

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.04.013

# 民用飞机总体方案设计综合软件 平台框架研究

## Research on Integrated Software Platform for Aircraft General Design

王敏 刘明 王海强 / WANG Min LIU Ming WANG Haiqiang

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

### 摘要:

充分运用系统工程的思想,研究一种高效率、高质量的飞机总体方案设计综合软件平台。通过研究和实践证明,民机总体方案集成化设计的思路是可行的,通过该软件平台可以实现总体方案的一体化集成设计,进行设计方案的快速更改和关联更新,大量减少低效率的人工重复劳动,提高工作效率,从而大幅度提高主机院所的自主设计和创新设计能力。

**关键词:**民用飞机;总体方案设计;系统工程

**中图分类号:**V221

**文献标识码:**A

[Abstract] Following the philosophy of systems engineering, an integrated software platform with high efficiency and high-quality is studied for aircraft general design. The research results and practice have proved that the proposed integrated design is feasible and the quick design change and update of the design dependency can be implemented. The low efficient manual work can be reduced significantly and the work efficiency can be enhanced, thus the level of design independency and innovation can be largely improved.

[Keywords] civil airplane; general design; system engineering

## 0 引言

对于民机设计而言,由于面向民用航空市场,设计时间和成本对民机型号设计的成败有着更为显著的影响。激烈的市场竞争要求主机院所必须在极短的时间内,拿出高质量的、有竞争力的总体设计方案。

依据飞机设计任务的先后关系和详细程度,把飞机整个设计过程分为三个阶段:概念设计、初步设计和详细设计。飞机总体设计指的是从概念设计到初步设计阶段所进行的总体方案设计全过程<sup>[1]</sup>。飞机总体设计是一个复杂的工程系统设计,需要对所面临的数目众多的需求、目标进行综合权衡,以便作出在给定约束条件下的最优方案<sup>[2]</sup>,才

能在技术和商业上取得成功。上述挑战对现有的民机设计能力提出了迫切要求:总体专业必须具备多方案快速迭代、综合化、集成化的设计能力。

传统的民机总体设计手段存在许多问题,制约了飞机总体设计能力的提高。

1) 软件使用模式:专业软件的应用仍然是设计师直接操作软件的一对一模式,由于使用过程复杂,造成工作效率低,人员要求高,软件不能充分共享,价值无法充分发挥;

2) 数据流:各种软件没有按设计流程进行集成,大部分数据衔接需要依赖人工完成,造成设计人员数据处理工作量大,大量低层次的工作重复化,过程效率低,可靠性差;

3) 专业关系:各专业设计模型关系松散,缺乏

关联,方案更改和设计协调的工作量巨大,难以实现各专业的快速设计迭代,难以对设计方案进行综合优化;

4) 过程管理:依靠人际协调,过程不规范,没有真正按设计流程驱动设计过程,缺乏有效手段对任务状态、进度、资源进行控制和管理,严重影响管理效率;

5) 知识和经验:缺乏管理各种知识、经验和规则的有效手段,软件使用结果不规范,知识难以共享和重复利用,企业的知识风险很高。

20 世纪 70 年代开始,依靠计算机强大的计算分析和精确的图形显示,客机总体设计技术彻底升级了。世界上的许多大公司和高校都开发了基于计算机的客机综合分析设计平台<sup>[3-4]</sup>,并产生了一系列核心科研成果和技术,积累了丰富的经验,建立了完善的飞机综合设计系统,大幅提高其技术水平。随着公开的飞机运营资料逐渐增多,一些成熟的软件也应运而生,例如 AAA<sup>[5]</sup>、Piano<sup>[6-7]</sup>、Pacelab<sup>[8]</sup>等。

因此,针对传统的民机总体设计中存在的问题,应借鉴先进的平台框架软件理念,尽快建立起一套可以高效率、高质量地进行飞机总体方案设计的软件平台,实现传统的“基于经验和试错驱动”的设计模式向“基于工程模板和流程驱动”的设计模式转变。

