

智能立体车位防坠落系统动力学特性仿真^①

毛君, 佟阳, 谢苗, 于晗

(辽宁工程技术大学 机械工程学院, 阜新 123000)

摘要: 智能立体车位防坠落卡板与防坠落挡块的碰撞冲击过程属于非线性结构问题, 对防坠落系统的设计可靠性进行了现场试验, 并运用非线性有限元法对防坠落系统进行了仿真计算. 利用 ANSYS/LS-DYNA 模块得到了防坠落系统的在工作过程中的力学性能和动力学特性, 获得了关键部件跌落碰撞整个时程中较准确的应力、应变、速度和加速度值, 验证了该系统的安全性和可靠性, 对立体车位防坠落系统的设计具有重要的参考价值.

关键词: 立体车位; 防坠落; 动力学特性; 有限元法; ANSYS/LS-DYNA

Dynamic Characteristics Simulation of Intelligent Three-dimensional Parking Spaces Falling Protection System

MAO Jun, TONG Yang, XIE Miao, YU Han

(School of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: The impact of intelligent three-dimensional parking spaces falling protection board dropping on falling protection obstacle is a nonlinear structure problem. The reliability of falling protection system has been confirmed through a physical test. Drop impact of falling protection system was simulated by nonlinear finite element method. Mechanical properties and dynamic characteristics of the falling protection system in the drop impact process were analyzed by ANSYS/LS-DYNA. The stress, deformation, velocity, and acceleration were obtained. Security and reliability of the devices were confirmed. It is referred to design the three-dimensional parking spaces falling protection system.

Key words: three-dimensional parking spaces; falling protection devices; dynamic characteristics; finite element method; ANSYS/LS-DYNA

1 引言

随着人们生活水平的提高, 城市停车位数量难以满足人们泊车需求的矛盾日益突出, 一线城市“停车难”的问题尤为严重. 为缓解“停车难”的现象, 确保城市的交通建设和经济发展的顺利进行, 智能立体停车位应运而生. 然而, 在立体停车位运营的过程中, 出现了如高空载车板坠落而砸伤一层人员和车辆等一系列事故, 严重影响了该设备的市场推广, 阻碍了国民经济的高速发展. 因此设计一种安全、可靠、耐用的防坠落装置尤为重要^[1].

本为对智能立体停车位的防坠落装置进行现场试验和非线性有限元分析, 通过 ANSYS/LS-DYNA 模块, 对防坠落装置关键部件抗冲击性进行了仿真计算,

获得了其跌落碰撞整个时程中较准确的应力、应变、速度和加速度值, 对立体车位防坠落装置的设计有重要的参考价值^[2].

2 工作原理

本文研究的智能立体车位为单臂式立体车位, 车辆的存取由升降, 回转, 平移三个动作实现. 在升降过程中, 停泊车辆的升降由卷扬经由钢丝绳带动位于载车板一侧的滑套驱动. 提升钢丝绳经由导向天轮, 绕过固定于升降滑套上的动滑轮, 另一端固定在回转立柱上, 防坠落装置经由连杆安装于动滑轮下端, 当钢丝绳突然断裂时, 防坠落装置开启, 防止载车板从高空坠落. 样机试验如图 1 所示.

^① 收稿时间:2012-03-13;收到修改稿时间:2012-04-10



图 1 防坠落样机试验

立体车位防坠落装置的结构组成如图 2 所示. 当停车位正常工作时, 动滑轮 8 会被钢丝绳 1 抬起, 防坠落卡板 4 经由连杆 3 被动滑轮 8 拉紧, 此时, 连接于防坠落卡板 4 上的扭转弹簧 7 处于压紧状态. 当钢丝绳 1 的固定端或提升端任意一段出现破断时, 动滑轮 8 出现松弛, 防坠落卡板 4 在扭转弹簧 7 的作用下打开, 实现防坠落卡板与防坠落挡块的跌落碰撞, 防止载车板从高空坠落而产生事故. 此时防坠落机构的工作状态如图 3 所示.

