

文章编号: 1000-8055(2007)03-0452-06

# 风扇/压气机气动设计系统建设初探

杜辉, 陈葆实, 胡国荣, 蒋大智  
(中国一航沈阳发动机设计研究所, 沈阳 110015)

**摘 要:** 简述了中国一航沈阳发动机设计研究所风扇/压气机气动设计系统建设的基本思路。为了积累设计经验、规范设计方法、减轻设计人员劳动强度、提高设计效率和可靠性,在多年风扇/压气机设计及型号研制的基础上,初步完成了可视化、网络化的风扇/压气机现代气动设计系统的建设。该系统已经过初步测试,现已应用于工程设计中。

**关 键 词:** 航空、航天推进系统; 风扇; 压气机; 气动设计系统

**中图分类号:** V23

**文献标识码:** A

## Preliminary development of fan and compressor aerodynamic design system

DU Hui, CHEN Baoshi, HU Guorong, JIANG Dazhi

(Shenyang Aeroengine Research Institute (SAERI), AVIC No. 1, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** This paper provides a brief introduction of the development of SAERI's Fan and compressor aerodynamic design system. The new developed system is also a platform to cumulate experience and design rules. Emphasis was placed on making the system efficient, easy to use and flexible. Now the system has been used in compressor design.

**Key words:** aerospace propulsion system; fan; compressor; aerodynamic design system

风扇/压气机的设计是航空发动机设计体系中重要的子系统,需要设计、测试、试验、管理人员的协同工作才能顺利完成。我国目前的风扇/压气机设计水平和国际先进水平的差距较大,表现在设计系统上的落后,一方面体现在关键的数据库、准则库、方法和模型等具体技术环节尚需完善,另一方面就是设计系统本身没有充分利用现代计算机和网络技术的成果,建立起经济、高效和可靠的风扇/压气机现代设计系统<sup>[23]</sup>。

此外,中国一航沈阳发动机设计研究所(606所)在总结自身的发动机设计水平发展历程中深刻体会到设计经验积累的重要性。积累就需要有载体,设计体系就是积累设计经验的有效载体。国外各大发动机设计公司非常重视设计经验的积

累,以公司内部的设计系统为载体,通过各种部件及整机的验证计划,在不断地验证、改进和完善其部件设计系统,提高其设计计算精度和可靠性。同时,将设计经验也积累和传承了下来,从而走上了良性循环的发展道路。因此,我国航空发动机研制单位也应当在不断地验证、改进和完善现有部件设计系统的同时,注重设计经验的积累和传承,也要走上良性循环的发展道路。

风扇/压气机气动设计体系的核心应当包括设计规范、设计软件系统和数据库三部分,但在设计经验缺乏和数据库较少的情况下,其核心就是设计软件系统。在国内某计划开展以前,606所在多年型号研制的基础上,已积累了一些设计软件资源,也初步形成了一套风扇气动设计系统,并成

功应用于双级高性能风扇、某增推型发动机的风扇等多个风扇试验件的设计. 与国外先进的风扇/ 压气机设计系统相比, 该气动设计系统在规范化、可视化、系统化、网络化和数字化等方面还有诸多不足, 同时在高压压气机设计方面还有待验证、改进和完善. 为此在国内某计划的支持下, 以原风扇气动设计系统为基础, 发展了新的风扇/ 压气机气动设计系统, 在大力校验和完善风扇/ 压气机设计规范、设计软件和数据库的同时, 利用计算机和网络技术对风扇/ 压气机设计系统进行了整合和集成, 通过气动设计人员、管理人员、软件开发人员的共同努力, 初步建立了工程适用的风扇/ 压气机现代气动设计系统.

