



张希黔 黄声享 著

建筑施工中的 新技术

中国建筑工业出版社

3

建筑施工中的新技术

张希黔 黄声享 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑施工中的新技术 / 张希黔, 黄声享著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2005
ISBN 7-112-07117-8

I. 建… II. ①张…②黄… III. 建筑工程—工程
施工—施工技术 IV. TU74

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 003180 号

本书重点阐述了信息技术在建筑施工中的应用, 注重理论的实际应用, 反映了现代科技在建筑施工中应用所取得的一些重大创造性成果。全书共分四章, 内容包括: 结合“虚拟现实、结构仿真和 GPS 等信息技术在建筑施工中的研究和应用”课题的研究成果, 介绍现代信息技术在建筑施工中的应用; 结合“复杂空间钢结构曲线滑移、非对称整体提升等施工技术的研究与应用”课题的研究成果, 介绍复杂空间钢结构的施工技术及其应用; 列出了作者近十年来围绕现代科技在建筑施工中应用所发表的相关论文和应用成果, 以及在建筑施工管理方面的论文成果等。

本书可作为从事土木与建筑工程的设计、施工与管理等方面的科研人员、工程技术人员及大专院校师生的参考书。

* * *

责任编辑: 郇锁林
责任设计: 赵 力
责任校对: 刘 梅

建筑施工中的新技术

张希黔 黄声享 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15½ 字数: 376 千字

2005 年 1 月第一版 2005 年 1 月第一次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 26.00 元

ISBN 7-112-07117-8

TU·6348(13071)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

以信息技术为主要特征的现代科技在建筑施工中的应用越来越广泛，给建筑施工企业带来了巨大效益，极大地推动着现代建筑业的发展。

近十年来，中建三局在引进现代科技改造并提升传统建筑施工技术方面作了大量的富有成效的尝试，取得了诸多重大的创造性科研成果。比如，“虚拟现实、结构仿真和 GPS 等信息技术在建筑施工中的研究和应用”课题于 2003 年初评为国家科技进步二等奖，该课题具有重要的技术先进性和创新性，并不断应用到施工生产当中，创造了可观的经济和社会效益，提升了企业竞争实力，特别对整个建筑工程施工领域的生产力水平提高和传统生产方式改造具有巨大的示范和推动作用；“复杂空间钢结构曲线滑移、非对称整体提升等施工技术的研究与应用”课题，结合钢结构行业发展要求，开展了对多项大型复杂空间钢结构工程施工技术的研究，并成功地应用于工程实践，形成有多项创新和居于国际领先水平的成果，推动我国钢结构施工行业生产力水平不断提升，使我国复杂空间钢结构的施工技术迈入了世界前列，本课题于 2004 年获国家科技进步二等奖。

为了推动现代科技在建筑施工中的应用，在上述两项具有显著影响力的科研成果基础上，我们及时组织人员对已有研究成果进行全面总结，形成了本书的写作纲要，并于 2004 年 11 月完稿。本书共分四章：

第一章：结合“虚拟现实、结构仿真和 GPS 等信息技术在建筑施工中的研究和应用”课题的研究成果，介绍现代信息技术在建筑施工中的应用。

第二章：结合“复杂空间钢结构曲线滑移、非对称整体提升等施工技术的研究与应用”课题的研究成果，介绍复杂空间钢结构的施工技术及其应用。

第三章：介绍作者近十年来围绕现代科技在建筑施工中的应用所发表的相关论文和应用成果。

第四章：介绍作者近十年来建筑施工管理方面的论文成果。

本书可作为从事土木与建筑工程的设计、施工与管理等方面的科研人员、工程技术人员以及大专院校师生的参考书。

特别需要说明的是，本书也是集体智慧的结晶。在此，谨向曾经参与和支持过项目工作的有关领导和工程技术人员以及课题研究的全体同仁深表感谢。本书的出版得到了中国建筑工业出版社的大力支持，在此深表谢意。

限于我们的水平和资料整理时间匆忙，书中难免有谬误之处，恳请读者不吝批评指正。

目 录

1 现代信息技术在建筑施工中的应用	1
1.1 虚拟仿真技术简介	1
1.1.1 建筑业中虚拟现实技术的发展	2
1.1.2 虚拟现实技术的概念	5
1.1.3 建筑施工中应用虚拟仿真系统的意义	13
1.1.4 虚拟仿真系统在建筑施工中的研究和应用现状	14
1.1.5 虚拟仿真技术在工程施工中的研究和应用展望	15
1.2 建筑施工虚拟技术	16
1.2.1 工程概况	17
1.2.2 技术要点	17
1.2.3 实施效果	19
1.3 施工过程结构仿真技术	20
1.3.1 工程概况	21
1.3.2 技术要点	21
1.3.3 实施效果	22
1.4 其他虚拟技术的开发和应用实践	23
1.4.1 桅杆起重机及基座的结构仿真	23
1.4.2 钢结构焊接结构仿真	25
1.4.3 城市场景虚拟漫游	26
1.5 GPS 建筑测量技术	27
1.5.1 卫星定位技术概述	27
1.5.2 GPS 定位的基本原理与方法	32
1.5.3 工程概况	39
1.5.4 技术要点	39
1.5.5 实施效果	40
1.6 建筑施工中其他信息化控制技术	41
1.6.1 大体积混凝土自动测温	41
1.6.2 预拌混凝土自动化控制	42
1.6.3 计算机控制激光测量与现场监控技术的应用	43
1.6.4 计算机控制高空滑移和滑模技术	44
1.6.5 企业信息网络体系的建设	45

