

文章编号:1000-6893(2007)01-0084-06

基于 MSC/PATRAN 的飞机结构强度静力试验数据实时跟踪与处理系统开发

刘亚龙¹, 王生楠¹, 刘海峰², 饶勇刚², 瞿卫坚²

(1. 西北工业大学 飞机结构强度研究所, 陕西 西安 710072)

(2. 成都飞机工业(集团)有限责任公司 技术中心, 四川 成都 610092)

Development of Test Data Tracking, Analyzing and Processing System for Aircraft Structural Strength Based on MSC/PATRAN Platform

LIU Ya-long¹, WANG Sheng-nan¹, LIU Hai-feng², RAO Yong-gang², QU Wei-jian²

(1. Institute of Aircraft Structure Strength, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

(2. Technical Center, Chengdu Aircraft Industry Company(Ltd.), Chengdu 610092)

摘 要: 在 Windows 环境下, 以 MSC/PATRAN 为平台, 利用平台提供的二次开发语言 PCL(Patran Command Language), 并结合 C++ 语言, 通过客户化、增设特定的命令和窗体等技术开发了飞机结构强度静力试验数据实时跟踪与处理系统 TestDTAS(Test Data Tracking, Analyzing and Processing System)。在结构试验进行中, TestDTAS 可以实时地监测结构试验件中应力和位移的变化情况, 并与理论分析结果进行对比, 而在试验结束后, TestDTAS 可以进行试验数据回放和分析, 从而将试验与理论分析有机的结合在一起, 对结构静力试验和结构设计有很高的实用价值。

关键词: MSC/PATRAN; PCL; C++; 飞机结构静力试验; TestDTAS

中图分类号: V216.1 **文献标识码:** A

Abstract: Under windows operation system, a system for test data tracking, analyzing and processing of aircraft structural strength (TestDTAS) is developed on MSC/PATRAN platform. The work is performed with adding special commands and windows by using the PCL language provided by MSC/PATRAN and C++ language. During the test of aircraft structural strength, the TestDTAS is able to timely monitor and display the structure stresses and displacements which also can be compared with the theoretical analysis results in the same time. After the test, the test data will be repeated and analyzed for linearity by using TestDTAS. Thus combination with structural test and structural analysis is very practical to structural test and structural design.

Key words: MSC/PATRAN; PCL; C++; test of aircraft structural strength; TestDTAS

飞机结构强度静力试验数据实时跟踪与处理系统 TestDTAS 是基于 MSC/PATRAN 平台开发而成的。本文就 TestDTAS 的开发技术及系统的应用作一介绍。

1 TestDTAS 系统功能及开发平台

1.1 TestDTAS 系统功能

飞机结构强度静力试验系统主要用于: 在试验过程中对采集的试验数据(应变、位移)在试验件结构有限元模型(包含分析结果)上进行数据跟踪和分析, 并能及时预先报警可能出现的应力危险部位; 对采集的试验数据(应变、位移)在有限元模型上进行数据重构, 并以曲线、三维立体云图的

形式显示输出; 对试验数据和理论分析数据进行对比分析, 对比结果以曲线、图形的形式显示输出等。

1.2 开发平台与 PCL

TestDTAS 的开发平台选为 MSC/PATRAN, PATRAN 是服务于有限元分析的前后置处理系统, 运行环境为 Windows。它具有强大的有限元建模和响应显示功能, 并且是一个开放性的系统, 提供了一种编程语言 PCL(Patran Command Language)^[1], 供用户二次开发, 其主要功能可概括为: ①通过客户化把商用的程序或自行开发的程序与 PATRAN 连在一起; ②运行固有的或用户指定的建模流程; ③在 PATRAN 中增设特定的命令和窗体; ④编写应用程序。这些特点使 PATRAN 成为许多著名有限元软件的前后处理模块, 用户广泛。虽然静力试验与有限元分

析系统的工作不尽相同,但前者在试验过程中需要参考的数据仍为有限元分析的结果,其他可通过①、③实现。以这种方法开发的 TestDTAS 保持了 PATRAN 的全部显示和前后处理功能,且增设的特定命令窗口具有与 PATRAN 风格一样的界面,很容易被广大 PATRAN 用户接受和使用。

