

CAE Analysis of Spur Gear Group

Guo Tang

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, China, 400074
Email:401628977@qq.com

Abstract: In this paper, a 3D model of spur gear is established by using CATIA. The stress, strain and total deformation of gear group is analyzed by ANSYS, while subjected to the torque. The first six natural frequencies and the gear deformation is obtained by modal analysis. The analysis results show that the stress and strain on tooth root and tooth surface of gear group is lager under the condition of meshing transmission, so the failure of tooth root and tooth surface should be avoided to ensure the reliability of gear transmission.

Keywords: Gear;Finite element analysis; Modal analysis; ANSYS

直齿圆柱齿轮组的 CAE 分析

唐果

重庆交通大学, 重庆, 中国, 400074
Email:401628977@qq.com

摘要: 本文运用 CATIA 三维软件构建直齿圆柱齿轮组三维模型, 通过 ANSYS 软件分析齿轮组受到扭矩时的应力应变情况, 得到应力、应变和总变形云图; 利用模态分析, 取得其前六阶固有频率和相应齿轮变形量。分析结果表明, 齿轮组在啮合传动工况下, 齿根、齿面应力应变较大, 应当避免齿根、齿面失效保证齿轮传动的可靠性。

关键词: 齿轮; 有限元分析; 模态分析; ANSYS

1 引言

齿轮传动因其传动稳定可靠、效率高、工作寿命长等特点常用于航天、车辆、船舶等各行各业, 但是也存在着大量失效情况。提升齿轮工作时的稳定性与可靠性, 避免其失效损坏是现今研究的主要趋势。ANSYS 作为有限元分析的主流软件在工程应用中广泛使用, 同时 ANSYS 有和 CAD 软件的各种接口, 便于我们建模, 提高工作效率。ANSYS 包含静力学、模态、流体和电磁场等多种分析模块, 可以对各种各样的部件与作业情况进行分析。

本文运用 CATIA 构建齿轮组的三维模型, 然后将其导入 ANSYS 中分析静力学特性, 从而取得其在啮合运动时的应力和应变情况; 接着通过模态分析, 得到圆柱齿轮啮合时的前六阶固有频率, 进而找出它的失效部位; 最后提出相应预防措施, 进一步提升圆柱齿轮组传动时的稳定性和可靠性

2 基于 CATIA 的三维建模

2.1 大圆柱齿轮建模

首先设置大齿轮的各项参数, 其中齿数为 25, 齿顶隙系数为 0.25, 压力角为 20 度, 模数为 2, 变位系数为 0, 齿顶高系数为 1, 内圈草图如图 1 所示。

