

ANSYS WORKBENCH 板架结构碰撞仿真

撰文 / 石狮市海洋与渔业执法大队 苏伟江
青岛武船重工有限公司 孙启哲

碰撞是一种在短时间内局部发生的复杂非线性瞬态响应过程，在交通运输、机械及军工等领域普遍发生。在设计车辆时，需要大量的碰撞仿真及实车碰撞实验，以确保车辆的安全；在船舶事故理赔时，也需要碰撞仿真以提供有效证据，因此碰撞仿真正在相关行业迅速普及。在各行各业，为了减轻结构重量，大量采用板架结构以增加结构的强度和刚度，本文使用 ANSYS WORKBENCH，分别使用三种建模方法对一板架结构进行了碰撞仿真，并得到了碰撞力和能量吸收曲线等数据，仿真方法具有代表性，可为各行业产品设计及事故研究提供参考，具体操作过程如下。

一、板架结构建模

本文使用 WORKBENCH 自带的 Geometry 进行建模。本文中，板架模型的尺寸是 $5\text{m} \times 5\text{m}$ ，板厚为 7mm ，角钢尺寸为 $60\text{mm} \times 40\text{mm} \times 5\text{mm}$ ，间距为 0.5m 。

1. 实体建模

(1) 拉伸生成正方形板 (Solid body)。

打开 WORKBENCH 并在窗口左边的“Tool box”中双击“Geometry”和“Explicit Dynamics”两个按钮，此时主窗口空白区域新增两个工程，拖动绿色“Geometry”按钮按图 1 所示将两者连接起来。

双击绿色“Geometry”按钮打开建模软件，在

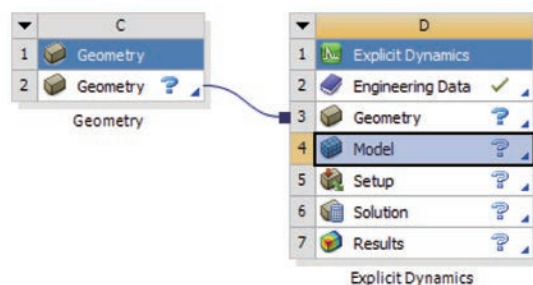


图 1 新建碰撞仿真项目

XYplane 新建一个草图 (New Sketch)，绘制一个 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 的矩形，然后将草图拉伸 (点击工具栏中“Extrude”按钮) 7mm ，成为一个平板，如图 2 所示。

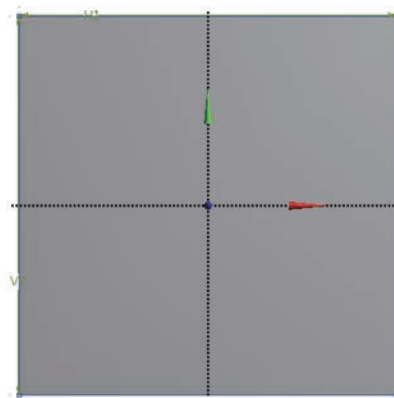


图 2 拉伸生成平板

(2) 拉伸生成一组骨架。

在 ZXplane 新建一个草图，并在对应位置处绘制所有角钢截面草图（也先画一个截面并复制到其他位置），拉伸（点击“Extrude”按钮）至与平板端部对齐，如图 3 所示，拉伸后角钢将自动与平板连接为一个实体。图中深绿色的是角钢截面草图。

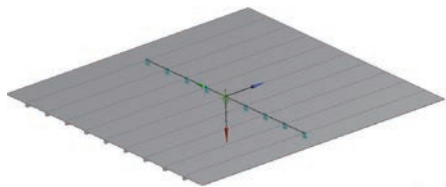


图 3 拉伸生成角钢

(3) 旋转生成球体。

在 YZplane 新建一个草图，在相应位置绘制一个半径为 0.5m 的圆和一条沿直径方向的线，修剪为半圆形后将草图旋转（点击“Revolve”按钮）生成一个球体如图 4 所示。

