

江苏高校优势学科建设工程资助项目

采煤机3DVR

数字化信息平台关键技术研究

孙海波 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

江苏高校优势学科建设工程资助项目

采煤机 3DVR 数字化 信息平台关键技术研究

孙海波 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书以 MG900/2210-WD 型交流电牵引采煤机为例对采煤机 3DVR 数字化信息平台关键技术进行了研究。在对采煤机重要工况参数进行实时归档的基础上,采用 Virtools 及其二次开发技术 SDK 建立了与采煤机远程监控系统相结合的采煤机 3DVR 数字化信息平台,利用采煤机远程监控系统提供的实时工况参数来驱动 3D 模型,实时地显示采煤机的工作状态及变化趋势。

图书在版编目(CIP)数据

采煤机 3DVR 数字化信息平台关键技术研究 / 孙海波

著. —徐州: 中国矿业大学出版社, 2016. 1

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3031 - 7

I. ①采… II. ①孙… III. ①采煤机—数字控制系统—信息系统—研究 IV. ①TD421.6—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 027596 号

书 名 采煤机 3DVR 数字化信息平台关键技术研究

著 者 孙海波

责任编辑 耿东锋 章 毅

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 850×1168 1/32 印张 4.75 字数 123 千字

版次印次 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

定 价 18.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

本书以 MG900/2210-WD 型交流电牵引采煤机为例对采煤机 3DVR 数字化信息平台关键技术进行了研究。在对采煤机重要工况参数进行实时归档的基础上,采用 Virtools 及其二次开发技术 SDK 建立了与采煤机远程监控系统相结合的采煤机 3DVR 数字化信息平台,利用采煤机远程监控系统提供的实时工况参数来驱动 3D 模型,实时地显示采煤机的工作状态及变化趋势。研究成果应用于某煤矿机械厂初步的实验结果表明,该 3DVR 平台能够与采煤机远程监控系统集成并运行,克服了传统的采煤机远程控制系统中以数据和曲线的形式显示信息、对远程操作人员而言没有真实感、不利于监测和控制等缺点,使得井上的调度人员可以清楚地了解到综采工作面采煤机的工作状态并对可能发生的故障进行预测和报警。

本书取得了如下的工作成果:

第一,对于采煤机 3DVR 数字化信息平台中采煤机实时绘制和加速的关键技术进行了研究,提出一种基于半边压缩的层次细节模型的网格简化改进算法,建立了相应的折叠边的选择策略和误差度量方法,并成功应用于采煤机多层次细节模型的实时绘制,产生了较好的简化结果。实验结果表明,该方法能够满足采煤机 3DVR 数字化信息平台实时图形绘制的要求。在半边压缩的层次细节模型网格简化改进的算法基础上,以三角形表的形式记录了模型简化过程中原顶点和新顶点位置以及顶点之间的连接关系的变动信息;生成由原始模型的最简化模型和一系列简化信息组成的渐进网格表示模式,实现了高效、无损且有连续分辨率的编码。

第二,对于煤炭综采工作面虚拟场景环境、设备和煤流粒子落煤场景等真实感图形处理的关键技术进行研究,以增加虚拟现实系统中的实时三维图形生成和显示的真实感。对落煤,采煤机行走,滚筒调高、旋转及摇臂内部传动等具体动作在 3DVR 数字化信息平台中的真实再现进行了研究。

第三,研究综采工作面三维虚拟环境中采煤机工作的碰撞检测算法问题。在满足运动碰撞检测精度和尽可能减少计算开销的前提下,为采煤机的实时工作仿真提供保证。

最后,总结了采煤机 3DVR 数字化信息平台的系统结构,建立了合理的人—机界面,实现了综采工作面虚拟场景中的漫游和场景的切换。

本书研究内容应用于某煤矿机械厂初步的试验结果表明:所建立的采煤机 3DVR 数字化信息平台能够与采煤机的远程监控相结合,有助于实现对采煤机的远程可视化操控、提高矿井生产的安全可靠性。实验结果验证了本书提出的各种方法的正确性。

本书进行的研究得到了江苏高校优势学科建设工程资助项目、江苏省矿山智能采掘装备协同创新中心和矿业大学名师培育工程项目的支持,在此表示衷心的感谢!

