



现代焊接技术与应用培训教程  
中国焊接协会推荐教材

# 焊接机器人

## 离线编程及仿真系统应用

Application for Robotic

Arc Welding Off-Line

Programming and Simulation System

刘伟 林庆平 纪承龙 编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

现代焊接技术与应用培训教程  
中国焊接协会推荐教材

# 焊接机器人离线编程 及仿真系统应用

Application for Robotic Arc Welding Off-Line  
Programming and Simulation System

刘 伟 林庆平 纪承龙 编  
杜志忠 王营瑞 江建鑫 审



机械工业出版社

本书从离线编程和模拟仿真的基础知识入手,以 DTPS 离线编程仿真软件为例来介绍离线编程及仿真系统的技术及应用,主要内容包括计算机仿真技术基础、机器人离线编程技术、DTPS 离线编程仿真软件、DTPS 离线编程仿真软件的使用及应用举例、DTPS 离线编程仿真软件的扩展应用、DTPS 离线编程仿真软件在汽车行业的仿真应用。本书突出实用性,循序渐进,理论联系实际,对于没有机器人设备的单位和个人,也可通过本教材提供的试用版软件(随书光盘)学习机器人编程,读者学习后能熟练掌握焊接机器人系统,并举一反三。

本书可作为职业技术学院焊接及机器人相关专业的教材,也可作为企业的机器人技能培训教程,还可作为专业技术人员的参考资料。

## 图书在版编目(CIP)数据

焊接机器人离线编程及仿真系统应用/刘伟,林庆平,纪承龙编. —北京:机械工业出版社,2014.5

现代焊接技术与应用培训教程

ISBN 978-7-111-46425-9

I. ①焊… II. ①刘… ②林… ③纪… III. ①焊接机器人-程序设计-技术培训-教材 ②焊接机器人-仿真系统-技术培训-教材 IV. ①TP242.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 072331 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:侯宪国 责任编辑:侯宪国

版式设计:常天培 责任校对:纪敬

封面设计:张静 责任印制:李洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2014 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12.75 印张·306 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-46425-9

ISBN 978-7-89405-380-0(光盘)

定价:39.80 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

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 序

机器人离线编程系统是在机器人编程语言的基础上发展起来的，是机器人语言的拓展。它利用机器人图形学的成果，建立起机器人及其作业环境的模型，再利用一些规划算法，通过对图形的操作和控制，在离线的情况下进行轨迹规划。用机器人离线编程方式编制的机器人离线编程系统，在不接触实际机器人及机器人作业环境的情况下，通过图形技术，在计算机上提供一个和机器人进行交互作用的虚拟现实环境。近年来，离线编程引起了人们的广泛重视，并成为机器人学中一个十分活跃的研究方向。

目前，工业生产中所采用的焊接机器人编程方式大多为示教编程。操作人员利用示教盒控制机器人运动，使焊枪到达完成焊接作业所需位姿，并记录下各个示教点的焊枪位姿数据，随后，机器人便可以在“再现”状态完成这条焊缝的焊接。离线编程系统则是借助模拟与离线编程软件，在办公室内完成机器人编程，无需中断生产。机器人程序可提前准备就绪，提高整体生产效率，还可借助软件提供的各种工具，在不影响生产的前提下执行培训、编程和优化等任务，提升机器人系统的盈利能力，获得多种利益，如风险降低、投产更迅速、换线更快捷。

离线编程系统应用了模拟仿真技术，在虚拟现实环境下创建三维互动模型，便于观察模型结构、了解动态过程，执行十分逼真的模拟，所用的系统模型均为生产车间实际使用的真实机器人系统和相同的程序配置文件，可以不受时间和空间限制，完成机器人的编程（示教）工作。因此，机器人焊接离线编程及仿真是提高机器人焊接系统柔性化的一项关键技术，是现代机器人焊接制造业的一个重要发展趋势。

本教材以仿真概念及机器人离线编程的基础知识为切入点，选取松下 DTPS（弧焊）机器人离线编程仿真软件的计算机显示界面截图，根据实际案例逐步讲解，图文并茂，便于学习和掌握机器人离线编程仿真软件的原理及使用。对其他品牌的机器人离线编程及模拟仿真软件的学习及应用能起到触类旁通和举一反三的效果。希望通过本教材的出版能够使机器人离线编程及仿真系统应用技术得以普及和推广，促进和推动我国焊接机器人应用技术的不断进步！



中国机械工程学会副理事长兼秘书长 张彦敏

# 前 言

焊接机器人一般都是在某一工序的特定环境下完成单一工作，在集约化、大规模、连续生产的发展趋势下，焊接机器人应用技术将得到进一步提升，并越来越多地用于一些复杂环境和多任务的场合。因此，焊接机器人进行实际作业前的模拟仿真和生产过程中的离线编程就变得非常重要。机器人离线编程技术对工业机器人的推广应用及其工作效率的提高有着重要意义。特此，我们编写了《焊接机器人离线编辑及仿真系统应用》。

本教材是中国焊接协会培训规划教材中的焊接机器人应用系列教材第三册，详细讲述在不接触机器人及机器人作业环境的情况下，通过图形技术在计算机上提供一个和机器人进行交互作用的虚拟现实环境，将计算机上编写的程序直接传输给现场的机器人系统运行，为机器人编程和调试提供安全灵活的工作环境。