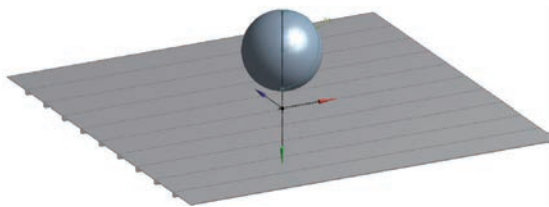


图 4 旋转生成球体

2. 概念建模 (Surface bodies)

(1) 生成正方形板 (Surface body)。

打开 Geometry 后，在 XYplane 新建一个草图，绘制一个 5m × 5m 的矩形，点击标题栏上的“Concept” → “Surfaces From Sketches”，生成一个正方向的 Surface body，如图 5 所示。



图 5 生成一个 Surface body

(2) 在板上印痕。

在 XZplane 新建一个草图，绘制一组等距的短线，然后点击“Extrude”按钮，在窗口左下角的“Details View”

中的“Operation”下拉列表里选择“Imprint Faces”，生成一组印痕，如图 6 所示。图中深绿色线段就是印痕所用的草图。

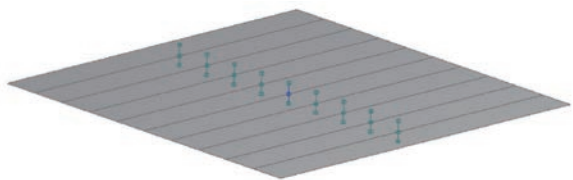


图 6 印痕

(3) 生成角钢的边线 (Lines)。

点击标题栏上的“Concept” → “Lines From Edges”，在第 (2) 步生成的一条印痕上添加 Line，如图 7 所示。图中蓝色线条即为新生成的 Line。

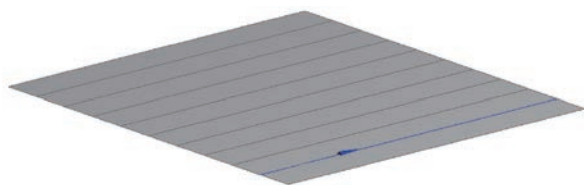


图 7 添加一条 Line

点击标题栏上的“Create” → “Body Operation”，在窗口左下角的“Details View”中的“Type”下拉列表里选择“Translate”，在“Direction Deformation”下拉列表里选择“Coordinates”并在 z 方向输入 60，将刚刚添加的 Line 向下移动 60mm，如图 8 所示。

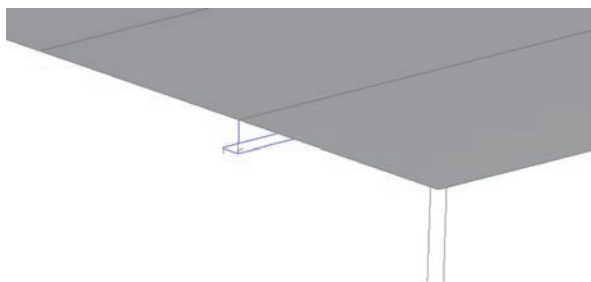


图 8 向下移动 Line

点击标题栏上的“Create” → “Body Operation”，在窗口左下角的“Details View”中的“Type”下拉列表里选择“Translate”，在“Direction Deformation”下拉列表里选择“Coordinates”并在 x 方向输入 40，在“Preserve Bodies?”下拉列表选择“Yes”，将刚刚移动的 Line 向后移动 40mm，如图 9 所示。