2 复杂空间钢结构的施工技术及其应用	48
2.1 多分枝大型铸钢节点、大直径实心钢棒异型钢结构制作技术	49
2.1.1 工程概况	49
2.1.2 技术要点	51
2.1.3 实施效果	52
2.2 双胞胎架等标高曲线滑移等系列滑移技术	53
2.2.1 概述	53
2.2.2 技术要点	53
2.2.3 实施效果	63
2.3 广州(新)白云机场飞机维修库的钢屋盖多吊点非对称整体提升	64
2.3.1 工程概况	64
2.3.2 技术要点	65
2.3.3 实施效果	68
2.4 厦门国际会展中心 35m 悬挑桁架高空块体扩大单元无支托组装技术	68
2.4.1 工程结构特点	68
2.4.2 技术要点	69
2.4.3 实施效果	71
2.5 厚板及管结构多角度全位置焊接技术	71
2.5.1 概述	71
2.5.2 技术要点	73
2.5.3 实施效果	77
2.6 大跨度复杂空间钢结构施工过程的动态结构计算机控制	77
2.6.1 概述	77
2.6.2 技术要点	77
2.6.3 实施效果	81
2.7 复杂空间钢结构测控及试验	81
2.7.1 概述	81
2.7.2 技术要点	82
2.7.3 实施效果	88
3 现代科技在建筑施工中的应用	89
3.1 现代建筑施工技术的现状与展望	89
3.1.1 武汉地区高层建筑基础工程技术现状展望	89
3.1.2 我国高层建筑钢结构施工现状述评	95
3.1.3 GPS 技术在土木工程施工领域的应用现状与展望	99
3.1.4 建筑施工中的传感器应用与发展	102
3.1.5 计算机控制系统在建筑施工中的应用	105
3.1.6 钢结构建筑的发展与应用展望	108
3.1.7 虚拟建造技术及其应用展望	112
3.1.8 科技创新与绿色技术在奥运场馆施工中的应用展望	117

3.2 现代建筑施工技术的应用	121
3.2.1 辽宁、天津电视塔主体工程施工	121
3.2.2 天津电视塔预应力施工技术	128
3.2.3 上海正大广场钢结构吊装施工方案虚拟仿真系统	133
3.2.4 深圳市少年宫椭圆形钢骨架制作安装	137
3.2.5 信息技术在建筑施工企业的应用	139
3.2.6 行走式塔吊工作状态下地下室侧墙强度演算	144
3.2.7 高层建筑施工 GPS 测量的误差分析	146
3.2.8 高层建筑施工 GPS 测量的外业实施	150
3.2.9 饰面混凝土耐久性影响因素分析	154
3.2.10 武汉电力学校图书馆托梁换柱设计与施工	157
3.2.11 虚拟仿真技术在钢结构预应力拉索施工中的应用	159
3.2.12 城市立交桥钢桥面 SMA 铺装层及其施工技术	163
3.2.13 城市钢箱梁结构立交桥的特点及钢箱梁安装施工技术	167
3.3 基坑工程施工中的现代科技应用	170
3.3.1 深井降水新技术在武汉国贸工程中的应用	170
3.3.2 大体积混凝土温度实时测控	178
3.3.3 武汉国际贸易中心大厦泵送高强混凝土的应用研究	181
3.3.4 万方级超厚基础大体积混凝土裂缝控制技术	185
3.4 建筑施工技术应用成果介绍	188
3.4.1 天津广播电视塔主体工程综合施工技术	188
3.4.2 中建总公司第一项科技示范工程——天津广播电视塔工程综合介绍	190
3.4.3 武汉国际贸易中心大厦综合施工技术	195
4 建筑施工管理	204
4.1.1 建设充满生机与活力的企业科技发展中心	204
4.1.2 加强科技意识,重在计划实施	205
4.1.3 议深基坑施工成功的关键	206
4.1.4 坚定不移地实施“科技兴企”战略	208
4.1.5 科技与创优结合、提高工程质量	209
4.1.6 钢结构主承建项目管理的策划	212
4.1.7 钢结构主承建项目管理中的控制研究	218
4.1.8 钢结构主承建中的合同管理研究	224
4.1.9 如何提高总监理工程师对项目目标控制的预见性	230
4.1.10 建筑施工企业如何创鲁班奖工程	232
4.1.11 综述提高建筑防水工程质量的对策与措施	239

1 现代信息技术在建筑施工中的应用

建筑施工作为重要的物质生产部门，是我国的国民经济支柱产业。我国的建筑业为社会创造了巨大的财富，但同时建筑施工又是一门传统的技术行业，同其他工业相比，无论是从科技含量、工业化、自动化、智能化、劳动生产率还是组织管理等方面，建筑业都相对滞后。建筑业的市场竞争促使建筑企业的分化，全球经济一体化和国际市场竞争加速了企业追求创新的步伐，大力改进传统施工技术和管理水平，是企业适应知识经济的内在需要，是面对日益激烈的市场竞争的需要。

计算机与信息技术引发的数字化浪潮已成为新时代的趋势，建筑业要提高自身的科技实力，并赶超其他行业，适应知识信息经济的到来，无疑应大力吸取其他行业和高新技术的成果，用这些成果来改造自身，从而促进自身科技发展。在各行各业都在加速信息化、自动化建设的今天，借助信息技术这个工具，改造和提升建筑业，将成为施工生产进步与发展的方向，同时信息技术的发展将促进其他高新技术的发展，从而带动施工技术的整体进步。