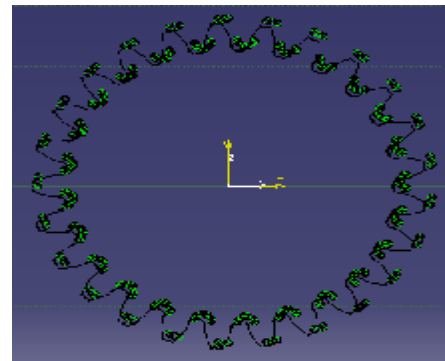


Figure 1. Sketch of Large Gear

图 1. 大齿轮草图

拉伸草图 1 可得大齿轮三维模型, 如图 2 所示。

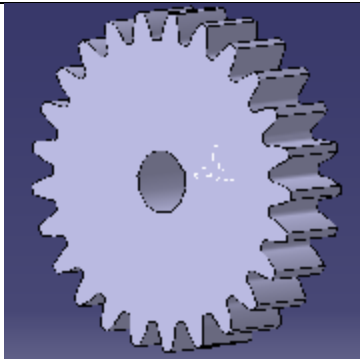


Figure 2. Three Dimensional Model of Large Gear
图 2. 大齿轮三维图

2.2 小圆柱齿轮建模

设置小圆柱齿轮齿数为 18，模数为 2，压力角为 20 度，齿顶高系数为 1，齿顶隙系数为 0.25，变位系数为 0，内圈草图如图 3 所示。

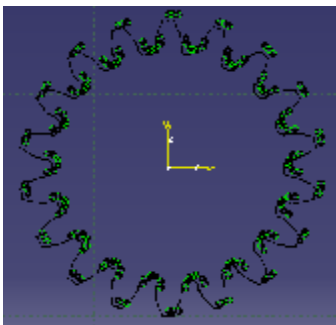


Figure 3. Sketch of Pinion
图 3. 小齿轮草图

由草图 3 可拉伸得到小圆柱齿轮三维模型，如图 4 所示。

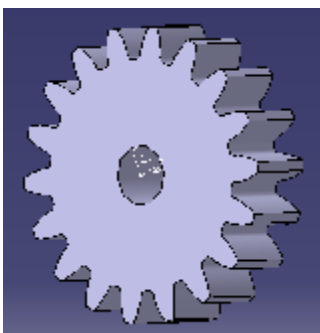


Figure 4. Three Dimensional Model of Pinion
图 4. 小齿轮三维图

2.3 大小圆柱齿轮的装配

新建装配体，导入大小圆柱齿轮两部分，添加轴向偏移和齿面偏移命令，装配体如图 5 所示。

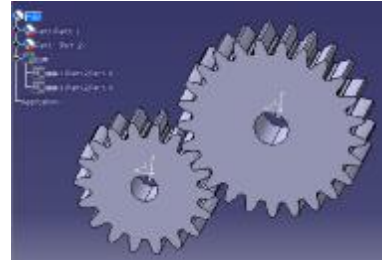


Figure 5. Three Dimensional Model of Gear Group
图 5. 齿轮组的三维图

3 基于 ANSYS 的静力学分析

3.1 材料设置

提取 ANSYS 的 Static Structural 模块，在 Engineering Data 中添加材料 40Cr 和 Structural Steel 两种材料，设置 40Cr 密度 7870kg/m³，弹性模量为 2.11E+11，泊松比为 0.277；设置 Structural Steel 的密度为 7850kg/m³，弹性模量为 1.667E+11，泊松比为 0.3，如图 6 所示。

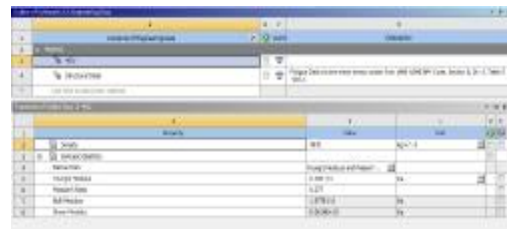


Figure 6. Addition of Material Attributes
图 6. 材料属性添加

导入圆柱齿轮装配体模型，设置各零件材料，小圆柱齿轮为 40Cr，大圆柱齿轮为 Structural Steel，如图 7 所示。

3.2 网格划分

圆柱齿轮的网格单元类型采用六面体形式，其大小设置为 1mm，相应的网格划分如图 8 所示。

3.3 添加约束

在大小圆柱齿轮的的中部内孔施加圆柱面约束，

使得其切线方向自由，其余五个自由度均为零；同时在小齿轮的轴径施加扭矩，具体约束设置如图 9 所示。

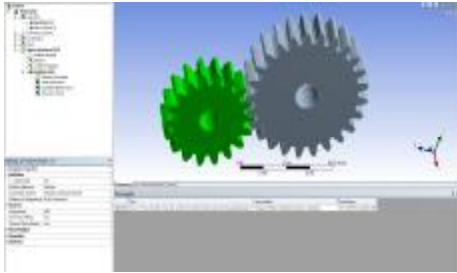


Figure 7. Material Setting of Part
图 7. 零件材料设置

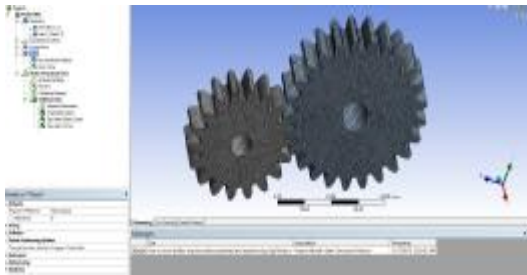


Figure 8. Grid Division of Gear Group
图 8. 齿轮组的网格划分



Figure 9. Constraint of Gear Group
图 9. 齿轮对的约束情况

3.4 静力学分析结果

在 Solution 中选择 Total Deformation、Equivalent Elastic Strain 和 Equivalent Stress，求解大小圆柱齿轮组的变形云图、等效应力和等效应变，如图 10、图 11、图 12 所示。

