

飞机结构静力试验 CAD 系统^①

侯同济, 张建锋, 滕申科

(中国飞机强度研究所, 西安 710065)

摘要: 飞机结构静力试验设计系统(Aircraft Structure Static Test Design System-ASSTDS)是用于全尺寸飞机结构静力试验设计的、图形交互式的计算机辅助设计(CAD)软件系统. 本文介绍了基于面向对象技术完成的软件系统需求分析、功能分解和对象抽象, 软件开发过程中建立的系统对象体系以及主要对象和它们之间的相互关系. 飞机结构静力试验设计系统采用 VC++ 编程语言在 Windows 操作系统上开发完成的.

关键词: 静力试验; 辅助设计; 面向对象

CAD System for Aircraft Structure Static Test Design

HOU Tong-Ji, ZHANG Jian-Feng, TENG Shen-Ke

(Aircraft Strength Research Institute of China, Xi'an 710065, China)

Abstract: The ASSTDS system is a special graphical interactive CAD software for the aircraft structure static test design. The paper introduces the requesting analysis, function decomposing and object abstracting for the software based on object-oriented technology and the object architecture in the software development. The main objects and their relationships are also described. ASSTDS is developed in the programming language VC++ on the Windows operation system.

Key words: static test; CAD; object-oriented

1 引言

全尺寸飞机结构的静力试验是验证飞机结构静强度的重要手段, 试验方案的设计是试验成败的关键所在. 试验设计过程要进行大量数据处理、设备选择等分析计算, 常常涉及到数以千件的试验设备与数以百次不同类型的分析计算, 会产生数千张图纸、表格. 试验设计过程是一个庞大的系统工程, 计算机辅助设计已经成为试验设计的必要手段, 一个先进的、综合的飞机结构静力试验专业 CAD 软件系统已经成为必须的业务需求.

当前有许多通用的、商业化的 CAD 软件, 如: AutoCAD、CATIA 等, 被广泛地应用到各个领域, 包括飞机结构静力试验设计领域. 商业 CAD 软件很强的通用性极大地限制了应用的专业性, 使得专门领域内的专业特点不能得到有效发挥. 在这些商业化的 CAD

软件中, 静力试验设计中的试验设备都变成了一系列点、线、面、文字等纯几何类型的图形元素对象, 因而失去了试验设备对象的属性. 在这些 CAD 系统的设计图纸中无法加入或得到静力试验相关信息数据, 也很难在这些 CAD 系统中增加静力试验的各种分析和计算功能, 静力试验设计中大量的、繁琐的分析计算只能由系统外的其它软件完成. 这些 CAD 系统在静力试验设计过程中仅起到了设计图纸的描图功能, 而失去了计算机辅助设计的意义.

飞机结构静力试验设计系统是一个将通用的 CAD 技术与专用的静力试验设计功能相结合的专业 CAD 软件, 它不仅有点、线、面、文字类的基本几何图元对象, 也有胶布带、杠杆系统、作动筒等静力试验的专业设备图元对象. ASSTDS 系统中的载荷数据处理、杠杆连接计算、试验设备选择等专业计算以及

^① 收稿时间:2012-06-21;收到修改稿时间:2012-08-21

设计图纸中包含的静力试验数据信息是其它任何通用 CAD 系统无法比拟的。

采用面向对象的系统分析方法将复杂问题逐层分解, 直到最后专门的、简单的问题对象, 使得各类对象中的内容以及操作变的清晰, 也使得各类对象之间的边界变得明确。ASSTDS 系统从试验设计和图形交互两个问题开始, 对这两个问题进行分解、抽象, 分别形成了描述静力试验和图形交互两个方面的、层次化的对象组织体系, 建立了飞机结构静力试验计算机辅助设计系统的对象体系, 奠定了 ASSTDS 软件系统的开发基础。

2 静力试验设计业务

飞机结构静力试验设计主要包括胶布带布置设计、杠杆连接设计、加载点协调设计和作动筒安装设计四项基本设计业务, 这四项设计的结果组成了最终提交的整个飞机结构静力试验加载系统的设计方案。在进行这些设计业务的过程中还必须完成载荷等效处理、结构模型处理和加载区域划分处理三项数据计算分析业务, 它们与前四项设计业务一起共同组成了飞机结构静力试验设计中七项必须完成的主要业务。

