

空降携行装备缓冲包装设计与分析

廖圣洁¹, 林国欣¹, 杨秀深²

(1. 空降兵研究所, 孝感 432100; 2. 中航发动机有限责任公司, 北京 101304)

摘要: **目的** 为了提高携行装备的可靠性, 对空降携行装备缓冲包装设计方法进行研究。**方法** 通过理论计算获得开伞过载和着陆冲击过载估值, 判断空降携行装备缓冲包装设计输入; 通过合理选择缓冲包装材料和准确设计缓冲衬垫的厚度, 以优化缓冲包装设计方案, 并通过地面试验验证设计方法的可行性和有效性。**结果** 通过优化设计, 对装备进行缓冲包装防护后, 某型空降携行装备着陆冲击由 48.7g 降至 17.7g, 能保证空降携行装备着陆后的完好和正常使用。最大过载计算值与实际测量最大过载值差距较小。**结论** 所用计算方法可用于空降携行装备缓冲包装设计, 缓冲包装设计不仅可保护装备, 而且对其携行具减重具有重要的现实意义。

关键词: 空降; 吊放; 着陆; 缓冲设计

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)17-0011-04

Design and Analysis of Cushioning Packaging for Airborne Carrying Equipment

LIAO Sheng-jie¹, LIN Guo-xin¹, YANG Xiu-sheng²

(1. Air Force Airborne Institution, Xiaogan 432100, China;

2. China Aviation Engine Holdings Co., Ltd., Beijing 101304, China)

ABSTRACT: The work studies the design method of cushioning packaging for airborne carrying equipment in order to improve the reliability of carrying equipment. The value of the opening and landing shock load was obtained from theoretical calculation to judge the input of the buffer packaging design. The design scheme of cushioning package was optimized through the reasonable selection of cushioning packaging material and the accurate design of cushion thickness. The feasibility and validity of the design method was verified by the ground test. By optimizing the design, after cushioning packaging, the landing impact of a certain type of airborne equipment dropped from 48.7g to 17.7g, which could ensure the good and normal use of airborne landing equipment. The difference between maximum dynamic load value and actual measurement value of the maximum dynamic load was relatively small. In conclusion, the calculation method used in this project can be used in design of cushioning packaging for airborne equipment. The cushioning packaging design not only can protect equipment, but also has important practical significance for weight losing.

KEY WORDS: airborne; dipping; landing; cushioning design

空降兵具有可以突破地域限制, 实施建制部队快速空投部署的特点, 势必使其在未来作战和非战争军事行动中发挥重要作用。建制空降兵遂行作战和训练任务时, 一部分装备随员空降携行, 一部分

装备物资则通过空投方式随队空投或后续补给。前期主要集中对重型装备物资空投的气囊缓冲包装进行了大量研究^[1-5], 近年来, 开展了中小型装备物资的缓冲包装研究, 如弹药^[6-8]、精密仪器^[9]等,

收稿日期: 2016-06-11

基金项目: 空军军内科研计划 (KJ2010122)

作者简介: 廖圣洁 (1983—), 男, 湖北潜江人, 空降兵研究所研究员, 主要研究方向空降空投技术。

取得了许多研究成果,对装备物资空投提供了理论指导^[10-12]。空降携行装备的缓冲包装作为空降兵装备的一个重要内容,一直以来没有引起足够的重视,属于薄弱环节。

随着空降兵武器装备不断向信息化、智能化方向发展,一方面大量技术密集型装备内部元器件精密密度、敏感性不断提高,另一方面装备的携行增加了跳伞总质量,增大了开伞过载和着陆冲击,因而其在开伞冲击和着陆冲击过程中更容易受到损伤。由此,应针对空降携行武器装备所经历的开伞冲击和着陆冲击环境开展缓冲包装设计。文中从空降兵某型通讯电台携行具缓冲包装设计入手,探讨空降携行缓冲包装的一般方法。

