

# Modal Analysis of Transmission Shaft

Jianwei ZHOU

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

**Abstract:** In this paper, the finite element analysis software ANSYS is applied to the modal analysis of the transmission shaft of the reducer, and the dynamic weak position of the reducer is analyzed. The ANSYS software is applied to the modal analysis of the first six orders of the drive shaft, and the natural frequency values of each order are found. Optimize the transmission shaft structure, so that the natural frequency after optimization avoids the working frequency of the transmission shaft.

**Keywords:** Reducer drive shaft; Modal analysis; ANSYS

## 减速器传动轴的模态分析

周坚卫

重庆交通大学, 重庆, 中国, 400074

**摘要:** 本文应用 ANSYS 有限元分析软件对减速器传动轴进行模态分析, 由此分析找到它的动力学薄弱部位。并应用 ANSYS 软件对传动轴进行前六阶的模态分析, 找到各阶的固有频率值。优化减速器传动轴结构, 使优化后的固有频率避开了传动轴的工作频率。

**关键词:** 减速器传动轴; 模态分析; ANSYS

### 1 减速器传动轴介绍

如图 1 所示是减速器传动轴。减速器在原动机与工作机(或执行机构)之间起匹配转速和传递转矩的作用, 减速机是一种相对精密的机械, 它的作用是降低转速, 增加转矩。减速器是一种由封闭在刚性壳体内部的齿轮传动、蜗杆传动、齿轮蜗杆传动所组成的独立部件, 常用作原动件与工作机之间的减速传动装置。在原动机与工作机(或执行机构)之间起着匹配转速和传递转矩的作用, 在现代机械中应用极为广泛。减速器一般用于低转速大扭矩的传动设备, 把电动机、内燃机或其它高速运转的动力通过减速器的输入轴上的齿数少的齿轮啮合输出轴上的大齿轮来达到减速的目的。减速器传动轴传递转矩而不承受弯矩, 轴的材料常采用碳钢、合金钢和球墨铸铁。轴要有足够高的疲劳强度, 较低的集中应力敏感性和良好的加工性能。此外, 还需考虑其经济型、加工工艺性等。传动轴由轴头、轴颈、轴身三部分组成。轴上开有键槽。键联接通过键实现轴和轴上零件间的周向固定以传递运动和转矩的作用。

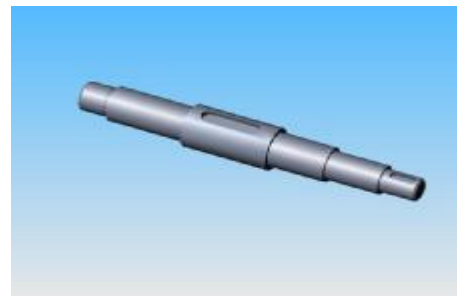


图 1. 减速器传动轴

### 2 传动轴模态的有限元分析

#### 2.1 模态分析的必要性

一般来说, 对一个结构进行静力分析可以得到它承受稳定载荷的条件, 但是这在实际的设计中远远不够。模态分析用于确定设计结构振动的固有特性, 即结构的固有频率和主振型, 它们是动态载荷和设计的重要参数。同时, 模态分析也可以作为其他动力学分析的起点, 例如动力分析、谐响应分析和谱分析, 其中模态分析也是进行谱分析或模态叠加谱分析或瞬态动力学分析所必须的前期分析过程。传动轴是减速器的重要部分, 在内部激励或外部激励的作用下有可能

发生机械共振，对整个系统产生严重破坏，同时，对人身安全也构成严重威胁。为了避免这些情况的发生，有必要对传动轴进行模态分析，求出固有频率和各阶振型。在进行结构优化设计时，使激振力的频率与系统的固有频率错开，就可以有效的避免共振。目前，进行模态分析最普遍的方法是有限元分析，就是利用有限元法在有限元分析软件 ANSYS 中对游梁进行模态分析。在结构振动中，高阶模态能量占比太低，对整个结构振动影响不大。通常模态分析做到前六阶即可。

