

教育“十三五”规划教材

化工工艺虚拟仿真 与安全管理

田文德 陈秋阳 李正勇 曹 葵 编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

化工工艺虚拟仿真 与安全分析

田文德 陈秋阳 李正勇 曹 葵 编



化学工业出版社

· 北京 ·

《化工工艺虚拟仿真与安全管理》以化工工艺操作、DCS 控制、化工过程虚拟仿真和化工工艺安全分析为编写主线,以自研的动态模拟与分析系统 DSAS 为工具,通过两种化工单元操作和三种化工工艺操作的具体实例来说明虚拟仿真技术在化工实习中的基础应用,每章均配有工程案例分析及习题和推荐阅读材料。

《化工工艺虚拟仿真与安全管理》可作为高等院校化工、石油、生物、制药、食品、环境、材料等专业的本、专科学生的计算机仿真和实习实训教材,也可供这些专业的科研、设计、管理及生产人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

化工工艺虚拟仿真与安全管理/田文德等编. —北京:化学工业出版社, 2018. 8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-32330-9

I. ①化… II. ①田… III. ①化工过程-工艺学-高等学校-教材
IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 123698 号

责任编辑:刘俊之

装帧设计:韩 飞

责任校对:王素芹

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市双峰印刷装订有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13¼ 字数 330 千字 2018 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:39.00 元

版权所有 违者必究

化工专业的实践环节有助于培养学生对化工生产的感性认识,但近年来化工企业考虑到安全问题,普遍不愿接收学生实习,即使接收也仅限于现场参观,导致学生不能深入了解实际化工生产过程,无法掌握工艺操作技能,理论知识与实际生产脱节。虚拟仿真技术为学生提供了一个可靠、安全和经济的虚拟仿真实践环境,帮助学生了解化工装置操作原理、动态控制行为和事故演变过程,提高对工艺过程的运行控制能力和应急处置能力。

《化工工艺虚拟仿真与安全分析》立足在校化工专业学生的知识结构,以及化工过程管理、运行和控制对该专业的切实需求,从化工专业的典型工艺出发,系统介绍化工工艺的虚拟仿真与安全分析过程。教材以商业软件 Aspen Dynamics 以及我们自研的动态模拟与分析系统 DSAS 为工具,融入大量的动态模拟案例和软件使用说明,结合常见化工设备和流程的动态模拟原理,融合流程模拟、自动控制、DCS 操作,系统地介绍了化工动态模拟与虚拟仿真过程,提高学生对化工装置的整体操控能力。为方便读者练习,本教材主要章节均给出了案例模拟的详细步骤截图,并列出了软件输入所需的数据列表,以及最终运行结果的数据表和软件截图,力图使读者能够顺利地重复书中案例,加深对具体动态模拟过程的理解。

与本书配套的《化工过程计算机应用基础》和《化工过程计算机辅助设计基础》教材已分别于 2007 年和 2012 年由化学工业出版社出版。这两本教材以 Matlab、GAMS、Fluent、Aspen Plus 等软件为工具,详细介绍了各类化工单元和流程的模拟、设计和优化思路,并附有大量例题和源代码,可作为本书的基础教程参考使用。

《化工工艺虚拟仿真与安全分析》共分三篇,一共 12 章。上篇为基础知识篇,分 3 章介绍化工工艺操作原理、DCS 控制系统运行机制以及虚拟仿真技术在这两方面的应用情况。中篇以动态模拟与分析系统 DSAS 为例,介绍典型化工工艺的仿真操作过程,包括精馏、吸收两种单元操作,以及乙炔、合成氨、乙醛三种工艺,共 6 章。下篇为化工工艺运行安全分析篇,分 3 章介绍安全分析原理、动态模拟在安全分析中的应用、安全与防护等。本书由青岛科技大学化工学院的田文德、陈秋阳、李正勇、曹葵编写,其中第 7 至第 11 章由田文德编写,第 1 章由陈秋阳编写,第 3 和第 12 章由李正勇编写,第 2、第 4 至第 6 章由曹葵编写。青岛康安保安全咨询公司的韦洪龙参与了部分章节的修订工作,在此一并表示感谢。

