

一种机械式手动变载吸能技术研究

王卫, 石小潘, 马武明, 刘鹏

航空工业航宇救生装备有限公司, 湖北 襄阳 441003

摘 要 : 抗坠毁座椅能直接为乘员提供过载保护, 是直升机抗坠毁能力的重压组成部分。目前我国直升机配套的抗坠毁座椅均配套 85% 抗坠毁生存率的固定载荷吸能器, 而国外早已配套 95% 抗坠毁生存率的变载吸能器。本文以椅腿高度集成式 U 型翻转板式吸能器为研究对象, 深入分析 U 型翻转板式吸能器的吸能原理, 通过对影响 U 型翻转板式吸能器吸能载荷的相关参数进行分析, 提出一种满足 95% 抗坠毁生存率的机械式手动变载吸能器设计方案, 并通过理论分析和试验验证, 验证其可行性, 为变载吸能器的发展提供基础。

关 键 词 : 抗坠毁座椅; 85% 抗坠毁生产率; 95% 抗坠毁生产率; 手动变载吸能器

A Study on Mechanical Manual Variable Load Energy Absorption Technology

Wang Wei, Shi Xiaopan, Ma Wuming, Liu Peng

Aviation Industry Aviation Yu Life Saving Equipment Co., Ltd. Xiangyang, Hubei 441003

Abstract : The anti-crash seat can directly provide overload protection for the crew, which is a part of the helicopter anti-crash capacity. At present, the anti-crash seats in China are equipped with fixed load energy absorber with 85% crash-resistant survival rate, while foreign countries have already equipped with variable load energy absorber with 95% crash-resistant survival rate. In this paper, based on the height of U-type flip plate absorber as the research object, deeply analyzes the energy absorption principle of U-type flip plate absorber, by analyzing the related parameters of U-type flip plate absorber, proposed a design of mechanical manual load absorber which meet the survival rate of 95% crash resistance, and verify the feasibility through theoretical analysis and test, provide foundation for the development of variable-load energy absorber.

Keywords : anti-crash seat; 85% anti-crash productivity; 95% anti-crash productivity; manual variable load energy absorber

引言

武装直升机在现代战争中发挥着越来越重要的作用, 飞行员及其乘员的救生问题就成为当今武装直升机设计者们的重要研究课题。抗坠毁座椅作为乘员防护的核心部件, 它在直升机发生坠机事故时限制从机身传到乘员的载荷, 以降低乘员在坠撞可生存事故下的伤亡率^[1]。

抗坠毁座椅的核心部件是吸能器, 吸能器的性能直接决定了座椅的抗坠毁性能。座椅吸能器对维持座椅结构的完整性和提高乘员的生存率起着举足轻重的作用。据统计, 未装吸能器时, 一年内发生的事故中由于加速度造成的损伤, 飞行员为 23.3%, 其它乘员为 42%, 由于加速度造成的死亡, 飞行员为 18%, 其他乘员为 54%; 在安装吸能器后, 这种情况得到了极大的改善^[2]。

目前国内现役直升机座椅采用一种近似恒定载荷-位移特性的吸能器使乘员减速。为了在座椅乘员重量范围内发挥最大的效能, 这个恒定载荷是按第 50 百分位乘员重量设计的。这就意味着较轻的乘员比较重的乘员承受更大的加速度量值, 但后者却有更大的位移。因此, 较轻的乘员承担脊柱损伤的风险, 较重的乘员虽然承受的加速度较小但却承担位移过大“冲到底”的风险, 同样可能造成脊柱损伤的危险^[3]。

因此, 有必要对直升机抗坠毁座椅手动变载吸能技术进行研究, 对目前的定载吸能器进行改进设计, 使吸能器可根据乘员的重量调节其启动载荷, 提高抗坠毁座椅的抗坠毁性能, 从而对不同百分位的乘员提供最佳保护。

