

多缸液压调节机构的冲击特性研究

陈海伦¹, 赵恒义¹, 杨黎明^{1*}, 杨嘉陵², 王礼立¹

(1. 宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211; 2. 北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100083)

摘要: 采用自制四油缸液压调节机构对油缸受撞击时的动态响应进行了实验研究. 利用电阻式位移传感器测量了各活塞杆的位移—时程曲线, 使用 MATLAB 软件得到了速度和加速度的时程曲线, 获得了各活塞杆的最大位移、最大速度和最大加速度随落锤下落高度的变化. 结果表明: 在任一油缸受撞击时, 其他 3 个油缸的反应时间一致; 随着落锤下落高度的增加, 各油缸的最大响应速度和最大加速度逐渐增加.

关键词: 液压机构; 液压支柱; 冲击特性; 稳定性

中图分类号: V214.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2016) 02-0054-04

近年来, 航空飞行器因其具有的明显优势被大量使用, 但随着飞行架次不断增加, 发生航空器坠毁事故次数也不断增加, 造成大量的人员伤亡和财产损失, 使得人们对航空器的安全防护要求也越来越高. 人们在早期的航空飞行器事故调查中发现, 坠毁事故一般是在极短时间内发生, 速度很高, 飞行器本身所受冲击力很大, 对乘员的伤害也是致命的. 因此研究减少冲击力给乘员的伤害是航空器设计和研究的重要内容, 其中抗坠毁措施是目前相关学术界研究较多的方面. Wiggeraad 等^[1]采用复合材料波纹梁设计了机身下底板结构, 并通过实验和数值仿真验证了改进的效果; Taher 等^[2]利用诱导翻卷原理设计了一种机身下底板龙骨梁的复合能量吸收结构; 杨嘉陵等^[3-4]对武装直升机跪式起落架的坠毁能量吸收过程进行了理论分析和数值仿真; Fagan^[5]利用金属圆柱壳的切削、膨胀撕裂和翻卷原理设计了 3 种能量吸收结构; Airolidi 等^[6]设计了带有诱导机构的金属圆柱壳轴向压溃能量吸收装置; Bolukbasi^[7]设计了剪切套管能量吸收装置. 以上这些研究对于改进航空器结构设计有着重要指导意义. 但航空飞行器在发生事故时, 遇到的地面形态不可预计, 地形高低差异

较大. 因此, 在发生事故落地时, 因为地面不平可能发生倾斜, 进而影响吸能装置的效率. 同时由于航空飞行器坠毁时的时间较短, 需要液压调节机构能够在很短时间内发挥作用, 而且不产生次生灾害. 因此, 笔者研究了一种能及时自动调节能量吸收装置方向的机构, 使能量吸收装置在所预期的方向上吸收冲击动能, 并进一步对该机构的冲击性能进行了研究.

一般而言, 方向调节机构从动力方面可以有动力的, 也可以是无动力的; 从控制方面可以是自动或手动控制的, 也可以是自适应的; 从其结构看, 可以是简单的机械结构, 也可以是气动、液压或电气等机构. 在比较了几种结构的优缺点后, 笔者采取了多油缸液压调节机构, 结构示意图如图 1 所示. 调节机构安装于能量吸收装置的底部, 主要由 4 根承载柱组成, 承载柱主要包括油缸和活塞杆两部分, 活塞杆可在油缸内运动, 并将油缸分为 2 个腔——有杆腔和无杆腔, 无杆腔内充满油液并通过油路互相连通. 整个机构固定于 1 块钢板上. 当机构落在不平整地面时, 调节机构将开始工作, 先触地的活塞杆在地面冲击力作用下向油缸内运动, 压迫油液进入其他油缸, 从而推动其他活塞杆向

收稿日期: 2014-12-21. 宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金 (11032001) .

第一作者: 陈海伦 (1987—), 男, 山东巨野人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 冲击动力学. E-mail: chen hailun2012@sina.cn

*通信作者: 杨黎明 (1957—), 男, 福建长乐人, 教授, 主要研究方向: 冲击动力学. E-mail: yangliming@nbu.edu.cn

油缸外运动; 当所有活塞杆均触地时, 油路被自动关闭, 整个机构被锁死, 活塞杆开始承载, 能量吸收装置在设计许可的方向上工作。



图1 多缸液压调节机构

1 实验研究方法

多油缸液压调节机构中, 油缸内径为 $\Phi 40$ mm, 长度 350 mm, 最大行程 300 mm. 各油缸布置在正方形钢板(500 mm $\times$ 500 mm)的4个角附近, 连接各油缸的油管内径为 $\Phi 11$ mm.

