

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2013.06.009

基于显式计算方法的锁块抗载瞬态动力响应分析*

李志鑫^{1,2}, 李 峰², 计时鸣¹, 任海波², 吴飞昌²

(1. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014;

2. 宁波双林汽车部件股份有限公司, 浙江 宁波 315153)

摘要: 针对汽车座椅的安全承载问题,将显式动力学分析技术应用到汽车座椅设计的各个环节。为了保证座椅在任意位置的安全性,安全锁的设计尤其重要,研究中建立了精细的座椅安全锁显式动力学模型,深入研究了锁块承载性与响应行为之间的关系;在有限元显式动力学分析的基础上,对锁块系统开展了物理实验研究。研究表明,锁块的设计参数与数值仿真分析的试验参数基本保持一致,而且采用显式动力学能够清晰地获取系统任意时刻的响应行为,这对于系统的动力学特性研究有重要的意义。

关键词: 显式动力学; 瞬态非线性响应; 锁块; 弹性; 结构建模

中图分类号: U463.83; TH13 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)06-0683-03

Transient response computation and application study on lock system in explicit dynamics

LI Zhi-xin^{1,2}, LI Feng², JI Shi-ming¹, REN Hai-bo², WU Fei-chang²

(1. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. Ningbo Shuanglin Auto Parts Co., Ltd., Ningbo 315153, China)

Abstract: Aiming at obtaining the safety carrying mechanics of the car seat, the explicit dynamic analysis technique was introduced to all aspects of the design and research the car seat system. To ensuring the reliability and safety of the seat in a given position, the design of the seat safety lock was particularly focused. The seat lock bearing response behavior was studied on the finite element explicit dynamics model. Besides the explicit dynamic finite element analysis on the lock system, the physical trial was also carried on the lock system to obtain its reliability and safety. The results indicate that bearing behavior parameters of the lock, deriving from the design and the numerical simulation analysis, is consistent. The response behavior of the system can clear access by the explicit dynamic at any time, which is a major significance for the detailed study of system dynamics.

Key words: implicit dynamics; transient nonlinear response; lock component system; elastic-plastic modeling; structural modeling

0 引 言

大多数结构非线性动力学问题的求解分析一般都采用显式求解方法,特别是针对求解大变形瞬态高度非线性问题时,显式动力学的优势更加明显。如韩玉坤等^[1]采用LS-DYNA 计算程序^[2],材料选用铸钢ZG270-500,建立了分段线性塑性材料模型,对快锻液压设备进行了动力学特性的研究分析,而提供的Von

Mise 应力图仅是显式和隐式动力学分析结果一种很常规的表达。陈国兴等^[3]构建了以Linux操作系统、64位ABAQUS软件、千兆以太网网络为集群子网络构建了32CPU并行计算集群平台,开展了对地铁地下结构的非线性地震反应分析。魏巍等^[4]采用显式动力学分析方法,对液力变矩器在楔紧过程中的动态行为进行了数值模拟分析,获取了摩擦过程动态应力的时程分布行为。高建民等^[5]采用显式动力学求解计算谷粒的冲

收稿日期: 2012-12-27

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y1110802);浙江省特种装备制造与先进加工技术重点实验室开放基金资助项目(20090305)

作者简介: 李志鑫(1975-),男,宁夏银川人,工学博士,讲师,主要从事机械系统动力学方面的研究. E-mail: lizhixin@zjut.edu.cn

击响应行为,为压电力敏元件的设计开发提供了依据。采用显式动力学分析方法,能够对滚动轴承内滚动体故障和麻点故障的形成机理进行分析研究^[6],提取滚动体在接触过程中应力等时程曲线,预测轴承的故障状态。另外,有限元显式动力学仿真技术在金属锻造^[7],爆炸冲击荷载作用下结构的冲击响应和破坏模式^[8]相对应用研究比较成熟。

地锁是汽车座椅锁止状态时的主要安全件,在座椅受到冲击载荷的作用下,保护乘员的安全,自身发生弹塑性变形行为,具有典型的非线性响应特性。为了验证在瞬时受载状况下的安全特性,本研究开展结构动力学特性的数值仿真分析和物理实验研究,获取其极限承载特性。

1 锁块系统安全受载行为分析

汽车座椅安全锁块基本的结构有限元模型如图1所示。当挡块绕转轴转到锁止位置,此时锁块会绕转轴转到锁死状态。在锁块的设计过程中设计了安全销,防止座椅外载荷过大时,座椅瞬时破坏倾角对乘客的伤害。

