

多跨转子稳态不平衡响应研究

西北工业大学 任平珍

作者在Lund提出的有阻稳态不平衡响应计算方法^[1]的基础上,导出了多跨转子计及轴间套齿联轴器角向刚度 C_{hx} 及 C_{hy} 的结点传递矩阵,结点左右转角之间关系可表示为:

$$\begin{aligned}\bar{\theta}_{xi}' &= \bar{\theta}_{xi} + \bar{M}_{xi}/C_{hx} \\ \bar{\theta}_{yi}' &= \bar{\theta}_{yi} + \bar{M}_{yi}/C_{hy}\end{aligned}\quad (1)$$

设 b 为半齿长, K_L 为径向刚度角向刚度, C_h 可由以下简化公式计算^[3]

$$C_h = K_L b^3 / 3 \quad (2)$$

利用上述方法及简化传递矩阵法^[2]编制了多跨转子稳态不平衡响应计算通用程序,计算了图1所示多跨转子的稳态不平衡响应。盘处线性粘性阻尼系数 C_{eq} 由下式确定:

$$C_{eq} = \sqrt{K_{11}m} / Q_{max} \quad (3)$$

(3)式中 K_{11} 为盘处刚性系数, m 为盘质量, Q_{max} 为放大因子。设转子刚性对称, 阻尼及刚度互耦合项为零, 盘处不平衡量 $U = 21gcm$, $C_{hy} = C_{hx} = 2.5kN \cdot m$, x 、 y 方向的阻尼系数 $C_{xx} = C_{yy} = 1.24kN \cdot S/m$, 滚动轴承刚性由经验确定。

计算结果及分析如下:

1. 用Lund法算出的有阻及无阻峰值角速度 ω_{kai} 及 ω_{kbi} 和用简化传递矩阵法算得的临界角速度 ω_{cri} 均列于表1, 三者基本一致, 阻尼几乎没有影响。

2. 用Lund法算得 ω_{kai} 及 ω_{kbi} 下各结点响应应与简化传递矩阵法算得的各阶振型相似。在非临界转速邻近区域, 有阻响应 ρ_a 与无阻响应 ρ_b 几乎相同。在各阶临界转速邻近区域内 ρ_a 远小于 ρ_b , 表2中给出了在此区域内各阶最大响应点的响应值。

表1 峰值转速与临界转速(1/s)

i	ω_{cri}	ω_{kai}	ω_{kbi}
1	1665.775	1665.800	1665.775
2	2049.918	2050.300	2049.918
3	3603.442	3604.200	3603.442

表3 角向刚度对各阶临界转速影响

	简化法	$C_h = 0.213kN \cdot m$	$C_h = 2.5kN \cdot m$	$C_h = 213kN \cdot m$
$\omega_{cr1}(1/s)$	1723.05	1718.00	1718.54	1720.02
$\omega_{cr2}(1/s)$	2194.14	2175.68	2187.06	2293.04
$\omega_{cr3}(1/s)$	4429.30	4364.81	4415.52	5092.05

表2 在各阶峰值转速邻近区域内有阻响应 ρ_a 、无阻响应 ρ_b

$\omega(1/s)$	1665.7	1665.8	1665.9	2049.9	2050.5	2050.5	3603	3603.4	3604.2
$\rho_a(mm)$	4.778	4.842	4.814	1.094	1.096	1.096	0.6102	0.6102	0.6104
$\rho_b(mm)$	48.33	1423.	26.86	582.4	45.33	29.42	114.8	187.0	80.0
结点号	7			1			3		

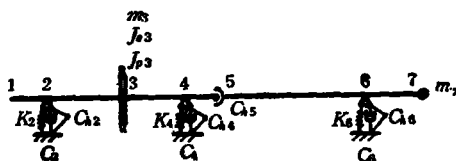


图1 多跨转子计算简图

3. 用 L_{und} 法及简化传递矩阵法算得不同角向刚度下各阶临界转速 (表 3), 结果表明在一定范围内角向刚度对一、二阶临界转速影响较小, 对三阶影响较大。

