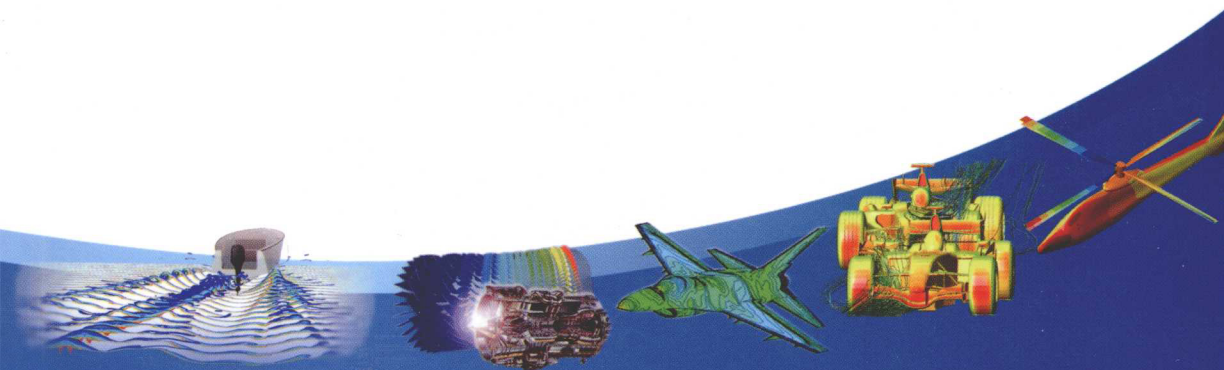


Advanced Developments for Better Products



NUMECA系列教程



郭然 贾力平 樊小莉 刘云飞 祝昭 何晓辉 等编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



NUMECA 系列教程

郭 然 贾力平 樊小莉 等编著
刘云飞 祝 昭 何晓辉



机械工业出版社

NUMECA 是全球领先的 CAE 软件。随着数值求解技术在工业领域的飞速发展, NUMECA 的普及率越来越高, 用户也越来越多。

本书详细介绍了 NUMECA 软件的操作, 并给出了若干典型的应用案例, 旨在为 NUMECA 软件使用者提供系统、详尽的学习材料。

本书假设读者了解计算流体力学和航空航天、能源、动力、海洋、船舶、交通运输及兵器工业等的基本概念, 可作为 NUMECA 产品初学者的指导材料, 也可作为以上领域本科生和研究生的学习教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

NUMECA 系列教程/郭然等编著. —北京: 机械工业出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-111-41259-5

I. ①N… II. ①郭… III. ①软件—教材 IV. ①TP31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 015320 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 曲彩云 责任编辑: 曲彩云

版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉 常天培

责任印制: 张楠

北京双青印刷厂印刷

2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·26.25 印张·585 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-41259-5

ISBN 978-7-89433-785-6 (光盘)

定价: 79.00 元 (含 1DVD)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

策划编辑(010)88379782

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010)88379203

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

卷 首 语

This Series of Tutorials represents an important step in the communication and exchanges with



the growing number of NUMECA users in China and I would like to warmly thank the staff of NUMECA-China, for the remarkable work performed in developing this first comprehensive book of tutorials of the NUMECA software.

I wish also to take this opportunity to express our pride to be able to accompany with our software, the impressive development of the industry and the technology in China, supporting many institutes, universities and companies in their research, development and innovation.

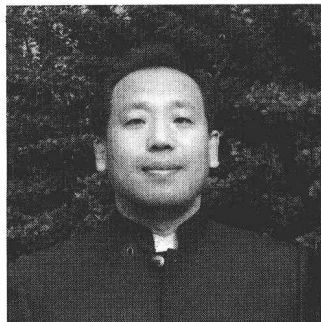
The input from all these users in China is also a strong simulation and encouragement for the whole team of NUMECA Interna-

tional, to further extend the range of its software towards more challenging applications and more innovative methodologies, and further respond to the requests of its numerous customers. Many thanks to all of them.

Prof. Charles Hirsch

Fellow of the Royal Flemish Academy of Belgium for Sciences and Arts (比利时皇家科学院院士)

President and Founder of NUMECA (NUMECA 公司创始人及总裁)



持续的市场推动,促使全球 CAE 界正在发生从仿真到逼真、从快速到极速、从广度到深度、从固端到云端的深刻变革。作为行业技术创新的领导者,本土化、普及化始终是我们的优先诉求与持久愿景。

NUMECA 大中华区首席代表 隋俊友先生

序

经过 NUMECA 中国公司全体技术人员的努力,《NUMECA 系列教程》终于在 2013 年初春与 NUMECA 软件产品的使用单位及潜在用户,包括高等学校、研究院所和工厂企业的广大师生、技术人员和研发人员见面了,这是一件很有意义的工作。

