

全齿轮系的三维有限元循环对称 及接触应力分析

南华动力机械研究所 尹泽勇** 徐友良 高向群 魏 刚

【摘要】 本文首次以完整的减速器齿轮系作为有限元应力分析对象。利用齿轮系的循环对称性取其一个基本段作为计算模型,同时还考虑了啮合齿牙间的接触传力。所考虑的载荷即有扭矩又有离心力。通过一次分析可获得整个齿轮系各部位的应力。

关键词: 全齿轮系 循环对称性 齿牙 接触传力 有限元应力分析

1 分析方法的特点

以往的齿轮有限元应力分析多以单个齿牙、一对或多对啮合齿牙或一对全齿轮副作为计算模型。本文以某航空发动机减速器齿轮系为考察对象,首次以全齿轮系的一个基本段作为计算模型,避免了以往方法中在模型切开处人为规定边界条件这一缺点,并可一次算出整个齿轮系各部位的应力。本文方法还具有如下特点。

1.1 利用循环对称性

由图1可见,这是一个循环对称结构^[1],可只取占其三分之一的一个基本段(图1中OAB部份)进行分析,方法见文献[2]。

1.2 考虑啮合齿牙间接触传力

这里对二齿轮副均选择有二对齿牙参与啮合的情况作为计算状态。除啮合齿牙外的齿牙未保留在计算模型中。为简单起见,还以啮合线代替接触线,将面接触问题化为线接触问题来处理^[3]。

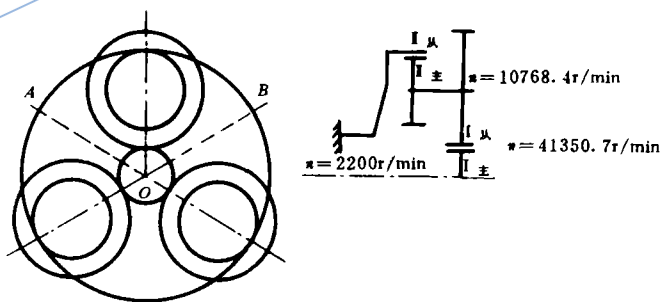


图1 某减速器齿轮示意图

1.3 施加离心载荷

除扭矩外,还考虑各齿轮承受的离心力。

2 数据与计算模型

该减速器齿轮系有关齿轮参数列于表1。轮系材料的弹性模量 $2.1 \times 10^5 \text{MPa}$,泊松比

0.25, 密度 $7.75 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$; 载荷数据为: 图 1 最右端输入扭矩 $116946 \text{ N} \cdot \text{m}$, 引起离心力的各轮转速则示于图 1 中。

表 1 齿轮参数(长度单位:mm)

参 数	齿 形	法向 模数	法向 压力角	分圆 螺旋角	法向 齿厚	齿数	齿宽	旋向	分圆 直径
输出主动齿轮 I _主	渐开线	1.38	20°	8°55'26'	2.520	24	31.0	右	33.526
输入从动齿轮 I _从	渐开线	1.38	20°	8°55'26'	1.816	97	25.8	左	135.500
输出主动齿轮 II _主	渐开线	2.25	20°	9°55'6'	4.189	19	28.0	左	43.399
输入从动齿轮 II _从	渐开线	2.25	20°	9°55'6'	4.189	93	26.0	左	212.426

所用循环对称及接触三维有限元应力分析模型示于图 2。该模型共令 91 个 20 节点体元^[4], 2 个 8 节点壳元^[6], 1 个 15 节点体—壳过渡元^[6]。