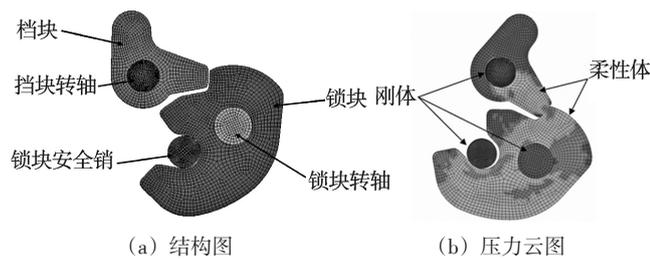


图1 锁块的结构图及在0.197 999 s时刻的 Von mises stress 云图

在系统建模阶段,座椅正常运行零部件均处于弹性可恢复的变形状况。当受到瞬时冲击载荷时,材料的局部应力由于阻尼特性,未及时扩散而引起时滞效应,造成局部应力集中。材料受到的弹性应力超过其屈服极限发生塑性变形行为。在锁块系统的建模过程中,材料模型选用弹塑性材料模型。锁块核心零部件材料的拉伸试验曲线如图2所示。

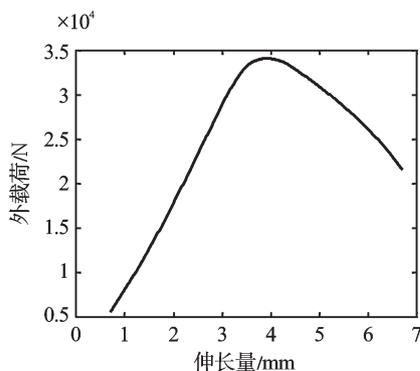


图2 锁块核心部件的抗载拉伸破坏试验曲线

地锁系统的结构所选用的材料主要以钢材为主,配合不同的热处理方式,材料的特性有所改变。销轴、转轴等(如图1所示)具有较高的屈服极限,在分析建模阶段看作刚体进行处理,基本的材料模型的选择及材料参数如表1所示。

表1 地锁模型仿真计算过程中所选取的材料模型及材料参数

材料参数	数值
密度/(T·mm ⁻³)	7.85E-09
杨氏模量/MPa	206 000
泊松比	0.28
屈服应力/MPa	1 070.2
切向模量/MPa	800

采用显式计算求解锁块的弹塑性变形行为的时间历程变化,需确定加载特性的时间历程行为。选择与实际的实验加载历程相似的加载过程,数字仿真计算的加载时间历程如图3所示。相对仿真试验,实际的物理试验要复杂并且缓慢很多。

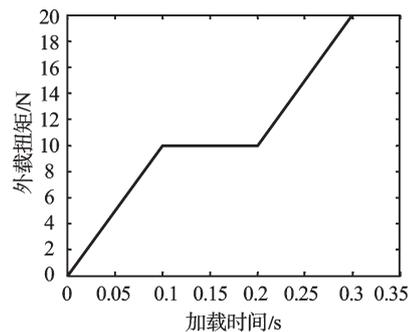


图3 试验加载历程曲线

采用显式动力学计算锁块的动力学响应行为时,对锁块的安全销轴,施加向下的运动载荷(如图3所示)验证锁块的安全承载能力,及其失效行为。整个系统的失效载荷主要施加在锁块安全销轴,承受向下的时间位移历程载荷(如图3所示)。从破坏现象和从仿真实验的 Von Mises 应力云图(如图1所示)来看,锁块与锁块销接触的部位受到较大的载荷,存在应力集中现象。

相应的输出,在仿真求解阶段,接触部位节点的 X、Y 和 Z 方向的位移响应曲线如图4所示。响应位

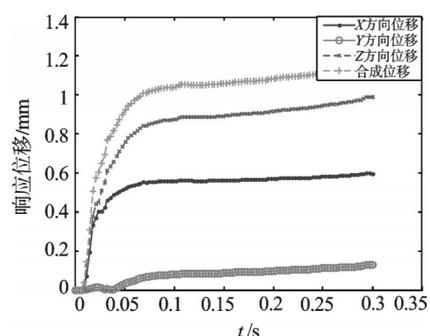


图4 计算历程(0.3 s)内,位移响应时间历程

移在各个方向上,均随着计算历程的延续,响应位移增加。在受载方向的响应位移较其他两个方向明显,与主要的加载载荷的方向保持一致。在计算求解过程中,发现当锁块与挡块间的接触应力超过材料的屈服极限时,系统的位移响应发生明显的波动,此时形变应力超过屈服极限。

同时输出锁块与锁块销轴接触部位的速度响应如图5所示。当仿真计算的时间超过0.041 999 s时,即接触应力超过屈服极限时,速度响应的峰值减小。同时发现速度响应的峰值在不同方向上的差异并没有位移响应行为的峰值差值那么明显,而且计算结果的峰值锯齿波逐步减小,与切向模量小于弹性杨氏模量保持一致。

