

球轴承摩擦力矩试验研究

李学良

上海人本集团轴承技术研发有限公司 上海 202303

摘要: 通过实验验证,从轴承滚道结构设计、保持架结构、滚道粗糙度、不同油脂牌号和注脂量等方面,对轴承摩擦力矩的影响因素进行分析,提出相应的意见,改善轴承低摩擦力矩性能,满足电机对轴承低摩擦力矩的要求。

关键词: 球轴承; 风磨损耗; 低摩擦力矩; 保持架结构; 注脂量

引言

目前我国工业能耗约占总能耗的70%,其中电机能耗约占工业能耗的60%~70%,加上非工业电机能耗,电机实际能耗约占总能耗的50%以上,其中电机风磨损耗占电机总损失的25%左右。有机构做过计算,如果将所有电动机效率提高5%,则全年可节约电量达765亿千瓦时,这个数字接近三峡2008年全年发电量。所以说高效率电机是未来电机市场的发展方向,轴承作为电机的关键零部件,轴承摩擦力矩的大小决定了轴承的功率损耗和发热量的大小,最终影响电机的风磨损耗。轴承摩擦力矩受众多因素的影响,如结构、设计、加工、摩擦、润滑、使用条件等,本文通过不同状态的轴承进行试验和分析,提出改善方案,达到降低轴承摩擦力矩的目的。

1 轴承摩擦力矩^{[1][2]}

轴承总摩擦力矩 M 分为与轴承载荷无关的 M_0 和轴承载荷有关的 M_1 两部分,即

$$M = M_0 + M_1$$

(1) M_0 的计算,主要和轴承类型、润滑性质、轴承转速有关。

当 $vn \geq 2000$ 时

$$M_0 = 10^{-7} * f_0 * (vn)^{2/3} * D_m^3$$

当 $vn < 2000$

$$M_0 = 160 * 10^{-7} * f_0 * D_m^3$$

式中 M_0 ——与载荷无关的摩擦力矩 ($N \cdot mm$)

D_m ——轴承平均直径 (mm) $D_m = 0.5 * (d+D)$

f_0 ——与轴承类型和润滑有关的系数

n ——轴承转速 (r/min)

v ——在轴承工作温度下润滑剂的运动粘度 (润滑脂取基础油的粘度) (mm^2/s)

(2) M_1 的计算,主要是弹性滞后和接触表面差动滑动的摩擦损耗,与轴承载荷有关。

$$M_1 = f_1 * P_1 * D_m$$

式中 f_1 ——与轴承类型和载荷有关的系数

P_1 ——计算轴承摩擦力矩时的轴承载荷

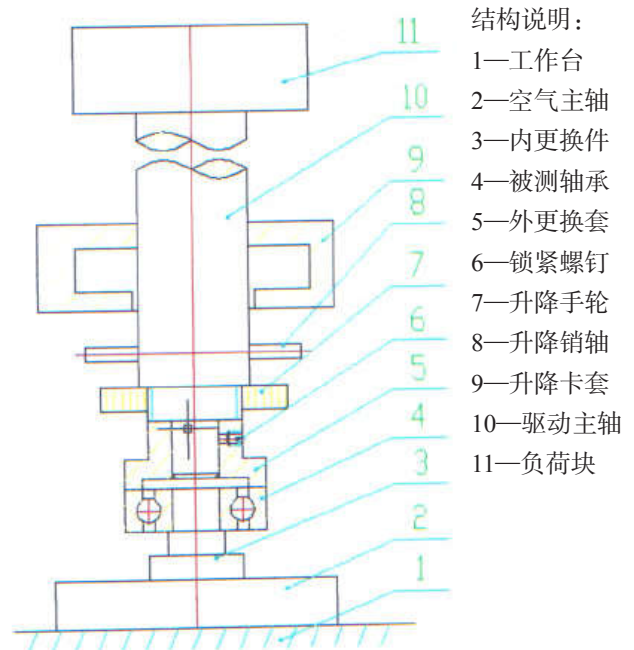
f_0 、 f_1 与 P_1 的计算查文献^[1]可得。

根据轴承摩擦力矩计算公式可知,影响轴承的主要因素有,轴承类型及结构、润滑脂的类型、润滑脂的运动粘度、轴承受载情况等。结合理论计算公式,针对不同状态的球轴承进行台架试验,确认不同因素对轴承摩擦力矩的影响程度。

