



面向21世纪课程教材

化工原理仿真实验

吴嘉 主编

2-33
5

化学工业出版社
教材出版中心



面向 21 世纪课程教材

化工原理仿真实验

吴 嘉 主编

化学工业出版社
教材出版中心
·北 京·

(京)新登字 039 号

内 容 提 要

随着现代教育技术的发展,基于计算机仿真技术的仿真实验已经成为扩展和延伸现场实验教学的有效手段。与本书配套的化工原理实验仿真软件利用计算机图形技术在显示器屏幕上创建一个虚拟的化工原理实验装置环境,通过计算机的输入设备(鼠标或键盘)来表达对实验装置的操作过程,再借助于实验装置(物理过程对象)的数学模型和计算机的数值计算能力来模拟实验装置各种参数在操作过程的变化,构成了一个有效的仿真实验系统。学生通过仿真系统的操作,可以对实验过程获得直接的感性体验,尤其对实验步骤和操作程序产生深刻的印象。本书即是为有效运用这一新型教学手段而编写的高等学校化工类专业本科生教材,也可作为化工专业技术人员继续教育的教学用书。

全书由三部分组成:绪论介绍本书编写的基本思路,仿真实验教学手段的运用方式,以及部分教学实践经验;第1章对化工原理实验仿真软件的教学功能、共性的使用方法进行了总体介绍;第2~8章分别对流动阻力、离心泵特性、对流传热、吸收、精馏、干燥和萃取7个单元过程的仿真实验进行了详细介绍。

本书的绪论、第1、2、3、7章由吴嘉编写,第5、8章由杨国成编写,第4、6章由黄灵仙编写,并由吴嘉为全书定稿。

面向 21 世纪课程教材 化工原理仿真实验

吴 嘉 主编

责任编辑:徐世峰

责任校对:郑 捷

封面设计:田彦文

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64918013

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

*

新华书店北京发行所经销
北京市彩桥印刷厂印刷
北京市彩桥印刷厂装订

开本 787×960 毫米 1/16 印张 6 $\frac{3}{4}$ 字数 154 千字
2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月北京第 1 次印刷
印 数:1—5000

ISBN 7-980047-55-9/TQ·02

定 价:20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

序

《化工类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践》为教育部(原国家教委)《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》的 03-31 项目,于 1996 年 6 月立项进行。本项目牵头单位为天津大学,主持单位为华东理工大学、浙江大学、北京化工大学,参加单位为大连理工大学、四川大学、华南理工大学。

项目组以邓小平同志提出的“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”为指针,认真学习国家关于教育工作的各项方针、政策,在广泛调查研究的基础上,分析了国内外化工高等教育的现状、存在问题和未来发展。四年多来项目组共召开了由 7 校化工学院、系领导亲自参加的 10 次全体会议进行交流,形成了一个化工专业教育改革的总体方案,主要包括:

——制定《高等教育面向 21 世纪“化学工程与工艺”专业人才培养方案》;

——组织编写高等教育面向 21 世纪化工专业课与选修课系列教材;

——建设化工专业实验、设计、实习样板基地;

——开发与使用现代化教学手段。

《高等教育面向 21 世纪“化学工程与工艺”专业人才培养方案》从转变传统教育思想出发,拓宽专业范围,包括了过去的各类化工专业,以培养学生的素质、知识与能力为目标,重组课程体系,在加强基础理论与实践环节的同时,增加人文社科课和选修课的比例,适当削减专业课份量,并强调采取启发性教学与使用现代化教学手段,因而可以较大幅度地减少授课时数,以增加学生自学与自由探讨的时间,这就有利于逐步树立学生勇于思考与走向创新的精神。项目组所在各校对培养方案进行了初步试行与教学试点,结果表明是可行的,并收到了良好效果。

化学工程与工艺专业教育改革总体方案的另一主要内容是组织编写高等教育面向 21 世纪课程教材。高质量的教材是培养高素质人才的重要基础。项目组要求教材作者以教改精神为指导,力求新教材从认识规律出发,阐述本门课程的基本理论与应用及其现代进展,并采用现代化教学手段,做到新体系、厚基础、重实践、易自学、引思考。每门教材采取自由申请及择优选定的原则。项目组拟定了比较严格的项目申请书,包括对本门课程目前国内外教材的评述、拟编写教材的特点、配套的现代化教学手段(例如提供教师在