2 TestDTAS 系统功能模块及基本结构

2.1 TestDTAS 系统功能模块

TestDTAS 系统的功能模块有:①打开试验件模型子模块;②试验参数设置子模块;③测量点的有限元计算结果查询子模块;④应力危险点报警设置子模块;⑤测量点测量结果实时监测子模

块;⑥试验数据分析与回放子模块。TestDTAS 系统采用结构化模块设计,主菜单项驱动各子模块功能,各模块功能的具体实现以对话框中的功能按钮驱动。

2.2 TestDTAS 系统基本结构

模块①、②、③、④在静力试验前进行,模块⑤试验参数设置子模块包含位移测量点的设置、应变测量点的设置、测量数据文件路径设置、位移测量点通道号设置、应变测量点通道号设置,均以文件方式进行,需在静力试验前按照格式要求编写。模块⑤用于实时监测静力试验过程;模块⑥在静力试验完成后进行。TestDTAS 系统的基本结构和流程如图 1 所示。

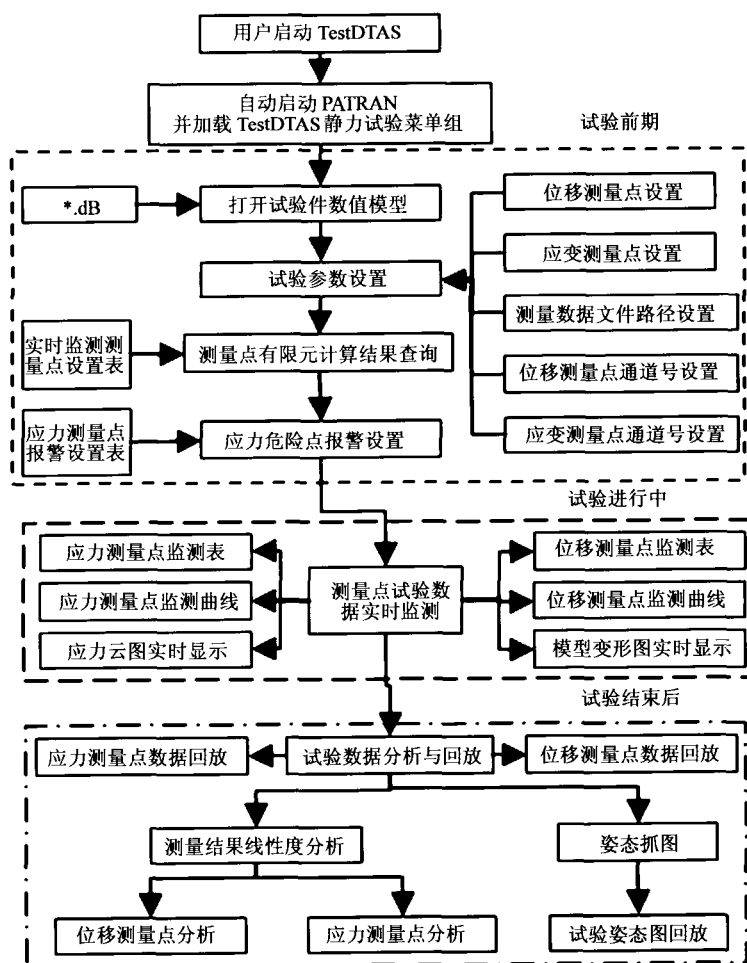


图 1 TestDTAS 系统基本结构和流程

Fig. 1 Structure and flow chart of the TestDTAS

3 TestDTAS 系统开发

3.1 客户化 PATRAN 及系统集成

客户化 PATRAN 及系统集成即指在 PATRAN 中加入新的运行程序并将其集成在 PATRAN

RAN 的集成环境中。TestDTAS 系统的客户化及系统集成指在 PATRAN 的集成界面下增加静力试验弹出菜单(图略)。弹出菜单包含各功能模块子菜单,根据子模块的功能用 PCL 语言和 C++ 语言编写相应的模块功能程序,并将其集成在 TestDTAS 的菜单和相应的功能模块对话框按钮