一、吸能器工作原理和参数计算

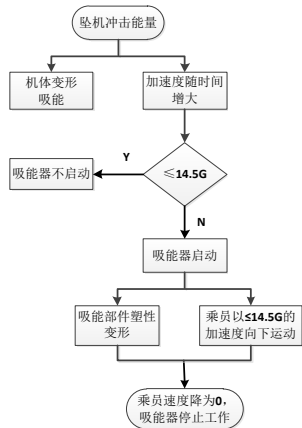
(一) 吸能器工作原理

直升机发生坠撞事故时, 在坠地瞬间强大的冲击载荷作用下

起落架和机体开始塑性变形吸收能量, 机体的负加速度随时间增大。当机体的负加速度达到某一设计值后乘员和座椅可动部分以一个恒定的启动载荷沿座椅骨架的两个滑柱向下运动, 直到冲击载荷小于吸能器启动载荷以后位移才停止^[4]。此启动载荷是根据坠

作者简介: 王卫 (1989.11-), 男, 湖北省襄阳市人, 硕士研究生, 高级工程师, 航宇救生装备有限公司, 研究方向: 航空救生技术。

地瞬间所产生的最大加速度、速度和作用时间的脉冲波形所预设的。乘员的有效重量和座椅可动部件产生的巨大动能主要通过吸能装置的塑性变形来吸收，确保乘员所承受的过载不超过人体耐受极限，保证乘员的生命安全^[5]。抗坠毁座椅吸能工作过程如图1所示。



> 图1 吸能器工作流程图

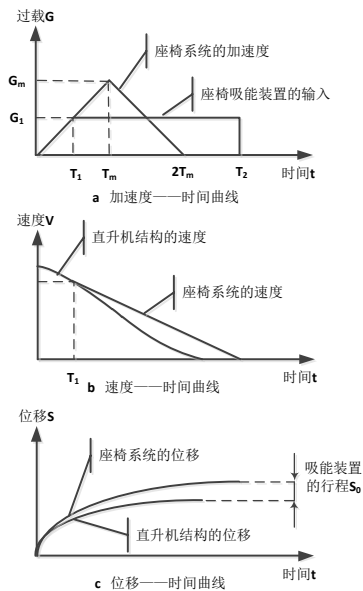
（二）吸能器吸能行程计算方法

直升机的坠毁过程是一个复杂的过程，为简化分析，将直升机抗坠毁过程简化为三个阶段^[6-9]：

第一阶段（ $0 \leq t \leq T_1$ ），起落架或机身底部结构压缩（塑性变形），但乘员所承受的过载小于吸能装置的启动载荷，乘员与机体间不发生相对位移；

第二阶段（ $T_1 \leq t \leq 2T_m$ ），起落架或机身底部结构继续压缩（塑性变形），乘员所承受的载荷达到吸能装置的启动载荷，乘员与机体间发生相对位移，同时，由于吸能装置的力学性能特征，乘员所承受的载荷保持恒定；

第三阶段（ $2T_m \leq t \leq T_2$ ），机体速度减为0，不再继续运动，乘员所承受的载荷保持恒定，但乘员继续运动，至 T_2 时刻，其速度也减为0，此时吸能装置的行程为 S_0 。



> 图2 加速度、速度、位移时间曲线

根据吸能器各阶段加速度、速度、位移时间曲线，经过计算

可得吸能装置的吸能行程 S_0 为：

$$S_0 = G_m g T_m^2 \left(-\frac{k^3}{24} + \frac{k}{2} + \frac{1}{2k} - 1 \right)$$

