



“十三五”普通高等教育规划教材

燃烧数值 模拟方法与应用

方庆艳 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育规划教材

燃烧数值 模拟方法与应用

编著 方庆艳

主审 廖艳芬



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材。

计算流体力学 (computational fluid dynamics, CFD) 方法在能源高效低污染转化利用理论及技术的研究发展和能源动力设备的设计、优化和升级改造中得到了广泛地应用, 是一种先进的研究、设计和优化方法。本书以燃烧数值模拟的基本方法和应用为主, 从二维几何结构到三维几何结构, 由简单操作到复杂操作, 详细示范了 Gambit 几何建模与网格划分, Fluent 流动、燃烧和传热传质模型选择、设置与计算执行、模拟结果后处理, 以及不同类型燃料燃烧数值模拟应用实例, 示例了燃烧数值模拟科技论文的写作与检索。

本书适用于热能工程专业高年级本科生系统性开展燃烧数值模拟方法与应用的的教学, 也可供初学者在学习燃烧数值模拟方法时参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃烧数值模拟方法与应用/方庆艳编著. —北京: 中国电力出版社, 2017.9

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5198-1315-4

I. ①燃… II. ①方… III. ①燃烧—数值模拟—高等学校—教材 IV. ①TQ038.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 259117 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 李 莉 (010-63412538) 孙 晨

责任校对: 王小鹏

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 吴 迪

印 刷: 北京天宇星印刷厂

版 次: 2017 年 9 月第一版

印 次: 2017 年 9 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 14.75

字 数: 386 千字 8 插页

定 价: 45.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

前 言

能源动力设备中的能量转化与利用伴随着流体流动、强烈的化学反应（燃烧）和传热传质过程的发生，还有污染物的生成与排放。计算流体动力学（computational fluid dynamics, CFD）作为近年来兴起的理论和实验研究方法之外的一种新的研究方法，与理论和实验研究方法相辅相成，在能源、冶金、石化、航空航天、建筑节能、天气预报等各行各业都得到了广泛的应用。CFD 方法的优点在于能够获得关于研究对象和内容的更多详细机理信息，同时可将这些信息用可视化的方法给出，便于对研究结果形象的表达和理解。

在能源领域，CFD 方法在能源高效低污染转化利用理论及技术的研究发展和能源动力设备的设计、优化和升级改造中得到了广泛的应用，是一种先进的研究、设计和优化方法。CFD 方法涉及多学科的理论知识与技术，如流体力学、计算流体力学、计算方法、燃烧学、传热传质学、能源动力设备及其工作原理、计算机图形学等，是对本科所学基础理论知识、专业知识和相关技能的综合应用与实践。掌握 CFD 方法，不仅有利于学生对实际工业化能源动力设备能量转化与传递利用过程的机理分析与认识，也能提升学生分析问题、建立模型和解决问题的能力，以及获得解决问题所具备的必要的技能。对于能源与动力工程专业本科生，CFD 方法是需要掌握的一种基础研究、设计和优化方法。

作者多年教学发现，当前迫切需要一本专门的热能工程领域 CFD 教程。目前，关于 CFD 方法和应用方面的书籍很多；但这些书籍都是根据 Fluent 官方发布的操作指导手册和实例来编写的教程，其内容涵盖了 CFD 方法与应用的各个领域，过于宽泛，并没有针对热能工程专业方向的编著。另外，作者指导研究生和本科生毕业设计多年，在指导的过程中，发现学生在科技写作方面能力欠缺，尤其是本科生和低年级的硕士生。这主要是因为本科生阶段没有科技写作方面的课程，大部分学生缺乏科技写作方面的基本训练。因此，作者编写了这本适合于热能工程专业高年级本科生燃烧数值模拟方法与应用教学的书籍；同时，该书也能结合教学进行一些科技写作的基本训练。