NUMECA 系列产品至今已广泛应用于复杂流动、多物理场、噪声等方面的数值模拟、精细设计和性能优化。相信此系列教程的出版,对于进一步推进 NUMECA 计算流体动力学及相关分析软件的广泛而有效的应用,具有非常积极的作用。

教程从 NUMECA 公司及软件产品简介开始,详细介绍了一体化网格生成系统 AutoMesh-4G 及其网格划分技术、通用流体力学分析软件 FINE/Open 和叶轮机械内流分析软件 FINE/Turbo,以及 FINE 系列软件通用后处理软件 CFView。同时,结合工程分析和设计中的特定应用实例,重点介绍了船舶与海洋工程水动力学分析软件 FINE/Marine 及其对船舶水动力学复杂流场的模拟与不同的专业模块、叶轮机械三维叶轮的参数化建模和拟合软件 AutoBlade、基于现代优化理论并与参数化建模和计算流体力学有机结合的叶轮机械全三维优化设计平台 FINE/Design3D、基于网格的耦合界面并行平台的多物理场耦合软件及用于全频流动和振动噪声分析软件 VNoise,特别是专门介绍了 NUMECA 软件的 8 项特色功能,即用户自定义技术 OpenLabs、与有限元载荷分析相容的 FINE/Turbo 和 FINE/Open 输出接口模块、快速求解叶轮机械非定常流动问题的 Hamonic 非线性谐波法、体现相邻静叶排或转子叶排相互影响的时序效应 Clocking、考虑近壁面上流体流动从层流向湍流转换及其影响因素、应用于燃气轮机热端部件气膜冷却及压气机抽吸技术的 Cooling/Bleed 模块、模拟流体和固体之间热传导的共轭传热模块、Python 脚本语言应用,以及能够模拟燃烧和辐射的燃烧模块和辐射模块。编者结合自身多年来为用户提供 NUMECA 软件应用演示、工程研发和咨询服务所获得的实际经验,详细介绍了各个软件的基本组成及使用范围、界面操作流程,并引用实例逐步讲解了各个软件的基本用法。

该教程侧重于对 NUMECA 相关 CFD 软件应用的指导,针对性和实用性强,是 NUMECA 软件初学者必不可少的一本入门教程。需要指出的是:CFD 软件开发及验证所依赖的计算流体动力学基本理论及其数值方法、流体力学基本原理及其物理基础、实验流体力学理论及其测试技术是相当复杂和十分深奥的。因

此,为了能够从理论上分析并在物理上较好理解 CFD 应用实例的计算结果,需要专门花时间来学习与之紧密相关的计算流体动力学等专业书籍。除了国内常见的计算流体动力学教科书和专著外,这里向大家推荐 Charles Hirsch 教授的两本经典专著 *Numerical Computation of Internal and External Flows: Fundamentals of Numerical Discretization*, *Numerical Computation of Internal and External Flows: Computational Methods for Inviscid and Viscous Flows* (1991) 以及新著 *Numerical Computation of Internal and External Flows* (2007)。Hirsch 教授是国际著名的 CFD 专家,一直致力于计算流体动力学的理论研究和工程应用推广,对计算流体动力学有非常深刻的理解、独到的见解和非凡的创造力,是 NUMECA 公司的创始人,曾获 CFD 业界的 Iwan Akerman 顶级大奖。

相信通过 NUMECA 系列教程的学习指导和应用实例的不断实践,结合对上述计算流体动力学专业书籍的研读理解,NUMECA 软件初学者一定能够成长为一名熟练应用 NUMECA 系列软件、能够对 CFD 结果进行合理分析并能够进一步进行工程设计及优化的优秀专门人才。

丰镇平

2013 年 1 月 7 日

于西安交通大学

前 言

CAE 技术的商业化给包括中国在内的全球企业发展带来了强劲的动力。尤其是近 20 年来,从最初的并不为业界广泛接受,发展到如今各行各业无法脱离 CAE 技术,CAE 已经成为工业研发中的核心环节,而不再是锦上添花。国内 CAE 行业取得的进步和成就有目共睹,CAE 在中国找到了其发挥作用的巨大舞台,为各行业人才的产品设计提供了有力支撑,并带动了一系列的基础研究工作。NUMECA 作为当前全球最先进、最具创新性的 CAE 软件,为中国制造业的飞速发展提供了巨大的动力。

