



国家级实验教学示范中心

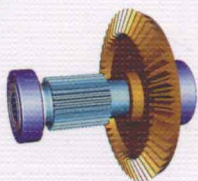
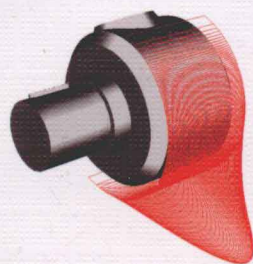
- “机械基础实验教学中心”系列实验教材
- 西南交通大学“323实验室工程”系列教材

虚拟设计系统

主编 王培俊 罗大兵 毛茂林

主审 西南交通大学实验室及设备管理处

XUNI SHEJI XITONG



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

国家级实验教学示范中心

“机械基础实验教学中心”系列实验教材

西南交通大学“323 实验室工程”系列教材

虚拟设计系统

主编 王培俊 罗大兵 毛茂林

主审 西南交通大学实验室及设备管理处

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

作为一门高新实用技术,虚拟现实技术集成了计算机图形学、计算机仿真、人机接口、多媒体、传感器与测量技术等众多学科技术,在工程、军事、航空航天、建筑、医疗、培训、旅游和广告等多个领域得到了日益广泛的应用。其中,虚拟设计和虚拟制造技术在工程领域发挥着重要的作用。

虚拟现实技术的实践性很强。本书结合编者的研究工作,系统地讲解了虚拟设计中的多种人机交互方式,介绍了多个自主研发开发的典型应用系统,内容新颖,深入浅出,实用性强。主要内容包括:概述、虚拟设计系统的常用工具软件、多通道人机交互与基于数据手套的手势识别、基于三维立体鼠标的虚拟设计与装配、Web 环境下产品的实时交互虚拟定制、主动式与被动式三维立体显示系统、语音识别技术与虚拟装配、基于立体显示技术的多参数耦合滑动轴承虚拟实验等。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟设计系统 / 王培俊, 罗大兵, 毛茂林主编. 一成都: 西南交通大学出版社, 2012.3
国家级实验教学示范中心“机械基础实验教学中心”系列实验教材 西南交通大学“323 实验室工程”系列教材
ISBN 978-7-5643-1700-3

I. ①虚… II. ①王… ②罗… ③毛… III. ①仿真系统 IV. ①TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 038330 号

国家级实验教学示范中心

“机械基础实验教学中心”系列实验教材
西南交通大学“323 实验室工程”系列教材

虚 拟 设 计 系 统

主 编 王培俊 罗大兵 毛茂林

*

责任编辑 牛 君

特邀编辑 赵雄亮

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都勤德印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 4.875

字数: 120 千字

2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1700-3

定价: 9.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

虚拟现实 (Virtual Reality) 技术是在计算机图形学、计算机仿真学、人机接口、多媒体以及传感器等技术的基础上发展起来的一门交叉技术, 具有广泛的工程应用前景。针对 21 世纪高素质创新人才和个性化人才培养要求, 按照夯实基础、拓宽视野、及时反映现代科学技术发展与进步的原则, 本书旨在把新技术和现代设计方法引入实验教学, 加强理论知识与实践教学的融合, 拓宽学生的知识面, 增强其创新意识、实践能力和科学实验素养, 培养符合信息时代要求的、具有较强竞争能力的高级机械工程技术人才。

结合创新性实验项目开发、实验技术改革, 西南交通大学机械基础实验教学中心在原有系列实验教材的基础上, 新编写并出版了包括本教材在内的一批反映学科发展最新进展的实验教材, 是西南交通大学“323 实验室工程”系列教材的组成部分。

