

冲压式快速空投缓冲装置进气道及测压机构设计

齐明思¹, 张晋宁², 杨卫¹, 张文栋³, 刘俊³, 鞠军伟⁴, 许晓云⁴, 罗星煜⁴

(1. 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051; 2. 山西风雷石油成套设备有限公司, 太原 030008; 3. 电子测试技术国家重点实验室, 太原 030051; 4. 中北大学, 太原 030051)

摘要: 在冲压式快速空投硬式气囊缓冲技术的基础上, 设计了口径可调节的进气道机构, 主要包括电池、弹簧、电磁铁、可变电阻的设计, 最终建立了进气道机构三维数学模型。根据空投环境下的压力测试要求, 设计了内置式缓冲装置测压系统, 进行了测压系统方案设计, 该进气道及测压系统具有结构简单、便于维护、体积小、质量小等特点。该系统满足冲压式快速空投使用要求。

关键词: 缓冲装置; 进气道; 测压机构; 传感器; 力学分析

中图分类号: TB485.1; TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)21-0074-04

Structure Design of Air Inlet and Manometry Mechanism of Ram-type Quick Airdrop Cushioning Device

QI Ming-si¹, ZHANG Jin-ning², YANG Wei¹, ZHANG Wen-dong³, LIU Jun³, JU Jun-wei⁴, XU Xiao-yun⁴, LUO Xing-yu⁴

(1. Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement, Taiyuan 030051, China; 2. Shanxi Fenglei oil Complete Equipment Co., Ltd., Taiyuan 030008, China; 3. State Key Laboratory of Electronic Test Technology, Taiyuan 030051, China; 4. North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Based on the technology of ram-type quick airdrop rigid air chamber, diameter adjustable air inlet mechanism was designed, which mainly included batteries, spring, electromagnet, and variational resistance. Three-dimensional mathematical model of the air inlet was established. Built-in manometry mechanism for cushioning equipment and pressure testing system project was designed according to pressure testing requirement of quick airdrop conditions. The system has simple structure, easy maintenance, small volume and small mass characteristic, and they satisfy application requirements of quickly airdrop system.

Key words: cushioning device; inlet system; manometry mechanism; sensor; dynamical analysis

紧急救护、救灾时, 食品、日用品、医药设备等必需品的运输是至关重要的, 其中空降空投方式以其快捷的特点而得到广泛采用。杨卫、齐明思等人^[1]提出了冲压式快速空投硬式气囊缓冲技术, 采取冲压集气方式, 借助于空投设备的飞行速度直接从大气中获取工作能源, 能缩短空投时间, 体现快速空投的特点。齐明思等人^[1-6]对冲压式快速空投硬式气囊进行了 Ansys 应力分析, 分析结果表明硬式气囊满足应力使

用范围要求。

作为快速空投的一部分, 进气道机构必须满足短时间内使空气充满气囊, 所以进气道机构要有足够大小且兼具结构简单、便于维护、体积小、质量轻等特点。除了满足以上要求外, 更重要的是要实现进气道直径可调节。尤其在翼伞出现故障情况下, 装备下降速度会越来越快, 收集能量则会越来越多。着地自动调节排气口口径到最大, 着地时排气更快, 缓冲效

收稿日期: 2012-03-15

基金项目: 国家自然科学基金资助 (50675213); 山西省研究生优秀创新项目 (20093075)

作者简介: 齐明思 (1979-), 男, 河南周口人, 博士生, 中北大学副教授, 主要从事弹箭制导与控制、动态测试与智能仪器的教学与研究。

果更好,装备受到的破坏要比软气囊情况下小的多^[1]。目前国内外对进气道的研究主要集中在飞机上的发动机进气道和导弹上的冲压式空气进气道,目前尚未见到有人在空投方面开展进气道方面的研究。测压机构设计是冲压式快速空投缓冲装置设计的一部分,测压机构用来对气囊内部空气压力进行测试,根据气压值的变化调整空投过程中和着陆时排气道的面积大小。

