

CAD/CAM/CAE 实用技术

Fluent 技术基础与应用实例

SUNNYTECH
浙大旭日科技

王瑞金 张凯 王刚 编著

- 以简单的实例着手，引导初学者快速入门
- 必要的理论知识与实际的工程经验，奠定扎实的学习基础
- 典型的应用案例，使您全面掌握 Fluent 流体工程数值仿真
- 明确的学习重点和详细的操作步骤，使学习更加容易
- 书附光盘中提供了实例的源文件，使学习更加直观



实例源文件

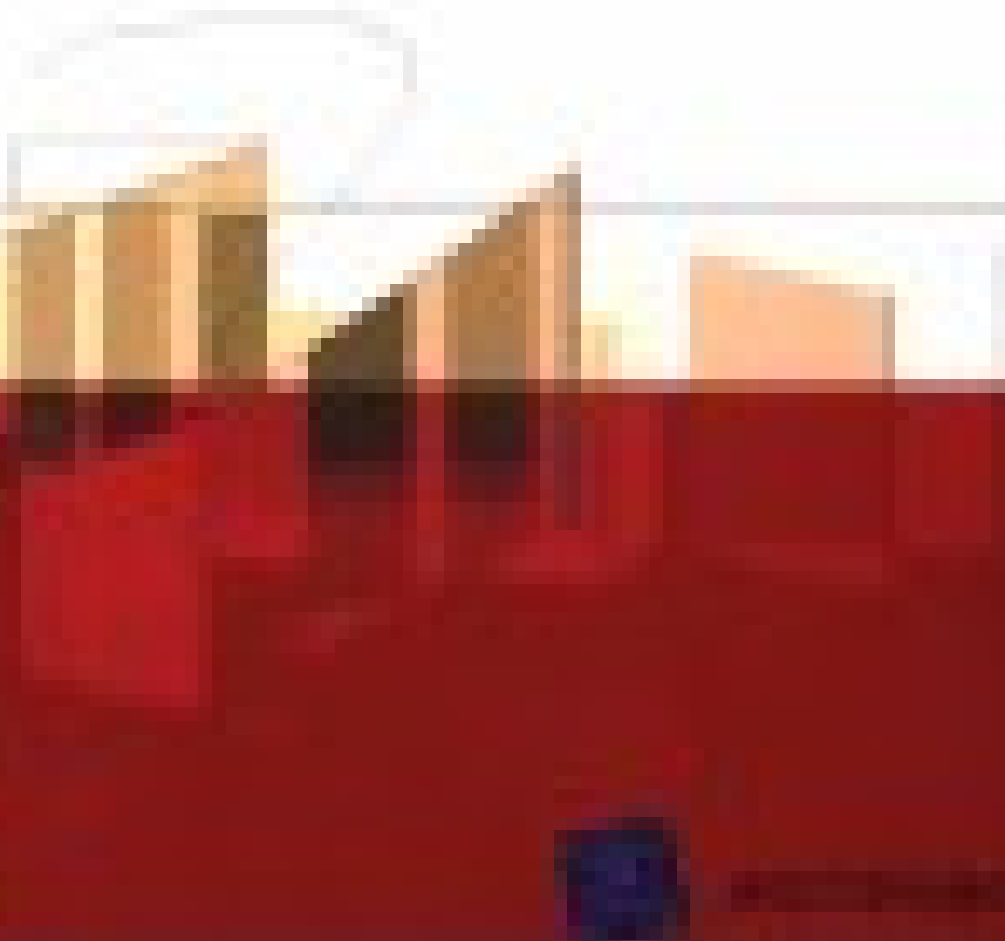


清华大学出版社

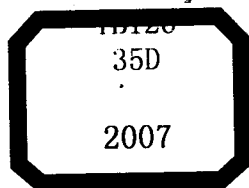
Fluent 技术入门与应用实例

张松海 张松海 张松海 张松海

- 介绍 Fluent 软件的基本操作
- 介绍 Fluent 软件的基本应用
- 介绍 Fluent 软件的基本应用
- 介绍 Fluent 软件的基本应用
- 介绍 Fluent 软件的基本应用