本书还得到了以下项目的资助:

(1) 基于 3D 平台的采煤机远程监控与故障预报关键技术研究,高等学校博士点基金,项目编号 20070290538。

(2) 国家“十一五”863 重点项目“煤矿井下采掘装备遥控关键技术”(项目编号 2008AA062200)子项目“采煤机远程控制技术及监测系统”。

著 者

2015 年 6 月

目 录

1 绪论	1
1.1 选题的背景和意义	1
1.2 虚拟现实理论及在国内外领域中的研究现状	3
1.3 本书研究的内容和框架	13
2 采煤机 3DVR 数字化信息平台图形实时绘制和加速	
关键技术的研究	16
2.1 概述	16
2.2 3DVR 平台中采煤机三维模型的建立	17
2.3 实时图形加速和多层次细节模型技术	21
2.4 基于半边压缩的采煤机三维实时多分辨率层次 细节网格模型的算法研究	34
2.5 算法应用结果及分析	60
2.6 本章小结	63
3 综采工作面虚拟场景的建立和采煤机动作的真实再现	65
3.1 综采工作面场景和设备的建模	65
3.2 Virtools 虚拟现实开发平台简介	68
3.3 实时的真实感虚拟场景的生成研究	72
3.4 煤流粒子系统的建模和落煤场景的设计	80
3.5 3DVR 平台采煤机动作的真实再现	85
3.6 本章小结	99

4 采煤机 3DVR 平台虚拟场景中的碰撞检测	101
4.1 引言	101
4.2 碰撞检测综述	101
4.3 虚拟场景中的碰撞检测算法研究	104
4.4 采煤机在虚拟场景工作过程中避免碰撞的 快速检测	111
4.5 本章小结	116
5 采煤机 3DVR 数字化信息平台的集成	117
5.1 采煤机 3DVR 数字化信息平台的基本配置	117
5.2 系统平台的建立	119
5.3 采煤机 3DVR 数字化信息平台的操作界面	121
5.4 综采工作面虚拟场景的切换和漫游	123
5.5 本章小结	126
6 总结与展望	127
6.1 结论	127
6.2 创新点	128
6.3 需要完善的地方	129
参考文献	131

1 绪 论

1.1 选题的背景和意义

煤炭是我国的主体能源,在我国经济发展中具有重要的战略地位。特别是改革开放以来,煤炭工业取得了长足发展,为国民经济的持续快速发展提供了基础能源保障。我国拥有丰富的能源,并且对能源的需求在不断地增长。在我国,大部分能源是从煤炭中获得的,煤炭对于我国能源生产的重要性超过世界上任何一个国家。煤炭开采是典型的复杂时变系统,其中人、机、环境诸多因素相互交错、并行发生,各种信息表现出多源性、异构性、非结构化等特点,加之严峻的井下半封闭式空间的作业环境,致使许多传统技术的应用受到严重限制,甚至无能为力。随着近年来国民经济的快速发展,国家对煤炭需求量的急剧增加,煤矿开采强度加大,许多潜在的隐患日益显露,导致煤矿安全生产的安全性、稳定性和可靠性降低。因此,研究、探索科学认知煤矿开采环境的新方法成为当前解决煤矿安全生产的崭新课题,是关系到我国主要能源的有效供给、和谐社会建设的重大问题。

机电一体化产品和技术在煤矿采、掘、运的应用和推广极大地提高了我国煤矿的生产能力,为实现高产、高效、安全和洁净煤炭工业生产打下了扎实的基础,尤其是采煤机在综采技术中的成功运用对提高煤炭的产量起到了决定性的作用。

采煤机是一个集机械、电气和液压为一体的大型复杂系统。其工作环境恶劣,如果出现故障将会导致整个采煤工作的中断,造

成巨大的经济损失。随着煤炭工业的发展,采煤机的功能越来越多,其自身的结构、组成愈加复杂,因而发生故障的原因也随之复杂。随着先进的控制系统的应用,国外许多新型的电牵引采煤机具有建立在微处理机基础上的智能监控、远程控制和保护系统,可实现交互式人机对话、远近控制、无线电随机遥控、工况监测及状态显示、数据采集存储及传输、故障诊断及预警、自动控制等多种功能,以保证采煤机具有最低的维修量和最高的利用率。虽然目前国内电牵引采煤机代表机型与国外最先进的电牵引采煤机相比,在总体参数性能方面已接近国际 20 世纪 90 年代中后期水平,但在一些关键部件以及总体性能、功能、适应范围方面还有待进一步完善和提高。尤其是电牵引采煤机的工况在线监测、故障诊断及预报、信号传输与采煤机自动控制、传感器件等智能化技术与国外相比还有较大的差距。针对这些差距,研究采煤机的故障诊断与专家系统、工况监测、显示与信息传输系统、工作面采煤机自动运行控制系统、自适应变频电路的漏电检测与保护技术、摇臂自动调高系统等成为今后国内电牵引采煤机的主要发展方向。虚拟现实技术的发展为深入认知煤矿生产环境提供了全新的思路和方法,该技术目前在国内外尤其是国内煤矿领域中的研究应用仍然处在初级阶段。

