

基于 LS-DYNA 的解锁机构有限元仿真分析

杨力, 陈红星, 刘瑞卿

(1 西安现代控制技术研究所, 西安 710065)

摘要: 针对解锁机构的开口卡圈和解锁簧运动复杂性, 本文基于 LS-DYNA 建立解锁机构有限元模型并进行仿真分析。分析结果表明, 该模型能够准确地反映解锁机构的开口卡圈和解锁簧动态运动过程和受力状态, 并为该解锁机构提出解锁条件和注意事项, 为类似的解锁机构提供参考。

关键词: LS-DYNA; 解锁机构; 开口卡圈; 解锁条件; 解锁簧

1 解锁机构有限元模型

1.1 有限元模型

解锁机构采用 cm-g-us 单位制建立有限元模型, 见图 1 所示, 在建立解锁簧有限元模型时注意: 为便于在本体和惯性块的端面放置解锁簧位置处建立弹簧单元, 需要明确知道解锁簧的位置尺寸, 也可以直接在“k”文件中进行弹簧节点(*NODE)和单元(*ELEMENT_DISCRETE)的编写, 并用“*CONSTRAINED_EXTRA_NODES_SET”方式对本体、惯性体刚体模型与弹簧模型节点进行绑定。

1.2 材料模型

开口卡圈为碳素弹簧钢, 采用双线性弹塑材料模型“*MAT_PLASTIC_KINEMATIC”, 其中, 模型中强化模量 E, 硬化参数 β , 应变率参数 C、P-Cowper Symonds 和 FS (失效系数) 均为 0。解锁簧为弹簧材料模型“*MAT_SPRING_ELASTIC”并设置刚度系数。其余为刚体模型, 其中本体与盖板固定, 止动套和惯性块无约束。材料模型参数见表 1。

表 1 材料模型参数

	$\rho / \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	G	ε	σ
开口卡圈	7.83	2.06	0.28	0.0195
其余	7.83	2.06	0.3	0

1.3 接触定义

盖板和本体以刚体模型定义固定约束, 惯性块、止动套和开口卡圈之间接触定义为面面自动约束“*CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE”, 刚体与弹性体接触定义为刚体与变性体接触“*CONTACT_RIGID_BODY_ONE_WAY_TO_RIGID_BODY”。

1.4 边界条件

对惯性块、止动套和开口卡圈施加惯性发射过载加速度和重力加速度, 用“*DEFINE_CURVE”和“*LOAD_BODY_GENERALIZED”来实现。基本假设: 不考虑空气阻力。对解锁机构施加不同的发射过载加速度曲线见图 2 所示, 分析其运动规律。

2 数值模拟结果和分析

2.1 后处理

通过后处理 LS-PrePost 导入结果文件 d3plot, 得到解锁机构解锁运动过程, 便可知惯性块、开口卡圈、止动套和解锁簧的位移、加速度及等效应力应变与时间关系。图 3 为开口卡圈刚挤入止动套瞬间的应力云图。

2.2 计算结果

解锁机构动力运动过程主要受发射过载加速度、解锁簧弹簧力、过载块和止动套质量等因素有关, 由于过载块、止动套质量已知, 本文仅对发射过载、解锁簧弹簧力因素对解锁机构有限元分析。

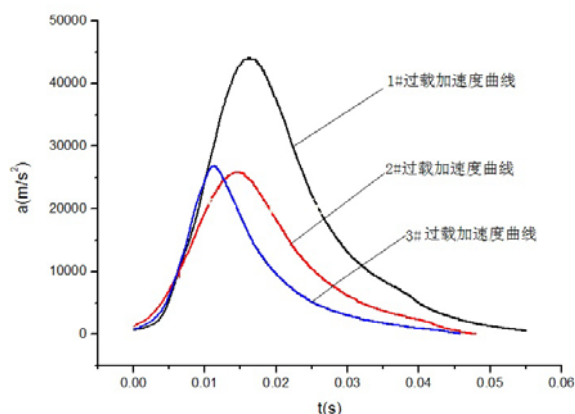
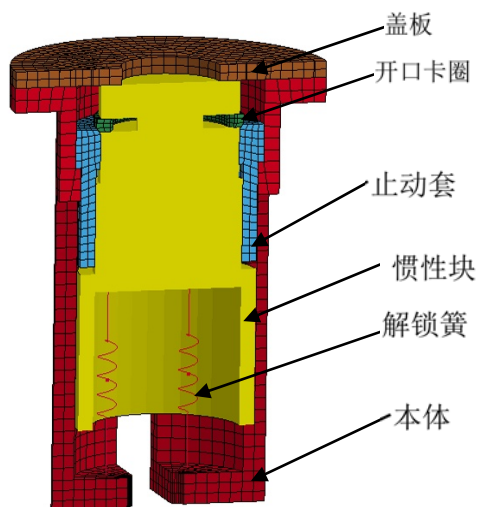