本教材适用于化学工程与工艺及相关专业,包括化工、石油、生物化工、食品、制药、材料、轻纺、冶金、环境工程、轻化工程以及过程装备与控制等专业,可用于这些专业的本、专科学生的计算机仿真和实习实训教材,也可以供这些专业的应用技术人员参考使用。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2017 年 12 月

于青岛科技大学

上篇 基础知识

	第1章 化工工艺仿真	2
1.1	化工工艺简介	2
1.1.1	化工工艺定义	2
1.1.2	化工工艺过程	3
1.2	虚拟仿真定义	4
1.2.1	系统仿真的概念	4
1.2.2	虚拟现实的概念	5
1.2.3	虚拟仿真的概念	6
1.2.4	虚拟仿真训练系统的概念	7
1.3	虚拟仿真技术概述	8
1.3.1	虚拟仿真技术的发展	8
1.3.2	虚拟仿真技术的特点	9
1.3.3	虚拟仿真技术的应用	9
1.4	化工生产中的虚拟仿真技术	10
1.4.1	化工虚拟仿真技术的应用背景	10
1.4.2	化工虚拟仿真技术的现状与发展	11
1.4.3	化工虚拟仿真技术的作用及意义	12
1.5	化工工艺仿真的主要用途	13
1.5.1	工艺开停车	13
1.5.2	工艺分析	15
1.5.3	控制方案研究	16
1.5.4	安全分析	16
	习题	17
	推荐阅读材料	17
	第2章 控制系统	25
2.1	化工工艺中的控制系统	25
2.1.1	概述	25
2.1.2	基本控制系统的组成	28

2.1.3 常见的控制结构.....	29
2.1.4 典型化工设备的控制方案.....	32
2.1.5 控制系统操作要点.....	35
2.2 DCS 系统	38
2.2.1 概述.....	38
2.2.2 DCS 系统操作	39
2.2.3 DCS 画面	40
习题	42
推荐阅读材料	42
参考文献	44

第3章 化工工艺操作 45

3.1 设备投运.....	45
3.1.1 开车安全检查.....	45
3.1.2 水运和汽运.....	46
3.1.3 耐压试验.....	47
3.1.4 吹扫与置换.....	49
3.1.5 抽加盲板.....	49
3.2 仪表使用.....	50
3.2.1 液位计的投用与检查.....	50
3.2.2 压力表的投用与检查.....	51
3.2.3 温度计的投用与检查.....	52
3.2.4 流量表的投用与检查.....	53
3.2.5 调节阀失灵的判断和处理.....	54
3.3 操作安全.....	55
3.3.1 设备运行前的钝化防爆技术.....	55
3.3.2 设备的启停.....	55
3.3.3 设备运行中阀门的使用和维护.....	58
3.3.4 设备中的排液（水）.....	59
3.3.5 设备运行中管线跑料的处理.....	60
3.3.6 劳保用品的正确使用.....	61
3.3.7 安全生产措施的应用.....	62
习题	65
推荐阅读材料	66

中篇 典型化工工艺虚拟仿真

第4章 DSAS虚拟仿真软件 70

4.1	仿真软件简介	70
4.2	化工过程动态模拟系统结构	71
4.2.1	软件功能说明	71
4.2.2	学员台 SStation	71
4.2.3	教师台 TStation	72
4.2.4	动态模拟与分析系统 DSAS	73
4.2.5	仿集散控制系统 VDCS	73
4.3	VDCS 操作方法	75
4.4	3D 虚拟现场操作系统 3DField	77
	习题	79
	推荐阅读材料	80
	参考文献	80

第5章 脱丙烷精馏塔仿真软件操作 81

5.1	脱丙烷精馏工艺流程描述	81
5.2	主要设备、主要调节器及仪表说明	82
5.3	装置开车程序	83
5.4	装置停车程序	85
5.5	异常工况及事故处理	85
	习题	86
	推荐阅读材料	87
	参考文献	89