图9 向后复制 Line

点击标题栏上的“Concept”→“Lines From Points”，将图10所示的 Lines 的定点连接起来。图中蓝色线条为角钢的全部边线。

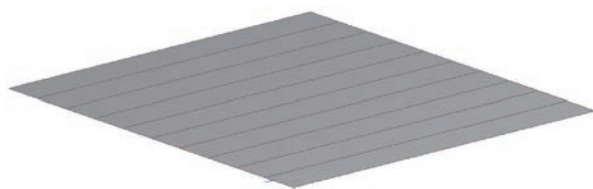


图10 连接 Lines 的定点

(4) 生成角钢。

点击标题栏上的“Concept”→“Surfaces From Edges”，顺次连接围成角钢腹板和面板的边线，生成一个角钢的腹板和面板。如图11所示。

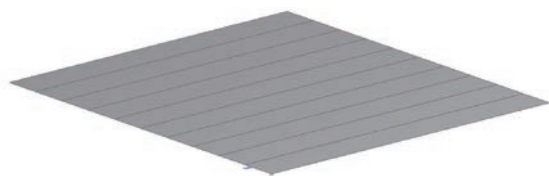


图11 生成一个角钢

按照第(3)步的方法,点击标题栏上的“Create”→“Body Operation”，并将第一个角钢复制到其他位置,如图12所示。

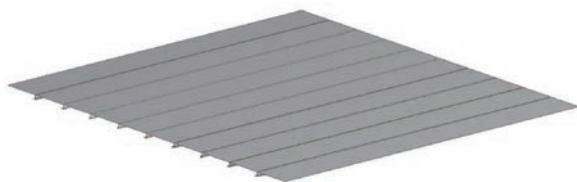


图12 复制其他角钢

(5) 旋转生成球体。

在 YZplane 新建一个草图,在相应位置绘制一个半径为 0.5m 的圆和一条沿直径方向的线,修剪为半圆形后将草图旋转(点击“Revolve”按钮)生成一个球体如图13所示。

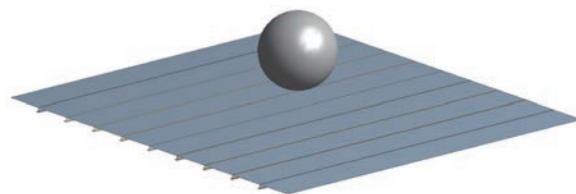


图13 旋转生成球体

3. 概念建模 (Surface bodies 和 Line Bodies)

按照第3步的第(1)到(2)步,生成带有印痕的板。

点击标题栏上的“Concept”→“Lines From Edges”，在第(2)步生成的一条印痕上添加 Lines,如图14所示。图中黄色线条即为新生成的 Lines。

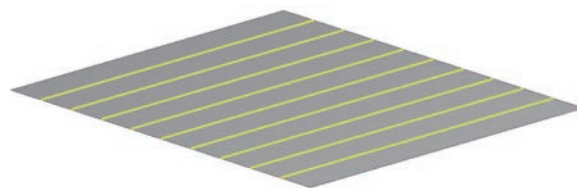


图14 生成 Lines

点击标题栏上的“Concept”→“Cross Section”→“I Section”，定义一个对称截面的 I 型钢（腹板 60mm，面板 20mm，板厚 5mm）。在左边建模树最下面的 Bodies 下面选择刚刚添加的 Lines，在窗口左下角的“Details View”中的“Cross Section”下拉列表里选择刚刚定义好的 I 型钢。如图15所示。

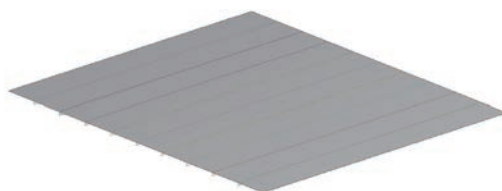


图15 定义 Lines 截面属性

在 YZplane 新建一个草图,在相应位置绘制一个半径为 0.5m 的圆和一条沿直径方向的线,修剪为半圆形后将草图旋转(点击“Revolve”按钮)生成一个球体如图16所示。

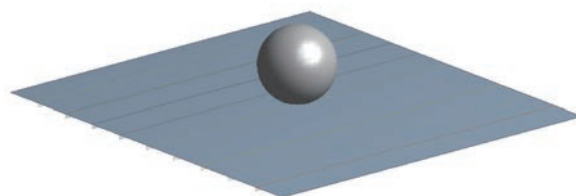


图16 旋转生成球体

二、碰撞仿真

双击图 1 中“Model”按钮，进入碰撞仿真软件。在窗口左边的“Project”栏中选择“Mesh”，设置板的网格尺寸（Size）为 0.1m，设置球体的网尺寸为 0.2m，划分网格。网格如图 17 所示。

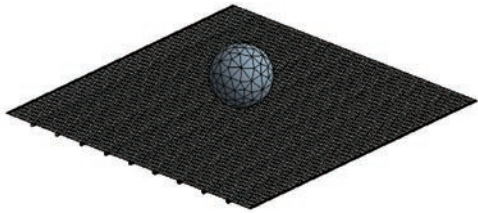


图 17 划分网格

在窗口左边的“Project”栏中右键点击“Initial Conditions”→“Insert”→“Velocity”，设置球体的速度为 5m/s；在窗口左边的“Project”栏中右键点击“Explicit Dynamics”→“Insert”→“Fixed support”，设置板架结构的四周为固定端；单击“Analysis Settings”，设置“Max Number of Cycles”为 100000 或更大，设置“End Time”为 0.3s，其他保持默认。