1 总体设计思路

在武器装备空降携行过程中,为减少跳伞员着陆时受到的冲击,主要采取吊放方式着陆。武器装备空降携行过程中,为保证与降落伞良好匹配,必须使用特制的携行具包装。在空降携行过程中,对装备威胁最大的是开伞和着陆等 2 个阶段产生的过载。携行具在满足空降携行披挂及释放功能的基础上,还应具备缓冲保护作用,其缓冲包装设计应针对开伞过载和着陆冲击过载展开。

对空降携行武器装备,开伞过载受实验条件限制,很难通过试验准确测量。文中通过理论计算进行分析,取开伞过载和着陆冲击过载的高值作为缓冲包装设计输入,进行缓冲包装设计,再对缓冲方式进行校核,并通过地面跌落试验进行设计有效性验证。

2 缓冲系统设计

2.1 最大过载的计算及选择

最大过载作为空降携行装备缓冲设计的计算输入,是设计工作的起点,需要比较开伞过载和着陆冲击过载的大小来确定。

2.1.1 开伞过载计算

开伞过载最大值通过经验方法计算^[13],此种方法基于下列假设。

- 1) 最大开伞过载为充满瞬间伞衣阻力的 2 倍。
- 2) 充满距离与伞衣名义面积 A_0 之间的关系可以表示为:

$$S_m = C_0 \sqrt{A_0}$$

式中: S_m 为充满距离; C_0 为常数,取决于伞型及伞衣透气量。

3) 假定跳伞员与伞系统为一个集中在跳伞员重心的质点,并不计跳伞员的气动阻力。最大开伞力计算公式为:

$$F_{k \max} = \rho_0 v_z^2 (CA)_s \frac{kv_L^2 + \sqrt{A_0}}{k \frac{v_z^2}{\Delta} + 2\sqrt{A_0}}$$

式中: ρ_0 为海平面空气密度; $(CA)_s$ 为伞衣阻力特征,伞型确定其阻力特征,通常认为恒值; v_z 为系统着陆速度; v_L 为伞拉开时的速度; k 为系数,取决于伞型、材料及透气量,对于同一具伞来说, k 值不变; Δ 为空气的相对密度, $\Delta = \frac{\rho}{\rho_0}$ 。

最大开伞过载为:

$$G_{k \max} = \frac{F_{\max}}{m_z}$$

式中: m_z 为跳伞总质量减去伞衣和伞绳的质量。

2.1.2 着陆冲击过载

空降携行装备通常采用吊放着陆方式,其着陆速度等于系统空中稳定降落速度。吊放过程中能很好地控制携行装备触地方式,确保其进行局部缓冲,装备底部与地面水平接触。在着陆冲击过载计算过程中,需要将空中稳降落速度转换为自由落体高度 H 。计算公式为:

$$H = \frac{v_z^2}{2g}$$

式中: g 为重力加速度。

此时计算着陆冲击过载按照装备自身缓冲衬垫材料厚度 h 及面积 A 计算。自身缓冲材料的 C 值必须满足^[14]:

$$C = \frac{Ah}{mgH} \sigma_m$$

式中: m 为装备总质量。查材料 C - σ_m 曲线图获得 C , σ_m 。装备着陆最大过载为:

$$G_{z \max} = \frac{CH}{h}$$

比较开伞过载 $G_{k \max}$ 与着陆冲击过载 $G_{z \max}$ 的大小,作为缓冲设计的依据。若最大过载小于装备的脆值,并通过空降跌落试验验证其跌落冲击过载小于其装备脆值,则无需专门进行缓冲设计,否则则需要专门进行缓冲包装设计。文中空降携行装

备着陆冲击过载远大于开伞过载。

2.2 缓冲设计

2.2.1 缓冲材料选择

通常应依据 GJB/Z 85 缓冲包装手册中, 选取合适的常用缓冲材料。材料的选取需要综合考虑, 在保证缓冲效果的前提下, 使缓冲包装结构质量最轻。

2.2.2 缓冲包装厚度

对于确定的装备来说, 其缓冲材料和装备的接触面积 A 、总重量 W 和脆值 G 基本确定, 需要确定其厚度, 按照公式计算^[15]。

1) 由公式 $\sigma_m = \frac{WG}{A}$ 求出最大应力;

