

气动减速系统阻力伞锁机构可靠性分析



辛富康¹, 雷华金², 王攀¹

1. 西北工业大学, 陕西 西安 710072

2. 航空工业航宇救生装备有限公司, 湖北 襄阳 441003

摘要: 气动减速系统是保证飞机正常飞行的关键, 如何高效、可靠地实现阻力伞锁机构的打开是影响气动减速系统的关键。本文以气动减速系统阻力伞锁机构为研究对象, 通过对阻力伞锁机构运动特性的分析建立了刚柔耦合仿真模型并开展动力学仿真。针对其复杂的工作特点, 提出了阻力伞锁机构卡滞与精度失效两种关键失效模式。针对关键失效模式分别建立了可靠性分析模型, 采用AK-MCS法计算阻力伞锁机构可靠性。通过本文研究, 得到了阻力伞锁机构在不确定性环境下可靠性水平, 可以为今后阻力伞锁可靠性设计提供参考依据。

关键词: 阻力伞锁; 机构; 失效模式; Kriging模型; 可靠性

中图分类号: V226

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2023.05.011

气动减速系统可以缩短飞机着陆滑跑距离, 是应急情况下保证飞行安全必不可少的装置。其中, 阻力伞锁机构是连接机身尾部和阻力伞的连接装置, 是关系阻力伞能否正常开伞的关键机构。同时, 阻力伞锁机构的高可靠性是保证气动减速系统安全运行的关键, 直接影响着气动减速系统的正常工作。因此, 针对阻力伞锁机构进行可靠性评估, 有助于改进机构设计, 延长机构使用寿命, 降低气动减速系统的故障率, 指导先进气动减速系统的研制与设计工作。

针对阻力伞机构, 郝恒^[1]、钱玉生^[2]等对阻力伞机构开展了功能危险性分析和故障树分析研究, 苏新兵等^[3]在分析某型飞机阻力伞机构故障原因的基础上提出了新型阻力伞机构的改进方法, 提高了该型飞机阻力伞机构的工作可靠性。然而, 目前针对阻力伞的研究工作大都从系统层面对阻力伞机构进行故障分析, 尚未有针对阻力伞锁运动机构的可靠性分析研究。

众多学者已经对机构可靠性建模、可靠性和灵敏度分析方法等方面开展了大量研究并取得了一系列成果, 这为本文的研究提供了有益指导。针对机构运动可靠性方面,

郑盛等^[4]建立了“一字形”导弹展开机构启动阶段的可靠性分析模型, 根据启动阶段的驱动力矩不小于启动阶段的阻力矩建立了极限状态方程, 并解析推导出该型导弹展开机构启动阶段的失效概率; 倪健等^[5]分析了某型折叠展开机构, 建立了其等效动力模型, 得出了其在运动阶段的运动规律, 然后利用运动副真实角位移与预设角位移之差建立极限状态方程, 并通过一次二阶矩方法近似求解展开机构在展开阶段的可靠性; 刘飞等^[6]在倪健等提出的方法的基础上, 同时考虑基于力矩或基于功的可靠性分析方法, 并利用蒙特卡罗抽样(MCS)算法估算展开机构在展开阶段的失效概率; 胡明等^[7]将锁紧销简化为一悬臂梁, 根据结构力学知识建立极限状态方程, 再利用矩方法求解展开机构在锁定阶段的可靠性, 并进行了可靠性灵敏度分析。同时, 许多学者还分别对飞机动力装置^[8]、舱门机构^[9]、起落架机构^[10]、应急放机构^[11]等进行了可靠性评估, 为阻力伞锁机构可靠性评估提供了有效途径。

本文建立了阻力伞锁机构刚柔耦合仿真模型, 考虑摩擦系数、销轴半径等参数对机构可靠性的影响, 分别针对卡滞与精度不足两种失效模式进行可靠性建模。采用自适应

收稿日期: 2023-01-30; 退修日期: 2023-03-05; 录用日期: 2023-04-06

基金项目: 航空科学基金(201929053001)

引用格式: Xin Fukang, Lei Huajin, Wang Pan. Reliability analysis for drag parachute lock mechanism of aerodynamic deceleration system[J]. Aeronautical Science & Technology, 2023, 34(05): 80-86. 辛富康, 雷华金, 王攀. 气动减速系统阻力伞锁机构可靠性分析[J]. 航空科学技术, 2023, 34(05): 80-86.