1 冲压式快速空投进气道机构设计

冲压式快速空投进气道工作原理如下:通过改变通过电磁铁电流的大小来改变电磁铁吸力的大小,以此来改变推杆行程的大小。推杆行程达到一定距离时,电磁铁和衔铁吸附在一起,电磁铁通电,拉伸弹簧进入工作位置,进气阀门打开,进气道机构开始进行集气工作。集气达到一定压力值时,控制推杆行程变小,电磁铁和衔铁断开,电磁铁断电,进气阀门关闭,进气道机构结束集气工作。由此可实现直径的调节。为了满足以上要求,进气孔直径调节采用电磁铁作为原动机,由电池提供动力,通过导线传递,可以避免复杂的机械传动结构,且可以通过调节电阻来实现电磁力大小的调节,然后通过弹簧随着力拉伸压缩的特点来调节进气口直径的大小。其工作原理图见图1。

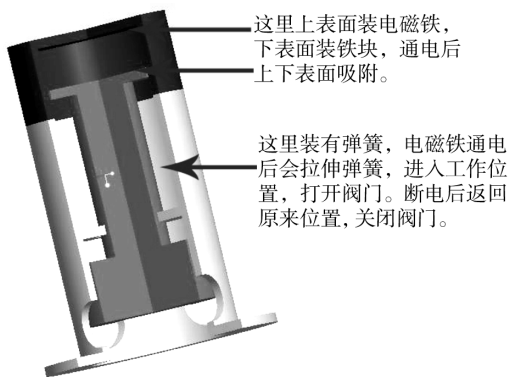


图1 进气道机构工作原理

Fig. 1 Working principle of the air inlet

综上考虑,进气道机构设计主要包括电池、弹簧、电磁铁、可变电阻等。

1.1 电池选择

电磁阀用于空投中对进气通道的调节,因此选用锂电池,并选择电压较高、体积较小,型号为IRC18650的圆柱形铝电池,提供电压3.7 V,其外形

尺寸:高65 mm,直径18 mm,电量为2100 mAh,采用2节串联使用^[8]。

1.2 弹簧设计

气囊下落过程中,阀门的下表面会受到空气阻力^[9]:

$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_D \quad (1)$$

式中: C_D 为空气阻力系数; ρ 为空气密度; S 为物体迎风面积; v 为物体与空气的相对运动速度。

标准大气密度为1.29 g/cm³,由于随着海拔的增高,气温上升,密度会降低,因此,选择标准大气压。速度最大值为160 km/h,即44.44 m/s,设计为直径是10 mm的圆。根据物体的风阻系数,垂直平面体风阻系数大约为1.0。空气阻力计算结果约为0.1 N。由于弹簧预紧力须大于空气阻力,而空气阻力只有0.1 N,数值较小,因此选择预紧力 $F_1 = 1.5$ N,最大拉力 $F_2 = 10F_1 = 15$ N,极限拉力 $F_3 = 1.25F_1 = 19$ N。

1.2.1 弹簧强度计算

因弹簧指数 C 与弹簧丝直径有关,所以先初步选弹簧丝直径 $d = 1$ mm,进行试算,选 C 为10, K 为1.14,由于弹簧受到的力不大,其材料选用65Mn,其特点是强度高、性能好,适合做小弹簧,如安全阀门等。其 $[\tau]$ 值为570 MPa。

根据式(2):

$$d = 1.6 \sqrt{\frac{KFC}{[\tau]}} \quad (2)$$

计算得 $d > 0.986$ mm,故 d 选择为1 mm。

因此得出弹簧的中径 $D = C_d = 10$ mm,节距 $P = D/3 - D/2 = 3.5$ mm。

1.2.2 弹簧线圈变形计算

对于压缩弹簧,圈数计算公式:

$$n = \frac{Gd^4 \lambda}{8FD_2^3} = \frac{Gd \lambda}{8FC^3} \quad (3)$$

由于材料65Mn的 G 值为 79×10^3 MPa,设计行程为8 mm。求出 $n = 5.27$ 圈,根据GB/T 1358-1993圆整为5.5圈。再根据公式求出极限行程为8.3 mm,实际最大行程为7.5 mm。

弹簧采用端部不并紧,磨平1/4圈的形式。总圈数 $n + 0.5 = 6$ 。

自由高度 $H = nP = 6 \times 3.5 = 21$ mm,最大拉力 $F_1 = 0.8F = 15$ N,预紧力 $F_2 = 0.1F = 1.5$ N,而且预紧力大于空气阻力^[10]。