CAD/CAM/CAE 实用技术



Fluent 技术基础 与应用实例

王瑞金 张 凯 王 刚 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书基于 Fluent 6.2.16 版本、Gambit 2.2.30 版本和 Tecplot 10.0 版本,共 13 章。全书首先详细介绍了 Fluent 软件及其相关的理论知识,然后通过典型的实例来讲解 Fluent 在传热、传质及流场等实际工程中的应用方法和技巧,包括运动部件的速度场模拟、UDF 和 UDS 的使用、并行计算的设置、计算区域的绘制和边界条件的定义、Tecplot 的数据处理等。每个实例都有详细的说明与详尽的操作步骤,读者只要按照书中的指示与方法操作,即可完成一个具体问题的数值模拟与分析,进而逐步掌握利用 Fluent 进行流体流动数值模拟的基本方法。

本书内容全面、新颖、实用,适合大学生、研究生、科研人员和科技工作者阅读参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

Fluent 技术基础与应用实例/王瑞金,张凯,王刚 编著. —北京:清华大学出版社,2007.2
(CAD/CAM/CAE 实用技术)

ISBN 978-7-302-14590-5

I. F… II. ①王… ②张… ③王… III. 流体力学—计算机仿真—应用软件,Fluent
IV. 035-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 010036 号

责任编辑:胡伟卷 刘金喜

封面设计:于洁 王永

版式设计:康博

责任校对:胡雁翎

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:17

附光盘 1 张

字 数:392 千字

版 次:2007 年 2 月第 1 版

印 次:2007 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~5000

定 价:33.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:021653-01

《CAD/CAM/CAE 实用技术》丛书特色

▼ 基础知识与实用技术相结合

了解和掌握一定的基础知识，有助于深刻领会 CAD/CAM/CAE 技术中的各种实用功能，做到“知其然，更知其所以然”，从而提高学习效率，保证学习效果，为技术水平的不断提高打下坚实的基础。本丛书中的基础知识内容均经过仔细的筛选，与丛书中所讲授的各种实用技术密切相关。同时，以通俗直观的形式进行讲解，便于读者理解和掌握。

▼ 突出 CAD/CAM/CAE 技术的核心内容

CAD/CAM/CAE 软件虽然种类繁多，但其中的核心功能基本相同，并且构成了 CAD/CAM/CAE 技术的主要组成部分。丛书将各种 CAD/CAM/CAE 技术中的大量功能进行归纳、分类和总结，重点讲解具有共性的、最实用的部分，使读者从整体上把握 CAD/CAM/CAE 技术中的核心功能，并了解其中的规律性，从而达到学精学透的目的。

▼ 功能操作与实际应用相结合

本丛书不仅讲解了 CAD/CAM/CAE 软件中各种实用功能的操作步骤，更重要的是讲解这些功能的应用背景、应用方法和技巧，使读者能够将所学的知识应用到实际工作中，从而达到学以致用目的。

丛书编委会

主 编 单岩（浙江大学）

副主编 吴立军（浙江科技学院）

编 委 周超明（浙大旭日科技） 赵东福（浙江科技学院） 王 刚（浙江大学）

褚专祺（浙大旭日科技） 王瑞金（浙江科技学院） 聂相虹（浙江大学）

周 瑜（浙大旭日科技） 邹凤楼（浙江科技学院） 谢斌飞（浙江大学）

丛书在线答疑方法

本丛书读者可通过 51CAX 培训网进行免费答疑，方法如下：

(1) 在 www.51cax.com 网站注册并登录。

(2) 在网站中点击“图书中心”或者“我要买书”，进入图书中心页面。

(3) 在图书中心页面中点击“图书答疑密码”，在文本框中输入本书所附光盘表面标签上的号码，并确定。

(4) 在图书中心页面下方“我购买的图书”栏目中该图书的右侧点击“答疑”，即可进入 BBS 的相关区域提出您的问题。

丛书序言

工业技术不断进步的一个重要标志是计算机应用的日益普及。在机械制造业,计算机辅助设计/制造/工程分析(CAD/CAM/CAE)技术的地位和角色正在发生深刻的转变——由稀有昂贵的高级技术资源普及成为常规的和必备的技术手段。随着全球制造业向我国的转移,这种转变已呈现出加速的趋势,形成了对该领域技术人才巨大的市场需求。

