

梁单元在空间相机结构中的应用

The application of beam elements in the space camera structures

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 2.中国科学院研究生院) 贾海涛^{1,2} 韩旭^{1,2} 吴清文¹ 刘宏伟¹
JIA Hai-tao HAN Xu WU Qing-wen LIU Hong-wei

摘要: 空间相机结构的加强筋,工程分析常常采用的是壳单元来模拟。本文研究了梁元在空间相机上的适用性,并采用梁单元来模拟加强筋建立有限元模型。从而使计算速度更快,设计更具柔性化,结果信息更多。梁模型模态分析结果与实验对比,三个方向基频的误差均在工程实际允许的范围内,并且比壳模型的分析结果更好,说明了梁单元在空间相机结构中的适用性。

关键词: 空间相机; 加强筋; 梁单元; 模态分析

中图分类号: V——航空航天 文献标识码: B

Abstract: For stiffening rib in space camera, shell element is usually used. Beam element is discussed, and then applied to build the FEA model of stiffening ribs. Not only the problems of the model become smaller and computing quicker, but also the design is more flexible and the information is gained more. Comparing with the test, results of the mode analysis show that computing errors in three-direction basic frequency is within the range of the engineering demands and better than shell. Accordingly, beam elements have a great applicability in the space camera structure.

Key words: space camera; stiffening rib; beam elements; modal analysis

引言

空间相机是空间光学遥感器的重要组成部分,是装在航天器上对地球、天体和各种宇宙现象摄影的精密光学仪器,因此它的结构可靠性和各种静、动力学预示分析便显得尤为重要。对于空间相机多筋的结构形式,在以往的有限元建模过程中,一般都使用壳单元,而一些较厚的筋或肋板甚至会采用体单元建模,这样自然会出现以下问题:有限元模型规模大,数据文件冗长,计算求解的速度缓慢,读取结果困难等。

鉴于此,本文采用在汽车车架结构、钢筋结构、预应力混凝土结构、天线结构、机械结构中的连接螺栓和传动轴、公路大桥结构、大型管道管壁的加强筋等广泛应用的梁单元模拟空间相机的加强筋结构进行建模,并对其进行有限元分析。同时与实验结果进行对比发现,其结果在工程实际要求的误差范围之内,而且比壳单元得到的结果更好。

1 梁的基本知识

1.1 梁单元的分类

线单元,也称之为—维单元,是用于表示杆和梁的性质。杆单元支持拉、压和轴向扭转,但不允许弯曲,梁单元则包括弯曲。MSC.NASTRAN有三种梁元,即简单直梁元、变剖面复杂直梁元和曲梁元。CBAR单元属于简单直梁元,要求梁剖面的剪心和形心是吻合的,因此,不能用于具有翘曲(如开剖面)的梁。CBEAM单元是复杂梁元,它具有CBAR的全部能力,再加上附加的能力。CBEAM单元允许变剖面性质,非吻合的形心和剪心,以及剖面的翘曲。CBEND单元则为具有常曲率半径的简单曲梁元。

1.2 梁理论

一般的梁单元是基于初等力学中的平截面变形假定。在这个假定中,认为弯曲变形是主要的变形,剪切变形是次要的变形,因而可以不计,这对于高度远小于跨度的实腹梁来说,不会引起显著的误差,但对于空腹梁,或者高跨比不是很小的梁来说就不太精确了,所以有必要计及剪切变形。Timoshenko梁就是能考虑剪切变形的梁,具体地说,它的位移和截面转角是独立插值的,而不是有位移的导数来求得。对于梁的高度(或者直径)较大,高跨比增加,不需要考虑剪切变形和转动惯量的梁就是欧拉—伯努力梁。

1.3 梁元与壳元的对比

第一:对于无特殊要求的结构而言,二节点梁元要比三节点三角形或者四节点四边形节点数目少,从而会使数据文件精简,求解速度加快;

第二:壳元属性中只有厚度一个可变量,而梁元中截面属性几乎可以是任意定义的,是多变量的,同时在梁元的轴向方向其横截面是可以变化的,从而增加了设计的柔性,也更加便于修改和优化;

第三:对于梁元,在求解后得到的结果信息更多,包括轴向应力、弯曲应力以及最大最小组合应力等。

2 梁单元的选用原则

一般来说,单元的种类和数量的选择,首先取决于对模型和效果的评价,其次取决于能承受的费用和精确度。在实际工程中,对于细长结构一般会采用—维单元来建模。但究竟一个方向尺寸L与其他两个方向最大尺寸a之比达到多少可按—维杆件来考虑,并没有公认的准则,一种可参考的说法是:L/a>5时,可以认为是梁。