课堂上使用的多媒体教学软件,附于教材的辅助学生自学用的光盘等)、教材编写大纲以及交稿日期。申请书在项目组各校评审,经项目组会议择优选取立项,并适时对样章在各校同行中进行评议。全书编写完成后,经专家审定是否符合高等教育面向 21 世纪课程教材的要求。项目组、教学指导委员会、出版社签署意见后,报教育部审批批准方可正式出版。

项目组按此程序组织编写了一套化学工程与工艺专业高等教育面向 21 世纪课程教材,共计 25 种,将陆续推荐出版,其中包括专业课教材、选修课教材、实验课教材、设计课教材以及计算机仿真实验与仿真学习教材等。本教材是其中的一种。

按教育部要求,本套教材在内容和体系上体现创新精神、注重拓宽基础、强调能力培养,力求适应高等教育面向 21 世纪人才培养的需要,但由于受到我们目前对教学改革的研究深度和认识水平所限,仍然会有不妥之处,尚请广大读者予以指正。

化学工程与工艺专业的教学改革是一项长期的任务,本项目的全部工作仅仅是一个开端。作为项目组的总负责人,我衷心地对多年来给予本项目大力支持的各校和为本项目贡献力量的人们表示最诚挚的敬意!

中国科学院院士、天津大学教授

余国琮

2000 年 4 月于天津

目 录

绪论	1
第 1 章 化工原理仿真实验概述	3
1.1 化工原理仿真实验课件概貌	3
1.2 多媒体示教课件	4
1.3 化工原理仿真实验	5
1.3.1 实验帮助系统	5
1.3.2 仿真实验	7
第 2 章 管内流动阻力测定实验	10
2.1 实验目的	10
2.2 实验任务	10
2.3 实验装置	10
2.4 实验原理和方法	11
2.4.1 圆形直管沿程阻力系数 λ	12
2.4.2 局部阻力及局部阻力系数	13
2.5 仿真实验操作步骤	15
2.5.1 实验装置开车操作	15
2.5.2 测试操作	16
2.6 实验数据处理	18
2.7 实验装置停车操作	19
2.8 实验仿真操作过程注意事项	19
2.9 思考题	19
第 3 章 离心泵特性曲线测定实验	21
3.1 实验目的	21
3.2 实验任务	21
3.3 实验装置	21
3.4 实验原理和方法	22
3.4.1 流量 Q 的测定	23
3.4.2 扬程 H 的测定	23
3.4.3 轴功率 N 的测定	24
3.4.4 离心泵效率 η	24

3.4.5 比例定律的验证	24
3.5 仿真实验操作步骤	25
3.5.1 实验装置开车	25
3.5.2 测取实验数据	26
3.6 实验数据处理	27
3.6.1 计算 Q 、 H 、 N 、 η 数据	28
3.6.2 绘制特性曲线	29
3.6.3 实验结果评价	32
3.7 实验结果讨论	32
3.8 实验装置停车	33
3.9 实验仿真操作过程注意事项	33
3.10 思考题	33
第4章 管内强制对流传热膜系数的测定	34
4.1 实验目的	34
4.2 实验任务	34
4.3 实验装置	34
4.4 实验原理和方法	35
4.4.1 总传热系数 K 的实验求取	36
4.4.2 近似法推算对流传热膜系数 α	36
4.4.3 简易 Wilson 图解法推算对流传热膜系数 α	37
4.4.4 传热准数经验方程式	38
4.4.5 空气质量流量 G 的测定	39
4.5 仿真实验操作步骤	40
4.5.1 实验装置开车	40
4.5.2 测试操作	41
4.6 实验数据处理	43
4.6.1 用近似法处理原始数据	44
4.6.2 用简易 Wilson 法处理原始数据	45
4.7 实验装置停车操作	46
4.8 实验仿真操作过程注意事项	47
4.9 思考题	47
第5章 填料塔吸收过程实验	49
5.1 实验目的	49
5.2 实验任务	49
5.3 实验装置	49