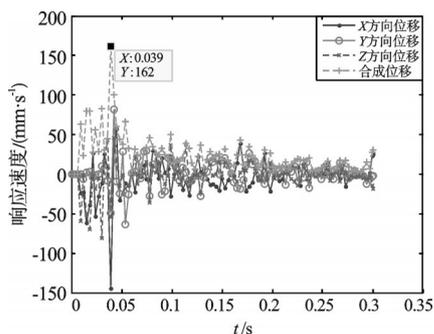


图5 计算历程(0.3 s)内,速度响应时间历程

输出锁块的加速度响应历程如图6所示。从曲线的变化状况可以看出,在接触应力未超过屈服极限应力时,各个方向的加速度响应保持一个较低的水平。当计算时间在0.041 999 s时,应力超过材料的屈服极限后,由于结构内部存在低于屈服极限位置的弹性应力、超过屈服极限的塑性变形行为、接触应力等复杂的形变行为,引起了由不同应力行为引起的锯齿效应,最终造成结构疲劳失效和应力失效行为。

从各个方向的加速度响应的时程曲线来看,存在典型的波动锯齿效应,而且具体在某一波动点加速度响应均是由多种耦合因素的集成结果(如图6所示)。由于不同因素的参与程度不同,并且具有较强的耦合接触非线性特征,本研究将各个方向的加速度合成,

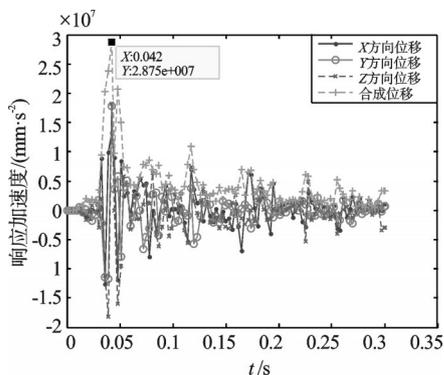


图6 计算历程(0.3 s)内,加速度响应时间历程

输出综合加速度响应时程曲线(如图6所示),发现当结构应力超过屈服极限后(超过0.041 999 s),其时程响应曲线发生非线性的波动行为。而从材料的特性拉伸曲线和获取的材料参数来看,当超过屈服极限后,对于双线性材料,切向模量一般均小于杨氏模量,应变超过屈服极限后,发生由切向模量和材料的粘滞阻尼主导的振荡行为,峰值逐步衰减。

2 锁块系统实验研究

为了获取锁块的承载特性,观察锁块破坏后的薄弱部位,在对锁块系统开展显式动力学有限元数值分析的基础上,本研究利用材料的拉伸试验机,对锁块系统的核心零部件开展物理试验研究,整个实验装置及锁块核心系统的夹持装置如图7所示。拉伸试验机的智能终端自动采集实验数据,并通过后处理输出拉伸实验曲线。



图7 实验装置及锁块核心系统的夹持装置

通过地锁系统的拉伸破坏试验来看,破坏载荷在4 200 N自动记录仪中断数据采集,试验完成。通过载荷试验曲线可以看到在载荷施加的初期,由于地锁系统零部件之间存在间隙,当拉伸载荷很小时,其拉伸位移在持续增加;当拉伸位移克服零部件之间的间隙时,随着拉伸载荷的增加,地锁系统的发生弹性变形,直至超过屈服点破坏。

从试验数据和仿真的数据对比来看,地锁系统的破坏拉力在4 200N左右,仿真试验达到材料屈服极限点的时间为0.041 999 s,系统的承载应力极限为1 100 MPa,与仿真的材料参数保持一致。同时依据仿真实验加载历程(如图3所示)计算得到,汽车座椅地锁系统的极限承载为4 199.9 N。

3 结束语

本研究采用显式结构动力学分析手段,对锁块系统完成了显式动力学及物理实验的研究,并得出了以下结论:

(1) 显式动力学计算模式,更适合求解时程变化

(下转第699页)

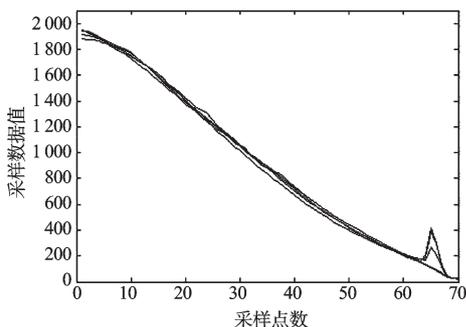


图5 数据重复性验证

的摩擦力大小进行分类处理。

3种方法的光纤管分类准确率如表1所示。

表1 光纤管分类准确率

分类方法	准确率/(%)					喇叭口	总计
	0~1 N	1~2 N	2~4 N	4~5 N	5 N 以上		
平均值法	96	97	98	97	97	—	97
斜率法	96	95	96	96	97	95	95.83
加权最小二乘法	98	97	98	97	99	98	97.83

