

基于 NX 的差动轮系三维建模与运动仿真分析

撰文 / 齐齐哈尔工程学院 矫健

差动轮系应用广泛，可以用于速度合成和分解，或用于变速传动。在本文中，应用 NX 软件中齿轮工具箱，进行差动轮系传动机构中直齿圆柱齿轮精确三维建模、齿轮啮合和齿轮移动等过程，同时在运动仿真模块进行差动轮系运动仿真分析，为零件的工艺设计或零件有限元分析等后续工作奠定基础，从而减少重复劳动，提高工作效率。

一、引言

行星轮系卷扬机传动机构安装在卷筒内，具有传动比范围大、结构非常简单、自重及外形尺寸小等优点，在很多领域得到广泛应用。在设计轮系过程中，如果结合 NX 中 GC 工具箱、运动仿真模块对轮系进行运动仿真分析，能有效验证设计过程，还可以直接利用工程图模块进行齿轮工程图制作，提供工作效率和研发进度。

二、差动轮系卷扬机传动机构分析

差动轮系卷扬机减速机构在卷筒内存和卷筒一起组成传动机构，较以往常见的卷扬机机构复杂，如图 1 所示。齿轮 1 与气动马达相连，齿轮 5 与主电机相连，当主电机断电时，齿轮 5 抱死，为保护传动装置，气动马达开启，齿轮 1 变成主动轴开始工作。

1. 轮系组成分析

1、2-2'、3 和 H1（系杆）组成周转轮系 1，传动比记为 i_1 ；3'、4、5 和 6（系杆）组成周转轮系 2，传动比记为 i_2 ；6、7、H1 和 H2（系杆）组成周转轮系 3，传动比记为 i_3 。

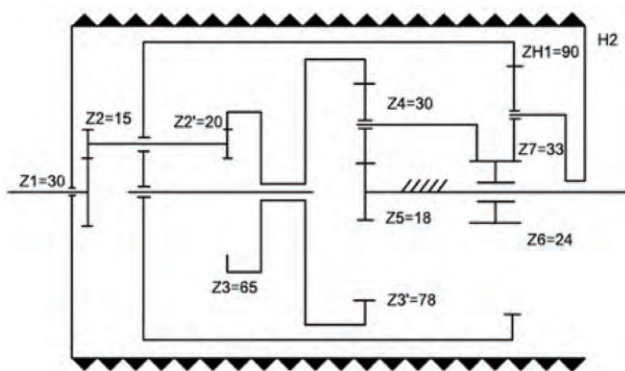


图 1 差动轮系卷扬机传动机构简图

2. 传动计算

周转轮系 1，转化为定轴轮系后，传动比 i_1 公式为：

$$\frac{W - W_1}{W - W_1} = -\frac{Z}{Z'} \times \frac{Z}{Z'} = i \quad (1)$$

周转轮系 2，转化为定轴轮系后，传动比 i_2 公式为：

$$\frac{W - W}{W' - W} = \frac{0 - W}{W' - W} = -\frac{Z}{Z'} \times \frac{Z'}{Z} = -\frac{Z'}{Z} = i \quad (2)$$

3-3' 行星轮 $W_3=W_{3'}$ ，公式为：

$$\frac{-W}{W - W} = -\frac{Z}{Z'} \times \frac{Z'}{Z} = -\frac{Z'}{Z} = i \quad (3)$$

周转轮系 3，转化为定轴轮系后，传动比 i_3 公式为：

$$\frac{W - W_2}{W_1 - W_2} = -\frac{Z}{Z'} \times \frac{Z_1}{Z} = -\frac{Z_1}{Z} = i \quad (4)$$

通过联立 i_1 、 i_2 和 i_3 可知，在已知 W_1 、 W_6 速度条件下，整个传动计算才能正常解算，即差动轮系才能有确定运动，所以该差动轮系的原动件为 1 和 6，在运动仿真过程中，需要设定 1 和 6 的转速，才能实现整个差动轮系的运动仿真。

三、差动轮系三维建模

1. 齿轮工具箱

NX 软件的 GC 工具箱提供了渐开线圆柱齿轮建模模块，用户只需要根据相应的齿轮参数如模数、齿数及压力角等信息即可迅速完成齿轮建模，还可利用齿轮啮合功能完成每对齿轮的啮合建模，方便快捷，再结合相关建模方法即可完成轮系建模。

2. 直齿圆柱齿轮

利用创建齿轮功能，根据齿轮类型，勾选外啮合或者内啮合齿轮，确定后，设定相应的齿轮参数。根据图 1 中机构的各齿轮齿数完成相应齿轮建模，本文中轮系中齿轮模数均为 2.5，齿宽 20，压力角为 20° 。