1.2.3 弹簧的稳定性验算

弹簧高径比 $b=H/D=2.1$, 小于许用值 5.3, 所以稳定性符合要求。

1.3 电磁铁设计

1.3.1 电磁铁的结构设计

由于电源是体积较小的锂电池, 所以选择直流电磁铁。电磁铁结构分为无挡铁螺管式、具有圆锥形挡铁的螺管式, 其结构由结构因素 K_ϕ 决定。经验指出: 每一种磁系统的经济质量 m 的最小值, 都发生在某一结构 K_ϕ 的范围之内。换句话说, 在某一结构 K_ϕ 的范围之内, 可以使电磁铁在获得所要求的拟定功条件下质量最小。结构因数可以用下式表示:

$$K_\phi = \frac{\sqrt{F}}{\delta} \quad (4)$$

已计算得最大吸力为 1.53 kg, 行程为 7.5 mm, 由式(4)计算得 $K_\phi = 1.65$ 。根据结构因素与电磁铁形式的关系表, 选择具有圆锥形挡铁的螺管式。线圈一般选用 A 级绝缘铜导线。

1.3.2 电磁铁的线圈设计

计算出导线直径为 0.2 mm, 线圈匝数 W 的计算如下:

$$W = 4762.09 / 1 = 4762.09 (\text{匝})$$

当线圈匝数 W 、线径 d 计算出来后, 需核对该尺寸是否能放入电磁铁的窗口内。线圈的截面积 Q_k 必须小于窗口面积 Q , 即:

$$Q_k = \frac{Wq}{f_k} \leq Q \quad (5)$$

式中: q 为导线截面积 (mm^2); f_k 为线圈填充系数。计算得 Q_k 小于 Q , 线圈符合要求。

1.4 可变电阻计算

根据电磁阀设计可知, d_c, D_2, b_k 都与 F 有关, 而 IW/l_k 则是常数, 数值为 42.86, 而 z, m 与 d_c 有关, 因此也是力的函数, 最后可以得出 IW 与力有关。

根据上述公式化简得出: $IW = 3850.25 F^{0.5}$ 。

而匝数 W 是常数, 因此只要电流变化就可以影响吸力的变化, 由于弹簧的初拉力 $= 0.1 \times$ 最大拉力, 而设计的最大电流为 1 A, 因此, 最小电流为 0.32 A。设计电路时, 电压为 7.4 V, 因此电阻在 (7.4 ~ 23.4) Ω 之间变化。

最终用 Solidworks 软件绘制的定型的进气道机构三维图见图 2。

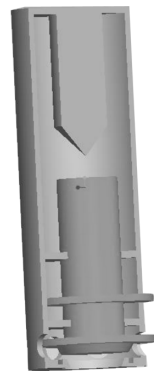


图 2 进气道机构定型三维图

Fig. 2 Three-dimensional modeling of the finalized air inlet

2 冲压式快速空投测压机构总体设计方案

测量气囊内部压力, 首先要感受压力变化, 传感器的敏感材料是用来感受外界的输入变化, 但敏感材料的变形一般很小, 所以导致输出电压会很小, 为了便于测量, 必须使用放大电路将输出信号放大。经过放大电路的放大作用, 将信号传递给测量存储电路, 从而可以记录输出的变化, 对排气道直径的大小进行控制, 见图 3。



图 3 测压系统总体设计方案

Fig. 3 Design scheme diagram of the manometry system

3 压力传感器结构设计

对于空投环境下的压力测试, 其测压机构需满足以下要求: 测压机构需放入测试场所内, 体积和质量不能过大, 并能够承受一定的冲击。内置式电子测压系统是一种理想的气体内部压力测试仪器, 能实现对气囊内部空气压力进行测试, 其所获取的压力参数对控制进、排气道的参数设计具有重要意义。现有的内置式电子测压系统是以精密传感器作为主要测力元件, 这就使得仪器在体积和成本方面都不是理想^[7]。为了解决测压机构体积小和传感器体积较大及成本高之间的矛盾, 内置式电子测压系统壳体采用很好的弹性元件, 在整个壳体承受压力的环境下, 将壳体本身作为压力敏感元件, 设计成了一种电阻应变式压力传感器。通过测量壳体本身的应变就可以实现压力的测试, 既减小了体积又降低了成本。测压机

