

《有限元方法及应用》课程报告

姓名：任哲 学号：S230200259

1 问题描述

通过有限元方法和任意拉格朗日-欧拉方法（ALE），对刚性球垂直落入水中进行数值模拟，得到其模拟动画和 Z 方向加速度曲线，并与参考文献进行比对，验证该有限元模型的可行性。

2 模型建立

该模型中的球体半径为 109 mm，刚性金属球体共有 3750 个四边形壳单元，预定义其质量为 3.76 kg，质量密度为 2800 kg/m^3 。共有两个流体域，分为两种不同的区域：下部分是密度为 1000 kg/m^3 的水；上部分设定为真空状态，定义其密度等于 0.001 kg/m^3 ，每个部分区域有 627200 个实体单元。

流体域的所有最外面的节点都用关键字卡 *BOUNDARY_SPC_SET 固定，所有 6 个自由度都受到约束，使得前后左右面和底面均固定。每个流体域的长度和宽度均为 560 mm，水域和真空域的高度分别为 250 mm。

两个流体域的每个单元的网格尺寸为 5 mm，模拟时间为 20 ms。

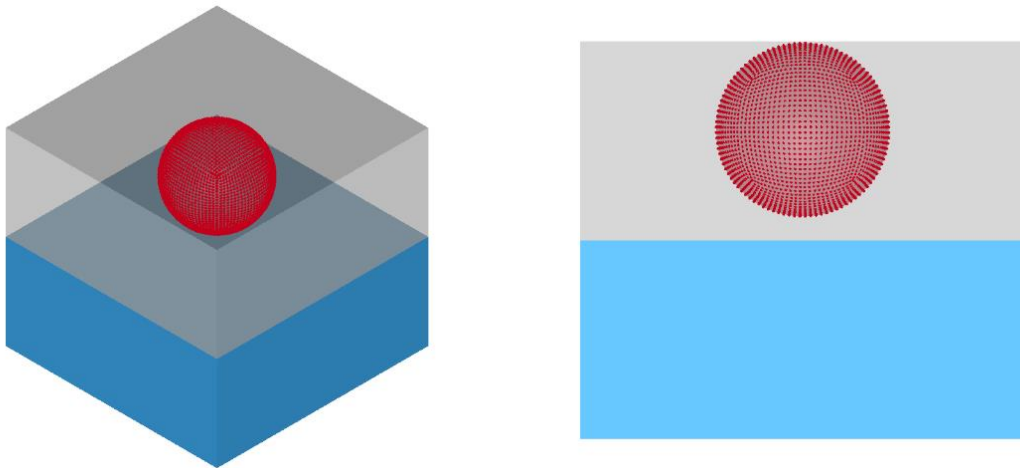


图 1 刚性球垂直落水有限元模型

该球体将以速度为 11.8 m/s 的初始速度开始下落，并在整个模型上施以 9.81 m/s^2 的重力加速度。此外，为了在耦合期间获得高精度，分布在每个耦合拉格朗日曲面段上的耦合点的数量为 4。

选择线性多项式作为水的状态方程：

$$p = C_0 + C_1\mu + C_2\mu^2 + C_3\mu^3 + (C_4 + C_5\mu + C_6\mu^2)E$$

3 关键字

*KEYWORD
*CONTROL_ALE
*CONTROL_ENERGY
*CONTROL_TERMINATION
*CONTROL_TIMESTEP
*DATABASE_GLSTAT
*DATABASE_MATSUM
*DATABASE_RCFORC
*DATABASE_BINARY_D3PLOT
*BOUNDARY_SPC_SET
*SET_NODE_LIST_TITLE
*LOAD_BODY_Y
*PART “ball”
*SECTION_SHELL_TITLE
*MAT_RIGID_TITLE
*PART “air”
*SECTION_SOLID_TITLE
*MAT_VACUUM_TITLE
*HOURGLASS
*PART “water”
*SECTION_SOLID_TITLE
*MAT_NULL_TITLE
*EOS_LINEAR_POLYNOMIAL
*INITIAL_VELOCITY_GENERATION
*DEFINE_CURVE
*SET_PART_LIST
*ALE_MULTI-MATERIAL_GROUP
*CONSTRAINED_LAGRANGE_IN_SOLID
*ELEMENT
*END