冲击实验在落锤冲击实验机上进行. 落锤为 1 块固定质量钢块, 固定在落锤实验机的导轨架上, 并由电动机调整落锤的下落高度, 选择落锤的不同下落高度可测试不同的冲击特性. 文中, 落锤的质量为 15 kg, 下落高度分别选为 10, 20, 30, 40 cm. 实验时, 先将落锤提升到一定高度, 然后突然释放, 落锤自由下落, 撞击液压机构的某个活塞杆. 测试在撞击过程中每个油缸活塞杆的位移, 得到各活塞杆的位移—时间曲线, 利用 MATLAB 软件进行数据处理, 便得到各活塞杆的速度—时间曲线和加速度—时间曲线.

为测试调节机构的结构性能, 在静态实验机上测试了静态压缩时的性能, 同时也测试了整个机构从不同高度落下来时的平衡性和稳定性.

由于各液压缸内活塞杆的反应速度对于调节机构的调节能力至关重要, 其性能会影响到整个调节系统的动态特性. 因此, 笔者利用液压冲击实验对上述调节机构做了实验研究. 实验利用电阻式位移传感器测量某一活塞杆受撞击时各活塞杆的位移—时间曲线, 假设所测曲线为 $s_i(t)$, $i=1, 2, 3, 4$, 对位移求导可得各液压支柱的速度为:

$$v_i(t) = ds_i(t) / dt, \quad (1)$$

对上式求导可得各液压支柱的加速度为:

$$a_i(t) = d^2 s_i(t) / dt^2. \quad (2)$$

根据流体力学知识可知^[8], 流量 $Q_i(t)$ 与液压支柱的速度 $v_i(t)$ 之间的关系为:

$$Q_i(t) = Av_i(t) = (\pi D^2 / 4) \cdot v_i(t). \quad (3)$$

由(1)和(3)式可得流量 $Q_i(t)$ 与液压支柱的位移 $s_i(t)$ 之间的关系为:

$$Q_i(t) = Av_i(t) = (\pi D^2 / 4) \cdot (ds_i(t) / dt). \quad (4)$$

通过(4)式可以得到在某个活塞杆受撞击时, 各液压缸内的流量时间历程图. 由于液压缸的横截面面积是不变的, 因此液压缸的流量—时间曲线和速度—时间曲线具有相同的趋势, 鉴于篇幅所限, 文中仅给出了速度—时间曲线.

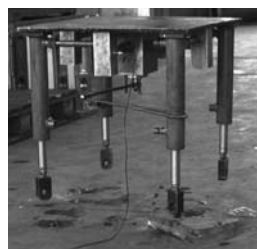
2 实验结果及分析

2.1 机构静态实验

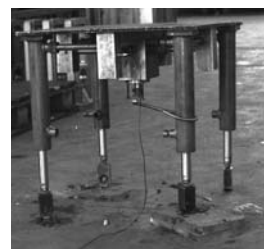
液压调节机构某个活塞杆在静态压力作用下, 逐步压缩, 其他 3 个活塞杆则同步逐步伸长, 说明各油缸工作稳定可靠.

2.2 机构平衡性实验

将自适应方向调节器提升一定高度, 并在调节器某支柱正下方预先添置一定高度的铁块, 用以模拟不平的地面, 然后将调节器释放, 使其自由下落, 通过高速摄影仪拍摄其下落触地的整个过程, 然后比较其触地前的瞬间和触地后静止时的姿态, 便可直观地看出调节器的调节能力. 图 2 是调节器从一定高度自由释放时触地前后的对比图, 由图可见, 机构基本稳定, 未发生明显的侧倒、旋转等问题, 反映机构基本稳定和平衡.



(a) 第 1 根支柱触地时



(b) 停止运动时

图2 调节器触地前后对比

2.3 机构动态实验

图 3 是落锤撞击某活塞杆时, 各活塞杆的位移变化图; 图 4 是其对应的速度变化图. 从图中可以看出, 当 3 号活塞杆(各活塞杆编号见图 1)被撞击时, 另外 3 根活塞杆开始响应的时刻一致, 但是 2 号和 4 号活塞杆经过 0.08 s 后停止运动, 而 1 号活

塞杆则要经过 0.15 s 左右才停止运动, 主要原因是由于 1 号和 3 号活塞杆处于对角线位置, 2 号和 4 号活塞杆处于对角线位置, 3 号油缸(即 3 号活塞杆所在油缸)内的油液在流入 1 号油缸内时所经过的拐角比流入 2 号和 4 号油缸的少, 也就是局部阻力损失较小, 而油液流入各油缸的沿程阻力损失基本一致, 因此导致 3 号杆被撞击时, 1 号杆的位移及运动时间较长, 而 2 号和 4 号杆的位移和运动时间较短. 在液压机构受撞击的最初 0.05 s 内, 各活塞杆的位移急剧上升或下降, 而在撞击 0.05 s 之后位移变化比较平缓, 因此可以确定落锤撞击液压机构的冲击动态变化在 0.05 s 以内. 在 0.05 s 左右达到最大值, 而在 0.1 s 后基本为静态.

