

SHUILI GONGCHENG XUNI FANGZHEN XITONG
KAIFA JISHU YU SHIJIAN

水利工程虚拟仿真系统 开发技术与实践

崔巍 著

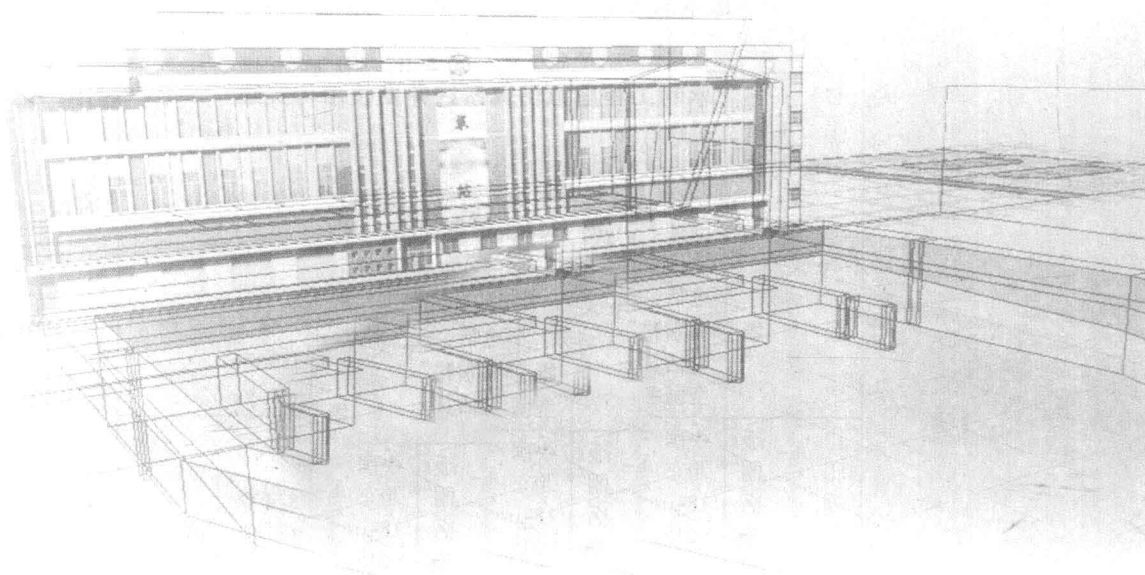


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国家自然科学基金项目 (50909104, 51109226) 资助
“十一五”国家科技支撑计划资助项目 (2006BAB04A12) 资助

水利工程虚拟仿真系统 开发技术与实践

崔巍 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

水利工程虚拟仿真是水利信息化的重要表现形式与手段,在水利工程的规划、设计、建设与管理方面发挥着重要的作用。本书共有8章,详细介绍了虚拟现实技术的基本理论,系统阐述了水利工程虚拟仿真系统开发的基本流程、技术方法,论述了地形建模、地物建模和水流模拟等方面的关键技术。结合引渤济锡长距离输水工程,详细阐述了其虚拟仿真系统的开发过程,重点研究了大规模三维地形地物模型构建、大地形调度管理、实时交互与信息管理等关键技术的实现方法。

本书对从事数字流域、水信息学、虚拟仿真等专业的科技人员具有较高的实用价值,也可供高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利工程虚拟仿真系统开发技术与实践 / 崔巍著
— 北京:中国水利水电出版社,2012.3
ISBN 978-7-5084-9581-1

I. ①水… II. ①崔… III. ①水利工程—仿真系统—
系统开发—研究 IV. ①TV-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第049238号

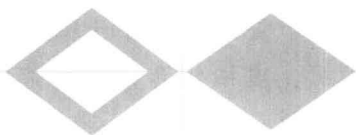
书 名	水利工程虚拟仿真系统开发技术与实践
作 者	崔巍 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9印张 213千字
版 次	2012年3月第1版 2012年3月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	30.00元



凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言



水利工程作为国民经济的重要基础设施，肩负着为社会提供有效的防汛减灾服务、高保证率的清洁水源以及保护和谐水生态环境的历史重任。信息化是当今世界经济和社会发展的趋势，也是我国实现工业化、现代化的关键环节。水利信息化是国家以信息化改造和提升传统产业思路在水利行业的具体体现，是带动水利现代化的重要措施之一。

随着水利行业信息化进程的加快，虚拟仿真技术开始受到水利行业的重视，应用到水利工程的模拟仿真和综合管理中，实现工程方案可视化和工程信息集成管理等功能，在工程的方案比选、施工管理和调度仿真等方面发挥着重要作用。虚拟仿真技术已成为水利信息化新的手段和发展方向，成为水利信息学的一个重要领域。

然而，同其他行业相比，我国水利行业的虚拟仿真技术应用水平差距仍十分明显，所起的作用仅局限于工程的某个局部，缺少为整个工程项目提供集成的信息服务，特别是在可视化、多元数据融合上还很薄弱，综合的多目标、多任务的虚拟仿真系统在水利行业的应用才刚刚起步。水利工程的运行管理基本上还是在二维平面上，三维空间动态地进行调控和管理决策才刚刚开始。

上述状况的存在，与水利行业对该领域的认知与掌握水平有限密切相关。一些决策和管理人员对虚拟仿真技术不甚了解，或是认知有限，对项目开发重视不够，投入不足；一些项目开发人员缺乏相关的理论知识，对系统开发的流程和方法及关键技术掌握不够，导致开发效率不高，系统功能有限。

本书的编写，旨在论述水利工程虚拟仿真的作用和意义，介绍相关的专业基础知识，阐述系统开发的技术方法，研究关键问题的实现途径，从而起到促进水利工程虚拟技术的推广应用，为相关人员技术水平的提高提供支撑的作用。

本书在内容与结构安排上，考虑所研究领域具有较强的计算机专业知识

需求，而水利类专业学生和水利科技人员，一般缺乏相应的理论知识，因而在前半部分用了一定篇幅，系统阐述了虚拟现实、计算机图形学等方面的专业基础知识。之后，紧密结合水利工程专业特点，系统地归纳阐述了水利工程虚拟仿真系统开发的流程和所涉及的关键技术问题等内容。在本书的后半部分，结合引渤济锡长距离调水工程，详细阐述了其虚拟仿真系统的具体开发过程。重点研究了大规模三维地形地物建模、虚拟空间内的模拟控制与实时交互、虚拟仿真系统信息的管理与传递、虚拟仿真系统的总体集成等关键技术问题。

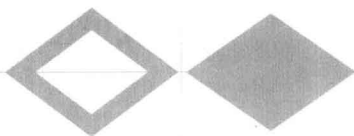
本书编写过程中，得到了中国水利水电科学研究院吴一红、白音包力皋等领导的支持，得到了杨开林、谢省宗和董兴林等教授的悉心指导，还得到了陈文学、王涛、郭新蕾、付辉、郭永鑫等人的支持与帮助，并参考了许多学者的著作和论文，在此一并谨向他们表示衷心的感谢。本书的出版，还得益于中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室，国家自然科学基金项目（50909104，51109226），“十一五”国家科技支撑计划资助项目（2006BAB04A12）的资助和支持，在此也一并诚表感谢。

由于本书涉及的专业知识范围较广，加之作者水平有限，书中难免存在不妥或错误之处，恳请读者提出宝贵意见。希望本书能够起到抛砖引玉的作用，在有关专家和技术人员的共同努力下，在实践中不断发展和完善水利工程虚拟仿真的理论与实践。