本书以燃烧数值模拟的基本方法和应用为主，主要包括以下几方面内容：①几何结构从二维到三维，操作由简单到复杂，详细示范了 Gambit 几何建模与网格划分，Fluent 流动、燃烧和传热传质模型选择、设置与计算执行，以及模拟结果后处理；②应用燃烧数值模拟方法，对不同类型燃料在不同燃烧设备中的燃烧过程进行了数值模拟的实例应用示范；③以煤粉燃烧过程数值模拟为例，示例了燃烧数值模拟科技论文的写作与检索，希望为热能工程专业本科生在科技论文的写作和检索方面进行一些基本训练；④配套了内容全面的学习资料，包括了书中二维、三维和锅炉 Gambit 几何建模和网格划分、Fluent 模型设置和计算执行、结果后处理，以及相关内容的讲解和操作视频及 Gambit 与 Fluent 源文件，请扫描二维码下载。

本书没有过多介绍燃烧数值模拟方面的理论知识和复杂的模型公式，而以操作和实践为主，希望能吸引学生的学习兴趣，提高学生对课程的参与度，提升课程学习效果，使学生能够初步使用 CFD 方法来解决热能工程专业的实际问题，为后续研究生学习或工作打下基础。

配套资料中的视频是作者在教学和指导研究生过程中录制并积累的，书中示范的内容基本包括在内，可结合教材一起使用，提升学习效果。

本书使用了作者指导或参与指导的已毕业研究生的部分工作作为燃烧数值模拟实例，参考了能源动力设备燃烧理论与技术方面、Fluent 与 Gambit 方面及网络上的一些资料。在此，对这些资料的提供者表示衷心地感谢。

CFD 方法涉及多学科的理论知识与技术，仍在不断的发展与完善之中。限于作者的知识水平，书中难免存在疏漏和不当之处，诚望读者指正。联系邮箱：qyfang@hust.edu.cn

作者
2017年8月



目 录

前言

1 概述	1
2 几何建模与网格划分	3
2.1 Gambit 几何建模与网格划分概述	3
2.2 二维几何建模与网格划分实例	13
2.3 三维几何建模与网格划分实例	19
2.4 电站锅炉三维几何建模和网格划分实例	35
3 模型选择与计算执行	65
3.1 Fluent 求解操作概述	65
3.2 煤粉燃烧过程二维数值模拟实例	71
3.3 煤粉燃烧过程三维数值模拟实例	84
3.4 电站锅炉煤粉燃烧过程数值模拟实例	96
4 模拟结果后处理	122
4.1 Fluent 后处理功能概述	122
4.2 Tecplot 数据处理概述	123
4.3 Origin 数据处理概述	125
4.4 二维燃烧模拟结果后处理实例	126
4.5 三维燃烧模拟结果后处理实例	134
5 燃烧数值模拟应用	161
5.1 四角切圆燃烧煤粉锅炉数值模拟应用实例	161
5.2 前后墙旋流对冲燃烧煤粉锅炉数值模拟应用实例	173
5.3 W 形火焰燃烧煤粉锅炉数值模拟应用实例	185
5.4 液体燃料燃烧炉数值模拟应用实例	197
5.5 气体燃料燃烧炉数值模拟应用实例	200
附录 A 燃烧数值模拟科技论文写作与检索	205
参考文献	230

1 概 述

燃烧是产生热或同时产生光和热的快速氧化反应，是能源转换和利用的重要方式之一。对于获取热能、光能、做功气体等的有用燃烧过程，需要研究如何保证燃烧过程的稳定性和安全性，提高燃烧效率，并降低污染物排放，以实现能源的高效低污染利用。燃烧学涉及化学热力学、化学动力学、反应流体力学、传热传质学等众多学科，研究内容主要包括燃烧理论和燃烧技术的研究。燃烧理论主要研究燃烧过程中涉及的各种基本现象和新的燃烧理论，如燃烧反应的化学动力学机理、点火和着火机理、火焰稳定传播的机理，以及新型低碳富氧燃烧、MILD 燃烧及化学链燃烧等。燃烧技术则主要是应用基本燃烧理论解决工程技术中的各种实际燃烧问题，如优化改进现有的燃烧方法、研发新的低碳燃烧方法和燃烧设备等。随着工业技术的发展，世界性的环境危机和能源短缺问题日趋严重；这要求当今的能源供应方式由化石能源为传统的传统方式逐步向以新能源为主的可持续的低碳方式转变，由此也给燃烧科学提出了新的课题。