5.4 实验原理和方法	50
5.4.1 填料塔压力降 Δp 与空塔气速 u 的关系	50
5.4.2 填料层压降和空塔气速的测定	51
5.4.3 体积吸收系数的测定	52
5.5 仿真实验操作步骤	55
5.5.1 $\Delta p \sim u$ 曲线的测定	55
5.5.2 体积吸收系数 K_{Ya} 的测定	55
5.6 实验数据处理	57
5.6.1 $\Delta p \sim u$ 曲线的数据处理	57
5.6.2 K_{Ya} 的数据处理	57
5.7 实验装置停车操作	58
5.8 实验仿真操作过程注意事项	59
5.9 思考题	59
第6章 筛板塔精馏过程实验	61
6.1 实验目的	61
6.2 实验任务	61
6.3 实验装置	61
6.4 实验原理与方法	62
6.4.1 全回流操作时的单板效率和全塔效率	63
6.4.2 部分回流操作时全塔效率 E_T' 的测定	64
6.5 实验仿真操作步骤	67
6.5.1 实验装置开车操作	67
6.5.2 测试操作	69
6.6 数据处理	70
6.7 实验装置停车操作	71
6.8 实验仿真操作过程注意事项	71
6.9 思考题	72
第7章 干燥特性曲线测定实验	73
7.1 实验目的	73
7.2 实验任务	73
7.3 实验装置	73
7.4 实验原理与方法	74
7.4.1 干燥速率的定义	75
7.4.2 干燥速率的测定方法	75
7.5 仿真实验操作步骤	78

7.5.1 实验装置开车	78
7.5.2 测取实验数据	79
7.6 实验数据处理	81
7.6.1 计算干燥速度	82
7.6.2 绘制干燥特性曲线图	83
7.6.3 研究干燥条件对于干燥过程的影响	84
7.7 实验结果讨论	85
7.8 实验装置停车	85
7.9 实验仿真操作过程注意事项	85
7.10 思考题	85
第8章 萃取实验	87
8.1 实验目的	87
8.2 实验任务	87
8.3 实验装置	87
8.4 实验原理和方法	88
8.4.1 组成的测定	89
8.4.2 传质平均推动力的计算	90
8.4.3 传质单元数 N_{OE} 的计算	91
8.4.4 体积传质系数 K_{YV} 的计算	91
8.4.5 萃取率 η 的计算	92
8.5 仿真实验操作步骤	92
8.5.1 实验装置开车操作	92
8.5.2 测取实验数据	94
8.6 实验数据处理	94
8.7 实验装置停车操作	95
8.8 实验仿真操作过程注意事项	95
8.9 思考题	96

绪 论

“化工原理”是化工类专业最基本和最重要的专业基础课，在“面向 21 世纪课程体系”中由“化工原理”理论课和“化工原理实验”两门课程组成。其中“化工原理实验”是化工类专业修习的第一门专业工程实验课程，在引导学生建立“工艺流程、工程装置、过程操作”等专业工程概念，理解工程对象、工程方法以及专业理论的工程意义与作用，培养观察、辨识、分析和解决工程实际问题的实验研究技能等方面具有承上启下、联系理论与实际、从科学基础教育向工程技术教育过渡的桥梁作用，是化工高等教育必不可少的核心课程。

化工原理实验课的教学过程包括实验预习、实验实施和结果整理三大教学环节，覆盖以下教学步骤。

实验预习 实验目的和内容的了解、实验流程的解读、实验装置的认知、实验原理的理解、实验操作方法的学习。

实验实施 实验系统的开车操作、实验装置的运行操作、实验现象的观察、实验数据的测取、实验系统的停车操作。

结果整理 测试数据的处理、实验结果的表达、实验结果的分析、实验报告的撰写。

因为化工原理实验是学生修习的第一门专业工程实验课程，学生对于与工程技能相关的教学内容还没有感性经验，在学习过程的初期会遇到较多的困难。尤其是对实验装置的操作，常常会有部分学生不能在实验预习环节中通过聆听教师的讲述和观看示范动作收到满意的学习效果，无法掌握正确的实验操作程序和操作方法，以致在实验过程中错误操作，影响实验进程，甚至发生实验事故：轻者如冲走 U 形管差压计的指示液，使阻力实验无法顺利继续；重者如过度排放精馏塔再沸釜内的液体，导致再沸釜加热器过热保护启动而使系统非正常停车。

计算机仿真技术的发展为我们提供了解决上述教学难点的有效手段和锐利工具。利用计算机图形技术在显示器屏幕上创建一个虚拟的实验装置环境，通过计算机的输入设备（鼠标或键盘）来表达对实验装置的操作过程，再借助于实验装置（物理过程对象）的数学模型和计算机的数值计算能力来模拟实验装置各种参数在操作过程的变化，即可以构成一个有效的仿真实验系统。学生通过仿真系统的操作，可以对实验过程获得直接的感性体验，尤