本书在采煤机 3D 引擎和采煤机远程监控系统的支撑下,以 MG900/2210-WD 交流电牵引采煤机为例研究并建立基于虚拟现实技术的综采工作面采煤机 3DVR 数字化信息平台。在矿井生产系统中,综合机械化采煤工作面(简称综采工作面)是现代化矿井最基本的生产单元,也是事故高发地和能见度低的地方。基于虚拟现实技术建立的采煤机 3DVR 数字化信息平台,利用采煤机远程监控系统提供的实时参数来驱动 3D 模型,可以不受井下环境条件(光线、灰尘、温度等)的影响,实时全景地显示采煤机的内外部状态及变化趋势。由于能够实时显示采煤机的工作状态,克

服了传统的采煤机远程控制中以数据和曲线的形式显示信息、对远程操作人员而言没有真实感、不利于监测和控制等缺点,因此井上的调度人员可以清楚地看到工作面的采煤工艺过程并对可能发生的故障进行及时的预测和报警。该平台与采煤机的远程监控和故障预测系统相结合,对于有效地实现对采煤机的远程可视化操控、提高矿井生产的安全可靠性有着重要的意义。

我国对虚拟现实技术在煤矿中的应用研究还不够成熟。为满足煤矿信息化建设的需要,加快虚拟现实技术在煤矿中应用的理论研究和软件开发,对于实现煤矿的科学化、现代化管理,保障煤矿安全高效生产,提高煤炭行业的科技发展水平,都具有非常重要的意义。

虚拟现实技术应用在采煤机 3DVR 数字化信息平台的实质是将虚拟现实技术与远程监控系统结合起来,实现对采煤机的远程可视化操控、提高矿井生产的安全可靠性。

1.2 虚拟现实理论及在国内外领域中的研究现状

1.2.1 虚拟现实的概念

虚拟现实技术(virtual reality, VR),又称灵境技术,产生于 20 世纪 60 年代,在 90 年代开始为科学界和工程界所关注。其特点在于,计算机产生一种人为虚拟的环境,这种虚拟的环境是通过计算机图形构成的三度空间,或是把其他现实环境编制到计算机中去产生逼真的“虚拟环境”,从而使得用户在视觉上产生一种沉浸于虚拟环境的感觉。

1965 年, Sutherland《终极的显示》的论文中首次提出了包括具有交互图形显示、力反馈设备以及声音提示的虚拟现实系统的基本思想,从此,人们正式开始了对虚拟现实系统的研究历程。

1966 年,美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)的林肯实验室正式开始了头盔式显示器(head mounted display, HMD)的研制工作。1970 年,出现了第一个功能较齐全的头盔式显示器系统。在这第一个 HMD 的样机完成不久,研制者又把能模拟力量和触觉的力反馈装置加入到这个系统中。美国的 Jaron Lanier 在 20 世纪 80 年代初正式提出了“virtual reality”一词。当时,美国宇航局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)及美国国防部组织了一系列有关虚拟现实技术的研究,并取得了令人瞩目的研究成果,从而引起了人们对虚拟现实技术的广泛关注。进入 20 世纪 90 年代,迅速发展的计算机硬件技术与不断改进的计算机软件系统相匹配,使得基于大型数据集合的声音和图像的实时动画制作成为可能;人机交互系统的设计不断创新,新颖、实用的输入输出设备不断地进入市场。这些都为虚拟现实系统的发展打下了良好的基础。可以看出,正是因为虚拟现实系统极其广泛的应用领域,如娱乐、军事、航天、设计、生产制造、信息管理、商贸、建筑、医疗保险、危险及恶劣环境下的遥控操作、教育与培训、信息可视化以及远程通讯等,人们对迅速发展中的虚拟现实系统的广阔应用前景充满了憧憬与兴趣。