中国建筑第三工程局作为全国著名的国有大型建筑企业，曾经在塔结构(辽宁电视塔、天津电视塔和澳门电视塔等)、超高层钢结构建筑(深圳发展中心、深圳地王大厦等)、超高层混凝土建筑(深圳国贸、武汉国贸等)以及其他建筑方面取得过突出的成就。这些成就一度代表着我国建筑业的施工水平，但面对信息知识经济，如何探索利用信息技术改造传统的建筑业是我们建筑企业一直不断思考和努力的方向。通过大量的工程实践和系统研究，结合企业的特点和技术力量、校企合作，让我们初步形成了以建筑施工虚拟仿真(VR)为代表的施工计划系统、以GPS建筑测量以及其他自动化技术(大体积混凝土自动测温、激光测量、工业电视监控、预拌混凝土自动控制以及同步提升技术等)为代表的施工过程自动化系统和企业与项目信息管理两级集成系统(PMIS)为特色的信息化建筑施工体系。这些理论研究和实践应用大大地提升了企业的整体科技水平和市场竞争核心力，从而使科技进步和市场效益形成了良性循环，并促使我们在此基础上不断创新，从而推动全施工行业生产力水平的提高和发展。

1.1 虚拟仿真技术简介

随着计算机技术的普及和发展，在建筑工程施工中采用智能方法极大地促进了施工技术和管理水平的提高，从而推动着施工学科的不断进步和发展。目前施工领域应用较成熟的软件系统有：CAD辅助设计技术、专家系统、智能管理系统、办公自动化系统等，这些计算机技术的应用改造了传统的施工方法和理论，带来了新的理念。通过在建筑工程施工中引入虚拟技术的工程实践证明，建筑工程施工应用虚拟技术已成为可能，用虚拟技术

研究建筑工程施工，将促进技术的进步和创造极大的经济效益。

1.1.1 建筑业中虚拟现实技术的发展

曾有专家预言虚拟现实技术(Virtual Reality Technology, 简称 VRT)将是 21 世纪最为广泛应用的技术，是未来的流行技术，我们可以先通过几个成功应用虚拟现实技术的例子来看看，虚拟现实技术到底能给人类生活带来什么改变？

日本松下公司利用虚拟现实技术建立了用来招揽买主的“厨房世界”。在这里你只要戴上特殊的头盔和一只银色的手套，就可以去“漫游”厨房世界了。你伸手去开门，门随手而开，厨房内的所有设备就会映入你的眼帘。你可以用手打开柜橱的门和抽屉，查看里面的结构和质量，可从碗架上拿下盘子看看，也可以打开水龙头，立即看见水流出来，听见流水声，还可查看水池下面的排水是否流畅，也可查看照明是否亮堂，试试通风排气是否正常。可是当你拿下头盔，摘下手套时，这一切又都消失了。

全美最大的民宅营造商之一，美国 MRA 公司，将 VRT 运用到民宅商品促销上。他们将要推销的城镇民宅(尚未建好的)以虚境的形式在公司的展销中心展示给买主。顾客带上头盔式显示器后可开门进入这一住宅，观察房间的大小、装饰、壁炉和厨房的布局；通过楼梯走入上层，可环视家具和壁橱的布置、住宅周围的环境；对于室内安装的电器可以实地触摸和操作等。展出这样的虚拟样宅后，这种住宅的销售量立即增为 3 倍。

在 2003 年 10 月 23 日正式竣工并投入使用的我国故宫文化资产数字化应用研究所里，借助于计算机虚拟现实技术，建立了“数字故宫”。使每个人都可以在此场景中自由地漫游，不仅如身临其境，还可以按自己的心愿，想看哪儿就看哪儿，想怎么看就怎么看。你可以静静地穿过天安门，经端门、午门、太和门，最后走进两代皇朝至高无上的圣地——太和殿，里里外外上上下下细细端详。想看全景，可以升至半空俯视整个故宫乃至景山和北海；想看细节，可以近到“零距离”欣赏、把玩每一个建筑构件、每一件内部陈设、每一处装饰处理。借助这一环境，可以使置身其中的人们通过独特的视点移动，感受只有数字化技术才能实现的新型沟通空间，这种感觉似乎只能用“亦真亦幻”来形容。这部名为“紫禁城·天子的宫殿”的虚拟现实作品，是中日两国专家、学者和科技人员经过两年的共同努力制作完成的我国第一部基于虚拟现实技术的关于故宫的大型计算机作品。

那么，到底如何定义虚拟现实技术？它对我国工业尤其是传统工业的代表——建筑行业又将产生什么样的影响？

1. 发展历史

任何一门科学或工程技术的发展，都有其特定的规律，并随着社会整体科技水平的提高而进一步向前发展；所以研究工作应从历史出发并紧跟世界领先的技术才能取得突破。正因为如此，我们首先追溯建筑工程发展的历史沿革。建筑工程是土木工程的主要分科，土木工程的发展史就是一部建筑工程的发展史。

我们将传统的土木工程学定义为运用数学、物理、化学等基础科学知识，力学、材料等技术科学知识以及土木工程方面的工程技术知识来研究、设计、修建、评价各种建筑物和构筑物的一门学科。土木工程(在英语里称为 Civil Engineering 直译为“民用工程”)的原意是与“军事工程”相对应的。历史上，土木工程、机械工程、电气工程、化工工程曾经都属于 Civil Engineering，因为它们都具有民用性。由此可见它们的渊源其实是相近

