

航空航天

基于 MSC. PCL 的飞机结构稳定性系统开发

刘 斌 韩 庆 钟小平

(西北工业大学航空学院,西安 710072)

摘 要 由于 MSC. Nastran 等求解器的局限性,有时需要自编一些程序来分析某些类型的工程问题,但自编程序的前后置处理比较麻烦,需要处理大量数据,给工程带来了不便。结合航空工程实际,给出了基于 Patran 完善的前后置处理功能及其提供的二次开发语言 PCL 将自编程序集成到 Patran 上的方法,并且利用 PCL 及已有的计算程序开发出飞机结构稳定性系统,所提出方法已证明其正确性和可行性。

关键词 MSC. Patran 前后置处理 二次开发 PCL 飞机结构稳定性计算系统

中图分类号 V221.92; **文献标志码** A

MSC 开发的 Nastran 等商用工程软件最早是 NASA 倡导开发的,现已成为工业行业著名的并行框架式有限元处理分析系统,主要应用于航空、航天、船舶、汽车、桥梁等领域的工程设计及分析。但其功能模块不能涵盖我们研究的所有范围,有时需要自编一些程序模块来弥补它们的不足。自编程序的数据输入以及计算结果的处理一般都比较麻烦,数据输入一般需要按程序的输入格式把模型的几何信息及材料信息等输入数据文件以便程序读取,程序计算结束后看见的则是一堆不易理解的数据。这样的分析过程中真正的计算只占整个工作量的 5%^[1,2],大部分精力都用在了前后置处理上。要解决这一问题,基于前后置处理软件 MSC. Patran 的二次开发是一个可取之路。

本文关注的是 Patran 的二次开发功能,MSC 提供的 PCL 语言可以将用户自开发的特定分析程序集成到 Patran 中,使用户得以仅通过 Patran 的调用,实现该特定分析程序所需的前后置数据处理和分析计算工作,大大减轻了用户前后处理数据的任务量。

1 PCL 语言

MSC. PATRAN 的命令语言 PCL(Patran command language)是一个高级、模块化的结构编程语言和用户自定义工具,类似于 C 语言和 FORTRAN 语言,可用于生成应用程序或特定的用户界面,显示自定义图形、读写 PATRAN 数据库,建立新的或增强的功能。

PCL 的内部功能有^[1]:命令行表达式输入;可编译的命令库函数;丰富的表格及菜单库供开发用户图形界面;递归的子程序和函数调用;同类函数归于一个类;条件分子语句;条件循环语句;用户可定义的表格生成功能使用户的 PCL 函数可通过菜单选项来执行;数据库的访问存取工具;整型、实型、逻辑型、字符串变量及常数;局部、全局、静态变量及类变量;任意变量类型的数组;虚拟内存数组及数组内存管理功能;跟踪调试工具;数组排序和搜索;字符串函数包括大小写转换和所写检查;二进制和文本文件读写功能;多种数学函数程序;丰富的图形函数;模型管理程序;系统实用工具。

目前,PCL 主要用于:增强 Patran 的网格修补功能;可以开发用户界面,供工程师和新手使用;允许用户对 Patran 的模型作参数化研究针对特殊的工程问题,建立统一的参数化模型;还允许把自己的分

2010年7月6日收到

西北工业大学横向课题资助

第一作者简介:刘 斌(1986—),陕西富平人,硕士,研究方向:飞机结构稳定性。

析程序集成到 Patran 的统一环境中,利用 Patran 作前后置处理。

2 自编程集成到 Patran 的方法

在用户自开发的程序中,往往需要输入单元、结点、材料和载荷等信息。用户可利用 Patran 方便地建立程序需要的分析模型,并划分有限元网格;随后将模型的信息和求解控制参数形成程序可读的输入数据文件,然后调用自开发程序;当程序运行结束后,用户可利用 Patran 读入程序的输出数据文件,对计算结果进行分析并图形显示出来。通过 PCL 语言提供的大量数据库访问函数,可以方便地实现自编程的集成,集成的思路如图 1 所示。

