

滚动轴承空载跑合擦伤探讨

裘大成 (哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

【摘要】 本文应用弹性流体动力润滑理论与滚子动力学对滚动轴承在空载跑合时发生擦伤的原因进行了分析探讨。

关键词 滚动轴承 空载跑合 磨损分析

符 号

单位、已知参数与已知计算数据

Ω 行星轮, 即轴承外滚道角速度 (rad/s), 在全速工况时为408.1rad/s

ω_c 轴承滚子中心绕转轴轴线的角速度 (rad/s)

ω 轴承滚子的自转角速度 (rad/s)

r 滚子半径6mm

R_1 行星轮轴半径, 即轴承内滚道半径48.88mm

o, i 轴承外滚道与内滚道下标

$P_{x_o}, P_{x_i}, P_{y_o}, P_{y_i}, F_o, F_i$ 滚子上沿坐标轴流体动力分力

$R_i = \frac{R_1 r}{R_1 + r}$ 滚子副等效半径5.26mm

$R_o = \frac{r(R_1 + 2r)}{R_1 + r}$ 滚子副等效半径6.75

mm

m 滚子质量0.014kg

$S = \frac{r}{R_1}$ 比值0.14

E' 当量弹性系数 2.3×10^{11} Pa

η_o 润滑油粘度, 在轴承工作温度下0.01Pa·s

u 滚子与滚道接触点的表面速度m/s

W 滚子轴承单位长度上载荷MN/m

α 公转滑动系数 $\alpha = \frac{\omega_c}{\Omega} 2(1+s)$

β 自转滑动系数 $\beta = \frac{\omega}{\Omega} \frac{2s(1+s)}{1+2s}$

$\bar{W} = \frac{W}{E'R}$ 无量纲载荷参数

$\bar{U} = \frac{\eta_o u}{E'R}$ 无量纲速度参数

$\bar{G} = aE'$ 无量纲材料参数

a 润滑剂粘度的压力指数

h_o 中心线上油膜厚度

舰船涡轮机齿轮减速器为改善齿面接触状况, 在出厂前有空载跑合的工艺要求, 但采用滚动轴承时, 必须充分注意滚动轴承有轻载滑移的特性, 否则就会出现故障。某艇齿轮减速器出厂前空载跑合, 二级行星轮轴滚动轴承曾发生擦伤, 现从理论上对此作如下分析。

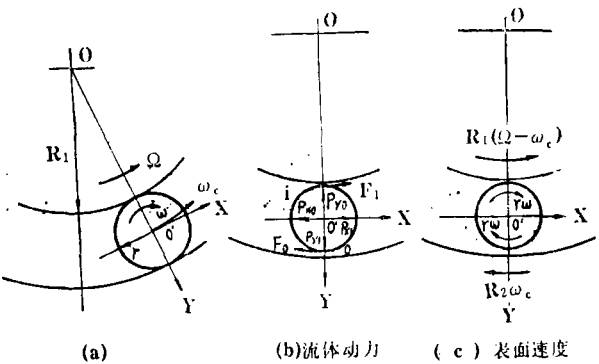


图 1

当在全工况运行时，滚子轴承为高速重载，由弹性流体动力润滑理论，滚子有弹性变形，润滑油粘度随压力而变，在这种工作条件下，滚子与滚道基本无相对滑移，公转与自转滑动系数均近为1，即 $\alpha \approx \beta \approx 1$ 则得：

