでの時間は,実機測定結果と同期始動解析結 果がほぼ一致しており,解析の妥当性が確認できた。

6 あとがき

揚水発電所へ適用した樹脂スラスト軸受を3年間追跡調査 した結果から,両方向回転機向け樹脂スラスト軸受において も安定した軸受特性が得られ,高い信頼性を確認した。ま た,揚水始動時も含むすべての運転において,スラスト軸受 押上げ装置を省略した運用ができることを実証した。

更に,揚水始動時のスラスト軸受押上げ装置の運転を省略できる条件を判断する解析手法を確立した。

樹脂スラスト軸受は、コンパクト化による軸受損失低減、空 冷軸受化(水レス化)、信頼性の向上などのメリットに加え、 運用時のスラスト押上げ装置の運転の省略もできることか ら、スラスト軸受押上げ装置の補機制御シーケンスが不要と なり、保守の簡素化も期待できる。

文 献

- (1) 宇野修悦,ほか: 四ふっ化エチレン系材料による小型・高面圧スラスト軸 受の開発". (社)日本トライボロジー学会トライボロジー会議予稿集. 1994, p.297 - 300.
- (2) 宇野修悦,ほか.新素材スラスト軸受の開発と実用化.日本機械学会誌 1996-02, p.77.
- (3) 宇野修悦,ほか.最近の水車発電機用スラスト軸受の動向.トライボロジスト.42,1997,p.129-134.
- (4) Namba, S., et al. "Development of Non-metallic Thrust Bearing". ICOPE-'97 Tokyo Proceeding. 2, 1997, p.35 - 40.
- (5) タントロンロンほか.水車発電機軸受への樹脂材料の適用.ターボ機械, 29,5,2001,p25-30.
- (6) 南波 聡, ほか. 新素材スラスト軸受の開発と適用. 電気評論. 87,3,2002, p.7-14.



久保田 一正 KUBOTA Kazumasa 東京電力(株)江務部部長。

水力発電所の建設,運転,保守の技術業務に従事。電気学 会会員。

The Tokyo Electric Power Co., Inc.

新井 秀忠 ARAI Hidetada

電力システム社 火力・水力事業部 水力プラント技術部主 務。揚水発電システムのエンジニアリングに従事。 Thermal Power & Hydroelectric Power Systems & Services Div.

南波 聡 NAMBA Satoshi 電力システム社 京浜事業所 発電機部主務。 水車発電機の設計に従事。



小単光電機の設計に従事。 Keihin Product Operations

宇野 修悦 UNO Shuetsu

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 回転 機器開発部主査。トライボロジー技術業務に従事。日本機械 学会,日本トライボロジスト学会会員。 Power and Industrial Systems Research and Development Center