2016 年，我国的能源消费总量达 43.6 亿 t 标准煤，占全球能源消费量的 23%。我国的能源国情决定了以煤炭为主导的一次能源消费结构，其在我国能源消耗中占比长期高达 60% 以上。尽管各类新能源使用不断增加，煤炭在能源消费总量中的份额有所减小，但煤炭具有的经济优势和储量优势使得我国以煤为主的基本能源结构在短期不会改变。燃煤发电是我国煤炭资源最主要的利用形式。2016 年，我国发电装机容量达 1646GW，其中燃煤火电机组装机容量占 64%，发电量则更是占到总发电量的 70% 以上。这表明，对以煤炭为传统的传统化石能源资源开展燃烧新理论与新技术及燃烧优化研究，实现其高效低污染的转化和利用，对我国的能源战略和节能减排仍然具有重要的意义。

目前，在能源领域，CFD 方法应用最为广泛的是煤粉高效低污染的低碳燃烧理论和技术研究，主要用于锅炉优化设计、低 NO_x 燃烧优化、炉膛受热面积灰结渣及四角切圆锅炉烟温偏差等方面的研究。下面以一台 700MW 燃煤电站锅炉低 NO_x 燃烧优化为例来说明 CFD 方法在热能工程的应用。

由于烟气 NO_x 排放标准的提高，该电站锅炉开展了低 NO_x 燃烧技术改造，以降低 NO_x 排放量。改造后，锅炉炉膛出口 NO_x 排放量大幅降低，但是，CO 排放浓度显著增加，有时甚至高到测量仪器的表计极限值。在现场的燃烧优化调整试验中发现，当燃烧器竖直摆角由水平连续上摆的过程中，烟气中 CO 排放浓度会迅速降低，飞灰含碳量基本不变。从理论上讲，燃烧器上摆，火焰中心上移，主燃区不完全燃烧产生的 CO 和未燃尽的煤焦在炉膛的停留时间都会降低；因此，它们的燃尽时间缩短，CO 排放浓度会上升，飞灰含碳量会增加。这与试验结果明显不相符，其中原因暂时没有得到合理的解释。在结束现场试验后，采用 CFD 方法对该锅炉开展低 NO_x 燃烧数值模拟，研究了不同竖直燃烧器摆角对燃烧特性和 NO_x 排放特性的影响。结果发现，随着燃烧器竖直摆角增加，主燃区和分离燃尽风 (SOFA) 区域的湍流强度增加，CO 和挥发分燃烧反应速率增加，主燃区和 SOFA 区域的 CO 和挥发分浓度降低，CO 和挥发分的分布范围降低，炉膛出口 CO 排放浓度明显降低；同时，由于湍流强度增

加,混合得到强化,氧扩散速率增加,煤焦燃烧速率增加,尽管停留和燃尽时间减少,但两种效果的共同作用使得飞灰含碳量基本不变。实际上,炉膛内的煤粉燃烧过程是一个复杂的物理和化学过程,涉及众多影响因素。上述理论分析描述了停留时间对 CO 和煤焦燃尽的影响,却忽略了湍流混合的作用,因此得出了不全面的结论,与试验结果不相符。借助 CFD 方法可以更加直观地可视化观察和分析结果,获得了更加丰富的机理信息,能够全面地分析影响炉膛内煤粉燃烧的物理和化学因素,因此得到了与试验结果相符的更加合理的结论,为该锅炉高效低 NO_x 燃烧优化提供了重要指导信息。这充分说明了 CFD 方法与理论分析和试验研究方法起到了相辅相成的作用。

2 几何建模与网格划分

2.1 Gambit 几何建模与网格划分概述

2.1.1 Gambit 图形用户界面

Gambit 是一个操作简单、功能强大的 CFD 前处理器。Gambit 具有几何建模与导入、结构和非结构网格生成、网格质量检查、边界区域类型设定和网格输出功能；具备 ACIS 实体建模能力，也为其他 CAD/CAE 几何造型软件设定了 STEP、IGES 等文件接口；网格类型有六面体、四面体、金字塔和棱柱体网格，以及混合网格。Gambit 图形用户界面如图 2-1 所示。