NUMECA 诞生于比利时布鲁塞尔,创始人为比利时皇家科学院院士、国际著名的 CAE 专家、中欧合作委员会欧方主席 Charles Hirsch 教授。作为十几个分支机构之一的 NUMECA 中国公司于 2002 年成立,经过十年磨砺,其产品在空中航天、能源动力、海洋船舶、交通运输、石油化工、机械制造、水利及兵器等行业得到了普遍认可,每年数以千计的工程技术人员及在校生都在使用 NUMECA 软件,用户群数量每年以倍数趋势上升。但是一直以来,NUMECA 的各类教程几乎都是以外文为主。软件的使用者无论对语言多么精通,往往习惯于在母语环境下的阅读,而使用非母语书籍总是会因文化差异而理解有所偏差,因此,NUMECA 为了使软件的普及紧跟 CAE 的发展趋势,推出了详尽的中文版 NUMECA 系列软件应用教程。

CAE 软件作为一种强有力的工具,给工程界带来了从固端到云端、从快速到极速、从仿真到逼真的深刻变革,但作为一个工具,工程师应仅需要关注如何使用此工具解决工程中出现的问题,而非关注工具本身如何操作,这就要求 CAE 软件具有高度智能化的设计,使用者仅需轻松操作即可展现其工程思想。作为被业界誉为成长最快、技术最新的系列软件,NUMECA 包括计算流体力学软件(FINE/Turbo、FINE/Marine 及 FINE/Open)、优化设计软件(AutoDesign、FINE/Design3D 及 AutoBlade)及多场耦合软件(MpCCI 及 VNoise)等,为各行业提供从参数化建模、初步设计、精细设计、计算流体力学分析、强度分析、噪声分析、多学科优化到不确定性分析等一体化解决方案。使用者仅需使用 NUMECA 的一体化平台,即可完成几乎所有 CAE 问题。NUMECA 性能卓越、可靠易用、体系完整的软件产品和服务得到了各行业国际巨擘的一致认可,NUMECA 已成为其首选的专业伙伴。

2011 年,NUMECA 通过国际质量管理体系 ISO 9100 认证及国际航空航天质

量管理体系 AS9100 认证, 是 CAE 行业唯一在软件研发、技术支持、工程咨询和销售等各方面均通过此项认证的软件。NUMECA 在持续做“强”的同时, 也在围绕主流产品不断做“大”, 产品线在近年来得以有计划地拓延。NUMECA 收购了全球最负盛名的全频噪声仿真分析软件 VNoise, 并与近代流体力学发祥地 VKI (Von Karman Institute) 结为战略合作伙伴关系, 从一流、专业的 CFD 公司发展为了体系完整、功能丰富的 CAE 公司。

为了帮助我们的用户正确、高效地把 NUMECA 应用于产品的研发过程中, 满足广大用户了解和学习 NUMECA 的需求, NUMECA 中国公司与机械工业出版社联系组织出版了这部《NUMECA 系列教程》。

本书内容全面翔实, 由浅入深, 以编写时最新版本软件为依据, 对 NUMECA 系列软件的基本思路、用户界面、操作步骤、使用技巧进行了详细的介绍, 省略了烦琐的理论描述, 从实际应用出发, 结合作者使用该软件的经验, 采用工程实例一步步向读者讲解软件的操作步骤及使用规范。

全书分为 9 章: 第 1 章是 NUMECA 公司及其软件产品简介, 以及旋转机械集成设计平台 AutoDesign 介绍; 第 2 章介绍一体化网格生成系统 AutoMesh-4G; 第 3 章介绍结构网格流体分析软件 FINE/Turbo 和通用流体力学分析软件 FINE/Open; 第 4 章介绍水动力学分析软件 FINE/Marine; 第 5 章介绍三维叶轮参数化拟合/建模软件 AutoBlade; 第 6 章介绍旋转机械优化设计一体化平台 FINE/Design3D; 第 7 章介绍多物理场耦合专题; 第 8 章介绍附加模块的高级功能; 第 9 章介绍后处理软件 CFView。

本书附有一张多媒体光盘, 供读者自己对照教程内容动手练习。

本书主要由 NUMECA 资深工程师编写, 同时郭亚男、方宁宁、李洋、彭特鲁、安立、张宏、常创业、毕景武、Alexandre Capron、万黎、张伟、王红娟、宋鹏、佟猛、冀晓敏等参加了资料整理和编排工作, 在此向他们表示衷心的感谢。此外, NUMECA 大中华区总经理隋俊友博士及 NUMECA 国际公司也为本书的编写提供了大力支持, 在此表示由衷的感谢。

由于时间仓促, 加之作者的水平有限, 书中难免出现错误, 恳请各位专家及广大读者批评指正。在使用本书过程中如果遇到问题, 请通过电子邮箱 support@numeca.com.cn 或 market@numeca.com.cn 与本书作者联系。

