

民用飞机门框止动块接触偏移的可靠性分析

方 阳* 张文斌

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘 要: 民用飞机门框止动块是传递舱门载荷到机身结构的重要组件, 止动块与止动钉的接触状态很大程度会影响载荷传递效率及结构可靠性。在舱门止动钉与止动块配合过程中, 止动钉在接触面相对止动块会存在偏离理想设计接触状态的情况。为了评估面内接触偏移因素对止动块承载强度可靠性的影响情况, 基于 Isight 平台集成 ABAQUS 软件和疲劳强度计算工具, 通过量化接触偏移随机变量及其分布模型, 采用蒙特卡罗法对随机变量抽样, 形成一套参数化自动分析流程。经过多次循环抽样模拟计算, 结合强度及疲劳计算准则分析接触面内偏移对止动块静强度、疲劳强度可靠性的影响规律。结果表明: 在给定允许接触偏移量范围内, 止动块的静强度、疲劳强度可靠性较高, 超过 3σ 原则要求的 99.73%, 验证了止动块结构设计的合理性, 该参数化自动计算流程可为机身结构的可靠性分析提供参考。

关键词: 登机门框; 止动块; 接触偏移; 静/疲劳强度; 可靠性分析

中图分类号: V215.7

文献标识码: A

OSID:



0 引言

民用飞机登机门框止动块是堵塞式非承载舱门与机身门框之间转载的主要结构件^[1], 门框上的止动块与舱门止动钉之间的装配接触状态很大程度会影响止动块及止动钉自身的安全裕度及载荷传递效率。考虑加工、制造及装配因素, 实际舱门止动钉与门框止动块之间接触可能存在偏离理想设计状态的一定偏移量或者间隙^[2], 进而引起载荷分配的不均匀性及止动块强度的可靠性问题。在止动块设计初期及校核分析时, 如果只针对理想状态情况, 忽略上述实际情况因素的随机性影响, 不能真实反映止动块的承载变化特点。

关于舱门及门框止动块的配合公差、装配间隙及载荷分配规律等对止动块受载强度的影响, 已有相关分析并用于指导止动块设计。张文斌^[3]等结合有限元法及工程经验算法, 分析考虑舱门装配间隙、结构刚度及接触面摩擦因素, 提出一种增压舱门止动接头本体及止动钉紧固件强度的分析流

程。郑维娟^[4]等提出一种半堵塞式飞机舱门挡块载荷分配及设计方法, 结合门框布置挡块数量及相对位置, 在结构设计阶段可初步计算出各个挡块载荷大小, 实现结构与强度分析的快速迭代工作。张秀丽^[5]等对舱门挡块接触区域进行公差分析研究, 考虑挡块在实际装配的接触平面及垂直于接触平面存在尺寸公差, 给出相应公差理论计算式, 但未开展公差对挡块强度的影响研究工作。吕雄飞^[2,6-7]等探究了舱门与门框界面(包括止动块结构)线性间隙的设计方法, 基于破损安全设计准则, 分析了界面线性间隙如何影响止动块、导向槽载荷分配及静强度, 基于细节疲劳额定值(DFR)法分析了接触间隙对疲劳寿命的影响规律, 为舱门关键结构件传力设计提供指导参考。秦强^[8]等探讨了舱门典型结构元件静强度与疲劳强度可靠性分析理论模型, 用于分析货舱门框锁钩机构及安全销机构的可靠性失效概率。刘伟^[9]等针对飞机舱门密封结构, 考虑密封结构几何特征参数及装配尺寸等随机变量, 研究对密封气密性的影响。分析以上相关

* 通信作者. E-mail: fangyang1@comac.cc

引用格式: 方阳, 张文斌. 民用飞机门框止动块接触偏移的可靠性分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2024(1):13-20. FANG Y, ZHANG W B. Reliability analysis of passenger door stop fitting by considering contact deviation for civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2024(1):13-20(in Chinese).

研究内容及成果,缺少舱门止动钉与门框止动块接触时存在面内接触偏移对止动块静强度、疲劳强度可靠性的影响分析,有关评估舱门止动钉与门框止动块实际接触状态的受载可靠性分析工作很少。

在研究分析相关飞机舱门结构可靠性问题时,蒙特卡罗法在基于随机有限元的机械结构可靠性分析中对随机因素抽样比较常用^[10]。吕雄飞^[2,6-7]及刘伟^[9]等人在上述研究过程即采用蒙特卡罗法对随机因素取样。周长聪^[11]等分析舱门泄压阀机构的销轴磨损对其定位精度的影响时,采用蒙特卡罗法取样模拟计算销轴不同磨损次数下泄压阀机构的失效概率。刘志群^[12]等探究舱门锁钩与锁环的间隙对上锁和开锁功能的影响时,引入蒙特卡罗法分析飞机舱门锁机构的可靠性及参数灵敏度,结合试验验证理论分析结果的正确性。胡启国^[13]等运用蒙特卡罗模拟通过小样本数据统计拟合出蜗轮的应力-强度干涉模型并进行接触疲劳可靠性分析,解决了无可靠性数据的蜗轮可靠性设计问题。