### 2.2 传动轴的固有振动分析

减速器传动轴在工作时，因为受到周期性冲击载荷的作用，产生振动的高频分量就是传动轴的固有频率。影响传动轴固有频率的因素有很多，如传动轴的结构、刚度、硬度、材料、润滑油膜的厚度及各种阻尼等。近似计算可由下式计算：

$$f_0 = \frac{1}{2p} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

式中，k 和 m 分别为传动轴的等效质量和刚度系数，其大小可以查阅相关手册或者根据经验而定。

### 2.3 模态分析的步骤

模态分析过程主要由四个步骤组成：建模、网格划分、加载及求解、扩展模态、查看结果和后处理。

## 3 连杆的模态分析

启动 Solidworks, 建立减速器传动轴的三维模型，并保存与 ANSYS 兼容的格式，将模型导入 ANSYS 中。

### 3.1 定义单元属性和网格划分

这里选用六面体八节点进行网格划分，其力学特性为杨氏弹性模量为  $E=210\text{Gpa}$ ，泊松比  $\mu =0.269$ ，密度  $\rho =7850\text{kg}/\text{m}^3$ 。总体单元大小和面单元大小的尺寸设置为 8mm。

### 3.2 加载及求解

模态分析中，唯一有效的载荷是零位移约束，在这里，传动轴的两个端面沿 X 方向的移动要得到限制，并且有一个圆柱面的转动也要得到限制。进入求解器，设定分析类型为模态分析，计算前六阶模态。

采用稀疏矩阵求解器进行求解，并分析传动轴的总变形量。

### 3.3 查看结果

减速器传动轴一阶到六阶的频率如下图 2 所示：

	Mode	Frequency[Hz]
1	1.	716.77
2	2.	736.47
3	3.	2970.1
4	4.	3199.3
5	5.	3298.7
6	6.	6680.1