作者

2011年9月

目 录



前言

第 1 章 绪论	1
1.1 水利工程虚拟仿真技术概述	1
1.2 水利工程虚拟仿真的作用和意义	1
1.3 虚拟仿真技术在水利行业的应用	3
1.4 存在的问题	8
1.5 本书研究主要内容	8
参考文献	9
第 2 章 虚拟现实技术	12
2.1 虚拟现实技术的概念	12
2.2 虚拟现实技术的发展历程	13
2.3 虚拟现实技术的特征	13
2.4 虚拟现实与相关技术的联系与区别	15
2.5 虚拟现实系统的组成与分类	17
2.6 虚拟现实技术的研究状况	21
2.7 虚拟现实技术的应用	22
2.8 虚拟现实关键技术	24
2.9 虚拟现实技术的发展方向	26
参考文献	27
第 3 章 水利工程虚拟仿真系统开发技术	28
3.1 虚拟仿真系统框架	28
3.2 虚拟场景显示技术	29
3.3 虚拟场景建模技术	33
3.4 虚拟场景建模关键技术	47
3.5 水流水环境模拟技术	53
3.6 虚拟仿真系统开发软件	58
参考文献	63

第 4 章 引渤济锡工程及其三维地形建模	65
4.1 引渤济锡工程规划概况	65
4.2 三维地形建模流程	71
4.3 三维地形建模规划	71
4.4 源数据的准备与加工	72
4.5 三维地形建模	74
4.6 关键技术问题	77
参考文献	82
第 5 章 引渤济锡工程三维地物建模与优化	83
5.1 Creator 软件与 OpenFlight 格式	83
5.2 引渤济锡调水工程三维地物模型构建	84
5.3 建模优化策略	92
参考文献	96
第 6 章 引渤济锡工程信息数据库建设	97
6.1 数据库系统比选	97
6.2 数据库设计	98
6.3 基于 ADO 的数据库程序开发	100
参考文献	104
第 7 章 引渤济锡工程虚拟仿真系统集成	106
7.1 Vega 平台及程序框架	106
7.2 大地形调度管理与实时渲染	112
7.3 基于 Lynx 与 Vega API 的实时交互功能开发	113
7.4 基于 MFC 框架的 Vega 程序开发	119
7.5 系统功能与重点场景展示	121
参考文献	126
第 8 章 总结与展望	127
8.1 总结	127
8.2 展望	128
附录	129
附录 A fst 文件格式转换方法	129
附录 B 实时交互功能部分代码	129
B.1 实时定义路径导航	129
B.2 双通道配置及变比例尺导航	133
B.3 三维空间点击查询	135

第 1 章 绪 论

事实证明,人类对于图像、声音等感官信息的理解能力远远大于对数字和文字等抽象信息的理解能力。随着水利信息化进程的加快,新兴的虚拟仿真技术开始与传统的水利工程相结合,逐步应用于工程的规划、设计、建设和管理中,发挥出重要作用。

本章阐述水利工程虚拟仿真的内容和意义,总结虚拟仿真技术在水利行业的应用状况,分析当前水利工程虚拟仿真系统开发存在的问题,介绍本书的主要内容。

1.1 水利工程虚拟仿真技术概述

水利工程作为国民经济的重要基础设施,肩负着为社会提供有效的防汛减灾服务、高保证率的清洁水源以及保护和谐水生态环境的历史重任。信息化是当今世界经济和社会发展的趋势,也是我国实现工业化、现代化的关键环节。水利信息化是国家以信息化改造和提升传统产业思路在水利行业中的具体体现,是带动水利现代化的重要措施之一。

虚拟仿真技术是 21 世纪末才广泛兴起的一门综合性信息技术,它综合了计算机图形学、通信、系统仿真等技术,提供给用户一个身临其境的、具有完善交互能力、能构筑和启发构思的三维虚拟环境,使用户能够通过直观而又自然的感知交互手段,与这个虚拟的世界进行对话和交互,从而使用户与虚拟环境融为一体。虚拟仿真技术已成为 21 世纪重要的发展学科和影响人们生活的重要技术之一。