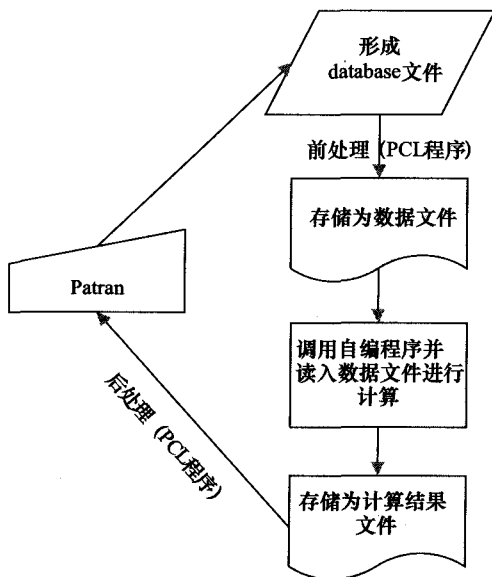


图 1 自编程集成到 Patran 的思路

2.1 前置处理的实现

如果有用户需要,可以为自开发程序定义一个分析代码。使用内部函数:db_create_analysis_code (analy_code_id, analy_code_name, model_suffix, results_suffix, num_analy_types, analy_type_ids, def_analy_type), 其中所有变量都是输入变量。可以通过 PCL 自带的函数从几何模型的数据库中读取并存至指定命名文件,交给自开发程序调用。

2.1.1 读取分析模型的结点信息

未知空间数组要通过定义虚数组和 sys_

allocate_array() 分配该数组空间后方能使用,用完之后还要 sys_free_array() 释放该数组所占的内存空间,可以是一维或二维数组。

新建或打开文件以及写入数据至该文件当中可以用如下程序:

```

text_open(file_name, "NOA", 0, 0, file_id)
text_write(file_id, "%I7% %3E15.3%", int_line, real_line, "")
text_close(file_id, "")

```

读取结点信息^[3-6]: 使用内部函数 db_count_nodes(num_nodes) 读取结点总数, 结点总数就赋给了 num_nodes 变量; 用 db_get_node_ids(num_nodes, node_ids) 获取结点编号, num_nodes 是上个函数的输出值而在这个函数中就是输入变量, node_ids (num_nodes) 输出所有结点的 ID 号; 用 db_get_nodes(num_nodes, nodes_ids, ref_coords, analy_coords, glob_xyzs), 根据结点总数和编号获取结点坐标值, ref_coords(num_nodes) 是结点参考坐标系的 ID 号, analy_coords(num_nodes) 是结点分析坐标系的 ID 号, glob_xyzs(num_nodes, 3) 是结点坐标值。这里都是读取所有组或者所有 db 文件中的结点。

如果要读取用户建立的某个组 (group) 里面的结点信息, 可以用以下两个函数配合 db_get_nodes() 函数来读取: db_count_nodes_in_group(group_id, num_nodes) 及 db_get_all_node_ids_in_group(num_nodes, group_id, node_ids)。

读取单元信息^[2,6]: 用 db_count_elems(num_elem) 读取单元总数, 单元总数就赋给了变量 num_elem; 用 db_get_elem_ids(num_elem, elem_ids) 读取单元编号, num_elem 是输入变量, elem_ids(num_elem) 是输出变量; 用 db_get_elem_etop(num_elem, elem_ids, topo_codes) 函数读取所有单元拓扑号。其中, num_elem 和 elem_ids(num_elem) 是输入变量, topo_codes(num_elem) 是输出变量; 用 db_get_elem_topology_data(num_codes, topo_codes, hape_codes, nodes_per_elem), 由上个函数得到的每个单元的单元拓扑号读取该单元拓扑号对应的单元形状号和单元结点总数, 比如 shape_codes = 1 代表点单元, shape_codes = 2 代表杆单元, shape_codes = 3 代表三角形单元, shape_codes = 4 代表四边形单元等等; 用 db_get_

`nodes_for_elems(num_elem, max_connect, elem_ids, connectivity)`; 根据输入变量 `num_elem`、`max_connect` 和 `elem_ids(num_elem)` 读取单元的结点号并存入输出变量 `connectivity(num_elem, max_connect)`。