本书由 8 章组成, 包括概述、虚拟设计系统的常用工具软件、多通道人机交互与基于数据手套的手势识别、基于三维立体鼠标的虚拟设计与装配、Web 环境下产品的实时交互虚拟定制、主动式与被动式三维立体显示系统、语音识别技术与虚拟装配、基于立体显示技术的多参数耦合滑动轴承虚拟实验。虚拟现实技术具有较强的理论性和实践性, 学生能在动手实践的基础上, 充分发挥创造能力。经过几年的虚拟现实感知实验、个性化开放实验的实践摸索, 我们积累了一些虚拟设计实践教学的经验, 本书就是教学成果的阶段性总结。每章包括了我们自主研制开发的虚拟设计应用系统的案例介绍, 章后给出了难易程度不同的实验项目, 可用于前沿性感知实验、个性化开放实验以及研究探索型实验等不同层次的教学实践。

本书可作为高等学校理工科类本科学生开展较高层次的创新实验、个性化实验和开放实验的指导教材, 本科生工程实践环节的指导教材, 机械设计、机械设计基础课程的感知实验教材以及研究生“虚拟设计”课程的参考教材, 也可作为从事虚拟设计、虚拟制造领域相关研究或者应用的人员的参考书。

本书在编写过程中, 得到了西南交通大学机械工程学院研究生龙时丹、朱润华、赵崇、王文静、张荣、阳旭、李国良等同学的帮助, 在此表示感谢!

由于编者水平有限, 加之时间仓促, 书中难免存在不妥之处, 诚请批评指正。

编 者

2012 年 01 月

目 录

1 概 述	1
1.1 虚拟现实技术的主要特征与系统组成	2
1.2 虚拟现实技术的主要类型	2
1.3 虚拟现实技术研究的关键问题	3
1.4 虚拟现实感知实验	4
2 虚拟设计系统的常用工具软件	13
2.1 Java 3D	14
2.2 VRML	17
2.3 OpenGL	20
3 多通道人机交互与基于数据手套的手势识别	23
3.1 虚拟现实的操纵模式与人机交互方式	23
3.2 数据手套	25
3.3 设计举例——利用手势识别进行夹具的虚拟装配	28
3.4 实验项目	30
4 基于三维立体鼠标的虚拟设计与装配	31
4.1 Spaceball 5000 立体鼠标	31
4.2 Spaceball 5000 立体鼠标的接入和数据的读取	32
4.3 设计举例——利用立体鼠标和三维模型数据库实现活塞气泵模型的装配仿真	34
4.4 实验项目	36
5 Web 环境下产品的实时交互虚拟定制	37
5.1 大批量定制的主要分类	37
5.2 基于 Internet 的三维实时交互定制	38
5.3 设计举例——基于 Web 的汽车外观的三维虚拟交互定制	39
5.4 实验项目	41
6 主动式与被动式三维立体显示系统	42
6.1 立体显示基本原理	42
6.2 立体显示常用的硬件设备	44
6.3 立体显示系统的主要类型	47
6.4 设计举例——基于 PC 的三种立体显示系统的设计	49

6.5 实验项目 52

7 语音识别技术与虚拟装配..... 53

7.1 语音识别技术的主要研究内容 53

7.2 语音识别系统的组成与分类..... 54

7.3 语音识别技术的发展和应⤵..... 55

7.4 设计举例——网络环境下基于语音交互的虚拟装配系统..... 55

7.5 实验项目 58

8 基于立体显示技术的多参数耦合滑动轴承虚拟实验 59

8.1 实验项目简介..... 59

8.2 虚拟滑动轴承实验台使用说明 60

8.3 实验前预习..... 62

8.4 实验报告 65

参考文献 69

1 概 述

虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 技术是在计算机图形学、计算机仿真学、人机接口、多媒体以及传感器等技术的基础上发展起来的一门交叉技术。它的“3I”特征,即沉浸感 (Immersion)、交互性 (Interaction) 和想象性 (Imagination) 极大地促进了设计者想象力与创造力的充分发挥。在传统的人机系统中,人与计算机之间以一种对话方式工作。而在虚拟现实系统中,通过多通道用户界面,综合应用视觉、语音、手势等新的交互通道、设备和交互技术,用户可以利用多个通道以自然、并行、协作的方式与计算机进行人机交互,系统通过整合来自多个通道的精确的和精确的输入信息,捕捉用户的交互意图,提高了人机交互的自然性和高效性。