图 2. 减速器传动轴的前六阶固有频率

对应各阶的总变形云图如下图 3——图 8 所示：

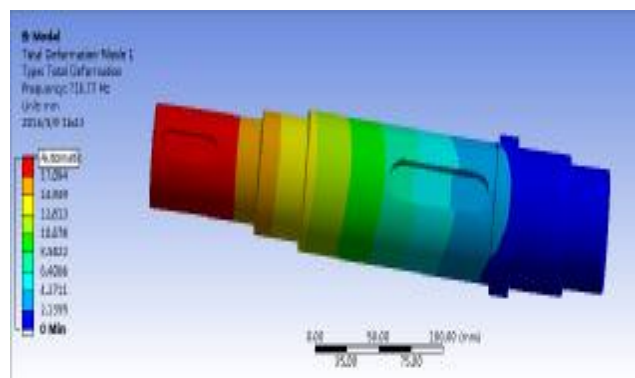


图 3. 一阶模态

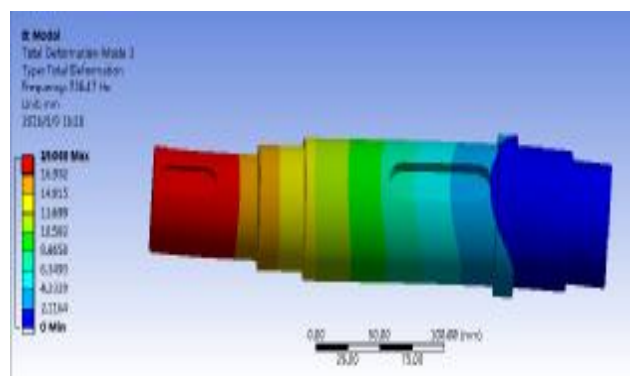


图 4. 二阶模态

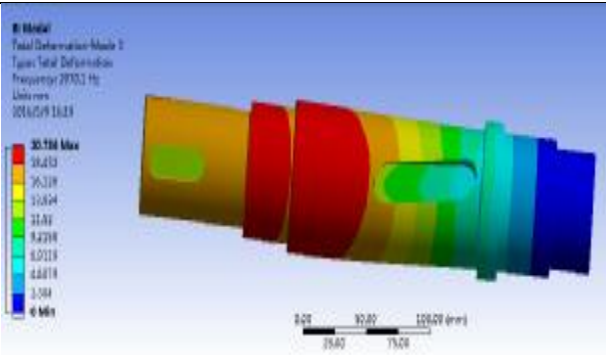


图 5. 三阶模态

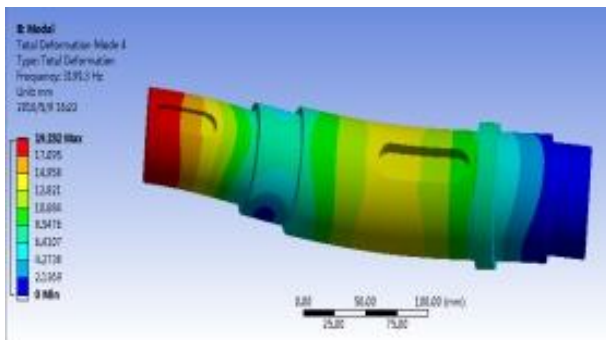


图 6. 四阶模态

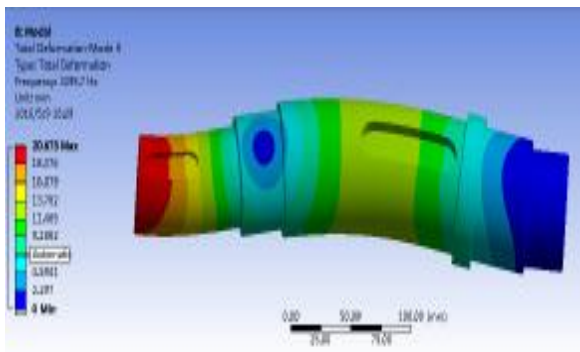


图 7. 五阶模态

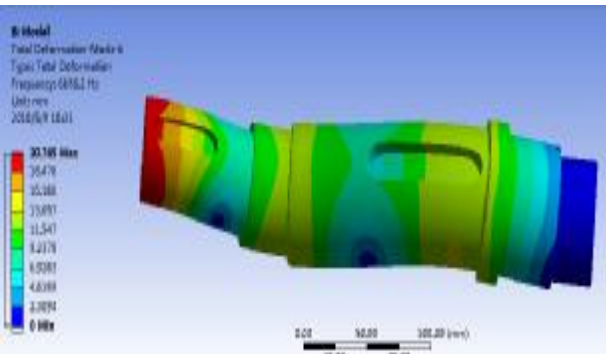


图 8. 六阶模态

从图 3 到图 8 的云图可以看出：一阶模态的振型为刚性，变形量较小；二阶模态的振型为前后弯曲；三阶模态的振型为前后弯曲；四阶模态的振型为扭转；五阶模态的振型为扭转和弯曲；六阶模态的振型为较大幅度的扭转和弯曲。

通过图 2 可以看出传动轴的固有频率在 716.77 到 6680.1Hz 范围类，而传动轴的工作频率在 0 到 3800Hz 内，因此，传动轴会发生低频共振的现象，为了避开工作频率，有必要对游梁进行结构优化，使得传动轴的工作频率避开其固有频率。

这里，将减速器传动轴的一个圆柱面的转动约束去掉，其他两个约束不变。用同样的方法对优化后的传动轴进行前六阶模态分析，其结果如下图 9-图 15 所示：

	Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Frequency[Hz]
1	1.	0.
2	2.	1.8409e-003
3	3.	1.9955e-003
4	4.	951.36
5	5.	977.04
6	6.	3673.3