本教材主要讲述了由日本松下开发的 DTPS 机器人离线编程及仿真系统，这是一款在 Windows 环境下运行的系统软件，具有与工作站相当的高速图形处理能力，能方便地实现三维图形的仿真和机器人系统建模。本教材所讲解的是其第三代版本，适用于日本松下生产的 G<sub>II</sub> 和 G<sub>III</sub> 系列机器人进行实时仿真和离线编程。本教材适用于焊接专业和机器人应用方向的职业院校、企业培训、工程技术人员参考使用，建议初学者在学习本教程时，将系列教材之一《焊接机器人基本操作及应用》作为前导课程。

编者通过多年的企业工作经验和教学实践，将大量的视频和应用案例制作成随书光盘，一步一图，便于学习和掌握。在本教材的编写过程中，厦门凤凰创壹软件有限公司的英国留学博士林庆平教授，编写了第一、二章的内容，厦门集美职业技术学校的纪承龙老师编写了第五章的内容，刘伟老师编写了第三、四、六、七章的内容。武汉理工大学的博士生导师周强教授主审了第一章的内容；唐山松下产业机器有限公司的王营瑞先生参与了全书的审核工作。

中国机械工程学会的张彦敏秘书长欣然为本书作序，中国焊接学会的王麟书秘书长为扉页的机器人焊接培训基地做了署名介绍，中国焊接协会的吴九澎副秘书长亲自召集各方专家并主持教材的评审和论证，厦门集美职业技术学校的杜志忠校长在基地的建设和书稿的审核也给予了大力支持。焊接机器人系列教材在编写和出版过程中，还得到了华侨大学、厦门理工学院、厦门松兴机器有限公司等有关教授和专家的参与和支持，在此深表感谢！

