

某汽车离合器齿轮齿条接触应力分析

□ 北华大学机械工程学院 / 乔晗 范久臣 史亮

针对某汽车离合器齿轮齿条机构正常工况下的接触应力分布不均特性,在RecurDyn软件中建立刚柔耦合多体动力学模型,对整个工况进行运动学和动力学仿真,研究齿轮齿条的运动学和动力学特性,寻找应力集中位置。研究结果表明,齿轮齿条的应力集中位置分别在齿根和齿顶部位呈条状和圆形状分布且二者的最大集中应力出现在不同时刻。

齿轮齿条是常见的传动机构,被广泛应用在汽车离合器执行机构中。与其他零件相比属于结构比较复杂的零部件,在受到外力作用时更容易产生变形和应力集中。齿轮齿条啮合时存在接触冲击,从而引起振动和磨损,影响机构的可靠性。因此对齿轮齿条传动机构进行动力学特性研究、寻找应力集中位置具有重要意义。虚拟样机技术又被称为动态仿真技术,采用虚拟样机技术具有简化研发过程,缩短研发周期,降低成本等优点。对刚性齿轮齿条运动学和动力学分析能够正确反应零件与零件之间的运动学和动力学关系以及零件自身的速度、位移、加速度,但是多刚体动力学分析忽略了零部件自身的属性、形状变化以及应力集中等情况。考虑到齿轮齿条传动机构的特点,对齿轮齿条机构进行刚柔耦合动力学特性研究,寻找应力集中位

置。刚柔耦合实际上是指由多个刚体或柔性体通过一定方式相互连接构成的复杂系统,是多刚体系统动力学的自然延伸。

齿轮齿条模型建立

1. 三维几何模型建立

本文主要针对某汽车离合器执行机构中相互啮合的齿轮齿条进行多体动力学分析。通过三维建模软件CATIA对齿轮齿条进行建模(见图1),并完成零件间的装配和是否发生干涉的检查工作,以确保装配的正确性。齿轮齿条的驱动由电动机提供。驱动和载荷都通过其他零部件提供,所以需连同其他部件进行装配。

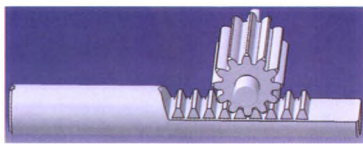


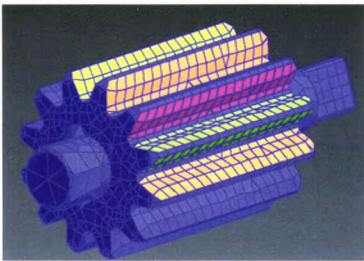
图1 齿轮齿条的三维模型

2. 刚柔耦合模型建立

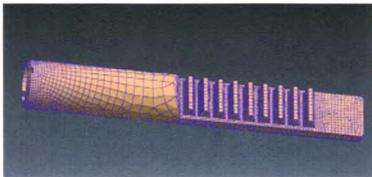
齿轮齿条在受到外力的情况下会产生应力集中和局部变形,这种变化很大程度上会影响零件间的动力传输,因此对齿轮齿条进行柔性化十分必要。将CATIA建立好的模型导入到RecurDyn软件中,在导入过程中尺寸要进行严格的匹配。

通过RecurDyn中的柔性体模块对部分刚体进行柔性化处理。在刚柔耦合分析过程中,柔性体的个数直接影响到运算速度,因此,为了在不影响计算精度的前提下提高计算效率,分别对齿轮齿条柔性化,来进行刚柔耦合动力学分析。柔性化后的齿轮、齿条如图2所示,其中彩色部分是刚性体和柔性体之间的接触面。