Kriging 结合 MCS 的 AK-MCS 方法进行了阻力伞锁机构可靠性分析, 计算结果可以为工程实际提供指导作用。

1 阻力伞锁运动机构动力学仿真

1.1 阻力伞锁机构刚柔耦合建模

阻力伞锁通常安装于机身尾部, 通过挂环和阻力伞连接, 典型的伞锁采用“旋转杠杆/省力增速”机构设计, 进行开伞控制^[12], 阻力伞锁运动机构如图 1 所示。

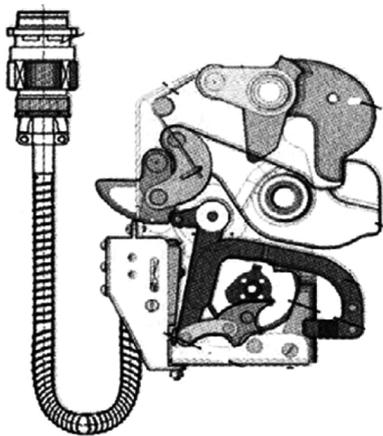


图1 阻力伞锁机构

Fig.1 Drag parachute lock mechanism

在阻力伞锁运动机构进行仿真建模时, 仅需将关键传力部件进行仿真建模即可, 对于不影响机构正常运动的部件可进行适当简化, 从而能够更加清晰地描述机构的运动过程。简化后的阻力伞锁机构 ADAMS 仿真模型如图 2 所示, 主要关键部件包括支撑钩、耳片、衬套、曲臂、滚柱梁、套筒、连杆、扇形板、电伺阀等。

阻力伞锁机构在实际运动过程中关键部件间相互接触碰撞时存在结构变形, 为了更加真实地反映机构的真实运动过程, 采用柔性化的方式进行仿真建模。然而, 对仿真模型进行可靠性分析的计算效率不仅取决于算法本身的效率, 也受到仿真模型仿真时间的影响。因此, 为了提高可靠性分析的计算效率, 使所需计算量控制在可接受的范围内, 在 ADAMS 软件中采用刚柔耦合的方式对阻力伞锁机构进行运动仿真。由于传力路径上支撑钩的变形相对于其几何尺寸而言变形较小, 为简化计算, 不考虑其变形, 采用刚性体进行建模仿真。针对耳片、滚柱梁、套筒、连杆等关键结构部件进行柔性化建模, 在 ADAMS 中将阻力伞锁中的刚体模型替换为柔性体文件, 借助 ABAQUS 和 ADAMS 软件联合仿真形成刚柔耦合模型。图 3 为阻力伞锁机构仿真分

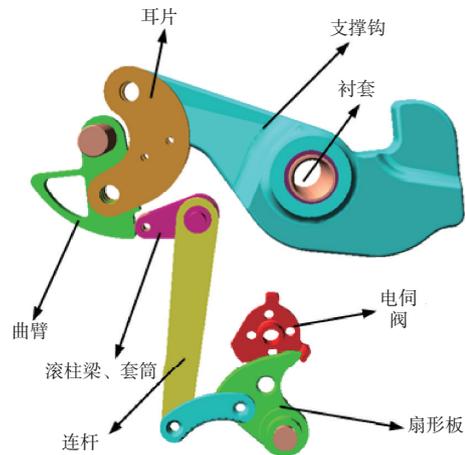


图2 阻力伞锁机构 ADAMS 仿真模型

Fig.2 ADAMS simulation model of drag parachute lock mechanism

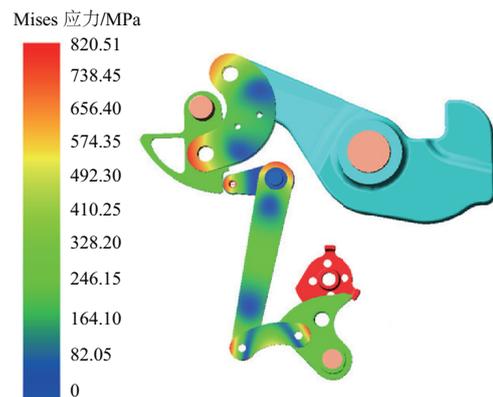


图3 阻力伞锁机构应力分布图

Fig.3 Stress distribution diagram of drag parachute lock mechanism

析过程中的应力变化图, 运动过程中最大 Mises 应力为 820.51MPa。

1.2 阻力伞锁机构运动过程

如图 4 所示, 阻力伞抛伞过程可描述为: 阻力伞抛出, 伞绳拉直, 伞锁受到瞬间冲击载荷, 持续时间短(几十毫秒); 阻力伞完全张开过程, 持续时间长, 载荷峰值相对较大, 但可视为准静态载荷^[13]。开锁过程主要通过电伺阀门控制, 电伺阀门逆时针旋转, 准静态过程被破坏。扇形板绕销钉顺时针旋转, 进而带动套筒逆时针旋转, 曲臂与滚柱梁间接触消失, 同时因受力钩与支撑钩不再咬合, 从而释放阻力伞挂环, 实现抛伞。阻力伞锁整个抛伞过程耗时 0.25s。

