

ANSYS®



ANSYS中国技术大会
中国·上海

ANSYS在燃气轮机端面齿设计中的应用

李一峰/ 工程师

上海电气燃气轮机有限公司

主要内容

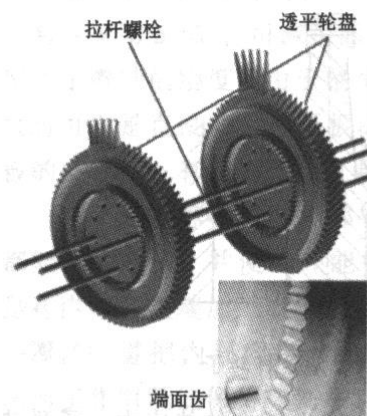
- 1 端面齿结构介绍
- 2 基于ANSYS的端面齿刚度计算
- 3 基于ANSYS的端面齿强度计算
- 4 总结

1 端面齿结构介绍

• 端面齿结构的应用

- 航空发动机和重型燃气轮机转子中广泛应用
- 端面齿的结构分类，主要有两种形式：
 - 平面接触形式端面齿：大功率机车驱动和重型燃气轮机转子轮盘定位和传扭
 - 弧面接触形式端面齿：航空发动机转子和三菱重型燃气轮机透平转子轮盘定位和传扭

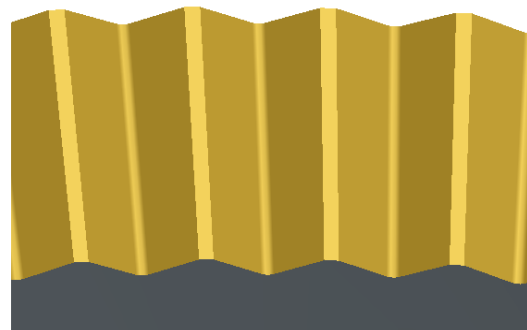
• 端面齿结构型式



弧形端面齿



平面端面齿



平面端面齿实体模型

• 端面齿结构的优势

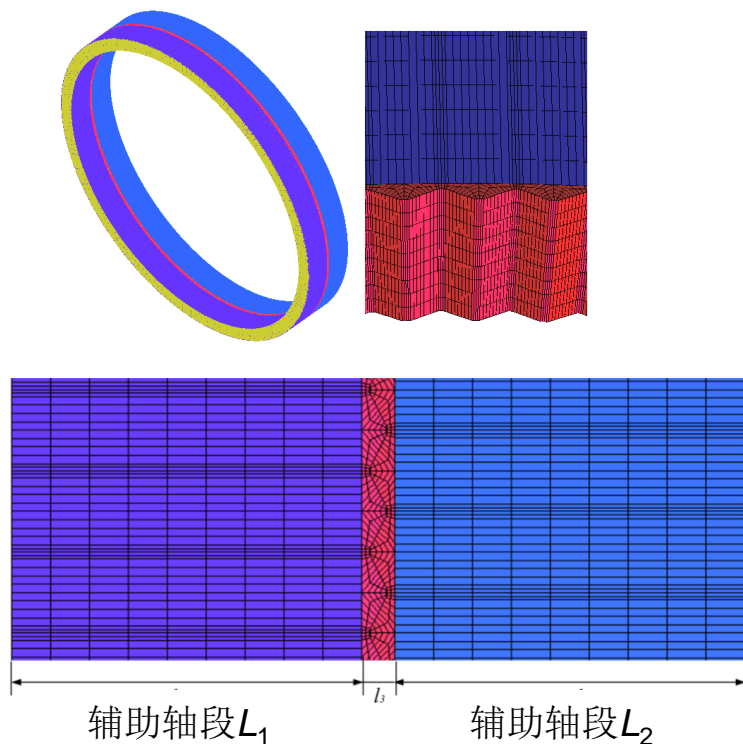
- 自动对中、传扭可靠、刚度大、定位精度高

2 基于ANSYS的端面齿刚度计算

• 端面齿刚度计算的意义

- 由于端面齿结构的存在，引起转子结构非连续，其刚度相比连续结构有弱化，对转子振动特性分析有一定影响。

• 端面齿刚度计算方法



整体弯曲刚度有
限元计算：

$$K_b = \frac{M}{\theta}$$

整体弯曲刚度与各
段刚度关系：

$$K_b = \left(\frac{1}{K_{1b}} + \frac{1}{K_{2b}} + \frac{1}{K_{3b}} \right)^{-1}$$