目 录

卷首语

序

前言

第1章 NUMECA 公司及软件

产品简介 1

1.1 NUMECA 公司介绍 1

1.2 NUMECA 产品的分析功能及应用 领域 2

1.3 NUMECA 旋转机械集成设计平台 ——AutoDesign 3

1.4 NUMECA 产品的安装说明和安装 环境 4

第2章 AutoMesh-4G 网格划分

技术 7

2.1 AutoMesh-4G 简介及网格类型 7

2.2 全六面体非结构网格生成器 HEXPRESS 8

2.2.1 HEXPRESS 网格生成的 基本思想 8

2.2.2 HEXPRESS 的主要特色 8

2.2.3 HEXPRESS 的界面操作 10

2.2.4 HEXPRESS 的网格制作 流程 17

2.2.5 HEXPRESS 应用实例 31

2.3 混合网格生成器 HEXPRESS/ Hybrid 39

2.3.1 概述 39

2.3.2 界面操作 HEXPRESS/ View 41

2.3.3 网格划分 HEXPRESS/ Hybrid 53

2.3.4 网格后处理 HEXPRESS/ Datamapper 57

2.3.5 实例 58

2.4 旋转机械结构网格自动生成器

AutoGrid 86

2.4.1 AutoGrid 的特点与多重

网格介绍 86

2.4.2 几何文件介绍 87

2.4.3 AutoGrid 的操作界面 88

2.4.4 AutoGrid 的网格划分流程 93

2.4.5 实例 95

2.5 准自动/交互式结构网格生成器

IGG 98

2.5.1 CAD 几何接口与网格输出

接口 99

2.5.2 网格划分操作界面与步骤 99

2.5.3 网格质量检查与评定 105

2.5.4 实例 106

第3章 FINE/Turbo 和 FINE/

Open 的通用功能介绍 117

3.1 FINE/Turbo 和 FINE/Open

概述 117

3.2 FINE/Turbo 和 FINE/Open 的

组成及使用范围 117

3.3 FINE/Turbo 和 FINE/Open 的

操作界面 117

3.4 求解步骤与文件结构 118

3.5 创建一个新的工程文件 119

3.6 流动工质定义 121

3.7 流动模型设置 123

3.8 转动部件设定 123

3.9 边界条件给定 124

3.10 数值参数给定 126

3.11 初场给定 127

3.12 输出物理量设置 128

3.13 计算控制参数 129

3.14 Taskmanager 任务管理器使用	130	5.3 参数化建模	197
3.15 计算监控与 Monitor 使用	131	5.3.1 端壁型线控制	197
3.16 收敛历史查看	132	5.3.2 流面和径向分布	199
3.17 实例讲解	132	5.3.3 叶片积叠控制	203
第4章 船舶与海洋工程水动力学的		5.3.4 主叶片	205
FINE/Marine 应用	144	5.4 AutoBlade/Fitting 参数化拟合	210
4.1 FINE/Marine 软件概述	144	5.4.1 用户界面	210
4.1.1 FINE/Marine 软件的组成及 使用范围	144	5.4.2 几何文件	211
4.1.2 FINE/Marine 的文件结构	145	5.4.3 参数化拟合	211
4.2 FINE/Marine 的界面操作	145	5.4.4 查看拟合结果	211
4.3 FINE/Marine 的求解流程	148	第6章 旋转机械优化设计一体化	
4.3.1 创建工程文件	149	平台 FINE/Design3D	213
4.3.2 计算物理模型的选择	151	6.1 FINE/Design3D 软件介绍	213
4.3.3 流体模型的选择及介质 参数的定义	151	6.2 CFD_Screening 模块	214
4.3.4 流动模式的选择	152	6.2.1 用户界面	214
4.3.5 边界条件的设置	153	6.2.2 采用 FINE/Turbo 进行流场 求解	215
4.3.6 体的定义	156	6.2.3 后处理及结果输出	219
4.3.7 体的运动参数设置	156	6.2.4 其他输出 (Derived Quantities)	221
4.3.8 初始流场的设置	166	6.3 Database Generation 模块	221
4.3.9 数值模型	167	6.3.1 用户界面	221
4.3.10 计算参数控制	168	6.3.2 优化参数	221
4.4 附加模块的应用	172	6.3.3 数据库生成方式	223
4.4.1 船桨耦合模块	172	6.3.4 输出结果	225
4.4.2 锚定模块	173	6.4 Optimization 模块	226
4.4.3 空化模块	174	6.4.1 优化算法设置	226
4.4.4 优化模块	176	6.4.2 目标函数	228
4.4.5 网格自适应技术	177	6.4.3 优化步数设置	229
4.4.6 UDF 功能	178	6.4.4 结果监视器	230
4.5 FINE/Marine 典型应用案例	179	6.5 优化算例: 一级半压气机优化	231
4.5.1 DTMB5415 耐波性预报	179	6.5.1 几何拟合	231
4.5.2 KVLLC2 操纵性模拟	185	6.5.2 定制 CFD 分析流程	236
4.5.3 水面高速航行器的模拟	189	6.5.3 数据库样本生成	240
4.6 本章小结	194	6.5.4 优化	244
第5章 三维叶轮参数化拟合/		第7章 多物理场耦合	248
建模软件 AutoBlade	195	7.1 多物理场耦合平台	248
5.1 用户界面	195	7.1.1 多物理场分析的方法	248
5.2 项目文件结构	196	7.1.2 MpCCI 多物理场分析方法	249