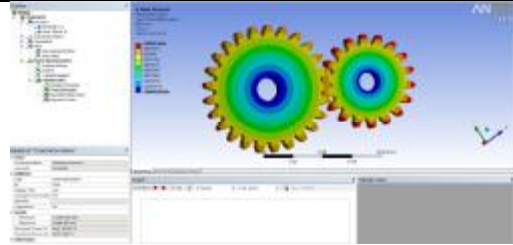


Figure 10. The Total Deformation of Gear Group
图 10. 齿轮组的总变形图

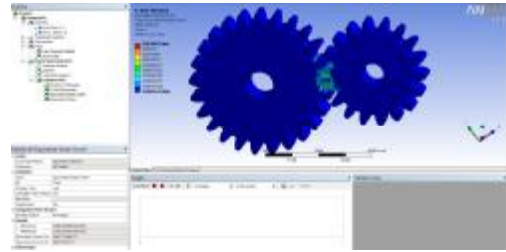


Figure 11. Equivalent Strain of Gear Group
图 11. 齿轮组的等效应变图

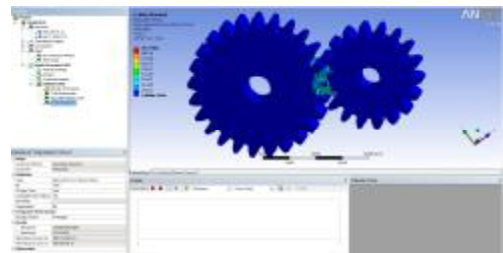


Figure 12. Equivalent Stress of Gear Group
图 12. 齿轮组的等效应力图

由上图可见，齿轮啮合运动时，其齿部变形量最大，齿根和齿面的应力和应变最大，即最容易发生断裂失效情况，进一步验证了齿根和齿面是齿轮失效的主要形式。

4 齿轮传动的分析

4.1 约束添加

圆柱齿轮模态分析与静力学分析使用相同的材料设置、网格划分。然后添加模态分析的约束，即在大小圆柱齿轮的内孔添加圆柱面约束，使得切向自由，其余五个自由度均为零，具体添加约束如图 13 所示。

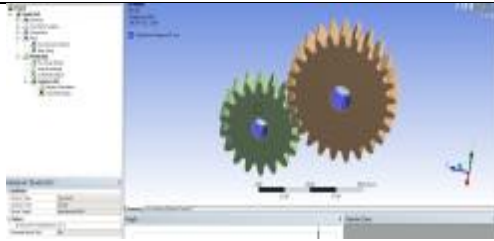


Figure 13. Addition of Constraint
图 13. 约束添加

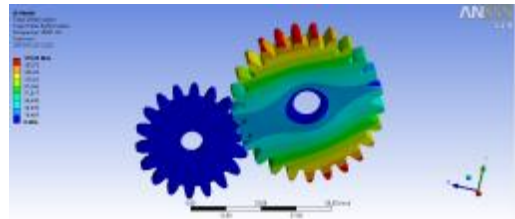


Figure 17. Deformation of Second Order
图 17. 二阶变形云图

4.2 模态分析结果

在 Solution 中选择 Total Deformation，求解大小圆柱齿轮组在各阶下的模态，分析结果如图 14、图 15 所示。



Figure 14. Graph of Six Order Frequency
图 14. 六阶频率图

Tabular Data		
	Mode	Frequency [Hz]
1	1.	14140
2	2.	15091
3	3.	16181
4	4.	18602
5	5.	21680
6	6.	23101