1.3 阻力伞锁机构运动规律

通过对阻力伞锁机构进行运动仿真, 得到支撑钩的偏

转角度变化如图5所示。可以看出,支撑钩在抛伞前始终处于 0° 附近,在抛伞的一瞬间支撑钩打开,角度变化至 13° 左右。图6所示为曲臂传递至滚柱梁的载荷变化曲线,在抛伞前滚柱梁所承载荷维持在 1500N 左右。

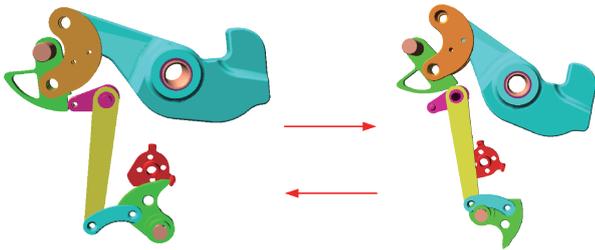


图4 阻力伞锁机构运动过程

Fig.4 Movement process of drag parachute lock mechanism

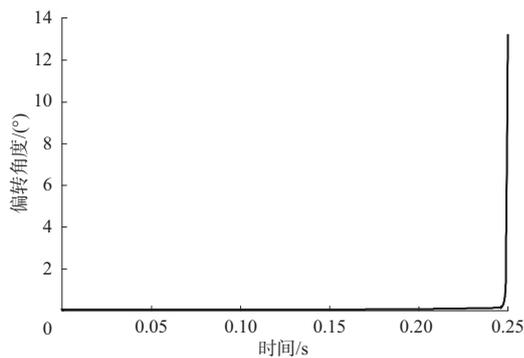


图5 支撑钩角度变化曲线

Fig.5 Angle variation curve of support hook

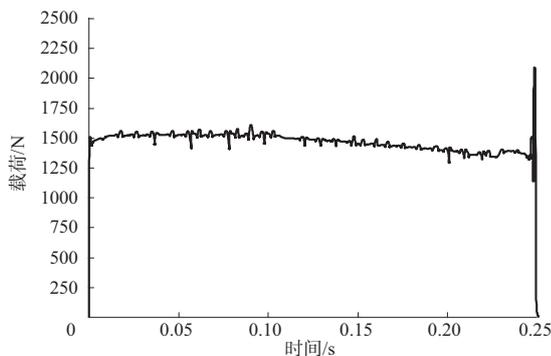


图6 滚柱梁所承载荷变化曲线

Fig.6 Load variation curve of roller beam

2 阻力伞锁机构可靠性建模

2.1 阻力伞锁机构不确定性分析

传统的锁机构设计方法是从功能特性出发,以实现阻力伞锁正常工作作为设计目标,未考虑设计过程中存在的不确定性因素。然而,阻力伞锁机构的设计中存在大量的不

确定性因素,这些不确定性因素的存在将导致阻力伞锁的打开存在故障隐患,影响气动减速系统的正常工作,甚至会导致飞行员发生灾难性的事故。因此亟须开展不确定性环境下的阻力伞锁可靠性分析,提升阻力伞锁的可靠性。

本文基于阻力伞锁机构的动力学分析模型,通过对阻力伞锁机构设计、加工及使用过程中可能存在的不确定性进行分析,为阻力伞锁的可靠性分析提供输入条件。首先,由于传力路径上铰接处可能出现轴衬磨损以及维修保养不到位,从而造成机构各关节润滑性能下降,摩擦力变大,机构运动阻滞力过大对机构正常偏转有显著影响,因此,在此处设置了对应的旋转副与摩擦副。如图7所示,将电伺阀与扇形板接触处(A)、滚柱梁与曲臂接触处(B)、衬套与支撑钩连接处(C)、扇形板与连杆连接处(D)、两个连杆连接处(E)的摩擦系数(μ_A 、 μ_B 、 μ_C 、 μ_D 、 μ_E)定义为随机变量。此外,考虑加工误差的影响,销轴半径会影响机构传动精度,进而影响整个阻力伞锁收放机构的正常功能甚至引起失效,因此选取图7中的C处(支撑钩与衬套连接处)销轴半径 r 作为随机变量。

