

惯性项对动静压浮环轴承推力部分静特性的影响

孟凡明,岑少起,郭 红

(郑州工业大学机械与电子工程学院 河南 郑州 450002)

摘 要 :在假定油流为不可压缩、定常、层流的情况下 ,利用计入惯性项的 $N - S$ 方程组 ,得出了计入惯性项的径向 - 推力联合浮环动静压轴承雷诺方程 ,计算了其推力部分的静特性 ,并分析了惯性项对各静特性的影响 .数值解表明 ,在雷诺数不大的情况下 ,惯性项对承力的影响不大 ,而泄流量会随简化雷诺数的增加而增加 .

关键词 :动静压轴承 ; $N - S$ 方程组 ; 惯性项

中图分类号 :TH 117.2 文献标识码 :A

径向 - 推力联合浮环动静压轴承具有良好的启动性、低摩擦性及高速稳定性 ,但随着转速的升高 ,惯性的影响将随之增加 .本文给出了计入惯性项的径向 - 推力联合浮环动静压轴承雷诺方程 ,并由此计算了其推力部分的各项静特性 ,讨论了惯性项对这些静特性的影响 .

1 数学模型

在薄膜润滑状态下的圆柱坐标形式的 $N - S$ 方程^[1]为

$$\rho \left(v_r \frac{\partial r_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta v_r}{r} \right) = - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} ; \quad (1)$$

$$- \rho \frac{v_\theta^2}{r} = - \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} ; \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = 0 , \quad (3)$$

边界条件

$$v_r(r, 0) = 0 , v_r(r, h) = 0 ; \quad (4)$$

$$v_\theta(r, 0) = \Omega_1 r , v_\theta(r, h) = \Omega_2 r , \quad (5)$$

其中 : Ω_1 为轴颈转速 ; Ω_2 为浮环转速 ; v_r 为径向速度 ; v_θ 为切向速度 .

令式 (1) 及式 (2) 左端为零^[2] ,由以上 5 式解得不计入惯性项的 v_r, v_θ 为

$$v_r = \frac{\alpha(z-h)}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial r} ; \quad (6)$$

$$v_\theta = \frac{\alpha(z-h)}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \frac{(\Omega_2 - \Omega_1)r}{h} z + \Omega_1 r , \quad (7)$$

把 v_r, v_θ 代入式 (1) 式 (2) 的左端 ,并用 v'_r, v'_θ 代替式 (1) 式 (2) 右端的 v_r, v_θ ,用 p' 代替式 (3) 中的 p ,即得到计入惯性项的近似 $N - S$ 方程

$$\begin{cases} \rho \left(v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta v_r}{r} \right) = - \frac{1}{r} \frac{\partial p'}{\partial \theta} + \mu \frac{\partial^2 v_\theta'}{\partial z^2} ; \\ - \rho \frac{v_\theta'^2}{r} = - \frac{\partial p'}{\partial r} + \mu \frac{\partial^2 v_r'}{\partial z^2} ; \\ \frac{\partial p'}{\partial z} = 0 , \end{cases} \quad (8)$$

其中 : V', V'_θ, p' 表示惯性项存在时润滑膜的解 .
边界条件

$$\begin{cases} V'(r, 0) = 0 , V'_\theta(r, h) = 0 ; \\ V'_\theta(r, 0) = \Omega_1 r , V'_\theta(r, h) = \Omega_2 r ; \\ p'_{\Gamma_1} = p_{\text{泵压}} , p'_{\Gamma_2} = 0 , \end{cases} \quad (9)$$

其中 : Γ_1 为深腔及进油槽处 ; Γ_2 为轴端处 .
在圆柱坐标下 ,连续方程^[3]为

$$\frac{1}{r} \left[\frac{\alpha p v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\alpha p v_r}{\partial r} \right] = 0 , \quad (10)$$

边界条件

$$\begin{cases} z = 0 \text{ 时 } , v_z = 0 ; \\ z = h \text{ 时 } , v_z = 0 , \end{cases} \quad (11)$$

令 $r = R\lambda, \bar{\Omega} = \frac{\Omega_1}{\Omega_2}, \bar{p} = \frac{\mu(\Omega_1 - \Omega_2)L^2}{C^2} \bar{p} ;$

$$p' = \frac{\mu(\Omega_1 - \Omega_2)L^2}{C^2} p' , \quad (12)$$

$$Re = \frac{\mu(\Omega_1 - \Omega_2)LC}{\mu} ; Re^* = \frac{C}{L} Re , \quad (13)$$