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和错误，请读者提出宝贵意见！

编 者

# 目 录

## 序

## 前言

## 第 1 章 计算机仿真技术基础..... 1

### 1.1 系统仿真 ..... 1

#### 1.1.1 系统与仿真 ..... 1

#### 1.1.2 系统仿真的类型 ..... 2

#### 1.1.3 系统仿真的一般步骤 ..... 3

### 1.2 虚拟现实 ..... 3

#### 1.2.1 虚拟现实的基本内容 ..... 4

#### 1.2.2 虚拟现实的特点 ..... 6

#### 1.2.3 虚拟现实的技术基础 ..... 7

#### 1.2.4 可视化仿真技术 ..... 8

### 1.3 动画仿真与机械仿真 ..... 10

#### 1.3.1 动画仿真 ..... 10

#### 1.3.2 机械仿真 ..... 11

### 1.4 仿真资源与网络教学 ..... 14

#### 1.4.1 虚拟情景体验式教学系统 ..... 14

#### 1.4.2 虚拟仿真技术与网络教学 ..... 15

#### 1.4.3 虚拟仿真与实训教学 ..... 16

### 1.5 焊接仿真 ..... 17

#### 1.5.1 焊接训练仿真系统 ..... 17

#### 1.5.2 焊接工艺仿真软件 ..... 20

### 1.6 机器人仿真 ..... 23

#### 1.6.1 机器人仿真的途径 ..... 24

#### 1.6.2 机器人焊接仿真视频 ..... 25

#### 1.6.3 焊接机器人教学系统 ..... 25

## 第 2 章 机器人离线编程技术 ..... 30

### 2.1 机器人离线编程概述 ..... 30

#### 2.1.1 机器人离线编程系统研究与 应用现状 ..... 30

#### 2.1.2 机器人离线编程与仿真核心 技术 ..... 35

#### 2.1.3 机器人离线编程系统实用化

技术研究趋势 ..... 37

### 2.2 机器人在线编程 ..... 38

#### 2.2.1 机器人语言 ..... 38

#### 2.2.2 示教再现机器人 ..... 39

#### 2.2.3 机器人示教编程 ..... 39

### 2.3 机器人离线编程的技术特点及组成 ..... 44

#### 2.3.1 机器人离线编程的特点及功能 ..... 45

#### 2.3.2 机器人离线编程系统的组成 ..... 46

### 2.4 焊接机器人离线编程技术 ..... 49

#### 2.4.1 执行级焊接机器人离线编程 系统 ..... 49

#### 2.4.2 任务级焊接机器人离线编程 系统 ..... 53

## 第 3 章 DTPS 离线编程仿真软件 ..... 58

### 3.1 DTPS 的概念及主要用途 ..... 58

#### 3.1.1 DTPS 的概念 ..... 58

#### 3.1.2 DTPS 的主要用途 ..... 58

### 3.2 DTPS 的功能及特点 ..... 58

#### 3.2.1 DTPS 软件在实际工作中的 功能 ..... 58

#### 3.2.2 DTPS 软件的特点 ..... 59

#### 3.2.3 DTPS 离线程序制作流程 ..... 62

#### 3.2.4 DTPS 的设定内容 ..... 62

#### 3.2.5 部品编辑、工件编辑 ..... 63

#### 3.2.6 示教、模拟 ..... 63

#### 3.2.7 程序编辑 ..... 64

#### 3.2.8 通信 ..... 64

### 3.3 DTPS 软件的安装方法与步骤 ..... 64

#### 3.3.1 软件的安装及运行环境 ..... 64

#### 3.3.2 安装方法及步骤 ..... 65

## 第 4 章 DTPS 离线编程仿真软件 的使用 ..... 71

### 4.1 DTPS 软件的安装与链接的建立 ..... 71

4.1.1	DTPS 软件系统初始界面	71	5.1.10	改变镜像值	131
4.1.2	Installation Link (设备链接) 的生成	71	5.1.11	重复使用镜像	131
4.1.3	Installation (设备) 的建立	72	5.1.12	保存及命名	131
4.1.4	DTPS 软件系统导航界面	74	5.2	设备的初始化设置	132
4.2	Installation (设备) 属性的编辑	75	5.2.1	进入设备编辑器	132
4.2.1	机器人属性的编辑	75	5.2.2	进入机器人信息对话框	132
4.2.2	编辑工具矢量	78	5.2.3	选择机器人型号	132
4.2.3	机构的设定	79	5.2.4	设置焊枪型号	133
4.3	编辑外部轴	82	5.2.5	添加焊枪	133
4.3.1	回转变位机的编辑	82	5.2.6	选择送丝机所在轴	134
4.3.2	行走变位机的编辑	87	5.2.7	添加送丝机	134
4.3.3	在设备编辑器中添加变位机	92	5.3	各模型单元的导入	135
4.3.4	建立机器人和变位机的关联 (设定外部轴)	93	5.3.1	添加模型	135
4.4	编辑 (导入) 工件	99	5.3.2	添加已绘制好的工件	135
4.5	DTPS 简易 CAD 绘图功能举例	104	5.3.3	摆放工作台位置	136
4.6	模拟示教及编辑程序	108	5.3.4	放置机器人	136
4.6.1	添加工件	109	5.3.5	添加系统中其他模型	137
4.6.2	机器人原点位置的设定	110	5.3.6	离线示教及参数设定	138
4.6.3	模拟示教编程	111	<b>第 6 章 DTPS 离线编程仿真软件的扩展应用</b>		146
4.7	双协调的设定	115	6.1	外部程序的导入与导出	146
4.8	其他常用操作的若干说明	120	6.1.1	示教器程序导入 “Installation”	146
4.8.1	测量两点间的距离	120	6.1.2	计算机离线程序的导出	154
4.8.2	显示机器人的动作范围	122	6.2	离线程序的格式转换	157
4.8.3	天吊机器人的设定	124	6.2.1	转换为图片或 CAD 图的方法	157
<b>第 5 章 DTPS 离线编程仿真软件的应用举例</b>		126	6.2.2	将离线程序转换为文档	159
5.1	简单模型的创建	126	6.2.3	将离线程序转换为视频	162
5.1.1	设备建模	126	6.3	机器人轨迹线条的编辑	164
5.1.2	进入部件编辑界面	126	6.4	外部工件导入及去除表面纹线	168
5.1.3	选择工件类别	127	6.5	焊缝平移功能	172
5.1.4	创建工件模型	128	6.6	应用简易 CAD 制作场地三维效果图	175
5.1.5	修改工件位置参数	128	<b>第 7 章 DTPS 离线编程仿真软件在汽车行业的仿真应用</b>		177
5.1.6	移动部件位置	128	7.1	焊接机器人系统形式仿真	177
5.1.7	修改部件位置坐标	128	7.1.1	八字形双工位机器人系统	177
5.1.8	部件的复制与粘贴	130	7.1.2	水平回转机器人系统	178
5.1.9	应用镜像功能移动部件位置	130	7.1.3	中厚板机器人焊接系统	179

---

7.2 汽车座椅焊接机器人系统仿真 .....	180	7.9 输油管焊接机器人系统仿真 .....	189
7.2.1 座椅骨架焊接机器人系统 .....	180	7.10 防撞梁部件焊接机器人系统仿真 .....	190
7.2.2 座椅调角器焊接双机器人系统 .....	182	7.11 排气处理装置焊接机器人系统 仿真 .....	191
7.3 后扭力梁焊接机器人系统仿真 .....	182	<b>中国焊接协会机器人焊接培训</b>	
7.4 前副车架焊接机器人系统仿真 .....	184	<b>基地简介</b> .....	192
7.5 桥壳焊接双机器人系统仿真 .....	184	<b>后记</b> .....	193
7.6 下摆臂机器人焊接系统仿真 .....	185	<b>参考文献</b> .....	194
7.7 仪表盘支架焊接机器人系统仿真 .....	186		
7.8 消声器焊接机器人系统仿真 .....	187		



# 第 1 章 计算机仿真技术基础

## 1.1 系统仿真

系统仿真是 20 世纪 40 年代以来伴随着计算机技术的发展而逐步形成的一门新兴学科。仿真, 又称模拟 (simulation), 就是用一个模型来模仿真实的事物或系统。由于人们越来越常用计算机来建立模型模拟客观事物或系统的结构、功能和行为。所以, 系统仿真又被称为计算机仿真或计算机模拟。现在的系统仿真技术已经发展成连续系统仿真、离散事件动态系统仿真、虚拟现实并行仿真等多个技术领域或方向, 广泛应用在各行各业中。计算机仿真和系统科学是近代最具有代表性的科学技术, 它们的应用已经给多个传统工程领域带来新的气象和成果。

### 1.1.1 系统与仿真

#### 1. 系统

系统一词最早见著于古希腊原子论创始人德谟克利特的著作《世界大系统》一书。如今, 系统这个词语已经在各个领域用得非常广泛, 从而使人们很难对它下一个准确的定义。在总结前人思想的基础上, 我们可以将系统定义如下: 按照某些规律结合起来, 互相作用、互相依存的所有实体的集合或总体。