的，这为我们以后借鉴制造业的先进技术从历史上提供了可能。

土木工程作为一门古老的学科，它的发展经历了古代、近代和现代三个历史时期。

从新石器时代开始至 17 世纪中叶归为古代土木工程时期，这个时期只利用天然材料、简单工具和铁制工具，理论上也缺乏依据和指导。

从 17 世纪中叶至 20 世纪中叶可划为近代土木工程。在这个时期，伽利略、牛顿创建了经典力学理论，欧拉创建了曲线变分法，将它们运用于土木工程产生了结构设计理论和稳定问题的基础；1824 年阿斯普丁发明了水泥、1859 年贝赛麦发明转炉炼钢法，将它们应用于土木工程出现了钢筋混凝土结构及钢结构以及相关理论，并产生了近代高层建筑的萌芽。

从 20 世纪中叶到 20 世纪末归为现代土木工程。社会的发展，新材料、新工艺的不断涌现，尤其是计算机和现代管理技术的出现，使得土木工程出现了新的发展态势：计算机广泛应用于设计、施工、材料管理及理论计算等土木工程的各个领域；动态规划和网络技术加速渗透；施工过程朝着工业化、装配化发展。土木工程技术和管理水平都达到了前所未有的新阶段。

21 世纪向传统的土木工程提出了更新的挑战。随着计算机图形学、计算机系统工程学及其软硬件科学的飞速发展，20 世纪 80 年代出现了虚拟现实技术，虚拟现实提供的人机界面实现了人与计算机的全方位交互，对工业界和工程界产生了革命性的影响。机械行业已经开始了虚拟制造的研究及应用，波音公司设计的 777 型大型客机是世界上首架以三维无纸化方式设计出的飞机，该虚拟产品的诞生及设计成功已经成为虚拟制造从理论研究转向实用化的一个里程碑。为了满足社会经济建设需要对土木工程提出了日益复杂和高标准的要求，仅靠新工艺、新材料还不足以满足在信息时代对土木工程更新换代的需求，还必须利用新技术进行一系列新概念、新思想、新理论的探索。

2. 虚拟现实技术从制造业走向建筑业

从我们接触土木工程的第一天起，就开始接受这样传统的观念，建筑业与制造业存在着重大的区别：产品的单件性、组织的临时性、生产系统的离散性、现场管理的随机性、影响因素的复杂性等等；甚至建筑机械工程师都必须提醒自己，我们的机械跟一般的机械不同，工件（即建筑物）是静止的，相反，工作母机围绕着产品动作。正因为建筑业如此众多的不确定性和特殊性，使得它难以以相近的步伐利用制造业已经取得的先进生产技术，使得建筑业至今由于多种原因还难以摆脱半手工的生产状态以及比较混乱和难于控制的管理状态，尤其是建筑施工领域。

尽管我们很容易找到这种种的不同之处，但是，这些观点通常只停留在定性的阶段，很少有人致力于收集数据，并对其进行定量分析。首先，这种不同达到了何种程度，比如：建筑工程中到底有多少工作是可重复的，其一次性达到何种程度，建筑产品中到底有多少是可以标准化并进行批量生产的；其次，这些特性是否使得建筑业在生产过程和技术改造中要付出更大的代价以及代价到底大多少等等。

特别值得注意的是：随着工业及工程界的竞争越来越激烈，市场瞬息万变，各行各业都逐渐以多品种小批量的生产为其主导生产形式。这在很大程度上拉近了制造业与建造业的距离；使得它们都面临着许多相同的问题和挑战。比如：由于系统投资较大、周期较长，在系统正式建立与运行之前，难以对这些系统的效益和风险进行确实而有效的评估；

开发一个新产品，无法在投入大量人力和经费之前就确定其开发价值和投产后的效益及风险进行确实有效的评估；不能在产品设计开发的各个阶段把握产品制造、建造过程各个阶段的实况，不能确实有效地协调设计与制造、建造各阶段的关系。随着计算机网络和虚拟现实的出现，制造行业的企业纷纷引入了 VRT 来解决这些问题，这也使得建造师们把目光投向 VRT，利用虚拟制造取得成效，更快速地建成虚拟建造系统。

从长远来看，建筑行业采用工业化的生产方式正是它发展的方向：建筑材料和建筑制品已普遍采用集中、大批量、标准化生产，这促使建筑施工和管理方法也应当符合工业化的生产与供应要求。事实上，国际上已经有了其成功的范例。比如：将精益生产(Lean production)和敏捷制造(Agile Manufacturing)引入建筑领域。美国的 IGLC(International Group for Lean Construction)就从事此项研究活动，并做了大量卓有成效的工作。

当然，如何运用合理的技术和管理策略，使得制造业已经取得的先进技术更易于向建筑业转化，是一个很艰巨的课题，这需要付出巨大的努力。

3. 建筑行业虚拟化的意义

一旦我们能够合理借鉴制造业已取得的先进技术和先进经验，并将之运用于建筑行业，不管是在观念还是在技术上，必将给传统的建筑业带来巨大的变化。下面从不同的角度来分析虚拟建造和虚拟产品的重要意义。

首先是业主。他们在投资之前都希望能获得建筑物更为直观、具体的概念。这一需要在建筑行业尤显重要，因为工业产品的批量生产使得消费者在购买之前对产品已有了解，这有助于他们的选择和决定；而建筑产品的个性强，质量的离散性或随机性较大，业主在决策之前对要进行投资的建筑产品很难有明确的概念。类似于制造业在开发新产品之前需要试制样机一样，身临其境、多感知地体会未来的建筑产品无疑将对业主的决策起到良好的引导作用。这对房地产开发商和投资者将具有不可抵御的吸引力。更进一步地说，他们也希望在建造活动中，能有更多的自主权，也就是要建筑产品能全方位反映他们的投资意图，并能在项目建造以及整个生命周期中，随时根据市场的变化做出调整。