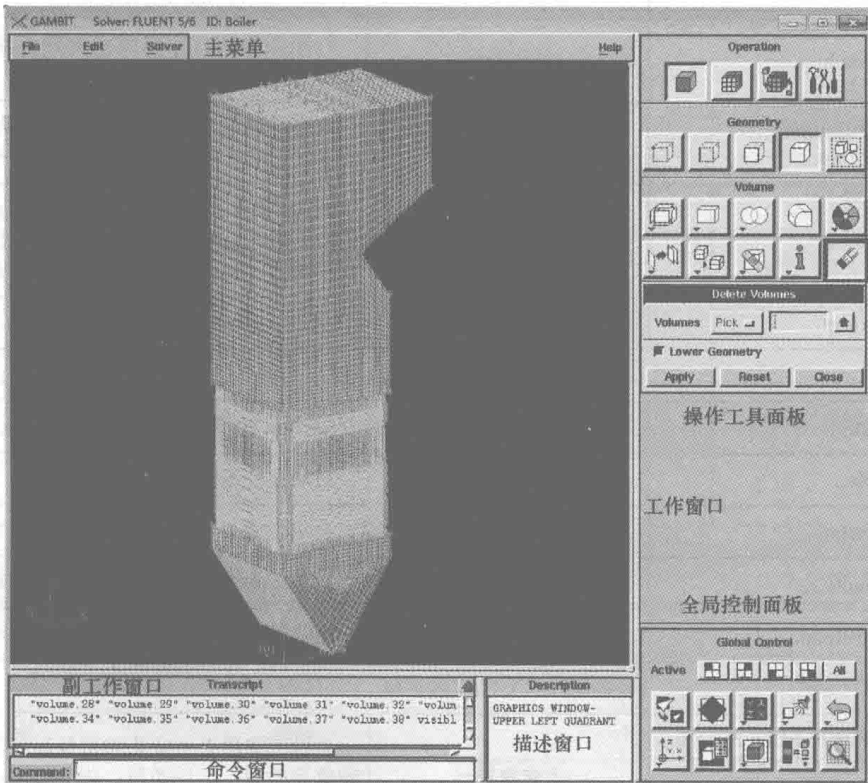


图 2-1 Gambit 图形用户界面

Gambit 软件的几何建模和网格划分步骤为：①采用 Gambit 建模工具直接建立几何模型或在其他 CAD/CAE 几何造型软件建立几何模型，然后导入 Gambit 中；②先生成边网格，再生成面和体网格；③检查网格质量；④设定边界和连续区域的类型；⑤输出二维或三维网格。

使用 Gambit 前，首先建立 Gambit 工作目录；启动 Gambit，选择所建立的工作目录，指定工作文件名称。在 Gambit 工作目录文件夹中，会创建 3 个工作文件，分别是 dbs、jou 和 trn 文件；其中，dbs 文件为数据文件，用于储存所有几何和网格信息；jou 文件是日志文件，

用于储存所有用户操作指令；trn 文件为副本文件，用于储存当前所有输出。dbf 是二进制文件，而 jou、trn 是文本文件。在操作过程中，Gambit 还创建一个锁定文件 lok，是为了防止另一个操作在相同的工作目录下使用相同的文件名称；在 Gambit 正常退出后，该 lok 文件将从工作目录下自动被删除；如果 Gambit 异常退出，这个文件需要手动删除，否则，再次启动 Gambit，不能打开工作 dbf 文件。