功能中。下面介绍各功能模块的详细开发过程。

3.2 打开试验件模型模块

打开试验件模型模块是‘静力试验’菜单的子菜单,通过重载 PATRAN 的 P3Patran. plb^[2]库文件中的打开文件函数实现,与 Windows 系统打开文件的过程相同。

3.3 试验参数设置模块

试验参数设置模块是‘静力试验’菜单的子菜单,主要的目的是为后面的查询过程、监测过程提供必要的准备,通过对位移测量点设置文件、应力测量点设置文件、测量结果路径文件、位移测量通道号文件、应力测量通道号文件的设置为后面的查询和监测过程提供数据支持。实现途径是在模态对话框控件中输入文件名称,并将文件名称传递给对应使用这些文件的功能模块。选中‘试验参数设置’子菜单弹出模态对话框如图 2 所示。

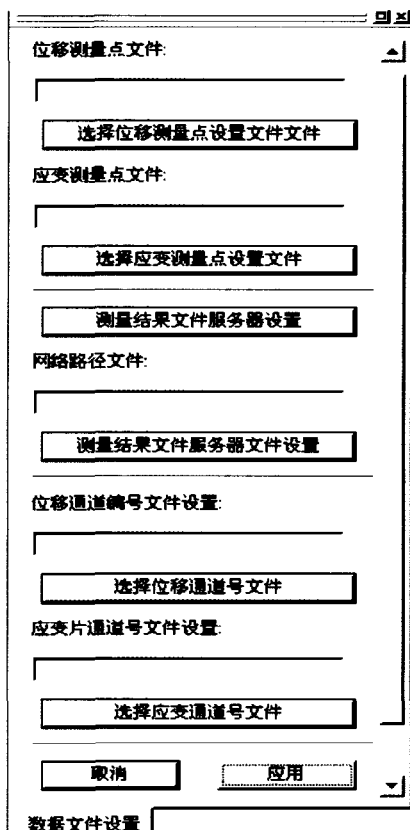


图 2 试验参数设置模态对话框

Fig. 2 Dialog of setting parameters

3.4 测量点理论结果检索模块

测量点理论结果检索模块首先通过生成新的试验工况,并将试验工况与理论工况对应起来,根据试验工况与理论工况的对应关系实现对理论结果的查询。在这个过程中程序的输入项为理论计

算结果工况名称和试验工况名称,具体的检索过程如图 3 所示。选中测量点理论结果检索子菜单弹出模态对话框如图 4 所示,首先按下新建试验工况按钮生成新的试验工况,并选中某个试验工况及其对应的理论工况,然后按下各种工况测量点计算结果查询按钮进行查询过程。对话框中的‘各种工况位移测量点设置’、‘各种工况应力测量点设置’按钮用于对需要进行实时监测的测量点进行设置,设置实时监测测量点的过程同应力危