设置参数后，系统要求设定矢量和点，前者指圆柱齿轮轴线方向，后者指圆柱齿轮圆柱中心，这两个参数的设置，主要依靠机构简图来确定，一般直接在绘图区域进行点选即可，如图 2 所示。

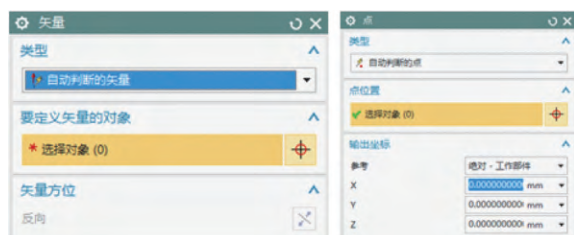


图 2 矢量和点设置

设置完毕后，系统随即开始该齿轮的建模过程直至完成，如图 3 所示。

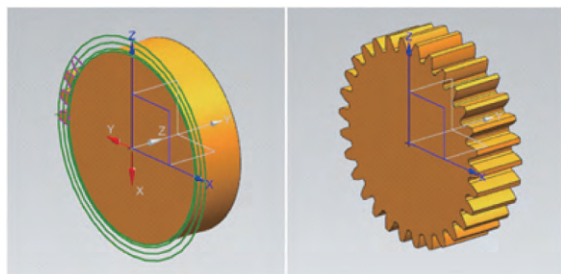


图 3 齿轮工具箱参数化建模过程

3. 齿轮啮合

按照图 1 差动轮系机构简图，按照每对齿轮啮合关系和顺序进行建模，建立出两个需要进行啮合的圆柱齿轮，如图 4 所示。

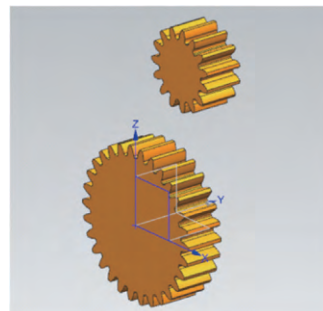


图 4 分离圆柱齿轮

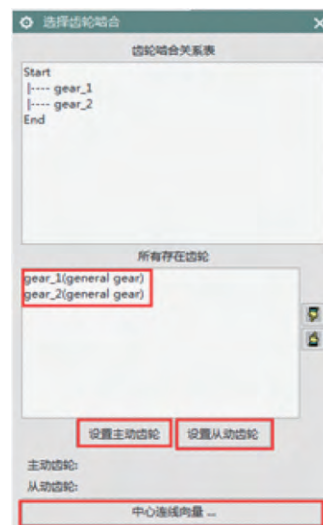


图 5 齿轮啮合

啮合齿轮时，需要设置主动齿轮和从动齿轮，注意区分概念，这里的主动和从动是指在软件中，齿轮啮合过程里，不动齿轮和动齿轮，即主动齿轮为固定不动齿轮，从动齿轮为动齿轮向主动齿轮移动，完成二者啮合过程，如图 5 所示。中心向量控制啮合位置，规定主动齿轮中心指向从动齿轮中心，根据实际啮合位置，选择相应的矢量方向，完成啮合，如图 6 所示。

4. 移动齿轮

在差动轮系齿轮建模过程中，有时需要对现有齿轮进行移动，按照指定坐标方向输入相应数值或者点到点等功能来完成，可以移动单一齿轮也可移动啮合后齿轮，该功能亦可设置是否保留啮合关系。