2 轴承摩擦力矩试验及分析

2.1 摩擦力矩试验机结构及原理

实验设备为M9908B轴承摩擦力矩测量仪,此仪器用于测量中小型轴承动态摩擦力矩(最大摩擦力矩值、平均摩擦力矩值和力矩差)。仪器机械结构示意图如图1所示。



结构说明:

- 1—工作台
- 2—空气主轴
- 3—内更换件
- 4—被测轴承
- 5—外更换套
- 6—锁紧螺钉
- 7—升降手轮
- 8—升降销轴
- 9—升降卡套
- 10—驱动主轴
- 11—负荷块

图1 机械结构示意图

仪器测量原理:被测轴承内圈安装在空气主轴上,空气主轴和力矩传感器相连接;被测轴承外圈与驱动主

轴连接；当驱动主轴带动外圈旋转时，由于被测轴承的摩擦力矩存在，轴承内圈会随外圈一起转动，力矩传感器阻碍被测轴承内圈的旋转，此时力矩传感器作用力矩就是被测轴承的摩擦力矩。

仪器主要技术指标：①被测轴承内径尺寸为 $\phi 8\sim\phi 30\text{mm}$ ；②测量量程为 $50\text{mN}\cdot\text{m}$ ；③轴向负荷为 15N ；④主轴转速为 5rpm 。

2.2 轴承试验结果及分析

本次主要为了验证保持架结构、润滑脂类型、注脂量、滚道粗糙度对轴承力矩的影响。轴承型号为6202-2Z，两侧为防尘盖，属于非接触式密封，避免密封件对轴承的影响。共测试了90套轴承，每种状态下的轴承各10套，轴承状态如下：

- (1) 滚道粗糙度不同；
- (2) 选用不同结构的尼龙保持架，新结构保持架重量相比普通结构保持架重量减少20%；
- (3) 选用不同的油脂类型及注脂量，主要考虑油脂运动粘度和锥入度。

为了数据的有效性，在同一组实验中，除了所需验证的因素不同外，轴承其它状态保持一致。

2.2.1 滚道粗糙度对摩擦力矩的影响

表1 不同滚道粗糙度力矩对比 单位： $\text{mN}\cdot\text{m}$

序号	滚道粗糙度 ≈ 0.035		滚道粗糙度 ≈ 0.025	
	检测值	平均值	检测值	平均值
1#	0.29	0.305	0.28	0.268
2#	0.31		0.295	
3#	0.275		0.27	
4#	0.315		0.285	
5#	0.31		0.285	
6#	0.33		0.27	
7#	0.31		0.265	
8#	0.28		0.25	
9#	0.3		0.235	
10#	0.325		0.245	

说明：此结果是在未注脂和未压防尘盖的前提下测试。

通过对滚道粗糙度的改善，轴承摩擦力矩比原来降低了10%左右。轴承运行时，在力的作用下，滚子和滚道之间发生弹性滞后，并存在滑动摩擦和滚动摩擦，这是产生摩擦力矩的根源。降低滚子和滚道之间的摩擦系数，即降低滚子和滚道之间的粗糙度，可以有效减小轴承的摩擦力矩。

2.2.2 保持架结构对摩擦力矩的影响

表2 普通结构保持架和新结构保持架对比

序号	普通结构保持架/ $\text{mN}\cdot\text{m}$		新结构保持架/ $\text{mN}\cdot\text{m}$	
	检测值	平均值	检测值	平均值
1#	0.295	0.275	0.245	0.232
2#	0.27		0.235	
3#	0.275		0.26	
4#	0.255		0.225	
5#	0.345		0.255	
6#	0.26		0.23	
7#	0.265		0.215	
8#	0.24		0.225	
9#	0.275		0.21	
10#	0.27		0.22	