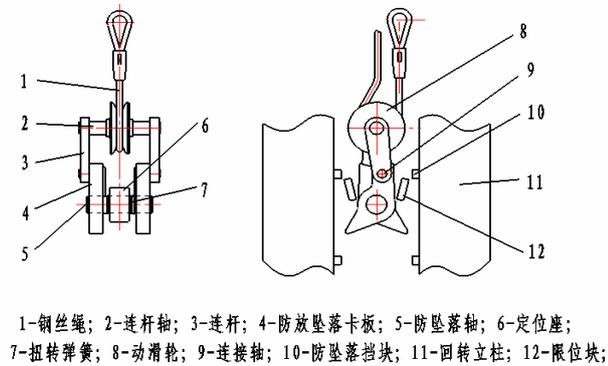


图 2 工作原理

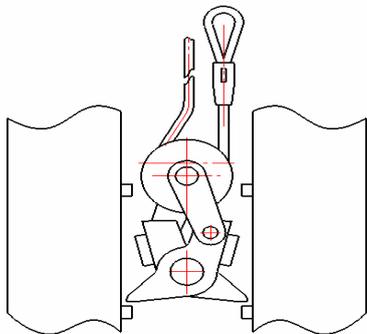


图 3 工作状态示意图

3 力学模型的建立

立体停车位防坠落装置在工作过程中, 其坠落可分为 4 个过程, 如图 4 所示.

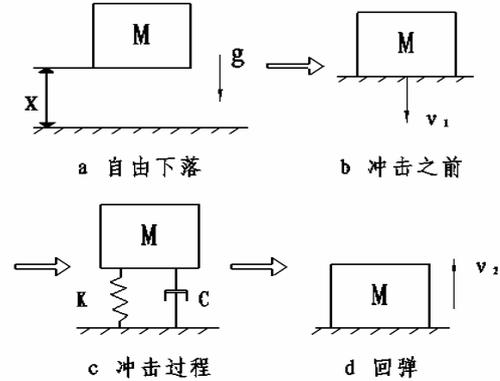


图 4 坠落冲击过程

防坠落卡板与防坠落挡块的跌落冲击过程为几何非线性. 防坠落卡板下落时, 其动能修正系数为:

$$T' = T + \{P_\xi\}^T ([A_c]^T \{\dot{x}\} - \{P_c\}) \quad (1)$$

在(1)式中: T' 为滑套撞击前的实际动能, T 为滑套撞击前的理论动能, $\{P_\xi\}$ 为修正系数矩阵, $[A_c]$ 为碰撞系数约束矩阵, $\{P_c\}$ 为总体约束向量, $\{\dot{x}\}$ 为撞击瞬间防坠落装置的速度向量. 其修正后的拉格朗日动力方程为:

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T}{\partial \{\dot{x}\}} \right] - \frac{\partial T}{\partial \{x\}} + \frac{\partial V}{\partial \{x\}} + [A_c] \frac{d}{dt} \{P_\xi\} = \{W\} \quad (2)$$

在(2)式中, V 为系统的势能, T 为系统的动能, 为广义力向量, $\{W\}$ 为防坠落装置的位移向量. $\{x\}$ 则系统的动力学方程为:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} + [A_c] \frac{d}{dt} \{P_\xi\} = \{W\} \quad (3)$$

在(3)式中, $[M]$ 为质量系数矩阵, $[C]$ 为阻尼系数矩阵, $[K]$ 为刚度系数矩阵, $\{\ddot{x}\}$ 为防坠落装置的加速度向量^[3-5].

4 防坠落装置跌落碰撞动力学分析

将防坠落装置的工作过程简化为滑套的跌落过程, 当提升钢丝绳破断时, 为防止台板坠落而对人员, 一层停放车辆和二层停放车辆的安全造成威胁, 防坠落装置开启, 和承载二层停放车辆、台板和滑套的自

重作用下, 防坠落卡板与防坠落挡块跌落碰撞, 承受产生的瞬间冲击载荷. 采用 Pro/E 软件建立防坠落装置的三维实体模型, 然后导入 ANSYS/LS-DYNA 模块对跌落过程进行仿真分析.

4.1 有限元模型的建立

为减少有限元计算的工作量, 对模型进行如下简化:

- 1)略去对计算结构影响不大的零件, 如动滑轮、连接板和限位块等.
- 2)将回转立柱和防坠落挡块简化为刚体材料.
- 3)将坠落过程中, 防坠落卡板与防坠落挡块的跌落碰撞过程简化为跌落过程.
- 4)简化模型, 将二层车辆, 载车板, 滑套的质量集中到定位座.