随着水利行业信息化进程的加快,虚拟仿真技术开始受到水利行业的重视,应用于水利工程的模拟仿真和综合管理,实现工程方案可视化和工程信息集成管理等功能,在工程的方案比选、施工管理和调度仿真等方面发挥重要作用。虚拟仿真技术已成为水利信息化新的手段和发展方向,成为水利信息学 (Hydro-informatics) 的一个重要领域。

水利工程虚拟仿真包含三维可视化、信息化和模拟仿真等方面的功能,它涉及计算机图形学、数据库、水力数学模型和软件工程等多个研究领域,属于“数字流域”研究的范畴^[1],研究包括流域地形地物的建模与实时漫游,方案论证、工程运行管理等方面的模拟仿真,以及在二维信息平台基础上,研究三维空间数据信息的存储、共享、可视等方面的问题^[2]。

1.2 水利工程虚拟仿真的作用和意义

作为新的信息表现形式与手段,虚拟仿真技术对于水利工程的规划、设计、建设与管理具有重要作用和意义。

首先,有助于提高水利工程决策的前瞻性与科学性。水利工程通常建设周期长、投资大、结构复杂,涉及问题多,因此人们期待在决策阶段或建设的前期就能预测工程项目存在的问题并及时加以纠正,以降低工程投资和建设的风险。传统的设计通过设计平面图反映建筑物的平面位置关系,通过平面图、剖面图或制作实物模型来反映地物的空间布局,这种表现形式仅适用于水平较高的技术和管理层人员,不能被参与工程建设的其他各级人员广泛地理解和接受,而且在表示工程的“形象”方面存在明显不足,难以做到对工程设计整个内容宏观上的直观把握。虚拟仿真技术将我们的视野从工程图的二维平面上升到三维立体空间,利用已获取的基础数据,针对工程项目建立三维的、动态的、实时的、可视的虚拟仿真环境,将复杂抽象的工程设计方案以生动直观的形式表达出来,人们能够比较容易理解设计方案并就其合理性进行探讨,从而提高决策的前瞻性与科学性。

其次,有助于提高工程的计算机信息管理水平。当前,计算机信息管理的水平已成为衡量大型工程建设管理水平的重要标志之一。水利工程涉及大量的地理信息和工程信息,采用传统的二维信息管理系统进行管理,直观性不强,三维分析明显不足。利用虚拟仿真技术,不仅能在空间范畴实时交互地查询信息,直观地观看工程的整体或局部,还能在时间范畴查询不同施工阶段的工程面貌及地理特征。这大大拓展了工程信息的表现形式与管理手段。利用三维虚拟仿真系统的三维空间数据库,能够实现对各种不同来源、不同类型数据的统一管理,构成多重描述的客观虚拟仿真空间,实现水利三维场景的重现、三维漫游动态显示和高效的查询、监测、分析等功能。

再次,有助于降低决策成本,提高决策效率。三维虚拟仿真系统为政府管理部门、项目业主、咨询专家、设计方及施工方提供了理想的交流平台。在工程建设前期的勘察设计和项目审批决策阶段,设计方、各级咨询评估和审查人员无须舟车劳顿及野外现场踏勘,仅借助三维虚拟仿真系统即可了解工程所在地地形、地貌、植被、周边环境等情况,并且可以将工程建成后的整体效果以实时互动三维虚拟仿真的方式展现。利用虚拟仿真系统的地形分析、空间信息查询等功能,可大大提高工程选址、线路比较、工程量计算等设计工作的效率,并大大降低成本。基于搭建的工程三维虚拟模型,可以方便地对所关心的问题观察、修改、决策、调度或重组等,决策层可以在最短的时间内获得最新、最准确的信息,对未来事件作出快速的判断。三维模型为可存储可恢复数据文件,其更改修复成本较小。因此,采用虚拟仿真手段辅助决策,手段灵活,经济高效。