在工程结构中,刚架一般用梁单元模拟,桁架一般用杆单

元模拟 如计算次应力,也可用梁单元。如在 MSC.NASTRAN 中建立有限元一维模型时,可遵循以下的选用原则:

第一:如果只存在轴向和/或绕该轴向的扭转载荷,那么选用杆单元 CROD 是合适的;

第二:CBAR 单元是简单且特性较好的等剖面直梁元,是用户首选的梁单元;

第三:如果下列特性是重要的,用 CBEAM 单元代替 CBAR 单元:剖面性质是变化的;中性轴和剪心不一致;剖面翘曲对扭转刚度的影响是严重的;重心和剪心的距离是较大的。

3 梁的应用实例

某空间相机结构的中筒组件是一个典型的多筋薄壁结构,如图 1 所示。

此组件整体适宜用壳单元来建立有限元模型,但是对于其上的加强筋,则有两种选择:本文分别采用了壳元和梁元两种方式进行建模。其中,壳模型主要采用了四边形单元,在过渡区域和个别地方采用了三角形单元,其总的节点数目为 20089,单元数目为 14218;梁模型中采用了梁单元中的矩形、实心、偏置的 Beam 单元来模拟环形筋和竖筋,其节点数目为 19480,单元数目为 14207。

因为对于整个组件来说,只是在中筒和遮光筒应用了梁单元,所以有限元模型规模减小的不是很明显,但仍有部分削减,如节点数目就少了 600 多个,这对计算来说是有利的。图 2 是壳模型中筒的有限元模型,图 3 是梁模型中筒的有限元模型。

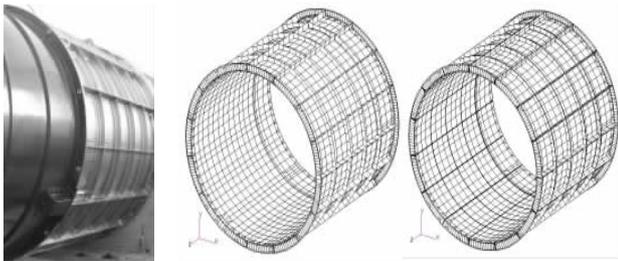


图 1 相机的实物图 图 2 壳模型 图 3 梁模型的三维显示

此中筒组件是支撑次镜组件的重要结构,所以无论在结构方面还是在材料方面都有严格的要求。主要的材料属性如表 1 所示。在建立有限元模型时,单元的材料属性均根据此表来赋予,并通过实验的结果对模型进行了适当的修正。

表 1 材料属性表

材料名称	代号	弹性模量 (MPa)	泊松比	密度 (g/cm ³)	线胀系数 (E-6mmv/℃)	应用组件
铸铝	ZL24	69000	0.33	2.7	23.6	底座
殷钢	4J32	141000	0.25	8.1	0.25	中筒
碳纤维	T700	120000/11200	0.3	1.6	0.01	遮光筒
铝合金	2A12	71000	0.33	2.8	21.4	圆环
碳钢	45	200100	0.26	7.81	11.6	连接板

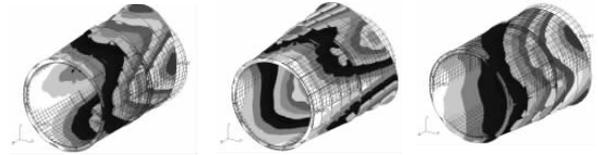
通过实验和有限元模型的建立,得到此中筒组件的主要零件质量如表 2 所示。

表 2 主要零件的质量对比

实际质量 (Kg)	壳模型 (Kg)	梁模型 (Kg)	误差来源
3.2	3.22	3.19	圆角、孔的简化
26.8	26.79	26.81	圆角、孔和连接件的简化
181	180.1	180.1	各种简化