## 1 设计系统集成的目的

设计系统集成主要有以下几个目的:

- (1) 规范化: 贯彻设计规范, 统一设计流程, 使风扇/ 压气机的气动设计规范化.
- (2) 数字化: 贯彻全流程设计过程的数字化, 尽可能减少不确定的描述, 使风扇/ 压气机的气动设计向无纸化过渡.
- (3) 网络化: 实现风扇/ 压气机气动设计网络化, 通过网络资源共享, 使得气动设计人员、结构设计人员、测试和试验人员, 以及管理人员能够最大限度地协同工作, 并为将来可能的异地协同设计奠定基础.
- (4) 可视化: 实现风扇/ 压气机气动设计可视化, 改善人机交流环境, 使得设计人员能够在第一时间发现设计缺陷.
- (5) 自动化: 最大限度地减少设计人员不必要的重复劳动, 减少人为操作可能带来的各种差错, 提高设计效率.
- (6) 建立经验积累平台: 以前在设计中积累的一些经验是基于不同设计软件或设计方法的, 自然是零散的, 不完整的. 而基于统一的设计系统, 由于采用了相同的设计软件和统一的设计流程, 使得以后的经验积累能够被很好地继承下来.
- (7) 缩短设计周期、提高设计质量. 规范化、数字化、网络化和自动化的设计系统显然会有效缩短设计周期, 降低设计成本, 同时还提高了设计质量.

## 2 设计系统集成的方法

### 2.1 系统需求分析

由气动设计人员和软件开发人员共同完成,

由软件开发人员通过对气动设计人员的知识挖掘最终定稿. 该项工作是系统集成的基础工作, 需花费大量的时间来完成. 目前建立的风扇/ 压气机气动设计系统具有以下功能.

基本功能:

- # 适用于多级轴流风扇、风扇/ 增压级和高压压气机的气动设计;
- # 具备一维正反问题、二维正反问题和三维流场计算分析的能力;
- # 能够进行传统叶型和定制叶型的设计;
- # 允许输入外部几何, 并对部分流程进行单独执行;
- # 提供数据库和网络服务功能;
- # 基本的数据管理和用户权限管理的功能, 保证和相关专业交换的数据连续.

图形用户接口:

- # 交互式数据图形输入界面;
- # 固化经验的输出检查界面.

软件特性:

- # 模块化设计;
- # 编码符合 GB8567288 标准.

### 2.1.1 气动设计软件需求分析

以上述系统需求分析结果为依据, 由气动设计人员总结以往经验, 并考虑风扇/ 压气机气动设计的未来发展趋势, 完成气动设计软件的需求分析. 在目前的设计系统中, 气动设计软件的构成基本上与国内外各大发动机公司的情况一致. 为了便于对比, 下面在简要介绍 606 所气动设计软件的需求分析时, 同时给出国外某公司的先进气动设计软件的系统构成.

#### (1) 一维设计分析程序

沈阳发动机设计研究所的系统:

基本原理采用的是气动热力学关系+ 经验公式. 在系统集成前没有数据输入界面, 仅有简单的 DOS 图形界面. 系统集成后具有数据检查功能的图形输入界面和体现设计规范的输出检查界面.

国外某先进系统:

基本原理采用的也是气动热力学关系+ 经验公式. 该软件系统有独立的体现设计规范的输出检查界面.

#### (2) 二维反问题设计程序

沈阳发动机设计研究所的系统:

采用的是经过校核的流线曲率通流法, 可考虑变比热、叶片力和叶片厚度的影响, 可用于单、双涵风扇/ 压气机计算. 图 1 给出了该系统 S2 设

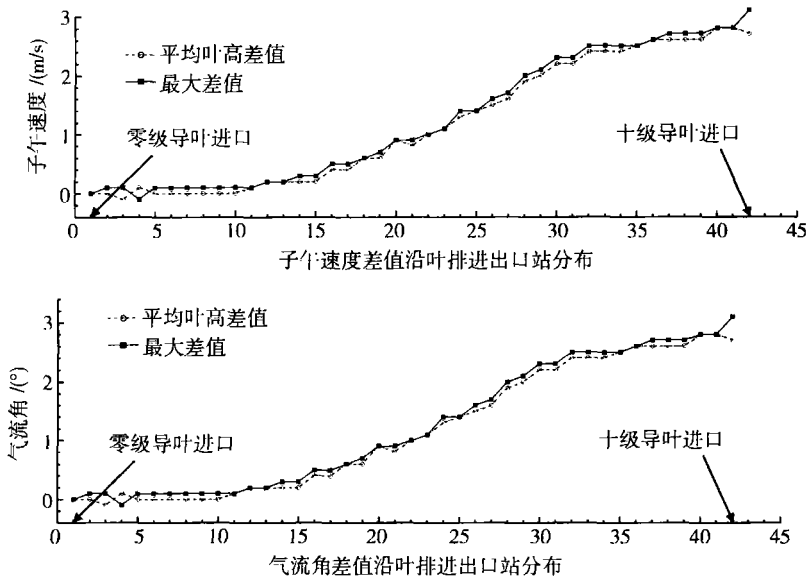


图 1 606 所 S2 通流程序和某先进程序计算结果的比较

Fig. 1 Comparison between the calculation results of 606 s S2 throughflow programme and one advame programme

计软件和国外某先进设计软件计算结果的对比。

在系统集成前仅有简单的 DOS 界面,可检查流路等基本图形.系统集成后,输入界面要求具有交互和实时编辑功能,输出要具有体现设计经验的定制的图形检查界面。

国外某先进系统:

基于数据库管理的流线曲率通流法,可考虑变比热、叶片厚度的影响,可用于单双涵风扇/压气机和涡轮的 S2 流场计算.具有数据检查功能的图形交互输入界面,输出图形界面具有一定的规范性。

(3) 叶片造型程序

沈阳发动机设计研究所的系统:

可用于风扇/压气机的传统叶型和非标准 (NSA) 叶型的造型,同时具有灵活的 CDA 造型手段.在系统集成前,基本没有独立的图形界面,采用第三方软件进行绘图.系统集成后,具有独立的图形检查界面。

国外某先进系统:

可用于风扇/压气机的传统叶型和非标准 (NSA) 叶型的造型,以及各种几何参数的检查.功能较灵活但同时给使用带来一定复杂性。

(4) S1 流面分析程序

沈阳发动机设计研究所的系统:

优选了两种 S1 分析程序.均经过试验数据校核,可满足工程基本使用要求。

国外某先进系统:

三种不同功能的 S1 分析程序,经过了大量数据校核。

(5) 三维分析程序

沈阳发动机设计研究所的系统:

内部软件和 Numeca 等商业软件。

国外某先进系统:

内部软件和 Numeca 等商用软件。

通过以上对比分析可以看出,集成后的气动设计软件系统在软件构成、主要设计方法上与国际先进设计系统的情况基本一致,集成后用户使用更方便,人机界面友好.基于上述气动设计软件的需求分析,完成了详细的气动设计界面系统集成需求书,图 2 给出了论证时的系统界面演示版。

2.1.2 系统结构分析

基于分步走的思路,在系统建设顶层设计阶段,对设计系统结构提出了以下几方面的要求:

- (1) 系统要继承现有的气动设计软件,对新加的模块进行系统数据传递的链接;
- (2) 系统为网络版,核心计算分析软件安装在系统服务器上,在客户端可用,但不可见,保证软件的安全性和可靠性;
- (3) 系统的输入界面全部采用中文菜单,专业设计人员通过简单培训即可熟悉系统,并能够独立开展设计工作;
- (4) 系统数据流是双向可控的,可按要求管理数据文件;
- (5) 系统用户实行分级管理。