随机变量的分布及参数见表1,本文中假设各个输入变量之间是相互独立的。

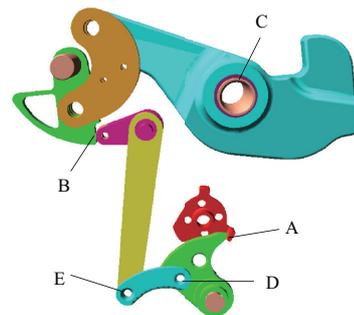


图7 随机变量设定位置

Fig.7 Setting position of random variable

表1 随机变量的分布及参数

Table 1 The distribution and parameters of random variables

含义	输入变量	均值	变异系数	分布
C点衬套半径(r)	x_1	9	0.01	正态分布
A点摩擦系数(μ_A)	x_2	0.1	0.01	正态分布
B点摩擦系数(μ_B)	x_3	0.1	0.01	正态分布
C点摩擦系数(μ_C)	x_4	0.1	0.01	正态分布
D点摩擦系数(μ_D)	x_5	0.3	0.01	正态分布
E点摩擦系数(μ_E)	x_6	0.3	0.01	正态分布

2.2 阻力伞锁机构失效模式

阻力伞锁机构需要在规定的时间范围内完成抛伞功能,倘若未能完成规定动作或完成动作超时,则视为发生故障。阻力伞锁机构最显著的特征是通过传递力或力矩使机构部件发生旋转,根据阻力伞锁机构故障模式影响分析,得到发生故障的主要原因包括运动元件的磨损、锈蚀、润滑不足等。为了对阻力伞锁机构的故障进行定量研究,对阻力伞锁机构运动特点进行分析研究,主要考虑了卡滞和精度不足两种失效模式来评估阻力伞锁机构的可靠性。

2.2.1 卡滞失效

机械卡滞是指阻力伞锁由运动机构故障或阻力伞锁本身变形过大引起的在抛伞过程中不能继续运动或者主动操纵力矩不能克服被动力矩的故障模式。与机械卡滞有关的阻力伞锁部件有支撑钩、滚柱梁、连杆、扇形板、电伺阀门等。造成机械卡滞的原因主要是运动部件的磨损和锈蚀,支撑钩与衬套、扇形板与连杆等部件过度磨损,阻力增大,使阻力伞锁卡滞。另外,衬套轴承锈蚀造成机械卡滞也时有发生,润滑不良也会造成阻力伞锁卡滞。

在阻力伞锁抛伞过程中,只有当 $|F_{\max}(\mathbf{x})| - F > 0$ 时,阻力伞才能正常释放,否则认为伞锁无法正常打开,发生卡滞失效。卡滞失效模式对应的功能函数为

$$g_1(\mathbf{x}) = |F_{\max}(\mathbf{x})| - F \quad (1)$$

式中, $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$ 为输入变量, $F_{\max}(\mathbf{x})$ 为开锁时曲臂传递的最大驱动力,可以通过ADAMS仿真模型得到, F 为开锁时滚柱梁偏转所需的驱动力。本文选取1800N作为阻力伞锁正常开锁的边界条件,若滚柱梁偏转所受最大载荷 $F_{\max}(\mathbf{x})$ 小于1800N则无法保证阻力伞锁机构正常开锁。

2.2.2 精度失效

操纵精度不足是阻力伞锁在抛伞过程中出于某种原因导致阻力伞锁不能放置到所需要的位置上或者有一定的偏差,对阻力伞锁的抛伞造成一定的影响。与阻力伞锁操纵精度不足有关的部件有电伺阀、扇形板等传动装置,主要原因是这些部件长期使用造成磨损或者疲劳引起传动误差,进而对阻力伞锁的抛伞过程造成了精度影响。

在阻力伞锁抛伞过程中,只有当 $|A_{\max}(\mathbf{x})| - \Delta > 0$ 时,阻力伞才能正常释放,否则认为伞锁无法正常打开,发生精度失效。精度失效模式对应的功能函数为

$$g_2(\mathbf{x}) = |A_{\max}(\mathbf{x})| - \Delta \quad (2)$$

式中, $A_{\max}(\mathbf{x})$ 为开锁时支撑钩所转过的最大角度,可以通过

ADAMS多体动力学仿真软件得到, Δ 为开锁时支撑钩所需的最大角度,本文中 Δ 设置为 13° 。若支撑钩运动过程中偏转最大角度 $A_{\max}(\mathbf{x}) < 13^\circ$ 则表明支撑钩偏转角度过小,无法保证阻力伞锁机构正常开锁。

实际工程中,对于卡滞和运动精度不足的失效边界没有具体要求,为此,本文利用仿真分析模型,先对两种失效模式的功能响应进行了统计分析。通过ADAMS调用阻力伞锁机构模型1000次,得到阻力伞锁机构在实际运动过程中滚柱梁所承载荷与支撑钩偏转角度分布如图8、图9所示。

