

文章编号: 1000-6893(2006)05-0827-03

# 飞行器机构可靠性分析技术及应用

张建国<sup>1</sup>, 刘英卫<sup>2</sup>, 苏多<sup>1</sup>

(1. 北京航空航天大学 工程系统工程系, 北京 100083)

(2. 江西蓝天学院 机械系, 江西 南昌 330098)

## Analysis Techniques for Aircraft Mechanism Reliability and Application

ZHANG Jian-guo<sup>1</sup>, LIU Ying-wei<sup>2</sup>, SU Duo<sup>1</sup>

(1. Department of System Engineering of Engineering Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

(2. Department of Mechanical Engineering, Jiangxi Lantian Institute, Nanchang 330098, China)

**摘要:** 针对机构可靠性进行了系统分析研究,提出了机构可靠性研究的内涵,明确了机构运动可靠性、机构强度可靠性和机构系统可靠性的内容。综合分析了机构可靠性涉及的理论和方法,初步分析了涉及不同学科的协同设计仿真的关键技术,并系统的给出了机构可靠性分析仿真软件平台方案。最后,针对某型飞机升降舵操纵机构进行了应用研究。

**关键词:** 机构; 可靠性; 运动; 计算机仿真; 飞机升降舵

**中图分类号:** TB114.3 **文献标识码:** A

**Abstract:** After studying the mechanism reliability problem systematically, the intension of mechanism reliability is identified, and it includes the moving reliability, strength reliability and system reliability. Then the theory and methods of mechanism reliability are defined, and the key technologies are put forwards. At last, the software scheme of the mechanism reliability simulation is defined, and a case of an elevator control mechanism is presented.

**Key words:** mechanism; reliability; moving; computer simulation; elevator

目前,机械产品可靠性的研究和应用远远落后于电子产品,而机构运动可靠性问题又是机械可靠性中的难点和薄弱环节,这是因为机构运动可靠性涉及到机构多体动力学、应力和变形分析、间隙动力学问题,以及磨损和润滑、疲劳和腐蚀等时变因素,需要综合多个学科,进行协同设计和分析。

分析理论和方法的划分(见图 2)。工程实际机构可靠性问题的复杂性,决定了其分析理论方法的综合性和协同性,许多方面都需要进行专题分析和研究;如多体动力学和强度的协同设计分析,多体动力学、机械应力和热应力的协同设计分析;考虑磨损/腐蚀的多体动力学分析方法;碰撞/冲击对机构运动可靠性的影响等。

### 1 机构可靠性研究内容和方法

如前所述,机构是航空、航天飞行器的重要组成部分,机构运行过程中在传递载荷的同时,还要实现并满足规定的运动功能要求。因此,机构可靠性问题除需要考虑满足机械结构承受载荷的功能外,还需要考虑满足运动功能,即运动可靠性问题;另外,从可靠性工程方面,机构可靠性问题还包括机构系统可靠性和故障分析技术等。机构可靠性研究内容见图 1。