20 世纪 80 年代后期以来,多通道用户界面 (Multi-modal User Interface) 成为人机交互技术研究的热点领域,在国际上受到高度重视。虚拟现实技术比以往的人机交互形式更有希望实现和谐的、“以人为中心”的人机交互操作。通过 20 多年的探索与研究,虚拟现实技术已走出实验室,开始进入实用化阶段并取得了显著的综合效益。实践证明,将信息技术应用于制造业,进行传统制造业的改造,是现代制造业发展的必由之路。以信息技术为依托,以协同设计、并行设计、虚拟设计、定制设计和逆向工程等技术为代表的先进设计技术,使产品的开发技术有了新的突破,代表了 21 世纪设计理论与实践的重要发展趋势。虚拟设计是计算机图形学、人工智能、计算机网络、信息处理、机械设计与制造等技术综合发展的产物,是由多学科先进知识组成的综合系统技术。其本质是以计算机支持的仿真技术为前提,在产品设计阶段,实时、并行地模拟产品开发全过程,预测产品性能、制造成本、可制造性、可维护性和可拆卸性等,从而提高产品设计的一次成功率,降低成本,提高产品竞争力。虚拟设计广泛应用在虚拟装配、产品原型快速生成、虚拟制造等领域。当今许多世界知名企业的产品设计都采用了这项先进技术,如波音公司、空客公司、通用汽车公司、奔驰汽车公司、福特汽车公司等。随着现代制造业的高速发展,虚拟设计在产品的概念设计、装配设计、人机工程学等方面必将发挥更加重大的作用。

利用网络和虚拟现实相结合进行产品的虚拟设计具有很多现实的产品设计所不具备的优势。在网络化环境下开发虚拟现实应用系统,实现虚拟设计,是异地协同设计的重要内容。受网络带宽的限制,目前实时协同设计系统大多数基于文本或二维 CAD 工程图纸,逼真性、临场感较差。有些三维协同设计系统需要商品化 CAD 平台的支持,影响了其在基于 Web 的更大范围内的推广应用。因此,如何适应当前有限的网络带宽是成功实现基于 Web 的虚拟设计系统的关键。根据国情,开发低成本的虚拟现实系统应占主导地位。在低成本基础上开展和推广网络化设计,使协同工作系统适应广大中小企业的承受能力,具有重要的理论与现实意义。

1.1 虚拟现实技术的主要特征与系统组成

虚拟现实是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统，或者说是一种基于可计算信息的视、听、触觉一体化的交互环境，是在图形学、电子显示、语音识别与合成、传感器等技术上发展起来的一门综合仿真技术。VR 技术具有三个重要特征：沉浸感、交互性与想象力。其中，沉浸感是指用户作为主角存在于虚拟环境中的真实程度，用户能够真切地感受到融入了虚拟空间中的程度。理想的虚拟环境应该达到使用户难以分辨真假的程度，用户感受不到身体所处的外部环境。交互性是指虚拟环境内的物体的可操作程度和从环境得到反馈的自然程度（包括实时性）。用户借助多信息通道和多交互手段，摆脱传统的鼠标、键盘的单一输入方式，感受到视觉、听觉、触觉和嗅觉等多种信息，实时地控制虚拟环境中虚拟物体的行为。例如，借助具有力反馈的数据手套，用户可以用手直接抓取虚拟环境中的物体，感觉物体的重量，配合六自由度位置跟踪器等硬件设备，场景中被抓的物体也会随着手的移动而移动，达到自然的人机交互效果。想象力是指用户沉浸在多维信息空间中，决定虚拟场景中的物体按照自己的意愿运动的能力。