在定义一个系统时, 首先要确定系统的边界。尽管世界上的事物是相互联系的, 但当我们研究某一对象时, 总是要将该对象与其环境区分开来。边界确定了系统的范围, 边界以外对系统的作用称为系统的输入, 系统对边界以外的环境的作用称为系统的输出。

尽管世界上的系统千差万别, 但人们总结出描述系统的“三要素”, 即实体、属性、活动。实体确定了系统的构成, 也就确定了系统的边界, 属性也称为描述变量, 描述每一实体的特征。活动定义了系统内部实体之间的相互作用, 反映了系统内部发生变化的过程。

#### 2. 仿真

仿真是指在实际系统尚不存在的情况下对于系统或活动本质的实现。最初, 仿真技术主要用于航空、航天、原子反应堆等价格昂贵、周期长、危险性大、实际系统试验难以实现的少数领域, 后来逐步发展到电力、石油、化工、冶金、机械等一些主要工业部门, 并进一步扩大到社会系统、经济系统、交通运输系统、生态系统等一些非工程系统领域。可以说, 现代系统仿真技术和综合性仿真系统已经成为任何复杂系统, 特别是高技术产业不可缺少的分析、研究、设计、评价、决策和训练的重要手段。其应用范围在不断扩大, 应用效益也日益显著。

#### 3. 系统仿真的特性

- 1) 系统仿真是一种实验技术, 它为一些复杂的系统创造了一种计算机实验环境。
- 2) 系统仿真实验需要在一定的语言支持下建立经过抽象和简化的仿真模型。

3) 系统仿真的输出结果是在仿真实验运行过程中不断对系统行为和系统状态进行观察和统计而得到的。

4) 系统仿真研究的对象往往包含多种随机因素的综合作用, 每次仿真运行只是对系统行为的一次随机抽样。

#### 4. 系统仿真的优点

1) 认识客观世界规律性的新型手段, 它可以将研制过程、运行过程和实施过程放在实验室中进行, 具有良好的可控制、无破坏性、可复现性和经济性等特点。

2) 用它可以探索高技术领域和复杂系统深层次的运动机理和规律性, 给出人们直观逻辑推理不能预见的系统动态特征, 具有科学的先验性。

3) 系统仿真可根据系统内部的逻辑关系和数学关系, 面向系统的实际过程和行为来构造仿真模型, 在很少假设或不作假设的前提下建立包括系统主要因素和具体细节的模型框架, 并通过仿真实验运行, 得到复杂的解。

4) 系统仿真建模具有面向过程的特点, 仿真模型与所研究系统的运行过程在形式上和逻辑上存在对应性, 避免了建立抽象数学模型的困难, 显著简化了建模过程, 具有直观性。

5) 随着系统仿真理论和计算机技术的发展, 系统仿真已跻身于高新技术领域, 使系统仿真与人工智能技术、并行处理技术、分布式仿真、优化理论、三维图像处理技术以及多媒体技术等融为一体, 并逐步步入虚拟现实仿真、互联网上仿真以及群决策仿真研讨等领域。

仿真程序、仿真语言、仿真环境是仿真技术发展的三个不同层次。仿真技术已广泛应用于工业生产、交通运输、能源供应、医疗卫生、航空航天、军事作战、制造过程以及社会服务等诸多领域。

### 1.1.2 系统仿真的类型

#### 1. 根据模型的种类分类

根据模型的种类不同, 系统仿真可分为物理仿真、数学仿真和半实物仿真。

按照真实系统的物理性质构造系统的物理模型, 并在物理模型上进行实验的过程称为物理仿真。物理仿真的优点是直观、形象。物理仿真的缺点是模型改变困难, 实验限制多, 投资较大。

对实际系统进行抽象, 并将其特性用数学关系加以描述而得到系统的数学模型, 对数学模型进行实验的过程称为数学仿真, 亦称为计算机仿真。数学仿真的缺点是受限于系统建模技术, 即复杂系统的数学模型不易建立。

第三类称为半实物仿真, 即将数学模型与物理模型甚至实物联合起来进行实验。对系统中比较简单的部分或对其规律比较清楚的部分建立数学模型, 并在计算机上加以实现, 而对比较复杂的部分或对规律尚不十分清楚的系统, 其数学模型的建立比较困难, 则采用物理模型或实物。仿真时将两者连接起来完成整个系统的实验。

#### 2. 根据仿真时钟与实际时钟的比例关系分类

实际动态系统的时间基称为实际时钟, 而系统仿真时模型所采用的时钟称为仿真时钟。

1) 实时仿真, 即仿真时钟与实际时钟完全一致, 也就是模型仿真的速度与实际系统运行的速度相同。当被仿真的系统中存在物理模型或实物时, 必须进行实时仿真, 例如, 各种训练仿真器, 集装箱起重机训练仿真器。

2) 亚实时仿真, 即仿真时钟慢于实际时钟, 也就是模型仿真的速度慢于实际系统运行的速度。

3) 超实时仿真, 即仿真时钟快于实际时钟, 也就是模型仿真的速度快于实际系统运行的速度。例如, 大气环流的仿真, 交通系统、物流系统的仿真等。

### 3. 根据系统模型的特性分类

(1) 连续系统仿真 连续系统是指系统状态随时间连续变化的系统。一般用常微分方程或偏微分方程描述。机电系统的动力学、运动学和控制等问题的仿真研究就属于该类型仿真。