Figure 15. Frequency of Each Order
图 15. 各阶频率数值

第一阶到第六阶的圆柱齿轮组变形云图如图 16 到图 21 所示。

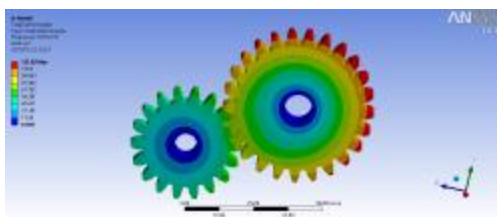


Figure 16. Deformation of First Order
图 16. 一阶变形云图

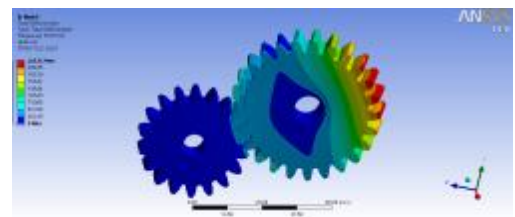


Figure 18. Deformation of Third Order
图 18. 三阶变形云图

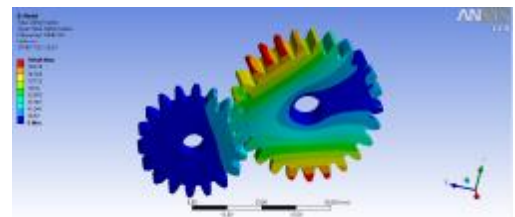


Figure 19. Deformation of Fourth Order
图 19. 四阶变形云图

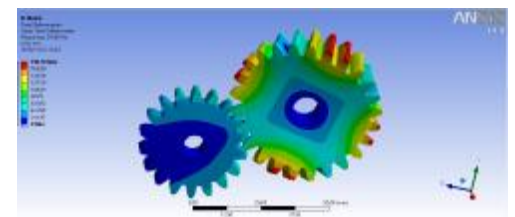


Figure 20. Deformation of Fifth Order
图 20. 五阶变形云图

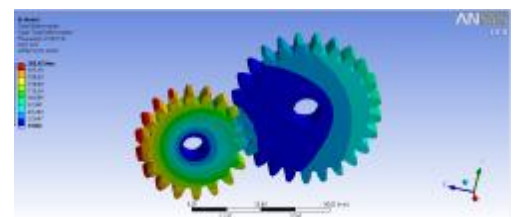


Figure 21. Deformation of Sixth Order
图 21. 六阶变形云图

根据模态分析结果可知圆柱齿轮组的固有频率为

14140Hz, 在该频率下齿轮组发生共振产生的破坏性最大。随着频率的增加, 在图 16 中的二阶频率、三阶频率等也会发生共振, 只是共振产生的破坏性逐步减弱。一般取部件的前六阶频率作为主要指标, 模态分析是为了避免圆柱齿轮在这些频率下工作, 从而发生共振, 使得圆柱齿轮发生变形破坏。

5 预防措施

通过对齿轮对的有限元分析可知, 在正常情况下, 齿轮啮合传动是满足强度要求的, 在冲击载荷或者超负荷状态下, 齿轮的齿根和齿面会发生较大的变形或齿面粘附和齿根断裂, 同时也应该避免循环应力产生疲劳损伤, 削减齿轮的寿命。

针对齿轮容易发生破坏的几种情况, 可以从以下几个方面进行预防, 提高齿轮传动的可靠性:

从齿轮的制造角度, 应在制造时, 选用模数较大的齿轮, 降低齿根弯曲应力, 提高齿根弯曲强度, 增强齿轮的可靠性。

在工作阶段应该避免出现冲击载荷或者齿轮传动超负荷运转, 以及齿轮传动过程中导致齿根折断或者齿面变形的应力集中现象, 同时还可以提升装配和安装的精准度以避免出现齿轮的偏载现象。