VR 系统主要由软件环境、高性能计算机系统和输入输出设备三部分组成，如图 1.1 所示。

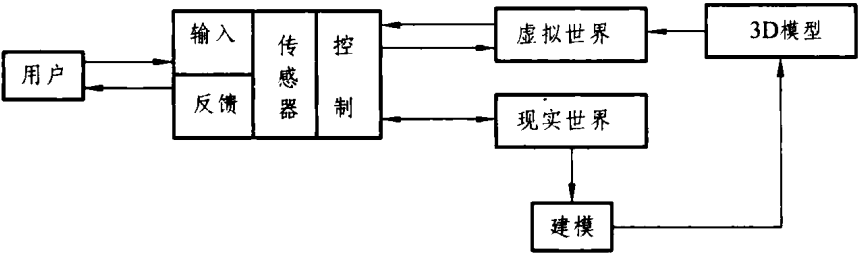


图 1.1 VR 系统的构成

1.2 虚拟现实技术的主要类型

VR 技术主要可以分为以下四类：

1. 非沉浸式桌面型 VR 系统

非沉浸式桌面型 VR 系统使用桌面计算机产生三维仿真，利用计算机屏幕观察 360° 范围内的虚拟环境，人机交互的主要设备是普通二维鼠标、六自由度立体鼠标、数据手套、操纵杆和力矩球等。在这种类型的 VR 系统中，参与者不能实现完全的沉浸感，即使用户戴上立体眼镜，仍然由于周围现实环境的干扰而缺乏真实的体验，不能达到完全的身临其境，只能实现半沉浸效果；但它的成本较低，使用方便。对于虚拟设计来说，其主要目的是与虚拟环境进行实时交互，因此非沉浸式或半沉浸式桌面型 VR 系统基本能够满足产品设计需要，应用较为广泛。

2. 沉浸式 VR 系统

沉浸式 VR 系统主要依赖于各种 VR 硬件设备，如头盔式显示器等，把参与者的视觉、听觉和其他感觉封闭起来，外部世界被屏蔽在视线之外，利用位置跟踪器、数据手套等设备与虚拟环境进行交互，产生一种身临其境的感觉。但许多用户在使用这种 VR 系统时，会产生眩晕、恶心、头痛等不适症状，不适的程度因人而异。常见的沉浸式系统有：基于头盔式显示器的 VR 系统、洞穴（CAVE）VR 系统、远程控制（存在）系统等。

3. 增强现实的 VR 系统

增强现实的 VR 系统不仅利用 VR 技术模拟、仿真现实世界，而且增强现实中无法或不方便感知的感受。

4. 分布式 VR 系统（Distributed Virtual Reality, DVR）

分布式 VR 系统可以看做是基于网络的同步虚拟现实系统。异地分布的多个用户通过计算机网络连接在一起，对同一虚拟世界进行观察和操作，达到实时协同工作的目的。

由于 VR 系统的软硬件成本较高，应根据不同用途和需要配置不同的系统，获得不同的沉浸感，避免因系统过于复杂而导致成本太高、维护的负担过重。例如，用于手机外形造型设计的异地协同设计系统，重点在于三维数据的快速远程传输和实时渲染，实时显示高质量的三维立体图像，而对听觉和触觉的要求较低，用普通鼠标和键盘进行操纵即可达到人机交互的目的。而在虚拟装配中，除三维图像外，还要求多通道人机交互，以便以自然的方式进行装配操作仿真；因此需要配备六自由度位置跟踪器、数据手套和立体眼镜等设备。

1.3 虚拟现实技术研究的关键问题

虚拟现实技术的发展特别依赖于人工智能、图形学、网络、面向对象、人机交互和高性能计算机等技术，其关键技术和研究内容较多，其中包括以下几个方面：

1. 环境建模技术

虚拟环境的建立是虚拟现实技术的核心内容，环境建模的目的是获取实际三维环境的三维数据，并根据应用的需要，利用获取的三维数据建立相应的虚拟环境模型。

2. 立体声合成和立体显示技术

在虚拟现实系统中，如何消除声音的方向与用户头部运动的相关性已成为声学专家们研究的热点。同时，虽然三维图形生成和立体图形生成技术已经比较成熟，但复杂场景的高质量实时渲染与显示一直是计算机图形学的重要研究内容之一。