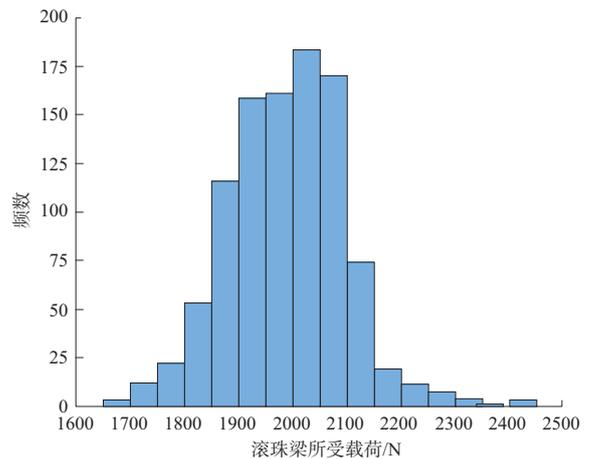


图8 滚柱梁所承载荷分布图

Fig.8 Load distribution diagram of roller beam

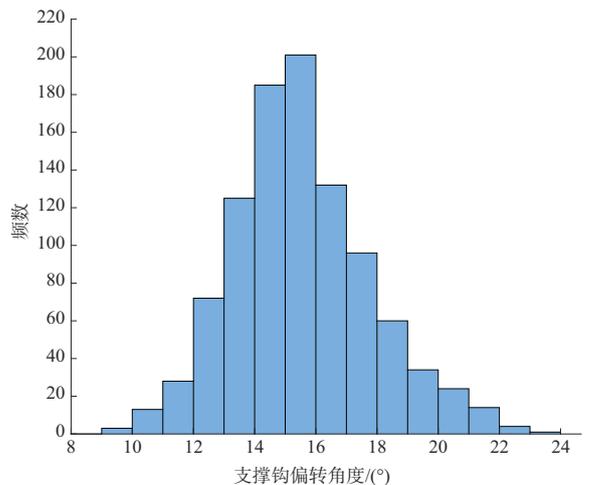


图9 支撑钩偏转角度分布图

Fig.9 Deflection angle distribution diagram of support hook

3 阻力伞锁运动机构可靠性分析

3.1 基于AK-MCS的可靠性分析方法

对于工程实际问题,通常需要借助仿真软件映射输入

与输出的关系,耗时的模型调用使得可靠性计算效率低下。目前,基于代理模型的可靠性分析方法被广泛应用于仿真模型的可靠性评估,常用的代理模型有响应面、神经网络、Kriging模型等。其中基于Kriging模型的AK-MCS方法是目前应用最广泛的可靠性分析方法。

Kriging代理模型作为一种估计方差最小的无偏估计模型,具有全局近似和局部随机误差相结合的特点,可以提供很好的全局预测,且可以在保证精度的情况下大幅提高计算效率。它包括线性回归和随机过程两部分,表达式为

$$\hat{g}(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^p f_i(\mathbf{x})\beta_i + z(\mathbf{x}) \quad (3)$$

式中, $\hat{g}(\mathbf{x})$ 为样本点的预测响应, $f(\mathbf{x})=[f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_p(\mathbf{x})]^T$ 是随机矢量 \mathbf{x} 的基函数,提供了设计空间内的全局近似模型; $\beta=[\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p]$ 为回归函数待定系数,其值可通过已知的响应值估计得到; p 表示基函数的个数, $z(\mathbf{x})$ 为随机过程,是在全局模拟的基础上创建的期望为0且方差为 σ^2 的局部偏差,其协方差矩阵可表示为

$$\text{cov}[z(\mathbf{x}^{(i)}), z(\mathbf{x}^{(j)})] = \sigma^2 \mathbf{R}(\mathbf{x}^{(i)}, \mathbf{x}^{(j)}) \quad (4)$$

因此,对于任意一个未知样本点 \mathbf{x} ,其预测响应 $\hat{g}(\mathbf{x})$ 服从一个高斯分布,即 $\hat{g}(\mathbf{x}) \sim N(\mu_{\hat{g}}(\mathbf{x}), \sigma_{\hat{g}}^2(\mathbf{x}))$,均值及方差的计算如下

$$\mu_{\hat{g}}(\mathbf{x}) = f^T(\mathbf{x})\hat{\beta} + r^T(\mathbf{x})\mathbf{R}^{-1}(g - f\hat{\beta}) \quad (5)$$

$$\sigma_{\hat{g}}^2(\mathbf{x}) = \sigma^2 \{1 - r^T(\mathbf{x})\mathbf{R}^{-1}r(\mathbf{x}) + [f^T\mathbf{R}^{-1}r(\mathbf{x}) - f(\mathbf{x})]^T (f^T\mathbf{R}^{-1}f)^{-1} [f^T\mathbf{R}^{-1}r(\mathbf{x}) - f(\mathbf{x})]\} \quad (6)$$