再则是设计单位。我们很难苛求设计师既懂土木，又懂水电安装，还懂通风、采暖和空调，随着智能建筑的兴起，最好还懂得控制和网络。但是建筑物却是一个综合性产品，任何建筑产品都离不开这诸多专业的合作。我们已经注意到：在实际建造过程中，很多质量问题和工期耽误都来自设计中各专业未能统一协调。例如：在建筑物进行机电设备安装时，一份统一各工种的综合施工图就显得尤为重要，而设计单位却很少进行此类工作。设计分专业进行无可厚非，但设计出的产品却必须共用统一的空间，否则就会出现矛盾。使用虚拟产品作为通用标准的设计正好给出了完满的解决方案，将建筑产品的不同方面从空间上统一起来。

而收获最大的可能是承包商。建筑产品最终是靠施工单位实现的，决策者头脑中的建筑产品早已在初设、扩初、总包、分包等等层层技术交底中受到扭曲。即使在施工单位内部，由于面对的技术图纸几乎没有可视性，加之目前建筑工人的素质普遍不高，哪怕是工长的意图也并不那么方便下传，更何况来自业主和设计单位的永无止境的设计变更。虚拟产品的出现对于协调各分包商的关系、统一认识、透彻理解设计意图、增强应变能力都有着不可比拟的优越性。更重要的是，虚拟建造系统使得优化施工真正成为可能。在虚拟产品上很容易进行实验和比较，有助于施工者制定出经济快捷、安全可行的施工方案，极

大减少了施工风险，也便于进行质量、成本 and 进度的控制和管理。

虚拟建造在本质上是实际建造过程在计算机上的映射，因此它可以通过计算机虚拟建造环境来模拟和预估建筑物的外观、功能及施工性能等各方面可能存在的问题，从而提高了人们的预测和决策水平，它为建造师们提供了从建筑物概念的形成、设计到施工全过程的三维可视及交互的环境，使得建造技术走出了主要依赖经验的狭小天地，发展到了全方位预报的新阶段。

1.1.2 虚拟现实技术的概念

1. 什么是虚拟现实

虚拟现实(Virtual Reality, 简称为 VR)这一名词是美国 VPL Research 公司的奠基人发明家 Jaron Lanier 于 20 世纪 80 年代初所提出。这是他在实地建造这种类型的环境中领悟而创造出来的一个称呼。现在，这一名词日渐流行并被学术界和技术界所承认。

为什么“虚拟现实”一词中同时含有“虚拟”和“现实”这两个对立的成分？名词创造者的用意是：以“虚拟”两字说明，利用 VR 技术所产生的局部世界并非是真的，而是人造的，是虚构的；以“现实”两字说明，虽然这一局部世界是人造的，但它对进入这一局部世界的人来说，在感觉上是与进入了现实世界相同。在此的感觉可以包括视觉、听觉和触觉。

虽然作为一门新兴的技术，虚拟现实的名称是在 20 世纪 80 年代初兴起于国外一些发达国家的，但它本身不是一种新出现的东西，从支撑其发展的各种技术角度而言，许多概念和成果，早就分散在多种领域，所以，不太好写一部单独的虚拟现实技术发展史。它采用了电子工业数十年的研究成果，并随着它们技术发展而发展，下面我们回顾数十年来人们为虚拟现实所做的努力：

1929 年，Edwin Link 设计了一种竞赛乘坐器，它使得乘坐者有一种在飞机中飞行的感觉。Link 飞行模拟器是虚拟现实几个先驱中的一个。

1962 年，美国电影摄影师 Morton Heilig 研制出了第一套多感知仿真体验系统 Sensorama Simulator，这是第一套 VR 视频系统。它具有图像、声音、振动、风、气味等感知性能，但属于非交互式的系统。

1965 年，在 IFIP 会议上，有 VR“先锋”之称的计算机图形学的创始人 Ivan Sutherland 作了题为“The Ultimate Display”的报告，提出了一项富有挑战性的计算机图形学研究课题，他指出，人们可以把显示屏当作一个窗口观察一个虚拟世界，使观察者有身临其境的感觉。这一思想提出了虚拟现实概念的雏形。

1968 年，Ivan Sutherland 使用两个可以戴在眼睛上的阴极射线管(CRT)，研制出了第一台头盔式立体显示器(HMD)。并发表了题为“A Head-Mounted 3D Display”的论文，对头盔式三维显示装置的设计要求、构造原理进行了深入的讨论，并绘出了这种装置的设计原型，成为三维立体显示技术的奠基性成果。

1972 年，Nolan Bushnell 开发了第一个交互式电子游戏，称为 Pong，它允许玩游戏的人在电视屏幕上操纵一个弹跳的乒乓球。由于交互性是虚拟现实技术的一个关键，因而这一个交互式游戏的开发具有重要的意义。

到了 20 世纪 80 年代后期，因为图形显示技术已经能够满足视觉耦合系统的性能要

求，液晶显示(LCD)技术的发展使得生产廉价的头盔式显示器成为可能，所以 VR 技术得以加速发展。

1985 年，Scott Fisher 等研制了著名的称之为 VIEW 的一种“数据手套”(Data Glove)，这种柔性、轻质的手套装置可以测量手指关节动作、手掌的弯曲以及手指间的分合，从而可编程实现各种“手语”。

