

技术专论

冲压式快速空投气囊空投轨迹研究

许鑫¹, 齐明思², 刘守君², 孙亮²

(1. 太原工业学院, 太原 030008; 2. 中北大学, 太原 030051)

摘要:目的 仿真探索突风对空投气囊空投轨迹的影响状况。方法 研究突风对传统空投产生的影响,利用 Matlab 软件中的 Simulink 模块分别研究有无突风对空投精确度的影响。结果 竖直突风对空投轨迹误差的影响是水平向左方向偏差约为 600 m,水平向右的突风对水平位移误差的影响是水平向右方向偏差约 3 km 以上,而水平向左的突风对水平位移误差的影响是水平向左方向偏差约 2 km 以上。结论 竖直突风对空投轨迹的影响较小,而水平向右的突风影响最大。

关键词: 突风; 缓冲气囊; 空投轨迹

中图分类号: TB485.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2015)17-0035-04

Airdrop Trajectory of the Punching-type Quick Airdrop Airbags

XU Xin¹, QI Ming-si², LIU Shou-jun², SUN Liang²

(1. Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan 030008, China;

2. North University of China, Taiyuan 030051, China)

ABSTRACT: The purpose of this paper was to simulate and explore the influence of gust on the airdrop trajectory of airdrop airbag. The impact of gust on the traditional airdrop was studied, and the airdrop accuracy with and without gust was analyzed respectively using the Simulink module of Matlab software. The impact of the vertical gust on the trajectory deviation was a horizontal deviation to the left direction of approximately 600 m. The impact of the horizontal-right gust was a horizontal deviation to the left direction of >3 km, and the impact of the horizontal-left gust was a horizontal deviation to the left direction of >2 km. In conclusion, the horizontal gust had smaller effect on the airdrop trajectory, while the horizontal-right gust had the largest effect on the airdrop trajectory.

KEY WORDS: gust; cushioning airbag; trajectory of the airdrop

空投系统空投保障在应急突发事件中,如地震、雪灾等其他灾害的救援和物资投放中发挥着巨大的作用。目前我国空投技术虽然有了一定的发展,但是传统空投还是面临着许多困难,如在紊乱气流、强降雨和地磁干扰的情况下,定点空投较难实现,精确度受到很大影响。在各种恶劣复杂的环境下,如何将空投设备受紊乱气流的影响降到最低,实现定点精确空投,一直是困扰国内外专家的难题^[1-3]。

冲压式快速空投气囊下落过程主要研究空投物体的空投轨迹和气囊的相关状态参数,以寻求精确空

投方法。在现代数学模拟技术出现以前,人们完全依靠实验方法来进行空投下落过程的研究,不但在费用和时间方面受限,而且还需付出高昂的代价。现在,人们借助电子计算机采用数学模拟的方法来研究空投下落过程成为可能。随着计算机技术和多体系统动力学建模理论的发展,在 20 世纪 80 年代初,基于显示积分的有限元方法有了长足的进步,人们借此得以对大型结构进行动态有限元分析,空投下落过程研究进入了一个全新的发展时代。由于计算机技术的快速发展和有限元法等工程计算方法的日趋成熟与完

收稿日期: 2014-09-30

基金项目: 国家自然科学基金(51275486)

作者简介: 许鑫(1980—),男,黑龙江牡丹江人,硕士,太原工业学院讲师,主要研究方向为缓冲技术。

备,使得空投过程的部分实验室工作正在被数值分析逐步替代,这给整个空投过程的分析和改进带来十分深刻重要的影响^[12-15]。

国外对空投技术研究比较早,技术水平也比较高。欧美将精确制导及GPS导航等技术与空投技术相融合,研制出了多种空投系统。美国PADS精确空投系统、AGAS可承受制导空投系统、GDS普通投送系统、“尖叫者”快速投送系统、ONYX自主制导伞降系统、半刚性可展开翼(SDW)精确投放系统等。加拿大“雪雁”、“夏尔巴人”精确空投系统,德国“SLG-SYS”自主滑翔伞降系统,荷兰“黑桃”小翼伞自主投送系统,英国的“CADS”可控空投系统^[4-5]。