$\mu_{\hat{g}}(\mathbf{x})$ 和 $\sigma_{\hat{g}}^2(\mathbf{x})$ 的计算可以通过MATLAB中的工具箱DACE来实现。AK-MCS法采用U学习函数在候选样本池中不断挑选对失效面拟合贡献较大的点来更新Kriging模型,最佳训练样本点 \mathbf{x}_{best} 的表达式如下

$$\mathbf{x}_{\text{best}} = \arg \min_{\mathbf{x} \in S_{\text{MC}}} U(\mathbf{x}) = \arg \min_{\mathbf{x} \in S_{\text{MC}}} \left| \frac{\mu_{\hat{g}}(\mathbf{x})}{\sigma_{\hat{g}}(\mathbf{x})} \right| \quad (7)$$

式中, $\mu_{\hat{g}}(\mathbf{x})$ 和 $\sigma_{\hat{g}}(\mathbf{x})$ 分别为Kriging模型在样本点 \mathbf{x} 的预测均值与预测方差。参考文献[14]的研究表明,当 $\min U(\mathbf{x}) \geq 2$ 时,Kriging模型符号预测正确的概率达到97.72%。因此,选取 $\min U(\mathbf{x}) \geq 2$ 作为Kriging代理模型自适应更新过程的收敛条件。

最后,采用MCS法根据所训练的Kriging模型来计算阻力伞锁模型的失效概率

$$P_f = \frac{N_{\hat{g}(\mathbf{x}) \leq 0}}{N} \quad (8)$$

式中, N 为样本总数, $N_{\hat{g}(\mathbf{x}) \leq 0}$ 表示失效的样本点数量。

算法的执行步骤主要有:(1)采用MCS法根据概率密度函数 $f_x(\mathbf{x})$ 抽取容量为 N 的候选样本池 S_{MC} ;(2)在 S_{MC} 中抽取 N_0 (本文取50)个样本点 \mathbf{x} ,并调用ADAMS仿真模型计算对应的功能函数值 $g_1(\mathbf{x})$ 与 $g_2(\mathbf{x})$,形成初始训练样本集 S_0 ;(3)通过训练样本集 S_0 拟合Kriging代理模型;(4)根据公式 $\mathbf{x}_{\text{best}} = \arg \min_{\mathbf{x} \in S_{\text{MC}}} U(\mathbf{x})$,在候选样本池中选取最佳候选样本点;(5)判断收敛性:若 $\min_{\mathbf{x} \in S_{\text{MC}}} U(\mathbf{x}) \geq 2$,则表明训练过程收敛,停止继续迭代并执行步骤(7);若 $\min_{\mathbf{x} \in S_{\text{MC}}} U(\mathbf{x}) < 2$,执行步骤(6);(6)调用ADAMS仿真模型计算 \mathbf{x}_{best} 的响应值 $g(\mathbf{x}_{\text{best}})$ 并将 $\{\mathbf{x}_{\text{best}}, g(\mathbf{x}_{\text{best}})\}$ 加入训练样本集 S_0 中,返回步骤(3);(7)基于训练的Kriging模型,采用MCS法估计阻力伞锁机构的失效概率 \hat{P}_f 。

3.2 阻力伞锁机构可靠性分析结果

对于阻力伞锁机构,如果直接采用MCS法进行验证,计算量在工程上是不能接受的,因此采用3.1节所述AK-MCS方法分别对上述两种失效模式进行可靠性分析。本文针对卡滞和精度不足两种失效模式分别建立了Kriging模型,然后利用训练好的Kriging代理模型计算阻力伞锁机构的可靠性及可靠性局部灵敏度指标值,见表2。

从可靠性的分析结果来看,阻力伞锁机构的精度失效模式调用模型307次,得到失效概率的估计值为0.014,卡滞失效模式调用模型675次,得到失效概率的估计值为0.044。失效概率对输入变量的均值与方差灵敏度如图10所示,对于精度失效而言,C处衬套半径的均值与方差以及A处摩擦系数的方差对失效概率均影响较大。对于卡滞失效而言,C处衬套半径以及A、B、C处摩擦系数对失效概率均有较大影响。