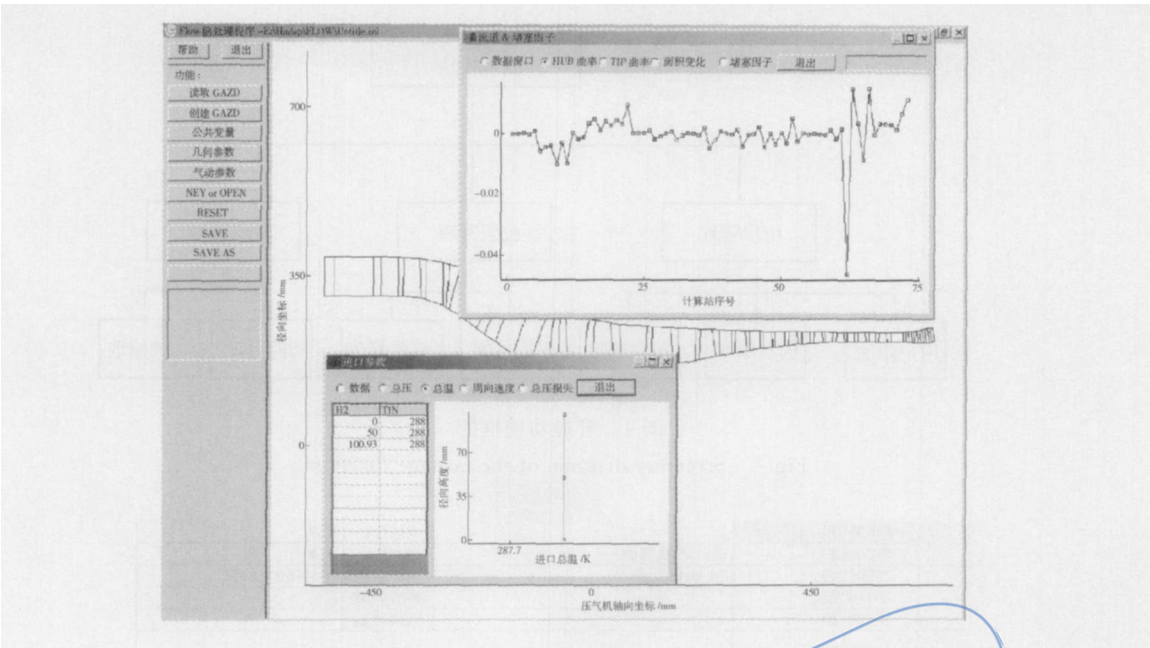


图 2 演示用的 S2 流场计算软件管理界面  
Fig. 2 Manage panel of the demo S2 programme

在系统集成过程中, 对气动设计软件的适应性修改采用的是惯用的 FORTRAN 语言, 对系统的其它部分采用了 C++ 语言编写. 整个系统完全独

立, 可安装于 Windows2000/ NT 以上版本的操作系统中, 并可根据客户端操作系统的不同进行重新编译、执行. 图 3 给出了该系统的结构框图.

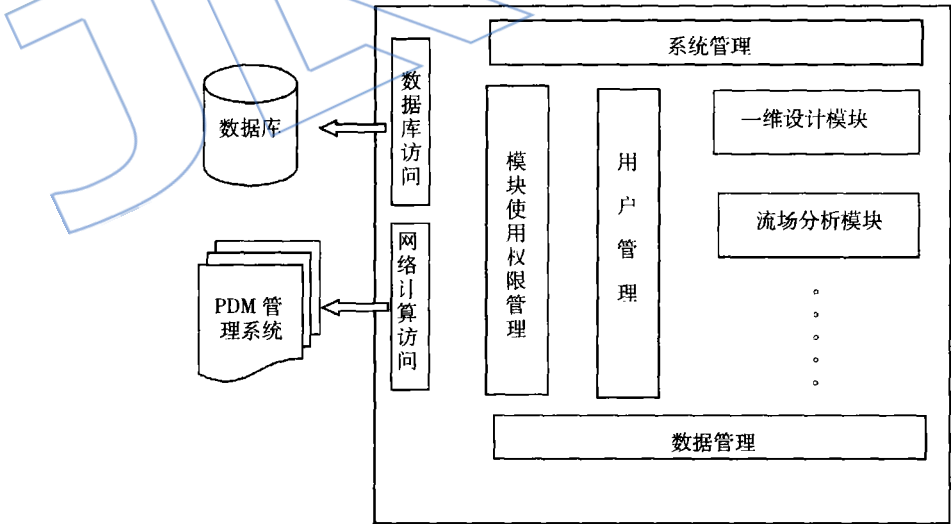


图 3 风扇压气机设计系统结构框图  
Fig. 3 Structure diagram of the Fan/Compressor design system

2.2 功能需求分析

在完成系统需求分析后, 进行了详细的系统功能分析. 以详细的功能列表给出了功能需求, 使气动设计人员和软件开发人员建立了沟通平台.