2.1.2 读取分析模型的材料信息

用 `db_get_region_for_elements(num_elem, elem_ids, region_ids)` 读取单元特性区 ID 号码并存入数组 `region_ids(num_elem)` 中。用 `db_get_region_definition(region_id, gener_elem_type, set_id, dof_set_flag, condense_flag, geom._flag, form_flag, lam_flag, layer_count, material_id, material_lin, material_dir)`, 此函数的输入变量是上个函数获取的单元特性区 ID 号, 其他变量都为输出变量, 其中 `material_id` 是对应 Patran 模块 Property 中的每个属性中单元所加的材料 ID 号包括: 材料和由材料组成的复合材料层合, 其默认 `Laminate` 也是一种材料 ID, 而不同属性中相同材料也加以区分。

读取材料信息时, 主要考虑两种材料即各向同性材料和复合材料。当需要读取非复合材料层合材料时, 有了上个函数读取的 `material_id`, 配套使用函数: `db_count_props(region_ids(i), num_words)` 和 `db_get_props_by_region(num_words, region_ids(i), word_ids)`。再由函数 `db_get_matl_prop_value(material_id, w_ids, f_ids, word_values)` 得到材料的弹性模量、剪切模量和泊松比并存入输出变量 `word_values(5)` 中。当需要读取复合材料层合板材料信息时, 使用函数 `db_get_matl_prop_value2(material_id, mat_prop_id, eval_at_temperature, eval_at_strain, eval_at_strain_rate, eval_at_time, eval_at_frequency, at_prop_found, mat_prop_val)`。`mat_prop_id` 取不同值时对应读取不同的数据, 如: `mat_prop_id = 40` 用来得到该 `material_id` 的层数并赋值给 `mat_prop_val`; `mat_prop_id = 2` 对应弹性模量 `E11`; `mat_prop_id = 3`, `E22`; `mat_prop_id = 5` 对应泊松比; `mat_prop_id = 8` 对应剪切模量 `G12`; `mat_prop_id = 9`, `G23`; `mat_prop_id = 10`, `G31`。当需要读取复材铺层信息时, 使用函数 `db_get_comp_lam_ids_by_id(material_id, num_plyes, material_name, output_count, ply_ids, thicknesses, orientations,`

`symmetry, offset_value, offset_flag)` 前两个为此函数的输入变量, `ply_ids` 是每一层的材料 ID 号, `thicknesses` 是每一层的厚度, `orientations` 是每一层的铺层角度。

2.1.3 读取分析模型的载荷信息

读取工况名: 先使用函数 `db_get_all_load_case_names()`; 再用函数 `db_get_next_load_case_name(load_case_name)` 循环读取所有工况名。

读取工况下载荷的个数: 用 `db_count_lbc_by_load_case(load_case_name, num_loads)`

读取工况下各个载荷的 ID 号: `db_get_load_case(load_case_name, load_case_id, load_case_type, load_case_description, num_loads, load_ids, dynamic_case_name, evaluation_point, load_priorities)`

再根据载荷 ID 读取该载荷的类型: `db_get_lbc(load_ids(i), load_name, load_type, application_type, elem_dimension, coord_id, dynamic_flag)` `load_type = 6` 表示位移载荷; `load_type = 7` 表示力载荷。

最后通过以下两个函数的配合来读取载荷所加结点(可以是多个)和载荷值(矢量) `db_get_all_fem_sv_by_id(load_ids(i))`; `db_get_next_fem_sv_by_id(load_var_id, entity_type, entity_id, sub_entity_id, load_value, null_vector, scale_factor, node_position, region_type)`。该过程也需要循环直至读取所有载荷信息。

2.1.4 读取分析模型的梁单元截面信息

先使用内部函数 `db_get_prop_value(region_ids(i), word_ids(3), material_id, data_type, integer_val, real_values, character_val, coord_id, node_id, field_id)` 若 `data_type = 11`, 则代表该单元特性区是梁截面 ID。再使用 `db_get_beam_section(integer_val, shape_name, section_name, nrec, bytes_per_rec)` 确认梁截面类型 `shape_name = "I"` 代表工字梁; `shape_name = "T"` 代表 T 字梁等等。最后再使用函数 `bl_get_std_beam_section_data(integer_val, 6, data_types, rvalues, field_ids)` 读取梁截面详细参数。其中, `rvalues` 数组是梁截面信息。