最后,有助于对运行管理人员进行在线和离线的情景模拟培训。虚拟仿真技术是继多媒体、计算机网络之后,在教育、培训领域内最具应用前景的技术之一。通过搭建虚拟仿真实训平台,可以动态仿真模拟典型水工建筑物的工作原理、结构构造及工程险情的发生发展过程,虚拟滑坡、泥石流等,再现强汛及相应防汛措施,从而解决了水利工程专业实操实训过程中危险性大、费用高、小概率事件再现、标准化演示、工作职场展示及环境污染等问题。正是因为虚拟仿真技术具有职业性与典型性、情境性、过程性、交互性与智能型、趣味性等特征,教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》中明确指出:“要充分利用现代信息技术,开发虚拟工厂、虚拟车间、虚拟实验。”种种迹象表明,虚拟仿真实验实训将是今后职业技能培训的一个重要发展方向^[3]。

1.3 虚拟仿真技术在水利行业的应用

在水利研究领域,虚拟仿真技术属水信息学范畴。水信息学是一门新兴学科,它以信息技术为支撑,综合社会、环境和经济等各方面的因素,对水系统中的人类活动所带来的影响进行分析评价。水信息学同水科学、信息科学与技术、系统科学和社会科学的发展密切相关,是一门多学科交叉的综合学科。当前虚拟仿真技术是水信息领域新的研究热点之一。

虚拟仿真技术在水利领域研究的时间不是很长,许多方面的研究尚处于起步阶段,不过近年来随着“数字南水北调”^[4-5]、“数字都江堰”^[6]、“数字黄河”^[7]等研究的相继开展,众多与水利相关的大专院校和科研生产机构均开展了相关研究与应用工作,并已取得了不少成果,整体水平有所提高。虚拟仿真在水利行业的应用体现在工程的勘查、规划、设计、施工与运行管理等多个方面。

天津大学钟登华等在水利水电工程施工仿真与实时控制方面开展了大量研究。将虚拟仿真技术与GIS技术结合,开发了水利水电工程施工场地总布置可视化动态演示系统^[8],形象、直观、快速地演示其动态变化过程;开发了水利水电工程土石方开挖可视化系统^[9],弥补了传统方法精度方面的不足,提供了土石方开挖后形态仿真图,能够呈现不同项目、开挖部位及断面特征,可以为组织开挖工程设计提供可视化决策信息。还研究了水电工程动态信息的可视化仿真技术、可视化管理方法及对水电工程项目的动态管理与控制方法^[10],为实现水电工程管理的直观可视化开辟了新的途径。宋洋等^[11]研究了基于虚拟现实技术的水电站调度三维图形仿真,提出了基于虚拟现实技术的水电站调度图形仿真方法,实现了可实时交互的水电站调度虚拟场景(见图1-1)。

清华大学参与了多项水利工程虚拟仿真系统的规划和实施。“数字都江堰”^[12]实现了流域整体浏览到局部可视化仿真功能,并结合水调模型和地理信息系统进行了专业数值模拟与可视化系统集成方面的研究。王光谦等^[7]开展了黄河流域水调系统的三维仿真研究,在实践的基础上提出了黄河流域三维仿真系统的总体构想,尝试将黄河全流域三维场景“搬入”计算机。黄健熙等^[13]研究了大型流域三维