式中：

S_0 为乘员与机体的相对位移（吸能器所需工作行程）

T_m 为机体达到最大加速度的时间；

G_m 为机体输入的最大加速度；

G_1 为吸能器工作时乘员的加速度（吸能器的工作加速度）

$$k = G_1 / G_m$$

（三）吸能器启动载荷计算方法

发生坠撞事件时机体的加速度值会瞬间增大，当达到变载吸能装置的启动载荷时吸能元件开始工作，使乘员加速度值不再随机体一起增加，达到保护乘员的目的。吸能器的启动载荷 F 必须保证乘员过载不超过人体可耐受过载极限 G 许用 $=14.5g$ ^[10]。即：

$$F \leq G_{\text{许}} \cdot g \cdot m$$

式中 m 为乘员有效重量。

乘员的有效重量 m 的计算方法为：

$$m = 0.8 \cdot (m_t + m_c) + m_h + m_y$$

式中：

m_t 为乘员的裸重

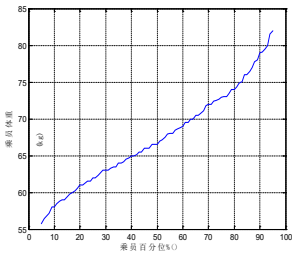
m_c 为乘员服装的重量

m_h 为头盔的重量

m_y 为座椅可动部分的重量

（四）变载吸能档位分布设计

查阅 GJB4856-2003《中国男性飞行员人体尺寸》中关于轰炸机、直升机飞行员体重数据，通过数据统计绘制第5～第95百分位乘员体重其分布情况如下：



> 图3 第5～第95百分位乘员体重其分布

从图3中可以看出，人体百分位数与乘员体重近似为线性关系，故可将乘员重量均匀分为三段，从而将手动变载吸能器吸能载荷设置为三挡，每档吸能器启动载荷可根据2.3节计算。

二、手动变载吸能器设计

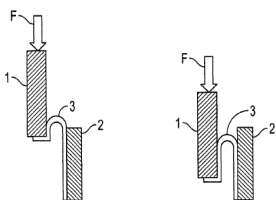
（一）手动变载吸能器平台选型

目前国内直升机采用的吸能器均为85%固定载荷吸能器，且并未对座椅提供供电接口，故无法安装自适应变载座椅。为提升座椅抗坠毁能力，有必要在现有座椅平台基础上进行手动变载吸能器研究，从而提升座椅抗坠毁性能。

经过筛选，确定在已经经过试验验证的座椅平台上进行改

进。此座椅结构简单、重量轻，具有较强的重量优势。其采用的U型翻转板吸能器与座椅集成设计，不仅重量轻，且可提供稳定的吸能载荷。

U型反转板吸能器如图4所示。



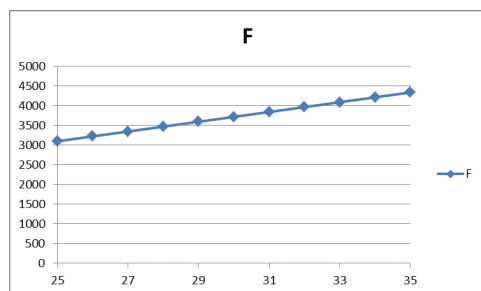
> 图4 U型反转板吸能器

（二）吸能器变载参数选择

U型翻转板吸能器工作原理是在轴向拉力的作用下，翻转板发生内翻变形，吸收冲击能量。同时，翻转板在翻转过程中，变形区域的形状和大小始终保持不变，因而其工作载荷基本保持恒定。经分析在材料一定的情况下影响U型反转板吸能器吸能载荷F的因素有壁厚t、宽度b和翻转半径r。采用控制单一变量法进行控制单一参数分析，分析单一参数对吸能器启动载荷的影响，从而选择合适的控制参数指导变载吸能器设计。

a. 宽度对启动载荷的影响

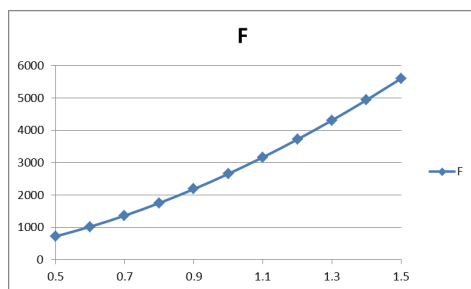
根据平台座椅翻转板吸能器验证情况，选取翻转板厚度为1.2mm，翻转半径为1mm，翻转板宽度范围25mm ~ 35mm的翻转板进行控制单一参数数值计算，数值计算曲线如下：