完成上述步骤后，在窗口左边的“Project”栏中右键点击“Solution”→“Insert”，分别添加“Total Deformation”、“Equivalent Stress”和“Equivalent Elastic Strain”，右键点击“Solution Information”→“Insert”，分别添加“Total Energy”、“Internal Energy”、“Kinetic Energy”和“External Force”。点击菜单栏的“Solve”开始计算。

三、计算成本及计算结果分析

在计算过程中，记录了计算时间和 CPU 消耗，发现 Ansys solvers 进程始终占用 25% 的 CPU 运算资源，第一个模型计算用时 600min 有余，第二个和第三个模型计算很快，仅需要 50min 左右，可见实体模型计算所需时间比其他两个模型计算时间的十几倍，从计算时间成本上看，概念建模比实体建模更具优越性。在计算过程中发现，实体模型网格尺寸稍大一点就会出现能量过大的提示而无法继续计算，概念建模模型却可以允许很大尺寸的网格，从计算成功率上看，概念建模更好。

图 18 ~ 20 分别为三个模型计算得到的等效应力云图，由于碰撞分析是动态过程，每个时刻都对应一个云图，这里只列举三个，从上到下分别为 0.05s、0.1s 和 0.15s 三个时刻的等效应力云图。为了清晰地显示骨架变形，将有骨架的那面显示出来。