5. 差动轮系建模

根据图 1 机构简图，在 NX 软件中，利用齿轮工具箱和相应阵列操作，完成差动轮系建模过程，具体操作流程，如图 7 所示。

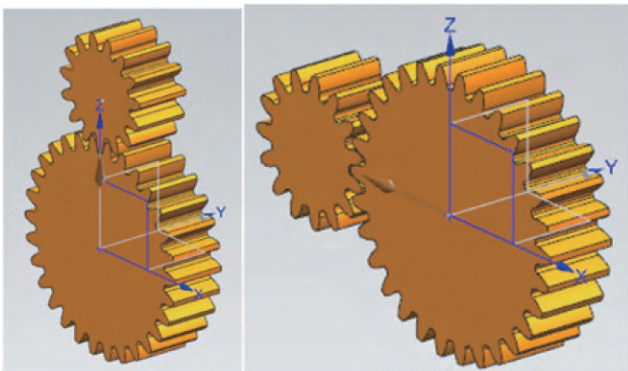


图6 不同方向齿轮啮合

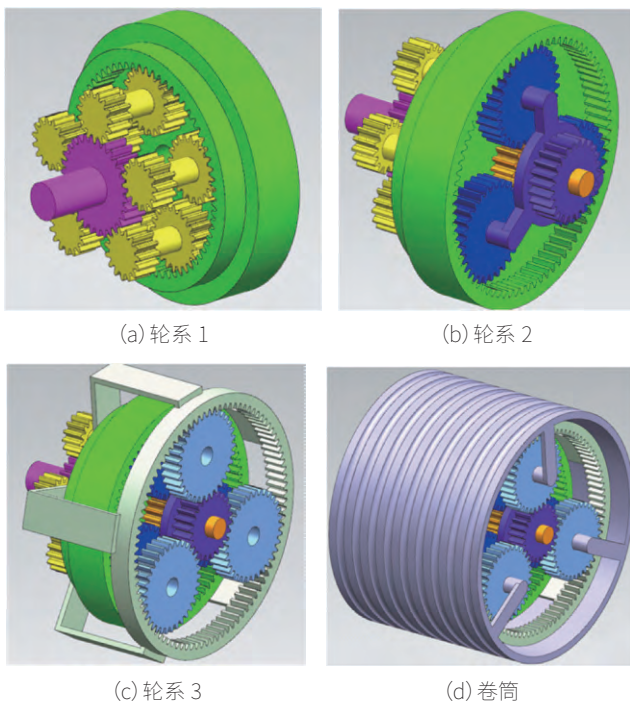


图7 差动轮系建模操作流程

四、运动仿真分析

在 NX 运动仿真环境中，差动轮系运动仿真顺序为：新建仿真→连杆→旋转副→齿轮副→解算方案→解算。连杆为运动仿真的组件；旋转副为仿真组件运动形式，同时可以设置相对运动杆件；齿轮副为两个旋转副之间的速度关系，即一对啮合齿轮，设置一个齿轮速度后，另一个齿轮的速度可以通过设置齿轮副来完成，而不必单独设置速度。齿轮副的建立，必须满足两个旋转副中均相对于同一个组件运动。

1. 连杆

连杆建立时，直接点选相应的组件即可完成连杆建立。差动轮系共建立 17 个连杆，它们分别是：1 个 1 齿轮、5 个双联齿轮 2-2'、1 个 H1 系杆、1 个双联齿圈 3-3'、3 个 4 齿轮、1 个 5 齿轮、1 个 6 齿轮、3 个 7 齿轮、1 个 H2 系杆。

2. 旋转副

差动轮系的齿轮旋转副中，“操作”指发生旋转的齿轮，“选择连杆”里直接选择连杆的圆弧边缘，可以一次完成连杆、原点和矢量等三个操作指定。注意所有齿轮旋转副方向要相同；“基座”指相对组件，对于已经完成装配关系的组件，不需要勾选啮合连杆，直接选择相对组件。

周转轮系中的齿轮均相对于系杆做相对运动，轮系 1 中，建立 7 个旋转副，1 个太阳轮 R1，5 个双联行星轮 R2，1 个双联太阳轮 R3，系杆 H1 作为相对组件；轮系 2 中，建立 3 个旋转副，3 个行星轮 R4，齿轮 6 作为相对组件，5 齿轮固定，不设置连杆或者设置固定副即可，本文选择前者；轮系 3 中，建立 5 个旋转副，3 个行星轮 R7，1 个太阳轮 RH1（轮系 1 中的系杆），1 个太阳轮 R6（轮系 2 中的系杆），系杆 H2 为相对组件，1 个系杆 RH2 不需要选择相对组件，即对地旋转。

3. 驱动设置

NX 齿轮运动仿真中，建立各个组件的旋转副，需要手工设置旋转速度，才能进行运动仿真。轮系中每个齿轮旋转副速度设置有两种方法，一是逐一设置每个旋转副的速度，二是设置轮系中输入端旋转副速度，建立齿轮副来完成啮合齿轮速度设置。往往在实际的复合轮系中，两种方法需要穿插使用，每一种方法都有其局限性，联合在一起使用，才能顺利快速完成整个轮系运动仿真。