在这一趋势的带动下,CAD/CAM/CAE技术已成为机械行业从业人员和高等院校相关专业学生的学习和培训热点。

CAD/CAM/CAE技术的发展十分迅速,各种软件层出不穷,版本更新越来越快。面对种类繁多的软件以及日益复杂的功能,初学者往往会感到十分茫然,难以把握学习的要领,以致影响学习的效果和积极性。

为帮助读者扎实、高效地学习和掌握CAD/CAM/CAE技术中最实用的部分,我们组织编写了这套《CAD/CAM/CAE实用技术》丛书。这套丛书总结了我们的多年的CAD/CAM/CAE技术应用和培训经验,不仅包括了CAD/CAM/CAE技术中的经典内容,还讲授了一些比较专业的高级实用技术。其中包括:

- 通用的、基础性的CAD技术,如工程制图、三维造型等。
- 应用较为广泛的高级技术,如模具分析、逆向工程等。
- 常用的CAE分析技术。

本丛书希望达到的学习目标是:

- 使初学者快速坚实地掌握CAD/CAM/CAE的基础知识和基本技能,并具备一定程度的三维造型能力。
- 使具有一定CAD/CAM/CAE技术基础和工作经验的读者掌握更专业的高级技术,达到较高的应用水平。

本丛书可供具有中专以上文化程度的机械工程师自学,或作为高等院校相关专业课程的教材,以及用于CAD/CAM/CAE技术的普及和高级培训。

限于编写时间和作者的水平,从书中必然会存在需要进一步改进和提高的地方。希望读者及专业人士提出宝贵意见与建议,以便我们今后不断加以完善。可通过网站<http://www.51cax.com>与我们交流。

本丛书是编委会全体成员共同努力的结果,在此深表谢意。杭州浙大旭日科技开发有限公司的工程师们为本丛书提供了大量的技术资料和技术支持,在此也对他们表示衷心的感谢。

最后,感谢清华大学出版社为本丛书的出版提供的机遇和帮助。

《CAD/CAM/CAE实用技术》丛书编委会

前 言

计算流体动力学(CFD)是建立在经典流体动力学与数值计算方法基础之上的一门新型独立学科。CFD 应用计算流体力学理论与方法,利用具有超强数值运算能力的计算机,编制计算机运行程序,数值求解满足不同种类流体的运动和传热传质规律的三大守恒定律,及附加的各种模型方程所组成的非线性偏微分方程组,得到确定边界条件下的数值解。它兼有理论性和实践性的双重特点,为现代科学中许多复杂流动与传热问题提供了有效的解决方法。

Fluent 是目前国际上比较流行的商用 CFD 软件包,在美国的市场占有率为 60%,凡是和流体、热传递和化学反应等有关的工业均可使用。它具有丰富的物理模型、先进的数值方法和强大的前后处理功能,在航空航天、汽车设计、石油天然气和涡轮机设计等方面都有着广泛的应用。例如,在石油天然气工业上的应用就包括燃烧、井下分析、喷射控制、环境分析、油气消散/聚积、多相流和管道流动等。另外,通过 Fluent 提供的用户自定义函数可以改进和完善模型,从而处理更加个性化的问题。

本书以 Fluent 6.2.16 为例,全书共 13 章,第 1 章~第 4 章介绍了 CFD 基础理论和 Fluent 基本知识,第 5 章~第 12 章结合实例介绍了 Fluent 中常用的计算模型及其在求解流体和传热传质等工程问题中的方法,对 Tecplot 软件作了详细的介绍。各章所用到的实例可以从本书的配套光盘中找到。

本书由王瑞金、张凯、王刚、聂相虹、谢斌飞、吴立军、徐勤燕等编写。限于作者的知识水平和经验,书中难免存在疏漏之处,恳请广大读者批评指正。读者可通过网站 <http://www.51cax.com> 或电子邮件 book@51CAX.com 与我们交流。本书责编的 E-mail: hnliujinxi@163.com。服务邮箱: wkservice@tup.tsinghua.edu.cn。