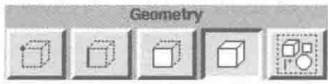


2.1.2 Gambit 建模和网格工具

主菜单、操作工具面板、工作窗口、全局控制面板、鼠标操作和选择实体的鼠标操作概述见表 2-1~表 2-6。

表 2-1 主 菜 单

操 作	描 述	功 能
文件菜单		
New/Open... Save/Save As...	新建/打开/ 保存/另存为	新建文件，打开文件，保存文件，另存为文件
Print Graphics...	打印图形	打印图形到打印机或到文件；图形类型 BMP, TIF, etc.
Run/Clean Journal... View File...	运行日志/清除日志/ 查看文件	屏幕编辑/命令处理日志文件；从日志文件中删除不必要记录，错误命令；显示当前文件
Import	导入	ACIS, Parasolid; IGES, STEP, Catia V4, Catia V5; ICEM 输出, Vertex 数据; CAD [Pro/E (STEP or DIREC); Optegra 可视化工具; I-DEAS FTL]; 网格
Export	导出	ACIS, Parasolid; IGES, STEP; Catia V4; 网格
编辑菜单		
Title...	标题	Session 的名称，显示在窗口标题栏
File...	文件	启动文件编辑器
Parameters...	参数	设定、修改、浏览参数
Defaults...	默认	设定一些默认的变量，启动时自动加载
Undo/Redo	撤销/重做	撤销/重做相关操作步骤
求解器菜单		
FIDAP/FLUENT/UNS/ FLUENT 5/6 /FLUENT 4/RAMPANT/NETTON/ PLOWFLOW/FLOWIZARD /ANSYS/GENERIC	求解器选择	对以下选项有一定影响可使用的网格算法；可使用的单元类型；区域类型；边界类型；输出网格文件。默认求解器是 Fluent 5/6

表 2-2 操 作 工 具 面 板

图 标	二 级 图 标	功 能
		创建几何体顶点，边，面，体，组几何元素
		生成网格边界层，边，面，体，组网格

续表





图标	二级图标	功能
		设定边界类型, 区域类型
		坐标系, Size Functions, G/Turbo, 几何清除, 插件程序工具

表 2-3 工作窗口

名称	功能
工作窗口	点、线、面和体几何模型生成显示; 线、面和体网格生成显示
副工作窗口	操作信息显示, 内容与 trn 文件一样, 这个副本窗口通过箭头按钮可扩大到右上角顶部
命令行	输入 (非图形用户界面) 命令
描述窗口	提示按钮的功能

表 2-4 全局控制面板

图标	功能	图标	功能
	让模型全部显示在预览区域		旋转控制
	四分窗口 四视图		轻光源、标记
	撤销、重做		选择显示方向
	更改标签、能见度、显示/隐藏网格		金属框架结构、阴影、隐藏
	显示颜色		检查网格

表 2-5 鼠标操作

操作	左键	中键	右键
拖动	X/Y 轴旋转	移动模型	放大或缩小/Z 轴旋转
Shift+单击	选择	下一个	接受/下一个选择
双击	—	先前视图	保存视图到日志文件中
Ctrl+单击	拖动放大/缩小	拉伸放大/缩小	单击指向网格

表 2-6 鼠标操作和选择实体

操作	功能
在实体上 Shift+鼠标左键单击	选择一个单独的实体
在它限制边缘 Shift+鼠标左键单击	选取一个面或体
多个“单个实体”选择或单击不松鼠标, 拖到对角同时选中几个目标	选择多个体 (最后选取的加亮并显示红色, 最先选取的加亮显示粉红色)

2.1.3 Gambit 几何建模工具

Gambit 几何建模中用到的几何术语见表 2-7；点、边、面和体创建工具描述见表 2-8~表 2-11；通用性操作工具描述见表 2-12。

表 2-7 几 何 术 语

名称	名称	描 述
vertex	顶点	—
edge	边	它至少有一个顶点（在 1 个顶点的情况，整个边缘形成一个环形）
face	面	（不一定是平面）至少有一个边缘（除了球体和圆环面）
volume	几何体	可认为是一个密封的连接面

表 2-8 点 创 建

操 作	描 述
	利用坐标系（笛卡尔、圆柱、球体）
	利用边
	处于两个边的交点（点和两条边都没有连接）
	边/面/体的质心
	一条边上的投影

表 2-9 边 创 建




操 作	描 述
	直线：多条边能通过多个点来创建
	圆弧：三个点确定一条弧/圆弧；中心和两个终点；半径和开始/结束角度（仅限于弧线）
	选择一个点扫描
	选择一个点或多个点旋转（制定旋转角度；制定旋转中轴的向量设定形式；输入螺旋创建的高度）
	椭圆弧
	圆锥弧
	倒角弧
	从点创建边界（NURBS-曲线曲面的非均匀有理 B 样条）
	在一个面上设计边缘
	分割边
	合并边