2.1.5 用户界面定制方法

如果需要手动输入一些参数或者实现良好的人机交互, 可以通过 PCL 的界面编制实现。界面的编制通过类 (CLASS) 来实现, 包括菜单、面板、按钮、

选择对话框、列表、选择按钮等,其结构如下:

```
#include "appforms. p" /* 界面参数头文件 */
#include "uiforms. p" /* 界面参数头文件 */
Class my_pulldown_menu /* 类名 */
Classwide widget menu /* 类界面变量定义 */
Function init() /* 编制界面 */
.....
End Function
Function display() /* 显示该类的编制界面 */
ui_form_display("my_pulldown_menu")
End Function
Function OtherFunctions() /* 函数 init 所调用的其他响应函数 */
.....
End Function
End Class
```

注意:带头文件的 PCL 程序文件需要通过 cmd 转换为 cpp(C++)文件。

2.2 自开发程序的调用以及后置处理

应用 PCL 可以编写程序让 Patran 自动调用自开发分析程序,让该程序自动运行并输出计算结果来进行后处理。调用程序使用函数 `utl_process_spawn(command, wait)`。后处理主要是将自开发分析程序计算的结果在 Patran 中以直观的图形显示给用户。后处理一般显示所有结点的应力云图和位移云图,而应力是张量,位移是矢量,这就带来了应力显示和位移显示二者后处理过程的差异,但是两

者还有相同之处。自编程序的计算结果先通过函数 `text_read(file_id, format, int, real, "")` 读取,并存储至数组当中。下来应通过以下函数按顺序编写程序: `db_create_load_case` (/* 工况名 */ "load-case", /* 工况类型 */ 1, /* 工况描述 */ "results", /* 载荷数 */ 0, /* 载荷 ID */ [1], "", 0, [0], /* 工况 ID */ lcid), 通过此函数建立新的工况; `db_create_sub_case` (lcid, subcase_title, scid, cid), 通过此函数建立新建工况下的子工况; `dbt_create_sect_pos` (1, "", 0, [0, 0, 0, 0], sect_id), 为建立层建立一个区域; `dbt_create_layers` (1, 0, sect_id, layer_id), 建立一个层; `res_utl_create_nodal_result` (res_ids, title, sec_title, num_nodes, nodeids, "", datatype, values), `datatype = 1` 代表要写的进结点的是标量; `datatype = 2` 代表矢量; `datatype = 3` 代表张量。前面读取的自编程序结果,即每个结点的结点号、应力或位移值则通过函数的 `nodeids`、`values` 输入。