4. 任何转速下不平衡响应与不平衡量成正比。

5. 在各阶临界转速下不平衡响应与阻尼成反比。

以模型转子 (图 2) 进行稳态不平衡响应计算及实验, 其左、右支承是刚性可调的鼠笼式弹性支承。设转子仅在盘处受到粘性阻尼力。

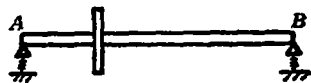


图 2 模型转子简图

1. 实验确定转子粘性阻尼比 S 、不平衡偏心距 e 及挠度 y_e

为了提高测量精度, 使用电涡流位移传感器, 通过轴心轨迹仪和 $x-y$ 记录仪, 录下转子缓慢加速越过临界转速 ω_{cr1} 的幅频特性曲线。

用模态算法^[4], 由经过振幅标定的幅频特性曲线 $0.707y_{max}$ 处对应的角速度 ω_1 及 ω_2 , 和 y_{max} 处对应的角速度 ω_k , 可求得 S 、 e 和 U :

$$S = (\omega_1^2 - \omega_2^2) / 4\omega_k^2, \quad e = 2sy_{max}, \quad U = me \quad (4)$$

此外, 实测 $0.707\omega_k$ 处的挠度 y_e , 则 $e = y_e$ 。实验结果示于表 4。

表 4 模型转子实验结果

	$y_{max}(mm)$	$e(\mu m)$	$y_e(\mu m)$	S	$C(N \cdot s/m)$	$K(N/mm)$	$U(gcm)$	$\omega_{cr}(1/s)$
刚支	1.04	23.7	23.6	0.0114	0.52	2500	21.5	249.76
弹支	1.54	30.0	30.4	0.00973	0.397	22.1	27.2	229.3

2. 模型转子稳态不平衡响应计算 转子支承刚性对称, 刚度与阻尼互耦合项为零, 计算结果及分析如下: (1) 刚支、弹支时盘处挠度峰值 y'_{max} ; $0.707\omega_{cr}$ 时挠度 y'_e , 有阻、无阻峰值角速度 ω_{cra} 及 ω_{crb} 示于表 5, 与表 4 相比可见计算与实验吻合较好。

(2) 刚支、弹支条件下各转速的不平衡响应计算值与实验值很接近。

(3) 用 L_{und} 法与简化传递矩阵法算得的计算结果完全一致。

(4) 改变支承条件, 实测所得的阻尼系数不同, 因为实测的阻尼不仅包括线性粘性阻尼, 还包括材料的内部阻尼等。

表 5 模型转子计算结果

	$y'_{Max}(mm)$	$y'_e(\mu m)$	$\omega_{cra}(1/s)$	$\omega_{crb}(1/s)$
刚支	1.027	0.203	248.618	248.618
弹支	1.57	0.254	229.554	229.554

据此可得以下结论: 1. 本文采用 L_{und} 法及简化传递矩阵法所编通用程序可供工程设计使用。2. 阻尼系数对临界转速时的稳态不平衡响应值起决定性作用, 因此精确地确定转子系统的阻尼比对发动机动、静件元间小间隙设计、提高压气机效率有重要意义。3. 精确确定多跨转子套齿联轴器角向刚度对提高各阶临界转速值及不平衡响应值有重要意义。

参 考 文 献

- [1] Lund, J. W. Orcutt F. K., "Calculation and Experiments on the Unbalance Response of a Flexible Rotor", Tran. of ASME, Journal of Industry, Nov.1967.
- [2] 晏砾堂, "计算临界转速和响应的简化传递矩阵法", 航空学报, 1983年。
- [3] 温卫东, "传递矩阵——直接积分法在双转子——支承机匣系统中的应用", 西工大 硕士论文, 1985年。
- [4] 张厚琪, "幅频、相频特性曲线模态计算平衡法", 全国首届转子动力学学术讨论会1986年。

(责任编辑 李其汉)

methods. From the viewpoint of damage, the physical unequalities which LDR and IDR should fit are derived. With the data of materials available abroad it is verified that the scatter band and standard deviation by LDR are smaller than those by IDR. For the same damage, the predictability of SEP appears a little better than that of SRP.

STEADY-STATE UNBALANCE RESPONSES FOR A MULTISPAN ROTOR

Ren Pingzhen

(Northwestern Polytechnical University)

Abstract

A node transfer matrix is deduced which considers the angular stiffness and damping in spline coupling. The steady-state unbalance responses for a rotor with several spans are obtained by using Lund method and the simplified transfer matrix method. An model rotor has also been experimented so that the damping ratio, eccentricity and deflection are measured with amplitude-frequency characteristic method. The steady-state unbalance responses have been obtained from these data. Both analytical and experimental results are in good agreement.

CORRESPONDENCES

EFFECT OF POLUTION ON HOT-WIRE ANEMOMETER MEASUREMENT

Li Yapin

(Wuxi Aeroengine Research Institute)

A NEW FLAME PROPAGATION TECHNIQUE FOR BARCHAN FLAME-HOLDER

Zhao Guanwu

(Shenyang Aeroengine Company)