7.1.3 MpCCI 图形用户界面	252	8.8.1 简介	334
7.1.4 MpCCI 耦合代码介绍	257	8.8.2 Python 语言概述	335
7.1.5 应用实例	265	8.8.3 脚本使用案例	341
7.2 FINE/VNoise 噪声仿真平台	272	8.9 燃烧模块	343
7.2.1 主要功能模块和分析流程 介绍	273	8.9.1 简介	343
7.2.2 VNoise 主要功能及分析 流程	273	8.9.2 非预混燃烧	343
7.2.3 VNoise 图形用户界面	277	8.9.3 部分预混燃烧	346
7.2.4 声学有限元的应用	283	8.9.4 燃烧模型高级参数	348
7.2.5 气动噪声分析	287	8.9.5 燃烧算例	349
第8章 高级功能	295	8.10 辐射模块	361
8.1 用户自定义模块 OpenLabs	295	8.11 多孔介质	365
8.1.1 简介	295	第9章 CFView 后处理的应用	371
8.1.2 原理及操作步骤	296	9.1 CFView 的界面操作	371
8.1.3 资源文件语法	298	9.2 读入计算数据文件	373
8.1.4 算例	308	9.3 绘图面的生成与显示	374
8.2 ANSYS 输出模块	313	9.4 流场参数的显示	376
8.2.1 ANSYS 输出模块介绍	313	9.4.1 流场等值线/面和云图	377
8.2.2 算例	315	9.4.2 矢量图/流线图	380
8.3 Harmonic	320	9.4.3 定义新的参数	383
8.3.1 用户界面	320	9.4.4 曲线图	384
8.3.2 初始条件	320	9.4.5 流场参数积分	386
8.3.3 输出设置	320	9.4.6 图形/文件输出	387
8.3.4 时间重构	322	9.4.7 叶轮机械模式	389
8.4 Clocking 效应	323	9.4.8 多窗口操作	389
8.4.1 用户界面	323	9.4.9 宏应用	391
8.4.2 输出设置	324	9.5 典型实例	392
8.5 转换	324	9.5.1 叶轮机械 (NASA Stage35)	392
8.5.1 用户界面	325	9.5.2 飞机 (DLR-F4)	396
8.5.2 相关专家参数	326	9.5.3 船舶 (DTMB5415)	399
8.5.3 非旋转机械转换计算	327	9.6 本章小结	404
8.6 Cooling/Bleed	328	附录 常见问题及解答	405
8.6.1 用户界面	328	附录 A 许可证启动常见错误	405
8.6.2 源项添加向导	330	附录 B 故障处理	406
8.6.3 输出控制	332	附录 C 常用专家参数	407
8.6.4 专家参数	332	附录 D 如何查找计算发散原因	407
8.7 共轭传热	332	附录 E CFD 数值模拟中误差影响 因素	408
8.8 Python 脚本语言应用	334		

第 1 章 NUMECA 公司及软件产品简介

1.1 NUMECA 公司介绍

NUMECA 公司为全球用户提供领先的参数化建模软件、高质量的自动化网格划分平台、叶轮机械设计平台、计算流体力学软件、计算声学软件、多学科优化设计平台和工程咨询服务。NUMECA 系列产品广泛应用于复杂流动、多物理场、噪声等方面的数值模拟、精细设计和性能优化。NUMECA 公司位于比利时布鲁塞尔，公司创始人 Charles Hirsch 教授是国际著名的计算流体动力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 专家、比利时皇家科学院院士、中欧航空合作委员会委员，曾获得 CFD 业界的 Iwan Akerman 顶级大奖。NUMECA 在中国、美国、印度和日本等国家设有全资子公司，在法国、德国、新加坡、印度尼西亚、韩国、西班牙、土耳其等国家设有代理商和办事处。NUMECA 作为欧洲最大的商业 CFD 软件公司，几年内先后收购了法国国家科学院研发，并被劳氏船级社作为校验标准的水动力学分析软件 ISIS-CFD、广为推崇的网格划分软件 Spider、高效的强耦合多物理场耦合软件 FINE/Oofelie 以及噪声仿真分析软件 VNoise，并与近代流体力学发祥地冯·卡门流体动力学研究所结为全方位战略合作伙伴，发布叶轮机械多学科一体化设计分析软件 AutoDesign。同时，NUMECA 作为重要参与者，为各项重大国际项目提供商用软件及软件研发服务，参与的欧盟框架计划项目有：TROPHY、COMBINA、ATAAC、FFAST、VALIANT、IDIHOM、ERICKA、TFAST、CleanSky、NodeSIM-CFD、AITEB-2、Qnet-CFD、Silence 等。