第6章 催化裂化吸收塔仿真软件操作 90

6.1	催化裂化吸收工序流程描述	90
6.2	主要设备、主要调节器及仪表说明	91
6.3	装置开车程序	93
6.4	正常操作	94
6.5	装置停车程序	94
6.6	异常工况及事故处理	95
	习题	96
	推荐阅读材料	97
	参考文献	100

第7章 电石法生产乙炔工艺仿真操作 101

7.1	乙炔工艺流程描述	101
7.1.1	乙炔生产方法简介	101

7.1.2 电石法生产乙炔工艺描述	101
7.2 主要设备	103
7.3 装置开车程序	103
7.3.1 破碎岗位	103
7.3.2 发生上料岗位	104
7.3.3 发生排渣岗位	104
7.3.4 清净岗位	105
7.4 装置停车程序	106
7.4.1 破碎岗位	106
7.4.2 发生上料岗位	106
7.4.3 发生排渣岗位	107
7.4.4 清净岗位	107
7.5 事故处理	107
习题	107
推荐阅读材料	108
参考文献	109

第8章 合成氨合成工序仿真操作 110

8.1 合成氨合成工序流程描述	110
8.1.1 合成氨生产方法简介	110
8.1.2 合成工序流程描述	111
8.2 主要设备	112
8.3 装置开车程序	112
8.4 装置停车程序	114
8.5 事故处理	114
8.5.1 IS04501-氨合成部分	114
8.5.2 IS04502-开工加热炉	115
8.5.3 IS04503-氨分离器低液位联锁	115
8.5.4 IS04504-缓冲槽 D04502 高液位联锁	115
8.5.5 IS04601-氨压缩机的跳闸	116
8.5.6 I04505-缓冲槽 D04502 低液位	116
8.5.7 IS04602-尾气放火炬跳闸	116
8.5.8 I04603-闪蒸槽 D04601 低液位联锁	117
8.5.9 I04604-氨排放泵 P04602 联锁	117
习题	117
推荐阅读材料	119
参考文献	119

	第9章 乙烯直接氧化法生产乙醛工艺仿真操作	120
9.1	乙烯直接氧化法生产乙醛工艺流程描述	120
9.1.1	反应单元	121
9.1.2	蒸馏单元	122
9.1.3	再生单元	122
9.1.4	中间罐区	123
9.2	主要设备、主要调节器及仪表说明	123
9.3	装置开车程序	128
9.3.1	开车前的准备工作	128
9.3.2	反应单元开车	128
9.3.3	蒸馏单元开车	129
9.3.4	中间罐区开车	130
9.3.5	再生单元开车	130
9.4	装置停车程序	131
9.4.1	反应单元停车程序	131
9.4.2	蒸馏单元停车程序	131
9.4.3	再生单元停车程序	132
9.5	事故处理	132
	习题	134
	推荐阅读材料	134

下篇 化工工艺运行安全分析

	第10章 化工安全分析	138
10.1	化工安全分析的基本概念	138
10.1.1	化工安全分析的由来	138
10.1.2	化工安全分析的分类	139
10.1.3	化工安全分析的目的和作用	140
10.2	化工工艺安全分析方法	141
10.3	HAZOP 分析方法	145
10.3.1	HAZOP 分析的原理	146
10.3.2	HAZOP 分析的实施过程	146
10.3.3	HAZOP 分析的优势	149
10.3.4	HAZOP 分析的不足	150
10.3.5	HAZOP 分析的国内外现状和发展趋势	150
10.4	化工工艺安全分析的发展趋势	152
	习题	153
	推荐阅读材料	154

参考文献	155
------	-----

第11章 基于动态模拟的化工工艺安全分析 156

11.1 化工过程动态模拟的基本概念	156
11.2 化工过程动态模拟平台	158
11.2.1 Aspen Plus 稳态模拟平台简介	158
11.2.2 Aspen Dynamics 动态模拟平台简介	159
11.2.3 Aspen HYSYS 动态模拟平台简介	161
11.3 基于 Aspen Dynamics 的 HAZOP 分析	162
11.3.1 DynSim-HAZOP 方法的原理	162
11.3.2 DynSim-HAZOP 方法的流程	163
11.3.3 DynSim-HAZOP 方法的定量化方法	164
11.4 合成氨合成工序案例	164
11.4.1 合成氨合成系统中潜在危险因素分析	164
11.4.2 合成氨合成系统的稳、动态模拟	167
11.4.3 合成氨合成系统的 DynSim-HAZOP 分析	172
习题	174
推荐阅读材料	175
参考文献	177