表 2-10

面 创 建

操作	描 述
	Wireframe: 能创建实面和虚面; 所有的边必须连接成一个闭环; 边的数目和选择顺序并不重要
	旋转边: 旋转边 (有或无网格); 利用一条边, 一个角度和一条轴来设定; 利用向量来设定轴; 边可以和轴相交
	扫描边: 扫描边 (有或无网格); Rigid 方式——边在整个扫描过程中保持一定; 垂直方式——边在绕轴旋转的过程中保持与轴垂直
	平行四边形
	多边形
	多排点
	外壳
	网
	矩形
	圆
	椭圆
	分割面
	合并面

表 2-11

体 创 建






操作	描 述
	面连接: 通过连接一组面创建一个或多个体; 选择的顺序不重要
	扫描面: 严格选择 (类似的面扫描); 垂直选择 (草绘 t; 扭曲)
	旋转面 (有或无网格): 利用一个面, 一个旋转向量和一个角度; 利用边或利用向量去设定轴
	砖形体, 圆柱体
	圆台, 棱柱, 金字塔体
	球体, 圆环体
	分割体
	合并体

表 2-12

通用性操作工具

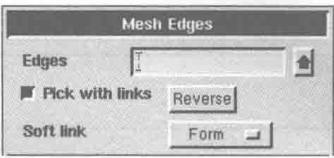
操作	描 述
	移动/复制: 移动/复制所有可用几何实体; 设定向量: 旋转和反射 (移动/复制); 扫描和旋转 (边/面/体创造)
	对齐: 可以对任何几何实体进行操作; 利用顶点的开始和结束位置来移动目标; 排列方法将随着利用的点的对数增加而增加; 包括相连的几何体
	布尔运算——合并: 两个几何体合并为一个几何体
	布尔运算——相减: 两个几何体相减, 得到前一几何体剩下的部分
	布尔运算——交叉: 两个几何体交叉得到两个几何体重叠的部分
	连接: 点、边和面都可连接; 这个操作删除所有重复实体, 并重新连接上面的实体; 只有不超过 ACIS 标准公差的实体才会被连接; 存在的网格将会被保存起来
	拆分: 点、边、面都可以被拆分; 这个操作重新创造复制实体, 并把以上拓扑连接起来; 可用的几个操作: 边+点; 只有边; 边+选择的点
	删除: 删除工具可以用来删除任何几何体; 低层次几何选择: 如果被选中, 将会删除选中的几何体及低层次几何体 (默认设定); 如果不选, 这些低层次几何体将会保留下来 (利用删除边/面/体来分离面和边; 如果一个实体从属于高一级的实体, 则它不能被删除)
	点坐标系的统计, 低级拓扑, 网格信息, 要素, 节点标志等
	检查 ACIS 几何体的正确性
	疑问: 把几何模型和目标名称联系起来
	获得总的实体数目
	修改实体颜色
	改变实体标志

2.1.4 Gambit 网格工具

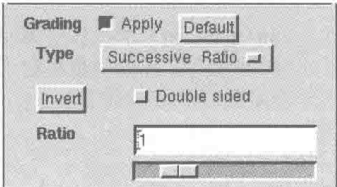
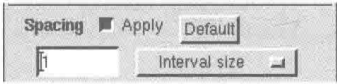
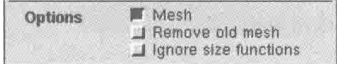
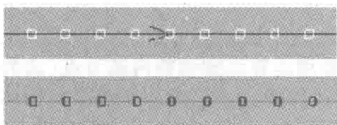
边网格生成的控制是通过不同大小的网格间隔和等级参数实现的。操作面板具体选项及其描述见表 2-13。