> 图5 不同宽度对应启动载荷曲线

b. 厚度对启动载荷的影响

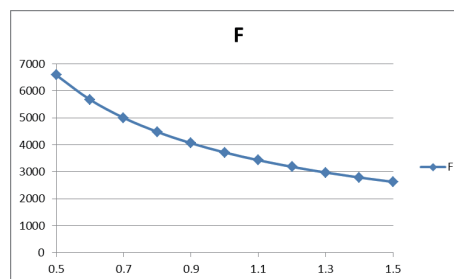
选取翻转板宽度为30mm，翻转半径为1mm，翻转板厚度范围0.5mm ~ 1.5mm的翻转板进行控制单一参数数值计算，数值计算曲线如下：



> 图6 不同厚度对应的启动载荷曲线

c. 翻转半径对启动载荷的影响

选取翻转板宽度为30mm，翻转板厚度为1.2mm，翻转板翻转半径范围0.5mm ~ 1.5mm的翻转板进行控制单一参数数值计算，数值计算曲线如下：



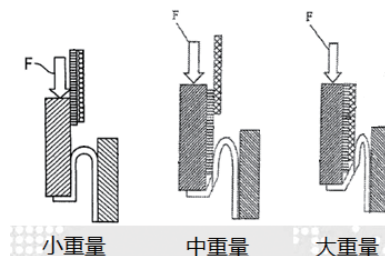
> 图7 不同翻转半径对应的启动载荷曲线

经过上述控制单一参数数值计算，可以得出：翻转板厚度和翻转半径的变化对启动再喝影响较为明显，而宽度对载荷影响较为平缓。针对手动变载吸能器，采用改变翻转板厚度的方式实现变载难度较大，而采用改变翻转板翻转半径的方法较为容易，故在U型翻转板吸能器平台基础上，选用改变翻转半径r作为实现变载吸能的可调因子。

（三）手动变载吸能器结构设计

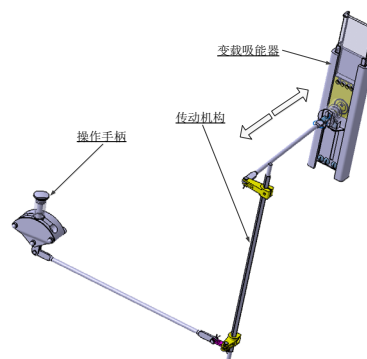
通过上述分析，选择改变翻转板翻转半径的方式来实现变载吸能方案可行，变载机构的主要作用是改变U型翻转板翻转半径r，从而达到根据不同乘员重量区间调节启动载荷的目的。

改变翻转板翻转半径的主要工作原理为：通过操纵机构控制两个压片的工作状态，从而实现不同档位下控制U型翻转板吸能器翻转半径的目的。当操纵手柄处于第一档时，两个压片均不工作，此时吸能器处于启动载荷最低状态，满足小重量乘员吸能要求。当操纵手柄处于第二档时，只有一个压片工作，此时吸能器启动载荷处于中位状态，满足中重量乘员吸能要求。当操纵手柄处于第三档时，两个压片均工作，此时洗能器启动载荷处于高位状态，满足大重量乘员吸能要求。工作原理如下图所示：



> 图8 手动变载吸能器工作原理图

根据上述改变翻转板翻转半径的工作原理，可以根据座椅吸能器的具体结构形式，设计相应的调节机构，通过调节手柄实现吸能器的变载调节。



> 图9 手动变载吸能器原理图

三、试验验证

(一) 试验参数设计

根据 U 型翻转板吸能器工作原理以及启动载荷数值计算公式,同时结合抗坠毁座椅验证经验,初步设定手动变载吸能器相关参数如下:

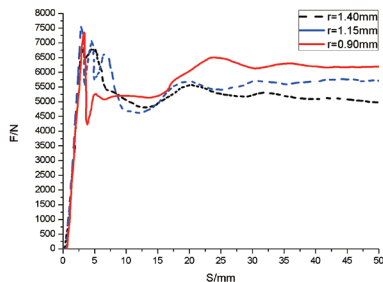
- a. 翻转板厚度: 1.2mm;
- b. 翻转板宽度: 36.8mm;
- c. 压片 1: 0.5mm;
- d. 压片 2: 0.5mm;
- e. 翻转板一挡翻转半径: 1.4mm;

根据上述参数,经计算可得:

- a. 翻转板二挡翻转半径: 1.15mm;
- b. 翻转板三挡翻转半径: 0.9mm;
- c. 一挡启动载荷: 3422N;
- d. 二挡启动载荷: 4052N;
- e. 三挡启动载荷: 4984N

(二) 变载吸能器压力试验

根据 4.1 节设定的相关参数,设计出试验件,在电液伺服万能材料压力试验机上进行准静态压力试验,通过压力试验得到不同翻转半径下的压力-位移曲线,试验曲线如下:



> 图10 不同翻转半径下压力-位移曲线

(三) 数据分析

通过对图10曲线进行分析可以发现:改变 U 型翻转板翻转半径可以明显改变吸能载荷,经过试验验证,证明手动变载方案设计合理可行,基本可以满足变载需求。

四、结论

本文在现有 U 型翻转板固定载荷吸能技术的基础上,对影响启动载荷的三个因素(宽度、厚度、翻转半径)进行分析。结合手动变载吸能原理,创造性提出通过改变翻转半径从而达到改变启动载荷的目的。并通过试验验证,证明了方案的可行性。参照本文研究成果,可以为后续手动变载吸能器研制工作提供参考。由于试验样本有限,本文的研究内容仍显不足,主要体现在如下几个方面:

1. 启动载荷理论计算数据与实际试验数据存在较大偏差,需深入分析偏差原因,并制定控制措施使启动载荷可控;
2. 试验样本较少,需加大样本量,并根据试验数据归纳总结出便于工程应用的经验公式;
3. 探索改变 U 型翻转板吸能器宽度或厚度实现手动变载方案,实现手动变载方案的多元化;
4. 试验方式为准静态试验,需要研究动态试验条件下吸能载荷的变化,从而实现工程应用。

参考文献

- [1]Gaurav Nilakantan. Desing and Development of an Energy Absorbing Seat and Ballistic Fabric Material Model to reduce Crew Injury caused by Acceleration from Mine/IED blast [D]. Visveswaraiah Technological University india, 2006.
- [2]Astori P, Ceresa P, Morandini M. Numerical optimisation of a seat energy absorber [C] //4th International K. RASH Users' Seminar. Amsterdam. 2003.
- [3] 徐梅香, 涂方正, 廖良全, 等. 先进的变载吸能器 [J]. 直升机技术, 2001 (4): 43-47.
- [4]Desjardins S P. The evolution of energy absorption systems for crashworthy helicopter seats [J]. Journal of the American Helicopter Society, 2006, 51(2): 150-163.
- [5]SVOBODA C M, WARRICK J C. Design and development of variable-load energy absorbers(aircraft seats)[Final Report, Jul. 1979- Jun. 1981] [J]. 1981.
- [6] 汪洋. 抗坠毁座椅吸能装置的性能参数选择方法研究 [J]. 直升机技术, 2007, 4: 28-30.
- [7] 李永亮. 直升机抗坠毁座椅吸能装置的设计方法 [J]. 直升机技术, 2019, 2.
- [8] 丁春全, 李保刚, 马登武. 武装直升机抗坠毁救生技术 [J]. 海军航空工程学院学报, 2006, 20(5): 547-550.
- [9] 王昌言. 直升机抗坠毁座椅吸能系统 [EB/OL]. 北京, 北京安达维尔航空设备有限公司, 2011.
- [10]GJB4234-2001 人体坐姿着陆冲击安全限值.