(2) 离散事件系统仿真 离散事件系统是指系统状态在某些随机时间点上发生离散变化的系统。离散事件动态系统, 本质上属于人造系统, 简称为 DEDES (discrete event dynamic systems)。模型可采用数学方程、曲线、图表、计算机程序等多种形式表征。基于系统的模型, 可分析系统的行为性能及其与系统结构和参数的关系, 研究系统的控制和优化。生产车间的调度、计划安排、作业流程等问题的优化仿真就属于离散事件系统仿真。

(3) 虚拟现实 虚拟现实 (virtual reality, VR) 是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统。虚拟环境是由计算机和电子技术生成的。通过视、听、触觉等作用于用户, 使之产生身临其境的感觉。训练航天员、飞行员、船舶驾驶员的模拟器就属于虚拟现实系统。

## 1.1.3 系统仿真的一般步骤

第一步要针对研究目的建立系统模型, 确定模型的边界。

第二步是仿真建模。根据系统的特点和仿真的要求选择合适的算法。

第三步是程序设计, 即将仿真模型用计算机能执行的程序来描述。早期的仿真往往采用高级语言编程。现在更多是采用专用仿真软件。

第四步是程序检验。程序调试的检验和仿真算法的合理性检验。

第五步对模型进行实验, 这是实实在在的仿真活动。

第六步是对仿真输出进行分析。仿真输出分析在仿真活动中占有十分重要的地位, 特别是对离散事件系统来说, 其输出分析甚至决定着仿真的有效性。仿真输出分析既是对模型数据的处理, 同时也是对模型的可信性进行验证。

实际仿真时, 上述步骤往往需要多次反复和迭代。

## 1.2 虚拟现实

虚拟现实采用以计算机技术为核心的现代高科技生成逼真的视、听、触觉一体化的特定范围的虚拟环境, 用户借助必要的设备以自然的方式与虚拟环境中的对象进行交互作用、相互影响, 从而产生等同真实环境的亲临感受和体验, 如图 1-1 所示。

VR 思想的起源可追溯到 1965 年 Ivan Sutherland 在 IFIP 会议上的《终极的显示》报告, 而“Virtual Reality”一词是 20 世纪 80 年代初美国 VPL 公司的创建人之一 Jaron Lanier 提出来的。VR 系统在若干领域的成功应用, 导致了它在 20 世纪 90 年代的兴起。虚拟现实是高度发展的计算机技术在各种领域的应用过程中的结晶和反映, 不仅包括图形学、图像处理、模式识别、网络技术、并行处理技术、人工智能等高性能计算技术, 而且涉及数学、物理、

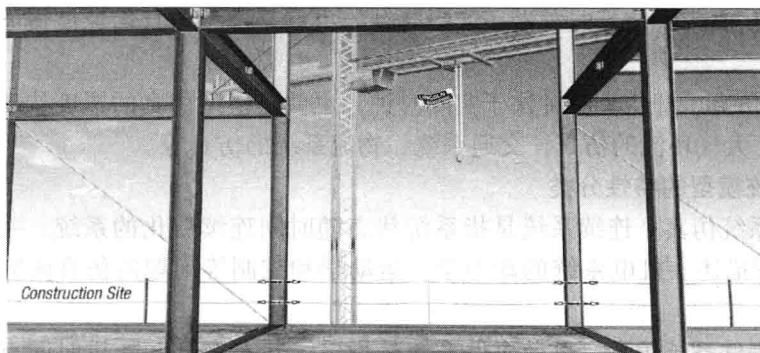


图 1-1 钢结构厂房建造虚拟场景

通信,甚至与气象、地理、美学、心理学和社会学等相关学科知识。

### 1.2.1 虚拟现实的基本内容

虚拟现实的三大特征是:沉浸、交互、创意。以虚拟现实创建的虚拟环境,强调人参与其中的身临其境的沉浸感,同时人与虚拟环境之间可以进行多维信息的交互作用,参与者从定性和定量综合集成的虚拟环境中可以获得对客观世界中客观事物的感知和理性的认识,从而深化概念和创建新的构想和创意。

虚拟现实是客观事物在计算机上的本质实现。客观事物包括:人、物、环境以及他们之间的关系。例如,人的决策行动和响应特性,物体的几何形状与物理特性(动力学、反射特性、声学特性、光照模型、物理约束)以及地形地貌、气象条件、背景干扰等环境。

虚拟现实和模拟仿真容易在概念上引起混淆,两者是有一定区别的。概括地说,虚拟现实是模拟仿真在高性能计算机系统和信息处理环境下的发展和技术拓展。我们可以举一个烟尘干扰下能见度计算的例子来说明这个问题:在构建分布式虚拟环境基础信息平台应用过程中,经常会有由燃烧源产生的连续变化的烟尘干扰环境能见度的计算,从而影响环境的视觉效果、仿真实体的运行和决策。某些仿真平台和图形图像生成系统也研究烟尘干扰下的能见度计算,仿真平台强调烟尘的准确物理模型、干扰后的能见度精确计算以及对仿真实体的影响程度;图形图像生成系统着重于建立细致的几何模型,估算光线穿过烟尘后的衰减。而虚拟环境中烟尘干扰下的能见度计算,不但要考虑烟尘的物理特性,遵循烟尘运动的客观规律,计算影响仿真结果的相关数据,而且要生成用户能通过视觉感知的逼真图形效果,使用户在实时运行的虚拟现实系统中产生真实环境的感受和体验。可以说,虚拟现实是传统系统仿真技术的发展和延伸,又称为现代仿真技术。