$$\omega_c = \frac{\Omega}{2(1+s)} = 179 \text{rad/s,}$$

$$\omega = \frac{\Omega(1+2s)}{2s(1+s)} = 1636.5 \text{rad/s.}$$

$u_i = u_0 = 9.821 \text{m/s}$ 相应无量纲值为

$$\bar{U}_i = \frac{\eta_0 u_i}{E' R_i} = 8.12 \times 10^{-11},$$

$$\bar{U}_0 = \frac{\eta_0 u_0}{E' R_0} = 6.30 \times 10^{-11}.$$

全工况运行时，滚子轴承单位长度上载荷

$$W_{全} = 256\ 900 \text{N/m,}$$

表 1

序 号	符 号	单 位	工 况					备 注	
			1.0 100%	0.8 80%	0.6 60%	0.4 40%	0.2 20%		慢车 4%
1	n_2	r/min	10 650	10 550	9180	8190	6630	4100	n_2 为涡轮机输出轴转速。
2	n_3	r/min	3897	3860	3360	2996	2428	1500	
3	Ω	rad/s	408.1	404.4	352.2	313.7	254.3	157.2	
4	ω_c	rad/s	179	177.4	154.5	137.6	111.5	68.9	n_3 为行星减速器相应传动元件转速
5	ω	rad/s	1636.5	1621.6	1412.2	1258	1019.5	630.39	
6	u_i	m/s	9.82	9.73	8.48	7.55	6.12	3.78	
7	u_0	m/s	9.82	9.73	8.48	7.55	6.12	3.78	
8	\bar{U}_i		8.12×10^{-11}	8×10^{-11}	7×10^{-11}	6.24×10^{-11}	5.06×10^{-11}	3.12×10^{-11}	
9	\bar{U}_0		6.33×10^{-11}	6.27×10^{-11}	5.46×10^{-11}	4.86×10^{-11}	3.94×10^{-11}	2.43×10^{-11}	
10	\bar{G}		5000	5000	5000	5000	5000	5000	
11	\bar{W}_i	N/m	2.57×10^5	2.06×10^5	1.54×10^5	1.02×10^5	0.51×10^5	0.10×10^5	
12	\bar{W}_0	N/m	3.65×10^5	3.12×10^5	2.34×10^5	1.65×10^5	0.93×10^5	0.26×10^5	
13	\bar{W}_i		2.12×10^{-4}	1.7×10^{-4}	1.27×10^{-4}	0.85×10^{-4}	0.42×10^{-4}	0.09×10^{-4}	
14	\bar{W}_0		2.35×10^{-4}	2×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.05×10^{-4}	0.6×10^{-4}	0.17×10^{-4}	
15	$(h_0)_i$	μm	0.358	0.349	0.354	0.335	0.324	0.278	
16	$(h_0)_0$	μm	0.378	0.37	0.36	0.348	0.372	0.275	

滚子轴承在空载跑合时，由测试数据得电压61V、电流300A，可得耗电为 $\sqrt{3} V I \cos \varphi$ $\eta_{电}$ ，即为1.17%全工况功率，相应滚子轴

承单位长度上载荷 $\bar{W}_i = 3006 \text{N/m}$ 。

考虑滚子离心力影响时：

$$\bar{W}_i = 4081 \text{N/m,}$$

$$\therefore \bar{W}_i = \frac{W_i}{E' R_i} = 2.12 \times 10^{-4}.$$

当考虑离心力影响时

$$\frac{R_0}{R_i} \bar{W}_0 - \bar{W}_i = \frac{m}{E'} \left(\frac{R_i + r}{R_i} \right) \omega_c^2,$$

$$\therefore \bar{W}_0 = - \left\{ \frac{m}{E'} \left(\frac{R_i + r}{R_i} \right) \omega_c^2 + \bar{W}_i \right\} \frac{R_i}{R_0} \approx 2.35 \times 10^{-4}.$$

对于钢与矿物油润滑剂，可近似地取

$$\bar{G} \approx 5000.$$

油膜厚度则有关系式

$$(h_0/R_i)_i = 1.6 \bar{G}^{0.6} \bar{U}_i^{0.7} / \bar{W}_i^{0.13}$$

$$(h_0/R_0)_0 = 1.6 \bar{G}^{0.6} \bar{U}_0^{0.7} / \bar{W}_0^{0.13}$$

则得

$$(h_i)_0 = 0.358 \mu\text{m,}$$

$$(h_0)_0 = 0.378 \mu\text{m.}$$

同理，当滚子轴承在其他工况运行时，其相应的油膜厚度计算结果见表1。

而滚子轴承在空载跑合时相当于滚子轴承在高速轻载工况时滚子与滚道间有相对滑移的特性, 根据文献[1]计算结果, 公转滑动系数 α 、自转滑动系数 β 与滚子滚道半径比值 S 的关系见图 2。