第12章 安全与防护 178

12.1 化学工业发展伴生的新危险	178
12.2 化学工业对安全的新要求	179
12.3 石油化工安全生产的有关法律和规范	179
12.4 化工生产中的危险化学品	183
12.5 安全泄放装置	184
12.5.1 安全泄放装置的分类	185
12.5.2 安全阀保护装置	186
12.5.3 爆破片装置	186
12.6 安全联锁装置	187
12.6.1 安全联锁装置的分类	187
12.6.2 安全联锁装置设计与应用	188
12.7 紧急停车装置	189
12.8 安全教育	190
12.8.1 三级安全教育和特殊工种教育	190
12.8.2 安全教育的内容	190
12.9 人身防护措施	191
12.9.1 个人防护用品配置	191

12.9.2 事故应急处理措施.....	191
习题.....	192
推荐阅读材料.....	193
参考文献.....	195
 附录	196
附录 A 几起重大化工生产事故案例分析	196
附录 B 常见易燃易爆气体的燃烧热和在空气中的爆炸极限	200

· 第 1 章 ·



化工工艺仿真

近年来,计算机虚拟仿真技术快速发展,已经成为人们认识客观规律的又一有力手段,在航空航天、军事、航海及制造业等领域的应用均发展迅速。与此同时,化工行业作为国家支柱产业,具有生产环境极端、生产规模巨大、生产过程高度自动化及安全管理要求高等特点,这为仿真技术在化工工艺中的运用提供了广阔的空间。通过虚拟仿真技术,为我们更好地认识和理解复杂的化工工艺生产过程提供了方法和可能。本章对化工工艺和虚拟仿真等知识点的基本概念和相关基础知识进行梳理。

1.1 化工工艺简介

1.1.1 化工工艺定义

化学工业是国民经济基础产业之一,现代生产生活的方方面面都与化工生产有着千丝万缕的联系。我们普遍认为化工生产是伴随着现代工业发展而形成的工业生产方式,其实人类早在原始社会就使用化工的简易形式来制作物品,如陶器。而过滤、蒸发、蒸馏、结晶、干燥等单元操作在生产中的应用,也已有几千年的历史。据考古发现,至少 10000 年以前中国人已掌握了用窑穴烧制陶器的技艺,5000 年以前已通过利用日光蒸发海水、结晶制盐;埃及人在 5000 年以前的第三王朝时期开始酿造葡萄酒,并在生产过程中用布袋对葡萄汁进行过滤。但在相当长的时期里,这些操作都是规模很小的手工作业。作为现代工程学科之一的化学工程,则是在 19 世纪下半叶随着大规模制造化学产品的生产过程的发展而出现的,经过 100 多年的发展,化学工程已经成为一门有独特研究对象和完整体系的工程学科。早期化学工业主要是无机化工、有机化工等的发展。从 20 世纪初到 20 世纪六七十年代,化学工业进入大发展时期,出现了合成氨工业、石油化工、高分子化工和精细化工等分支。

19 世纪 70 年代,英国曼彻斯特地区的制碱业污染检查员 G. E. 戴维斯明确提出了化学工程的概念,并指出各种化工生产工艺,都是由为数不多的基本操作如蒸馏、蒸发、干燥、

过滤、吸收和萃取组成的，可以对它们进行综合的研究和分析，化学工程将成为继土木工程、机械工程、电气工程之后的第四门工程学科。之后以化工工艺为核心对象的化学工程与工艺学科在世界范围内得到了系统的发展。

化工工艺广义上可理解为化工技术或化学生产技术，是指将原料物经过化学反应转变为产品的方法和过程，包括实现这一转变的全部措施。在本书中，化工工艺主要指通过单一或数个化学反应（或过程）将原料转化为产品的生产流程。它涉及化工生产的方法、原理、流程和设备，是化工产品生产的工程技术、诀窍和艺术。

