

热收缩方法在结构有限元仿真中的应用

达索析统（上海）信息技术有限公司 彭军

在有限元模型中，降低部件的初始温度可以使部件收缩从而消除 3D 模型中的初始过盈或干涉。本文针对某设备中的套筒和橡胶圈模型，使用先降温收缩然后恢复至参考温度的方法，进行结构装配有限元仿真，该方法可以应用在过盈装配（冷缩配合）产品的设备的结构仿真中。

一、引言

机械设备中经常采用过盈装配的方法进行连接，即装配配合中的部件会有初始过盈。设计工程师通常按照产品的真实尺寸建模，因此三维模型中过盈装配的两个部件会存在干涉，如果使用存在初始干涉的三维模型进行有限元仿真，通常的方法是在干涉的部件之间设置“过盈装配”。这种模型属于接触关系的一种，通常应用在过盈量不是很大的情况下，容易取得收敛结果。但是对于有些过盈量特别大的模型，在有限元软件中采用直接设置过盈装配的方法，计算非常不容易收敛。另外一种方法是，先将过盈部件的初始温度设置成一个较低的温度，由于材料热胀冷缩的属性，部件会收缩消除掉初始过盈，然后对部件设置温度属性曲线，逐步恢复至环境温度，部件会膨胀，与其他部件产生接触从而形成过盈配合。

二、问题描述

该模型中绿色部件是金属套筒，灰色部件是橡胶圈（图1）。该结构装配后的正常位置应该是橡胶圈在套筒内部，但是实

际的初始三维模型中，橡胶圈在套筒外部，即存在初始过盈，如图2剖面图所示。

我们使用 SOLIDWORKS Simulation 有限元仿真软件对该模型进行结构应力分析，得到装配后橡胶和套筒的应力和变形。



图1 结构三维模型

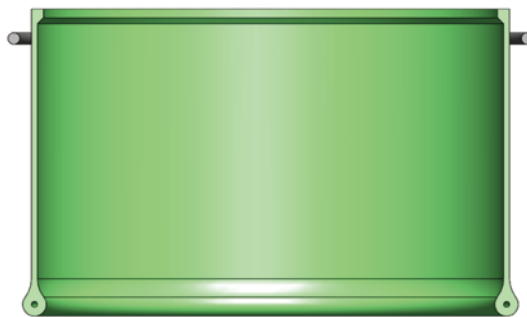


图2 结构剖面图

三、分析思路

由于存在超弹性橡胶材料，因此我们需要采用非线性静

力分析。为了消除初始的过盈，我们将对橡胶部件进行降温，但究竟降低至何温度才能刚好消除过盈，我们事先并不知道。

因此我们将创建两个非线性仿真：第一个仿真中，我们不设置任何接触关系，仅对橡胶圈进行降温，进行多次尝试，得到一个比较合理的降温温度，在该降温温度时，橡胶圈能收缩至套筒内部；第二个仿真中，设置接触关系，使用第一个仿真中得到的降温温度进行接触配合计算，得到应力结果。

四、Simulation 仿真算例设置

1. 第一个非线性仿真

(1) 建立非线性静力分析步，为减小计算量，对该模型使用 2D 简化，使用轴对称 2D 模型进行计算，选择相应的剖切面 and 对称轴，如图 3 所示。



图 3 非线性 2D 简化轴对称

(2) 材料属性。定义套筒材料为合金钢如图 4 所示，橡胶圈材料为超弹性 Mooney–Rivlin 橡胶材料如图 5 所示。特别需要注意的是，热膨胀系数这个参数非常重要，该参数决定了体积收缩变形量与温度变化之间的关系。