按照机构可靠性研究内容,进行机构可靠性

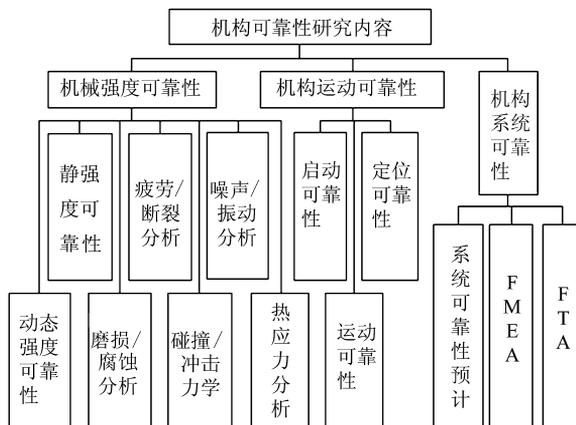


图 1 机构可靠性研究内容

Fig. 1 Contents of mechanism reliability

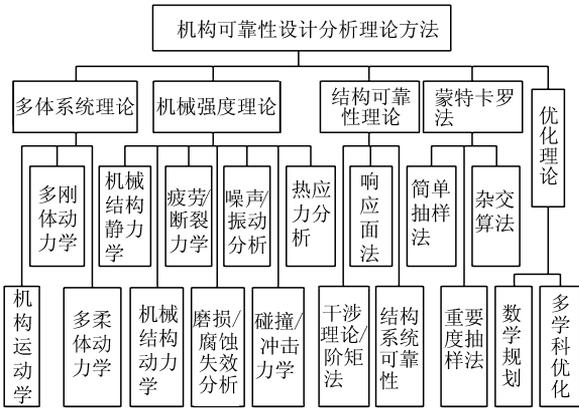


图2 机构可靠性设计分析理论方法

Fig. 2 Theory and methods of mechanism reliability

## 2 机构可靠性数字仿真技术

机械产品的数字化技术发展迅猛,图2中涉及机构可靠性的理论和方法的相应数字技术正在逐渐发展成熟,机构可靠性分析的数字仿真技术和相应的软件工具如图3所示。

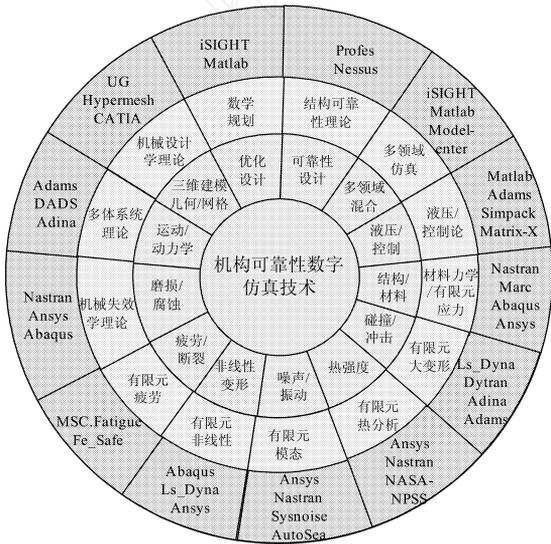


图3 机构可靠性数字仿真技术和软件工具

Fig. 3 Computer simulation of mechanism reliability

目前,商业软件工具提供的专项分析仿真技术已经比较完善,但解决机构可靠性工程实际问题,需要以上专项技术和软件工具的协同和综合。如柔性机构多体动力学分析和机构构件的结构有限元分析的协同和综合<sup>[1,2]</sup>(如图4所示)。

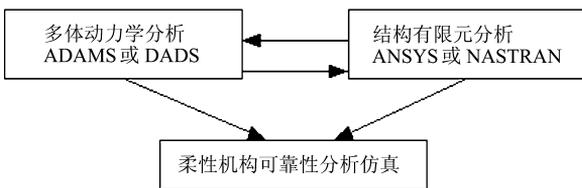


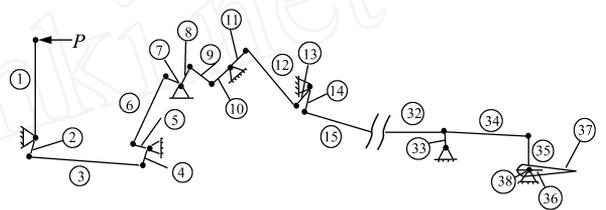
图4 机构可靠性综合分析仿真

Fig. 4 Integration of multibody dynamics, strength and mechanism reliability simulation

## 3 工程实例分析

以某型飞机升降舵操纵机构为例,利用 ADAMS 软件建立机构模型,进行多体动力学和运动学分析,并利用 ANSYS 软件对其中柔性杆件进行了强度分析,研究其满足飞机飞行品质状况的可靠性。

某型飞机升降舵操纵机构系统为硬式人力机械操纵机构,它主要由驾驶杆、摇臂、拉杆和支座等受力零件组成,零件由铝合金材料加工制成。整个系统共 13 个支承点,38 个构件。模型如图 5 所示。



驾驶杆, 摇臂, ~③⑦拉杆, ③⑧升降舵

图5 升降舵操纵机构系统示意图

Fig. 5 Manipulator system of the elevator mechanism

据飞机性能要求,驾驶杆与舵面偏转角关系如表1所示。

表1 驾驶杆与舵面的偏转关系

Table 1 The poison relationship of steering stick and elevator

操纵状态	驾驶杆偏转极限/(°)	舵面偏角极限/(°)
推杆	12.57	16.14
拉杆	22.73	29.07

中国军标 GJB185 给出了最大允许延迟响应时间,如表2所示。

表2 允许操纵响应延迟时间

Table 2 The allowable response delay time of the elevator movement

状态	允许最大延迟时间/s
标准 1	0.10

### (1) 多体动力学模型

飞机升降舵操纵系统动力仿真模型被简化在二维对称面上(图6),不考虑支座的弹性。模型共用 40 个连杆,转动运动副用来模拟构件之间的连接和支座的转动;锁定运动副用来连接固定构件的整体关系,主动的操纵力施加在前操纵杆上,大小为 250 000 N·mm。气动载荷采用被动弹簧间力矩模拟,载荷系数为 10 420 N·mm/(°)。