化工工艺的核心是如何实现从原材料到产品的转化过程，这就包含了原材料处理、化学反应、化工设备、流程设计、热负荷等诸多环节。同时，还需要考虑整个工艺的合理性、先进性及经济性，是一门复杂的综合学科。为验证某一工艺是否具备合理性和可行性，传统上需要进行小试、中试及工业测试等环节来进行必要的测试与优化，但这种方法周期长、成本高并缺乏灵活性。近年来，计算机技术的快速发展为解决这一问题提供了新的途径。计算机辅助设计、模拟计算及虚拟仿真从不同的侧面对工艺流程进行了全方位的检测和优化，为从化学工艺设计到工业生产提供了高效的中间环节。本书作为化工工艺虚拟仿真的实验教材，将从虚拟仿真的单元操作和流程模拟的角度，带领大家解构化工工艺流程，理解工艺特点、设备特性、生产流程及操作要求等主要知识点，以便帮助大家更好地理解化工工艺。

1.1.2 化工工艺过程

化工生产过程一般地可概括为三个主要步骤。

(1) 原料处理

这一步骤主要是为了使原料符合进行化学反应所要求的状态和规格。化学反应是整个化工生产的核心组成，为了能够达到化学反应所需要的条件和提高反应效率，就需要在反应前，根据反应要求对不同的原料进行净化、提浓、混合、乳化或粉碎（对固体原料）溶解、加压、加热等预处理。如果原料处理不当，则可能在化学反应中导致效率下降，影响生产效益。因而，在生产之前需要对原材料进行优化，以提高原材料利用率。这也是衡量一个化学生产过程的生产效率的重要指标。

(2) 化学反应

化学反应是生产的关键步骤。经过预处理的原料，在一定的温度、压力等条件下进行反应，以达到所要求的反应转化率和收率。这一过程，充分反映出化工工艺的复杂性和多样性。在具体的化工反应过程中，反应种类多种多样，有放热反应和吸热反应；有可逆反应和不可逆反应；有的反应需要在高温高压下进行；有的反应需要在催化剂的作用下进行；不同化学反应对反应条件的要求不同，相同的化学反应在不同环境（温度、压力等）下的具体反应效率和反应速率也会有所不同。目前，常见的化学反应类型有氧化、还原、脱氢、硝化、卤化、复分解、磺化、异构化、聚合等。一个化学反应最终能否运用于化工生产过程，主要取决于它的具体反应过程能否满足工业生产实际。如有的反应缓慢，就需要调整反应环境或者添加催化剂；还有的反应特别剧烈，就需要配备相对安全的反应器皿。因此，在化学反应的准备工作中就要充分了解该反应的具体流程与现象，把握化学反应的每一步要点和最佳反应条件。

(3) 产品精制

这是指将由化学反应得到的混合物进行分离，除去副产物或杂质，以获得符合组成规格

的产品过程。在化学反应过程中采用不同的生产方法和工艺流程都可能造成产品中包含不同比例的杂质与副产品,从而影响产品质量和纯度。产品精制就是分离和提纯的过程。另一方面,对副产品有效分离,也将提高整个生产流程的效益。副产品根据种类的不同可以有不同的用途。如有些反应物在参加反应后还会有相当数量的残留,这些残留可以继续参加反应,从而提高利用率,降低生产成本。还有一些副产品可以作为生产原料或半成品参与到其他化工生产过程中。这些都有效地提高了生产的经济效益。因而,对产品进行分离和提纯是化工生产过程中不可或缺的重要步骤。

以上每一步都需在特定的设备中,在一定的操作条件下完成所要求的化学的和物理的转变。这些化学的(如氧化、还原、脱氢、硝化、卤化、复分解、磺化、异构化、聚合等)和物理的(如加热、冷却、蒸馏、过滤等)处理过程,在不同的化学反应过程中以不同的组合形式出现,这就是我们常说的工艺流程。工艺流程的选择会导致产品质量、纯度和生产效益存在巨大差异。本书将在后面的章节中,通过对典型化工工艺流程的仿真模拟,来揭示化工工艺过程中各环节的要点与特性,帮助同学们理解化工工艺与化工生产的内在联系。