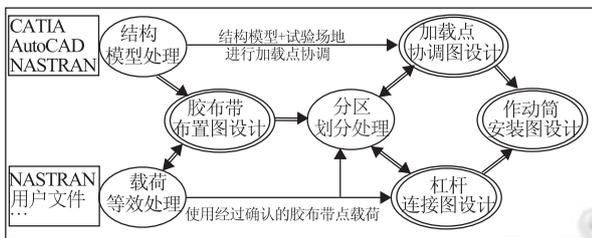


图 1 静力试验设计的业务点及相互关系

结构模型处理是胶布带布置图和加载点协调图设计的基础, 结构模型处理建立起了各个部件结构的类型、位置关系以及几何模型。

胶布带将试验载荷传递到试验结构上, 胶布带布置图设计完成结构上试验载荷节点位置的设计。胶布带设计受试验结构外形与试验载荷的共同影响, 同时胶布带设计又影响试验载荷等效处理。试验载荷是静力试验的基础, 试验设计要将强度分析提供的理论载荷等效为可以进行静力试验加载的试验载荷——胶布带节点载荷。载荷等效处理与胶布带布置设计相互影响, 使得设计过程反复进行直到最终同时满足两方面

要求。试验载荷分为许多试验情况, 胶布带布置设计要满足所有试验情况的要求。

加载点协调图设计主要协调试验结构、承力框架和各加载点三者之间的位置关系, 避免产生相互干涉, 并且针对所有加载点一次布置设计完成。杠杆系统将作动筒施加的试验载荷准确、安全地分配到各个胶布带点上, 杠杆连接图确定了试验载荷的分配、传递方式。作动筒安装设计在加载点协调图与相应杠杆连接图的基础上完成载荷施加、测量以及其它连接设备的选择和安装设计。杠杆连接图和作动筒安装图是针对每个试验情况进行的。

加载区域划分是将同一试验情况中有载荷的胶布带点进行分组, 不同的分组产生不同的加载点位置与载荷, 也产生不同的杠杆连接方式以及最终作动筒安装方式, 因此会产生不同的设计方案。

飞机结构静力试验设计中的各个设计业务之间相互关联、相互影响。许多设计需要反复迭代才能完成, 而每项设计的改变要受到其它一些设计的限制, 并且还会要求另外一些设计的改变。飞机结构静力试验计算机辅助设计系统完全不同于一般通用的 CAD 系统, 因此, 建立飞机结构静力试验 CAD 系统对象体系是分析、理解与开发静力试验计算机辅助设计系统的重要手段。

3 静力试验设计对象

飞机结构静力试验设计中包含了多种类型的、相互关联的图纸设计业务和分析、计算任务, 明确静力试验设计所包含的各类事物以及相互关系是 ASSTDS 软件系统开发的基础。静力试验设计过程主要涉及由结构部件组成的试验结构、由不同试验情况组成的试验载荷以及各种设计中待选用的试验设备这三组对象。

飞机结构形式复杂多样、规模参差不齐, 主要类型有机翼、机身、座舱盖等。将所有的静力试验结构视为一组结构单元的组合, 结构单元被划分为几种类型并统称为部件, 任何试验结构都可以用一系列部件结构组合而成, 通过一组部件对象(CPart)表示。部件对象是一个纯虚类的对象, 而真正使用的部件对象则是它的各种派生对象。部件对象中包含了一个或多个外形对象(CShape), 每个外形对象关联一个胶布带布置图对象。

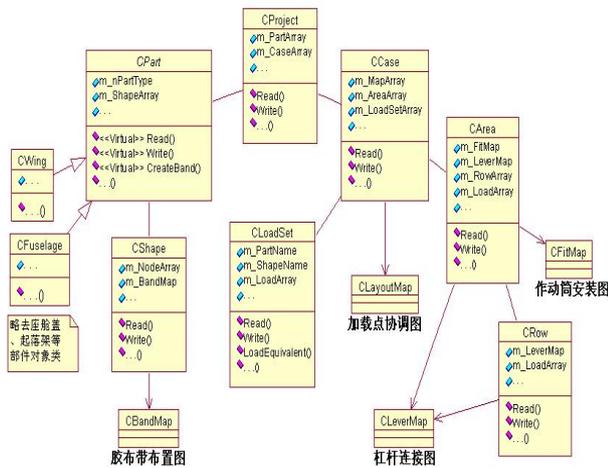


图 2 飞机结构静力试验设计对象

试验载荷分为许多试验情况，有单个部件、多个部件以及整机情况，考核目的千差万别，设计方案也大相径庭。情况对象(CCase)通过载荷集对象(CLoadSet)的组合描述各种试验情况的试验载荷，通过分区对象(CArea)与切面对象(CRow)及其组合描述了试验加载区域以及区域划分。情况对象、分区对象与切面对象与相关的设计图纸对象建立了关联关系。