其对实验步骤和操作流程产生深刻的印象。

根据我们八年来的教学实践体会,可以在化工原理实验教学中以下列两种方式应用仿真实验教学手段。

1. 作为实验室现场实验的预习手段

这种方式主要在实验预习环节中应用仿真实验手段。在学生阅读实验教材、现场观察实验装置后,即安排学生进行仿真实验。结合仿真实验教学多媒体课件的使用和仿真实验操作,学生可以更深刻地认识和理解实验的目的、内容、实验流程、装置构造、实验原理。尤其是通过对仿真实验的反复操作,学生可以熟练掌握正确的实验操作步骤和方法,极大地降低其进行现场实验的错误率,提高实验教学效率,减少实验室耗材成本。

在应用仿真实验教学手段前,浙江大学化工原理实验中学生发生实验操作错误的比率为10%~15%。应用仿真实验教学手段后,随着仿真实验课件质量和师生对这一教学手段适应性的提高,上述错误率逐年降低,近三年一直保持着无差错的水平。因此仿真实验已成为我校化工原理实验不可缺少的教学手段。

2. 作为实验室现场实验的扩展和延伸

由于化工原理实验装置的硬件建设成本较高,有的学校受到条件的限制,在实验装置的种类、规模(套数)和功能方面存在不足,无法开设或大面积开设某些单元操作实验(如萃取、吸附、膜分离等),或不能提供某些较为深入的实验内容(如不同转速下的离心泵特性曲线、部分回流条件下的精馏操作、恒速和降速阶段的干燥速率曲线等)。

仿真实验为我们提供了扩展和延伸现场实验教学的有效手段。通过仿真实验(同样要求学生提交正式的实验报告),学生对相应的单元操作过程或实验内容能够建立起一定的感性经验,加深相关理论知识的理解。当其以后面对实际对象时,不会有陌生感,能够更快地学习和掌握相关技能。

由于仿真实验所需教学时间可以大大少于现场实验,因此也可以为某些受学时限制的专业在现场实验种类之外安排一定的其他单元操作仿真实验,达到在现有教学时间和空间条件下丰富教学内容,拓展学生知识面的效果。

此次出版的化工原理仿真实验教材中,我们提供了在教学实践中使用最多和较为成熟的七个单元操作实验的仿真操作软件和相应的多媒体示教课件。如果得到广大师生的肯定和支持,我们还将继续提供其他单元过程的内容,并对已有单元过程软件的功能和质量进一步提高。

恳请大家对教材、多媒体课件和仿真软件中的错误和不足之处提出批评指正。

编者

2001年8月于浙江大学

第 1 章 化工原理仿真实验概述

1.1 化工原理仿真实验课件概貌

化工原理仿真实验课件由两大部分组成：化工原理实验仿真系统和化工原理仿真实验多媒体示教课件。

化工原理实验仿真系统包括七个单元操作实验：管内流动阻力测定实验、离心泵特性曲线测定实验、管内强制对流传热膜系数测定实验、填料塔吸收过程实验、筛板塔精馏过程实验、转盘塔萃取过程实验、干燥特性曲线测定实验。

每个仿真实验的流程和装置的外形结构、技术性能和操作功能都参照实验室的实际装置进行设计，因此仿真实验的操作步骤、过程、现象、结果都与实际实验基本一致。在每个仿真实验单元中，提供了实验原理、实验装置和实验数据处理等实验预习内容，以及实验操作、原始数据记录、实验数据处理、实验结果表征等实验技能训练内容。

实验仿真操作的整个过程全部用鼠标点击和拖动完成，操作实现了简化，易于学习和掌握。

为了帮助使用者更方便和更直观地学习化工原理仿真软件的使用方法，配套的化工原理仿真实验多媒体示教课件提供了整个软件使用过程的视频资料，并有详细的配音解说，为学生自学创造了良好的条件。