(1) 表达式建立。

根据传动比计算，建立表达式和相关变量计算，如图 8 所示，实现参数化运动仿真过程，降低错误率，提高效率，后续修改相关参数后，可以直接解算完成仿真过程。

(2) 速度驱动。

对于 R1、R4 和 R6 旋转副相对组件不同，无法建立齿轮副进行速度设置，RH2 为系杆对地旋转副，所以均需要手工设置驱动速度；有的旋转副由于相对组件的存在，设置时需要减去相对组件速度。切换到驱动，设置驱动速度，直接调用表达式，根据每个旋转副中是否存在相对组件情况，

默认组		
i1	$-z2 \cdot z3 / (z1 \cdot z21)$	-1.625
i2	$-z31 / z5$	-4.333333333
i3	$-zh1 / z6$	-3.75
w1	750	750
w3	$w6 \cdot (1 - i2)$	923.0769231
w6	750	750
wh1	$(w1 - i1 \cdot w3) / (1 - i1)$	857.1428571
wh2	$(w6 - i3 \cdot wh1) / (1 - i3)$	834.5864662
z1	30	30
z2	15	15
z3	65	65
z4	30	30
z5	18	18
z6	24	24
z7	33	33
z21	20	20
z31	78	78
zh1	90	90

图8 表达式建立

相应设置相对速度或绝对速度，如图9所示。



图9 旋转副速度设置

(3) 齿轮副。

齿轮副里需要选择第一个和第二个旋转副，注：两个旋转副必须要相对于同一个组件，直接选择需要设置啮合的两个旋转副即可；比率设置，第一个旋转副齿轮齿数除以第二个旋转副齿轮齿数，外啮合为正，内啮合为负，注意区分传动比正负，二者含义不同。

轮系1中，齿轮2与齿轮1为外啮合，已知齿轮1速度，建立二者之间齿轮副，完成齿轮2啮合速度设置，即R2-1、R2-2、R2-3、R2-4、R2-5；齿轮2'与齿轮3之间建立齿轮副，完成齿轮3啮合速度设置，即R3，如图10所示，注只需做一个齿轮副即可。

轮系3中，齿轮6与齿轮7为外啮合，已知齿轮6速度，建立二者之间齿轮副，完成齿轮7啮合速度设置，即

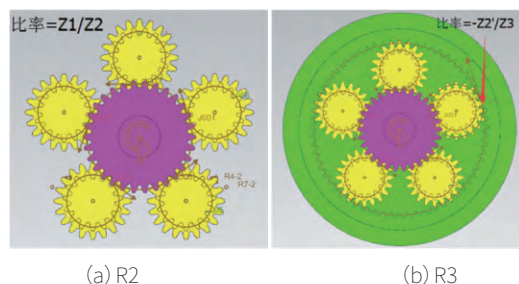


图10 轮系1 齿轮副

R7-1、R7-2、R7-3；齿轮7与系杆H1之间建立齿轮副，完成系杆H1啮合速度设置，即RH1，如图11所示。

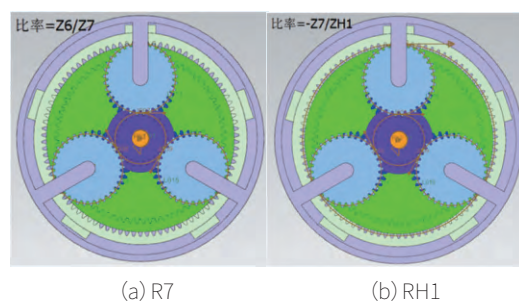


图11 轮系3 齿轮副

4. 运动仿真

解算方案里设置运动时间和步长，确定后，启动解算器进行解算。在动画工具里即可看到整个差动轮系的运动过程。此差动轮系中，各个旋转副绝对速度与时间关系分析图，如图12所示。轮系中所有齿轮均以恒定角速度旋转，没有发生碰撞，在运动仿真动画里也可以观察到。

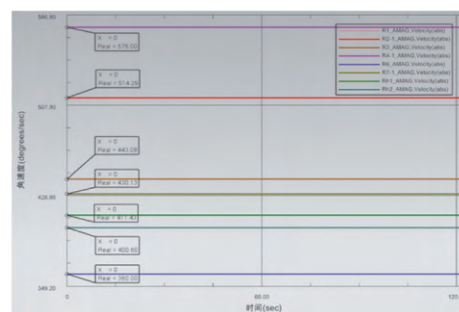


图12 齿轮绝对旋转速度与时间分析图

五、结语

NX在齿轮轮系建模和运动仿真设置及原理讲解方面资料较少，本文详细论述了齿轮旋转副和齿轮副设置及原理，并结合表达式功能，将轮系运动仿真参数化，进行整个轮系运动仿真，方便齿轮轮系设计及验证。