图 4 给出了基本的管理功能框图. 图 5 给出

了数据库设计表单样本.

2.3 系统详细设计及测试

在上述系统需求分析和功能分析工作全部完成以后, 专业软件开发人员开始进行系统详细设计和编码工作. 在系统集成过程中, 软件开发小组

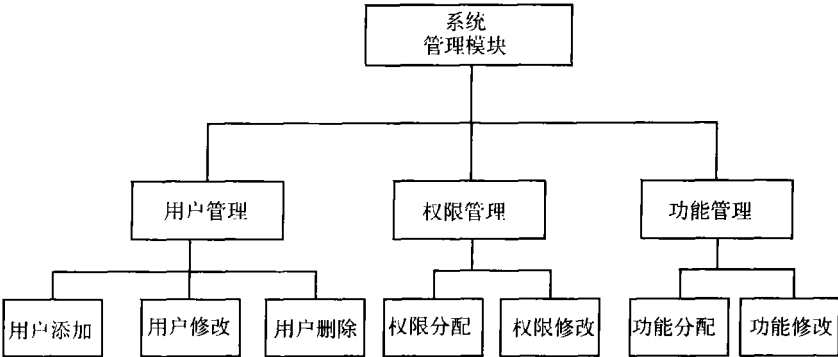


图 4 管理功能框图

Fig. 4 Structure diagram of the manage fuaction

|      |          |           |          |                 |    |        |
|------|----------|-----------|----------|-----------------|----|--------|
| 内部编号 |          | 设计人       |          | 某某              |    |        |
| 中文名称 |          | 设计的数据表    |          | 制作人 某某          |    |        |
| 内部代码 |          | tbl_data  |          | 设计时间 2004年9月29日 |    |        |
| 项目类型 |          |           |          | 修改时间            |    |        |
| 序列值  |          |           |          | 系统代码            |    |        |
| 包含视图 |          |           |          |                 |    |        |
| 存储函数 |          |           |          |                 |    |        |
| 序号   | 名 称      | 编 码       | 类型       | 宽度              | 精度 | 是否允许为空 |
| 1    | 流水号      | did       | int      | 4               |    | N      |
| 2    | 模块号      | mid       | int      | 4               |    | N      |
| 3    | 方案号      | sid       | int      | 4               |    | N      |
| 4    | 提交的模块    | rmoudle   | varchar  | 1000            |    | N      |
| 5    | 提交时的描述信息 | rdescrib  | varchar  | 500             |    | Y      |
| 6    | 提交人ID    | ruid      | int      | 4               |    | N      |
| 7    | 提交时间     | runtime   | datetime | 8               |    | Y      |
| 8    | 方案通过时间   | exinttime | datetime | 8               |    | Y      |
| 9    | 删除时间     | outtime   | datetime | 8               |    | Y      |
| 10   | 审核人ID    | exuid     | int      | 4               |    | N      |
| 11   | 审核人的描述   | exdescrib | varchar  | 500             |    | Y      |
| 12   | 是否删除标志   | delsign   | bit      | 1               |    | N      |

图 5 数据库设计表单样本

Fig. 5 Sample of the database design form

对图形交互显示、PDF 浏览器等进行了专项的开发,使系统集成后的文档管理和图形交互工作更加流畅.在程序编码过程中,同步进行了各种气动设计软件测试和校验工作.在全部编码和独立软件、子系统测试工作完成之后,进行了系统集成和测试,这是一项长期过程,在测试版本(当前为 V5.2 版)投入使用过程中,会根据不断暴露出的新问题进行修改和完善;此外,在测试过程中设计开发小组还会不断完善设计需求,以完善系统的结构和功能.