图 1 解锁机构有限元模型及结构示意图(剖面视图) 图 2 不同的过载加速度曲线

在相同解锁簧的弹簧力作用下, 施加不同的过载加速度曲线。图 4、图 5 和图 6 分别为 1#、2#和 3#过载加速度条件下惯性块和止动套位移曲线, 惯性块对应特定位置时过载加速值见表 2。

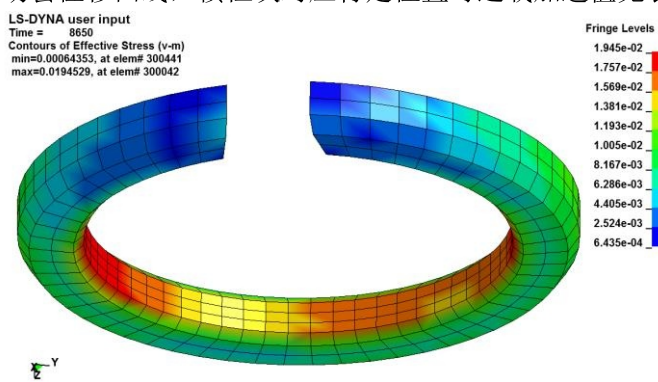


图 3 开口卡圈刚挤入止动套瞬间的应力云图

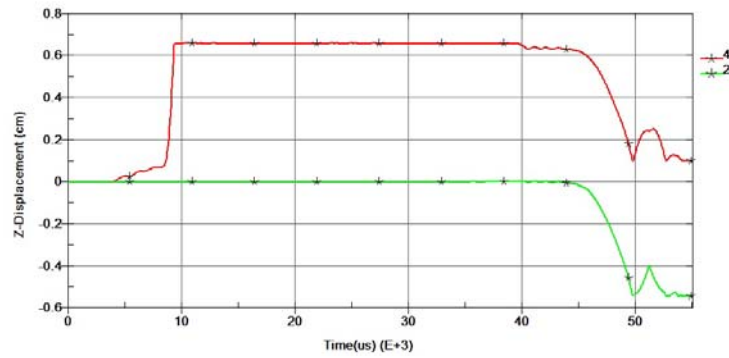


图 4 1#过载加速度条件下惯性块(4)和止动套(2)位移曲线

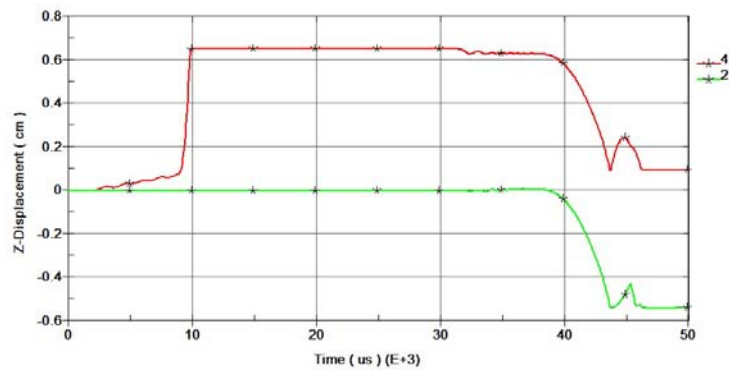


图 5 2#过载加速度条件下惯性块(4)和止动套(2)位移曲线

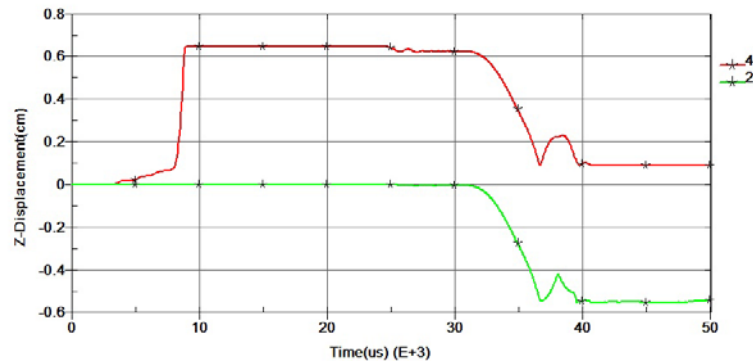


图 6 3#过载加速度条件下惯性块(4)和止动套(2)位移曲线

表 2 不同过载加速度条件下相同弹簧力时惯性块特定位置的时间和过载值

速度曲线	开口卡圈挤入止动套		惯性块移动到本体		惯性块回弹之时		翼片脱离止动套	
	时间 (ms)	过载值 (g) / 过载力 (N)	时间 (ms)	过载值 (g) / 过载力 (N)	时间 (ms)	过载值 (g) / 过载力 (N)	时间 (ms)	过载值 (g) / 过载力 (N)
1#	8.45	1748 / 849	9.4	2169 / 1053	40.4	484 / 237	48.8	152 / 74
2#	8.85	1667 / 809	9.9	1949 / 946	32.25	491 / 238	42.85	140 / 68
3#	7.95	1711 / 831	8.9	2136 / 1037	25.25	491 / 238	35.55	167 / 81

从表 2 中可以看出：

- 1) 解锁机构能在这 3 种不同的过载加速度条件下可靠解锁；
- 2) 开口卡圈挤入止动套时所需过载力为解锁机构的最大解锁力，2#过载加速度曲线下最大解锁力最小，因此要在使用过程中需要避免出现最大的解锁力；
- 3) 初始过载加速度上升速率越慢，开口圈挤入止动套所需时间越长；
- 4) 惯性块回弹之时，正是解锁簧推力与惯性块过载力处于平衡，此时 3 种不同的过载加速度条件下的过载力基本一致。

2#过载加速度条件下容易解锁，以 2#过载加速度边界条件下对弹簧极值进行仿真分析。惯性块对应特定位置时过载加速值见表 3 所示。

表 3 2#过载加速度条件下弹簧极值条件下时惯性块特定位置的时间和过载值

弹簧极值	开口卡圈挤入止动套		惯性块移动到本体		惯性块回弹之时		翼片脱离止动套	
	时间 (ms)	过载值 (g) / 过载力 (N)	时间 (ms)	过载值 (g) / 过载力 (N)	时间 (ms)	过载值 (g) / 过载力 (N)	时间 (ms)	过载值 (g) / 过载力 (N)
上限	8.95	1753 / 851	10.05	2029 / 985	30.2	577 / 280	40.2	218 / 106
中值	8.85	1667 / 809	9.9	1949 / 946	32.2	491 / 238	42.8	140 / 68