针对止动块接触偏移对其承载可靠性的影响,若直接进行大量重复性随机试验来获取可靠性指标数据,时间和经济成本较高,因此数值仿真分析计算是一种比较恰当的途径。本文以某型飞机登机门框止动块为研究对象,分析舱门止动钉与门框止动块接触后在面内偏离理想设计接触点后对止动块本体的静、疲劳强度影响。通过建立止动块精细有限元模型,考虑接触面内偏离及接触摩擦方向的随机变化,利用 Isight 软件结合 ABAQUS 参数化建模及疲劳强度寿命计算,分析止动块装配接触偏移后承载的应力分布统计规律,进一步揭示舱门止动钉与门框止动块间的传载受力特点,为后续门框止动块结构设计及分析提供参考。

1 止动块的结构形式

民用飞机登机门框止动块通常位于机身登机门开口前后边框上,通过螺栓紧固件与门框腹板机械连接,主要传递飞机舱门增压舱载荷,当舱门结构受到内外气压差后,其承受的载荷通过舱门挡块与门框止动块接触后将载荷传到机身结构上,门框止动块采用破损安全设计原则。根据已有机型门框止动块的结构形式,止动块及其与舱门挡块接触配合形式如图 1 所示。考虑舱门打开和关闭过程,门框止动块与舱门止动钉接触存在面内摩擦力

及面外法向压力,止动块要具有良好的耐磨损、抗腐蚀及抗疲劳性能,一般采用合金钢或钛合金材料,必要时进行表面喷丸处理^[3],结合型号研制选材要求,止动块材料选用 15-5PH 不锈钢。

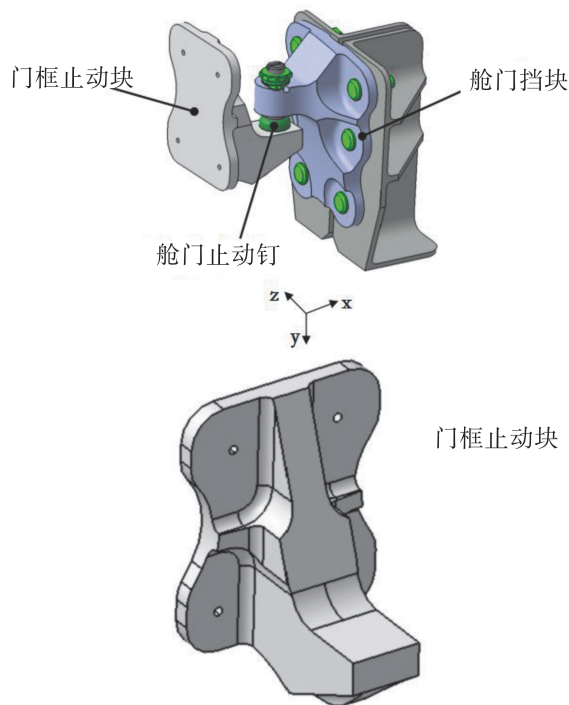


图 1 门框止动块及配合示意图

2 止动块接触偏移可靠性分析

2.1 可靠性分析模型

在处理实际工程问题时,大多数设计变量都不是固定数值,具有一定随机性,因此进行结构可靠性分析对于认识理解实际问题会更加准确。从统计学概率角度来说,任何结构都有可能发生失效,即可靠度小于 1.0 的概率。对于结构元件来说,当结构承受载荷后的工作应力大于材料许用强度时,结构会发生失效。

为了评估止动块与止动钉接触偏移情况下的强度可靠性,本研究对随机变量进行蒙特卡罗随机取样,利用 Isight 软件集成分析流程,可进行多次自动化循环迭代模拟计算,获得输入随机变量对应的输出变量结果,通过统计输出变量数据,再结合材料强度许用应力的随机模型,两者进行比较计算得到安全裕度,并统计拟合分析可靠性。

若用 M 表示结构安全余量, R 表示止动块结构材料许用拉伸强度, S 表示止动块最大工作应力,则

强度安全余量 M 表达式为:

$$M = R - \beta S \quad (1)$$

式中: β 为接头系数, 根据 CCAR-25-R4 中 25.625 条款要求, 强度分析时取接头系数 $\beta = 1.15$ 。结构可靠度 R_c 是指 $M \geq 0$ 的概率, 通过统计数据规律可进一步推导拟合出安全余量 M 的概率分布函数 $f(m)$, 进而得到止动块强度可靠性计算模型。

2.2 接触偏移可靠性分析流程

在止动块接触偏移可靠性分析时, 通过 Isight 软件集成 ABAQUS 及专用疲劳寿命计算分析 Excel 工具, 实现自动化迭代计算。在 ABAQUS 分析中借