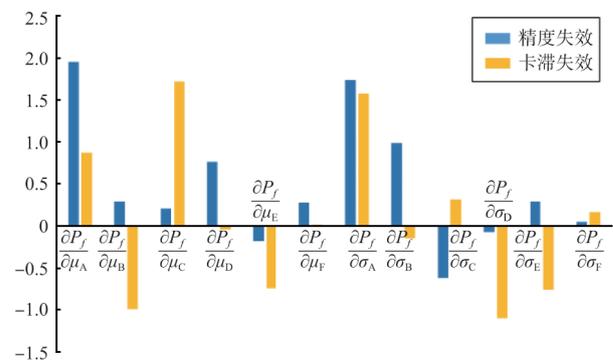


图10 阻力伞锁机构卡滞与精度失效模式局部灵敏度
Fig.10 Local sensitivity of drag parachute lock mechanism stuck and precision failure mode

表2 计算结果
Table 2 Calculation result

	精度失效	卡滞失效
P_f	0.014	0.044
$\partial P_f / \partial \mu_A$	1.963	0.874
$\partial P_f / \partial \mu_B$	0.29	-0.988
$\partial P_f / \partial \mu_C$	0.21	1.731
$\partial P_f / \partial \mu_D$	0.767	-0.039
$\partial P_f / \partial \mu_E$	-0.18	-0.743
$\partial P_f / \partial \mu_F$	0.28	0.014
$\partial P_f / \partial \sigma_A$	1.75	1.587
$\partial P_f / \partial \sigma_B$	0.99	-0.139
$\partial P_f / \partial \sigma_C$	-0.615	0.319
$\partial P_f / \partial \sigma_D$	-0.073	-1.096
$\partial P_f / \partial \sigma_E$	0.288	-0.761
$\partial P_f / \partial \sigma_F$	0.051	0.163
模型调用次数	307	675

4 结论

通过研究,可以得出以下结论:

(1)本文在ADAMS中建立了阻力伞锁机构刚柔耦合模型,同时考虑摩擦系数、衬套半径的不确定性,将滚柱梁承受载荷与支撑钩运动角度作为机构响应量,建立了阻力伞锁机构卡滞失效与精度失效的可靠性模型。

(2)基于自适应Kriging代理模型,结合MCS法对阻力伞锁机构进行了可靠性分析,该计算结果可以为阻力伞锁可靠性设计提供参考。

(3)本文旨在提升阻力伞锁的可靠性水平,提升气动减速系统的安全性,保障阻力伞的顺利释放。研究成果可以推广至其他机构产品的可靠性建模和分析中,为机构产品的可靠性设计提供理论支撑和技术手段。

AST

参考文献

- [1] 郝恒,杜一凡,曹海斌.飞机阻力伞机构功能危险性分析与故障树分析[J].航空计算技术,2018,48(2):37-43.
Hao Heng, Du Yifan, Cao Haibin. Functional hazard and fault tree analysis for airplane drag chute mechanism[J]. Aeronautical Computing Technique, 2018, 48(2): 37-43. (in Chinese)
- [2] 钱玉生.某型飞机阻力伞抛放系统故障模式分析[J].航空维修与工程,2020(4):90-91.
Qian Yusheng. Analysis on the failure of drag parachute

- throwing system for a certain type of aircraft[J]. Aviation Maintenance & Engineering,2020(4):90-91. (in Chinese)
- [3] 苏新兵,王建平,周瑞祥.某型飞机新型阻力伞机构改进设计[J].液压与气动,2008(2):11-13.
Su Xinbing, Wang Jianping, Zhou Ruixiang. Ameliorated design of new decelerated umbrella furnishment for a certain airplane[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics,2008(2): 11-13. (in Chinese)
- [4] 郑盛. 折叠翼展开机构运动功能可靠性建模与灵敏度分析[D].杭州:浙江理工大学,2018.
Zheng Sheng. Modeling and sensitivity analysis of movement function reliability of deployable mechanism of folded wings [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-tech University, 2018. (in Chinese)
- [5] 倪健,陆凯,张铎. 导弹折叠翼展开机构运动功能可靠性分析[J].上海航天,2001(5):1-5.
Ni Jian, Lu Kai, Zhang Duo. Movement function reliability of mechanism of deployable folded wings of missile[J]. Aerospace Shanghai,2001(5):1-5. (in Chinese)
- [6] 刘飞,陈文华,钱萍,等. 导弹折叠展开机构工作可靠性的 Monte Carlo 模拟计算方法研究[J]. 工程设计学报,2012, 19(1):16-19.
Liu Fei, Chen Wenhua, Qian Ping, et al. Research of Monte Carlo simulation calculation method on working reliability for folding and deploying mechanism of missile[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2012, 19(1):16-19. (in Chinese)
- [7] 胡明,张苗苗,陈文华,等. 考虑铰间隙的折叠翼展开机构展开过程碰撞动力学仿真分析[J]. 机械制造,2011, 49(9):6-9.
Hu Ming, Zhang Miaomiao, Chen Wenhua, et al. Simulation and analysis of collision dynamics of folding wing deployable mechanism considering hinge clearance[J]. Mechanical Manufacturing, 2011,49(9):6-9. (in Chinese)
- [8] 朱岩,崔崑,戚学锋,等. 民用飞机动力装置系统FHA研究[J]. 航空科学技术,2012(2):23-25.
Zhu Yan, Cui Ning, Qi Xuefeng, et al. Study of powerplant system FHA of commercial aircraft [J]. Aeronautical Science & Technology, 2012(2):23-25. (in Chinese)
- [9] 周长聪,赵浩东,常琦,等. 飞机舱门泄压阀机构磨损可靠性与灵敏度分析[J]. 北京航空航天大学学报,2021, 47(4): 690-697.