## 1 民用飞机总体方案设计综合软件平台的构建目标

本文充分运用系统工程的思想,建立可以高效率、高质量地进行飞机总体方案设计综合软件平台,大幅度提高主机院/所的自主设计和创新设计能力。

民机总体方案设计综合软件平台应用于概念设计阶段和初步方案设计阶段的总体、气动、性能等方案的综合设计。使用此平台框架可以进行多种总体设计方案的对比,以及多轮设计循环的迭代。在每一个方案设计循环里面,主要关键技术专业的问题都能考虑进去,防止方案留下致命的颠覆性隐患,使相关不同专业的参数组合达到优化,以提供合理的阶段性的总体设计方案,并为后续设计阶段提供设计输入。

民机总体方案设计综合软件平台以“流程 +

框架 + 工具”为基本思路,并提出下列建设目标:

1) 实现对协同设计工作过程的管理,包括任务和数据的处理,资源、进度、状态管理,以提高过程规范性和过程效率,提高管理效率,降低管理难度;

2) 在设计全过程可对各种设计参数、设计模型、分析仿真结果、试验结果和报告等数据进行统一管理 and 统一使用,实现协同设计过程的统一数据源;

3) 建立基于 CAD 环境的相关多学科设计、分析和优化的集成环境,提高过程和数据的关联性;

4) 在设计全过程有效进行知识的封装和重复使用,加强对知识和经验的管理,降低软件使用门槛,并实现企业的长期知识增长体系;

5) 具有高度的开放性和可扩展性,能够适应设计手段的发展和设计理念的变化,能够支持将新程序和工具不断接入系统,能够无需编程而定制系统的流程、功能和界面,可适用于所有设计阶段,为后续总体设计综合平台的完善和更新奠定基础。

## 2 民用飞机总体方案设计综合软件平台的构架

民机总体方案设计综合软件平台的系统框架如图 1 所示。



图 1 平台的系统框架示意图

此平台框架具有以下创新点:

### 1) 系统工程

以规范化的协同设计过程为纽带,从系统的观点出发,组织和协调飞机总体综合设计活动,从而将人员、数据、工具和流程关联为一个动态系统,以保证总体设计各个阶段中的系统化思想能够得到有效地执行和监控;

从系统整体的角度出发,在飞机总体综合设计

所涉及的不同层次、不同学科领域内,开展以模板为表现形式的知识与经验的封装,并建立以流程模板为驱动,以单元模板为最小实现的集成与控制机制,推动总体设计方案的逐步求解,实现总体方案的多学科集成化设计。

#### 2) 协同管理

飞机总体设计的基本特征是团队协同设计,因此,民机总体方案设计综合软件平台不仅需要通过在集成设计环境中建立统一关联模型来保证团队的数据协同,而且还需要通过在项目流程一体化协同中合理地规划和控制各种设计活动之间的逻辑关系,以实现过程协同。

#### 3) 模块化设计

通过模板开发环境进行民机方案总体设计和分析模板的封装。通过模板对各专业的设计过程和方法进行提炼和抽象,实现知识和经验的固化、管理和重复使用,工程人员可以方便地利用模板内部封装的规则、工具等,通过“搭积木”的方式快速完成设计、建模、分析、仿真等各种不同的工作,简化和加快了设计人员的设计工作。

#### 4) 与 CAD 图形设计环境无缝链接

使用 CATIA 作为图形引擎进行总体方案设计,所有的几何定义都基于 CATIA 环境,所有通过模板进行的设计、建模、分析过程都在 CATIA 环境中完成,各专业之间也基于 CATIA 主模型进行数据对接以实现多专业综合设计。

基于 CATIA 环境的总体方案设计综合软件平台可以在方案设计阶段开展精细程度更高的综合设计,设计结果能够进一步无缝延伸到后期的初步打样设计和详细设计,而无需进行格式转换或模型重构。

#### 5) 开放式、可扩展平台

提供丰富的第三方工具接入接口:平台提供文件、COM、DLL、脚本等多种形式的接口,可以方便地将新的程序和工具接入系统;

定制高度灵活的数据库体系:可根据需要随时通过基本数据类型定制得到新的输出数据库;

进行可丰富功能的模板封装:在模板开发环境中可通过模板封装不断将新的知识、方法纳入系统,实现平台专业设计功能的不断深化;