在齿轮齿条传动机构中,对于齿轮齿条的相互作用力可用两者接触过程中所产生的接触力来表示。在两者啮合时,小区域内发生接



柔性齿轮



(b) 柔性齿条
图 2

触，可以视作弹性物体的非协调接触。

刚柔耦合多体动力学分析

在此之前一些科研人员对齿轮啮合仿真计算的参数选取作了相应研究。对建立好的齿轮齿条刚柔耦合模型进行多体动力学分析，查看分析结果。由于齿轮齿条传动是线接触机构，其接触应力的的大小对于齿轮齿条的使用平稳性和使用寿命有着重要影响。齿轮齿条的结构复杂且工作过程中接触位置不断变化，要通过理论公式得到齿轮齿条啮合过程中的实际接触应力非常困难，故仿真便显得尤为重要。

1.运动学分析

由于齿轮齿条间出现应力集中现象与机构的运动学特性有关，机构工作过程中加速度越大往往更容易发生应力集中现象，故对机构进行运动学分析是很有必要的。由于齿轮齿条是相互啮合的，对于运动学分析来说，齿条的速度和加速度

同时能够反应出齿轮的角速度和角加速度，所以选择齿条的速度和加速度进行分析。

试验表明，齿轮齿条机构在一个运动周期内的开始阶段和结束阶段加速度有突变。

2.接触力分析

分别把齿轮和齿条作为柔性体进行刚柔耦合动力学分析，根据所得接触力曲线图分析可知：

- (1) 柔性齿条所受的接触力出现了多处明显波动，这些波动能反应部件本身集中应力的出现时刻和变化趋势。
- (2) 当齿轮作为柔性体时，机构在动作开始阶段和结束阶段时的突变更为剧烈。

3.集中应力分析

由于齿轮齿条结构相对复杂，故在受到外力作用时会有局部应力的产生。分析过程中，不计齿轮系统的热变形和接触表面的弹性流体动力润滑机理，接触表面摩擦作用服从于库仑定律。图3和图4分别为柔性齿轮和柔性齿条在受到外力作用后产生的局部应力。从图中可以观察到：

- (1) 柔性齿条的最大集中应力出现在和齿轮啮合的齿顶附近，应力集中区域呈环形状分布。
- (2) 柔性齿轮的最大集中应

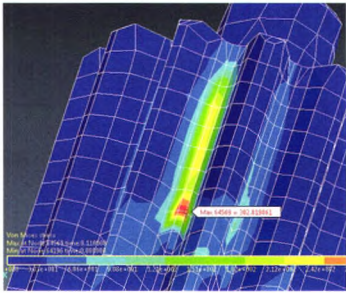


图3 齿轮的应力云图

力出现在和齿条啮合的齿根附近，应力集中的区域呈带状分布。

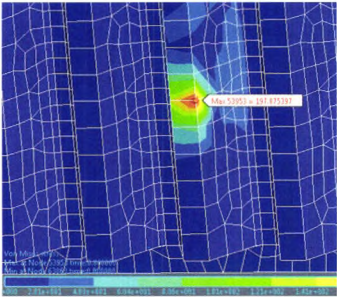


图4 齿条的应力云图

实例验证

由于相互啮合的齿轮齿条正常工况下，齿轮的接触集中应力要远远高于齿条的集中应力，故齿轮更容易发生塑性变形。图5为实际工作中该传动机构的齿轮实物图，从图中可以观察到齿轮发生塑性变形的位在齿根部位，刚好与前面的仿真结果一致。

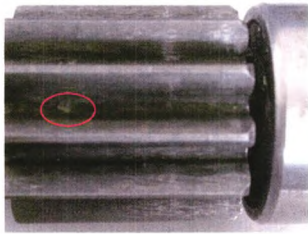


图5 齿轮塑性变形实例

结语

运用刚柔耦合方法分析了某汽车离合器执行机构齿轮齿条整个工况下的接触应力变化，通过对整个啮合过程的分析可以看出：齿轮最大集中应力位置出现在与齿条啮合的齿根附近，呈带状分布；齿条最大应力集中位置出现在与齿轮啮合的齿顶附近，呈环状分布；齿轮更容易出现应力集中现象，且齿轮齿条集中应力的最大值出现在不同的时刻。AME