

【兵器与装备】

刚体—弹性体转换技术在 Ansys/LS-Dyna 中的应用*

潘怀强, 龚红良

(海军潜艇学院, 山东 青岛 266071)

摘要:建立两球相撞的有限元模型,应用 Ansys/LS-Dyna 对两球碰撞进行数值分析,分析过程应用刚体—弹性体转换的方法,获取2个球相撞时刻的等效应力云图、相撞后两球速度变化等参数.对所得参数进行分析验证,从而为模拟过程节约计算时间,提高模型计算效率.

关键词:刚性体;弹性体;有限元;数值模拟

中图分类号:TU352.1

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2008)05-0038-02

将 Ansys/LS-Dyna 数值模拟应用在大型结构的分析中,例如,在汽车碰撞模拟和导弹撞击目标靶的模拟中,汽车行驶和导弹飞行过程是一个高速不变形过程,而这样的过程用数值模拟占用大量的计算机资源,而且解算时间很长,对系统要求很高.造成不必要的浪费^[1].如果采用刚体—弹性体转换技术,则可以达到较好的数值模拟效果.

1 数值方法

LS-Dyna 是一个由 Dyna 程序发展而来的以显式为主、隐式为辅的通用非线性动力分析有限元程序,用以求解各种二维、三维非线性结构的高速碰撞、爆炸和金属成型等非线性问题.该程序的单元众多,

各种单元又有多种理论算法可供用户选择,拥有上百种金属和非金属材料模型,并可考虑材料失效、损伤、各向异性、黏性、蠕变、温度相关性及应变率相关性,故其全自动接触分析功能强大,可对弹体以高速碰撞目标结构组件的动力响应、弹体的侵彻深度等进行深入的模拟分析,其中,材料失效和侵蚀接触使得该程序能够较成功地求解高速弹丸对刚体的穿甲或侵彻的数值模拟计算^[1].

在 LS-Dyna 中,刚体在求解器求解过程中有一种非常重要的功能.利用刚体可以大大减少计算时间,这是因为不论模型中定义了多少个单元与节点,刚体仅在质心处有6个自由度,刚体内其他节点的所有自由度全部耦合到刚体的质心上.刚体的运动也是仅计算质点数值,其他点的位移、速度与加速度都是通过质心点插值得到的,因此刚体的计算速度非常快.利用刚体还可以简化建模过程通过接触实体(contact-entity)功能,可以在前处理阶段省略刚性接触体建模^[2-3].

2 模型建立与数值分析

2.1 材料参数选择及仿真模型建立

两球的材料均为金属铝,材料本构为塑性动力学模型.塑性动力学材料的屈服条件为^[4]:

$$\varphi = \frac{1}{2} \xi_{ij} \xi_{ij} - \frac{\sigma_y^2}{3} = 0,$$

$$\xi_{ij} = S_{ij} - a_{ij}, \quad \sigma_y = \left[1 + \left(\frac{\epsilon}{C} \right)^P \right] (\sigma_0 + \beta E_P \epsilon_{eff}^P) a_{ij}^{\nabla} = \frac{2}{3} (1 - \beta) E_P \epsilon_{eff}^P,$$

$$a_{ij}^{n+1} = a_{ij}^n + \left(a_{ij}^{\nabla n} + \frac{1}{2} + a_{ik}^n \Omega_{ik}^{n+1/2} + a_{jk}^n \Omega_{jk}^{n+1/2} \right) \Delta t^{n+1/2}$$

P 和 C 为用户输入参数, E_P 为塑性硬化模型, ϵ 为应变率, ϵ_{eff}^P 为等效塑性应变

$$\epsilon = \sqrt{\xi_{ij} \xi_{ij}}, \quad \epsilon_{eff}^P = \int_0^t \left(\frac{2}{3} \epsilon_{eff}^P \dot{\epsilon}_{eff}^P \right)^{1/2} dt,$$

该材料模型的破坏准则为应变破坏,即 $\epsilon \geq [\epsilon]$.

球体采用壳单元模拟,而摆线使用梁单元模拟.球 A 和球 B 均系在摆线上,摆线的另一端固定.球 A 在重力作用下运动,与静止的球 B 相撞.分析两球相撞的应力变化、速度变化.仿真模型的建立基于以下的假设:球 A 和球 B 为均匀连续介质,整个运动碰撞过程为绝热过程,不计空气阻力,不考虑两球斜碰的侧边效应,球 A 和球 B 的初始应力为零.使用 Lagrange 网格,采用轴对称算法, m-g-ms 单位制建模.

2.2 仿真过程及分析

LS-Dyna 提供了自动刚体—弹性体相互转换功能^[4-6],用 * Deformable_to_Rigid_Automatic 可以随意进行任意 Part

* 收稿日期:2008-06-03

作者简介:潘怀强(1958—),男,山东德州人,副教授,硕士,主要从事损伤效能评估研究.

的刚性体—弹性体转换设置.