VR技术的三个主要方面是实物虚化、虚物实化和高性能的计算处理技术。

#### 1. 实物虚化

实物虚化是指现实世界空间向多维信息化空间的一种映射,主要包括:基本模型构建、空间跟踪、声音定位、视觉跟踪和视点感应等关键技术,这些技术使得真实感虚拟世界的生成、虚拟环境对用户操作的检测和操作数据的获取成为可能。它具体基于以下几种技术:

(1) 漫游技术 它是应用计算机技术生成虚拟世界的基础,将真实世界的对象物体在相应的3D虚拟世界中重构,并根据系统需求保存部分物理属性。例如,车辆在柏油地、草

地、沙地和泥地上行驶时情况会有所不同, 或对气象数据进行建模生成虚拟环境的气象情况(阴天、晴天、雨、雾)等。通过 VR 技术制作的虚拟焊接间场景如图 1-2 所示。

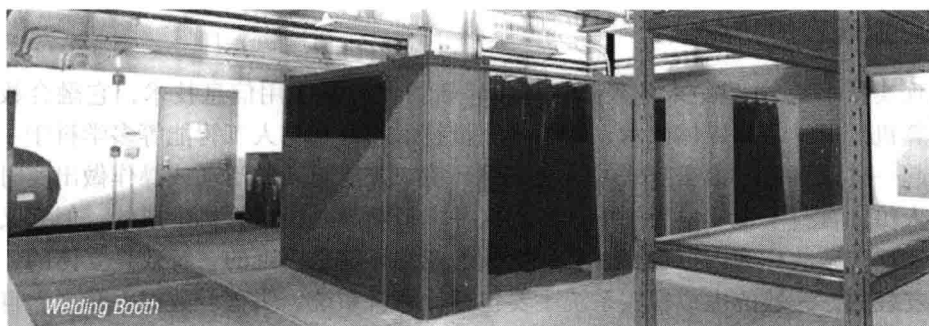


图 1-2 虚拟焊接间场景

(2) 空间跟踪技术 空间跟踪技术主要是通过头盔显示器、数据手套、数据衣等常用的交互设备上的空间传感器, 确定用户的头、手、躯体或其他操作物在 3D 虚拟环境中的位置和方向。

(3) 声音跟踪技术 利用不同声源的声音到达某一特定地点的时间差、相位差、声压差等进行虚拟环境的声音跟踪。

(4) 视觉跟踪与视点感应技术 使用从视频摄像机到 X-Y 平面阵列、周围光或者跟踪光在图像投影平面不同时刻和不同位置上的投影, 计算被跟踪对象的位置和方向。

## 2. 虚物实化

虚物实化是指确保用户从虚拟环境中获取同真实环境中一样或相似的视觉、听觉、力觉和触觉等感官认知的关键技术。能否让参与者产生沉浸感的关键因素除了视觉和听觉感知外, 还有用户能否在操纵虚拟物体的同时, 感受到虚拟物体的反作用力, 从而产生触觉和力觉感知。力觉感知主要由计算机通过力反馈手套、力反馈操纵杆对手指产生运动阻尼从而使用户感受到作用力的方向和大小。触觉反馈主要是基于视觉、气压感、振动触感、电子触感和神经、肌肉模拟等方法来实现的。虚拟现实头盔和数据手套如图 1-3 所示。

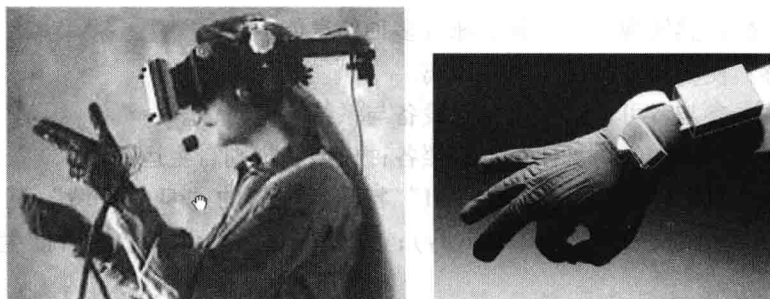


图 1-3 虚拟现实头盔和数据手套

## 3. 高性能计算处理技术

高性能计算处理技术主要包括数据转换和数据预处理技术, 实时、逼真图形图像生成与显示技术, 多种声音的合成与声音空间化技术, 多维信息数据的融合、数据压缩以及数据库

的生成技术，命令识别、语音识别以及手势和人的面部表情信息的检测等在内的模式识别技术，分布式与并行计算以及高速、大规模的远程网络技术。

### 1.2.2 虚拟现实的特点

虚拟现实技术是 20 世纪末才兴起的一门崭新的综合性实用信息技术，它融合数字图像处理、计算机图形学、多媒体技术、传感与测量技术、仿真与人工智能等多学科于一体，为人们建立起一种逼真的虚拟交互式的三维空间环境，并能对人的活动或操作做出实时准确的响应，使人仿佛置身于现实世界之中。虽然这种虚拟境界是由计算机生成的，但它又是现实世界的真实反映，故称为虚拟现实。它所生成的视觉环境是三维的、音效是立体的、人机交互是和谐友好的，一般的虚拟现实系统主要包括计算机系统、头盔、数据手套、六自由度鼠标、操纵杆和传感器等装置。因此，虚拟现实技术能为接受培训的人员创造出一种流连忘返的学习和工作环境。虚拟现实系统框架如图 1-4 所示。