辅助轴段刚度：

$$K_{1b} = \frac{EI_d}{L_1}, \quad K_{2b} = \frac{EI_d}{L_2}$$

端面齿弯曲刚度
修正系数：

$$\alpha = \frac{K_{3b}}{EI_d/L_3}$$

2 基于ANSYS的端面齿刚度计算

- 整体弯曲刚度有限元计算过程：
 - 材料设置参数：
 - 单元类型：8节点实体单元（Solid185）
 - 端面齿啮合接触对设置：
 - 约束与载荷：
 - 辅助轴段1端部节点以MPC形式绑定于控制节点1，在控制节点1上加[全约束](#)；
 - 第1载荷步：辅助轴段2端部节点施加预紧压力；
 - 第2载荷步：辅助轴段2端部节点以MPC形式绑定于控制节点2，控制节点2上施加[转角位移载荷 \$\theta\$](#) ；
 - 求解：
 - 静强度非线性求解，得到控制节点2的[支反弯矩 \$M\$](#) 。

2 基于ANSYS的端面齿刚度计算

• 考虑端面齿刚度修正系数的转子动力学计算：

- 材料参数设置：根据刚度修正系数，对端面齿啮合段弹性模量加以修正

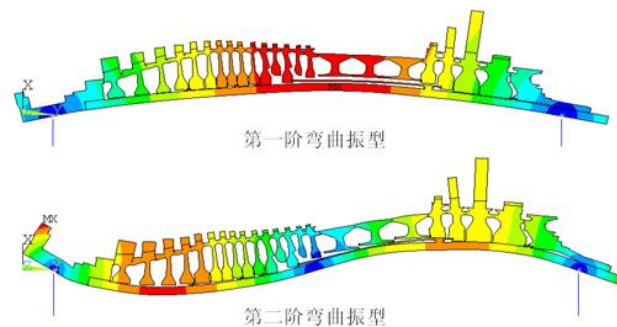
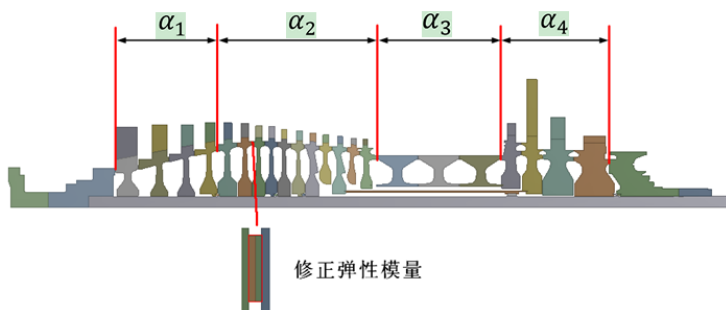
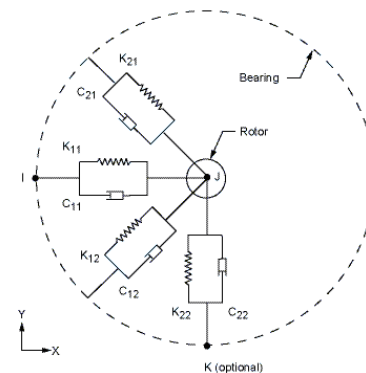
• 单元类型：