2) 找出缓冲系数 C - σ_m 曲线中对应最大应力值的缓冲系数 C ;

3) 根据公式 $h=CH/G$, 求出缓冲材料的最小厚度 h 。

2.2.3 结构优化

空降兵空降携行过程中, 需要在跳伞总质量一定的情况下, 尽可能多带装备物资, 因此, 装备的携行具设计必须以最轻质量设计为目标。其缓冲设计过程中需要结合缓冲材料的密度, 对各种缓冲材料结构方案进行比较, 选择最轻质量的缓冲方案。选用密度为 0.032 kg/cm^3 的聚乙烯泡沫材料, 缓冲垫厚度为 10 mm 。

2.3 缓冲衬垫结构校核

对缓冲包装进行优化设计后, 再对缓冲方案进行校核。携行装备总质量为 10 kg , 缓冲垫固有频率为 5.6 Hz , 持续冲击时间为 0.08 s , 缓冲垫最大变形为 6 mm , 最大响应加速度 $G_{k \max}$ 为 $17.2g$ 。经过缓冲减震后, 电台所受冲击值小于其本身 $40g$ 的脆值, 缓冲垫满足设计要求。

3 地面跌落试验

为检验设计方法的有效性, 以及缓冲包装结构的有效性, 对空降携行装备进行地面跌落试验。按照空降携行装备的实际尺寸、质量、质心位置制作装备模型。模型的触地部位面积、厚度及材料与空降装备保持一致。在模型内部安装过载仪。对装备

进行无防护和防护状态下的跌落试验, 跌落高度设置为 1.25 m , 模拟 5 m/s 的降落速度。试验结果见图 1。

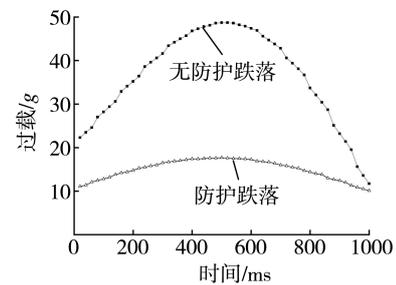


图 1 着陆瞬间的过载

Fig.1 Dynamic load of landing moment

通过试验表明, 空降携行装备缓冲包装能有效地将冲击载荷降到装备所能承受的范围。

4 结语

通过对空降携行装备进行缓冲包装设计, 设计结果在满足装备减震需求, 泡沫衬垫缓冲包装方案通过了校核和跌落试验, 设计校核计算的最大过载与跌落试验测量值差距小。结果表明, 空降携行装备缓冲包装设计方法可用于携行装备缓冲包装精细设计, 有效避免冗余设计或盲目设计。缓冲包装设计作为空降携行具设计的重要内容, 应合理选取缓冲材料, 精确设计衬垫厚度, 真正达到空降装备减重的设计目标。

参考文献:

- [1] 李建阳, 王红岩, 芮强, 等. 空投缓冲气囊有限元模型修正方法[J]. 兵工学报, 2015, 36(4): 752—757.
LI Jian-yang, WAN Hong-yan, RUI Qiang, et al. Finite Element Model Updating Method of Airdrop Airbag[J]. ACTA Armamentarii, 2015, 36(4): 752—757.
- [2] 丁毅, 王嘉宁, 贾向丽. 重装备空投系统的缓冲包装设计[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 96—97.
DING Yi, WANG Jia-ling, JIA Xiang-li. Cushion Design of Air Drop System of Heavy Equipment[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 96—97.
- [3] 邹连英, 王秋实, 王利恒, 等. 重装空投数据采集分析系统设计[J]. 武汉工程大学学报, 2015, 37(1): 25—29.
ZOU Lian-ying, WANG Qiu-shi, WANG Li-heng, et al. Novel Design of Heavy Cargo Airdrop Acquisition and Analytic System[J]. Wuhan Inst Tech, 2015, 37(1): 25—29.
- [4] 唐晓慧, 钱林方, 汤建华, 等. 重装空投着陆缓冲稳定性分析[J]. 振动与冲击, 2015, 34(15): 122—126.