由图可以看出，三个模型在每个时刻的变形和应力分布非常相似，第三个模型的骨架虽然不显示应力云图，但其

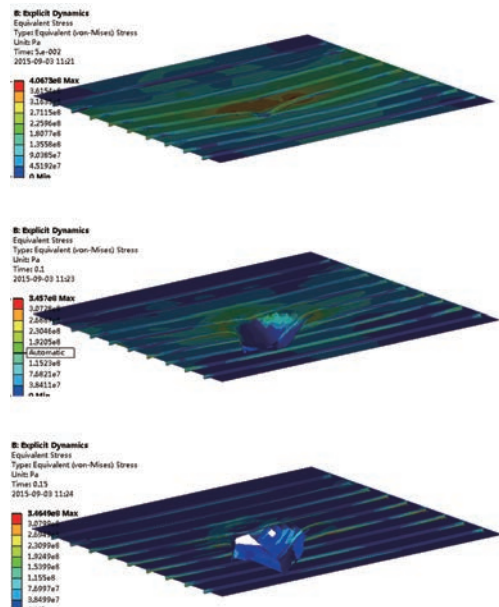


图 18 实体模型不同时刻等效应力云图

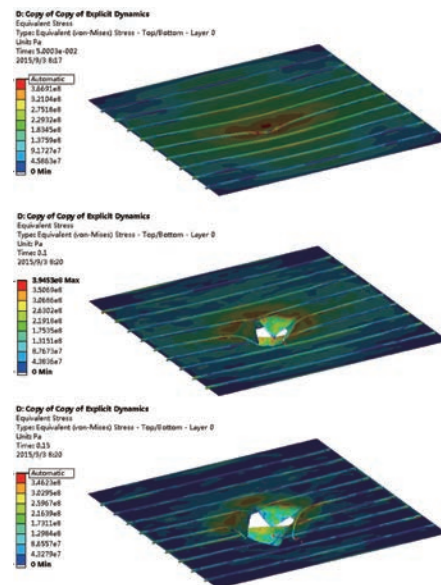


图 19 Surface bodies 模型不同时刻等效应力云图

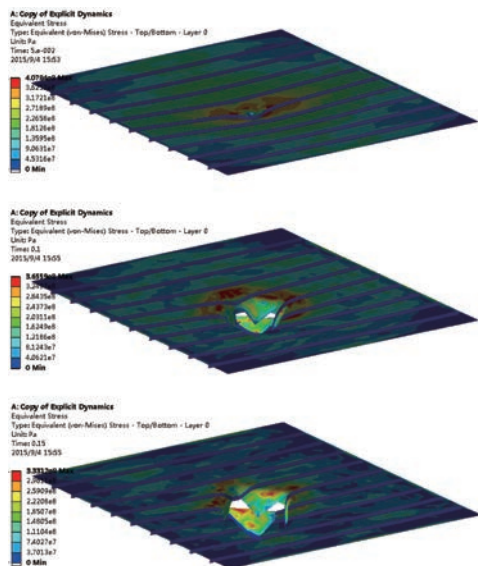


图 20 Surface bodies 和 Lines Bodies 模型不同时刻等效应力云图

强度已被计入整个结构，且断裂位置和形状与其他两个模型一样。由于骨架焊接在钢板上，造成整个结构在骨架附近截面突变，容易产生应力集中，应力云图会在一定程度形成顺着骨架方向分布的条纹。对比三个模型板架破损形状，发现后两个模型相似度极高，这是因为后两个模型都是概念建模，网格失效形式相同。总体来说，三个模型在碰撞过程中的应力分布和破损变形相差无几，但计算成本不同。

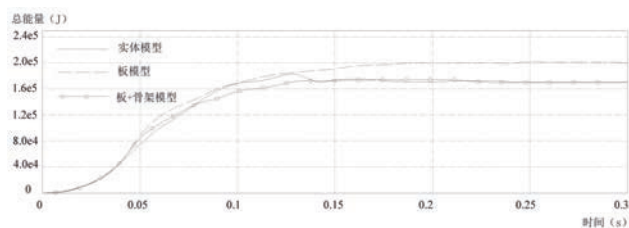


图 21 三个模型能力吸收时间历程曲线

板架结构的破损会伴随着能量的吸收，在碰撞过程中，钢球的一部分能量转化为板架结构的动能，一部分能量转化为板架结构的内能，动能和内能的总和就是总能量。由于固定了板架的四周，板架不会发生整体性移动，只能做局部微小振动，所以板架动能始终不大，只占总能的百分之几，几乎可以忽略，所以这里只分析板架总能量（约等于内能）随时间的变化。图 21 为三个模型的总能量吸收曲线，由图可知，三个模型的能量吸收曲线高度相似，0.025s 之前板架吸收能量较慢，0.025 ~ 0.075s 之间板架迅速吸收能量，随后

能量吸收速度减缓，说明就在这个时刻板架正在迅速变形吸收能量，在碰撞开始 0.15s 后，板架能量几乎维持水平，说明板架破损已经基本完成。三条曲线不仅趋势非常相似，最终的稳定值也极为接近，其中第三个模型与第一个模型的能量吸收曲线在碰撞后期几乎重合，相差仅为 0.6%。

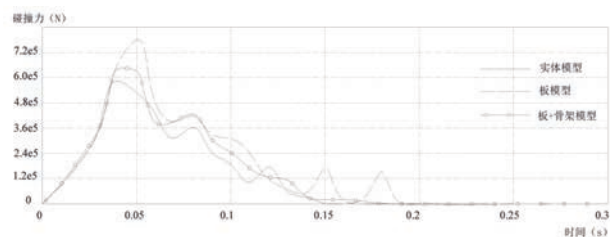


图 22 碰撞力曲线

从图 22 中可以看出，三个模型的受力曲线也是非常相似，但在结构破损后（0.035 ~ 0.2s）表现出较大的差别，这是受碰撞过程中网格失效算法影响的结果；有限元计算中，当网格达到失效准则时，该网格就会突然消失，不再参与碰撞，实际结构是逐渐破损的，加上本文中网格尺寸较大，造成三个模型的碰撞力不一致。三条曲线在 0.025 ~ 0.2s 的那一段，波动剧烈，且波动呈现一定的周期性，说明碰撞过程中板架结构发生振动。

四、结语

本文采用三种不同的建模方法，对一板架结构进行了碰撞仿真，对比了三个模型的计算成本和计算结果，发现采用概念建模的方法对板架进行碰撞仿真不仅节省时间和计算机内存，而且更容易成功，误差也不会很大。文中采用的方法具有一定的针对性，对各行业板架结构碰撞仿真有一定的参考价值。IM