助 Python 脚本语言实现对止动块关键特征及尺寸的参数化建模, 随机变量的蒙特卡罗取样算法在自编 Python 脚本内实现。止动块强度可靠性分析流程如图 2 所示, 通过运行搭建的 Isight 仿真流程, 不断调用 ABAQUS 软件完成止动块有限元分析, 单次分析结束后运行最大应力提取程序自动获取应力结果, 并进一步将应力结果作为输入进行疲劳强度计算。重复上述过程 N 次循环, 筛选得出 N 次模拟分析的相应最大应力, 通过统计分析, 结合安全余量计算式算出止动块接触偏移后的强度可靠性结果。

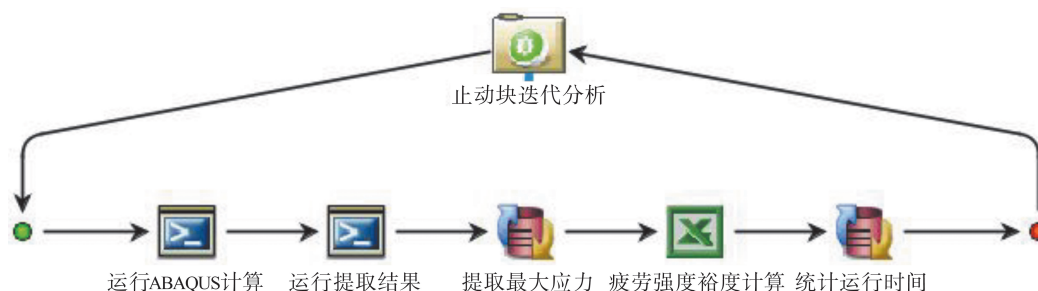


图 2 止动块接触偏移可靠性分析流程

2.3 分析模型的验证思路

在上述 Isight 集成的可靠性分析流程中, 考虑有限元模型的模拟应力结果对后续可靠性分析会有影响, 通常需要零件级试验来验证分析模型的准确性, 图 3 为试验示意图。试验通过模拟止动钉真实接触加载, 并通过止动块上关键部位的应变片测量数据来验证有限元模型分析的准确性, 通过调整加载位置的偏心距 e 值, 开展多轮试验得到与有限元结果相比的偏差情况, 并对有限元模型进行必要修正, 从而使可靠性分析的数值计算更加准确。

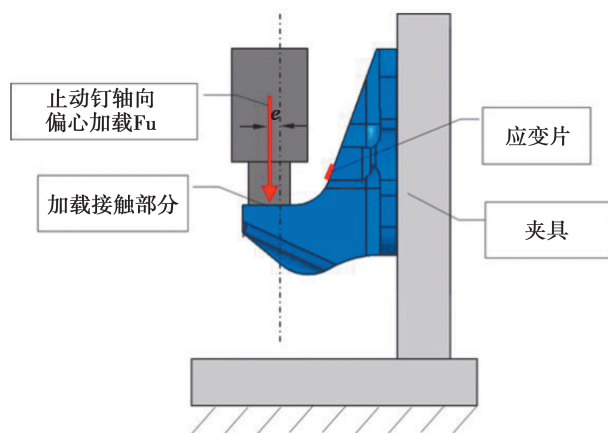


图 3 止动块零件级模型验证试验示意图

3 接触偏移可靠性分析实例

3.1 接触偏移的随机变量

止动钉圆柱端面接触在止动块平面, 如图 4 中所示的圆形填充区域, 在局部平面坐标系 XOY 中, 圆心 O_1 坐标为 (x_c, y_c) 。根据止动钉装配调节及配合误差情况, 存在面内接触偏离理想设计位置, 圆心 O_1 变化范围为图示中心的矩形填充区域。考虑配合接触的随机性及随机变量符合正态分布, 依据 3σ 原则确定坐标 (x_c, y_c) 的正态分布模型分别为 $N_{x_c}(10.5, 2/3)$ 和 $N_{y_c}(9.0, 1/6)$, 以模拟止动钉与止动块的接触位置状态情况。结合蒙特卡罗法抽样, 圆心 O_1 坐标的抽样数据 (x_c, y_c) 满足:

$$\begin{cases} x_c = 10.5 + 2/3 \times \text{Normalrandom}() \\ y_c = 9.0 + 1/6 \times \text{Normalrandom}() \\ 8.5 \leq x_c \leq 12.5 \\ 8.5 \leq y_c \leq 9.5 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\text{Normalrandom}()$ 为标准正态分布 $N(0, 1)$ 随机数生成函数, 坐标及尺寸单位为 mm。