1986 年，研制成功了第一套基于 HMD 及数据手套的 VR 系统 VIEW。这是世界上第一个较为完整的多用途、多感知的 VR 系统，它使用了头盔式显示器、数据手套、语言识别与跟踪等技术，并应用于空间技术、科学数据可视化、远程操作等领域，被公认为当前 VR 技术的发源地。

1989 年，VPL 的创始人 Jaron Lanier 提出了“Virtual Reality”(虚拟现实)这个名词，意指“计算机产生的三维交互环境，在使用中用户是‘投入’到这个环境中去的”。根据他提出的这个名词的含义，VR 的一种定义是让用户在人工合成的环境里获得“进入角色”的体验。从此，“Data Glove”和“Virtual Reality”便引起新闻媒介极大的关注和丰富的想象。

1990 年，在美国达拉斯召开的 Siggraph 会议上，对 VR 技术进行了讨论，明确提出了 VR 技术的主要内容是：实时三维图形生成技术、多传感器交互技术，以及高分辨显示技术，这为 VR 技术的发展确定了研究方向。

在“需求牵引”和“技术推动”下，近年来 VR 已经取得的一些技术成果，并已集成了一些很有实用前景的应用系统。智能虚拟世界也在不断地发展。

鉴于其技术基础面广泛而深入，特别是受实时三维计算机图形的制约，开始除了大投入的军工国防部门外，并不被广泛注意。随着 LED 和 CRE 显示器技术、高速图形技术、多媒体技术的发展，加之图形并行处理、面向对象的程序设计方法的发展，虚拟现实技术开始活跃，特别是近几年发展很快。

我们尝试着用其工作定义来解释 VR：虚拟现实，作为对传统的人机交互方式的深化，是一种人机共享模式的技术领域，人们能利用它仿造出或创造出虚拟环境，并让人们能身历其境地进入这一环境。同时，作为信息科学的一个分支，它又是一个由计算机技术、传感器技术和执行器技术，包括计算机图形学、系统仿真学和人工智能融合而成的技术领域，但它具有其自己独特的研究内容：虚拟环境的产生和虚拟环境的感受。

生成虚拟现实需要解决以下三个主要问题：

① 以假乱真的存在技术。即，怎样合成对观察者的感觉器官来说与实际存在相一致的输入信息，也就是如何可以产生与现实环境一样的视觉、触觉、嗅觉等。

② 相互作用。观察者怎样积极和能动地操作虚拟现实，以实现不同的视点景象和更高层次的感觉信息。实际上也就是怎么可以看得更像、听得更真等等。

③ 自律性现实。感觉者如何在不意识到自己动作、行为的条件下，得到栩栩如生的现实感。

为了成功地开发这三大技术，虚拟现实必须处理好如图 1.1-1 所示的各个要素之间的相互关系。观察者、传感器、计算机仿真系统与显示系统构成了一个相互作用的闭环流程。

典型虚拟现实系统模型如图 1.1-1 所示。

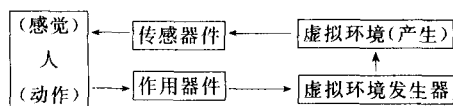


图 1.1-1 虚拟现实系统模型

虚拟现实系统主要由以下五个模块构成，如图 1.1-2。

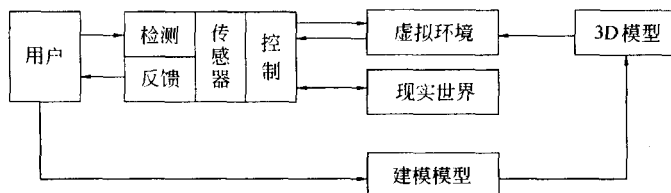


图 1.1-2 虚拟现实系统的构成

- (1) 检测模块：检测用户的操作命令，并通过传感器模块作用于虚拟环境。
- (2) 反馈模块：接受来自传感器模块信息，为用户提供实时反馈。
- (3) 传感器模块：一方面接受来自用户的操作命令，并将其作用于虚拟环境；另一方面将操作后产生的结果以各种反馈的形式提供给用户。
- (4) 控制模块：对传感器进行控制，使其对用户、虚拟环境和现实世界产生作用。
- (5) 建模模块：获取现实世界组成部分的三维表示，并由此构成对应的虚拟环境。

2. 虚拟现实的特征及分类

作为一个独立存在的技术，虚拟现实显然与其他的技术有所不同，但作为一个新涌现的技术，它又不免与已存在的技术有种种牵连。与虚拟现实最相近的技术是人机界面，但虚拟现实又与它有着明显的不同之处，也即虚拟现实有其自己的特征。虚拟现实技术具有沉浸性、交互性、自主性和多感知性等四个重要特征。

(1) 沉浸性

它要求计算机所创造的虚拟环境能使计算机操作人员有“身临其境”的感觉，使操作人员相信在虚拟境界中人也是确实存在的，而且在操作过程中他可以自始至终地发挥作用，就像真正面对客观现实世界一样。

(2) 交互性

它是指操作者与虚拟环境中所遇到的各种对象的相互作用的能力，这种交互是三维的，用户是交互作用的主体，与虚拟客体间可进行多行为的交谈。通过虚拟现实向使用者提供的交互机制，使用者的输入(动作)可使呈现的界面(虚拟环境)发生相应的变化，这一变化将给使用者的感觉产生新的内容；变化导致使用者又做出新的输入，使虚拟环境再次发生变化。以上交互过程反复进行，直至使用者感觉到所处的虚拟环境满意为止。