而在高速轻载工作条件下, 按弹性流体动力润滑理论, 应视滚子轴承为刚性元件与润滑油粘度不变, 此时油膜厚度关系式为:

$$\bar{W}_i = 4.9\eta_0 u_i \left(\frac{R}{h_0} \right)_i,$$

$$\bar{W}_0 = 4.9\eta_0 \mu_0 \left(\frac{R}{h_0} \right)_0.$$

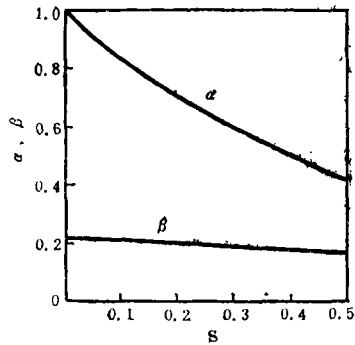


图 2

空载跑合与各工况相应转速下计算结果见表 2。

表 2

序号	符 号	单 位	与跑合转速相应工况					
			100%	80%	60%	40%	20%	4%
1	u_z	r/min	10 650	10 550	9180	8190	6630	4100
2	Ω	rad/s	408.1	404.4	352.2	313.7	254.3	157.2
3	ω_c	rad/s	137.12	135.88	118.34	105.4	85.44	52.82
4	ω	rad/s	327.3	324.33	282.46	251.6	203.95	126.1
5	u_i	m/s	1.963	1.946	1.695	1.51	1.223	0.757
6	u_0	m/s	1.963	1.946	1.695	1.51	1.223	0.757
7	\bar{W}_i	N/m	4081	4062	3806	3641	3422	3166
8	\bar{W}_0	N/m	4081	4062	3806	3641	3422	3166
9	$(h_0)_i$	μm	0.123	0.123	0.115	0.107	0.092	0.062
10	$(h_0)_0$	μm	0.159	0.158	0.147	0.137	0.118	0.079

滚子轴承的表面粗糙度要求为 $\nabla 10$, 即 $0.08 \sim 0.16 \mu\text{m}$ 。由以上计算可知, 滚子轴承在正常运行时, 各工况油膜厚度均大于 $0.08 \sim 0.16 \mu\text{m}$, 不会发生擦伤。而当空载跑合时, 任何相应工况的跑合转速下, 其油膜厚度虽大于 $0.08 \mu\text{m}$, 而小于 $0.16 \mu\text{m}$, 就有可能发生擦伤。所以涡轮机齿轮减速器出厂前的空载跑合, 当采用滚动轴承时, 应带有一定负荷 ($\approx 5\%$) 为宜, 这与国外推荐

工艺相吻合。

参考文献

- [1] Dowson D, Higginson G R. Elasto-Hydro dynamic Lubrication. Pergaman Press Ltd, 1977
- [2] 和田角雄著, 杨鸿玲译. 滚动轴承工程学. 贵州机械, 1979

(孙显辉 编辑)
(下转第 47 页)

- show rapid growth. *Power Engineering*, 1986, 90 (10)
- [3] Particulate control devices for municipal refuse-to-energy plants. PB-87-147617, 1986
- [4] Improved design and Operational practices for municipal sludge incinerator. J. WPCF, 1987, 59
- [5] Boyen John L. Thermal Energy recovery Second edition, 1980
- [6] Waste burnt in Warren County with Swiss technology. modern Power Syst, 1987, 7 (2)
- [7] 240t/d 都市でみ焼却プラント。石川島播磨技報, 1986, 26(6)
- [8] バイオマスエネルギーの 评价と可能性—第9回でみエネルギーセンター(2)。省エネルギー, 1986, 38(6)
- [9] 都市でみ焼却炉における余热利用とでみ发电 PPM, 1984, 17 (3)
- [10] Heat recovery boiler operate Successfully with dust and difficult gases. modern power syst, 1982, 10

Refuse-fired Boilers

Wu Yisan

(Hangzhou Waste Heat Boiler Research Institute)

Abstract

This paper gives a short presentation on the development of refuse-fired plants in some advanced industrialized countries with some explanations of structural details of certain commonly employed plants being presented.

Key words: *incinerators, heat exchanger, construction, economics*

(上接第33页)

A Preliminary Study of Rolling Bearing No-load Run-in Scoring

Qiu Dacheng

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

Abstract

In this paper an analytical study is presented of the causes of rolling bearing scoring during no-load run-in by use of the elastohydrodynamic lubrication theory and roller dynamics.

Key words: *rolling bearing, no-load run-in, wear, analysis*