NUMECA 公司雄厚的技术背景、卓越的研发能力和严格的软件质量体系体现在以下方面：

- 第一个具有将非线性谐函数转化为快速非定常计算能力的公司。
- 第一个将多重网格和隐式算法相结合的加速收敛技术。
- 目前唯一的一体化的叶轮机械设计分析优化平台。
- 目前唯一的采用基体网格技术生成多级气冷涡轮网格。
- 目前唯一的一体化的商用流噪声计算分析平台。
- 目前唯一的 CFD 不确定性分析商用软件。
- 与全球行业巨擘均为战略合作伙伴关系。
- 欧盟诸多框架计划项目中唯一的商用 CFD 软件公司。
- CFD 行业唯一在软件研发、技术支持、工程咨询和销售等方面全部通过 AS 9100 和 ISO 9100 质量体系认证的供应商。

2002 年，NUMECA 公司进入中国正式开展业务。NUMECA 中国作为 NUMECA 国际

全资子公司，全权负责 NUMECA 软件在大中华区的软件销售、技术支持和培训、产品开发、平台构建以及工程咨询等服务。为了响应亚太区客户的需求，执行本土化研发策略，NUMECA 公司于 2012 年在中国设立研究院，是亚洲最大的研发中心，同时也是国际 CAE 巨头在国内第一个设立的研发机构。NUMECA 公司凭借其技术的前瞻性、结果的可靠性、算法的创新性、功能的完备性、计划的严谨性和良好的服务成为国内发展最快、规模最大、技术最新的 CFD 团队。

1.2 NUMECA 产品的分析功能及应用领域

NUMECA 公司致力于针对不同行业的数值仿真特点研发最先进的 FINE 数值仿真体系，构建丰富而完善的解决方案平台，产品功能涵盖整个流体和噪声领域，产品体系实现了航空航天、能源、船舶和交通运输等几乎所有工业领域的无缝隙覆盖。NUMECA 产品体系如图 1-1 所示。

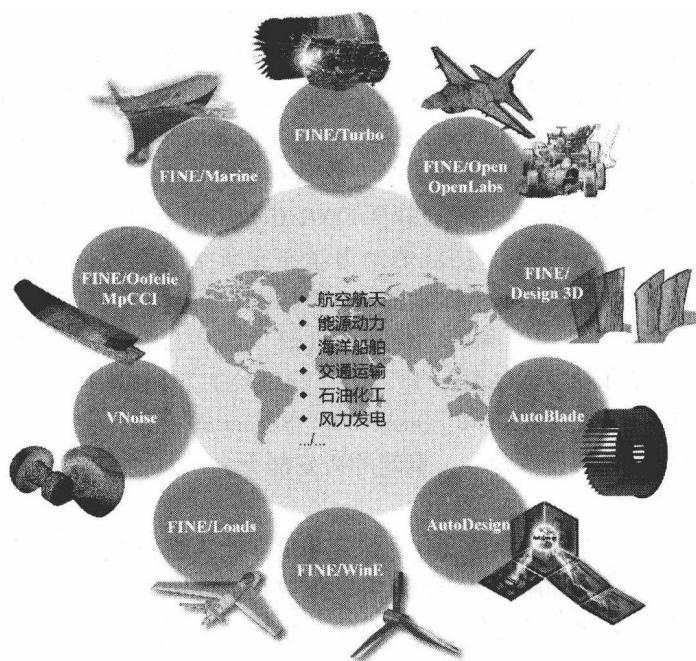


图 1-1 NUMECA 产品体系

NUMECA 公司针对各行业产品的自身特点，创造性地推出了一体化网格生成系统——AutoMesh-4G。该网格生成系统包括结构化网格生成器 IGG、叶轮机械全六面体结构化网格自动生成器 AutoGrid、全六面体非结构网格自动生成器 HEXPRESS 以及混合网格生成器 HEXPRESS/Hybrid。用户可根据需求在同一平台下无缝切换各网格生成器。AutoMesh-4G 网格划分平台组成架构如图 1-2 所示。