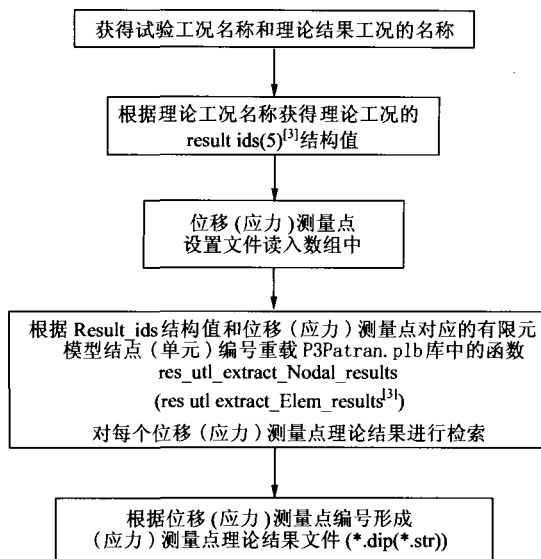


图 3 测量点理论结果检索流程

Fig. 3 Flow chart of searching FEM results

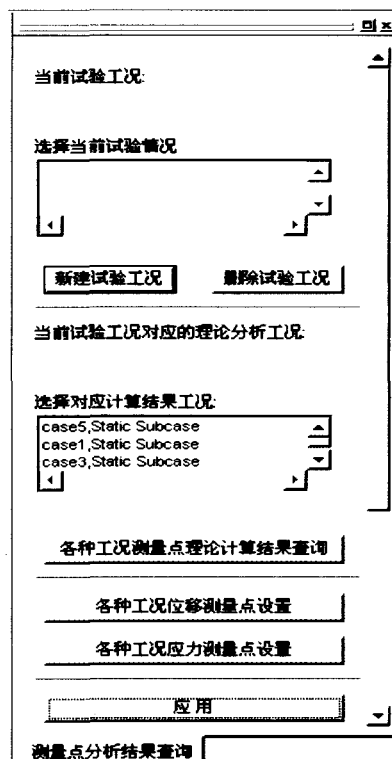


图 4 测量点理论结果检索对话框

Fig. 4 Dialog of searching FEM results

险点设置报警值的过程(见 3.5 节)类似,不同之处是输入在对话框中输入的为实时监测的测量点编号,设置完成后将设置结果存储为监测测量点文件(位移文件、应力文件,内容同检索结果文件)。

3.5 应力测量点报警设置模块

应力测量点报警设置模块对每个试验工况应力测量点的报警值进行设置,并将报警值传递给实时监测过程,在监测过程中如果发现某个测量点的实际测量结果超过对应工况的报警值,系统给出报警。选中‘应力测量点设置’子菜单弹出模态对话框如图 5 所示,应力测量点设置模态对话框中有应力测量点的信息及对应理论结果信息,可参考理论值对报警极限值进行设置,结果存储为应力测量点报警设置文件。

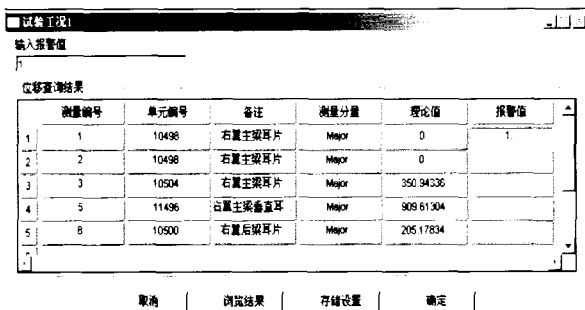


图 5 应力危险点报警设置对话框

Fig. 5 Dialog of setting crisis alarm value

3.6 测量点测量结果实时监测模块

静力试验过程试验件的加载和支持按照飞机型号静力试验任务书中的安排进行,包含多个试验工况。每个试验工况包含不同的加载级别(结点载荷百分比-试验轮次)。对应每一个试验轮次通过数据采集系统获得测量点的测量结果(以文件方式存储在测量结果路径文件夹中,文件扩展名与试验轮次相关)。

测量点测量结果实时监测模块根据测量结果路径文件中提供的测量结果路径、位移测量点通道号文件、应力测量点通道号文件,实时从路径目录中读入测量结果文件,根据测量点通道号文件中测量点与通道号的对应关系从测量结果文件中取出测量点的测量结果,位移测量点的测量结果为位移不变,应力测量点的测量结果为应变,需要将应变转化为应力。根据应力测量点的应变花的类型进行转化,具体如下

$$\text{单花片: } \sigma = E\varepsilon \quad (1)$$

$$\text{直角片: } \sigma_1 = E(\varepsilon_0 + \mu\varepsilon_{90})/(1 - \mu^2) \quad (2)$$

$$\sigma_2 = E(\varepsilon_{90} + \mu\varepsilon_0)/(1 - \mu^2) \quad (3)$$

$$\tau = E(\varepsilon_{90} - \varepsilon_0)/[2(1 + \mu)] \quad (4)$$

式中: ε 为应变值,下标表示应变片的角; σ_1, σ_2 为第 1、2 主应力; τ 为剪应力; μ 为泊松比; E 为材料弹性模量。

其他类型的应变花应变测量值与应力的转化关系可参阅文献[4]。

转化完成后将测量结果存储在结果文件中,对应测量点试验轮次的理论结果按结点载荷百分比线性处理获得。并实时生成测量点测量结果与理论结果的对照表、对比曲线、模型的变形图或应力云纹图。