作 者
2006 年 10 月

目 录

第 1 章	Fluent 概述	1
1.1	Fluent 的工程应用背景	1
1.2	软件包相关知识	2
1.2.1	Fluent 软件的组成	2
1.2.2	各软件之间的协同关系	3
1.3	Fluent 软件包的安装及其运行	4
1.3.1	Fluent 软件包的安装	4
1.3.2	Fluent 软件包的运行	5
1.4	Fluent 的简单实例	5
1.4.1	实例简介	6
1.4.2	实例分析	6
1.4.3	实例操作步骤	6
第 2 章	流体力学基础知识	33
2.1	流体力学基本方程及边界条件	33
2.1.1	流体力学基本方程组	33
2.1.2	初始条件和边界条件	36
2.2	流体力学基本概念	40
2.2.1	流体运动的分类	40
2.2.2	描写流体运动的两种方法——拉格朗日方法和欧拉方法	40
2.3	粘性不可压缩流体运动	40
2.3.1	基本概念	40
2.3.2	边界层	42
2.3.3	层流	43
2.3.4	湍流	44
2.4	如何解决力学问题	44
第 3 章	流体力学数值模拟基础	46
3.1	数值模拟方法和分类	46
3.2	基于 FVM 的流体力学方程离散方法	47
3.3	FVM 的求解方法	48
3.4	有限体积法的基本思想	49

第 4 章	Fluent 软件介绍	50
4.1	Fluent 的前置模块——Gambit	50
4.1.1	Gambit 的图形用户界面(GUI)	50
4.1.2	Gambit 绘制几何图形	53
4.1.3	Gambit 绘制网格	54
4.2	Fluent 的操作界面	54
4.2.1	Fluent 的图形用户界面	54
4.2.2	Fluent 数值模拟步骤简介	55
第 5 章	速度场的计算	68
5.1	概述	68
5.2	三维定常速度场的计算	68
5.2.1	概述	68
5.2.2	实例简介	69
5.2.3	实例操作步骤	69
5.3	非定常速度场的计算	91
5.3.1	概述	91
5.3.2	实例简介	91
5.3.3	实例操作步骤	91
第 6 章	温度场的计算	118
6.1	概述	118
6.2	实例简介	118
6.3	实例操作步骤	119
6.3.1	利用 Gambit 建立计算区域和指定边界条件类型	119
6.3.2	利用 Fluent 求解器求解	121
6.3.3	利用 Tecplot 进行后处理	130
第 7 章	多相流模型	134
7.1	概述	134
7.1.1	多相流定义	134
7.1.2	多相流研究方法	134
7.1.3	Fluent 中的多相流模型	135
7.1.4	Fluent 中的多相流模型的选择	136
7.2	VOF 模型	136
7.2.1	概述	136
7.2.2	实例简介	136
7.2.3	实例操作步骤	137

7.3	Mixture 模型	151
7.3.1	概述	151
7.3.2	实例简介	151
7.3.3	实例操作步骤	152
第 8 章	凝固和融化模型	165
8.1	概述	165
8.2	实例简介	165
8.3	实例操作步骤	166
8.3.1	利用 Gambit 建立计算区域和指定边界条件类型	166
8.3.2	利用 Fluent 求解器求解	168
第 9 章	可动区域中流动问题的模拟	175
9.1	概述	175
9.2	实例简介	175
9.3	利用 Gambit 建立计算区域和指定边界条件类型	176
9.4	利用 MRF 方法求解	180
9.5	利用 Moving Mesh 方法求解	184
第 10 章	动网格模型	191
10.1	概述	191
10.2	实例简介	191
10.3	实例操作步骤	192
第 11 章	UDF 和 UDS	205
11.1	UDF 基础知识	205
11.1.1	UDF 概述	205
11.1.2	UDF 能够解决的问题	206
11.1.3	UDF 宏	206
11.1.4	UDF 的预定义函数	208
11.1.5	UDF 的编写	213
11.1.6	UDF 实例	214
11.2	UDS 基础知识	219
11.2.1	UDS 可以解决的问题	219
11.2.2	UDS 实例	222
第 12 章	Fluent 并行计算	229
12.1	概述	229
12.2	并行计算实例	230