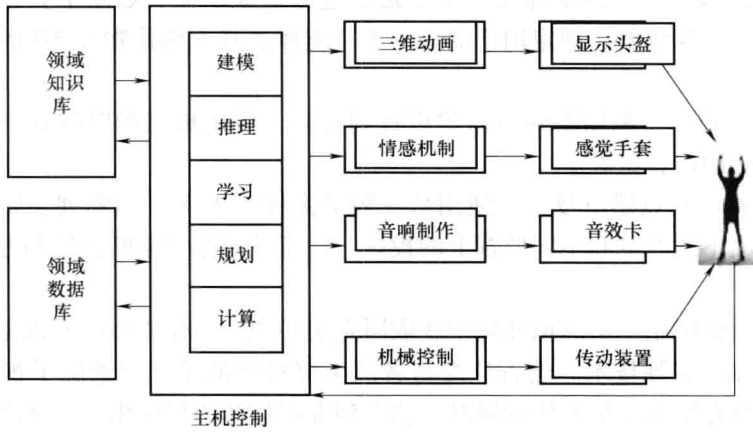


图 1-4 虚拟现实系统框架

虚拟现实系统的特点：

- (1) 多感知性：感知视、听、触、味等多种信息能力。
- (2) 沉浸感：使参与者与现实暂时脱离。
- (3) 交互性：参与者可通过三维交互设备与系统实时对话。
- (4) 自主性：系统中的仿真体可以按照各种模型和规则自主运动。

因此，人们形容虚拟现实技术具有“3I”特点：强烈的“身临其境”沉浸感（Immersion）；友好亲切的人机交互性（Interactivity）；强烈的刺激性、创造性所催生的想象性（Imagination）。

其中，交互性主要是指参与者通过使用专门设备，用人类的自然技能实现对模拟环境的考察与操作程度；沉浸感即投入感，力图使参与者在计算机所创建的三维虚拟环境中处于一种全身心投入的感觉状态，有身临其境的感觉；想象性是指最大限度发挥人类的创造性和想象力。桌面虚拟现实系统和立体眼镜如图 1-5 所示。

虚拟现实技术从不同的角度有不同的分类方法，根据虚拟现实构建情景的合理性可分为



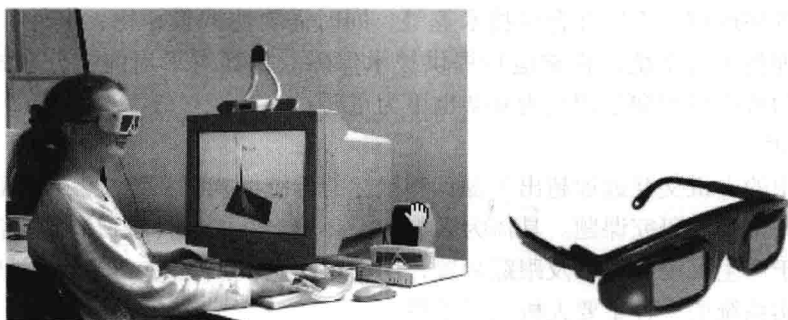


图 1-5 桌面虚拟现实系统和立体眼镜

合理的虚拟现实、夸张的虚拟现实和虚构的虚拟现实三种。例如，桌面式虚拟现实有结构简单、价格低廉、易于普及推广等特点，但缺少完全的沉浸感，操作者会受环境干扰，如 QTVR (QuickTimeVR) 等。沉浸型虚拟现实沉浸感非常强，但系统设备价格昂贵，难以普及推广，如远程存在系统。增强现实性的虚拟现实不仅模拟、仿真现实世界，而且增强参与者对现实中无法感知或不方便的感受。分布式虚拟现实系统是利用远程网络，多个用户对同一虚拟世界进行观察和操作，达到协同学习、工作及相互交流的目的，如 SIMNET (SimulatorNet working)。

采用虚拟技术还可构成“虚拟工厂”、“虚拟企业”、“虚拟商业网”等环境。例如，虚拟制造就是通过计算机虚拟模型，对产品的设计、工艺流程、加工制造、装配、调试以及生产过程的管理等进行模拟。

综上所述，虚拟现实通过建立三维实体和虚拟现实场景，提供给用户一个浏览的空间，但在这样的环境中用户往往不能控制对象的运动。

### 1.2.3 虚拟现实的技术基础

虚拟现实是多种技术的综合，其关键技术和研究内容包括以下几个方面：

#### 1. 动态环境建模技术

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。据统计，仿真模拟系统所提供的视景为仿真模拟提供 70% 的有用信息，仿真模拟系统内容的丰富程度、逼真度、清晰度和视场角的大小，直接影响到仿真系统的质量和仿真模拟效果。尽管目前构成的虚拟场景已经有了较为逼真的场景效果，但是利用图形图像技术生成的真实感场景与真实场景相比仍有不小的差距。

#### 2. 网络环境技术

当前，随着计算机网络技术的发展和广泛应用，也由于各种应用需求的驱动，分布式仿真模拟系统成为目前的研究热点之一。系统中数据和交互命令的快速传输，要求分布式系统能够及时响应，同时系统的规模还要求可扩展、功能可扩充、甚至要求是异构型的软件结构。

#### 3. 仿真场景管理技术

虚拟仿真中包括大量的感知信息和模型，如信息的同步技术、模型的标定技术、数据转

换技术、数据管理模型、识别和合成技术等等。同时需要协调景、物、事件、输入信息等。仿真场景的管理技术为系统的正常运行提供技术保障。尤其对于当前的分布式模拟仿真技术,仿真场景的数据组织和管理更为复杂也更为重要。