6 结论

根据有限元分析方法对圆柱齿轮组进行静力学分析, 分析了齿轮组在传动过程下的等效应力、等效应变和变形。从应力应变云图中可以看出齿轮的最大应力主要发生在接触齿面和齿根部位, 而在实际传动工作中齿轮的主要失效部位也是齿根和齿面。

利用 AYSYS 对圆柱齿轮组进行模态分析, 得到了前六阶固有频率以及各阶变形, 在使用时应当避免在这些频率下工作, 以免发生共振加速齿轮失效损坏。

在实际作业中应当避免集中应力和重复载荷等现象, 还应降低疲劳损伤和应力集中带来的影响, 进一步提升齿轮的可靠性及工作寿命。

References (参考文献)

- [1] 潘志富, 赵佃军, 刘二军等. 浅析中小型水闸启闭机常见故障的解决对策及技术标准[J]. 水电站设计, 2011, 27(1): 115-117.
Zhifu Pan, Dianjun Zhao, Erjun Liu. Analysis on The Solutions and Technical Standards of Common Failures of Small and Medium Sluice Hoist[J]. Design of Hydropower Station, 2011, 27(1): 115-117.
- [2] 刘哲, 陈定方, 陆忠华. 基于 ANSYS 的渐开线齿轮建模和有限元分析[J]. 湖北工业大学学报, 2008, 23(2): 35-37.
Zhe Liu, Dingfang Chen, Zhonghua Lu. Modeling and Finite Element Analysis of Involute Gear Based on ANSYS[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2008, 23(2): 35-37.
- [3] 陈伟. 非理想边界条件下铁路轮轨接触应力数值分析[D]. 北京: 燕山大学, 2003.
Wei Chen. Numerical Analysis of Contact Stress of Railway Wheel and Rail under Non Ideal Boundary Condition[J]. Beijing: Yanshan University, 2003.
- [4] 凡增辉, 赵熙雍, 晏红文. 基于 ANSYS 的斜齿轮接触有限元分析[J]. 机械传动, 2010, 34(4): 68-70.
Zenghui Fan, Xiyong Zhao, Hongwen Yan. The Contact Finite Element Analysis of Helical Gear based on ANSYS[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2010, 34(4): 68-70.
- [5] 朱彤. 齿轮弯曲应力的有限元分析[J]. 苏州市职业大学学报, 2008, 19(4): 22-23.
Tong Zhu. Finite Element Analysis of The Bending Stress of Gear[J]. Journal of Suzhou Vocational University, 2008, 19(4): 22-23.
- [6] 孙民, 王志远, 付为刚. 桥式起重机起吊过程的动力学分析[J]. 机械, 2010, 37(5): 12-14.
Min Sun, Zhiyuan Wang, Weigang Fu. The Dynamics Analysis of The Bridge Crane in The Hoisting Process[J]. Design and research, 2010, 37(5): 12-14.
- [7] 朱孝录, 鄂中凯. 齿轮承载能力分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993: 46-47.
Xiaolu Zhu, Zhongkai E. Analysis of The Bearing Capacity of Gear[M]. Beijing: Higher Education Press, 1993: 46-47.
- [8] 廖海平, 刘启跃. 齿轮塑性变形失效的安定极限分析[J]. 西南交通大学学报, 2010, 45(5): 676-680.
Haiping Liao, Qiyue Liu. Shakedown Limit Analysis for Plastic Deformation Failure of Gears[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2010, 45(5): 676-680.
- [9] 严范梅, 王明辉. 齿轮断齿失效分析[J]. 现代制造工程, 2005, (7): 128-129.
Fanmei Yan, Minghui Wang. Failure Analysis of Gear[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2005, (7): 128-129.
- [10] 程军红, 范福玲, 邱宝年. 解决齿轮轮齿断裂问题的有效方法[J]. 机械传动, 2002, 26(3): 52-53.
Junhong Cheng, Fuling Fan, Baonian Qiu. Effective Method to Solve The Fracture of Gear Teeth[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2002, 26(3): 52-53.