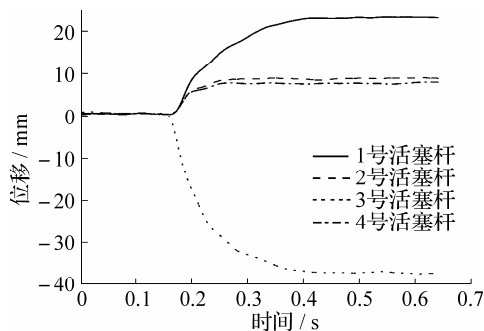


图3 各活塞杆的位移曲线(3号活塞杆受撞击)

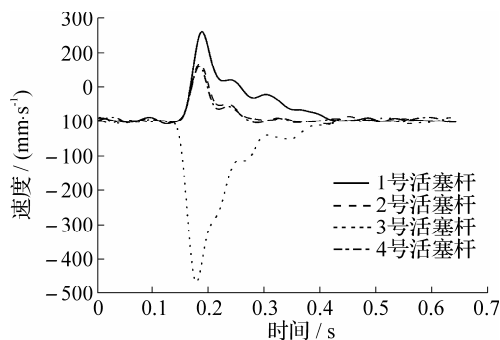


图4 各活塞杆的速度曲线(3号活塞杆受撞击)

分析图5~图7可知, 随着落锤高度增加, 受撞击活塞杆和其他活塞杆的最大位移不断增大, 且受撞击活塞杆的位移是其他活塞杆位移之和. 从图6和图7可知, 随着落锤高度增加, 各活塞杆的最大速度和最大加速度逐步增加. 对比三个图还可以看出, 随着落锤高度增加, 速度变化值最大, 位移变化较小.