止动钉与止动块接触面摩擦力方向也是随机因素, 为了便于可靠性分析计算, 在图 4 所示坐标系

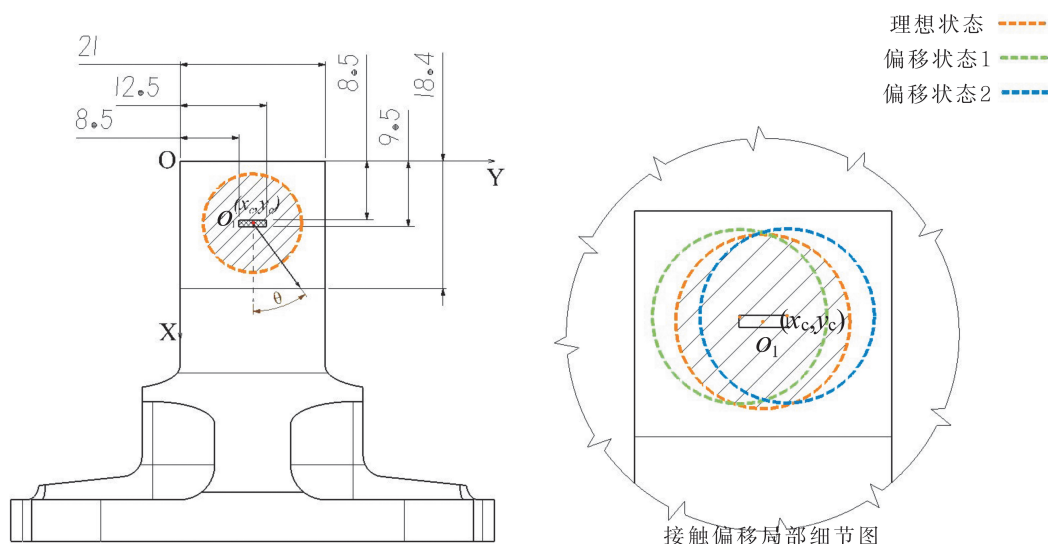


图4 止动块与舱门止动钉接触区域示意图

中可用极坐标描述摩擦力随机方向单位矢量 $V = (V_x, V_y)$, 依据 3σ 原则确定极坐标夹角 θ 的正态分布模型为 $N_\theta(\pi, \pi/3)$, 同理摩擦力随机方向单位矢量抽样数据 (V_x, V_y) 满足:

$$\begin{cases} V_x = \cos(\theta) \\ V_y = \sin(\theta) \\ \theta = \pi + \pi/3 \times \text{Normalrandom}() \\ 0 \leq \theta \leq 2\pi \end{cases} \quad (3)$$

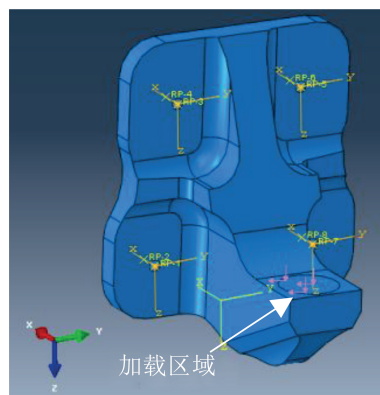
式中: θ 为止动钉与止动块接触面摩擦力方向与 OX 轴的夹角。

3.2 止动块有限元模型

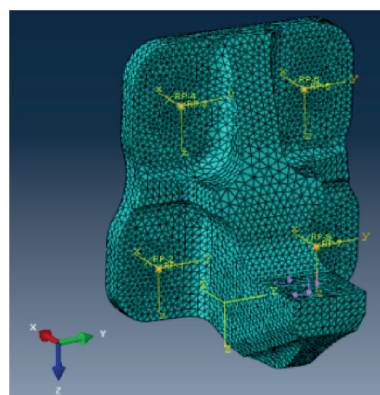
止动块材料为 15-5PH 不锈钢, 弹性模量为 196 365 MPa, 泊松比为 0.27, 密度为 7 830 kg/m³, 拉伸许用应力为 1 088 MPa。止动块底板通过 4 颗直径为 7.94 mm 的螺栓与门框腹板连接, 底板直接贴合在门框腹板面。为了简化有限元分析模型, 在 ABAQUS 软件中不建立止动块底板与门框腹板的面-面接触, 约束底板下边缘线的面外平动自由度 (即 $U_x=0$), 在止动块底板的 4 个紧固件孔位置建立 Fastener 连接单元模拟止动块与门框的固定连接。止动块本体采用四面体单元建模 (平均单元尺寸 2.0 mm), 舱门止动钉与止动块接触区近似为半径 8.0 mm 的圆形, 载荷边界为接触区域同时施加面外法向压力及面内摩擦力, 选取单个止动块接触最大静载荷压力 $P = 43\,956.0$ N, 摩擦系数取 0.15, 摩擦力方向任意。