3 飞机结构稳定性分析系统

为了便于将航空工程中分析飞机结构屈曲和后屈曲行为的程序集成于 Patran,本文基于第3节

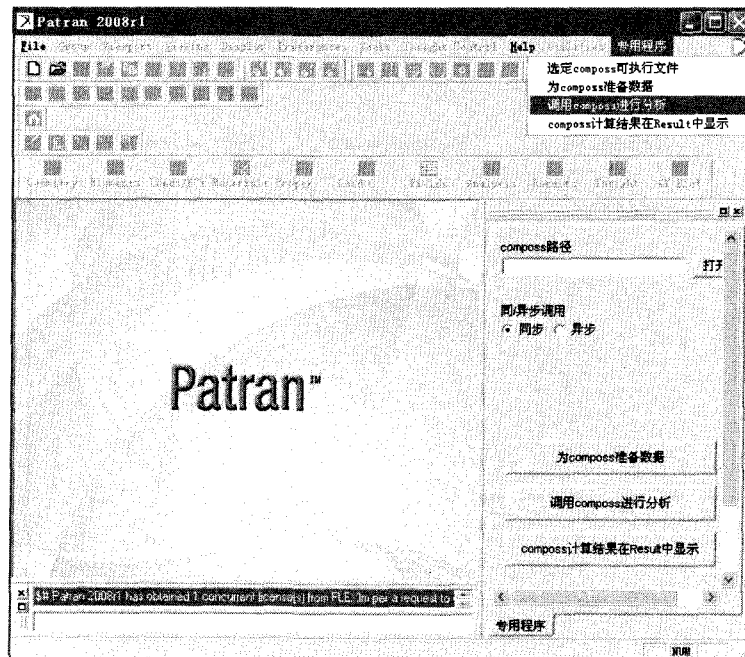


图2 飞机结构稳定性系统主界面

提出的方法编写了该程序和 Patran 之间的接口,开发出基于 MSC. PCL 和 MSC. Patran 的飞机结构稳定性分析系统。图 2 是该系统在 Patran 中的主界面。图 4、图 5 是该系统的前处理界面。图 3 是在 Patran