虚拟现实技术使过去人只能从计算机系统外部去观测处理的结果,转变为人能够沉浸到计算机系统所创造的环境中;从过去人只能通过键盘、鼠标、麦克风与计算机环境中的单维数字信息进行交互,转变为人能够用多种传感器与多维化的信息空间发生交互作用;从过去人只能以定量计算为主的结果中得到启发从而加深对事物的认识,转变为人能从定性和定量综合集成的环境中得到感性和理性的认识,而深化概念和萌发新意。

虚拟现实技术是一系列高新技术的汇集,包括计算机图形学、多媒体技术、人工智能、人机接口技术、传感器技术、高度并行的实时计算技术和人的行为学等多项关键技术。虚拟现实是这些技术

更高层次的集成和渗透,是多媒体技术发展的更高环境,它能给用户以更逼真的体验,它为人们探索宏观世界和微观世界以及由于种种原因不便于直接观察事物的运动变化规律,提供了极大的便利。由于它的诱人的前景,一经问世就立即受到人们的高度重视。现已广泛用于产品建模与仿真、科学可视化、设计与规划、教育训练、医学、心理学治疗、艺术与娱乐等多方面。

虚拟现实技术按虚拟环境的信息来源和生成途径可分为以下两类:

(1) 真实世界的“遥现”(tele-presence),即用户不在真实世界中的某个现场,但感觉恰如身临其境,并可据此对现场事件进行遥操作。例如 VIEW 用于太空机器人。它将真实世界的远程传感器与操作人员相联系,远程传感器可以装在机器人或其他特有的设备上。这样使得操作人员有逼真的临场感,并可以用自然的方式与远程环境交互,却不必置身于远程环境中。这样就突破了物理空间对人类活动的一些限制,将被广泛应用于复杂危险环境下的作业,如太空、海底和远程医疗等。遥现系统中人与真实世界、虚拟环境的关系如图 1-1 所示。

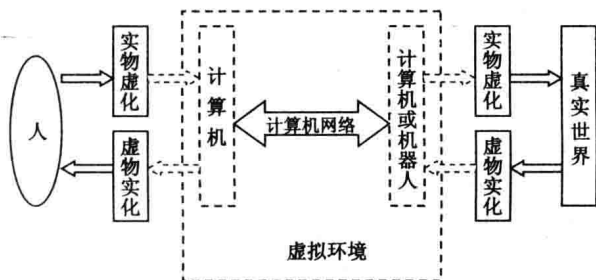


图 1-1 虚拟现实的遥现系统

(2) 真实世界的计算机实时仿真,而且仿真物体的活动符合自然规律。用户可以通过感觉交互取得如同熟知事物一样的

体验。

虚拟现实技术所涉及的领域十分广泛,该领域技术的发展潜力非常巨大,应用前景也很广阔。但虚拟现实技术发展到今天,仍处在它的婴儿时代,还存在着很多尚未解决的理论问题和尚未克服的技术障碍。

1.2.2 国外虚拟现实技术的研究现状

美国是 VR 技术的发源地,大多数研究机构在美国,美国 VR 研究的技术水平基本上代表着国际 VR 发展的水平。目前美国在该领域的基础研究主要集中在感知、用户界面、后台软件和硬件等几个方面。

1984 年,美国宇航局 Ames 研究中心虚拟行星探测实验室的 M. McGreevy 和 J. Humphries 博士组织开发了用于火星探测的虚拟环境视觉显示器,将火星探测器发回的数据输入计算机,为地面研究人员构造了火星表面的三维虚拟环境。在随后的虚拟交互环境工作站 VIEW 项目中,他们又开发了通用多传感个人仿真器和遥现设备。在空间站操纵的远程控制仿真方面做了大量深入的研究并取得了部分成功,其中最著名的工作是对哈勃太空望远镜的控制仿真。1993 年的 11 月,宇航员利用虚拟现实系统成功地完成了从航天飞机的运输舱内取出新的望远镜面板的工作。