实现可拓展的应用范围:在集成设计环境中,用户可以根据需要开发新的专业设计模板,实现平

台应用范围的不断拓展。例如,可将平台的应用范围拓展到结构设计、系统设计等。

## 3 民用飞机总体方案设计综合软件平台框架的技术特征

### 3.1 项目流程一体化管理模块

项目流程一体化管理模块是项目管理与流程管理一体的综合管理系统,主要是通过过程定义、过程驱动和过程监控来实现。通过过程定义,可以保证设计流程的规范性和可重复性,通过过程驱动,可以保证总体设计工作的有序推进,而通过过程监控,又可使各级设计人员有效、及时地了解设计状态和设计进度,为过程调整提供依据。

项目流程一体化管理模块的具体技术特征如下:

1) 流程管理与项目管理完全一体,底层共用一套任务单元信息;

2) 采用基于“时间 + 逻辑 + 数据”的任务驱动机制;

3) 提供丰富直观的任务定义视图,流程定义、人员定义、计划定义、统计分析等视图实时联动;

4) 对开发过程进行全面的实时监控,各级工程管理人员可以对项目状态、任务完成情况、资源使用率进行更好地追踪。

### 3.2 模板开发环境

模板开发环境是设计、分析工具和知识的封装环境。模板开发环境可以大大降低专业软件的使用难度,实现知识和经验的管理,以及提高系统的开放性和可扩展性。

模板开发环境具体技术特征如下:

1) 可定制直接面向工程任务的人机界面;

2) 可对各类设计、分析模型或应用软件进行集成和封装;

3) 可在后台驱动设计、分析、仿真软件的建模、求解和后处理过程;

4) 可定义参数、文件、对象类型的数据接口;

5) 可进行输入输出文件或脚本文件的解析;

6) 可进行公式及表达式的定义;

7) 可集成可执行应用程序;

8) 可定义数据库结构和进行数据库录入、查询、更新、删除操作。

### 3.3 集成设计环境

集成设计环境是多学科设计、多学科建模、多学科分析的一体化环境。通过调用设计、建模、分析模板、基础数据库,可以快速建立设计对象的统一关联模型,实现总体设计方案的快速建模、快速分析以及快速协同更改。

集成设计环境的具体技术特征如下:

- 1) 可搭积木式地用模板快速建立总体设计方案以及多学科分析模型;
- 2) 可通过数据流和控制流将设计对象关联起来;
- 3) 可根据数据流、控制流进行模型的协同更改和运行;
- 4) 可方便地将若干模板有机地封装为组合模板;
- 5) 无需底层开发就可快速构造一个复杂的多学科任务;
- 6) 可无缝集成 CATIA 环境,可直接在 CATIA 环境中编辑模板对象;
- 7) 可对数据状态和任务执行状态进行实时管理;
- 8) 可检索和查看方案模型、数据和报告。

## 4 平台应用实例

根据上述研究思路建立了一个民用飞机总体方案设计综合软件平台,并通过一个 150 座级的民用飞机总体方案设计的验证案例对平台的技术思路可行性及设计结果可信度进行验证。

结果证明使用此平台能够实现总体方案的一体化集成设计,在此平台完成了下述功能:

- 1) 采用项目流程一体化管理模块进行了任务分解、任务派发、流程驱动、任务监控;
- 2) 在集成化设计环境中,基于设计流程建立了设计方案的统一关联模型,实现设计方案的快速更改和关联更新;
- 3) 实现了各模板库的专业功能,包括布局设计模板库、外形设计模板库、布置设计模板库、气动分析模板库、重量分析模板库、性能分析模板库和操稳分析模板库;
- 4) 完成了各模板之间的数据接口和数据传递。