3. 力反馈

虚拟现实系统中，产生身临其境效果的关键因素之一是让用户能够直接操作虚拟物体并

感觉到虚拟物体的反作用力。如何实现力反馈装置的高精度、大重量和低成本是一个需要进一步研究的问题。

4. 交互技术

虚拟现实中的人机交互远远超出了键盘和鼠标的传统模式，三维交互技术已经成为计算机图形学中的一个重要研究课题。此外，语音识别与语音输入技术也是虚拟现实系统的一种重要人机交互手段，提高识别精度是其研究内容之一。

5. 碰撞检测

碰撞现象在虚拟环境中普遍存在，影响着虚拟现实对象的行为和真实感。例如，在虚拟装配系统中，碰撞检测影响着虚拟手操作的实时性和真实感。广义碰撞检测包括碰撞检测（Collision Detection）、碰撞响应（Collision Response）和碰撞处理（Collision Handling）几个环节。当碰撞发生时，虚拟现实系统应该给用户一个直观的、延时很小的反馈。在现实世界中，手抓取物体时如果发生碰撞，物体将给手一个反作用力。但是，许多数据手套不具备力反馈功能，因此要用其他模式的反馈代替触觉反馈。虚拟现实系统在视觉上具有良好的实时性，用视觉反馈可以部分代替触觉上的反馈，将发生碰撞这一事件实时传递给用户。碰撞检测是虚拟现实技术的难点之一，碰撞检测算法的精度、实时性、简单性等均是研究的热点内容。

6. 系统集成技术

由于虚拟现实系统中包含有大量的感知信息和模型，因此系统的集成技术起着至关重要的作用。集成技术包括信息的同步技术、模型的标定技术、数据转换技术、识别和合成技术等。

7. 传感器技术

一个完整的虚拟现实系统由软件环境、高性能计算机系统和输入输出硬件设备等组成。理想的虚拟现实系统应具有人的所有感知功能，即除了一般计算机技术所具有的视觉感知之外，还有听觉感知、力觉感知、触觉感知、运动感知，甚至包括味觉感知、嗅觉感知等，用户可以借助多种传感器与多维的信息环境进行自然的交互。显而易见，以沉浸感、交互性和想象力为代表的虚拟现实技术与传感器技术的发展紧密相关。受传感器技术的限制，目前虚拟现实系统所具有的感知功能局限于视觉、听觉、力觉、触觉、运动等几种。

1.4 虚拟现实感知实验

1.4.1 实验设备

1. 硬件设备

实验所需硬件设备如下：

- ① HP 图形工作站 Workstation XW6200；

- ② 服务器 Dell T5500 (四缓冲专业显卡);
- ③ Epson 专业工程投影机 EB-Z8050W (专业镜头, 偏振处理);
- ④ 立体显示图像硬件分离器 WSR801;
- ⑤ 六自由度空间跟踪定位器 (Polhemus Patriot™);
- ⑥ 5DT Data Glove 5W 型数据手套, 左手 (五个自由度)、右手 (七个自由度) 各一只;
- ⑦ SpaceBall 5000 立体鼠标;
- ⑧ 专用金属幕布;
- ⑨ 5DT HMD 800-26 (头盔);
- ⑩ 偏振立体眼镜;
- ⑪ 闸门式立体眼镜及配套的红外线控制器等。

2. 软件平台

(1) VR 工具软件: WTK、OpenGL、OpenInventor、VRML、Java3D、C++等。

(2) 应用系统: 全部为自主研制开发。按 VR 系统类型的不同可分为以下两类:

① 表现沉浸感: 夹具虚拟装配系统、基于立体显示技术的多参数耦合滑动轴承虚拟实验台、基于数据手套及六自由度跟踪器的电机壳体模具的虚拟装配系统、工程机械和减速器模型等;