下限	8.75	1582 / 768	9.75	1864 / 905	33.8	406 / 197	44.6	73 / 35

从表 3 中可以看出：

- 1) 解锁机构解锁簧弹簧力越小最大解锁力也越小；
- 2) 弹簧力不同，所需最大解锁力也不同，解锁时间也不同，为了确保翼片张开的一致性，因此，在同一解锁机构中放置的弹簧尽量选用力值相当弹簧。

3 结论

本文基于 LS-DYNA 建立解锁机构有限元模型并进行仿真分析。该模型能够准确反映解锁机构的开口卡圈和解锁簧动态运动过程和受力状态，并为解锁机构提出以下注意事项：

- (1) 解锁机构在 768N 的过载力下就能使翼片解锁，因此要在使用过程中避免出现 1500g 的过载；
- (2) 弹簧力不同，所需最大解锁力也不同，解锁时间也不同，为了确保翼片张开的一致性，因此，在同一解锁机构中放置的弹簧尽量选用力值相当的解锁簧。

参考文献

- [1] 时党勇, 李裕春, 张胜民编著. 基于 ANSYS/LS-DYNA 8.1 进行显式动力分析. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [2] 赵海鸥编著. LS-DYNA 动力分析指南. 北京: 兵器工业出版社, 2003

Finite element simulation analysis of unlocking mechanism based on LS-DYNA

Yang Li, Chen Hongxing, Liu Ruiqing

(1 Xi'an Institute of Modern Control Technology, Xi'an 710065, China)

Abstract: In view of the complexity of the opening collar and unlocking spring movement of the unlocking mechanism, this paper establishes the finite element model of the unlocking mechanism based on LS-DYNA and performs simulation analysis. The analysis results show that the model can accurately reflect the dynamic movement process and stress state of the opening and unlocking springs of the unlocking mechanism, and propose unlocking conditions and precautions for the unlocking mechanism to provide reference for similar unlocking mechanisms.

Keywords: LS-DYNA; unlocking mechanism; opening collar; unlocking condition; unlocking spring