由式(8)式(9)可得含有惯性项的 v_r', v_{θ}' ,把所得的 v_r', v_{θ}' 代入式(10),利用式(11)在膜厚方向上积分,由式(12)式(13)可得到含有惯性项的无量纲化雷诺方程

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\lambda H^3 \frac{\partial \bar{p}'}{\partial \lambda} \right) + \frac{\partial}{\lambda \partial \theta} \left(H^3 \frac{\partial \bar{p}'}{\partial \theta} \right) = \frac{3}{2} \lambda \left(\frac{D^2}{L} \frac{\partial H}{\partial \theta} + Re^* \left[\frac{\chi \lambda F_1}{\partial \lambda} + \frac{\chi F_2}{\partial \theta} \right] \right) \quad (14)$$

其中:

$$\bar{F}_1 = \frac{H^7}{1120 \lambda^3} \left(\frac{\partial \bar{p}}{\partial \theta} \right) - \frac{H^5}{120 \lambda} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \theta} + \frac{\lambda H^3}{40} - \frac{H^5}{60 \lambda (\Omega - 1)} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \theta} + \frac{H^3 \lambda}{12 (\Omega - 1)} \left(1 + \frac{1}{\Omega - 1} \right); \quad (15)$$

$$\bar{F}_2 = \frac{H^5}{120} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \lambda} + \frac{H^5}{60 (\Omega - 1)} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \theta}, \quad (16)$$

表 1 无量纲静特性表

简化雷诺数 Re^*	无量纲承载力 \bar{W}	无量纲摩擦力 \bar{F}_t	无量纲摩擦力矩 \bar{M}_f	无量纲摩擦功耗 \bar{H}_f	无量纲泄流量 \bar{Q}
0.0	0.178533	0.14538	0.143245	0.100272	0.124182
0.48	0.180737	0.145803	0.143668	0.100564	0.13343
0.72	0.181822	0.145831	0.143690	0.100583	0.13619
1.0	0.183136	0.145863	0.143721	0.100605	0.137882
1.4	0.185009	0.145908	0.143812	0.100636	0.139652
2.8	0.191682	0.146066	0.143921	0.100745	0.143244

从表 1 中可以看出:承载力受惯性项的影响不大,摩擦力、摩擦力矩、摩擦功耗将随着雷诺数的增加而增加,泄流量受惯性项影响较大,且随着雷诺数的增大而显著增大。

参考文献:

[1] 张雪萍.联合动静压浮环轴承静动特性研究[D].郑州

式中: L 为推力轴承外、内半径差; C 为油膜间隙; R 为推力轴承外半径; Re 为雷诺数; Re^* 为简化雷诺数。

令式(14)中的 $Re^* = 0$,便得到通常的无惯性项的雷诺方程,据此解出无惯性项时的无量纲压力 \bar{p} .把所得的 \bar{p} 代入式(15)式(16),可得到 \bar{F}_1, \bar{F}_2 ,然后把 \bar{F}_1, \bar{F}_2 回代到式(14),可得到近似计入惯性项的雷诺方程,进一步可求得含有惯性项的无量纲压力 \bar{p}' 及有关静特性 $\bar{W}, \bar{F}_t, \bar{Q}$ 等。

2 计算结果分析

表 1 列出了计入惯性力影响时推力部分内膜无量纲的承载力、摩擦力、摩擦功耗及流量,从中可以看出惯性项对这些指标的影响。其中:长径比 $L/D = 0.18$,环速比 $\Omega = 0.3$ 。

州:郑州工业大学,1998。

[2] DUBE G S, PAL T S, BANERJEE K. A nonlinear theory of hydrodynamic lubrication[J]. Math Anal Appl, 1986, 117: 48.
[3] 池长青.流体力学润滑[M].北京:国防工业出版社, 1998。

Influence of Inertia Force on the Static Characteristics of Thrust Sector in the Radial – thrust Combined Float – ring Hybrid Bearing

MENG Fan – ming, CEN Shao – qi, GUO Hong

(College of Mechanical & Electric Engineering Zhengzhou University of Technology Zhengzhou 450002 ,China)

Abstract :In this paper ,the Reynolds equation is extended to include the inertia effect inhydrodynamic and hydrostatic lubrication .Then the influence of inertia term on the static characteristics of the thrust sector in the radial – thrust combined float – ring hybrid bearing is explicitly obtained .Numerical results reveal that the influence of inertia on load – carrying capacity is small at moderate value of the reduced Reynolds number and the principal effect of inertia force is a significant increase in the side flow rate .

Key words :动静压浮环轴承 ; $N - S$ equations ; inertia term