- Zhou Changcong, Zhao Haodong, Chang Qi, et al. Reliability and sensitivity analysis of relief valve mechanism of aircraft door considering wear[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2021, 47(4):690-697. (in Chinese)
- [10] 周长聪, 吉梦瑶, 张屹尚, 等. 多失效模式下起落架机构可靠性及灵敏度研究[J]. 西北工业大学学报, 2021, 39(1):46-54.
- Zhou Changcong, Ji Mengyao, Zhang Yishang, et al. Mechanism reliability and sensitivity analysis of landing gear under multiple failure modes[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2021, 39(1):46-54. (in Chinese)
- [11] 赵劲彪, 郑香伟, 冯蕴雯, 等. 飞机起落架应急放机构可靠性分析[J]. 机械设计与制造, 2014(8):31-33.
- Zhao Jinbiao, Zheng Xiangwei, Feng Yunwen, et al. Reliability analysis of landing gear mechanism during emergency extending[J]. Machinery Design & Manufacture, 2014(8):31-33. (in Chinese)
- [12] 刘继军, 郭军, 刘小川, 等. 阻力伞锁滚柱梁冲击失效分析[J]. 振动与冲击, 2018, 37(6):202-206.
- Liu Jijun, Guo Jun, Liu Xiaochuan, et al. Impact failure analysis of parachute lock roller beams[J]. Journal of Vibration and Shock, 2018, 37(6):202-206. (in Chinese)
- [13] 周昊, 宋亚丽, 冯志杰, 等. 基于ADAMS的弹射座椅弹射出舱姿态研究[J]. 航空科学技术, 2021, 32(2):66-73.
- Zhou Hao, Song Yali, Feng Zhijie, et al. Research on ejection attitude of ejection seat based on ADAMS[J]. Aeronautical Science & Technology, 2021, 32(2):66-73. (in Chinese)
- [14] 朱晨辰, 王彬文, 刘小川, 等. 复杂环境下起落架动力学行为研究现状与展望[J]. 航空科学技术, 2023, 34(1):1-11.
- Zhu Chenchen, Wang Binwen, Liu Xiaochuan, et al. Research status and prospect of landing gear dynamics in complex environment[J]. Aeronautical Science & Technology, 2023, 34(1):1-11. (in Chinese)

Reliability Analysis on Drag Parachute Lock Mechanism of Aerodynamic Deceleration System

Xin Fukang¹, Lei Huajin², Wang Pan¹

1. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

2. AVIC Aerospace Life-support Industries Ltd., Xiangyang 441003, China

Abstract: Aerodynamic deceleration system is important to ensure the normal flight of aircraft, while to efficiently and reliably to switch on the drag parachute mechanism is vital to influence the aerodynamic deceleration system. This paper takes the drag parachute lock mechanism of aerodynamic deceleration system as the research object. The rigid-flexible coupling simulation model is established by analyzing the motion characteristics of drag parachute lock mechanism. According to its complex working characteristics, two key failure modes stuck and precision failure of drag parachute lock mechanism are proposed. Based on this, the reliability analysis model of two failure modes is established. The AK-MCS method is used to calculate the reliability of drag parachute lock mechanism, which provides technical support for improving the reliability design level of drag parachute lock mechanism of aerodynamic deceleration system and meeting the reliability requirements.

Key Words: drag parachute lock; mechanism; failure mode; Kriging model; reliability

Received: 2023-01-30; Revised: 2023-03-05; Accepted: 2023-04-06

Foundation item: Aeronautical Science Foundation of China(201929053001)