

飞机液压管路支撑的有限元建模方式对应力分析的影响

A Study on the Impact of the Stress Analysis by Using Different FEA Models for the Aircraft Hydraulic Tubing Support

周艳丽 陆波 / Zhou Yanli Lu Bo

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

摘要:

在飞机典型液压导管不同构型和负载模式下,做了应力试验测量,得到应力试验的数据,并在有限元环境 MSC. PATRAN 中,针对导管的构型建立有限元分析模型,对每种构型下支架与卡箍采用八种不同的简化方式,得到仿真结果。然后将不同简化方式的仿真结果与试验结果作对比分析,考虑不同因素(如支架刚度、卡箍橡胶刚度、导管与橡胶间的摩擦与滑动等)对分析结果的影响,找到了在工程上简单易行,精度上可以接受的支撑简化方法。

关键词:有限元分析;管路支撑;管路应力;支撑建模方式;卡箍和支架

中图分类号:V214.3

文献标识码:A

[Abstract] Based on the different configurations and loading modes of the aircraft typical hydraulic tubing, the tested stress data was sampled and the FEA model was built in MSC. PATRAN. Considering the effects of different factors, different FEA models for the brackets and clamps of each configuration was built, and an easy and accurate simplified method for the brackets and clamps by comparing the test and simulation results were found.

[Key words] FEA; Tubing Support; Tubing Stress; Simplified Modeling for Supports; Brackets and Clamps

0 引言

飞机液压系统导管的应力主要是结构变形、发热和振动问题引起的。飞机飞行过程中要产生较大的变形,液压管路有若干支架与结构连接,因此液压系统管路也将产生相当量级的变形。温度变化时,导管由于受热不均匀而存在着温度差异,导管受到卡箍和管接头等的限制不能自由地膨胀或者收缩,这时管道将产生热应力。导管上的支架和卡箍改变了管路的布局,在一定程度上能够抑制管路的振动,是消除振动的有效方式。

飞行时,管路一直承受内压、变形、发热、振动等问题产生的弯扭载荷,相应的支架限制管路变形也要承受相应载荷。对液压管路进行应力仿真分析时,在固定载荷作用下,要得到较好的仿真结果,

必须要有较为精确的支撑简化方式。有限元法广泛地用来分析静载荷作用下物体的应力和位移。^[1] 本文对飞机典型液压导管在作有限元分析时的支架及卡箍的简化方式进行了分析,寻找在工程上简单易行,精度上可以接受的分析简化方法,为在飞机上进行相关分析提供支持。

1 试验物品

1.1 导管

图1所示为试验用飞机典型液压平面导管和立体导管,导管材料为钢管。

1.2 卡箍

图2所示为试验用块状卡箍,卡箍材料为铝合金和乙丙橡胶。

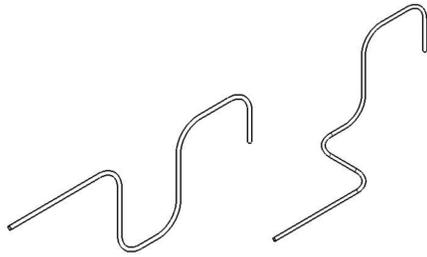


图1 试验用导管

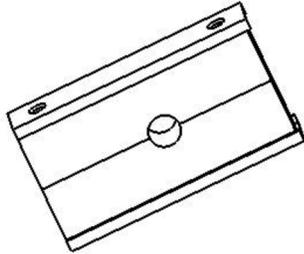


图2 试验用卡箍

1.3 支架

图3为试验用两种支架,支架材料为铝合金。

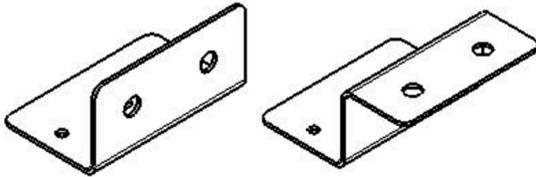


图3 试验用两种支架

2 试验方法

本章将详细介绍两种管路,两种支架构型,三个方向的加载模式。

2.1 卡箍位置

导管一端固定,另外一端为自由端。每根导管采用两种固定方式(卡箍和支架固定于导管不同位置),因此共有下面4种构型:

- (1)平面导管支撑方式1;
- (2)平面导管支撑方式2;
- (3)立体导管支撑方式1;
- (4)立体导管支撑方式2。

2.2 应变片

每种构型的导管取4个应力集中的典型的测试点。每个测点安装相隔90°的两个轴向应变片。安装示意图如图4所示。

2.3 应力测试载荷

在弹性形变范围内,载荷和测得的应力值成正比,因此取载荷为2kg的数据进行分析。在两根导

管的自由端,施加如图5所示2kg的水平、竖直、轴向拉力,读取测试点数据。

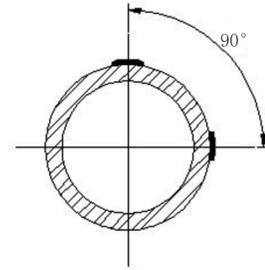


图4 应变片的安装形式示意图

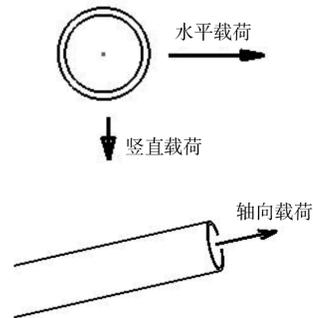


图5 应力测试载荷方向

2.4 工况定义

平面和立体导管的工况定义如表1所示,共有12种工况。

表1 工况定义

工况编号	导管	支撑方式	载荷方向
2-1-1	平面导管	支撑方式1	轴向
2-1-2	平面导管	支撑方式1	横向
2-1-3	平面导管	支撑方式1	竖向
2-2-1	平面导管	支撑方式2	轴向
2-2-2	平面导管	支撑方式2	横向
2-2-3	平面导管	支撑方式2	竖向
3-1-1	立体导管	支撑方式1	轴向
3-1-2	立体导管	支撑方式1	横向
3-1-3	立体导管	支撑方式1	竖向
3-2-1	立体导管	支撑方式2	轴向
3-2-2	立体导管	支撑方式2	横向
3-2-3	立体导管	支撑方式2	竖向

2.5 试验数据

将试验测得的应变值通过胡克定律换算为应力值^[2]。

由于试验中卡箍和应变片的位置跟理想位置有偏差等原因,会导致试验数据存在一定误差。因为本文目的是比较仿真模型中不同的导管约束方式的准确度,因此一定范围内的试验误差并不影响本文的目的。

3 仿真计算

3.1 求解器

本文采用有限元分析软件 MSC. Patran 和 MSC. Nastran 作为分析工具。MSC. Patran 是前处理器,用于建模、划分网格、设定载荷和边界条件等;MSC. Nastran 是求解器,主要用于结构分析和热分析,应用的是静态有限元法^[3]。

本文主要用来求解管路在弹性范围内静力载荷下的响应,得到所需节点的应力,因此可以采用线性静态解算器。

3.2 MPC 简介

在不同的求解器模型下可以在 MSC. Patran 中定义不同的 MPC (Multi-point constraints)。MPC 即多点约束,是对节点的一种约束,即将某节点的依赖自由度定义为其它若干节点独立自由度函数。MPC 在有限元计算中应用很广泛,它允许在计算模型不同的自由度之间强加约束^[3]。

3.3 仿真模型中支撑的简化方式

在 MSC. Patran 中使用面单元模拟导管和支架,按实际材料、管径或厚度对各单元的属性赋值。在实际连接位置生成导管节点,用不同支架和卡箍简化方式约束这些节点。不考虑支架影响时,采用了如下的简化方式:

(1) 不约束旋转自由度

直接约束支架与导管连接位置生成的导管有限元节点的横向和竖向平动自由度。

(2) 约束旋转自由度

直接对支架与导管连接位置生成的导管有限元节点进行约束,放开轴向平动自由度,约束其他 5 个自由度。

(3) MPC-RIGID (FIXED)

在支架与导管连接位置生成圆心节点,直接对导管和圆心使用多点约束 MPC 中的 RIGID (FIXED) 单元,然后约束圆心节点的横向、竖向平动自由度。

Rigid (Fixed): 固定的多点约束。其将若干个依赖节点与某个独立节点相互固定,从而使依赖节

点的所有自由度都与独立节点保持一致,包括位移也保持一致。这种多点约束在用曲面模拟板状实体时,可以连接不同的平面,从而可以使不同的曲面连接起来^[3]。

(4) 橡胶模型

用体单元模拟橡胶,使用 Equivalence 将橡胶节点与导管节点融合,使橡胶模型与导管模型直接连接。

考虑支架影响时,采用了如下的简化方式:

(5) MPC-RBAR

在支架与导管连接位置生成圆心节点,直接对导管和圆心使用多点约束 MPC 中的 RIGID (FIXED) 单元,将圆心节点与支架安装螺栓孔处的节点使用多点约束 MPC 中的 RBAR 单元进行连接。约束 RBAR 的独立节点和依赖节点的 6 个自由度。

RBAR: 表示刚性连接两个网格节点。一个节点具有 6 个独立自由度,另外一个节点有 1~6 个依赖自由度。

(6) MPC-EXPLICIT

在支架与导管连接位置生成圆心节点,直接对导管和圆心使用多点约束 MPC 中的 RIGID (FIXED) 单元,将圆心节点与支架安装螺栓孔处的节点使用多点约束 (MPC) 中的 EXPLICIT 单元进行连接。

Explicit: 用于定义某节点的位移与其它若干节点位移的函数关系,该函数是一个一次多项式^[3]。

放开 EXPLICIT 的独立节点和依赖节点的轴向平动自由度,约束其他 5 个自由度。

(7) MPC-EXPLICIT

约束 EXPLICIT 的独立节点和依赖节点的 6 个自由度。

(8) 支架橡胶模型

用体单元模拟橡胶,使用 Equivalence 将橡胶节点与导管节点、支架节点融合,使橡胶模型与导管模型、支架模型直接连接。

3.4 仿真数据

分别按照 3.3 所述的卡箍和支架的简化方式得到测试点的仿真数据。

4 数据处理

平均误差值有正有负,在进行代数求和时会互相抵消,所以无法精确显示误差值。对本文来说,相对误差值在多数点较小,因此在进行最优结果比

表2 不同仿真方法对应的12种工况的平均绝对误差(单位 MPa)