- TANG Xiao-hui, QIAN Lin-fang, TANG Jian-hua, et al. Stability Analysis of a Soft Landing System for Heavy Cargo Airdrop[J]. Journal of Vibration and Shock, 2015, 34(15): 122—126.
- [5] 许鑫. 自动充气式空投缓冲气囊设计与分析[J]. 机械工程与自动化, 2015, 12(6): 87—88.
XU Xin. Design and Analysis of Auto-inflatable Airdrop Cushion Airbag[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2015, 12(6): 87—88.
- [6] 宋华文, 陶华堂. 空降作战中弹药捆绑包装模型研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2004, 18(4): 28—32.
SONG Hua-weng, TAO Hua-tang. Research on Ammunition Packaging Model in Airborne Combat[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2004, 18(4): 28—32.
- [7] 陈杨. 空投弹药箱的设计及其着陆过程数值分析[J]. 四川兵工学报, 2015, 36(6): 45—52.
CHEN Yang. Numerical Analysis of Design and Its Landing Airdrop Ammunition Box[J]. Sichuan Ordnance Journal, 2015, 36(6): 45—52.
- [8] 廉志军, 陆瑞卿, 傅孝忠, 等. 某新型弹药空投系统设计[J]. 包装工程, 2005, 26(5): 133—135.
LIAN Zhi-jun, LU Rui-qing, FU Xiao-zhong, et al. Airdrop System Design of a New Type Rocket Projectile[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 133—135.
- [9] 温海焜, 宫雪非, 杜福嘉, 等. 南极内陆精密仪器运输减振设计与测试[J]. 振动与冲击, 2015, 34(24): 98—103.
WEN Hai-kun, GONG Xue-fei, DU Fu-jia, et al. Vibration Attenuation Design and Test for Precise Instruments during Antarctic Inland Transport[J]. Journal of Vibration and Shock, 2015, 34(24): 98—103.
- [10] 陶华堂, 宋华文. 空投物资捆绑包装分析与建模[J]. 装备指挥技术学院学报, 2005, 16(6): 21—25.
TAO Hua-tang, SONG Hua-wen. Analyzing and Modeling the Binding and Packing of Airdropped Material[J]. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology, 2005, 16(6): 21—25.
- [11] 赵西友, 王宏, 许涛, 等. 无伞空投缓冲包装材料及技术研究[J]. 包装工程, 2016, 37(3): 54—57.
ZHAO Xi-you, WANG Hong, XU Tao, et al. Free Drop Buffering Packing Material and Technology[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(3): 54—57.
- [12] 杜振杰, 高万玉, 孙晓军, 等. 物资空投包装缓冲设计与分析[J]. 包装工程, 2016, 37(1): 29—32.
DU Zhen-jie, GAO Wan-yu, SUN Xiao-jun, et al. Design and Analysis of Materials Airdrop Packaging Cushioning[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(1): 29—32.
- [13] 王立荣. 降落伞理论与应用[M]. 北京: 中国宇航出版社, 1997: 221—223.
WANG Li-rong. Parachute Theory and Application[M]. Beijing: Astronautic Publishing House, 1997: 221—223.
- [14] 苏远, 汤伯森. 缓冲包装理论基础与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 89—90.
SU Yuan, TANG Bo-sen. Theoretical Foundation and Application of Cushioning Packaging[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 89—90.
- [15] 董伟, 张巧凤. 机械电子设备的缓冲包装设计[J]. 科技风, 2016(3): 2.
DONG Wei, ZHANG Qiao-feng. Cushioning Packaging Design of Mechanical and Electronic Equipments[J]. Technology Wind, 2016(3): 2.