(3) 自主性

它要求用户能以客观世界的实际动作或以人类熟悉的方式来操作虚拟系统，让用户感觉到他面对的是一个真实的世界，并且虚拟环境中物体应依据物理定律动作。

(4) 多感知性

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，

甚至包括味觉感知、嗅觉感知等，理想的虚拟现实技术应该具有人的一切感知功能。由于传感器技术的限制，目前虚拟现实技术所能提供的感知功能仅限于视觉、听觉、力觉、触觉等。

根据显示的沉浸程度，虚拟现实系统一般可以分为桌面虚拟现实系统、沉浸式虚拟现实系统、分布式虚拟现实系统、远程存在虚拟现实系统以及增强现实虚拟现实系统。其中，桌面虚拟现实系统和沉浸式虚拟现实系统在计算机辅助工程领域中使用较为广泛。沉浸式虚拟现实系统利用头盔显示器和数据手套，三维鼠标器等交互设备把用户的视觉、听觉和其他感觉封闭起来，使参与者暂时与真实环境隔离开来，其特点是能提供观察者“真实”的体验。常见的虚拟现实系统包括投影式虚拟现实系统和洞穴自动式虚拟环境(CAVE)又称工作室和头盔式虚拟现实系统。桌面虚拟现实系统使用个人计算机和个人工作站来实现仿真，计算机屏幕作为参与者观察虚拟环境的窗口。桌面虚拟现实系统虽然缺乏沉浸式虚拟现实系统的那种完全沉浸功能，但是它具有成本低、使用方便等特点，所以仍然受到普遍欢迎并得到更为广泛的使用。

3. 虚拟现实的应用

在过去十余年中，人们一方面对它从事了基础性的研究，另一方面也为它开发了可进行实验所用的工具。虚拟现实技术及设备相对来说价格比较昂贵，但在很多专业中其回报是非常高的。根据近两年国外技术进展的分析，虚拟现实正从大学的实验室研究走出，走上认真寻找行业性应用的道路。从面向游戏机和主题游乐园，拓展为在工业、商业、医学和军事等领域的应用(表 1.1-1)。可以预料，今后的十年间这一处于青春期的活跃技术，将在许多行业中找到用武之地。

虚拟现实的应用范围 表 1.1-1

领 域	用 途
医 学	外科手术，远程遥控手术，身体复建，虚拟超声波影像，药物合成
教 育	虚拟天文馆、远距教学
艺 术	虚拟博物馆、音乐
商 业	视频单位、电话网路管理、空中交通管制
景观模拟	建筑设计、室内设计、工业设计、地形地图
科学视觉化	数学、物理、化学、生物、古生物、考古、行星表面重建、虚拟风洞试验、分子结构分析
军 事	飞行模拟、军事演习、武器操控
太 空	太空训练、太空载具驾驶模拟
机 械 人	机械人辅助设计、机械人操作模拟、远程操控
工 业	电脑辅助设计
娱 乐	电脑游戏

(1) 航空航天和军事

最初的军工模拟是推动 VR 发展的主要力量，VR 的许多成功应用也正是在这些方面，如飞机驾驶模拟器、近战战术训练器、虚拟战场等。主要应用系统有：坦克训练网络、虚拟毒刺导弹训练、反潜艇作战、NASA 训练系统等等。应用的目的是模拟和训练。目前，洛克希德·马丁公司正在使用虚拟现实技术，力图使联合攻击战斗机的研制周期、

研制成本和生产周期均降低 50% 或者更多, 并希望飞机的维修时间和费用也降低 30%。

(2) 工程和建筑

美国汽车城底特律的三巨头(通用汽车、福特和克莱斯勒)都在热衷于开发和发展对自己实用的虚拟环境, 并将它用在汽车设计和制造上。目前取得最大成功的是虚拟放样(Virtual Prototyping)。使用虚拟放样, 人们可以进入所设计的汽车的虚拟环境, 对其进行操作, 可极大地省钱、省时。为此这三公司都不惜投资千万美元开发 VR 应用, 福特公司一家就在三个部门建立了研究 VR 应用的环境。实际上, 世界上主要汽车制造公司都在 VR 方面有所动作。因为他们都意识到, VR 技术在成本和效率上极具优势, 而这将有助于他们在今后的激烈竞争中取胜。从一个新产品的先期开发、一个新的汽车模型到仿真装配汽车零件、模拟装配车间, 直至企业间的虚拟合作等等。

而在建筑领域, 可用它实现工业与民用建筑物虚拟仿真, 一个具体的建筑物一次性仿真, 可细到水龙头、电灯开关、门把手等。还可以用它设计各种建筑产品和施工设备, 对施工工程的方案比较和优化大有裨益。在对于大型项目的规划、评估上的前景更是令人振奋, 例如: 一个大型水电站的投建、工程的优化施工、大型电力设备的设计、检修和日常维护, 直到操作人员的培训等等用 VR 实现全方位仿真, 将对业主、设计单位、监理单位、施工单位以及电厂的管理和控制带来前所未有的便利。

(3) 医学的应用

美国医学界正在认真且迅速地将 VR 技术应用到这一领域中去。他们首先是将其用于外科手术方面。最初, 用于手术训练(帮助熟练掌握手术操作); 随后, 又用于手术策划(帮助制订最佳手术方案); 现在, 已发展成用于手术实施(帮助准确及时找到病灶所在)。除了进行人体解剖仿真和外科手术外, 其范围包括建立合成药物的分子结构模型到各种医学模拟, 如用来设计各种合成药物, 允许研究人员测试各种新药物特性。同时国外医学界的研究热点正在转向远程诊断和远程外科。