用虚拟现实技术设计波音 777 获得成功,是引起科技界瞩目的又一件杰作。波音 777 飞机由 300 多万个零件组成,这些零件的设计以及飞机的整体设计是在一个由数百台工作站组成的虚拟环境系统上进行的。这个 VR 系统是在原有的 Boing—CAD 的基础上所建立的一个逼真的三维模型。当设计师戴上头盔显示器后,就能穿行于这个虚拟的“飞机”中,去审视“飞机”的各项设计。过去为设计一架新型的飞机必须先建造两个实体模型,每个造价约为 60 万美元,应用虚拟现实技术后,不只节省了经费,也缩短了研制周期,使最终的实际飞机与设计方案相比,偏差小于千分之一

英寸,且实现了机翼和机身接合的一次成功,缩短了数千小时的设计工作量。

北卡罗来纳大学(University of North Carolina, UNC)是进行 VR 研究最早、最著名的大学,在基于 VR 技术的分子建模、航空驾驶、外科手术仿真、建筑仿真等方面处于世界领先的地位。麻省理工学院 1985 年成立了媒体实验室,进行虚拟现实的正规研究。他们建立了虚拟环境下的对象运动跟踪动态系统,另外,还在进行“路径计划”与“运动计划”等研究。美国 SRI 研究中心建立了“视觉感知计划”,研究现有 VR 技术的进一步发展;利用 VR 技术对军用飞机和车辆驾驶的训练进行仿真,试图通过仿真来减少飞行事故。另外,SRI 研究中心还利用遥控技术进行外科手术仿真的研究。华盛顿大学华盛顿技术中心的人机界面技术实验室在新概念的研究中起着领先作用,同时也在进行感觉、知觉、认知和运动控制能力的研究,将 VR 研究引入了教育、设计、娱乐和制造领域。

在欧洲和日本,虚拟现实作为一门新兴技术,也受到了普遍的重视。欧洲宇航局(European Space Agency, ESA)用 VR 的远程操作来探索金星表面;德国 DROckerstadt 的 Fraunhofer 研究所开发了一种名叫“虚拟设计”的组合工具;英国的 Bristol 公司在软件研究和硬件开发的个别方面处于领先地位;在当前实用虚拟现实技术的研究与开发中日本是居于领先位置的国家之一,主要致力于建立大规模 VR 知识库的研究,另外在虚拟现实的游戏方面也做了很多工作。

可以看出,正是因为虚拟现实系统有着极其广泛的应用领域,如娱乐、军事、航天、机械设计与制造、信息管理、商贸、建筑、医疗保险、危险及恶劣环境下的遥操作、教育与培训、信息可视化以及远程通讯等,人们对迅速发展中的虚拟现实系统的广阔应用前景充满了憧憬与兴趣。

1.2.3 国内虚拟现实技术的研究现状

在我国,虚拟现实技术的研究和一些发达国家相比,还有很大的一段距离,但是近年来,虚拟现实技术已经得到了相当的重视。根据我国的国情,原国家科委、国防科工委将虚拟现实技术的研究列为重点攻关项目,制订了开展 VR 技术的研究的计划。国内许多研究机构 and 高校也都在进行虚拟现实的研究和应用,并取得了一些不错的研究成果。例如,北京航空航天大学虚拟现实与可视化新技术研究室集成的分布式虚拟环境;清华大学国家光盘工程研究中心所做的“布达拉宫”,实现了大全景虚拟现实;浙江大学 CAD & CG 国家重点实验室开发了一套桌面型虚拟建筑环境实时漫游系统;另外,哈尔滨工业大学、西安交通大学、国防科技大学、中科院软件所、上海交通大学等单位也进行了交通领域的虚拟现实研究工作和尝试,并取得了一批研究成果。

青岛方天科技公司研发的“电力系统三维虚拟仿真平台”,利用软件对电力工程建设方面的相关数据信息进行处理,通过运用三维可视化技术与虚拟现实技术,模拟电力工程建设现场状况,为建设“数字化电厂”提供了重要的技术保障,填补了我国电力系统仿真软件的空白。“电力系统全数字实时仿真关键技术研究、装置研制和应用”被授予 2009 年度国家科技进步一等奖。大连海事大学研制的 DMS—2000 型轮机仿真器运用虚拟现实三维建模双目视差分时式立体视觉显示和视觉现场感产生等技术实现了机舱虚拟现实仿真系统。随着虚拟现实技术的发展,近年来国内还相继出现了虚拟汽车驾驶系统、虚拟舰船驾驶系统、虚拟故宫、虚拟北京机场等等。