构见图4。

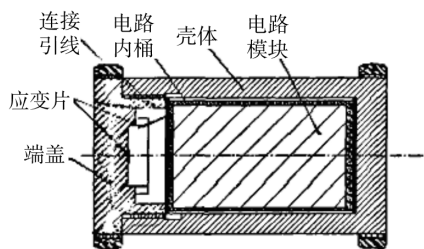


图4 内置式电子测压系统总体结构示意图

Fig.4 Structure sketch of built-in electronic manometry system

4 结论

采用电磁铁作为原动机,通过调节电阻来实现电磁力大小的调节,再通过弹簧随着力拉伸压缩的特点来调节进气道直径的大小,并应用于冲压式快速空投硬式气囊中。设计计算了机构所需的电池、弹簧、电磁铁、可变电阻,并设计了用于测量冲压式快速空投缓冲装置内部空气压力的内置式电子测压系统,先进行了总体方案设计,接着设计了压力传感器的结构,对弹性敏感元件进行了力学分析。设计的硬式气囊进气道和测压机构具有结构简单、便于维护、体积小、质量轻等特点,能短时间内使空气充满气囊,缩短空投时间,体现快速空投的特点。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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. Stress Analysis on Ram Rigid Airbag for Quick Airdrop Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15):69-72.
- [3] BENNETT Andrew W. Design of a Precision Airdrop System[R]. AIAA-97-1469, 1997.
- [4] 宋旭民. 先进的精确空投系统[J]. 航天返回与遥感, 2004, 25(1):6-10.
SONG Xu-min. Advanced Precision Airborne Delivery Systems[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2004, 25(1):6-10.
- [5] 于成果. 精确空投模式分析[J]. 兵工自动化, 2007, 26(11):L05-L07.
YU Cheng-guo. Precision Airdrop Mode Analysis[J]. Ordnance Industry Automation, 2007, 26(11):L05-L07.
- [6] 丁毅. 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. Cushion Design of Air Drop System for Heavy Equipment[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3):96-97.
- [7] 王亚伟,杨春信,柯鹏. 货台空投系统气囊缓冲过程[J]. 仿真系统仿真学报, 2007(7):3176-3179.
WANG Ya-wei, YANG Chun-xin, KE Peng. Airbag Cushion Process Simulation for Cargo Airdrop System[J]. Journal of System Simulation, 2007(7):3176-3179.
- [8] 张慧原. 重型货物空投突变过程的变结构控制[J]. 中国航学报, 2008(9):46-48.
ZHANG Hui-yuan. Variable Structure Control of Catastrophic Course in Airdropping Heavy Cargo[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2008(9):46-48.
- [9] 万志敏,王莉,谢志民. 缓冲气囊的特征内压[J]. 力学与实践, 1998(20):18-20.
WAN Zhi-min, WANG Li, XIE Zhi-min. Characteristic Pressure of Airbag[J]. Mechanics in Engineering, 1998(20):18-20.
- [10] Swarming/flocking and Collision Avoidance for Mass Airdrop of Autonomous Guided Parafoils Calise, AJ; Preston, D[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2008, 31(4):1123-1132.
- [7] LIU Gou-sheng, CHEN Wen-yan. Controllable Synthesis and Characterization of Ammonium Polyphosphate with Crystal-line form V by Phosphoric Acid Process[J]. Polymer Degradation and Stability, 2010, 95(9):1834-1841.
- [8] YU Li, WANG Wen-jun. The Effect of Decabromodiphenyl Oxide and Antimony Trioxide on the Flame Retardation of Ethylene-propylene-diene Copolymer/Polypropylene Blends[J]. Polymer Degradation and Stability, 2004, 86(1):69-73.
- [9] ZHANG Ping, SONG Lei. The Influence of Expanded Graphite on Thermal Properties for Paraffin/High Density Polyethylene/Chlorinated Paraffin/Antimony Trioxide as a Flame Retardant Phase Change Material[J]. Energy Conversion and Management, 2010, 51(12):2733-2737.

(上接第50页)