将本书所附的光盘放入光盘驱动器，光盘上的软件会自动运行，显示出出版社、版权等信息之后停留在图 1.1 所示的向导界面上。

向导界面上有四个选择按钮，其名称和功能分别介绍如下。

观看仿真系统演示——启动光盘上的化工原理仿真实验多媒体示教课件。

浏览帮助文件——选择观看化工原理仿真实验使用方法的帮助文档。

安装实验仿真系统——将化工原理实验仿真软件安装到计算机的硬盘上。因为仿真软件运行过程中需要读写数据库，因此该软件不能在只读光盘上运行，必须安装到硬盘上才能正常工作。不过该软件并不需要修改 Windows 注册表和向系统目录里安装文件，因此只要安装到硬盘的任一可读写分区即可。

退出向导——退出向导界面。

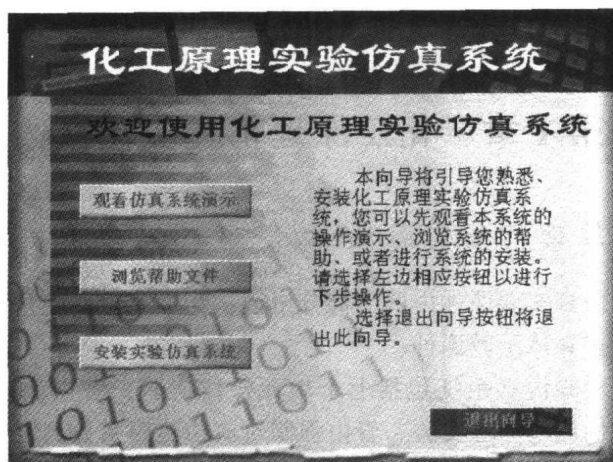


图 1.1 化工原理实验仿真系统向导界面

1.2 多媒体示教课件

点击“观看仿真系统演示”按钮，进入化工原理仿真实验操作演示界面（图 1.2）。

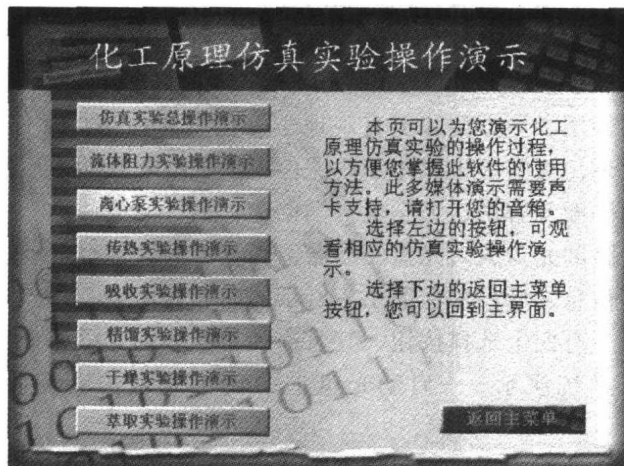


图 1.2 化工原理仿真实验操作演示界面

多媒体示教课件包括“仿真实验总操作演示”、“流体阻力实验操作演示”、“离心泵实验操作演示”、“传热实验操作演示”、“吸收实验操作演示”、“精馏实验操作演示”、“干燥实验操作演示”、“萃取实验操作演示”共八项内容。选择某一项内容，即可播放相应的演示教学内容。