止动块本体有限元分析模型及 Von Mises 应力分析结果如图 5 所示。止动块设计时尽量使最大应

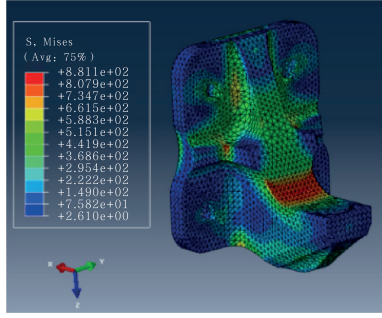
力集中部位出现在止动钉接触附近的过渡 R 圆角区域, 若忽略分析后紧固件孔边及底板约束边缘附近的应力集中硬点, 从图 5(c) 可以看出止动块本体最大 Von Mises 应力分布在圆角 R 区域, 且最大应力值小于材料极限拉伸强度。



(a) 几何模型



(b) 有限元模型



(c)有限元分析结果

图 5 止动块有限元分析模型及结果

基于模型验证思路,可对止动块有限元分析模型进行验证,再运行 Isight 可靠性分析计算流程,每次 ABAQUS 分析时会执行自编 Python 脚本程序对随机变量进行蒙特卡罗抽样,即圆心 $O_1(x_c, y_c)$ 与摩擦力方向 (V_x, V_y) 取值不断变化,以实现模拟更新止动块与舱门止动钉的接触偏移状态。设定蒙特卡罗模拟取样次数 $N = 1\ 200$,并最终根据 ABAQUS 的应力分析结果统计,评估样本数量的合理性及接触偏移现象对止动块静强度、疲劳强度可靠性的影响规律。

3.3 止动块静强度可靠性分析

假设止动块材料极限拉伸许用应力也满足正态分布规律,查材料手册取均值为 $1\ 088\ \text{MPa}$,与材料有关的随机变量的变异系数取 $C = 0.05^{[13]}$ (变异系数 C 为标准差与均值的比值),则拉伸许用应力满足分布 $N_s(1\ 088, 54.4^2)$ 。止动块静强度分析取样模拟 $1\ 200$ 次,考察舱门止动钉接触止动块附近的过渡圆角 R 区域,每次抽样计算分析完后,结合安全余量公式(1)计算对应裕度值。分析完成后采用 Minitab 软件统计分析止动块本体的安全余量 M 、安全裕度 $M.S.$ 的数据规律。首先计算样本数据的偏度 γ 及峰度 κ 指标,以衡量随机变量概率分布的对称性,其计算式分别如公式(4)和公式(5)所示:

$$\gamma = \frac{E[(X-\mu)^3]}{(E[(X-\mu)^2])^{3/2}} \quad (4)$$

$$\kappa = \frac{E[(X-\mu)^4]}{(E[(X-\mu)^2])^2} - 3 \quad (5)$$

式中: X 为随机变量, μ 为样本平均值。

通过计算静强度安全余量 M 、安全裕度 $M.S.$ 数据的偏度及峰度值,得到安全余量 M 的偏度 $\gamma_M = 0.13$ 及峰度 $\kappa_M = 0.30$,安全裕度

$M.S.$ 的偏度 $\gamma_{M.S.} = 0.34$ 及峰度 $\kappa_{M.S.} = 0.65$ 。根据统计学数据正态分布的判断标准,现实中统计的数据满足绝对正态分布 ($\gamma = 0, \kappa = 0$) 是一种理想状态,当偏度 γ 介于 $-0.5 \sim 0.5$,峰度 κ 介于 $-2.0 \sim 2.0$ 的数据可认为符合正态分布。因此,安全余量 M 、安全裕度 $M.S.$ 的数据近似是符合正态分布规律的。

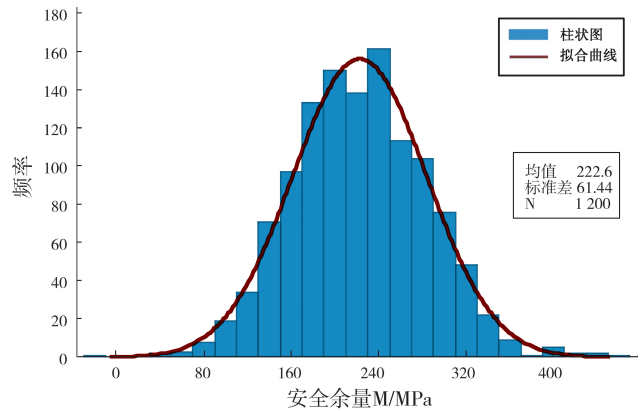
进一步拟合的直方图、均值及标准差变化趋势如图 6(a)至图 6(d)所示,从图 6(c)、图 6(d)可以看出,随着取样次数的增加,安全余量的均值及标准差变化波动越来越平缓,1 000 次后逐渐趋于收敛,说明样本取样数量合理。从图 6(a)、图 6(b)可以看出,止动块的静强度安全余量及裕度均符合正态分布形态,安全裕度最小值 -0.027 ,最大值 0.554 ,均值为 0.259 ,安全裕度拟合后符合正态分布 $N_{M.S.}(0.259, 0.076^2)$,其概率密度函数如式(6)所示:

$$f_s(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0.076} \cdot e^{-\frac{(x-0.259)^2}{2 \cdot 0.076^2}} \quad (6)$$