#### 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。具体为人与虚拟环境交互的硬件接口装置,涉及图形图像硬件设备,用于产生沉浸感,以及跟踪装置,用于跟踪定位。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。

#### 5. 应用环境系统

应用系统是面向具体问题的软件部分,描述仿真的具体内容,包括仿真的动态逻辑、结构以及仿真对象与用户之间的交互关系,与具体的应用有关,仿真对象的行为模拟的真实性和可信性很大程度上取决于对场景对象构建的物理模型和数学模型的量化程度和模型的精度。

### 1.2.4 可视化仿真技术

在这几项关键技术当中,动态环境建模技术是各种虚拟现实系统的基础,而可视化仿真技术又是动态环境建模技术的核心。

可视化仿真技术一种用图形或图像来表征数据的计算方法,即利用计算机图形图像技术将一维数据转化为可观察的二维或三维几何表示,从而达到增强人们对抽象信息认知的目的。可视化仿真技术可以分为科学计算可视化和空间信息可视化。

#### 1. 可视化仿真应用系统的组成

- (1) 仿真应用程序 它是可视化仿真的驱动核心。
- (2) 图像生成器 它是可视化仿真的硬件平台。
- (3) 可视化数据库 它是可视化仿真的数据基础。

#### 2. 可视化仿真系统三维建模数据库特点

- 1) 模型的多边形数量要尽可能少。
- 2) 模型数据的构造要尽可能简单。
- 3) 模型数据库的结构要便于进行操作。
- 4) 模型数据库要能够被应用程序快速读取。
- 5) 模型数据库可以包含各种约束限制信息。

#### 3. 可视化仿真与计算机动画技术的区别

尽管仿真、三维动画的画面最终在屏幕上显示出来的都是连续的画面,仿真的画面是实时生成的,而三维动画的画面是预先渲染好的。

仿真具有高度的交互性,用户可以主动参与到仿真的过程中,仿真系统还可以对用户的各种输入进行实时的响应而三维动画因为只是连续播放渲染好的画面帧序列,所以不具备任何的交互性,用户只能被动参与或者欣赏。

仿真的帧频率一般是变化的,从每秒 15 帧(低于这个帧频率时,视觉上就会感到不连贯)到每秒几十或者上百帧不等,这跟仿真运行过程中的画面复杂程度有直接的关系;而三维动画的帧频道是事先设定好的画面始终保持设定的帧频率。



可视化仿真强调的是实时的交互性，而三维动画强调的视觉效果。

#### 4. 可视化仿真技术的独特作用

- 1) 进行商业和军事事件的排练和演习模拟，如飞行训练仿真。
- 2) 对复杂事件进行深入直观的再现，如交通救护仿真。
- 3) 需要对突发事故进行预排和演练，如消防救灾仿真，如图 1-6 所示。

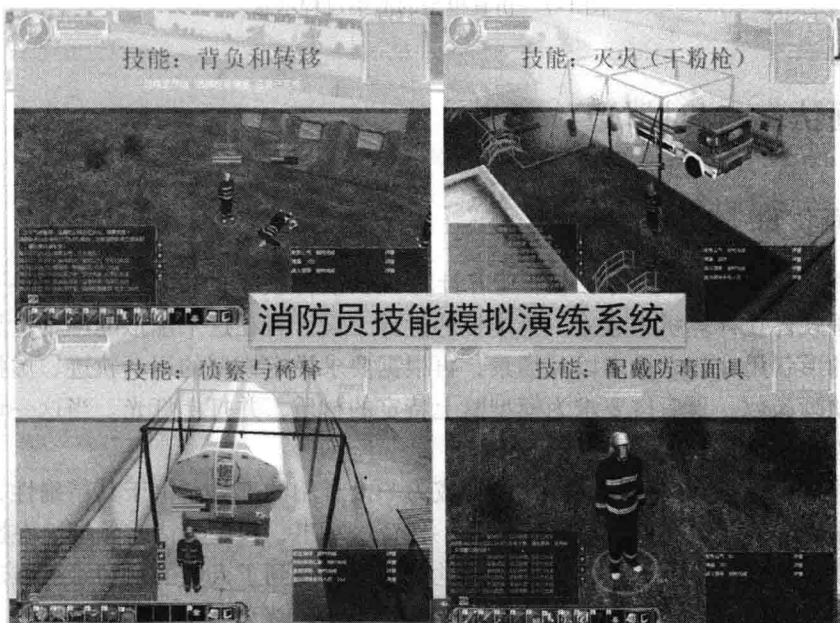


图 1-6 消防员技能模拟演练系统

- 4) 交互式三维视频游戏仿真；
- 5) 对不确定事件进行预览。

#### 5. 传统建模软件的不足

传统的三维模型数据库由于应用目的的限制，常常不能很好地满足上述的一些特点。如 CAD 模型。

传统的三维模型软件虽可以方便地创建各种各样的三维模型，但这些模型都不适用于可视化仿真应用。

#### 6. 视景仿真中会用到的元素

- 1) 实时应用程序。
- 2) 图形生成器 (IG)。
- 3) 视景数据库。
- 4) 建模包。
- 5) 视觉真实度。

#### 7. 仿真模型的渲染过程

渲染过程大体上要经历应用 (APP)、剔除 (CULL) 和绘制 (DRAW) 三个主要过程，如图 1-7 所示：