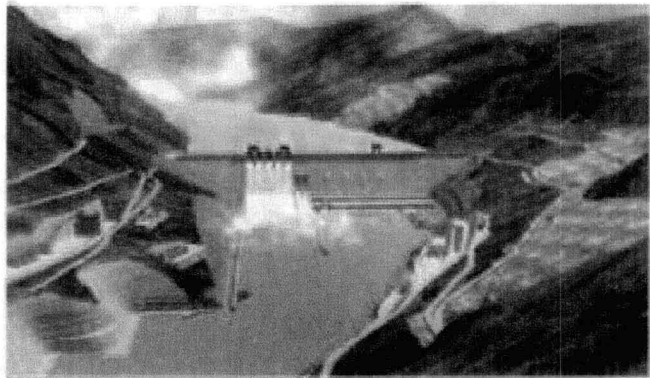


图1-1 水电站调度工作图

可视化管理系统的实现方法,开发了荆江流域三维仿真管理系统,实现了属性信息的查询和分析功能,使系统具备了基本的流域三维可视化管理功能。姚仕明^[14]建立了集数据库、数学模型、GPS和三维仿真为一体的长江三峡工程航运监控调度系统(见图1-2),实现了三维场景漫游、查询、定位、数据资料的列表与实时显示、监控预警与应急处理和航运调度等功能,为制定航运调度方案提供了整体直观的支持平台。



图 1-2 长江三峡工程航运监控调度系统平台的界面

华中科技大学参与了“清江数字流域工程”建设等项目。袁艳斌等^[15]、董文锋等^[16]、康玲等^[17]研制了“洪水演进模拟仿真系统”，初步建立了洪水演进仿真的框架，研究了包括洪水淹没、推进的动态模拟仿真可视化技术，能较为直观、有效地辅助防洪决策。谢莉^[18]进行了湖北清江河道三维地形实时漫游仿真技术研究（见图 1-3），为数字流域海量数据的实时漫游提供了可行的解决方案。陈文辉^[19]将仿真技术应用于洪水预报与演进领域，搭建起虚拟的洪水演进仿真环境，将现有洪水预报模型的预报预测结果以三维图形形式输出，应

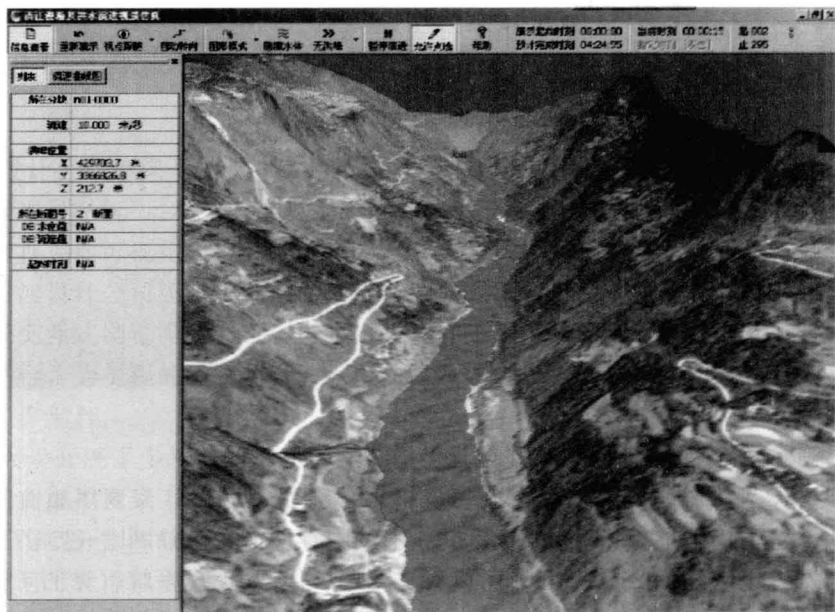


图 1-3 湖北清江漫游及洪水演进视景仿真系统

用于清江流域，为防洪决策制定提供强有力的支持。张志学^[20]建立了基于虚拟现实和可视化技术的水利枢纽泄洪闸门知识发现和状态监测系统（见图 1-4），分析其运动特性，掌握其运行原理，进行特性分析，服务于设备故障维修、远程设备专家会诊、人员培训等方面。