则计算止动块静强度安全裕度大于 0 的可靠性,即满足 $F(X_{M.S.} > 0)$ 的可靠性 R_e 为:

$$R_e = F(X_{M.S.} > 0) = P\left(\frac{X_{M.S.} - 0.259}{0.076} > -3.408\right)$$

令 $Z_s = (X_{M.S.} - 0.259)/0.076$ (Z_s 为静强度安全裕度变量标准正态化的随机变量),则 Z_s 服从 $N(0, 1)$ 的标准正态分布,查标准正态分布概率累积表可知: $R_e \approx 99.966\ 3\%$,超过 3σ 原则要求的 99.73% ,因此上述数值模拟结果的统计分析验证了止动块接触偏移时的静强度可靠性较好。

(a) 静强度安全余量 M 统计图

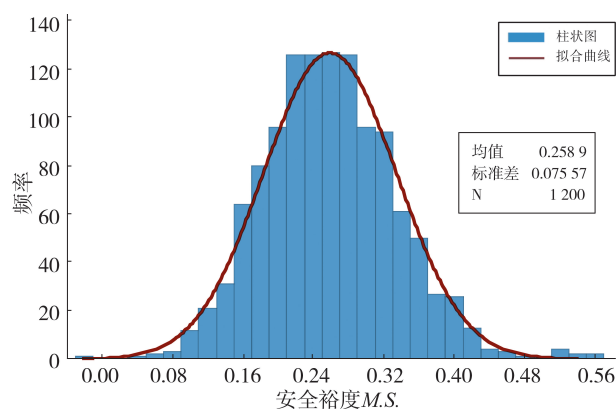
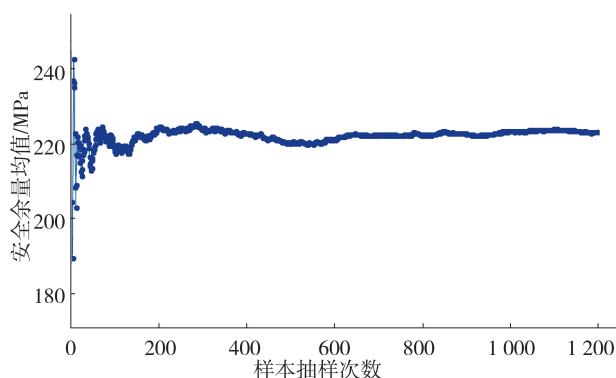
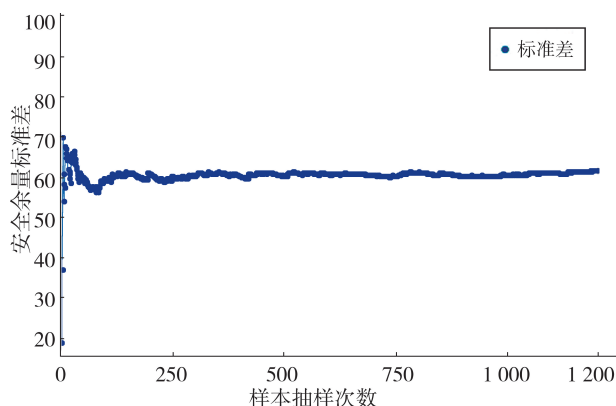
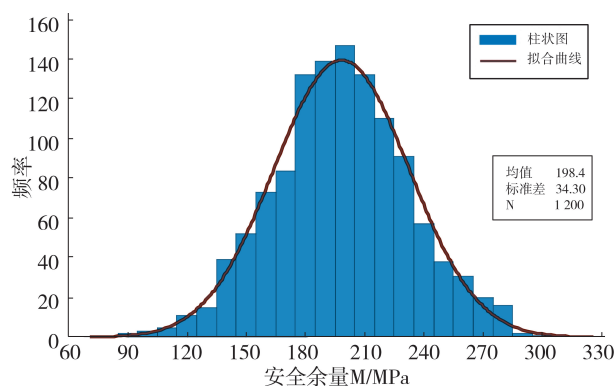
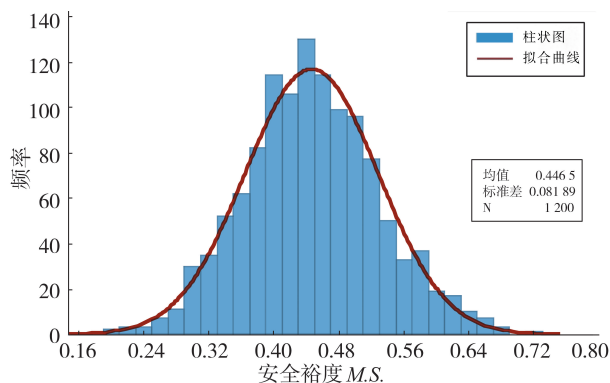
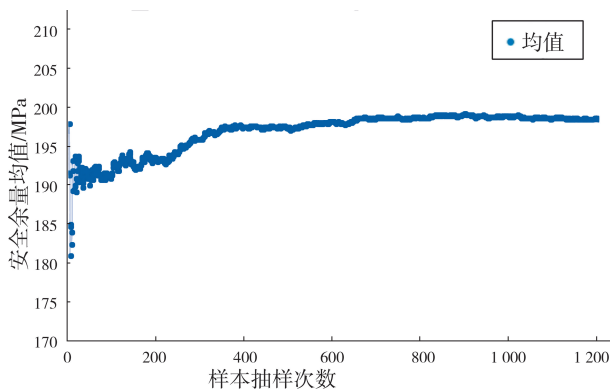
(b) 静强度安全裕度 $M.S.$ 统计图(c) 静强度安全余量 M 均值变化(d) 静强度安全余量 M 标准差变化