12.2.1	概述	230
12.2.2	实例操作步骤	231
第 13 章	Tecplot 软件	237
13.1	Tecplot 概述	237
13.2	Tecplot 使用技巧	237
13.2.1	菜单的介绍	237
13.2.2	边框工具栏选项的介绍	241
13.2.3	XY 图形的绘制实例	241
13.2.4	2D 图形的编辑	248
13.2.5	3D 图形的编辑	254

第1章 Fluent 概述

【内容提要】

本章将重点介绍 Fluent 软件包的基本组成和工程应用背景。为了更好地了解 Fluent，通过一个简单的算例，介绍了 Fluent 操作的基本步骤，进而说明了 Fluent 的一些基本功能。

【学习重点】

Fluent 软件学习所需的基础知识和实际的操作步骤。

1.1 Fluent 的工程应用背景

Fluent 是目前国际上比较流行的商用 CFD 软件包，在美国的市场占有率为 60%，只要涉及流体、热传递及化学反应等的工程问题，都可以用 Fluent 进行解算。它具有丰富的物理模型、先进的数值方法以及强大的前后处理功能，在航空航天、汽车设计、石油天然气、涡轮机设计等方面都有着广泛的应用。例如，石油天然气工业上的应用就包括燃烧、井下分析、喷射控制、环境分析、油气消散/聚积、多相流、管道流动等。

Fluent 能够解决的工程问题可以归结为以下几个方面：

- 采用三角形、四边形、四面体、六面体及其混合网格计算二维和三维流动问题。计算过程中，网格可以自适应。
- 可压缩与不可压缩流动问题。
- 稳态和瞬态流动问题。
- 无粘流、层流及湍流问题。
- 牛顿流体及非牛顿流体。
- 对流换热问题(包括自然对流和混合对流)。
- 导热与对流换热耦合问题。
- 辐射换热。
- 惯性坐标系和非惯性坐标系下的流动问题模拟。
- 多运动坐标系下的流动问题。
- 化学组分混合与反应。
- 可以处理热量、质量、动量和化学组分的源项。
- 用 Lagrangian 轨道模型模拟稀疏相(颗粒、水滴、气泡等)。

- 多孔介质流动。
- 一维风扇、热交换器性能计算。
- 两相流问题。
- 复杂表面形状下的自由面流动。

1.2 软件包相关知识

1.2.1 Fluent 软件的组成

Fluent 软件设计基于 CFD 软件群的思想,从用户需求角度出发,针对各种复杂流动和物理现象,采用不同的离散格式和数值方法,以期在特定的领域内使计算速度、稳定性和精度等方面达到最佳组合,从而可以高效率地解决各个领域的复杂流动计算问题。基于上述思想,Fluent 开发了适用于各个领域的流动模拟软件,用于模拟流体流动、传热传质、化学反应和其他复杂的物理现象,各模拟软件都采用了统一的网格生成技术和共同的图形界面,它们之间的区别仅在于应用的工业背景不同,因此大大方便了用户。

Fluent 的软件包由以下几个部分组成。

(1) 前处理器: Gambit 用于网格的生成,它是具有超强组合建构模型能力的专用 CFD 前置处理器。Fluent 系列产品皆采用 Fluent 公司自行研发的 Gambit 前处理软件来建立几何形状及生成网格。另外, TGrid 和 Filters(Translators)是独立于 Fluent 的前处理器,其中 TGrid 用于从现有的边界网格生成体网格, Filters 可以转换由其他软件生成的网格从而用于 Fluent 计算。与 Filters 接口的程序包括 ANSYS、I-DEAS、NASTRAN、PATRAN 等。