仿真实验多媒体示教课件以 avi 格式提供，用 Microsoft 公司随

Windows操作系统提供的 Media Player 即可播放。

1.3 化工原理仿真实验

安装好化工原理仿真实验软件后，从 Windows 界面的开始菜单中即可启动化工原理仿真实验系统。

化工原理实验仿真系统的主界面如图 1.3 所示。

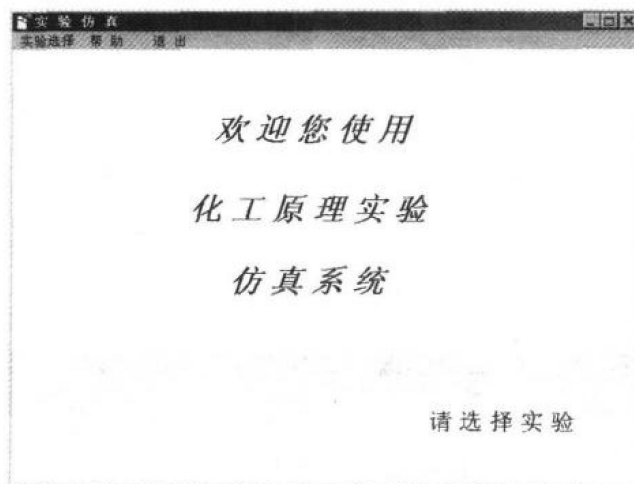


图 1.3 化工原理实验仿真系统主界面

主界面窗口菜单包括三项：“实验选择”、“帮助”和“退出”，分别代表进入仿真实验、进入帮助系统和退出软件。

1.3.1 实验帮助系统

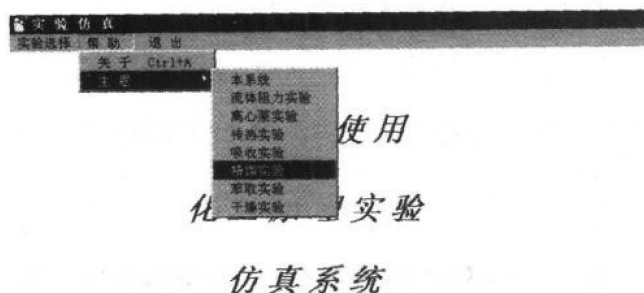
用鼠标左键点击窗口菜单“帮助”项，移动光标到下拉菜单中的“主题”条目，将弹出级联式菜单（图 1.4），从中选择需要的仿真实验项目，用鼠标左键点击，进入相应实验的帮助系统界面。例如选择“精馏实验”，则进入精馏实验的帮助系统。

实验帮助内容分为实验预习、实验原理、实验设备、实验操作、数据处理五项。把光标移到某一项上，光标会变化为一只手的形状，单击可以进入相应内容的帮助（图 1.5）。

“实验预习”提供如何使用实验预习操作界面的指导。

“实验原理”全面介绍了该实验中主要参数的测量原理和相关的基本概念。

“实验设备”简单介绍了本实验装置的构成，点击某一设备名称则给出该设备的基本结构、型号类型、尺寸大小等参数。



请选择实验

图 1.4 选择实验菜单

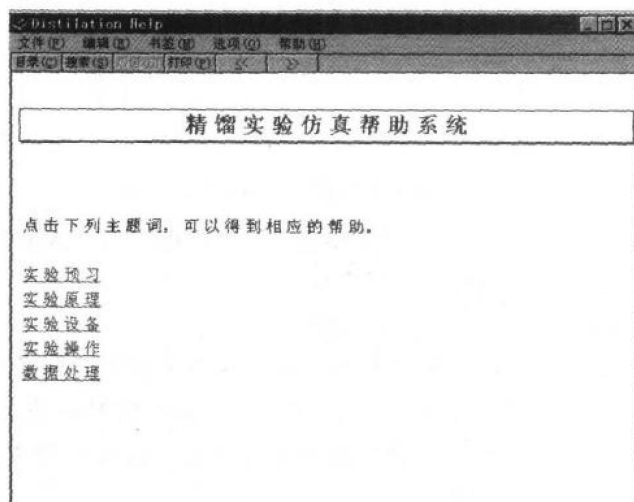


图 1.5 实验仿真帮助系统

“实验操作”详细介绍了操作界面中各个按钮的功能、实验操作步骤、实验过程中需要测量的参数、以及具体设备的操作方法。例如，点实验操作步骤，就会显示本实验的具体步骤。用鼠标单击步骤中的绿色文字条，都可以弹出相应的帮助内容。点“后退”可返回帮助界面。