图 9. 前六阶的固有频率

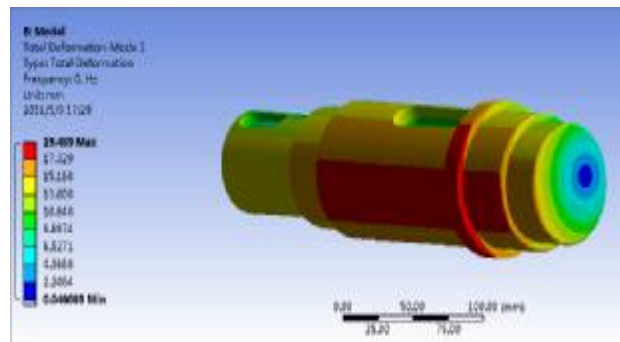


图 10. 一阶模态

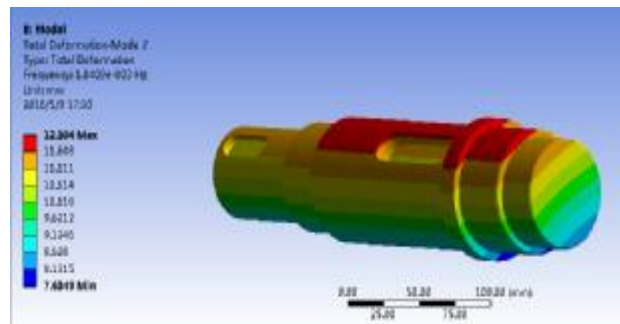


图 11. 二阶模态

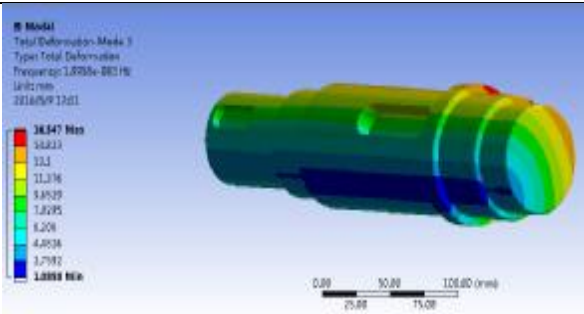


图 12. 三阶模态

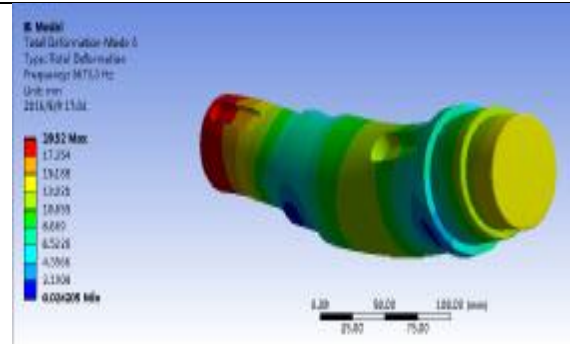


图 15. 六阶模态

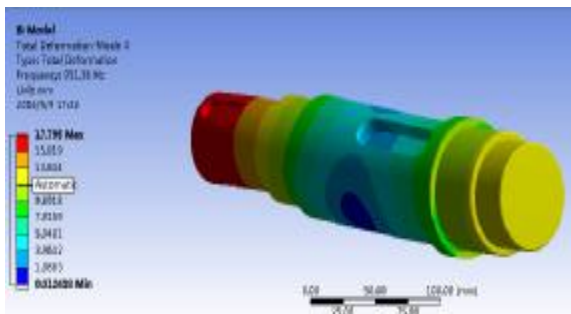


图 13. 四阶模态

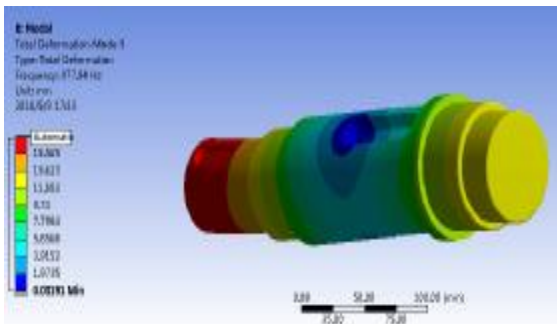


图 14. 五阶模态

从图 10 到图 15 的云图可以看出，一阶模态的振型为前部扭转；二阶模态的振型为上下弯曲；三阶模态的振型为左端前后弯曲；四阶模态振型为右端前后弯曲；五阶模态振型为扭转；六阶模态振型为扭转。

#### 4 结论

本文利用 ANSYS 有限元分析软件对减速器传动轴进行了前六阶的模态分析，找到了减速器传动轴前六阶的固有频率值，为传动轴的合理设计提供了理论依据。并通过优化使减速器传动轴的工作频率避开减速器传动轴的固有频率，从而避免了低阶共振的现象。

#### References (参考文献)

- [1] Miaotian Luan, Rong Tian, Qing Yang. Generalized Node Finite Element Method[J], Journal of Computational Mechanics, 2000,17(2):192-200.
- [2] Guojian Shao, Tifeng Liu. Generalized Finite Element Method and Application[J], Journal of Hohai University: Natural Science. 2020,30(4):28-31
- [3] Zhihong Liu, Zhihong Yin, Theoretical and Experimental Modal Analysis Methods of Mechanical Structures[J]. Modern Machinery.2005.
- [4] Wei Yang, Qingying Qiu, Jianjun Hu. Theoretical Modal Analysis method of Mechanical Structure[J]. Journal of Chongqing University. 2004,36(2).

**Subscriptions and Individual Articles:**

<b>User</b>	<b>Hard copy:</b>
Institutional:	800 (HKD/year)
Individual:	500 (HKD/year)
Individual Article:	20 (HKD)