软件中建立的复合材料加筋板模型。图 6、图 7 则是该系统在计算完 Patran 建立模型后计算结果在 Patran 的 Result 中的显示。

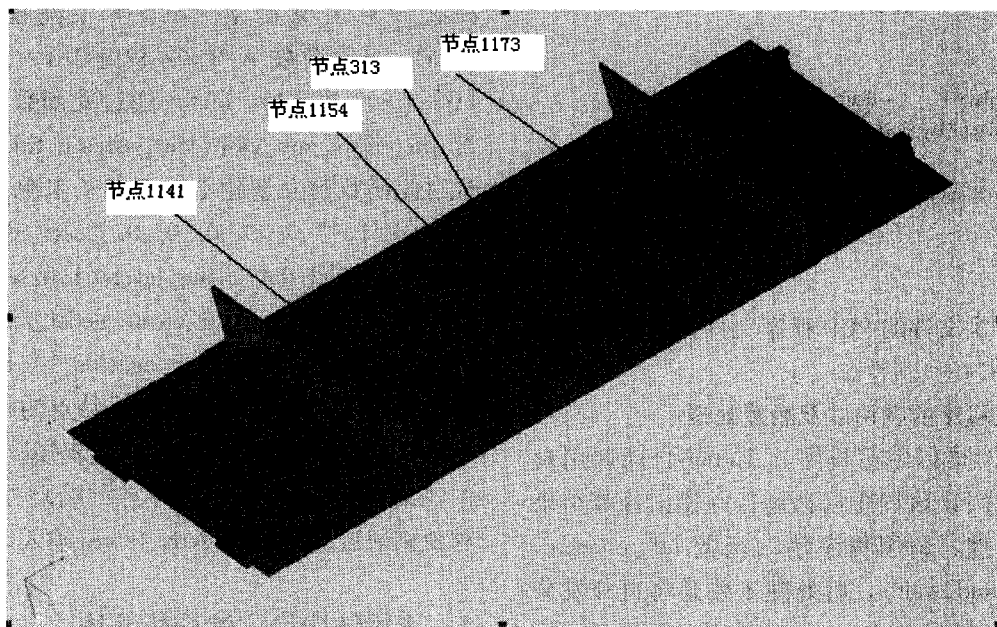


图3 Patran 中建立的复合材料加筋板模型

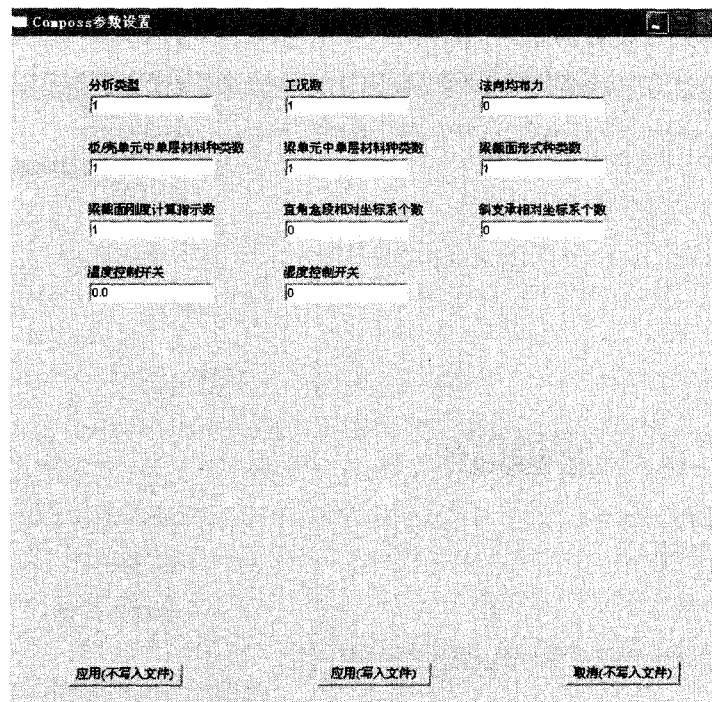


图4 点击图1Patran 模型数据读取响应界面

后屈曲+刚度折减和非线性+刚度折减参数设置

求特征值的求解精度	特征值阶次	X方向的网格等份数	Y方向的网格等份数	加载步总数	最大迭代次数
0.001	1	2	2	1	2
收敛精度	达到收敛精度迭代次数	第一步载荷因子	参考载荷因子	后屈曲横向载荷单元号	横向载荷局部结点号
0.001	2	0.1	1.0	1	2
横向载荷值					
0.0					
**是否外插修正弧长0/1	**收敛点个数	**近似方法0/1/2byLD	**是否加权修正0或非0		
0	0	0	0		
**各载荷增量步需输出结点法向位移的结点号(6个)					
1	2	3	4	5	6
**各载荷增量步需输出三角形单元内力的单元号(6个)					
1	2	3	4	5	6
需要输出(P-W)曲线的结点号(7个)					
1	2	3	4	5	6
7					
**需要输出应力值的单元号(6个)					
1	2	3	4	5	6

应用(不续写) 应用(续写) 取消(不续写)