静力试验设备作为试验设备对象以图形元素的方式表现在各类静力试验设计图纸中，这些设计图纸对象中包含了大量的试验设计数据信息。ASSTDS 系统的试验设计分析、计算功能生成、使用这些特殊的专业图形元素，也从这些专业图元中得到进一步分析、

计算的试验设计数据。

试验设计对象体系描述了试验设计专业内的各种设计图纸与各种试验设计对象以及相互关系，概括出静力试验设计的专业特点。试验设计对象体系与一般通用的、平面图形交互对象体系相结合组成了飞机结构静力试验 CAD 系统的对象体系。

4 图形交互设计对象

飞机结构静力试验设计包含了多种类型的平面图形交互设计。对平面图形系统进行分解、分类与抽象，最后形成图元、图层和图件三个层次的图形对象以及操作、操作管理对象和坐标系、符号绘制与曲线绘制对象。

图元对象(CGEBase)是图形元素的抽象，是一个纯虚类的对象，由它派生出的文字、曲线、...、图像等图元对象被真正使用。图层对象(CLayer)生成图元对象实例并进行保存、管理与操作，图层对象可以操作图层中所有图元对象的共同的属性。图件对象(CMap)是图形系统处理的图形实体，一个图件对象实例就是一幅图形。

对图形系统的交互操作进行分解、分类与抽象，最后都成为对键盘、鼠标的操作。将键盘、鼠标操作的响应函数及相关参数封装成为一个纯虚类的操作对象(COPBase)，由操作对象派生出各种具体的操作。操作管理对象(COperate)有操作的回退与回进等方法 and 当前操作对象等属性，管理所有的操作对象实例。

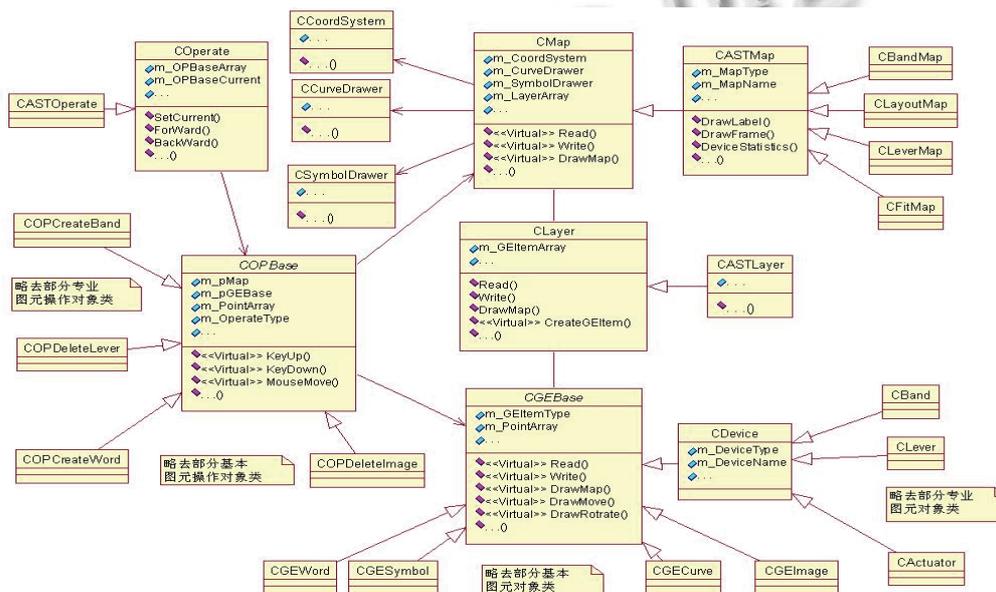


图 3 平面图形系统交互对象

ASSTDS 系统以平面图形系统中的这些基本对象类为基类, 通过继承、重载与扩充派生出许多具有结构静力试验设计专业特点的图形对象和图形操作对象, 建立起 ASSTDS 系统的图形交互对象体系。