(3) 边界条件。对套筒一端施加完全固定约束，2D 截面及初始位置，如图 6 所示。

(4) 参考温度设置。设置模型的参考温度，参考温度即模型部件应变为 0 时的温度，如图 7 所示。

(5) 温度设置。在外部载荷中将套筒温度设置为 0 摄氏度，将橡胶圈温度设置为 -140 摄氏度，并设置图 8 所示



图 4 套筒材料属性

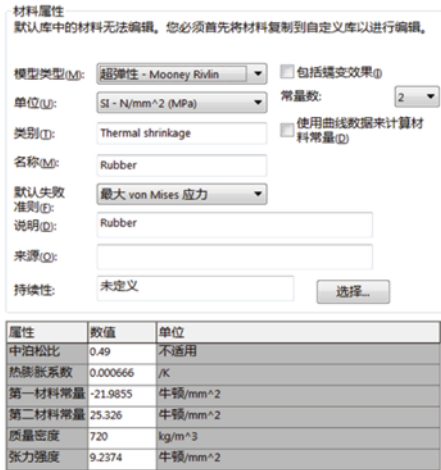


图 5 橡胶圈材料属性



图 6 边界条件及 2D 截面

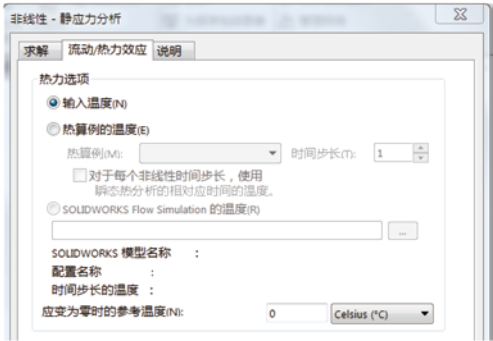


图 7 参考温度设置

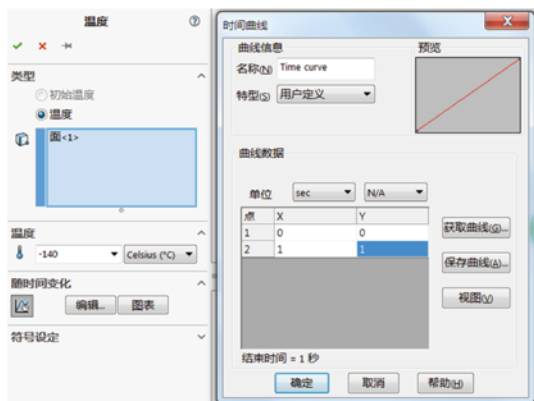


图 8 橡胶圈温度及时间曲线设置

的线性变化时间曲线。

(6) 计算结果。划分网格提交计算并查看该非线性计算的变形结果图，发现橡胶圈已经完全收缩至套筒内部，说明使用 -140 摄氏度的温度满足计算要求，如图 9 所示。



图 9 位移结果图

2. 第二个非线性仿真

(1) 复制算例。为了减少前述相关边界载荷等设置，可将第一个非线性仿真算例复制成第二个非线性仿真算例，如图 10 所示。我们仅需要对第二个非线性算例添加接触关系和修改温度曲线即可。

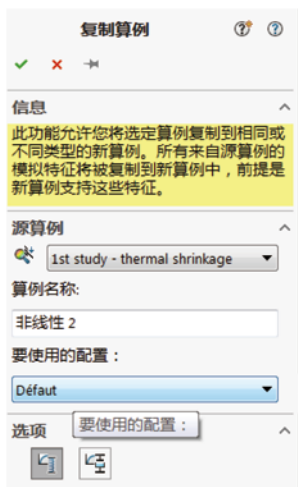


图 10 复制非线性算例

(2) 接触面组设置。在橡胶圈和套筒之间设置无穿透接触面组，如图 11 所示。

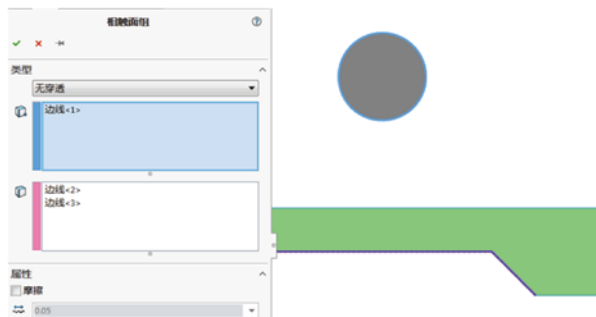


图 11 相触面组

(3) 橡胶圈温度设置。在第二个算例中，我们设置橡胶圈的初始温度时 -140 摄氏度，而在计算结束时间点设置温度为 0，这与第一个非线性算例的温度时间曲线设置完全相反，如图 12 所示。即橡胶圈温度从低温逐渐恢复至参考温度，也即橡胶圈初始位置位于套筒内部，没有过盈或干涉，随着计算的进行逐渐扩张并与套筒内壁面接触。

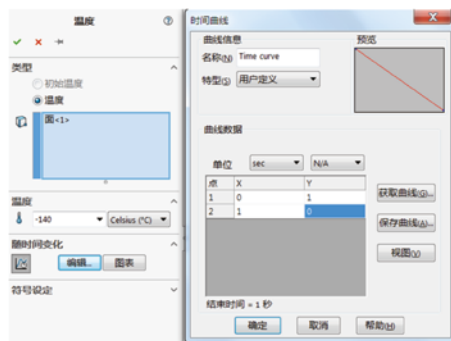


图 12 橡胶圈温度及时间曲线设置

(4) 计算结果。从计算结果可以看出，随着计算时间的进行，橡胶圈会逐渐与套筒产生接触，如图 13 所示。



图 13 接触变形图(已缩放)

五、结语

在结构有限元仿真中，热收缩（降温收缩）方法可以很方便地用于处理初始三维模型的大过盈干涉问题，通过添加温度时间曲线来控制部件的收缩和扩张变形，进而产生接触作用。本文虽然采用 SOLIDWORKS Simulation 进行仿真计算，但这种处理方法适用于多种结构有限元仿真软件。IM