- 转子：8节点轴对称谐波实体单元（Solid273）

- 轴承：Combi214

• 求解：

- 模态计算，得到转子各阶临界转速



3 基于ANSYS的端面齿强度计算

• 研究对象

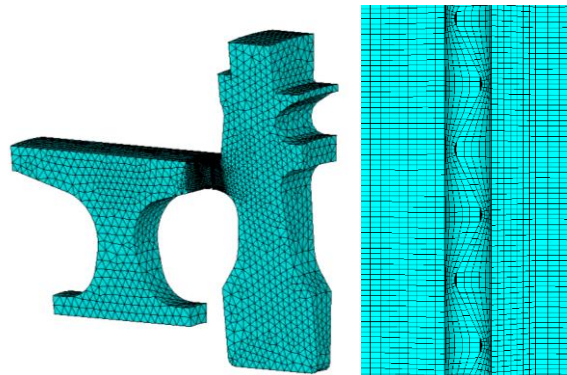
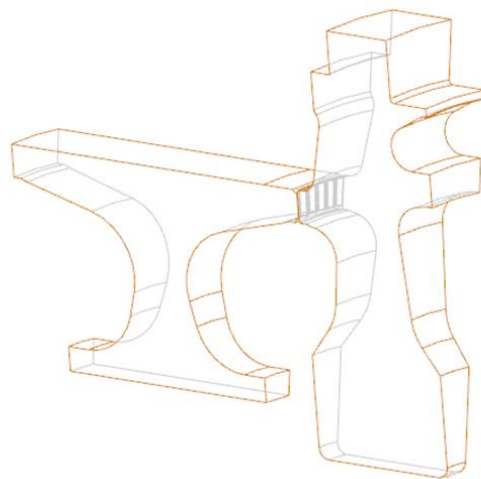
- 某型燃气轮机扭矩盘与透平轮盘啮合端面齿强度计算

• 模型简化

- 按1/36循环对称模型处理，取5个齿进行计算研究；
- 为方便施加约束与载荷，只建立第三级力矩盘与透平第一级轮盘啮合面的端面齿结构，其余两侧的端面齿均忽略；
- 叶片对转子产生的离心力载荷通过施加在轮盘外径处的等效径向压强模拟；
- 忽略转子自身重力因素影响，忽略冷却孔等细节结构。

• 网格划分

- **端面齿啮合段**：采用精度较高的六面体单元进行网格划分，且在端面齿部分细化网格
- **轮盘整体模型**：采用较粗的四面体单元进行网格划分
- **端面齿与轮盘本体结构过渡区域**：采用五面体单元进行过渡



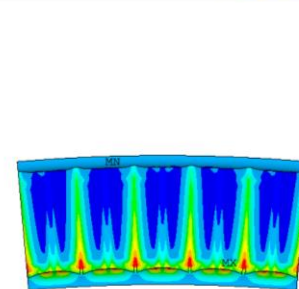
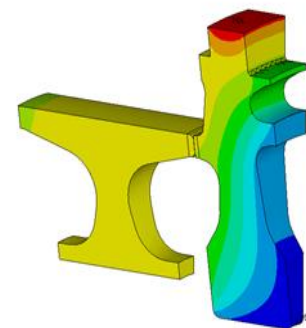
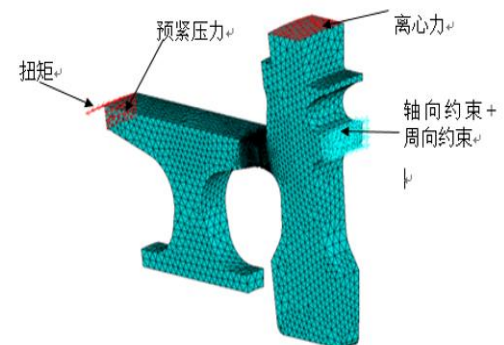
3 基于ANSYS的端面齿强度计算

• 边界条件

- 模型整体施加循环对称约束。
- 位移约束：透平第一级轮盘出气侧接触面节点施加轴向约束和周向约束。
- 接触设置：端面齿接触面施加接触，设置为standard非对称接触，摩擦系数设置为0.3。

• 载荷数据

- 旋转叶片的离心力
- 转子自身结构在工作转速下的离心力载荷
- 预紧力
- 扭矩
- 稳态温度场



4 总结

- 由于端面齿结构的自动对中、传扭可靠、刚度大、定位精度高的优点，在航空发动机与重型燃气轮机中有着广泛应用，对其刚度与强度特性进行计算分析，非常有必要；
- 基于ANSYS考虑接触效应，建立端面齿啮合段刚度计算分析有限元模型，获得相比连续结构的刚度修正系数；建立2-D轴对称转子动力学分析模型，并考虑端面齿刚度弱化，完成某型燃气轮机转子动力学计算；
- 基于ANSYS，考虑燃气轮机工作所受温度载荷、离心力载荷、预紧力、扭矩等，完成端面齿结构应力场计算。

ANSYS®



ANSYS中国技术大会
中国·上海

感谢聆听