ASSTDS 系统从图件对象派生出新的图件对象 (CASTMap), 扩充了试验设计中需要的属性参数和各种方法, 并在进一步派生的胶布带图 (CBandMap) 等专业图件对象中分别重载了这些方法。从图层对象派生出新的图层对象 (CASTLayer), 重载了图元生成方法, 扩充了专业图元生成与检索。从图元对象派生出设备对象 (CDevice), 扩充了静力试验设备的属性和方法, 并进一步派生出胶布带 (CBand)、杠杆 (CLever) 等专业图元对象。

ASSTDS 系统从操作对象派生出各种试验设计过程中的特殊操作对象并从操作管理对象派生出试验设计专业操作管理对象 (CASTOperate)。重载操作对象中的有关方法, 扩充了试验设计专业的操作功能。

静力试验设计中的图形交互对象采用一般图形交互 CAD 系统中的对象, 并对派生的对象进行继承、重载与扩充, 使图形交互 CAD 技术与静力试验设计特殊需求自然、有效地结合在一起, 开发出飞机结构静力试验设计专业的、图形交互式的计算机辅助设计软件系统。

5 软件系统的开发

飞机结构静力试验设计系统是在 Visual Studio 6.0 开发平台上, 采用 VC++ 编程语言开发的。基于 Microsoft MFC 的文档 (Doc)/视图 (View) 软件架构, ASSTDS 在文档类中加入试验设计项目对象类及相关的各种对象类, 使用 MFC 的序列化功能读、写对象的属性数据。在视图类中加入图形交互操作相关的对象类, 并索引到试验设计系统当前图件对象绘制的方法。ASSTDS 系统中的各种菜单项与快捷键触发有关对象类中相对应的方法, 并进一步传递、触发相关对象类中的相关方法直至最终完成计算任务。

项目对象类中根据数据计算、处理过程设立了系统状态参数, ASSTDS 根据状态参数更新系统的菜单、快捷键、对话框的状态。状态参数还指示出当前正在处理的设计图纸类型与设计图纸, 操作对象类得到当前设计图纸对象指针使得各种图形交互操作针对当前设计图纸进行。

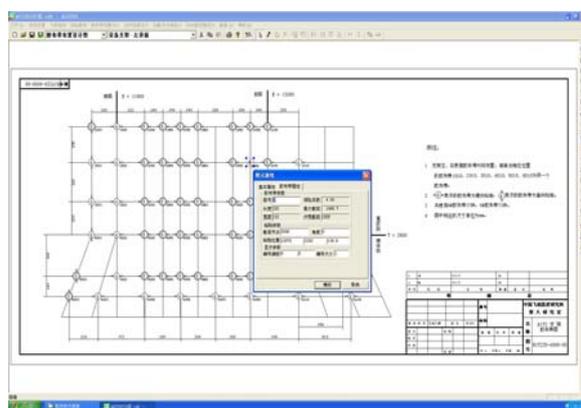


图4 飞机结构静力试验设计系统用户界面

动态链接库技术使整个系统开发分为多个软件模块进行, ASSTDS 系统被分为一个执行模块和九个动态链接库模块。根据各对象的性质以及相互间的关系将试验设计与图形交互中的对象类分放在不同的动态链接库文件中, 各动态链接库有相对简单、明确的功能, 并且相互间的偶合性较低。使用动态链接库技术使得软件的开发可以并行进行, 也使得软件系统的测试、修改变得简单、方便。

ASSTDS 系统采用面向对象的分析思想分别对静力试验设计业务和图形交互进行系统分析、设计, 定义多种基类对象与其它对象, 建立起这些对象之间的引用关系。通过继承与重载极大地降低了软件开发难度和开发周期, 同时采用 MFC 的文档/视图软件架构、序列化技术以及动态链接库技术也使得软件系统的开发变得可靠、快捷。