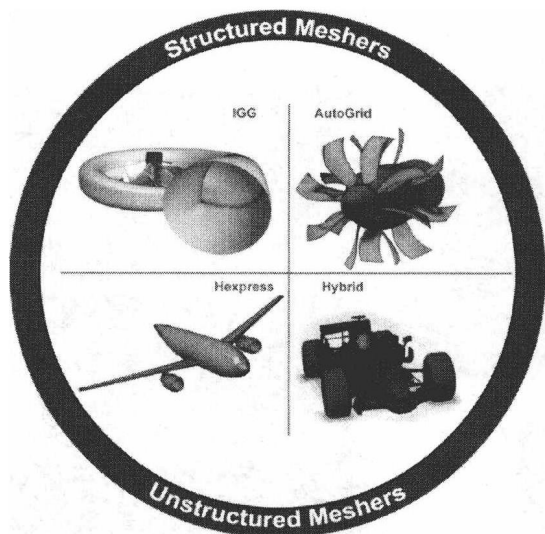


图 1-2 AutoMesh-4G 网格划分平台组成架构

1.3 NUMECA 旋转机械集成设计平台——AutoDesign

为了完善 NUMECA 软件在旋转机械行业的解决方案，NUMECA 国际公司与冯·卡门流体动力学研究所合作开发了旋转机械集成设计分析优化平台——AutoDesign。AutoDesign 涵盖了旋转机械的整个设计流程，包括初步方案设计、详细设计、三维全参数化建模、性能分析、多学科优化，各功能模块之间可实现无缝连接。应用范围涵盖了航空发动机、汽轮机、风机、泵等。

AutoDesign 植根于工业化应用，得益于 NUMECA 软件多年以来在旋转机械行业的技术积淀，在进行一维/二维方案设计时，有丰富成熟的经验模型可供选择，可以考虑型面摩擦损失、二次流损失、鼓风损失、漏气损失和湿气凝结损失等，保证了设计的真实性。在进行性能分析时，稳定高效的求解器、先进的多重网格加速技术以及对各类工业问题（气封、冷却、抽吸气技术等）的精细考量，使得计算时间缩短了一个量级，分析周期大大缩短。此外，AutoDesign 将 NUMECA 软件多年来在旋转机械应用中所形成的知识数据库进行固化。在设计过程中，可以对设计方案进行自动优化，得到最佳设计方案，让设计者摆脱对经验的依赖。

AutoDesign 可以实现多学科、多目标的全三维耦合优化。在进行全三维气动优化的同时，兼顾强度因素的影响。由于采用先进的优化算法（遗传基因算法、模拟退火算法、共轭梯度法等），可以进行多目标、多工况点的优化，进行创新设计。此外，由于采用现代优化算法和人工神经网络相结合的方法，大大缩短了优化周期。

AutoDesign 旋转机械集成设计平台架构如图 1-3 所示。

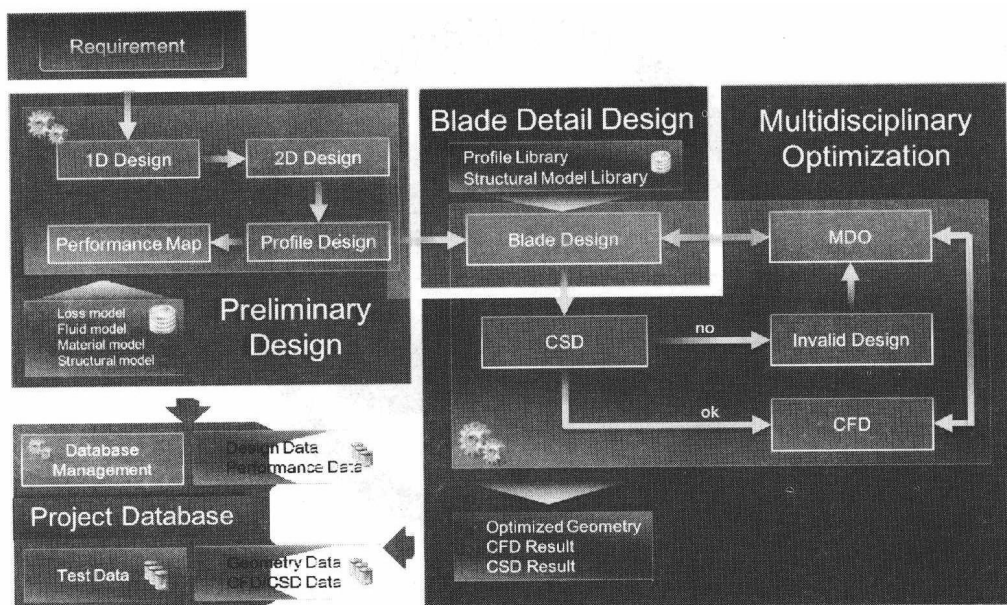


图 1-3 AutoDesign 旋转机械集成设计平台架构

1.4 NUMECA 产品的安装说明和安装环境

NUMECA 软件支持 XP Professional、WIN7、VISTA 等所有主流 Windows 操作系统，要求必须具备 Microsoft .net Framework3.5 操作系统环境。NUMECA 的系统安装说明如下：