② 表现三维交互性: 虚拟手机外型设计系统、虚拟售票机、基于数据库和三维立体鼠标的活塞气泵虚拟装配系统、虚拟家具定制系统、西南交通大学犀浦新校区及国家级机械基础实验教学示范中心的虚拟漫游系统、虚拟数控加工仿真系统等。

1.4.2 实验内容与步骤

虚拟操作是真实人与虚拟世界交互的一种方式。本实验通过以下步骤, 进行不同的 VR 系统的操作实践, 体验不同程度的沉浸感。

1. 进行非沉浸式 VR 系统中的人机交互操作

使用二维鼠标、键盘、立体鼠标等交互设备进行人机交互, 实现简单的虚拟操作, 并体会虚拟声音等信息对沉浸感的影响。重点是虚拟定制设计系统和虚拟漫游系统的操作。

使用软件: 虚拟手机外型设计系统、虚拟售票机、虚拟家具定制系统、水泵的虚拟装配仿真系统和基于 Web 的物流自动化分拣系统等。图 1.2 所示为物流自动化分拣系统的主界面。操作者可根据实际需要针对不同种类货物的分拣顺序和货物总数进行定制, 实现不同货物从进库、转移、分拣、暂存到出库等操作。虚拟分拣系统主要由货物、底座及支撑平台模块、货架模块 (进货货架、出货暂存区)、驱动传动模块 (电动机、皮带轮、传送带)、机械臂模块、分拣模块 (控制装置、分拣装置) 等模块组成。图 1.3 所示为西南交通大学犀浦新校区及国家级机械基础实验教学示范中心的虚拟漫游系统主界面。