3 结果分析

3.1 接触力

算出了图 3 所示二种啮合状态下啮合齿牙传递的节点接触力, 经处理后可得接触力集度沿齿向的变化, 其中第 I 级啮合副的变化曲线示于图 4。

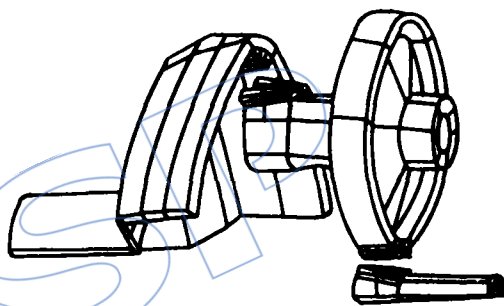


图 2 齿轮系计算模型及网格

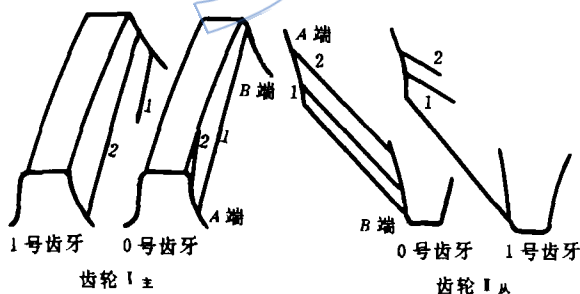


图 3 啮合状态示意图

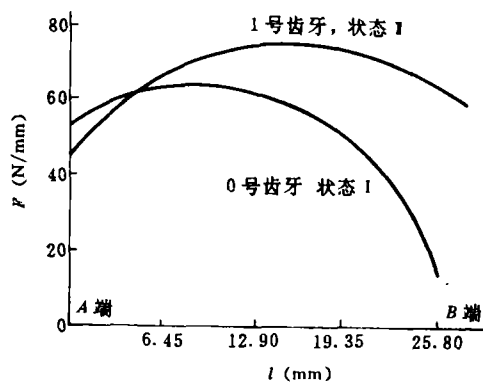


图 4 啮合副接触力的齿向分布

在表 2 中列出了 4 对啮合齿牙在二种啮合状态下各自传递的接触力及 0 号齿牙与 1 号齿牙接触力之比。这些比值与以往按啮合线长度比估算的不同(如第 I 级啮合副在啮合状态 I 时的比值为 1.992)。这是因为一对啮合齿牙传递的接触力的大小, 不仅与接触线长度有关, 而且应与接触线位置有关。

表 2 各齿牙上的接触力(N)及其比值

啮合副	齿牙号	I			II		
		0	1	0/1	0	1	0/1
啮合	1	1410.66	983.19	1.435	169.75	79.84	2.126
状态	2	359.44	1877.63	0.191	189.22	59.78	3.165

3.2 各部位应力

这里仅在表 3 中列出第 1 种啮合状态下齿轮系各部位一些有代表性的高斯积分点处当量应力值。

在图 5 中,则专门画出了应力水平最高的 I_{±0} 号齿牙的齿根当量应力沿齿长的变化。图中字母 C 与 T 分别代表齿牙的受压侧与受拉侧,下标则指明是哪一种啮合状态。

3.3 离心应力

必须指出,对于高速旋转的齿轮,离心载荷引起的应力在总应力中占据的比例不容忽视。在表 4 中,具体列出了一些典型值的对比情况。

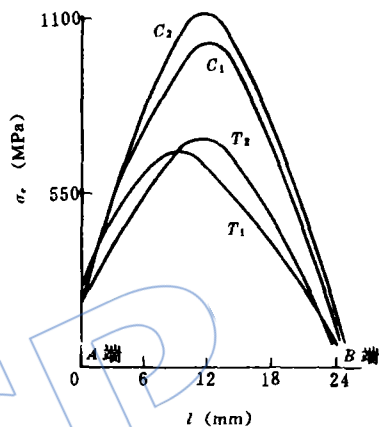
图 5 I_{±0}号齿牙当量应力

表 3 啮合状态 1 下各部位应力水平代表值

序号	当量应力(MPa)	所 在 部 位
1	3.85	最左端管形轴
2	3.85	转接盘
3	7.38	I _μ 啮合齿牙下轮缘
4	13.99	I _μ 啮合齿牙齿根
5	1012.00	I _± 啮合齿牙齿根
6	839.30	I _± 啮合齿牙下轮缘
7	133.90	I _μ 与 I _± 间管形轴
8	20.88	I _μ 辐板
9	134.20	I _μ 啮合齿牙齿根
10	153.50	I _± 啮合齿牙齿根
11	159.00	最右端管形轴

