

齿轮箱的振动噪声

安留学

交通与车辆工程学院, 山东理工大学, 山东, 淄博

简介: 齿轮的传动误差是齿轮产生振动噪声的主要原因, 通过Comsol仿真计算得到齿轮的传动误差、法向加速度及齿轮箱外场噪声辐射结果, 根据齿轮的传动误差结果, 探究对齿轮振动情况的影响, 结合对箱体的模态分析数据, 进一步评价齿轮箱的声学性能。

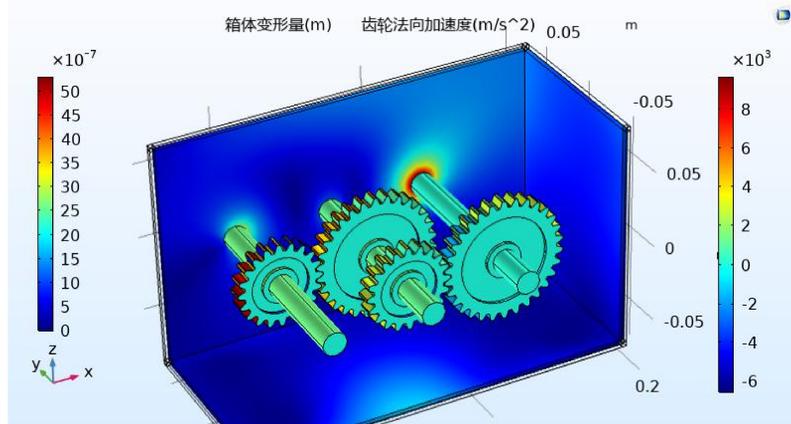


图 1. 齿轮法向加速度及箱体变形量结果

计算方法: 仿真采用Comsol多体动力学模块对齿轮箱的振动情况进行计算, 得到齿轮及箱体的位移、应力、法向加速度及齿轮副传动误差等数据。再将得到的箱体法向加速度转换为频域, 并作为噪声源, 在压力声学模块对齿轮箱的近场、远场及外场进行噪声辐射分析。最后对齿轮箱进行约束模态分析, 求解得到齿轮箱的固有频率和振型等数据, 通过与多体动力学模块求解的刚体位移数据对比, 检验箱体是否存在共振问题。

多体动力学模块求解方程如下:

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = \nabla \cdot (\mathbf{F}\mathbf{S})^T + \mathbf{F}_V, \quad \mathbf{F} = \mathbf{I} + \nabla \mathbf{u}$$

齿轮副传动误差求解方程如下:

$$\theta_{et} = \frac{e_{t.}}{r_{pn}} \|\mathbf{e}_{pa} \cdot \mathbf{e}_{3,pn}\|$$
$$e_t = e_{wh.}(\theta_{m,wh}) + e_{pn.}(\theta_{m,pn})$$

齿轮箱模型如图1所示, 小齿轮为主动轮, 两对啮合齿轮副采用相同的规格。输入轴施加转速, 输出轴施加反作用力矩。计算得到的箱体表面的法向加速度作为压力声学模块的声源, 压力声学模块先进行时域到频域的傅里叶变换, 再考察2000Hz频率下齿轮箱的噪声辐射情况。齿轮箱的外部边界设定为距其0.5m远处的球形域。

齿轮的传动误差是指主动轮转过一定角度时, 从动轮实际转过的角度与理论转角之间的偏差, Comsol中采用弧度制衡量这种偏差。由于齿轮啮合过程中刚度的变化, 齿轮传动过程中的振动不可避免, 传动误差能够反映这种波动, 因此, 传动误差的求解与齿轮箱的振动噪声密不可分。

结果:

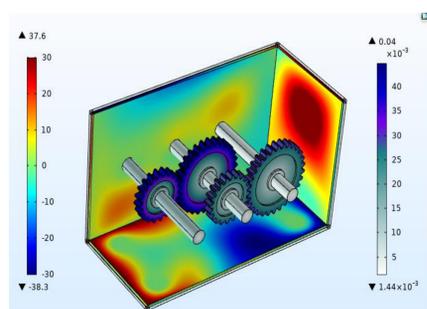


图 2. 箱体法向加速度

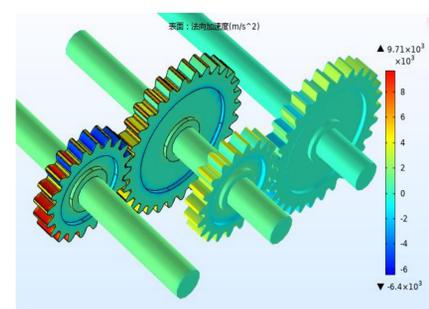


图 3. 齿轮法向加速度

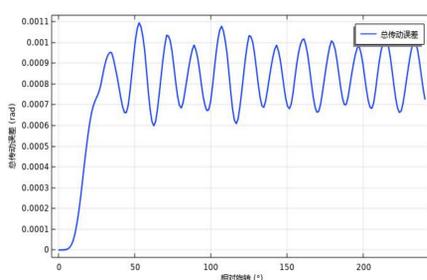


图 4. 总传动误差

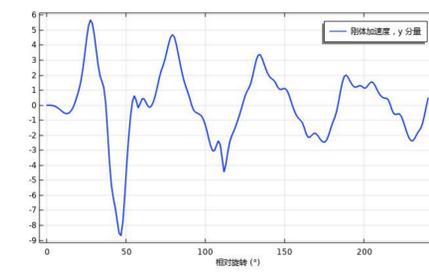


图 5. 齿轮加速度

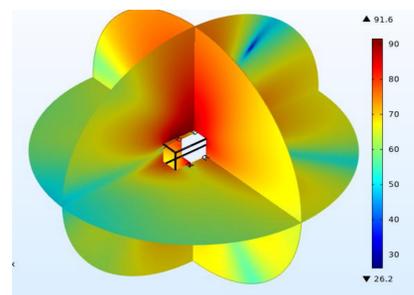


图 6. 近场声压级

特征频率 (Hz)	角频率 (rad/s)	阻尼比 (1)	品质因子 (1)
567.93	3568.4	0.0000	Inf
1155.8	7262.1	0.0000	Inf
1163.6	7311.0	0.0000	Inf
1426.5	8963.0	0.0000	Inf
1468.9	9229.3	0.0000	Inf
1898.3	11927	0.0000	Inf
2033.3	12776	0.0000	Inf
2204.7	13853	0.0000	Inf
2370.0	14891	0.0000	Inf
2661.9	16725	0.0000	Inf

表 1. 特征频率

结论: 从图2和图3的结果可以看出, 箱体表面的法向加速度最大为37.6m/s², 而齿轮转动产生的法向加速度达到9710m/s², 可见齿轮在工作时自身的振动非常剧烈。齿轮副传动误差呈现类似正弦曲线的周期波动形式, 这与齿轮接触力结果一致。齿轮加速度曲线对应传动误差曲线在进入下一个循环周期时有波动现象, 推测可能是由于齿轮重合度的问题, 波动处是第二个轮齿进入啮合时造成的。近场声压级结果显示齿轮箱噪声向正上方辐射严重, 实际应用中应加强齿轮箱正上方的降噪措施。表1显示了齿轮箱前10阶的固有频率, 可以结合多体动力学模块求解的刚体位移结果推测结构是否产生共振现象, 从而在实际设计工作中避免类似的问题。齿轮啮合周期期间出现加速度波动情况的具体原因只是笔者的推测, 还需要进一步研究确定。

参考文献:

1. 唐进元. 齿轮传递误差计算新模型 [J], 机械传动, 2008, 32 (6) :13-15
2. 何蕴如, 宋福堂. 齿轮与齿轮箱振动噪声机理分析及控制 [J]. 振动、测试与诊断, 1998, 9
3. 陈建玲. 改善齿轮噪声的措施 [J]. 机械传动. 2004, (1) :61-64.
4. 夏卿坤. 齿轮传动噪声的控制 [J]. 机械设计与制造. 2005, (3) :85-86.
5. 唐增宝等. 直齿圆柱齿轮传动系统的振动分析计算 [J]. 华中科技大学学报, 1993, (4) :44-49.
6. 李开泰. 有限元方法基础及其应用 [M]. 西安. 西安交通大学出版社1999, 4: P285-287
7. 沃德·海伦等. 模态分析理论与试验 [M]. 北京. 北京理工大学出版社. 2001 3 P106-128