由于 PATRAN 的 PCL 语言中缺乏时钟函数,使得实时性的开发具有很大的难度,仅用 PCL 语言难以解决问题,本文在开发实时监测模块时采用 C++ 语言编写的 syjc 应用程序进行实时监测并生成试验结果,根据试验结果实时的与 PATRAN 进行通讯,让 PATRAN 在后台生成模型变形图和应力云纹图。通讯过程通过在图形窗口控制文件(PatranEvent.maps)中增加 2 个新的控制键,分别对应应力云纹图和位移变形图的生成,并在 TestDTAS 增加相应的处理模块,然后让 syjc 程序给 PATRAN 发控制键对应的 Windows 消息完成。具体流程如图 6 所示。

选中‘测量点测量结果实时监测’子菜单,出现如图 7 右侧所示的模态对话框,选中试验工况并按下‘实时监测’按钮,开始进入试验实时监测过程,出现图 7 左侧所示的测量结果对照表及测量结果对比曲线并实时在 PATRAN 的图形窗口中生成模型变形图或应力云纹图,如图 7 所示。

3.7 测量结果数据分析与回放模块

该模块设计功能包含位移或应力测量点数据线性度分析、位移或应力测量点测量结果回放、试验件姿态连续回放。

(1) 测量点数据线性度分析

利用最小二乘法^[5]对位移或应力测量点的测量结果进行线性拟合,进而进行线性度分析,其目的是:①通过对比测量曲线与拟合曲线,判断应变片和位移传感器是否在静力试验进行过程中失效,帮助设计人员筛选正确有效的测量点试验数据进行分析工作;②通过对比理论曲线、拟合曲线和测量曲线,帮助分析人员验证有限元计算模型的合理性。