表 4 啮合状态 1 下离心与总当量应力对比

序 号	当量应力 (MPa)	离心当量 应力(MPa)	所 在 部 位
1	114.1	19.5	I _{±1} 号齿牙齿根
2	95.2	16.2	
3	72.5	10.3	I _{±0} 号齿牙齿根
4	101.1	15.9	
5	44.0	19.7	I _{μ0} 号齿牙齿根
6	50.6	21.4	
7	45.7	28.3	I _{μ1} 号齿牙齿根
8	76.4	27.7	
9	70.8	37.4	I _{±1} 号齿牙齿根
10	53.7	22.5	
11	77.4	3541	I _{±0} 号齿牙齿根
12	103.4	45.5	

参 考 文 献

- 冯康. 有限元方法, 有限元方法及其应用. 中国科学院计算技术研究所, 1975
- 尹泽勇, 任培正, 尹晶. 等参单元及超参单元类节点的循环对称条件及其引入方法. 固体力学学报, 1985, (1)
- 尹泽勇, 刘修禾. 用有限元法分析弹性固体接触问题. 航空学报, 1979, 3
- Ahmad s, Irons B M, Zienkiewicz O C. Analysis of Thick and Thin Shell Structures by Curved Finite Elements Int. J. for Num Meth in Engne, 1970, 2(3)
- 尹泽勇, 尹晶, 任培正. 分析实体—壳体组合结构及抗拉压平板—平面梁组合结构的一类过渡元素. 航空学报, 1982, 2(3)

3-D FINITE ELEMENT CYCLIC SYMMETRIC AND CONTACT STRESS ANALYSIS FOR A COMPLETE GEAR TRAIN

Yin Zeyong, Xu Youliang, Gao Xiangqun, Wei Gang
(*Nanhua Power Plant Research Institute*)

ABSTRACT A complete gear train of a reduction gearbox is the object of finite element stress analysis. One of the basic segments of the complete gear train is taken as the computational model in the light of the cyclic symmetry of the gear train, meanwhile the contact transmission forces between the corresponding meshed teeth are considered in the analysis of the model. For simplicity the corresponding meshed lines are used instead of the actual contact surfaces. Both torque and centrifugal loads are involved in the analysis. The stresses in all the parts of a complete gear train can be determined by one analysis. The computed results show that the contact force on a meshed tooth is correlative not only to the length of the meshed line, but also to its position, and, moreover, the neglect of the stress resulted from centrifugal load is inappropriate to a high speed gear train.

OPTIMUM BALANCING OF FLEXIBLE ROTOR

Liu Qizhou and Tao Xiande
(*Northwestern Polytechnical University*)

ABSTRACT A new criterion for optimum balancing of a flexible rotor is introduced, which is the minimum rotor strain energy criterion with constrains. This criterion meets the requirements for integral design of structure strength and performance of a gas turbine aeroengine. In this criterion the balance correction masses (quantity and orientation) are the optimum design variable, the objective function of optimization is the total strain energy of the rotor and its supports. The response amplitudes at several cross-section along the rotor are taken as its constraints. The Powell's method and the net random-ray method are chosen as optimum methods. A program is written with FORTRAN 77 for the whole optimization procedure. The program has been testified by a numerical example in comparison with its experiments.

STUDY ON PERFORMANCE OF SQUEEZE FILM DAMPER WITH OIL-AIR TWO-PHASE FLUID

Shen Xinmin, Li Qihan, Du Lijie
(*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

ABSTRACT This paper presents an analytical method for lubrication film performance of squeeze film damper with oil-air two-phase fluid on the basis of the testing results and numerical analysis of oil film cavitation. The calculational results for the pressure distribution of lubrication oil film are in good agreement with the experimental results. The damper performance data obtained from two-phase fluid analysis are also compared with the results calculated by pure oil film damper. It is