虽然从 20 世纪 80 年代中后期开始,虚拟现实技术已经开始走出实验室,进入实际的应用阶段,并在军事、航天航空、医疗等领域发挥了重要的作用,但与这些领域相比,煤炭企业由于资金等条件的限制,虚拟现实技术应用研究显得比较滞后,一直没有能够得

到人们的重视。直到 20 世纪 90 年代后期,随着煤炭行业信息化进程的日益加快,国内外的研究人员开始认识到虚拟现实技术应用于煤炭行业的重要性,并在理论和实际应用方面做了探索性的研究。

1.2.4 虚拟现实技术在国外矿山领域中的研究现状

美国、加拿大、英国和澳大利亚等发达国家的矿山信息化程度较高,矿山虚拟现实应用研究起步也比较早。主要应用方面如下。

(1) 虚拟现实技术在采矿生产中的应用

利用 VR 技术可对采矿生产过程进行模拟,生成一系列虚拟作业场景,操作人员通过它不仅可以看到采矿设备的当前位置和运行状况,而且可以获取设备运行的时间、产量、设备间的距离等动态信息。具有代表性的有澳大利亚 CSIRO Mine Engineering Group 研究开发的 Virtual Mine 虚拟煤矿环境系统、澳大利亚 Earthworks 公司开发的 InTouch 矿山虚拟环境系统,英国诺丁汉大学 AIMS 研究中心开发的房柱式开采系统 VR—MINE 以及电池式矿车 FSV 系统、露天矿单斗卡车作业模拟系统等虚拟现实模型。

(2) 虚拟现实技术在矿山爆破工程中的应用

爆破作业几乎占整个煤矿生产时间的 70%,而它的故事率在采矿生产中也占很大比重,所以矿山爆破施工的安全与质量是非常重要的。利用 VR 系统模拟矿山的地质水文及岩石条件,预演设计的爆破工程过程,并将模拟结果与预期的设计结果进行比较,从而可以确定最佳的炮孔布局和最佳的装药量,达到既优化设计方案又减少爆破事故的目的。如英国 Micromine 公司的 Datamine 系统、加拿大 LYNX Geosystem 公司的 LYNX 系统等。

(3) 虚拟现实技术在矿山安全工程中的应用

VR 技术在矿山安全工程中主要应用在矿山生产环境的风险评价、事故调查以及矿山安全培训等方面。运用 VR 技术可以快

速、有效地以一系列三维图像在计算机屏幕上再现事故发生的过程,事故调查者可以从各个角度去观测、分析事故发生的过程,找出事故起因,防止其他与此相关的隐患事故的发生。矿井火灾和瓦斯爆炸是影响矿山(特别是煤矿)安全生产的主要灾害之一,目前国外的研究机构正致力于矿井火灾 VR 系统的开发,试图通过模拟矿井作业的动态过程,并结合网络分析和 CFD 模拟的结果,逼真地表现火灾或爆炸发生的动态过程。除了模拟烟火弥漫状况外,该系统还可以通过人机交互显示人为因素如反风、灭火措施等对整个通风网络的影响。

由于安全问题在矿山生产管理中的特殊地位,利用虚拟现实技术进行矿山安全培训就成为国外 VR 矿山应用的一个重要方向,不少公司推出了他们的虚拟矿山培训软件。

在矿山安全培训方面,国外已经出现了一些优秀的产品,如 VRCoal, SafeVR 和 VROOM。第五维技术公司(Fifth Dimension Technologies, 5DT)是美国一家专门从事 VR 模拟软件开发及相关硬件设备研制的高科技公司,其涉及的应用领域主要包括航空、国防、高压线路检查、工业制造、医疗、虚拟地形及矿业等。SafeVR 是英国诺丁汉大学 AIMS 研究所的研究人员开发的安全培训 VR 软件包。使用 SafeVR 可以训练学员正确判断险情并做出相应的处理。VROOM 是 AIMS 的研究人员开发的另一个软件,主要用于矿山机械设备的操作培训方面,如采煤机、掘进机的使用,拖车的实时驾驶等。VROOM 创造了大量的虚拟矿山模型,如矿山表面纹理、卡车、拖运线路、钻机、推土机、吊斗铲、电铲、破碎机、带式输送机、维修车、矿山工人等,以便完成虚拟环境的创建。

由国外的研究现状可以看出,虽然在矿山虚拟培训方面取得了一些成果,但在煤矿虚拟现实系统方面的研究尚处于起步阶段,还需要在理论上和实际应用过程中不断完善。