在防坠落装置中, 防坠落卡板为不规则形状, 张开后与防坠落挡块面接触, 其厚度为 25mm, 材料为 45#, 防坠落轴承受较大冲击力, 其直径为 $\phi 40\text{mm}$, 材料为 40Cr, 定位座外形尺寸为 $100 \times 120 \times 40\text{mm}$, 材

料为 45#. 定义单元类型为 3D Solid 164, 对各实体模型进行材料定义, 其中定位座的密度由停泊车辆, 载车板, 升降滑套的质量集中来防坠落挡块的间距为 230mm, 假设防坠落装置从 200mm 的高度跌落, 跌落过程中静摩擦系数为 0.2, 动摩擦确定, 具体参数见表 1.

系数为 0.1, 粘性阻尼系数为 0.1, 其跌落的有限元模型如图 5 所示^[6].

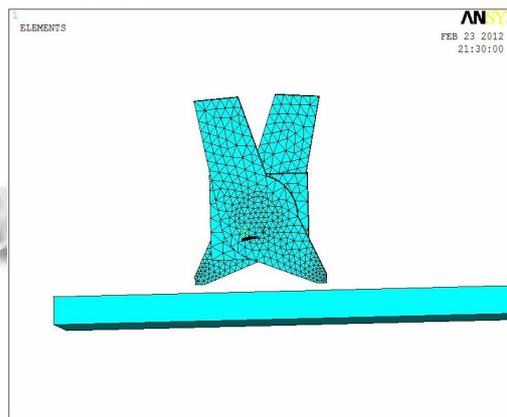


图 5 防坠落装置的有限元模型

表 1 各实体的材料模型参数

	密度	弹性模量	泊松比	屈服应力	切线模量
防坠落卡板	$7.8 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$	2.06×10^5	0.3	355Mpa	79000
防坠落轴	$7.8 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$	2.06×10^5	0.3	785Mpa	79000
定位座	$4.68 \times 10^{-3} \text{ kg/mm}^3$	2.06×10^5	0.3	355Mpa	79000

4.2 跌落仿真结果及分析

防坠落卡板跌落碰撞挡块后, 防坠落装置, 防坠落卡板和防坠落轴的受力如图 6、7、8 所示.

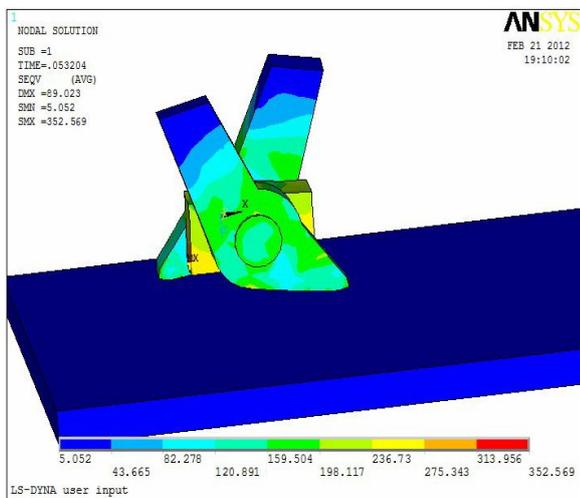


图 6 防坠落装置跌落应力云图

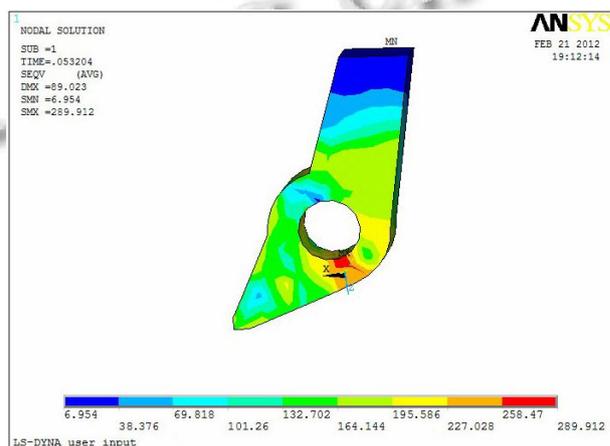


图 7 防坠落卡板的应力云图

从图 6、7、8 中可以看出, 防坠落装置在工作过程中承受最大载荷为 352.569Mpa, 防坠落卡板承受最大载荷为 289.912MPa<355MPa, 防坠落轴的承受最大

载荷为 $341.612\text{MPa} < 785\text{MPa}$. 其强度均满足防坠落装置的跌落碰撞要求.