1.2 虚拟仿真定义

虚拟仿真技术是仿真技术和虚拟现实技术结合的产物,是伴随着计算机技术、网络技术、虚拟现实技术、传感技术及人工智能技术的发展而快速发展起来的新技术,并成为人们认识自然和客观规律的一个重要方法。已经在各行业的研究、产品开发、方案论证、工艺设计、测试评估及培训等方面成为重要技术手段,从而深刻影响生产生活的方方面面。本节我们将给出系统仿真、虚拟现实、虚拟仿真及虚拟仿真训练系统的概念。

1.2.1 系统仿真的概念

仿真(simulation)技术,又称模拟技术,简单地指就是用—个系统来模拟另一个真实系统的技术。20世纪初仿真技术已得到应用。例如在实验室中建立水利模型,进行水利学方面的研究。40~50年代,航空、航天和原子能技术的发展推动了仿真技术的进步。60年代,计算机技术的突飞猛进,为仿真技术提供了先进的工具,加速了仿真技术的发展。在仿真技术的基础上,提出了系统仿真的概念。

所谓系统仿真(system simulation),就是根据系统分析的目的,在分析系统各要素性质及其相互关系的基础上,建立能描述系统结构或行为过程的且具有一定逻辑关系或数量关系的仿真模型,据此进行试验或定量分析,以获得正确决策所需的各种信息。

仿真技术为人们认识复杂系统并解决相关问题提供了有效途径。其作用主要体现在以下几点。

① 仿真的过程也是实验的过程,而且还是系统地收集和积累信息的过程。尤其是对一些复杂的随机问题,应用仿真技术是提供所需信息的唯一令人满意的方法。

② 对一些难以建立物理模型和数学模型的对象系统,可通过仿真模型来顺利地解决预测、分析和评价等系统问题。

③ 通过系统仿真,可以把一个复杂系统降阶成若干子系统以便于分析。

④ 通过系统仿真,能启发新的思想或产生新的策略,还能暴露出原系统中隐藏着的一些问题,以便及时解决。

仿真系统按照不同原则可以分为不同的类型,如:

按所用模型的类型可分为物理仿真、计算机仿真（数学仿真）、半实物仿真；

按仿真对象中的信号流（连续的、离散的）可分为连续系统仿真和离散系统仿真；

按仿真时间与实际时间的比例关系可分为实时仿真（仿真时间标尺等于自然时间标尺）、超实时仿真（仿真时间标尺小于自然时间标尺）和亚实时仿真（仿真时间标尺大于自然时间标尺）；

按对象的性质可分为宇宙飞船仿真、化工系统仿真、经济系统仿真等。

1.2.2 虚拟现实的概念

虚拟现实技术（virtual reality），亦称为灵境技术，一般是指用计算机技术模拟其他环境（包括现实世界环境和假想环境）或事物的技术，让使用者如同身临其境一般，可以及时、没有限制地观察三度空间内的事物。近年来，虚拟现实技术伴随着计算机技术、网络技术、计算机图像技术、传感技术、人机交互技术等技术的发展而快速发展。

虚拟现实技术虽然近年来才刚刚进入普通用户的视野，但其实早在20世纪40年代，随着计算机技术的诞生发展已经在试验研究中萌芽。可将其划分为五个阶段。

1962年以前，虚拟现实技术的概念积累阶段。伴随着计算机技术的诞生和发展，在试验性研究中出现了虚拟现实概念，并进行了早期原始性的研究工作。

1962~1972年，虚拟现实技术的萌芽阶段。在20世纪60年代，还没有计算机图形学，虚拟现实是通过原型机来实现的。1962年，第一套完整的虚拟现实设备 Sensorama（图1-1）出现，该设备通过三面显示屏来形成空间感，从而实现虚拟现实体验。1968年美国计算机图形学之父 Ivan Sutherland 开发了第一个计算机图形驱动的头盔显示器 HMD 及头部位置跟踪系统。但这一时期由于技术的限制，虚拟设备体积庞大、造价成本高昂、不便于使用、虚拟效果较差等，都限制了虚拟技术的应用范围。