1 冲压式快速空投气囊

当前国内外着陆缓冲装置主要分为两类:第1类是将垂直下降速度瞬时降低,例如利用滑翔伞(翼伞)的雀降性能、着陆缓冲的火箭、收缩式制动器等;第2类是在有限的距离内耗散能量,包含利用结构和材料的弹性变形(橡胶、弹簧减振器和减振筒)、利用结构和材料的非弹性变形(固体材料和结构的变形及缓冲气囊)。气囊的缓冲技术是国内外首要的着陆缓冲技术之一。气囊式缓冲装置作为能量衰减系统被广泛地应用于航空航天回收工程、物资设备的空投保护、人员应急保护等领域^[6-7]。目前,国内用于研究气囊缓冲特性的方法比较落后,仅限于理论研究和实验手段。文中仿真和计算参考了杨卫、齐明思等人建立的模型数据^[8],其中使用C-130运输机进行空投,空投的质量范围为227~907 kg,托盘集装箱的内容积为0.5~3.0 m³。

在10 km以内的大气层,气流比较紊乱,而目前的空投大都集中在这个范围内。在恶劣复杂的环境下,空投装备物质势必受到气流的影响,但如何将空投装备物质受到紊乱气流的影响降至最小,实现定点精确空投,一直是困扰国内外专家的难题。冲压式快速空投缓冲技术在紊乱的气流下,采用冲压集气方式,大大缩减了空投装备物质在空中的下落时间,从而实现快速空投^[9-11]。

2 气囊充满气后的下落轨迹分析

气囊在竖直方向上,受到2个力:向下的力,即载荷与气囊及其降落伞的重力 G ;向上的力,即降落伞由于具有速度而产生的浮力 F 。

气囊受力满足下列方程:

$$G=mg \quad (1)$$

$$F=kSv \quad (2)$$

式中: m 为载荷与气囊及其降落伞的质量; g 为重力加速度; k 为空气的阻力系数; S 为降落伞的伞面面积; v 为气囊的瞬时速度。降落伞的伞面面积 S 由伞的半径 r 决定,而且绳索的长度 L 也由降落伞的半径决定即 $L=\sqrt{2}r$ 。

气囊投放后会先经历一段变加速阶段,直到加速度减小为0,再经历一段匀速阶段,直到接触地面,经历缓冲过程。气囊会自动展开,具有水平初速度和竖直初速度,而且变加速阶段的竖直初速度为0,竖直末速度为8 m/s。

变加速阶段满足方程:

$$S=\pi L^2 \quad (3)$$

$$mg-kSv=ma \quad (4)$$

其中初始数据为: x 方向的速度 $v_x=9$ m/s, y 方向的速度 $v_{y0}=-2.94$ m/s, $v_{y1}=-8$ m/s, $m=917$ kg, $g=9.8$ m/s², $k=2.9577$, $L=11$ m。

冲压式快速空投硬式气囊的匀速阶段满足方程:

$$mg-kSv=0 \quad (5)$$

其中初始数据为: x 方向的速度 $v_x=9$ m/s, y 方向的速度 $v_{y1}=-8$ m/s。

3 有无突风对空投物体的轨迹影响

3.1 无突风时气囊的下落轨迹

根据原始数据和公式(1)~(5),利用Matlab软件中的Simulink模块,仿真可得到 $h-t$ 图,即竖直位移-时间变化图,随着时间的增加,高度越来越低。同理可得到 $h-s$ 图,即竖直位移-水平位移变化图,高度随着水平位移的增加而减小。同理可得到 $v-t$ 图,即速度-时间变化图,速度随着时间的增加而变大,0~5.4 s内,速度由3 m/s增加到8 m/s,随后保持8 m/s不变。同理可得到 $a-t$ 图,即加速度-时间变化图,加速度随着时间的增加而减小,0~5 s内,加速度由6.2 m/s²减小到0,随后不变。

3.2 有突风影响时空投物体的空投轨迹

由于现实中,风场对气囊下落造成的影响很难消除,尤其是突风,因此分别在水平方向和竖直方向引入变量,基于Matlab软件,作对比仿真实验。引入风场变量作对比。

3.2.1 竖直突风影响时空投物体的空投轨迹

考虑到气囊空投过程的实际情况,很少存在向上的风,所以只研究竖直方向的突风。取竖直向下为正方向。引入竖直方向的风,用 $a=2\text{ m/s}^2$ 表示,可以得到竖直位移的对比图(见图1)和轨迹的对比图(见图2)。

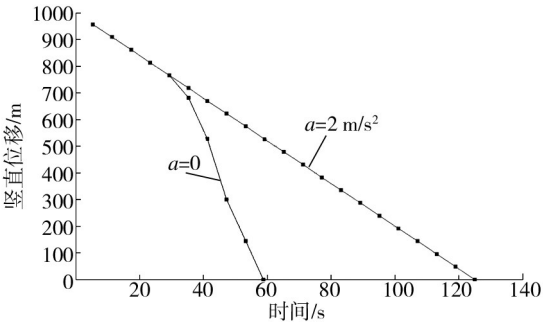


图1 竖直突风影响时空投物体的竖直位移对比

Fig.1 Comparison chart of the airdrop object's vertical displacement with influence of vertical gust