图 6 止动块静强度可靠性分析

3.4 止动块疲劳强度可靠性分析

根据舱门提供的在特定飞行条件及飞行循环小时数或目标寿命要求情况下,止动块要求的最大许用应力为 644.13 MPa,变异系数取 $C=0.05$,假设疲劳校核的最大许用应力也服从正态分布 $N_f(644.13, 32.2^2)$ 。在止动块静强度分析后,提取对应应力值作为输入,再进行疲劳强度检查及裕度计算,同样取样模拟 1 200 次。考察舱门止动钉接触

止动块附近过渡圆角 R 区域的疲劳强度,每次抽样计算分析完后,结合安全余量公式(1)计算裕度值,完成后统计分析止动块的疲劳强度安全余量及疲劳裕度。通过计算疲劳强度安全余量 M 、安全裕度 $M.S.$ 数据的偏度及峰度值,安全余量 M 的偏度 $\gamma_M=0.003$ 及峰度 $\kappa_M=-0.03$,安全裕度 $M.S.$ 的偏度 $\gamma_{M.S.}=0.13$ 及峰度 $\kappa_{M.S.}=0.01$,满足偏度 γ 介于 $-0.5 \sim 0.5$,峰度 κ 介于 $-2.0 \sim 2.0$,符合正态分布判断标准,拟合的直方图、均值及标准差变化趋势如图 7(a)至图 7(d)所示。

(a) 疲劳强度安全余量 M 统计图(b) 疲劳强度安全裕度 $M.S.$ 统计图(c) 疲劳强度安全余量 M 均值变化

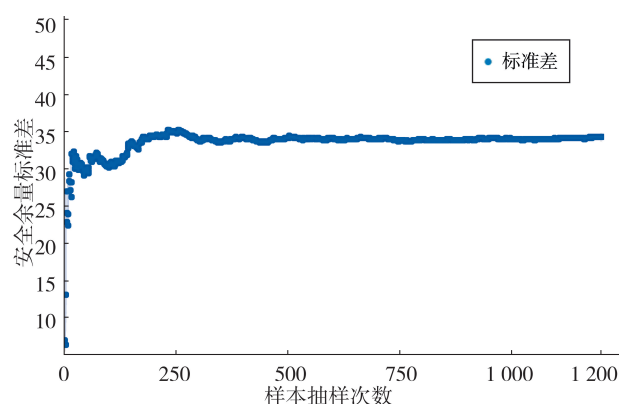
(d) 疲劳强度安全余量 M 标准差变化

图7 止动块疲劳强度可靠性分析

从图7(c)和图7(d)可以看出,随着取样次数的增加,疲劳强度安全余量的均值及标准差变化波动也越来越平缓,1 000次后逐渐趋于收敛,说明疲劳分析的样本取样数量合理。从图7(a)和图7(b)可以看出,与止动块的静强度分布规律类似,呈现正态分布规律,疲劳强度安全裕度最小值为0.194,最大值为0.712,均值为0.447,安全裕度拟合后满足正态分布 $N_{M.S.}(0.447, 0.0819^2)$,其概率密度函数如式(7)所示:

$$f_s(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0.0819} \cdot e^{-\frac{(x-0.447)^2}{2 \cdot 0.0819^2}} \quad (7)$$

在疲劳强度安全裕度设计要求至少0.2的下限值条件下,计算止动块疲劳安全裕度大于0.2的可靠度,即满足 $F(X_{M.S.} > 0.2)$ 的可靠性 R_e 为:

$$R_e = F(X_{M.S.} > 0.2) = P\left(\frac{X_{M.S.} - 0.447}{0.0819} > -3.016\right)$$