1973~1989年，虚拟现实技术的初步发展阶段。计算机图形学在虚拟仿真技术中的应用为虚拟现实技术的商业应用奠定了基础。20世纪70年代中期，M. W. Krueger 设计的 VIDEOPLACE 系统，通过摄像机和投影屏幕，产生一个虚拟图形环境，使用户能够共享空间和体验交互作用。1985年在 M. McGreevy 领导下完成的 VIEW 虚拟现实系统，装备了数据手套和头部跟踪器，提供了语言、手势等交互手段，使 VIEW 成为名副其实的虚拟现实系统，成为后来大多数虚拟现实系统的硬件体系结构都是从 VIEW 发展而来。这一时期，虚拟仿真技术开始商业化。1987年全球首款商用化的 VR 头盔产品诞生，成为这一阶段的标志，随后任天堂、索尼等公司均推出了 VR 游戏机，形成一轮 VR 商业化热潮。

1990~2013年，虚拟现实技术的完善阶段。虚拟现实技术开始全面发展，从研究转向应用，并且在应用中越来越多地与仿真技术结合，使虚拟仿真技术得到了快速发展。这一阶段，首先是虚拟现实技术在游戏中的大量应用带来了巨大商业利益，在商业利润的驱使下又使得大量资金和人力被投入到虚拟现实技术的研发工作中，从而使虚拟现实技术得到了快速发展。另外，伴随着虚拟现实技术的完善和发展，越来越多的行业开始意识到虚拟仿真技术的重要性，使得虚拟仿真技术被广泛地应用。

2013年之后，虚拟仿真技术的普及应用阶段。计算机硬件设备、VR 设备（见图1-2），使得 VR 技术普及化成为可能性。近一两年来，商业 VR 设备几乎随处可见，VR 技术成为了新的热点。2014年 Facebook 以20亿美金收购 Oculus，同时三星、谷歌、索尼、HTC 等国际消费电子巨头均宣布自己的 VR 设备计划。VR 技术的发展，为虚拟仿真技术提供了技术基础，使得虚拟仿真系统能够提供更为真实的用户体验。

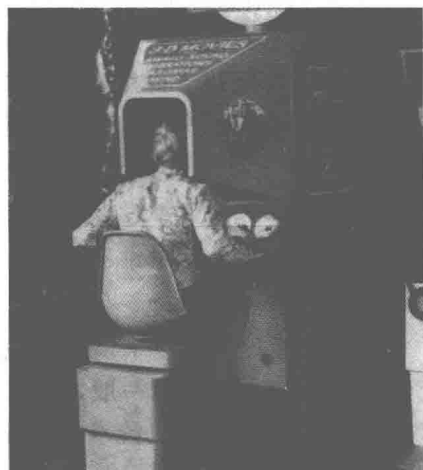


图 1-1 Sensorama 系统



HTC Vive



Oculus Touch



蚁视二代VR



PS VR

图 1-2 当前常用 VR 外设

目前虚拟现实技术分虚拟实景（境）技术（如虚拟游览故宫博物院，见图 1-3）与虚拟虚景（境）技术（如虚拟未来城市、虚拟战场等）两大类。虚拟现实技术的应用领域和交叉领域非常广泛。可以说，虚拟现实技术将是 21 世纪信息技术发展的代表。它的发展，将从根本上改变人们的工作方式和生活方式，使劳和逸真正结合起来，人们能够在享受环境中工作，在工作过程中得到享受。甚至有人断言，虚拟现实技术与美术、音乐等文化艺术的结合，将诞生人类的第九艺术。



图 1-3 虚拟游览故宫博物院界面

1.2.3 虚拟仿真的概念

虚拟仿真技术是仿真技术与虚拟现实技术结合的产物（图 1-4）。区别于传统仿真模型的抽象表达，利用虚拟现实技术建立和实现的仿真模型，能够有效地通过图形、声音甚至感官输出，使人们通过视觉、听觉等感知更好地理解仿真装置，使仿真系统具备了更广阔的应用空间和强大的生命力。