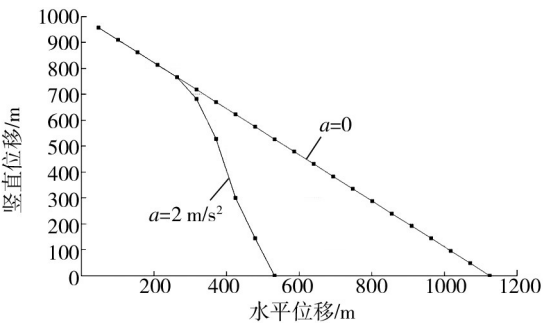


图2 竖直突风影响时空投物体的轨迹对比

Fig.2 Comparison chart of the airdrop object's trajectory with influence of vertical gust

从图1可以看出,无竖直突风影响时,空投物体的竖直位移偏差为58 m;受竖直突风 $a=2\text{ m/s}^2$ 影响时,空投物体的竖直位移偏差为127 m。从图1和图2可以看出,由于向下竖直突风的影响,会对冲压式快速空投物体空投的竖直位移和轨迹造成影响,出现误差,而且竖直突风对竖直位移的最大偏差为502 m,竖直突风对轨迹的影响是水平向左方向最大偏差为600 m左右。

3.2.2 水平突风影响时空投物体的空投轨迹

对于水平突风而言,既可能向右,也可能向左。由于水平速度方向为右,取水平向右为正方向。引入水平向下的风,分别用 $a=2\text{ m/s}^2$ 和 $a=-2\text{ m/s}^2$ 表示,可以得到水平位移的对比图(见图3)和轨迹的对比图(见图4)。

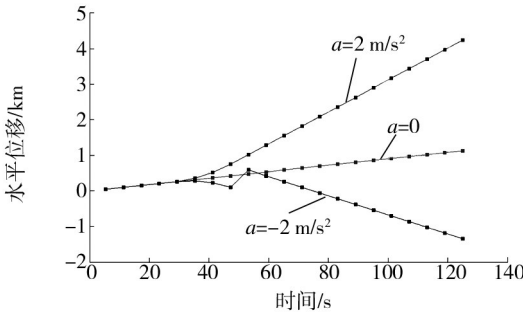


图3 水平突风影响时空投物体水平位移对比

Fig.3 Comparison chart of the airdrop object's horizontal displacement with influence of horizontal gust

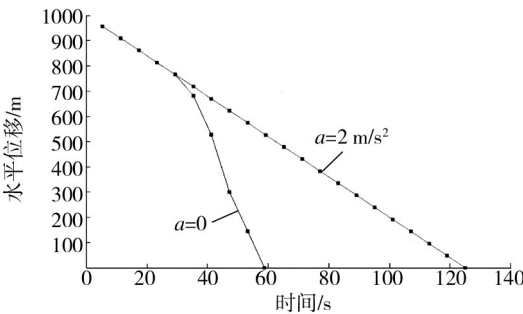


图4 竖直突风对空投物体的水平位移影响对比

Fig.4 Effect of vertical gust on the horizontal displacement of the airdrop object

从图3可以看出,无水平突风影响时,空投物体的水平位移偏差为1050 m左右;受水平向右突风 $a=2\text{ m/s}^2$ 影响时,空投物体的水平位移偏差为4250 m左右;受水平向左突风影响时,空投物体的水平位移偏差为-1300 m左右。从图3和图4可以看出,由于水平突风的影响,会对冲压式快速空投物体的空投轨迹造成影响,出现误差,而且水平向右的突风使空投物体水平向右最大偏差约3 km以上,水平向左的突风使空投物体水平向左最大偏差约2 km以上。

4 结语

针对突风对传统空投产生的影响,利用 Matlab 软件中的 Simulink 模块仿真研究了有无突风对空投轨迹的影响。仿真结果表明,竖直突风对空投轨迹误差的最大影响是水平向左方向偏差大约600 m,水平向右的突风对水平位移误差的影响是水平向右方向最大偏差约3 km以上,水平向左的突风对水平位移误差的影响是水平向左方向最大偏差约2 km以上。竖直突风对空投轨迹的影响较小,而水平向右的突风影响最大。