图 6 升降舵操纵机构模型

Fig. 6 ADAMS model of manipulator system of the elevator mechanism

在 ADAMS 中搭建各个构件模型,利用 ADAMS/ Insight 模块进行参数筛选和结果比较,将各参数的灵敏度和重要度列出,确定出常规分析的设计参数和状态参数。

刚性体模型可以用于最初的模型定性调试和概念设计,以选择和确定合适的分析参数变量。

对于飞机升降舵操纵系统中需要替换为柔性体的杆件,在刚性模型基础上部分拉杆采用离散的柔性连杆模拟,形成了柔性机构模型。

(2)运动可靠度分析 在某型飞机升降舵操纵机构运动可靠度分析中,除考虑操纵杆主动力矩及与偏舵有关阻尼力矩参数为随机变量外,还选择支座位置参数为随机变量,与这些随机变量有关的统计参数,如表 3 所示。

表 3 运动可靠度分析随机变量

Table 3 Random variables of the elevator movement

随机变量	含义	均值	变异系数
$X_{V1}/mm$	支座坐标 $5X$	820	0.01
$X_{V2}/mm$	支座坐标 $15X$	1584	0.01
$X_{V3}/mm$	支座坐标 $17X$	2368	0.01
$X_{V4}/mm$	支座坐标 $20Y$	550	0.01
$X_{V5}/mm$	支座坐标 $23Y$	640	0.01
$X_{V6}/mm$	支座坐标 $28Y$	735	0.01
$X_{V7}/(N \cdot mm)$	主动力矩 $M_T$	250 000	0.05
$X_{V8}/(N \cdot mm \cdot (s^{-1}))$	阻尼力矩 $M_R$	10 420	0.05

要求升降舵偏转到位的时间要小于  $[t]$  秒,则功能函数为

$$g(X) = t - [t]$$

分别取  $[t] = 0.030, 0.031, 0.032, 0.033, 0.034, 0.035$  用响应面法<sup>[3,4]</sup>程序 RSM,对此升降舵刚性操纵机构及含柔性体的操纵机构进行可靠性分析,计算结果如表 4 所示。

表 4 某型飞机升降舵操纵机构可靠性分析结果

Table 4 Reliability analysis results of the elevator movement

$[t]$	刚性机构		柔性机构	
		$R$		$R$
0.030	1.875	0.970 0	1.946	0.974 0
0.031	2.196	0.986 0	2.280	0.989 0
0.032	2.512	0.994 0	2.610	0.993 0
0.033	2.823	0.998 0	2.936	0.998 0
0.034	3.130	0.999 0	3.288	0.999 4
0.035	3.432	0.999 7	3.577	0.999 8

从表 4 可以看出:按允许操纵延迟时间的标准 ( $[t]$  为 0.1),推杆时满足许用延迟时间的要求,同时机构柔性对运动可靠性影响很小。

参 考 文 献

[1] Ryu J, Kim S S. A general approach to stress stiffening effects on flexible multibody dynamic systems[J]. Mech Struc and Mach,1994,40:939-945.  
 [2] Lokiec A. The aspects of MBS and FEA analysis of complex machines in examples[C]// 1st Central and Eastern Europe ADAMS Users Conference. Prague, 2001: 27-28.  
 [3] Liu Y W, Moses F. A sequential response surface method and its application in the reliability analysis of aircraft structural systems[J]. Structural Safety, 1994, 16: 39-46.  
 [4] 赵广燕,张建国.改进的重要度抽样法在机构可靠性中的应用[J].北京航空航天大学学报,2003,29(8):697-699.  
 Zhao G Y, Zhang J G. Application of an improved importance sampling method in mechanisms reliability[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2003, 29(8): 697-699. (in Chinese)

作者简介:



张建国(1966-)男,辽宁省抚顺市人,副教授,博士,飞行器设计专业,现在北京航空航天大学工程系统工程系,主要从事机械可靠性和可靠性工程方面的研究工作。电话:010-82316441,E-mail:zjg\_mail@263.net



刘英卫(1942-)男,江西南昌市人,教授,博士后,计算数学专业,现在江西南昌学院从事结构和机械可靠性研究工作。电话:0791-8150103,E-mail:lyw\_mail@tom.com



苏多(1980-)男,四川省自贡市人,在读博士,可靠性工程专业,现从事机械可靠性方面的研究工作。E-mail:suduo@263.net

(责任编辑:李铁柏)