6 结语

对象的封装性严格、清晰地定义了对象的边界, 使软件系统的联合调试变得简单; 对象的继承性方便、有效地解决了软件代码的重用性, 提高软件开发效率; 函数和方法重载所表现的对象多态性使得共同性问题和特殊性问题的处理变的容易。使用面向对象的分析思想和开发技术将有效地缩短软件系统的开发周期, 降低软件系统维护扩充的难度并且提高了软件系统的质量。

面向对象的系统分析思想和软件开发技术是当前软件开发中比较先进的思想和技术。飞机结构静力试验设计系统对象体系是静力试验设计业务的抽象, 也是静力试验设计软件系统设计、开发的基础。基于飞

(下转第 79 页)

个发射周期进行调度的指令同时发射, 在汇编代码中以||表示同时发射. 如下图 7 所示.

```

_main_5:
u5=u14 + 0
u13=_b||u6=u14 + 1
xr24=[u13+u5,0]||u7=u14 + 2
u12=_c||xr19=[u13+u6,0]||u0=u14 + 3
xr23=[u12+u5,0]||xr18=[u13+u7,0]
xr22=r24*r23||xr16=[u12+u6,0]||xr17=[u13+u0,0]
u11=_a||xr13=r19*r16||xr15=[u12+u7,0]
[u11+u5,0]=xr22||xr12=r18*r15||xr14=[u12+u0,0]
[u11+u6,0] = xr13||xr10=r17*r14
[u11+u7,0] = xr12
[u11+u0,0] = xr10
u14=u14 + 8
xr11=u14
xr10=32

```

图 7 含有多发射指令的汇编代码

5 总结

软件流水是目前主流编译器常见的优化策略. 在基于多簇体系结构的编译器中实现软件流水框架需要考量分簇和流水之前的次序.

本文主要介绍了基于 BWDSP100 的编译器 BWCC 中软件流水框架的设计与实现. 将分簇与流水进行统一考量. 针对 DSP 的常见应用程序的特点即数值计算多, 迭代间依赖较少来实现的. 在 DSP 应用领

域有较好的性能提升.

在针对本文所示的 C 语言示例(循环 32 次), 在流水前汇编指令条数 $32 \times 11=352$; 软件流水后(循环展开次数 4 次)汇编指令(包括多发射指令)条数 $8 \times 14=112$. 可以得出在核心循环代码处经过流水后性能提升 68%.

参考文献

- 1 Lam MS. Software pipelining: An effective scheduling technique for VLIW machines. Proc. of the SIGPLAN88 Conference on Programming Language Design and Implementation, June 1988. 318-328.
- 2 Chang PP, Mahkle SA, Chen WY, Water NJ, HWU WW. IMPACT: An architectural framework for multiple-instruction-issue processors. 18th Annual International Symposium on Computer Architecture, Barcelona: ACM Press, 1998: 408-417.
- 3 Fisher JA. Very Long Instruction Word Architectures and the ELI- 512; 1983, 11(3): 140-150.
- 4 Chow F, Hennessy J. Register allocation by priority-based coloring. ACM SIGPLAN Notices, 1984, 19(6): 222-232.
- 5 Philip B, Steven PS. Gibbons Efficient instruction scheduling for a pipelined architecture. ACM SIGPLAN Notices, 1986, 21(7): 11-16.
- 6 雷一鸣, 洪一, 徐云, 姜海涛. 一种基于寄存器压力的 VLIW DSP 分簇算法. 计算机应用, 2010, 30(1): 274-276.
- 7 Rau1 BR. Iterative modulo scheduling: An algorithm for software pipelining loops1. Proc. of the 27th Annual Int'l Symp on Microarchitecture1 New York: ACM Press, 1994: 63-71.

(上接第 56 页)

机结构静力试验计算机辅助设计系统对象体系开发的 ASSTDS 系统已得到初步应用, 在今后的应用中系统对象体系与软件系统还会不断地完善和发展.

参考文献

- 1 Norman RJ. Object-Oriented Systems Analysis And Design. 北京:清华大学出版社, 1997.

- 2 Buhr RJA, Casselman RS. Use Case Maps for Object-Oriented Systems. 北京:清华大学出版社, 1997.
- 3 侯同济. 面向对象的飞机结构试验设计软件分析与开发. 结构强度研究. 2004, 4.
- 4 侯同济. 飞机结构静力试验计算机仿真系统的构架与组成. 结构强度研究. 2005, 2.