数据拟合过程如下。每一个位移或应力测量点的测量结果与载荷有关,且在静力试验范围内,应当满足如下线性关系

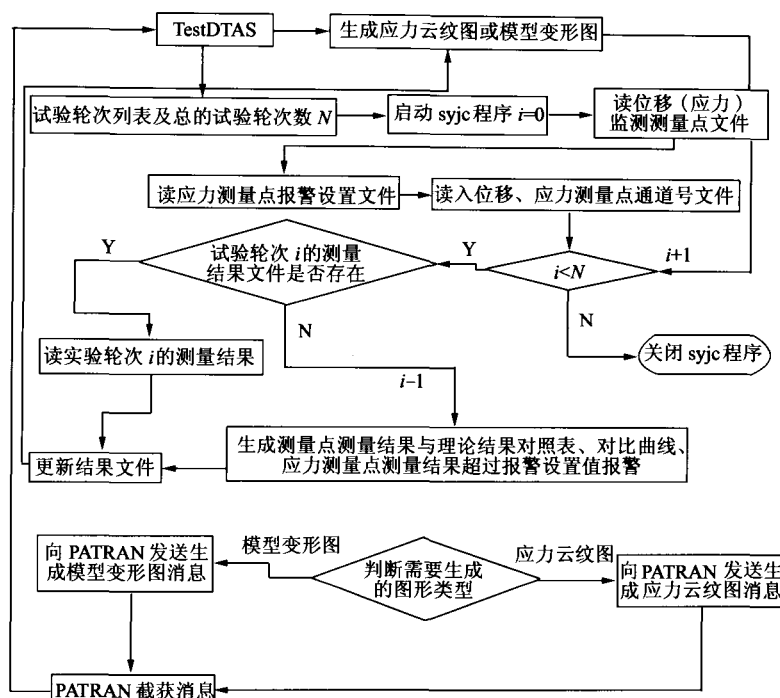


图6 测量点测量结果实时监测流程

Fig. 6 Flow chart of timely monitoring test data

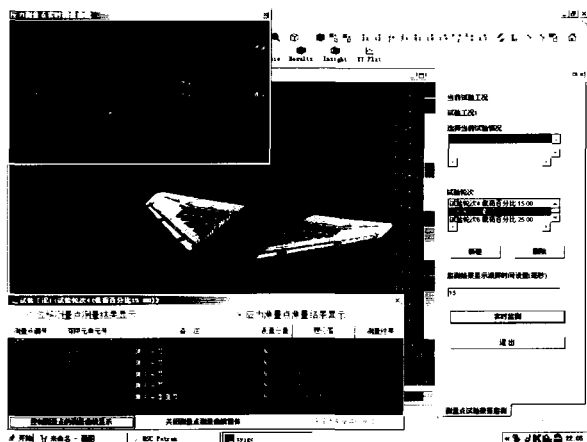


图7 测量点实时监测示意图

Fig. 7 Window of timely monitoring test data

$$u_i = a\alpha_i + b \quad (5)$$

$$\sigma_i = c\alpha_i + d \quad (6)$$

式中: u 为位移测量点的测量结果; σ 为应力测量点的测量结果; α 为载荷百分比; 下标 i 表示试验加载轮次; a, b, c, d 为待求系数。

记

$$A^T = \begin{bmatrix} E \\ \alpha \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix}$$

式中: E 为由 1 组成的阵列; T 表示转置。

通过求解下列 2 个线性拟和的方程组获得系数 a, b, c 和 d 的值, 将得到的系数值代入式(5)和式(6)获得位移或应力测量点的测量结果的线性拟合曲线。

$$A^T A C = A^T u \quad (7)$$

$$B^T B D = A^T \sigma \quad (8)$$

在 TestDTAS 界面里, 选择‘试验数据线性度分析’按钮后, 进行线性度分析, 并显示测量点理论曲线、测量曲线和拟合曲线, 如图 8 所示, 用户可通过该图下侧的对话框选择不同的测量点进行分析。

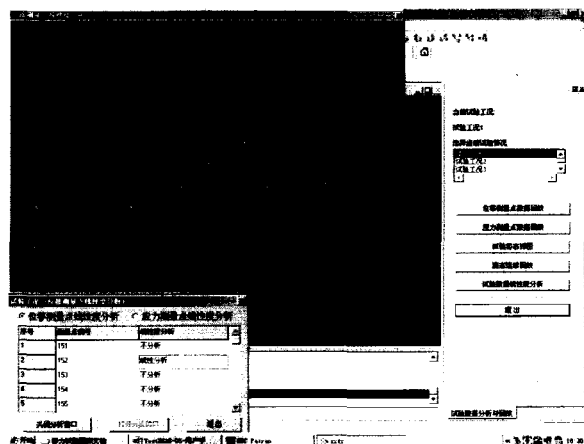


图8 测量点线性度分析示意图

Fig. 8 Window of linearity analysis of test data

(2) 测量结果回放

其中位移测量点测量结果回放、应力测量点测量结果回放子模块用于对测量点的理论结果与试验结果对比曲线的连续回放。通过选择‘位移测量点数据回放’或‘应力测量点测量数据回放’按钮实现。

(3) 试验件姿态连续回放

实时监测过程中, 一方面只生成了用户选定试

验轮次的模型姿态图(模型变形图)或应力云纹图;另一方面 PATRAN 在生成每个试验轮次的姿态图时,都要将模型恢复到初始状态,各个试验轮次的姿态图之间不连续。为了实现姿态图的连续回放,本文分 2 个过程完成姿态图的连续回放:①生成各个试验轮次的姿态图并存储为图像文件(抓图过程);②按试验轮次顺序依次加载姿态图图像文件实现姿态图的连续回放(回放过程)。

抓图过程与实时监测过程中模型变形图生成的过程基本相同,通过重载 PATRAN 的 P3Patran.plb^[2]库文件中的 gm_write_image^[3]函数完成姿态图图像存储。具体的流程如图 9 所示。在 TestDTAS 界面里,用户通过选择‘姿态图抓图’按钮完成抓图过程。