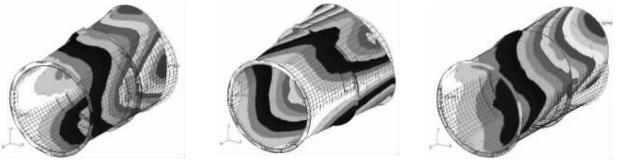
表 3 频率振型比较

项目	X 向基频 (Hz)	Y 向基频 (Hz)	Z 向基频 (Hz)	振型图
实验结果	77	78	99	
壳模型	75.9	91.2	109.3	如图 3
误差%	1.4	16.9	10.4	
梁模型	74.4	86.2	102.2	如图 4
误差%	3.4	10.5	3.2	



a 沿 X 轴摆动 b 沿 Y 轴摆动 c 沿 Z 轴蹿动

图 4 壳模型中筒和遮光筒分析结果



a 沿 X 轴摆动 b 沿 Y 轴摆动 c 沿 Z 轴蹿动

图 5 梁模型中筒和遮光筒分析结果

通过振动实验和模态分析结果对比可知,梁模型除了 X 向基频处的误差略大于壳模型外,在 Y、Z 向基频处的误差明显小于壳模型,由此说明了梁单元的分析结果在实际工程允许的范围之内,它的应用不但是切实可行的,而且还能够得到比壳模型更好的结果。通过观察分析得到的振型云图,两个模型在各个方向上的振型都是一致的,均能够清晰的反映结构在共振状态下的振动形式和响应情况。它们的结果分析比较见表 3,振型图见图 4 和图 5。

4 结论

本文将梁元应用到空间相机结构中,通过梁模型和壳模型的对比发现,梁模型具有如下优点:节点数量少;模型规模小;数据文件小;计算速度快;可修改性强;结果信息丰富;结果可读性好。从而,充分说明了梁元在空间相机结构中具有良好的适用性。

本文作者的创新点,研究了梁单元在空间相机多筋结构中的应用,获得了良好的工程结果。梁模型使得模型规模更小、计算速度更快、柔性更强、优化更方便。

参考文献

- [1]黄贵东等.汽车车架有限元分析模型的改进[J].机械设计, 2007, 24(12): 54—56.
- [2]张学军,陈孝珍.带钢筋的四节点板单元刚度矩阵初探[J].陕西工学院学报, 2005, 21(1): 38—40.
- [3]李青森.预应力梁的组合结构分析方法及其有限元实现[J].华中科技大学学报, 2005, 22(增刊): 84—90.
- [4]毕明路.ANSYS 环境中某 7m 天线的数字化建模及静动态分析[J].电子机械工程, 2003, 19(4): 1—4.
- [5]孙军等.基于整体曲轴梁单元法的曲轴变形和轴承负荷计算[J].农业机械学报, 2007, 38(6): 8—9.
- [6]张宝魁,马清珍.云阳长江公路大桥施工控制仿真斜拉索模拟分析[J].2007, 1(9): 1—4.
- [7]于平安.直接空冷系统管道梁单元分析研究[J].黑龙江科技信息(科苑杂谈): 40.

(下转第 198 页)

在整个仿真器系统的运行中,导航系统每隔一定时间自动搜索导航台和计算导航台参数,并在 EHSI 等表中显示,同时虚拟仪表也显示导航参数,操作人员可根据导航仪表的显示来操作飞行,从而达到导航的目的。图 6 是当系统捕获到 BTO 导航台后,在 20s 内的航向角。此航线进 BTO 的标准航向角为 217 度,而仿真时捕获到 BTO 时飞机的航向角为 213 度,经过 20s 后到达 BTO 台,航向角校正到 217 度,而校正就是根据导航仪表的指导,可完整的飞完规定的航线。

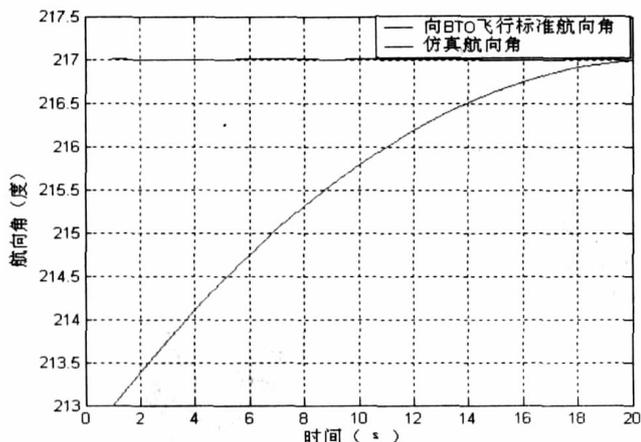


图 6 接近 BTO 台时的航向角

5 结论

本文介绍民用飞机飞行仿真器无线电导航系统的开发。文章首先了无线电导航原理,然后对飞行仿真器的无线电导航系统的功能模块以及其在整个仿真器系统的作用作了介绍。为了用计算机实现导航系统功能,采用 VC++6.0 开发了一无线电导航系统工具,来模拟飞行中 VOR、DME 等导航设备的功能,并用 GL studio 制作的航空仪表 Activx 控件,结合无线电导航系统工具来显示导航参数,调试结果能够满足模拟飞行中的导航需要。