表 2-13

操作面板具体选项及其描述

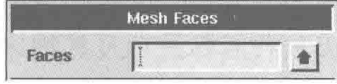
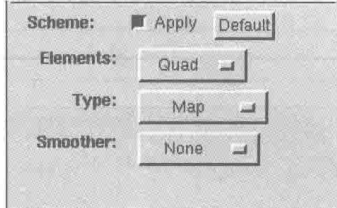
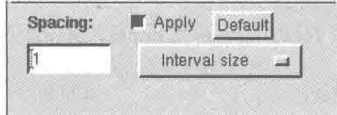
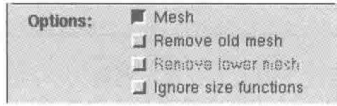
选 项	名 称	功 能
	选择	边选择和方向: 每次选择边都会出现一个箭头显示它的方向, 是生成非均匀网格的方向, 通过 reverse 按钮可改变其方向。 软连接: 软连接的边可以单个地选择; 相连接的边有共同网格信息, 多条边可以一次选中; 默认情况下, 所有选择边之间形成连接, 但也随时可以修改软连接以断开连接

续表

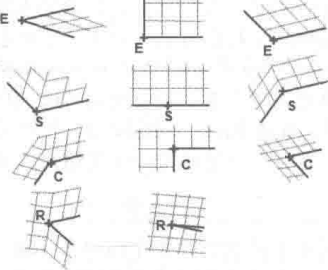
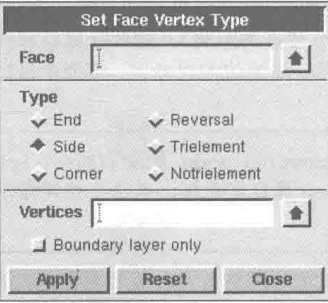

选项	名称	功能
	等级	grade 控制沿着边的网格密度分布；有单边和双边方式；双边方式可以是对称或不对称；对称方式会产生关于中心对称的网格；不对称方式会产生关于不是中心对称的网格； Ratio 是可由用户指定的值（网格非均匀分布的连续变化比例）；当使用双边方式时，如果 $Ratio_1=Ratio_2$ ，网格是对称的；否则，网格是不对称的。可通过 Invert 按钮来改变非均匀网格的分布方向
	间隔	在生成边网格时，可通过下面的方式设定网格数：输入一个数值将会在所选择的边上创建相应数量的网格（获得网格数+1 个节点，包括结束的节点）；间隔尺寸（默认设定）：要求输入网格大小（两个节点的距离），软件计算获得所选择边上需要生成的网格数；最短边的百分比：模型中最短边长度的百分比
	选项	Mesh : 生成网格； Remove old mesh : 删除旧网格； Ignore size function : Size function 具有优先权，当这个按钮激活时才能忽略 size function
	边网格预览和生成	当选中一条边时，这条边的网格节点会显示为白色；这是一个没有适用于边界的临时网格；显示的边界网格是基于当前的 grade 和 space 参数；当修改等级和间距参数时，这个临时网格将会立即更新；单击应用按钮生成边界网格，这些节点将显示为蓝色

可使用的面网格类型和生成方法及操作面板具体选项及其描述见表 2-14。

表 2-14 可使用的面网格类型和生成方法及操作面板具体选项及其描述

选项	名称	功能
	选择	选择需要生成网格的面
	网格生成方案	面网格类型及方法： Quadrilateral （四边形）： Map , Submap , Tri-Primitive , Pave ； Triangular （三角形）： Pave ； Quad/Tri （混合的）： Map , Pave , Wedge
	间隔	在生成面网格时，可通过下面的方式设定网格大小；在指定了面上边的网格后，该选项通常是不勾选的
	选项	Mesh : 生成网格； Remove old mesh : 在生成新的网格时，删除旧网格； Ignore size functions : Size function 具有优先权，当这个按钮激活时才能忽略 size function

续表

选项	名称	功能
	面点类型	<p>基于连接顶点的两条边之间的角度，面上的点被分为四种类型；几个面共有的点可分为不同类型；点的类型决定了面的拓扑结构；点的类型用来确定四边形网格生成方法。</p> <p>End (E): $0^\circ < \phi < 120^\circ$ Side (S): $120^\circ < \phi < 216^\circ$ Corner (C): $216^\circ < \phi < 309^\circ$ Reverse (R): $309^\circ < \phi < 360^\circ$</p>
	修改面点类型	<p>面点类型可以通过相应工具按钮改变其默认类型；一个点有多种类型，每种类型属于一个面；对于给定的点的类型，Gambit 会选择相应的生成网格的方法</p>
	网格光滑	<p>网格光滑可根据网格光滑运算法则调整内部节点（边界网格是不可改变的）来提高网格的质量，这对于复杂几何体最显著，但对于简单几何体基本没有影响；有不同的光滑方式，对于面网格光滑，有基于平均长度，基于邻近网格面积和基于网格形状 3 种方式；对于体网格光滑，有基于平均长度和基于邻近网格体积 2 种方式</p>