“数据处理”部分又分为“数据处理方法”和“数据处理操作”两项内容，分别介绍数据处理的方法和如何进行数据处理操作的相应内容。

1.3.2 仿真实验

从窗口菜单“实验选择”项的下拉菜单中选择需要的仿真实验项目，进入相应实验的界面。例如选择“流体阻力”，则进入流体阻力实验界面（见图 1.6）。

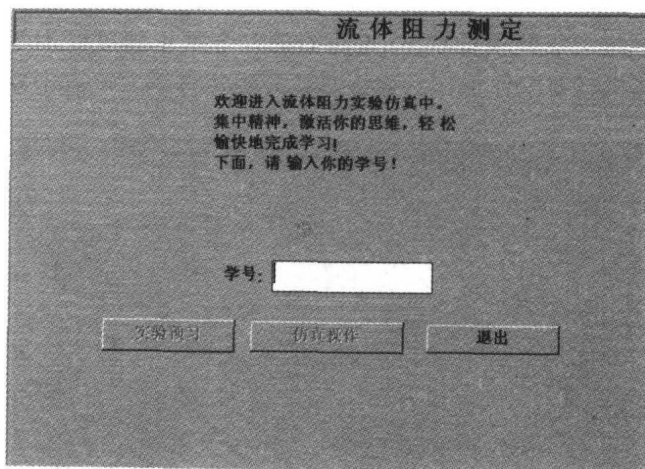


图 1.6 流体阻力实验界面

输入你的学号，按回车键，激活“实验预习”和“仿真操作”两个按钮（图 1.7）。

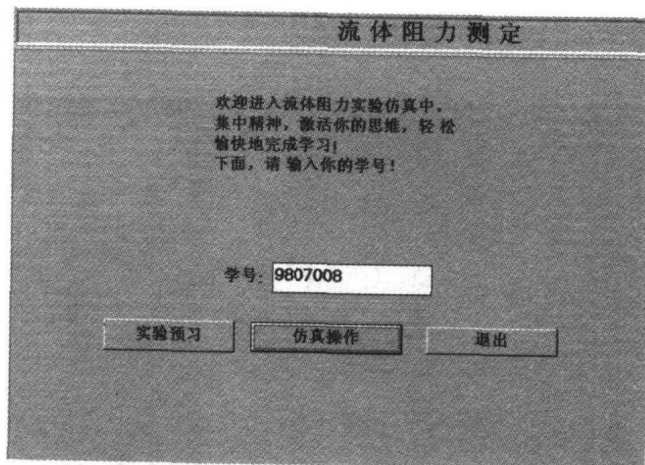


图 1.7 输入学号激活下一步操作

(1) 实验预习

点击“实验预习”按钮，进入实验预习界面（图 1.8）。仔细阅读画面

上的说明文字后，点击画面，进入实验预习练习题界面。练习题是选择题形式，阅读题目和供选择的答案后，用鼠标点击你认为正确的答案的字母。计算机机会自动判断你的答案是否与标准答案相符。如不相符，则会出现一个文本框，告诉你正确答案及其理由（图 1.9）。如果与标准答案相符，则会在界面右上角的分数框中为你加上 10 分。点击“下一题”按钮，可继续回答下一道问题。每个实验项目有 10 道练习题，全部正确可得 100 分。如果得分太低，计算机将要求你重作一遍练习。分数达标后，可点击左上角的返回

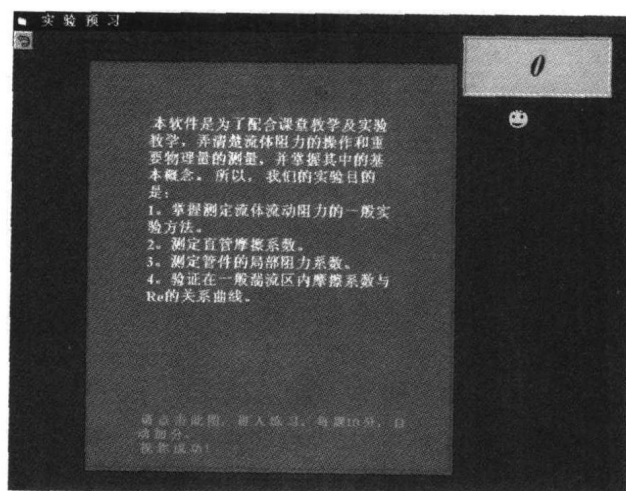


图 1.8 实验预习界面

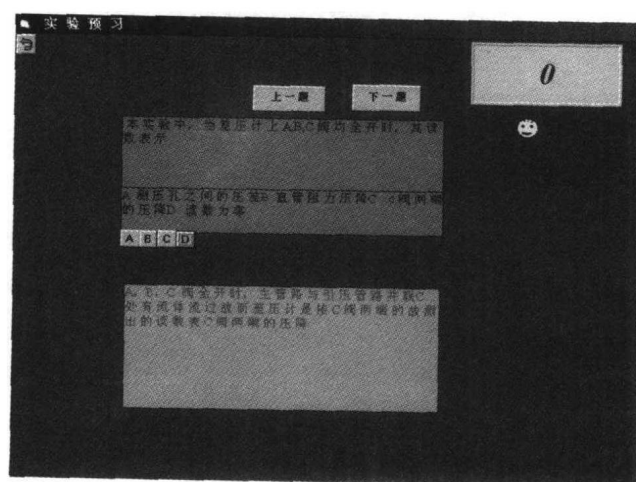


图 1.9 答案错误后的提示