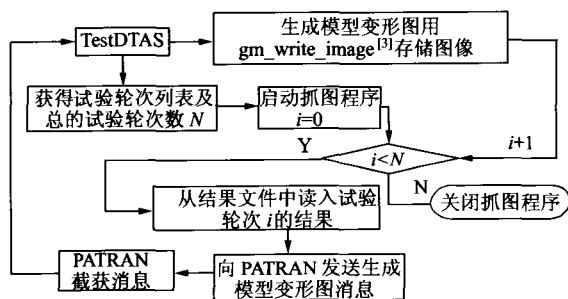


图 9 试验姿态图抓图流程

Fig. 9 Flow chart of grasping deformed shape

回放过程仅需将抓图过程中存储的各个试验轮次的图像文件根据试验轮次随时间逐一加载显示即可。这个过程通过用户选择并按下‘姿态图连续回放’按钮实现。具体的流程如图 10 所示。

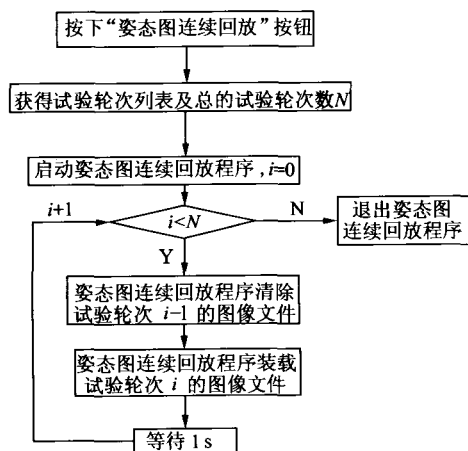


图 10 姿态图连续回放流程

Fig. 10 Flow chart of playing deformed image continuously

4 结 论

(1) 基于 MSC/PATRAN 开发结构试验与设计等相关数值化软件是可行的。

(2) 所开发的 TestDTAS 系统充分利用了 PATRAN 平台原有的建模功能和分析功能,保持

了 PATRAN 风格,易于用户接受和使用。

(3) 实例应用表明,在结构静力试验进行中,TestDTAS 系统可以实时地准确显示结构部位的位移和应力变化,对超过极限值的测量点部位进行报警,并在试验结束后,重现试验数据,从而将结构试验与设计分析有机地结合在一起,改变了结构静力试验的单一性。

(4) TestDTAS 系统可应用于任何一类结构静力试验中。

致 谢

本文得到西北工业大学黄玉珊先生基金会部分资助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] MSC 公司. MSC/PATRAN 中文培训手册[M]. 北京: MSC Corporation 中国技术部, 1998.
- [2] MSC Corporation. Msc/PATRAN training manual [M]. Tech-Department Peking China, MSC corporation, 1998. (in Chinese)
- [3] The MacNeal-Schwendler Corporation. MSC/PATRAN version 8.0, user's guide volume 4[M]. USA: MSC Corporation, 1998.
- [4] The MacNeal-Schwendler Corporation. MSC/PATRAN version 8.0, PCL reference manual volume 1: function description[M]. USA: MSC Corporation, 1998.
- [5] 顾松年, 尤文洁, 宋玉贤. 结构试验基础[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1990.
- Gu S N, You W J, Song Y X. Foundation of structure experiment[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 1990. (in Chinese).
- [5] 封建湖, 车刚明, 聂玉峰. 数值分析原理[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- Feng J H, Che G M, Nie Y F. Principle of numerical value analyse[M]. Beijing: Science Press, 2002. (in Chinese)

作者简介:



刘亚龙(1975—) 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 固体力学中新的计算策略和数值方法、计算机应用软件开发研制。通信地址: 陕西省西安市西北工业大学 118 号信箱, 邮编: 710072, E-mail: lyalong0616@sina.com, 联系电话: (029)88460498。



王生楠(1963—) 男, 副主任, 副教授。主要研究方向: 飞机结构疲劳断裂/损伤容限、固体力学中新的计算策略和数值方法、计算机应用软件开发研制。通信地址: 陕西省西安市西北工业大学 118 号信箱, 邮编: 710072, E-mail: wangshna@nwpu.edu.cn, 联系电话: (029)88460498。

(责任编辑: 李铁柏)