说明：此结果是在未注脂和未压防尘盖的前提下测试。

从表2试验结果看，轴承在其它条件一致的情况下，通过保持架的结构和重量优化（见图2和图3），轴承摩擦力矩降低了16%左右。



图2 普通结构保持架示意图



图3 新结构保持架

轴承在运转过程中,内圈(内圈旋转)会带动滚子旋转,而滚子将带动保持架旋转。在滚子带动保持架旋转时,将损耗一定能量,当保持架越轻,所损耗的能量就越少,最终体现在轴承的摩擦力矩就越少,通过优化

保持架可以有效降低轴承摩擦力矩。由于尼龙保持架比铁保持架重量轻,所以应用在高效电机上的轴承都选用尼龙保持。

2.2.3 不同油脂类型及注脂量对摩擦力矩的影响

表3 不同油脂类型及注脂量下的摩擦力矩对比 摩擦力矩单位: $\text{mN}\cdot\text{m}$

油脂牌号	S048						HQ026					
基础油粘度(40℃)	47.6 mm^2/s						26 mm^2/s					
工作锥入度	220						255					
序号	不注脂		加注0.5g油脂		加注0.8g油脂		不注脂		加注0.5g油脂		加注0.8g油脂	
	检测值	平均值	检测值	平均值	检测值	平均值	检测值	平均值	检测值	平均值	检测值	平均值
1#	0.295	0.275	1.44	1.395	2.105	2.208	0.265	0.258	0.73	0.888	1.7	1.61
2#	0.27		1.515		2.36		0.27		0.78		1.425	
3#	0.275		1.44		2.41		0.25		0.8		1.655	
4#	0.255		1.15		2.045		0.27		0.985		1.585	
5#	0.345		1.545		2.35		0.255		0.77		1.45	
6#	0.26		1.4		2.245		0.26		1.035		1.775	
7#	0.265		1.185		2.25		0.25		0.91		1.71	
8#	0.24		1.435		1.965		0.255		0.915		1.485	
9#	0.275		1.25		2.11		0.235		1.08		1.76	
10#	0.27		1.59		2.245		0.27		0.87		1.55	

从表3中结果可以得出,油脂对轴承摩擦力矩影响非常大,会导致轴承力矩成倍增加。油脂运动粘度越低、锥入度越高,轴承的摩擦力矩就越少,装有HQ026油脂的轴承摩擦力矩远低于装S048油脂的轴承。基础油运动粘度是度量其阻碍流动的能力,粘度越低,表示润滑脂流动性越好。工作锥入度是衡量润滑脂稠度及软硬程度的指标,锥入度越大,表示润滑脂越软,油脂流动性也越好。在选用油脂时,尽量选用粘度低、锥入度大的油脂,可以有效降低轴承摩擦力矩。

结束语

影响轴承摩擦力矩的因素很多,本文通过实验来验证保持架、油脂类型、注脂量以及粗糙度对轴承摩擦力

矩的影响,为开发低摩擦力矩轴承提供方向。对于接触式密封轴承,密封件的结构、密封件和轴承套圈的接触状态,对轴承的力矩影响较大,也需要大量试验去验证之间的影响关系,这里不做阐述。现阶段各行业对于降低功耗势在必行,需不断研发改善以满足社会日益提升的需求。

参考文献

- [1]刘泽九.滚动轴承应用手册.机械工业出版社,2013.11.
- [2]T.A.Harris, M.N.Kotzalas.滚动轴承分析[原书第5版].机械工业出版社,2009.10
- [3]埃斯曼.哈斯巴根.韦根特.滚动轴承设计与应用手册.华中工学院出版社出版,1985.05