(2) 求解器: 它是流体计算的核心,根据专业领域的不同,求解器主要分以下几种类型。

- Fluent 4.5: 基于结构化网格的通用 CFD 求解器。
- Fluent 6.2.16: 基于非结构化网格的通用 CFD 求解器。
- Fidap: 基于有限元方法,并且主要用于流固耦合的通用 CFD 求解器。
- Polyflow: 针对粘弹性流动的专用 CFD 求解器。
- Mixsim: 针对搅拌混合问题的专用 CFD 软件。
- Icepak: 专用的热控分析 CFD 软件。

(3) 后处理器: Fluent 求解器本身就附带有比较强大的后处理功能。另外, Tecplot 也是一款比较专业的后处理器,可以把一些数据可视化,这对于数据处理要求比较高的用户来说是一个理想的选择。

在以上介绍的 Fluent 软件包中,求解器 Fluent 6.2.16 是应用范围最广的,所以在以后的章节中我们会对它进行详细的介绍。这个求解器既可使用结构化网格,也可使用非结构

化网格。对于二维问题，可以使用四边形网格和三角形网格；对于三维问题，可以使用六面体、四面体，金字塔形以及楔形单元，具体的网格形状见图 1-1。Fluent 6.2.16 可以接受单块和多块网格，以及二维混合网格和三维混合网格。

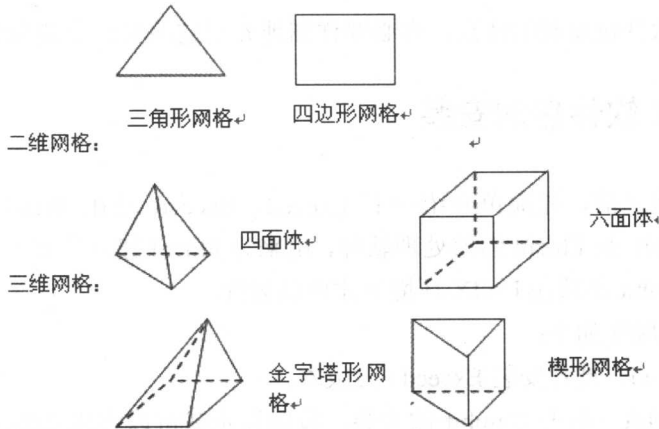


图 1-1 Fluent 使用的网格的形状

1.2.2 各软件之间的协同关系

如图 1-2 所示，最基本的流体数值模拟可以通过以上软件的合作而完成：UG/AutoCAD 属于 CAD/CAE 软件，用来生成数值模拟所在区域的几何形状；Tgrid 和 Gambit 是把计算区域离散化，或网格的生成，其中 TGrid 可以从已有边界网格中生成体网格，而 Gambit 自身就可以生成几何图形和划分网格的；Fluent 求解器是对离散化且定义了边界条件的区域进行数值模拟；Tecplot 可以把从 Fluent 求解器导出的特定格式的数据进行可视化，形象地描述各种量在计算区域内的分布。

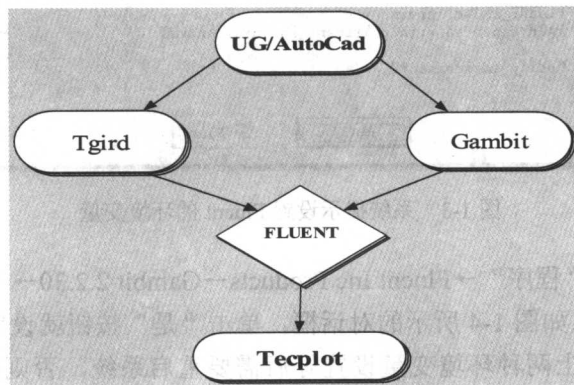


图 1-2 各软件之间的关系图

1.3 Fluent 软件包的安装及其运行

由于 Fluent 软件包安装的特点，有必要详细地介绍它的具体安装步骤和注意事项。

1.3.1 Fluent 软件包的安装

介绍安装步骤之前，先简单介绍一下 Exceed。Exceed 是在 Windows 环境下模拟的 UNIX 软件，Gambit 是 Fluent 的前处理软件，用来为 Fluent 建立计算区域及其区域内的网格划分，但是 Gambit 必须在 UNIX 环境下才可以运行。