令 $Z_f = (X_{M.S.} - 0.447)/0.0819$ (Z_f 为疲劳安全裕度变量标准正态化的随机变量),则 Z_f 服从 $N(0, 1)$ 的标准正态分布,查标准正态分布概率累积表可知: $R_e \approx 99.93\%$, 超过 3σ 原则要求的 99.73% , 该数值模拟结果的数据统计分析也验证了止动块接触偏移后疲劳强度的可靠性较好。

4 结论

本文针对民机舱门止动钉与止动块实际装配接触时存在一定范围面内接触偏移现象,考虑主要影响随机变量因素后对止动块的强度可靠性进行分析,得到以下几点结论:

1) 考虑止动块接触平面内偏移及摩擦力方向

随机变化,止动块关注区域的静强度、疲劳强度可靠性满足 3σ 可靠度大于 99.73% 要求,验证了止动块结构尺寸设计是合理的。

2) 基于 Isight 软件及 ABAQUS 参数化建模,结合模型验证思路,考虑随机因素变化分布模型,提出一种民机门框止动块在随机因素影响下的强度可靠性分析及数据规律统计分析途径。

3) 在止动块接触偏移量化的随机变量满足正态分布情况时,结构本体应力的静强度、疲劳强度安全余量及裕度变化均满足一定规律的正态分布特点。

参考文献:

- [1] 姚雄华,邓军锋,冯蕴雯. 运输类飞机舱门设计[M]. 北京:国防工业出版社,2017:68-70.
- [2] 吕雄飞,张文斌,袁强飞. 基于疲劳寿命的民用飞机舱门止动块允许间隙[J]. 民用飞机设计与研究,2023(1):62-67.
- [3] 张文斌. 增压舱舱门止动接头强度分析方法[J]. 中国科技信息,2016(8):43-44.
- [4] 郑维娟. 民用飞机舱门挡块载荷研究[J]. 飞机设计,2017,37(4):62-64.
- [5] 张秀丽,赵小龙. 民用飞机舱门挡块设计及公差分析[J]. 飞机设计,2019,39(5):69-72.
- [6] 吕雄飞,张文斌,袁强飞. 民用飞机舱门界面间隙设计方法[J/OL]. 航空工程进展. [2023-07-13]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1479.V.20220906.1417.002.html>.
- [7] 吕雄飞,袁强飞,张文斌,等. 基于线性间隙单元的民机舱门破损安全分析[J]. 民用飞机设计与研究,2022(3):72-79.
- [8] 秦强. 民机舱门安全性与可靠性分析研究[D]. 西安:西北工业大学,2016.
- [9] 刘伟,刘志群,赵晓博,等. 飞机舱门密封结构的气密可靠性研究[J]. 材料工程,2012(4):47-51.
- [10] 邓钢,祁光威,滕赞,等. 基于随机有限元的机械结构可靠性分析规范性方法[J]. 中国标准化,2022(3):206-211.
- [11] 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.
- [12] 刘志群,周红,刘伟,等. 某型飞机舱门锁机构卡滞可靠性分析[J]. 机械设计,2012,29(12):39-42.
- [13] 胡启国,庾奎,罗天洪,等. 基于 Monte Carlo 法的应力-强度总体干涉模型建立[J]. 机械设计,2015,32(8):26-30.

作者简介

方 阳 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 民用飞机机身结构设计。E-mail: fangyang1@comac.cc

张文斌 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 民用飞机舱门结构强度设计。E-mail: zhangwenbin@comac.cc

Reliability analysis of passenger door stop fitting by considering contact deviation for civil aircraft

FANG Yang^{*} ZHANG Wenbin

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

Abstract: Passenger door frame stop fitting is an important component to transfer loads from passenger door to airframe. The interfacial contact state between stop fitting and door stop greatly affects the load-carrying efficiency and structural reliability. In the interfacial contact process, there exists surface contact deviations from ideal design position between stop fitting and door stop. In order to evaluate the effect of contact deviation on load carrying capacity of door frame stop fitting, an automatic parametric analysis procedure was established by integrating ABAQUS and fatigue analysis tool based on Isight platform. By quantifying stochastic variable with probability distribution model, Monte Carlo sampling method was adopted to obtain random value of different variables, forming a parameterized automatic analysis process. Through many cyclic sampling and simulation analysis, stress/fatigue life principle was used to analyze static and fatigue strength reliability of stop fitting by considering in-plane surface contact deviation. The results show that the reliability of stop fitting's static and fatigue strength is more than 99.73% provided by 3σ principle within the scope of allowable deviation tolerance, which validates the reasonable dimension design of stop fitting, and this automatic parametric procedure can provide guidance for reliability analysis of other airframe structure.

Keywords: passenger door frame; stop fitting; contact deviation; static/fatigue strength; reliability analysis

* Corresponding author. E-mail: fangyang1@comac.cc