高质量的六面体网格是首选。对于给定的网格尺寸应控制离散误差和数据扩散误差，同时使用尽量少的网格数量。对于六面体网格，几何体需要分解多个简单几何体，这样才可以使用六面体网格划分方式；在某些问题中，几何体可能相当复杂，采用六面体网格不切实际，这时可以考虑四面体网格或者混合网格。体网格和生成方法及操作具体选项及其描述见表 2-15。

表 2-15 体网格和生成方法及操作具体选项及其描述

选项	名称	功能
	选择	选择需要生成网格的体
	网格生成方案	<p>体网格类型及其生成方法。</p> <p>Hex: Map, Submap, Tet Primitive, Cooper, Stairstep; Hex/Wedge: Cooper; Tet/Hybrid: TGrid, HexCore; Gambit 会根据所选择的求解器和体上的面结合类型自动选择一种网格划分方式</p>
	间隔	<p>在生成体网格时，可通过下面的方式设定网格大小；在指定了面上边或面的网格之后，该选项通常是不勾选的</p>

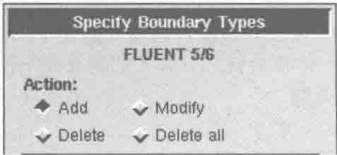

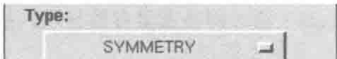
续表

选项	名称	功能
	选项	Mesh: 生成网格; Remove old mesh: 在生成新的网格时, 删除旧网格; Ignore size functions: Size function 具有优先权, 当这个按钮激活时才能忽略 size function
	六面体网格 Map 方法	可用 Map 方法划分的体应是合理的几何体, 且所有的面必须是 mappable 或 submappable
	六面体网格 Submap 方法	可用 submappable 方法划分的体应是所有的面必须是 mappable 或 submappable
	六面体网格 Cooper 方法	Cooper 方法将面网格从体的一端投影并拉伸网格到另一端从而生成体网格。投影方向与 Cooper 方向有关, 与这个方向拓扑垂直的面叫作源面; 体其中的一端源面需要先画好网格; 与源面相交的面称为侧面, 侧面必须是 mappable 或 submappable。 Cooper 使用方法: 当选择 Cooper 方法时, 面板中会出现源面列表框; 若 Gambit 自动选择源面, 检查源面列表框, 核查 Gambit 选择的源面是否正确, 如有必要, 更改所选择的源面。Gambit 可能无法解决源面问题, 手动选择源面
	六面体网格 Tet Primitive 方法	Tet Primitive 方案: 四面体, 三角形面; 直接用 Tet Primitive 方法划分体网格, Tet primitive 方法的划分方式: 连接线、面、体的中心点; 对子域使用 Map 方法
	四面体/混合体 网格 Tet/Hybrid:TGrid	四面体网格质量很大程度上取决于边界上的三角形网格。但是, 如果下列因素存在, 初始化处理会失败或产生倾斜度很大的四面体网格: 边界上有倾斜度很大的三角形网格; 边界附近的三角形网格尺寸变化很大; 存在用合适尺寸的三角形网格无法适当解决的小间隙。在生成混合体网格时可能会出现难点, 如在面与面之间形成很小的夹角时可能无法生成棱柱或棱锥

边界和连续区域类型设定面板和网格检查面板及其描述见表 2-16 和表 2-17。

表 2-16

边界和连续区域类型设定

选项	名称	功能
	边界区域 类型设定	增加、修改和删除设定的边界区域类型
		给要设定的边界区域命名
		选择边界区域类型, 燃烧过程数值模拟中常用的类型: 速度入口、质量入口, 压力入口; 压力出口, flowmass 出口; 壁面; 内部面、interface 和对称面。外部的面或线默认为 wall; 内部的面或线默认为 interior