从表1可以看出,加权最小二乘法的准确率最高。如果去掉喇叭口,采样平均值法的准确率也是很高,可以达到98%。

4 结束语

根据以上分析和结果,加权最小二乘法在该自动系统中分类准确性最高。本研究将该分类方法应用于自动分类系统中,结合DSP本身具有的高速数字处理能力,能够快速处理加权最小二乘法的算法,为实

现准确快速的分类提供了良好基础。

该自动分类系统已经能够投入实际使用,分类方法已得到了验证,完全满足生产的需求,适合大批量的分类检测,提高了生产的效率,降低了生产的成本。

参考文献(References):

- [1] 任宏伟,黄世峰,邹金龙. 超声波在管道内径检测中应用研究[J]. 北京电力高等专科学校学报, 2010(10): 108-109.
- [2] 王勇峰. 轴承内径在线检测系统的研究:[D]. 沈阳:沈阳理工大学机械学院,2008:1-7.
- [3] 谢会琴,杨铁牛,侯曙光. 注塑机机筒内径磨损量的检测方法研究[J]. 制造业自动化,2011,33(12):17-19,33.
- [4] 李海华,陈利. 利用图像实现孔类零件内径检测的方法[J]. 工具技术,2011,45(6):91-93.
- [5] 陈晓圆,陈彪. 基于机器视觉的光纤连接插芯内径测量系统[J]. 机电工程,2012,29(4):394-396,438.
- [6] 刘陵顺,高艳丽,张树团,等. TMS320F28335 DSP原理及开发编程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2011.
- [7] 张德丰. Matlab语言高级编程[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [8] 代冬岩,李智勇,张宏礼. 最小二乘法拟合及其Matlab实现[J]. 黑龙江科技信息,2009(21):35-36.
- [9] 张卫东,雷敏. 加权最小二乘估计中的拟合优度[J]. 中国统计,2006(8):53-54.
- [10] 徐永康,张雷. 基于Matlab空间四连杆引纬机构运动仿真[J]. 轻工机械,2012,30(3):17-21.
- [11] 丁毓峰. Matlab函数查询及应用案例(配视频教程)[M]. 北京:电子工业出版社,2011.

[编辑:张翔]

(上接第685页)

形态的力学响应行为。当时间段足够小时,能够满足求解精度的要求。通过对座椅地锁系统的显式计算和试验数据对比,两者保持了很好的一致性。

(2) 通过显式动力学求解分析,能够获得结构任意时刻的响应行为,通过正确的建模,能够捕捉到物理实验无法获得的中间段的微观响应行为,而相对物理试验获取时程曲线有一定的难度,追踪物理破坏的形成机理达不到量化的研究目标。

(3) 本研究通过显式动力学分析方法,获取了锁块的非线性接触波动行为是由多种力学因素合成的时变耦合行为,尤其是材料的应力超过屈服极限后的后屈服阶段,这种耦合行为愈加明显。

参考文献(References):

- [1] 韩玉坤,王立新,李军民,等. 20MN快锻液压机机架动力学分析[J]. 中国重型装备,2011(1):14-17.
- [2] 刘阳,魏昕,卫亮. 基于ANSYS/LS-DYNA的E型卡

簧安装过程的动态仿真[J]. 机电工程技术,2012,41(9): 64-66.

- [3] 陈国兴,陈磊,景立平,等. 地铁地下结构抗震分析并行计算显式与隐式算法比较[J]. 铁道学报,2011,32(11): 111-117.
- [4] 魏巍,孙恬恬,闰清东,等. 对数螺线及直线型面单向联轴器摩擦自锁机制的显式动力学数值模拟比较研究[J]. 润滑与密封,2009,34(3):41-43.
- [5] 高建民,郝磊斌,张刚,等. 谷粒冲击压电力敏元件数值模拟与试验[J]. 农业机械学报,2009,40(6):63-66.
- [6] 张乐乐,谭南林,樊莉. 滚动轴承故障的显式动力学仿真与分析[J]. 上海交通大学学报,2007,41(9):1506-1509.
- [7] 赵玉清. 基于Ansys/Ls-Dyna的模锻成形研究[J]. 邢台职业技术学院学报,2009,26(5):72-75.
- [8] 张秀华,张春巍,段忠东. 爆炸荷载作用下钢框架柱冲击响应与破坏模式的数值模拟[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版,2009,25(4):656-662.

[编辑:张翔]