系统软件的开发涉及跨专业的合作,为此需要研究所领导和各个部门的大力支持,在风扇/压气机气动设计系统建设中,606 所提出了以用户需求为主导,以开发人员为主体的管理模式,对系统成功研发提供了组织保障.

2.4 系统效益分析

集成后的风扇/压气机气动设计系统由于采用了大量的网络管理及交互式图形界面接口等技

术,设计系统的这种可视化和网络化给风扇/压气机的气动设计带来了多方面的收益.

第一,新系统的数据管理模块能保证所有设计数据的唯一性和复现性.由于规范了数据管理,所有设计人员采用的是同一套数据且可用本系统复算,这大大的提高了原有设计数据的利用率和参考价值,可使缺乏经验的设计人员尽快掌握设计经验.

第二,新设计系统的用户管理功能为多单位协同设计及深度学术交流提供了平台,采用新系统后,可以吸引大量的院校和兄弟单位的研究人员利用该系统进行共同工程设计工作,而不用担心设计核心软件的保密问题.

第三,新系统整合了全部设计流程并采用交互式图形界面完成各设计软件的前后处理工作,提高了设计人员的工作效率,初步测算表明,新系统仅在 S2 流场计算数据前后处理方面节省约 40% 以上的时间.对全部设计周期的影响将在今

后的工程研制中加以总结.

第四, 新系统的网络管理功能规范了设计软件资源, 避免了设计员对计算软件的更改, 提高了设计方案的置信度.

随着新系统的推广应用, 其收益将进一步显现出来, 目前虽然还不能量化的给出新系统带来的成本收益, 但可以相信其成本收益也将是可观的.

3 结 论

为此在国内某计划的支持下, 以 606 所原风扇设计系统为基础, 发展了新的风扇/ 压气机气动设计系统, 在大力校验和完善风扇/ 压气机设计规范、设计软件和数据库的同时, 利用计算机和网络技术对风扇/ 压气机设计系统进行了整合和集成, 通过气动设计人员、管理人员、软件开发人员的共同努力, 初步建立了工程适用的风扇/ 压气机现代气动设计系统. 该系统将十余个气动设计软件集成为一体, 涵盖了风扇/ 压气机气动设计的全部流程, 为结构设计、强度和振动计算提供了接口数据, 并可为制造、测试、试验和管理提供接口数据, 并为将来的异地协同设计工作奠定了初步基础.

通过使风扇/ 压气机现代气动设计系统数字化、可视化、网络化、自动化和规范化, 大大的减轻气动设计人员的人工数据处理的工作强度, 有效缩短了设计周期, 提高了设计质量. 随着系统的推

广应用, 也为风扇/ 压气机气动设计经验的积累和继承建立了统一平台.

通过风扇/ 压气机现代气动设计系统的建立和推广使用, 希望能够促进 606 所的风扇/ 压气机气动设计走上良性循环的发展道路.

致 谢

风扇/ 压气机气动设计系统的建设得到了所领导和相关部门的大力支持, 在此表示衷心的感谢, 特别是杨士杰副总师, 为该系统的研发指导付出了大量心血. 另外, 计算机工程师冯国浩对系统界面软件标准化工作也付出了辛勤的劳动. 风扇/ 压气机气动设计师和软件开发工程师们热情的投入也是系统集成的关键所在, 在此对所有参加系统集成的工作人员表示衷心的感谢.

参考文献:

[1] Miller M J, Durschmidt D F, Medlock A, et al. An integrated design system for fan, compressor and turbine2Part 1 overview[R]. ASME GT200453631.

[2] Sandel W A, Miller M J. An integrated design system for fan, compressor, and turbines2Part 2 interactive interface [R]. ASME GT200453632.

[3] Durschmidt D F, Medlock A, Miller M J. An integrated design system for fan, compressor, and turbines2Part 3 fan and compressor airfoil geometry generators [ R ]. ASME GT200453633.