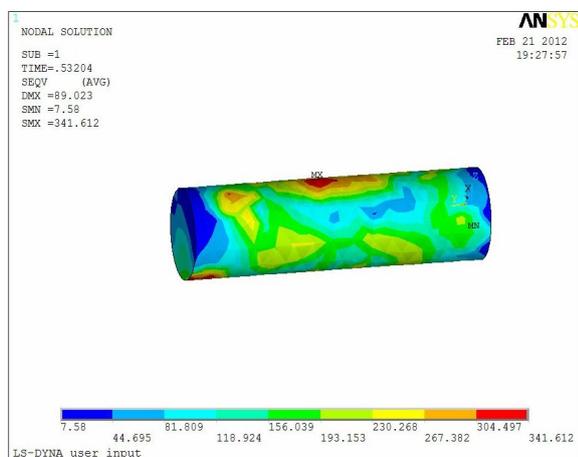


图 8 防坠落轴的应力云图

防坠落卡板和防坠落轴为受力最大的关键构件, 在跌落碰撞过程中, 防坠落卡板和防坠落轴在跌落碰撞整个时程中的应变, 速度和加速度如图 9、10、11 所示. 其中青色为防坠落卡板为载荷最大处节点, 紫色为防坠落轴载荷最大处节点.

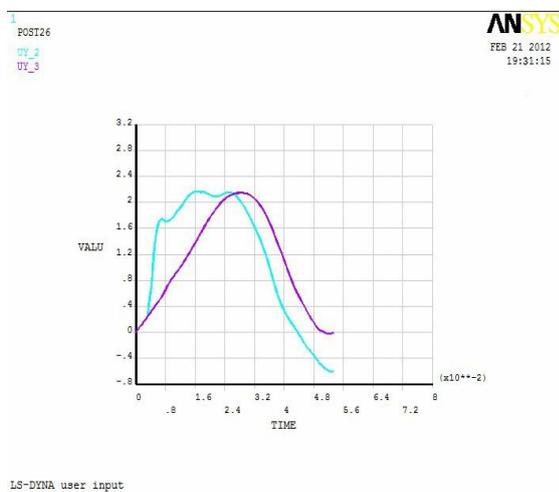


图 9 防坠落卡板、防坠落轴的应变时程曲线

防坠落卡板和轴在跌落碰撞过程中的最大应变为 2.2mm , 防坠落轴达到最大应变的时刻要比防坠落卡板延迟 0.014s . 在跌落碰撞发生 0.035s 时, 防坠落卡板和防坠落轴的速度达到最大, 分别为 600mm/s 和 500mm/s . 防坠落卡板的最大加速度为 250m/s^2 , 防坠落轴的最大加速度为 50m/s^2 . 跌落时程中无突变应力、应变、速度、加速度变化^[6,7].