参考文献:

- [1] 温金鹏,李斌,杨智春.缓冲气囊冲击减缓研究进展[J].宇航学报,2010,31(11):2438—2447.
WEN Jin-peng, LI Bin, YANG Zhi-chun. Progress of Study on Impact Attenuation Capability of Airbag Cushion System[J]. Journal of Astronautics, 2010, 31(11): 2438—2447.
- [2] 于成果,李良春.空投安全着陆的实现途径[J].包装工程,2007,28(10):135—137.
YU Cheng-guo, LI Liang-chun. Ways of Air-drop Safety Landing[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(10): 135—137.
- [3] 徐诚方.排气式气囊最大过载特性研究[J].航天返回与遥感,2012,33(5):9—15.
XU Cheng-fang. Study of the Characteristics of Peak Overload of Airbag with Vent[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2012, 33(5): 9—15.
- [4] 李良春,黄刚,李文生,等.基于ANSYS/LS-DYNA的新型着陆缓冲气囊仿真分析[J].包装工程,2012,33(5):16—20.
LI Liang-chun, HUANG Gang, LI Wen-sheng, et al. Simulation Analysis of New Type Landing Cushion Airbag Based on ANSYS/LS-DYNA[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 16—20.
- [5] 邵志建,刘志扩.新型自充气气囊研究[J].南京航空航天大学学报,2009,41(S1):84—88.
SHAO Zhi-jian, LIU Zhi-kuo. Study on New Self-inflating Airbag[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2009, 41(S1): 84—88.
- [6] EWING, LIEUTENANT C B. Precision Parachute Capabilities and Their Potential Employment in the Land Force[J]. Canadian Army Journal, 2005, 8(3): 83—92.
- [7] WEN Jin-peng, LI Bin, YANG Zhi-chun. Study on Cushioning Characteristics of Soft Landing Airbag with Elastic Fabric[J]. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 2010, 33(3/4): 1535—1545.
- [8] 杨卫,齐明思,张皎.冲压式快速空投硬式气囊缓冲技术研究[J].包装工程,2010,31(5):106—108.
YANG Wei, QI Ming-si, ZHANG Jiao. Research on Punched Quick Airdrop Cushion[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(5): 106—108.
- [9] 齐明思,刘守君,赵奇,等.缓冲气囊着陆过程仿真研究[J].包装工程,2013,34(23):5—8.
QI Ming-si, LIU Shou-jun, ZHAO Qi, et al. Simulation Research on Landing Process of Cushioning Airbag[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(23): 5—8.
- [10] 齐明思,张晋宁,杨卫,等.冲压式快速空投缓冲装置进气道及测压机构设计[J].包装工程,2012,33(21):74—77.
QI Ming-si, ZHANG Jin-ning, YANG Wei, et al. Structure Design of Air Inlet and Manometry Mechanism of Ram-type Quick Airdrop Cushioning Device[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(21): 74—77.
- [11] 齐明思,于丽娜,殷强,等.基于ANSYS的冲压式快速空投硬式气囊应力分析[J].包装工程,2010,31(15):69—72.
QI Ming-si, YU Li-na, YIN Qiang, et al. Stress Analysis on Ram Rigid Airbag for Quick Airdrop Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15): 69—72.
- [12] 吕航.自充气式缓冲气囊的设计与分析研究[D].南京:南京航空航天大学,2012.
LYU Hang. Research on Ambient Inflated Cushion Airbag Design and Analysis[J]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012.
- [13] 牛四波,王红岩,迟宝山.空投设备缓冲气囊的优化设计[J].装甲兵工程学院学报,2010,24(5):36—40.
NIU Si-bo, WANG Hong-yan, CHI Bao-shan. Optimal Design of Airbag Cushion Process for Airdropping Equipment[J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2010, 24(5): 36—40.
- [14] HAULT-DUBRULLE A, ROBACHE F, DRAZETIC P, et al. Determination of Pre-impact Occupant Postures and Analysis of Consequences on Injury Outcome—Part II: Biomechanical Study[J]. Accident Analysis and Prevention, 2011, 43(1): 75—81.
- [15] 衣敬强,郝贵祥,王红岩,等.高原条件下空投设备气囊系统缓冲过程研究[J].中国工程机械学报,2012,10(3):364—368.
YI Jing-qiang, HAO Gui-xiang, WANG Hong-yan, et al. Cushioning Process Study on Airbag System of On-plateau-airdropped Equipments[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2012, 10(3): 364—368.

欢迎订阅

欢迎投稿