本文作者创新点,把飞行仿真器系统模块化,为各种导航设备建立一套仿真模型和对应软件模块,在 vc++ 平台上来实现。并采用 GL studio 设计虚拟导航仪表来显示导航参数。

参考文献

- [1]基于 MATLAB 的飞行控制实时仿真系统研[J].微计算机信息,2007,5-1:295-296,314
- [2]李志学,朱纪洪,朱家强,范勇.大闭环半物理飞行实时仿真系统[J].2007,10-1:194-195,284
- [3]王行仁主编.飞行实时仿真系统及技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,1998. 62-64.
- [4]张泽龙.商用飞行员教程[M].成都:西南交通大学出版社,2001.7
- [5]黄金明,王立文,郑淑涛.飞行仿真器综合导航系统建模与仿真[J].系统仿真学报,2006,18(S2):664-668.
- [6]张红亮,龚光红,王江云.飞行仿真器导航系统建模与仿真[J].系统仿真学报,2006,18(S2):130-133.
- [7]李强,贾云霞.Visual C++项目开发实践.[M].北京:中国铁道出版社,2003.7
- [8]Distributed Simulation Technology Inc.GL Studio User'S Guide. Version1.04 [Z].2000

作者简介:徐建新(1967-),男,汉族,教授,博士,硕士生导师,主要研究方向:飞机复合材料,飞机系统控制及仿真,柯瑞同(1976-),男,硕士研究生

Biography: XU Jian-xin (1967-), male, Han nationality, Professor, Doctor, Graduate teacher, the fields of research: aircraft composite, flight system control and simulation.

(300300 天津 航空工程学院中国民航大学) 徐建新 柯瑞同
通讯地址:(300300 天津中国民航大学北院 14# 信箱北二公寓 104) 柯瑞同

(收稿日期:2009.05.23)(修稿日期:2009.06.25)

(上接第 231 页)

[8]沈满德,陈良益等.基于优化设计的单元尺寸确定方法[J].微计算机信息,2007,12-1:239-241.

作者简介:贾海涛(1982-),男(汉族),河北唐山人,在读硕士,主要研究方向是有限元仿真分析与模型修正;吴清文(1968-),男(汉族),四川简阳人,博士,研究员,主要研究方向是光学精密仪器的 CAD/CAM/CAE,现从事空间光学热控技术研究。

Biography: JIA Hai-tao (birth 1982-), male (Han), Hebei Province, the postgraduate master of Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, the main direction of research is FEA and FEA model updating.

(130033 长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 贾海涛 韩旭 吴清文 刘宏伟

(100039 北京 中国科学院研究生院) 贾海涛 韩旭
通讯地址:(130033 长春 长春市经济技术开发区营口路 20 号 D 座 316 室) 贾海涛

(收稿日期:2009.05.23)(修稿日期:2009.06.25)

(上接第 239 页)

[6]Domenico Palumbo, Silvia Masala, Paolo Tassini, et al. Electrical Stress Degradation of Small-Grain Polysilicon Thin-Film Transistors[J]. IEEE Trans. Electron Devices, 2007, 54(3):476-482.

作者简介:吕志娟(1980-),女(汉),山东青岛人,江南大学微电子学与固体电子学硕士研究生。研究方向:多晶硅薄膜晶体管的模拟研究

Biography: LV Zhi-juan (1980-), female (Han), born in Qingdao city of Shandong province. School of information technology, Jiangnan University, Master, Major in Microelectronics and Solid Electronics. Research area: Simulation Technologies for Thin Film Transistor

(214122 无锡 江南大学) 吕志娟 钟传杰
(215500 常熟 常熟理工学院) 吕志娟

通讯地址:(214122 江苏省无锡市蠡湖大道 1800 号江南大学信息工程学院) 钟传杰 吕志娟

(收稿日期:2009.05.23)(修稿日期:2009.06.25)

书 讯

《现场总线技术应用 200 例》
55 元 / 本 (免邮资) 汇至

《PLC 应用 200 例》
110 元 / 本 (免邮资) 汇至

地址:北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室
微计算机信息 邮编:100081
电话:010-62132436 010-62192616(T/F)