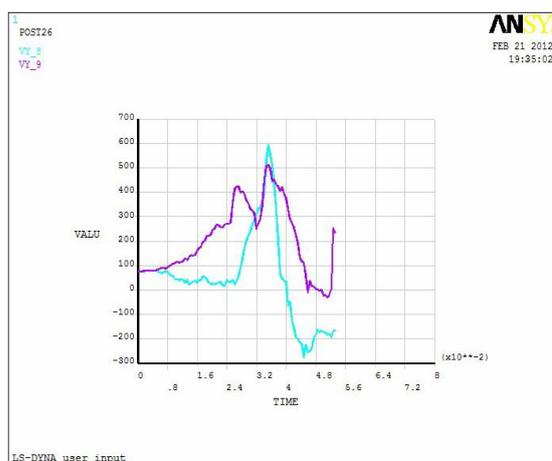


图 10 防坠落卡板、的速度时程曲线

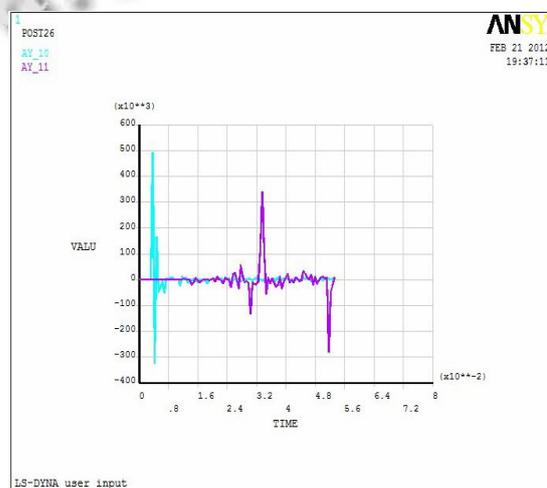


图 11 防坠落卡板、轴的加速度时程曲线

5 结语

本文基于 ANSYS/LS-DYNA 模块, 对智能立体车位的防坠落装置的跌落进行动力学分析, 获得了防坠落装置关键部件防坠落卡板和防坠落轴在跌落碰撞整个时程中较准确的应力、应变、速度和加速度. 坠落卡板最大工作应力为 289.912MPa , 防坠落轴最大工作应力为 341.612MPa , 均小于材料的屈服强度. 碰撞过程中的最大变形量为 2.2mm , 防坠落轴达到最大应变的时刻要比防坠落卡板延迟 0.014s . 在碰撞发生后 0.035s 时, 防坠落卡板和防坠落轴的速度达到最大. 给出了跌落碰撞过程中关键部件的动力学参数, 有效地验证了防坠落装置的合理性、可靠性, 为现场的实验结果提供了理论依据. 获得了防坠落装置在跌落碰撞过程中的力学性能和动力学特性, 对立体车位防坠

(下转第 130 页)

zsshk 表中的对应的记录即可。如果只检索到一条记录,表示该种次号只取过一本书,就需要删除著者数据表 zzzxxk 和索书号数据表 zsshk 对应的记录,并将分类号和种次号写入删除记录表 zdel_dat 以供下次取号使用。

4.3 种次号管理系统



图 4 种次号管理系统登陆界面



图 5 种次号管理系统取号界面

5 小结

基于种次号改良方案的浙江工业大学种次号管理系统采用 VB 程序语言实现了用户登陆、用户管理、种次号取号、种次号销号、种次号查询、种次号日志查询、种次号报表和系统管理等功能。该系统有利于图书编目的自动化、精确化,有利于提高图书馆编目工作的效率,有利于图书排架的合理化,有利于读者对同种图书进行比较利用,也有利于提高图书馆的服务质量。浙江工业大学图书馆种次号管理系统在编目部门实际的使用过程中,获得一致的好评。

参考文献

- 1 杨振冰,于柳.几种复杂情况下种次号的取用.高校图书馆工作,2005,(5):37-38.
- 2 孙艳,李玉荣.试析种次号的优化方法.山东图书馆季刊,2008,(4):62-64.
- 3 蒋鸿标.对改进种次号编码法的探讨.图书馆建设,1994,(4):47-48.
- 4 王业斌,张得福.改进种次号,提高图书馆目录及藏书排架质量.医学图书馆通讯,1999,(3):33-36.
- 5 于艾军.巧用种次号一法.江苏图书馆学报,1997,(2):21.
- 6 陈志延.计算机编目中种次号的改良.图书馆建设,1995,(6):40.
- 7 周子荣,史国强,夏勇.图书索书号设计探讨.图书馆杂志,2001,(1):22-25.
- 8 蒋歆.种次号研究述评.农业图书情报学刊,2008,5:54-56.

(上接第 83 页)

落装置的设计提供了重要理论依据,提供了一种能够较准确的模拟实物试验的方法。

参考文献

- 1 莫代新.升降横移式立体车库结构设计及有限元分析.南宁:广西大学,2009.
- 2 胡名玺,陈煜,杜振杰,等.基于 ANSYS/LS-DYNA 的包装件跌落仿真分析.包装工程,2007,28(11):53-54.
- 3 Barauskas R, Abraitene A. Computational analysis of impact of a bullet against the multilayer fabrics in LS-DYNA. Int.

- Journal of Impact Engineering, 2007,34(7):875-881.
- 4 DebM A, Raguraman NK, Madhu GV. Numerical Simulation of Projectile Impact on Mild Steel Armour Plates using LS-DYNA. Defence Science Journal, 2008,3:787-789.
- 5 魏丕勇,闫清东,李宏才.履带式移动机器人车体跌落碰撞仿真分析.机械强度,2005,27(1):12-16.
- 6 刘海江,张夏,肖丽芳.基于 LS-DYNA 的 7075 铝合金汽车保险杠碰撞仿真分析.机械设计,2011,28(2):18-22.
- 7 刘永辉,张银.基于有限元分析的洗衣机跌落冲击仿真及改进设计.振动与冲击,2011,30(2):164-166.