4 模拟结果

使用 LSDYNA 对关键字文件进行计算，得到刚性球垂直落水示意图和 Z 方向加速度曲线。

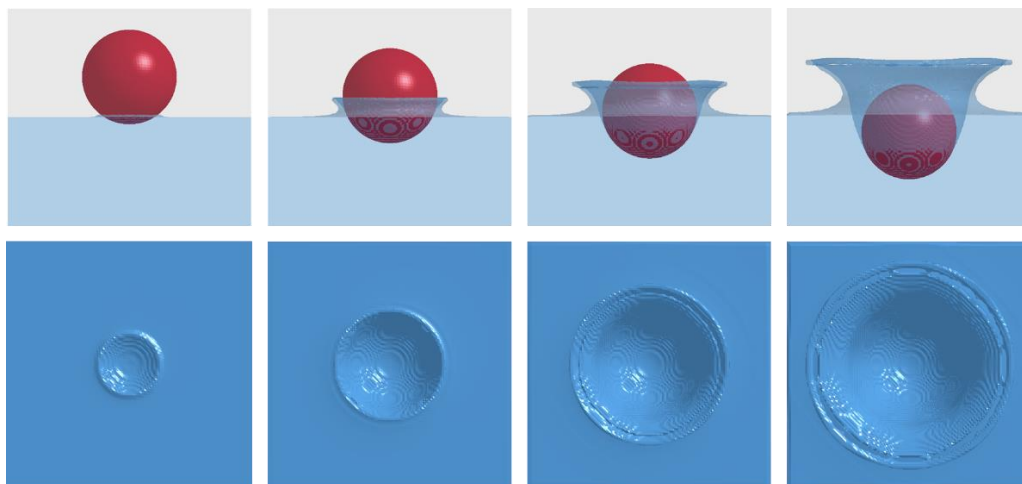


图 2 刚性球垂直落水数值模拟结果

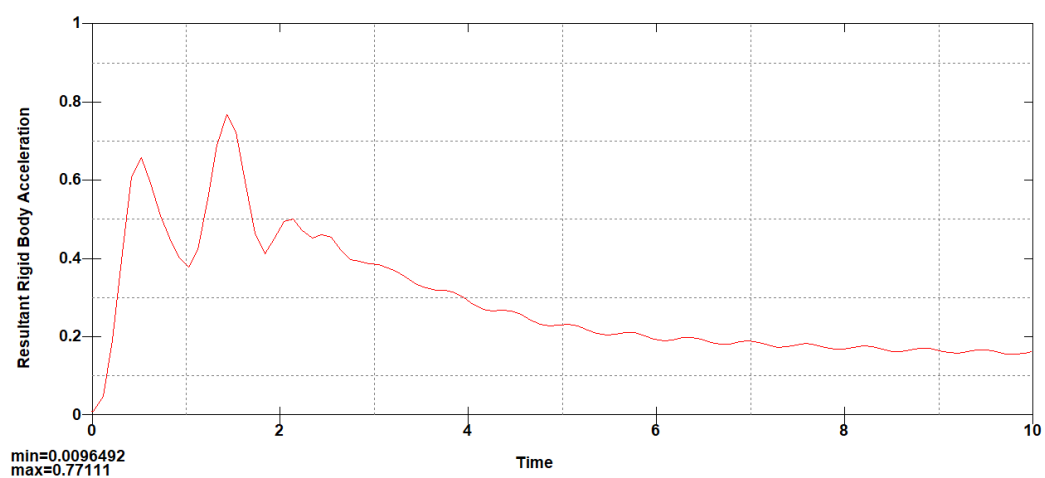


图 3 刚性球 Z 方向加速度曲线

5 对比验证

与实验参考和文献对比得到数值模型的可行性。

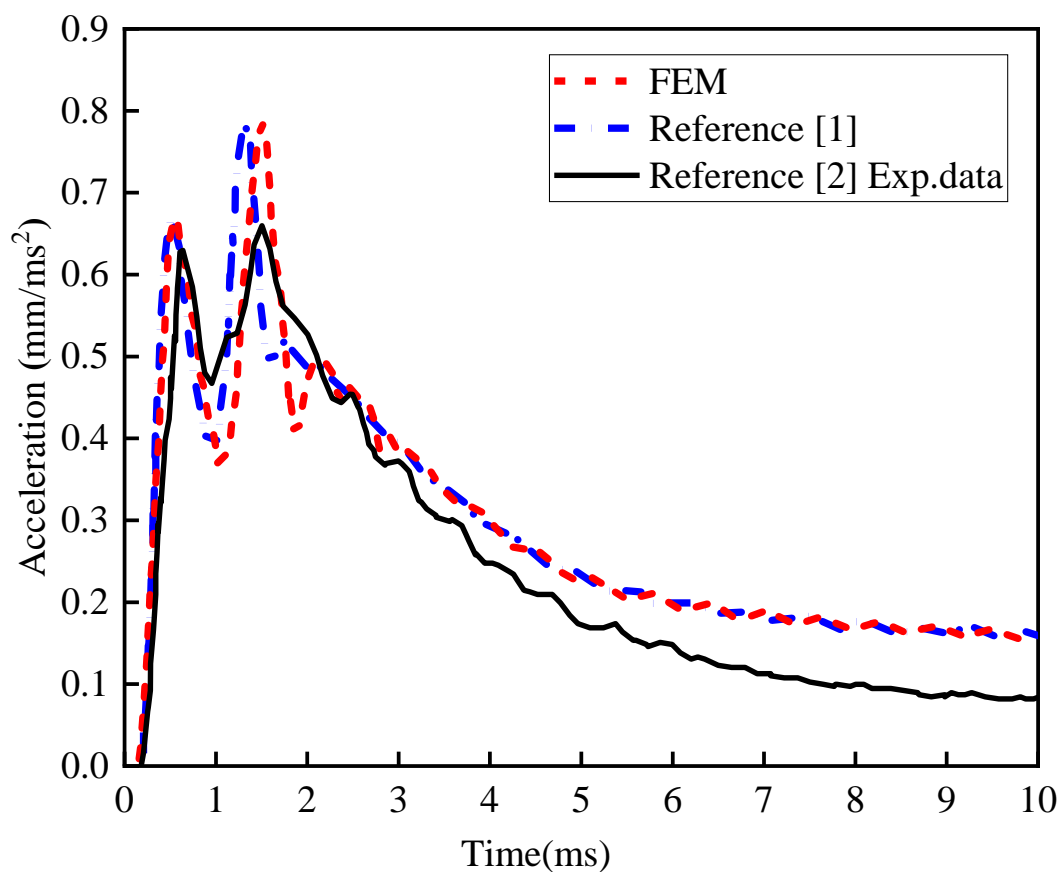


图 4 模型验证

6 参考文献

[1] Amato C. Evaluation of the Arbitrary Lagrangian-Eulerian method (ALE) for the simulation of fluid structure interaction during aircraft ditching events: Politecnico di Torino; 2023.

[2] M. Anghileri and A. Spizzica, "Experimental Validation of Finite Element Models for Water Impacts", Second International Krash Users, Cranfield Impact Centre, England, 26-28 June 1995.