Fluent 的安装顺序如下：

- (1) 安装 Exceed。推荐安装 Exceed 6.2 版本。
- (2) 安装 Gambit。单击 Gambit 的安装，按照提示就可以完成安装，推荐安装 Gambit 2.2.30。
- (3) 安装 Fluent。单击 Fluent 的安装文件，按照提示就可以完成安装，推荐安装 Fluent 6.2.16。

一般来说，Fluent 和 Gambit 的安装推荐使用默认安装设置。当按照以上的安装步骤安装完毕以后，还要对 Fluent 和 Gambit 的环境变量进行设置。

“开始” → “程序” → Fluent Inc Products → Fluent 6.2.16 → Set environment，单击 Set environment，就会进入如图 1-3 所示的对话框。单击“是”按钮就设置好了 Fluent 的环境变量。

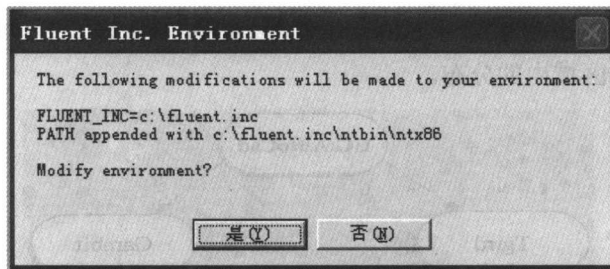


图 1-3 系统提示设置 Fluent 的环境变量

选择“开始” → “程序” → Fluent Inc Products → Gambit 2.2.30 → Set environment，单击 Set environment，进入如图 1-4 所示的对话框，单击“是”按钮就设置好了 Gambit 的环境变量。另外，注意以上两种环境变量设置好后需要重启系统，否则仍会提示找不到环境变量。

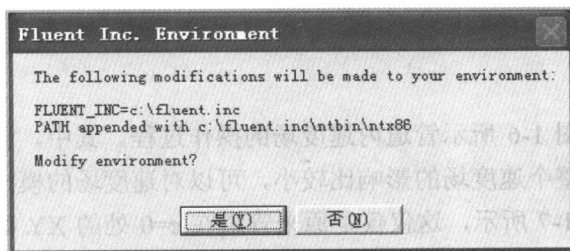


图 1-4 系统提示设置 Gambit 的环境变量

1.3.2 Fluent 软件包的运行

Fluent 的运行: 按照路径“开始”→“程序”→Fluent Inc Products→Fluent 6.2.16→Fluent 6.2.16, 或者利用桌面的快捷方式。

Gambit 的运行: 先运行命令提示符, 输入 gambit, 回车就可以启动 Gambit, 如图 1-5 所示。

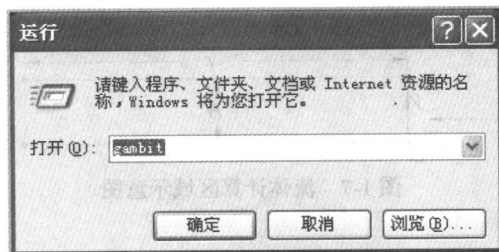


图 1-5 Gambit 的运行

如果在 Gambit 的使用过程中非正常退出, 下次运行就会出现不能打开 Gambit 的现象, 此时进入 C:\Documents and Settings\xxx 把*.lok 文件删除即可, 其中 xxx 是用户名。

另外, 在运行 Fluent 软件包时, 会经常遇到以下形式的文件。

- .jou 文件: 日志文档, 可以编辑运行。
- .dbs 文件: Gambit 工作文件, 若想修改网格, 可以打开这个文件进行再编辑。
- .msh 文件: Gambit 输出的网格文件。
- .cas 文件: 是.msh 文件经过 Fluent 处理以后得到的文件。
- .dat 文件: Fluent 计算数据结果的数据文件。

1.4 Fluent 的简单实例

为了对 Fluent 数值模拟步骤及其后处理能力有个简单的了解, 下面给出一个简单的用 Fluent 进行计算的实例。