(4) 科学可视化

现在, 有很多物质, 如红外光、微波、雷达、电磁场、在通道中流动的各种物质的数据都不是可见的, 而且科学计算的数据结果通常很抽象, 不便于理解和应用, 利用 VR 技术, 很容易将这些东西可视化和形象化。随着操作者的参与, 随时进行各种复杂的科学计算, 将计算结果所产生的数据转换成为可视的图像信息或将枯燥的数字转换为具有物理意义的、易于理解的图形信息, 并可进行交互式分析。这种方式将成为信息爆炸年代人类分析和驾驭信息的有力手段。主要应用有: 力学计算分析、分子结构等。

(5) 金融和娱乐

金融可视化是指将大量数据变换成图像式物质, 从而使数据更易理解和分析, 股票市场就是采用这种技术的主要领域。证券交易可视化、体验广告等也是 VR 成功地范例。

娱乐是 VR 的一个巨大市场, 世界一些著名的娱乐城已建成 VR 娱乐中心, 在这个环境中许多神话都已变成“现实”。主要应用有虚拟演员、虚拟博物馆、虚拟音乐、虚拟物理实验室、虚拟战争游戏。

德国弗劳恩霍费尔图解数据处理研究所 2001 年 6 月 20 日宣布, 他们计划在黑森州的达姆施塔特建立世界上首座虚拟现实公园。据该研究所的斯特凡·米勒介绍, 这座世界上首座虚拟现实公园将集教育和历险等为一体。在这里, 人们可以探访意大利锡耶纳的大教

堂、中国的敦煌莫高窟、宇宙太空及水下世界等。另外，该虚拟现实公园还可提供试验飞行、试验驾驶及试验手术等服务。米勒估计，该公园将需要大约 1 亿马克建设资金。建成之后，它每天将能够接待大约 200 位游客，计划 2004 年对外开放。

(6) 教育

VR 教育是一种非常有意义并已广泛开拓的市场。VR 可以形象体现一个分子结构、抽象的数学方法；甚至全方位“物质”显示一个电力系统的过渡过程等。对于花费昂贵或涉及有毒有害环境的教学，虚拟现实更显示出其重要性。

尽管目前虚拟现实系统的应用还未完善，市场技术还很不成熟，真正商品化的应用系统也并不多见，但是，虚拟现实系统的应用却已日趋活跃，具有极大的潜在使用价值。

4. 虚拟现实的开发环境及支撑技术

(1) 硬件开发环境

系统采用分布式实时数据处理方式，要支持各种外设，每个设备都有数据的同时传送，还必须能迅速处理传递过来的信息，因而对操作系统和数据传输网络都提出了极高的要求，而且这种传输往往信息量都很大，如声音、图像等，必须要有高档次的设备，当然，这也是 VR 系统往往投资大的原因。正由于 VR 对实时性的要求，所以硬件开发环境一般以工作站为主。国外有许多可用于 VR 的工作站，其中最值得一提的是 SGI 公司的图形工作站。该公司成立于 1982 年，是一个生产高性能计算机系统的公司，公司生产交互式三维图形、数字媒体、多处理服务器和超级计算机系统，总部设在美国加州山景城。SGI 图形平台被认为是构成 VR 系统的最佳选择，其性能价格比高，以至于人们一谈到 VR 就谈到 SGI。

今年 8 月美国 SGI 公司宣布将在北京设立首座由 Onyx 300 系列组成的虚拟现实中心，帮助现有和未来在高端可视化领域的客户亲身感受虚拟现实技术带来的立体的、交互的、动感的梦幻感觉，让他们“实地”考察澳大利亚大宝礁的神奇海底风光、只身探索浩瀚宇宙的无尽奥妙和微观原子世界的独特结构、目睹世界名车设计和生产的每一个细微过程，领略漫游古代遗迹所带来的神秘。在全球可视化领域，无论从能源到制造，还是从科研到城市规划和古迹复原，无不显示着 SGI 公司虚拟现实技术带来的震撼。在中国建立的首座虚拟现实中心将更好地帮助 SGI 向国内用户提供更加完善的技术支持和售后服务。设立在北京的 SGI 虚拟现实中心由 8 个 SGI Onyx 300 系列构成，并采用 Christie 投影技术，对高度复杂的数据进行可视化处理，通过三维数字景象及模型实现对现实的虚拟。Onyx 系列服务器专门为可视化超级计算而设计，是业界惟一既可以用于超级计算，又可以实时处理三维图像、图形和视频数据的超级计算机。SGI 的虚拟现实整体解决方案允许实时、交互、地分析高分辨率、随时间变化的数据集，能够让人们直观地观察、精确地分析各变量之间的关系，避免真实环境中可能遇到的危险，因不可行的方法而导致的高昂费用，从而实现协同决策，快速洞察复杂的问题，提高项目分析、设计、施工和测试的效率，以降低生产成本、加快产品上市时间，从而提供企业竞争力。

(2) 软件开发平台

硬件是基础，软件是核心。虚拟现实软件的主要任务是设计参与者在一种虚拟环境中会遇到的景和物。像 VR 这种以三维图形为主的复杂系统，如果一切都从基础工作做起，其软件的工作量大到不可思议，而且也无此必要，利用现有开发平台可以大大提高效率。