1) 以系统管理员身份登录。如果登录账号非管理员账号，请以管理员权限安装，否则安装过程不能完全正确执行。

① 对于 WIN7 系统，右键单击 “setup.exe”，选择 “以管理员身份运行”；

② 对于 Windows XP_x64 位系统，右键单击 “setup.exe”，选择 “运行方式”，取消勾选 “Protect my computer and data from unauthorized program activity”。

2) FINE/Turbo 约占据 1.4GB 硬盘空间，FINE/Open 和 FINE/Marine 约占据 700MB 硬盘空间。在安装之前请检查硬盘空间是否充足。

3) 将从 NUMECA 网站下载的压缩包解压缩，双击 “setup.exe” 可执行文件，安装过程中给定 NUMECA 软件的安装路径。

4) 以下三种方式可查询得到计算机以太网网卡物理地址：

① 查看 NUMECA 安装目录下的 “license.info” 文件；

② 在开始菜单运行中输入 “cmd”，回车，然后输入 “ipconfig /all”；

③ 在安装目录的 “flexlm” 文件夹下运行 “lmttools.exe”，查看 “System Settings”

选项卡。

5) 将主机名和以太网网卡物理地址发送给 NUMECA 公司, 以申请许可。

6) 配置许可服务并启动:

① 将许可文件重命名为“license.lic”, 复制到安装目录下的“flexlm”文件夹中;

② 运行安装目录下“flexlm”文件夹中的“lmttools.exe”可执行文件;

③ 选择“Config Services”选项卡, 在“ServiceName”中输入“NUMECA”, 为 lmgrd 许可证执行进程, 许可证文本文件和日志文件路径指定为 NUMECA 安装路径下“flexlm”文件夹中对应的文件, 然后单击“Save Service”按钮, 并勾选“Use Service”和“Start Server at Power Up”复选框, NUMECA 的许可服务会在进入操作系统时自动启动, 切换至“Start/Stop/Reread”选项卡, 选择 NUMECA 许可服务, 单击“Start Server”按钮;

④ 检查任务管理器中是否存在“lmgrd”和“numeca”进程。

7) 其他非许可证服务器计算机请启动 NUMECA 软件后输入许可证服务器的 IP 地址或主机名称即可。

8) 并行计算注意事项:

① 32 位系统注册“bin”文件夹下的“mpiregister”;

② 64 位 VISTA 操作系统注册“bin”文件夹下的“wmpiregister”;

③ 64 位 WIN7 操作系统注册“bin”文件夹下的“mpiexec”。

NUMECA 软件支持的 64 位 Linux 操作系统有 RedhatEnterprise、Fedora Core、Ubuntu、OpenSuse 等。64 位 Linux 操作系统环境下的安装说明如下:

1) 以超级管理员 root 账号登录系统。

2) 输入“tar -xvf install_fine_* *_LINUX.tar”对文件解压缩。

3) 在解压缩文件夹中输入“./install_numeca”执行安装命令。

4) 用户给定 NUMECA 的安装路径, 不链接之前的安装文件。

5) 许可证申请信息提取以太网网卡物理地址和主机标识符。

主机名称提取:

NUMECA_INSTALLATION_DIRECTORY/fine810_1/OSname/install/lmutil lmhostid-hostname

主机标识符提取:

NUMECA_INSTALLATION_DIRECTORY/fine810_1/OSname/install/lmutil lmhostid

NUMECA_INSTALLATION_DIRECTORY/fineMarine30_2/flexlm/isiscfd_hostid

6) 在“NUMECA_INSTALLATION_DIRECTORY/COMMON”路径下输入“./configure”写入 NUMECA 的环境变量, 每个普通用户需同样执行此操作。

7) 将取得的“license”文件复制到“NUMECA_INSTALLATION_DIRECTORY/COMMON”路径下, 执行“chmod 755 license.dat”命令, 确保具有可读执行权限。

8) 在“NUMECA_INSTALLATION_DIRECTORY/fine* */OSname/install”路径下执行以下命令:

```
./lmgrd -c NUMECA_INSTALLATION_DIRECTORY/COMMON  
/license.dat
```

9) 开机自动启动许可配置方法：以超级管理员 root 账号登录，在 `./etc/inittab` 文件末尾写入

```
lmgr: 35: wait: /
```

```
NUMECA_INSTALLATION_DIRECTORY/fine_#/OSNAME/install/flex#/lmgrd-C
```

```
NUMECA_INSTALLATION_DIRECTORY/COMMON/license.dat
```