简化方法	2-1-1	2-1-2	2-1-3	2-2-1	2-2-2	2-2-3	3-1-1	3-1-2	3-1-3	3-2-1	3-2-2	3-2-3
(1)	23.62	15.91	13.70	21.78	14.07	34.90	19.49	15.82	29.57	21.82	40.61	25.85
(2)	25.37	40.35	17.64	25.29	17.64	28.13	19.95	24.69	51.29	33.68	32.66	27.87
(3)	23.62	18.45	13.70	21.78	20.46	34.90	18.30	15.95	26.52	25.01	43.07	24.74
(4)	1.85	14.37	10.22	2.92	11.51	4.05	1.44	9.64	16.83	6.92	5.93	11.91
(5)	2.52	30.24	16.98	2.74	15.36	5.65	2.41	20.45	43.37	8.61	7.04	22.44
(6)	22.41	7.93	13.08	23.67	11.42	7.70	17.21	13.09	12.14	23.88	8.97	14.58
(7)	2.02	13.12	7.94	2.37	9.81	4.73	1.51	13.69	11.62	7.39	5.83	8.04
(8)	2.16	14.29	11.55	3.33	10.94	5.34	1.89	10.04	16.64	6.32	6.99	12.61

较小时,数据差异不明显。

本文主要关注应力较大点的误差值,采用平均绝对误差能比较准确地反映仿真误差的大小。本文平均绝对误差等于每个仿真数据减去试验数据绝对值的平均。不同支撑简化方法对应的12种工况的平均绝对误差如表2所示。

5 结论

分析比较表2中数据可以得到如下结论:

方法(1)没有考虑支架的影响,简化橡胶模型为约束横向和竖向两个平动自由度;方法(2)没有考虑支架影响,简化橡胶模型为约束除了轴向平动自由度之外的另外5个自由度;方法(3)没有考虑支架的影响,简化橡胶模型为 RIGID(FIXED)并约束 RIGID(FIXED)的独立节点的横向和竖向两个平动自由度,RIGID(FIXED)能够使导管上依赖节点的旋转方向一致。因为实际试验中,橡胶对支架起到了一定的约束轴向平动自由度和旋转自由度的作用,所以这三种方法得到的平均绝对误差值均较大。

方法(5)考虑了支架影响,用 RIGID(FIXED)和 RBAR 简化橡胶模型,RBAR 一般用来表示刚性单元,用 RBAR 来代替橡胶模型误差较大,因此此方法得到的平均误差绝对值较大。

方法(6)和(7)考虑了支架影响,用 RIGID(FIXED)和 Explicit 简化橡胶模型,区别为方法(7)约束了 Explicit 的独立节点和依赖节点的6个自由度,方法(6)没有约束 Explicit 的独立节点和依赖节点的轴向平动自由度。方法(7)在所有工况下得到的平均误差绝对值均较为理想。方法(6)在工况 2-1-1、2-1-3、3-1-1、3-2-1 对应平均绝对误差相对

较大;其它工况平均绝对误差相对较小。工况 2-1-1、2-1-3、3-1-1、3-2-1 对应轴向拉力,实际试验中观察到,2kg 的轴向拉力并不会导致导管和卡箍之间明显的相对位移,因此方法(6)仿真中对轴向平动自由度不加约束导致仿真结果不准确。

方法(4)和方法(8)均用体单元模拟橡胶,区别是方法(4)没有考虑支架影响,而方法(8)用面单元模拟支架影响。这两种方法得到的仿真数据平均绝对误差均比较理想,这说明,在 2kg 的拉力作用下,支架对管路应力影响不明显。

分别比较方法(4)、(7)和(8)得到的测点的仿真数据和试验数据,可以看出仿真数据虽然与试验数据存在一定的误差,但是仿真数据能够反映导管上应力变化的规律,因此这三种方法均可以作为精度上可以接受的简化支架和卡箍的方式。比较上述三种建模方法的复杂度,方法(4)和(8)用体单元模拟橡胶,体单元与面单元连接边的节点固定和应力关系复杂,而方法(7)只使用了相对简单的面单元和 MPC。综上,方法(7)为精度上可以接受的最简单易行的卡箍和支架的简化方式。

参考文献:

- [1] 罗伯特. D. 库克,戴维. S. 马尔库斯,迈克尔. E. 普利沙,罗伯特. J. 维特. 有限元分析的概念和应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,2007.
- [2] 赵志岗,叶金铎,王燕群,亢一澜. 材料力学[M]. 天津:天津大学出版社,2001.
- [3] 刘兵山,黄聪,等. PATRAN 从入门到精通[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.