案例所采用的设计流程如图 2 所示。

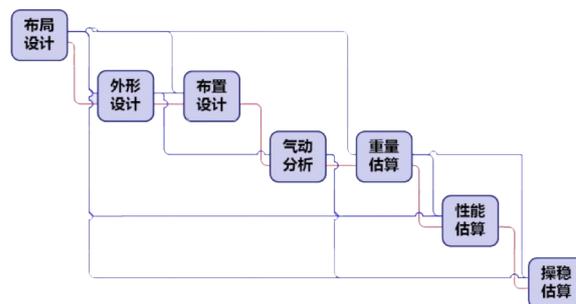


图 2 设计流程

完成的飞机总体设计参数见表 1。

表 1 飞机总体设计参数

参数类型	参数名	参数值
机身	全机长度	38.6m
	全机宽度(无小翼)	34.4m
	全机高度	12.6m
	机身宽度	4.0 m
	机身高度	4.2 m
	机身横截面积	12.9 m <sup>2</sup>
	机翼	机翼面积
短舱 起落架	翼展(无小翼)	3.4m
	展弦比	9.257
	梢根比	0.212
	25% 弦线后掠角	25 °
	平均气动弦长	4.4m
	上反角	6 °
	距对称面距离	6.1m
	前起到机头距离	5.7m
	前主轮距	13.2m
	主轮距	8.4m
平尾	擦地角	15 °
	平尾面积	30.9 m <sup>2</sup>
	翼展	12.4m
	展弦比	5
	梢根比	0.33
	25% 弦线后掠角	28 °
	平均气动弦长	2.7m
垂尾	上反角	6 °
	尾容量	1.021
	垂尾面积	22.4 m <sup>2</sup>
	翼展	6.0m
	展弦比	1.6
	梢根比	0.35
	25% 弦线后掠角	35 °
平均气动弦长	4.0m	
	尾容量	0.176

完成的机身等直段剖面如图3所示。

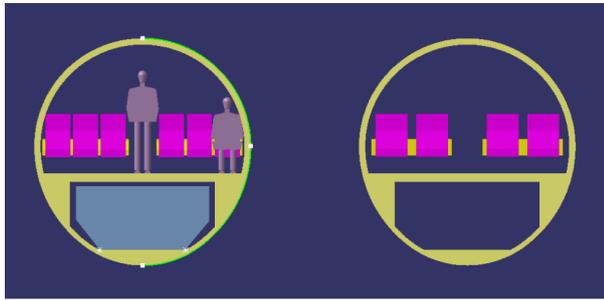


图3 机身等直段剖面

完成的全机三面图如图4所示。

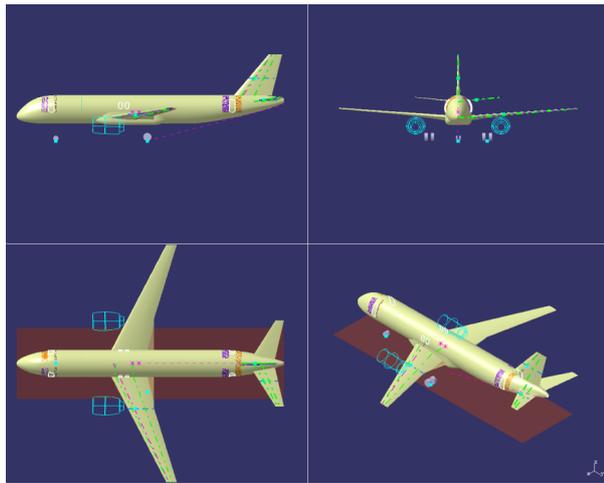


图4 全机三面图

完成的混合级客舱布置如图5所示。

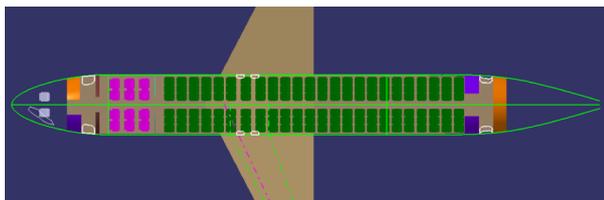


图5 混合级客舱布置图

将案例实施和某型号预研阶段的设计方法、设计结果和设计周期相对比,情况如下:

1) 布局、布置、外形设计见表2。

表2 布局、布置、外形设计对比

	平台实施	某型号预研
设计方法	建立基于CATIA的统一关联设计模型;竞争机型数据的参考;部分适航条款的约束;参数化外形设计	人工协调参数和数模专家系统决策;相关适航条款的约束;参数化外形设计和非参数化外形设计相结合
用时	十几分钟	数天

布局、布置、外形设计对比结果:

总体布局、布置、外形设计与某型号预研结果基本一致。

2) 重量特性估算见表3。

表3 重量特性估算对比

	平台实施	某型号预研
设计方法	运用经典的经验公式估算方法进行最大起飞重量和使用空机重量估算	3A软件以及其它经验估算方法同时估算,并结合对同类竞争机型的对比分析进行修正
用时	几分钟	数小时

对比结果:

最大起飞重量和使用空机重量的计算结果和某型号预研结果误差在20%之内。

3) 气动特性分析见表4。

表4 气动特性分析对比

	平台实施	某型号预研
设计方法	PANAIR软件:该软件采用高阶面元法,求解亚音速和超音速飞行条件下的线化位流边界值问题	分析软件:基于NS方程的软件CFX,用于气动分析;设计程序:BLWF,基于全速势方程和边界层粘性修正,用于机翼设计
用时	几分钟	几十个CPU小时

气动特性分析对比结果:

在流场模拟方面,PANAIR无法计算包含跨音速条件、粘性效应及分离条件的流场;而BLWF可以计算弱分离,并能进行粘性修正;CFX软件无此限制。

在使用范围方面,PANAIR可以用来进行全机气动力评估;而现在BLWF只能计算翼身组合体构型,仅用于机翼设计;CFX用于全机或部件气动力详细分析。

平台PANAIR宏观气动力系数、压力云图的结果趋势和某型号预研基本一致;但PANAIR比较适用于方案设计阶段的快速分析,但在数据准确度和应用范围有所局限。

4) 性能估算见表5。

表 5 性能估算对比

	平台实施	某型号预研
设计方法	采用快速的工程估算方法对性能进行估算,为方案的更改和评估提供决策依据	自主研发的性能分析软件,可用于详细设计阶段性能计算分析
用时	几分钟	数小时

性能估算对比结果:

由于采用了快速的工程估算方法,平台大大简化了性能估算的输入数据量和输入参数,减少了数据前期准备和后处理的时间。

起飞场长和着陆场长的计算结果与某型号预研结果误差在 20% 之内。

## 5 结论

本文建立了一个民机总体方案设计综合软件平台框架,实现了初步的集成设计功能。实践证明,民机总体方案集成化设计的思路是通的,可以实现设计方案的快速更改和关联更新,大大减少低层次的人工重复劳动,提高工作效率。可以预期,经过进一步的发展和不懈努力,我们最终将建立工程化的民机总体设计平台,在统一的环境中实现民机总体方案的一体化设计、分析,为型号的研制提供先进的数字化手段。

### 参考文献:

[1] 余雄庆,徐惠民,昂海松. 飞机总体设计[M]. 北京:航

空工业出版社,2000; 2-16.

[2] 陈迎春,宋文滨,刘洪. 民用飞机总体设计[M]. 上海:上海交通大学出版社,2010.

[3] WALLACE R E. Parametric and Optimization Techniques for Airplane Design Synthesis, AGARD LS-56, April 1972.

[4] HELDENFELS R R. Integrated Computer-aided Design of Aircraft[J]. AGARD CP-147 Vol. 1, Paper No. 16, October 1973.

[5] ROSKAM J. Airplane Design[M]. Ottawa (KS, USA): Roskam Aviation and Engineering Corporation, 1985.

[6] SIMOS D. Piano-X aircraft emissions and performance user's guide[M]. Woodhouse Eaves (UK): Lissys Ltd, 2008.

[7] SIMOS D. Computer methods for the preliminary design and operational optimization of twin engine propeller driven aircraft[D]. Loughborough (UK): Loughborough University, 1984.

[8] PACE Documentation Library. Pacelab suite for preliminary design: customer benefits and functional description (Pacelab Whitepaper)[M]. Berlin (Germany): PACE Aerospace Engineering and Information Technology GmbH, 2007.

### 作者简介

王敏 女,硕士研究生,高级工程师。主要研究方向:总体布局设计;Tel:021-20865600;E-mail:wangmin@comac.cc

刘明 男,硕士研究生,工程师。主要研究方向:总体布局设计;Tel:021-20865725;E-mail:liuming@comac.cc

王海强 男,博士,工程师。主要研究方向:总体布局设计;Tel:021-20865601;E-mail:wanghaiqiang@comac.cc