图5 数据读取完成后的二次响应界面

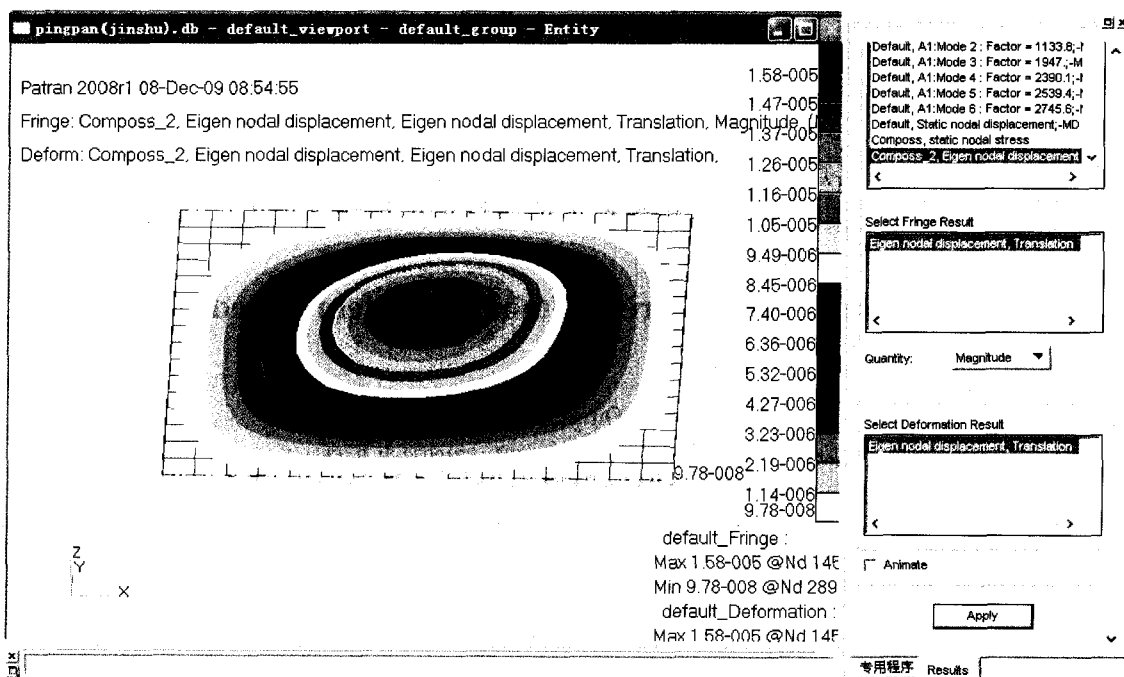


图6 图3所示加筋板在该系统计算后的云图显示

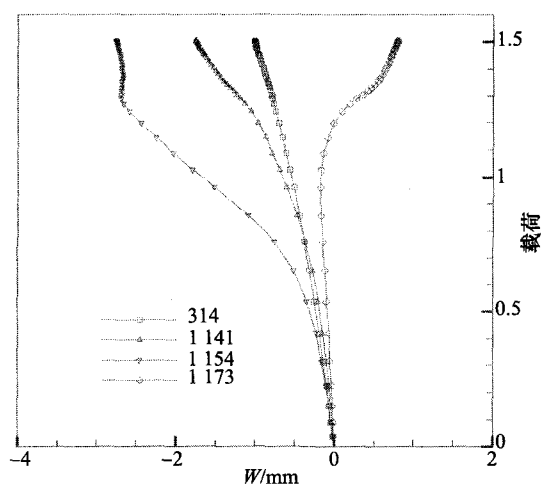


图7 图3所示加筋板中四个点的载荷-位移曲线

如图2,用户可通过菜单或控制面板进行此系统操作,按照通常的建模方法在 Patran 中建立模型。首先,在图2中选择程序代码;第二,点击模型数据读取,就会弹出对话框如图4所示,再点击应用就会进行模型数据读取存储数据文件,即前处理;第三,点击调用分析,系统自动调用该文件对模型进行计算;最后,计算结束点击显示,结果可添加至 Result 模块,如图6、图7供用户后处理分析。图7是图3模型中位移较大的有限元结点314、1141、1154和1173上的载荷-位移曲线,即后屈曲路径。载荷是比例因子它可用图中纵轴数值乘以图3模型的参考

载荷得到;位移为该点的面外位移,即横向位移,单位为 mm。

4 结论

通过开发飞机结构稳定性分析系统,说明本文提出的基于 MSC. PCL 将自编程序集成至 Patran 的方法是正确可行的。因此,在航空航天以及其他领域,可借助本文提出的方法对 Patran 建立的模型的几何、材料、边界条件等数据进行读取,即前置处理,并交给自开发程序进行分析,计算分析结果也可反过来交给 Patran 进行后置处理显示。

参 考 文 献

- 1 马爱军,周传月,王 旭. Patran 和 Nastran 有限元分析专业教程. 北京:清华大学出版社,2005
- 2 万 力,郭乙木. 杂交应力元的研究及其与 MSC/Patran 的集成. 杭州:浙江大学,2003
- 3 范晶岩,韩增尧. MSC/Patran 与自开发程序的集成. 北京:航天第十信息网学术交流会,2003
- 4 唐友宏,陈宾康. 用 MSC. Patran 的 PCL 二次开发用户界面. 船海工程,2002;23(3):20—22
- 5 萨日娜,张 悦. 应用 MSC/Patran 二次开发语言 PCL 实现参数化建模. 上海:中国船舶工业第 708 研究所船舶设计技术国家工程研究中心,2005
- 6 MSC 公司. MSC. PCL 用户手册,2008

Development of Aircraft Structure's Stability System Based on MSC. PCL

LIU Bin, HAN Qing, ZHONG Xiao-ping

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, P. R. China)

[Abstract] As a result of the shortcoming of the calculators of MSC. Nastran and others, sometimes need programming to solve some specific engineering problems. However, it takes too much time to operate huge data in engineering. Based on Patran's perfect function of pre and post processing and its secondary development with PCL, it expounded the method of integrating program to Patran, developed the system of calculation of aircraft structure stability, and proved correctness and feasibility of the method.

[Key words] MSC. Patran pre and post processing secondary development PCL system of calculation of aircraft structure stability