为了说明这种转换的随意性,设定球 A 和球 B 在 0~5 ms 内为弹性体,5~11 ms 为刚性体,11~13 ms 又转换为弹性体.相应的关键字文件为:

变形体转换成刚体 Part1 时间:5 ms

* Deformable_to_Rigid_Automatic

1 0 5

1

1

刚体转换成变形体 Part1 时间:11 ms

* Deformable_to_Rigid_Automatic

2 0 11

1

1

变形体转换成刚体 Part2 时间:5 ms

* Deformable_to_Rigid_Automatic

3 0 5

1

2

刚体转换成变形体 Part2 时间:11 ms

* Deformable_to_Rigid_Automatic

4 0 11

1

2

在两球未相撞之前,两球均采用刚性体进行计算,因此只有刚体位移、速度与加速度结果,而没有应力与应变计算结果.两球相撞前和相撞后的等效应力云图显示了这一情况,在 $t = 10.994$ ms,两球的等效应力云图均显示为 0,从图中的颜色条数值也可以看出这种结果.从时间 $t = 11$ ms 开始,由于要模拟两球真实金属铝材料碰撞,定义刚性体向线弹性变体体的转换,在关键字 * Deformable_to_Rigid_Automatic 作用下,两球在 $t = 11$ ms 时变成线弹性变体体.此时由于球已经变成弹性体,在撞击力的作用下,应力不为 0.图右边的颜色条左边数值显示应力值,在两球上的颜色变化代表应力变化大小,从这张图还可以看到应力波的扩散过程^[7-8].

2) 球 A 和球 B 上节点速度和单元应力等效应力变化曲线如图 1、图 2.

计算结束后,输出球 A 上 254 # 节点的速度随时间变化曲线如图 1,可以看出在 5 ms 前,由于球 A 内初始应力波的振荡以及弹性体计算过程本身的数值误差,使得速度曲线出现一定的波动,这种情况在刚性体阶段(5~11 ms)基本上可以消除.这个从图 1 速度曲线可以看出,直到 $t = 11$ ms 开始,两球相撞,刚体转化为弹性体,速度才大幅下降.这个符合理论分析.输出球 A 与球 B 上 299 # 与 255 # 单元的等效应力在 5 ms 前弹性体阶段有一定幅度变化,在刚性体阶段(5~11 ms),等效应力变为 0.在弹性体阶段(1~13 ms),等效应力由于相撞又有大幅变换.从这个过程也可以看出弹性体—刚体—弹性体转换的不同应力变化,说明了所建模型从弹性体—刚性体—弹性体的转换过程是正确的.

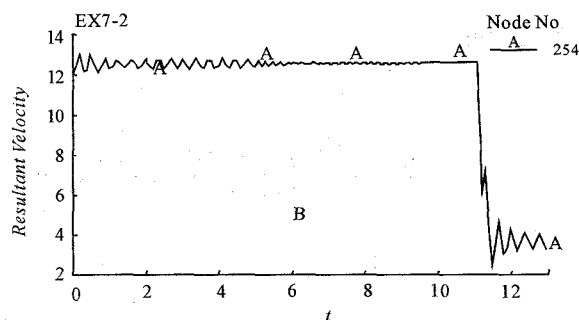


图 1 球 A 上 254 # 节点速度随时间的变化曲线

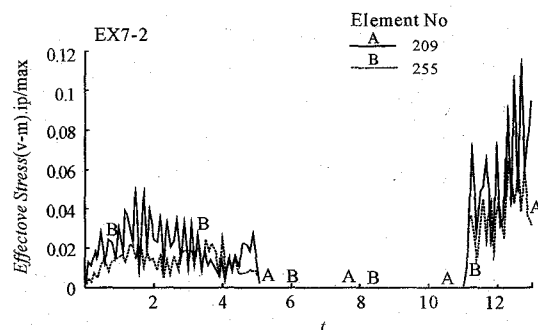


图 2 299 # 与 255 # 单元的等效应力曲线

3 结束语

利用刚体—弹性体转换功能可以提高计算效率,数值模拟中应用这种算法可以大大节约计算机资源,在汽车碰撞模拟中,在碰撞接触前的汽车行驶阶段,可以将汽车设置成刚体,而在撞击发生前立刻转换成弹性体.这样既可加快计算速度,又不影响碰撞过程的模拟.又如,在导弹撞击目标靶的模拟中,导弹的飞行阶段同样可以设置成刚体,在倾彻开始时刻变成弹性体.这些都能提高后处理求解器的求解速度,更快地计算出想要的参数.这种方法为模拟导弹飞行段、潜艇水中运行等都提供了参考.

参考文献:

- [1] 白金泽. LS-DYNA3D 理论基础与实例分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] LSTC. ANSYS/LS-DYNA User's Guide(ANSYS Release7.0 Documentation)[Z]. USA: LSTC, 2001.
- [3] 李健, 王晓鸣, 赵国志. 长杆弹垂直侵彻有限厚靶角对弹道极限速度影响的研究[J]. 兵工学报, 1995(1): 23.
- [4] 时党勇, 李裕春, 张胜民. 基于 ANSYS/LS-DYNA 8.1 进行显式动力分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [5] 慈明森. 金属在大变形、高应变率和高温度条件下的本构模型和数据[J]. 弹箭技术, 1998(3): 32.
- [6] 王继周, 李晋霞, 怡震中. 管材拉拔中不均匀变形与残余应力[J]. 塑性工程学报, 2001, 8(4): 40.
- [7] 王亚军, 王峰, 李约翰. 有限元分析系统在结构计算中的比较及展望[J]. 基建优化, 2003(4): 52.
- [8] 刘二勇, 董湘怀. 在板料成形仿真中的应用[J]. 计算机应用, 2006(11): 31.