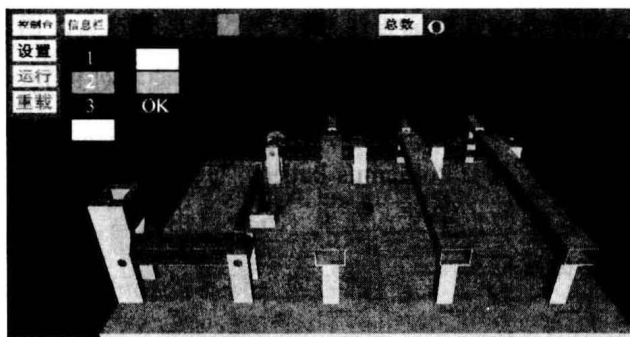


图 1.2 基于 Web 的物流自动化分拣系统人机交互主界面

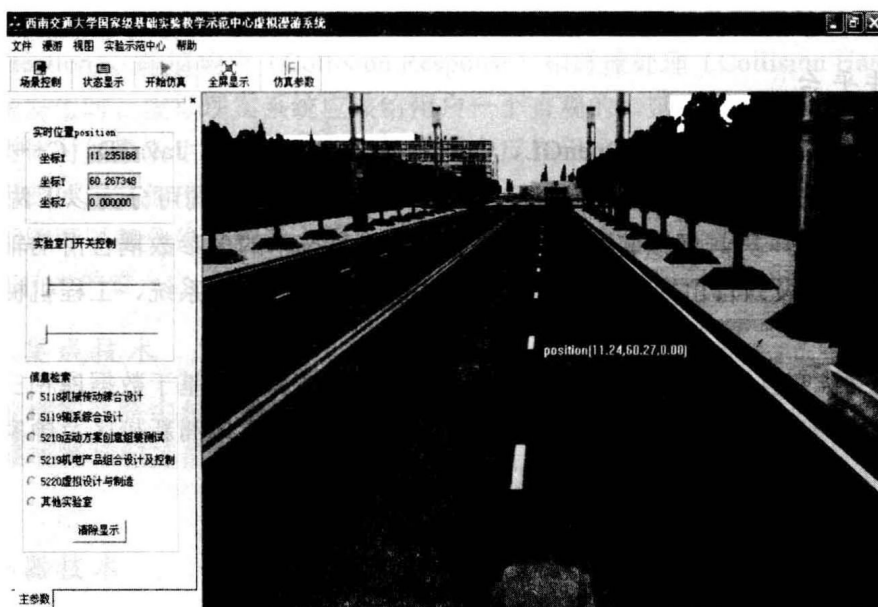


图 1.3 虚拟漫游系统主界面

2. 体验半沉浸式 VR 系统

利用六自由度位置跟踪器和数据手套测量人手的位置和运动,通过计算机实现实物虚化(在虚拟环境中建立人的代理),然后通过虚拟代理来操作虚拟物体,实现自然的虚拟操作。

使用软件:基于手势识别的夹具的虚拟装配系统、基于碰撞检测的虚拟手抓取操作、基于数据手套及六自由度跟踪器的电机壳体模具的虚拟装配系统等。

3. 了解并体验立体显示

首先学习立体显示原理。在此基础上,进行以下操作:

(1) 基于桌面 PC 的 RCT 显示器和闸门式立体眼镜的主动式立体显示。

使用软件:基于闸门式立体眼镜和头盔的桌面主动式立体显示系统。

通过本实验,了解人的心理因素对立体显示效果的影响,如通过导入不同形状模型或

分别导入同一产品的线框模型和实体模型并进行比较，或对同一模型设置不同的材质，这些因素将与产生双目视觉的生理因素共同作用，使观察者产生视觉上的差别。

(2) 基于大屏幕投影和偏振眼镜的被动式立体显示。

使用软件：基于投影屏幕的被动式立体显示系统。

每位操作者戴上偏振立体眼镜，观察大屏幕（专用金属幕布）上的三维模型，体会正视差、负视差的差别。

4. 虚拟数控加工

利用虚拟数控加工仿真环境，进行数控编程基本训练，得到加工结果，实时观察分析加工过程。

图 1.4 所示为以广州机床厂生产的数控车床 GSK 928TC 为原型的虚拟数控加工仿真系统。

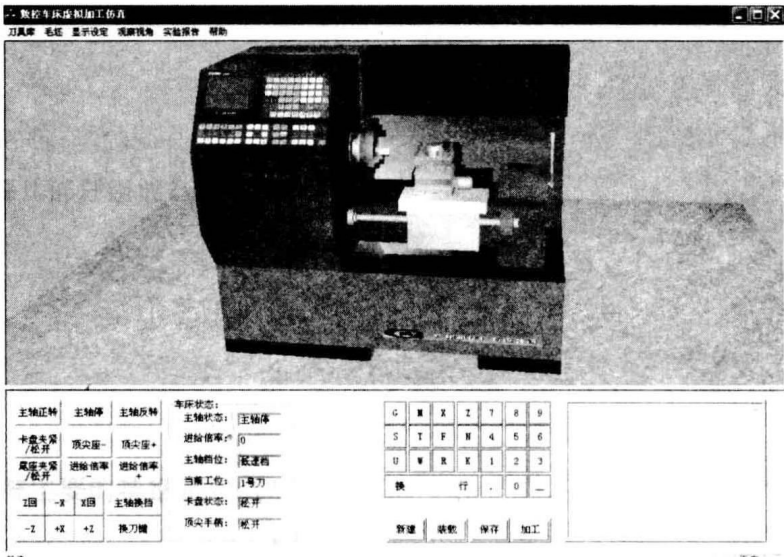


图 1.4 虚拟数控加工仿真系统

1.4.3 实验报告

虚拟现实与虚拟设计实验
实验报告

班级		姓名		学号		日期	
指导教师						成绩	
1. 什么是虚拟现实? 2. VR 系统由哪几部分组成? 3. 虚拟现实系统主要的特征是什么?							

4. 什么是虚拟设计与虚拟制造？

5. 什么是分布式虚拟现实系统？

6. 目前主要存在哪几种虚拟现实系统？请阐述其各自的特点。

7. 你所了解的虚拟现实系统中，常用的输入输出设备有哪些？其主要作用分别是什么？

8. 设计虚拟现实系统时，常用的软件有哪些？其中哪些是你比较熟悉的或已使用过的？