由图8可见, 活塞杆速度曲线在0.1 s之前变化比较剧烈, 并在0.05 s左右达到最大速度, 可以说

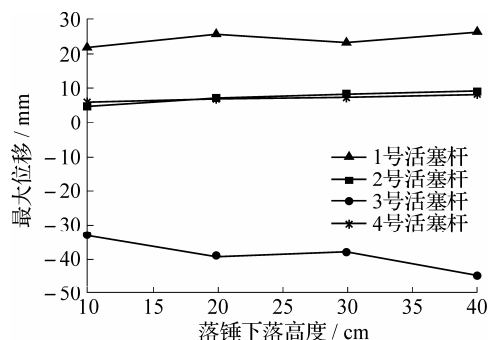


图5 各活塞杆最大位移随下落高度的变化

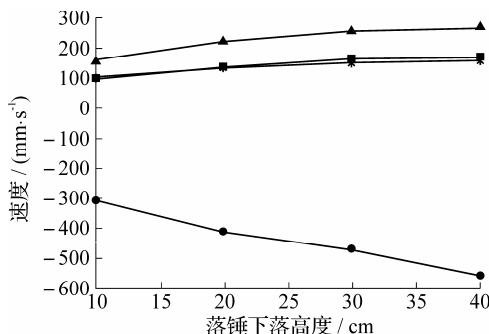


图6 各活塞杆最大速度随下落高度的变化

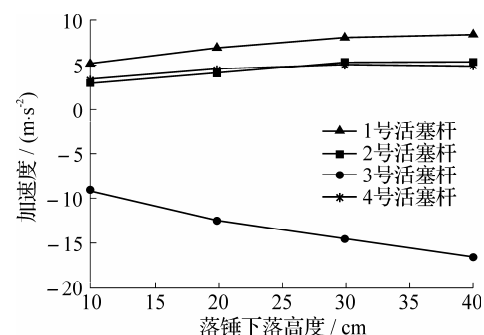


图7 各活塞杆最大加速度随下落高度的变化

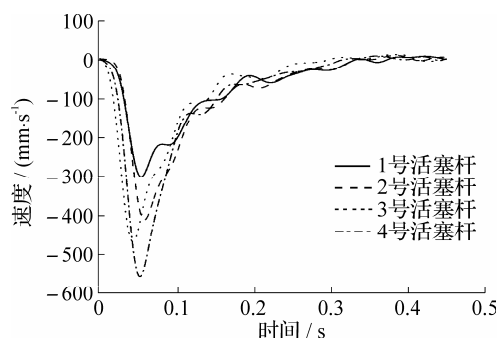


图8 落锤不同下落高度时3号液压支柱速度曲线

明冲击阶段主要集中在撞击最初 0.1 s 时间内, 0.1 s 后速度变化就比较平缓, 这时的运动过程已经不属于冲击过程. 随着落锤下落高度的增加, 各活塞杆的最大速度逐渐增加; 无论落锤的下落了高度多少, 活塞杆的速度脉冲带宽基本一致.

通过图9可见,活塞杆的加速度在0.1 s之前的变化比较剧烈,而0.1 s之后已经趋近于零,说明冲击阶段主要发生在最初的0.1 s时间里,0.1 s之后基本上处于匀减速运动的状态。加速度脉冲的带宽不随落锤下落高度的变化而变化;随着落锤下落高度的增加,各活塞杆的最大加速度逐渐增加。

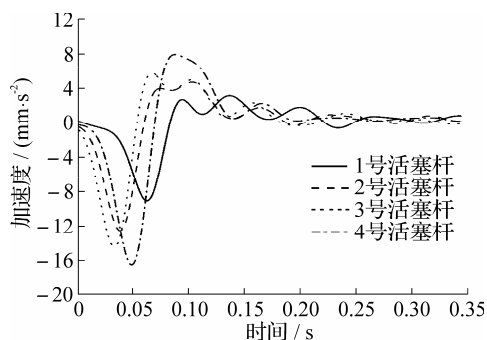


图9 落锤不同下落高度时3号液压支柱加速度曲线

3 结论

(1)利用油缸液压机构作为调节结构是可行的,机构平衡性和稳定性好;(2)无论落锤的下落高度为多少,各活塞杆达到最大速度的时刻没有明显的差别;(3)随着落锤下落高度增加,某个油缸活塞杆承受撞击时,各活塞杆的最大位移、最大速度和最大加速度逐步增加。

参考文献:

- [1] WIGGENRAAD J F M, MICHELSEN A L P, SANTORO J D, et al. Development of a crashworthy composite fuselage structure for a commuter aircraft[C]. CEAS Forum, 2000.
- [2] TAHER S T, MAHDI E, MOKHTAR A S. A new composite energy absorbing system for aircraft and helicopter[J]. Composite Structures, 2006, 75:14-23.
- [3] 杨嘉陵, 吴卫华, 武装直升机抗坠毁设计研究[J]. 机械工程学报, 2001, 37(5):1-6.
- [4] 杨嘉陵, 吴卫华, 赵岩, 等. 跪式起落架在武装直升机坠毁过程中能量吸收能力研究(I): 数值仿真计算[J]. 航空学报, 2002, 23(1):23-27.
- [5] FAGAN C H. Crash attenuation landing gear: US, 3997133 [P]. 1976-02-18.
- [6] AIROLDI A, JANSZEN G. A design solution for a crashworthy landing gear with a new triggering mechanism for the plastic collapse of metallic tubes[J]. Aerospace Science and Technology, 2005(9):445-455.
- [7] BOLUKBASI A O. Variable-load shear collar for helicopter landing gear shock struts: US, 6328259 B1[P]. 2001-10-11.
- [8] 蔡亦钢, 段小中, 盛敬超. 测量流体传输管道内压力脉动的新方法[C]. 中国机械工程学会流体工程学会第二届学术年会, 1989:88-93.

Impact Characteristics of Hydraulic Mechanism with Multiple Props

CHEN Hai-lun¹, ZHAO Heng-yi¹, YANG Li-ming^{1*}, YANG Jia-ling², WANG Li-li¹

(1.Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.School of Aeronautic Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The dynamic characteristics are studied for a hydraulic mechanism with four hydraulic props in which one hydraulic prop is impacted. Displacement of each hydraulic prop is measured by resistance displacement sensor. Maximum values of velocity and acceleration of four props varying with the falling height of the hammer are simulated using MATLAB. Results show that no matter which hydraulic prop is impacted, the other three props respond always at the same time; both the maximum velocity and acceleration of each hydraulic prop become larger along with the increase of falling height of hammer.

Key words: hydraulic mechanism; hydraulic prop; impact characteristics; stability

(责任编辑 章践立)