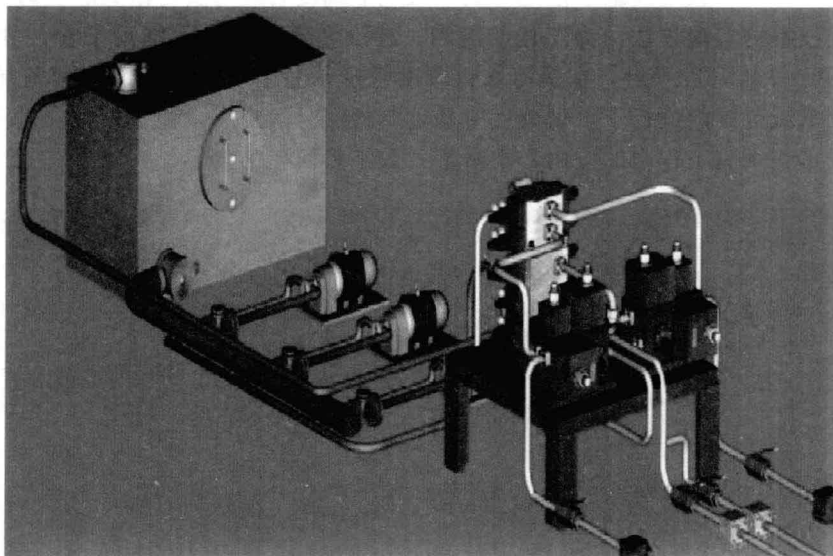


图 1-4 泄洪闸液压设备虚拟环境

中国水利水电科学研究院参与了长距离调水工程、数字流域工程等虚拟仿真系统的开发。南水北调中线北京段三维虚拟仿真系统^[21]建立了包括北京段管涵、水工建筑物和周围景观在内的数字三维虚拟场景（见图 1-5），并实现了整个系统的虚拟漫游。为了能



图 1-5 南水北调中线工程惠南庄泵站布置图

够更直观地展现整个输水线路的地形地貌,提高选线的科学性和减少决策失误,郭新蕾等^[22]研究了调水工程变比例三维视景仿真系统构建技术(见图1-6)。崔巍等^[23]针对长距离调水工程的特点,论述了其虚拟仿真系统开发的重点及技术难点。结合引渤济锡长距离调水工程,研究了大规模地形模型生成、大地形调度管理与实时渲染、实时交互与信息管理等关键技术的实现方法,为工程的规划、建设和管理提供了辅助平台。甘治国等^[24]利用 VRMAP 三维开发平台,在黑河水量调度管理信息系统中构建了黑河流域虚拟仿真系统,在全流域范围内进行了水量调度中最重要的实时河道水量演进模拟,进一步促进了虚拟现实技术在水利工程中的应用,丰富了“数字黑河”的内容。



图1-6 南水北调中线北京段数字三维沙盘

黄河设计公司组织开发了“黄河下游基于GIS的二维水沙数学模型”和“黄河下游交互式三维视景系统”,利用三维视景系统强大的三维仿真能力将二维水沙数学模型的计算结果进行直观地可视化模拟^[25](见图1-7),为黄河下游防洪、减灾、水量调度提供决策支持。黄河设计公司还组织开发了南水北调西线工程三维仿真系统,实现西线工程三维仿真、场景交互式浏览漫游、工程方案可视化和工程信息集成管理。通过建立三维可视化决策支持平台,为工程的施工仿真、调度仿真及调水工程方案比选等规划设计研究工作提供先进的工作平台。

河海大学开展了多领域的水利工程虚拟仿真研究与应用工作。刘惠义等^[26]探讨了太湖望虞河工程虚拟视景系统的结构、功能和构建方法,针对视景复杂无法实时驱动的问题,提出了模型分割和软件加速的解决办法,并利用 DirectX 三维引擎技术在微机平台上开发了望虞河工程虚拟视景系统。陈金水等^[27]利用 OpenGL 对库区的地形进行建模,从而实现了库区地形的实时仿真;张季^[28]应用虚拟仿真技术于灌溉水资源调配系统,提出了基于大量地理数据的简易型灌区虚拟仿真系统框架,为灌区管理提供了科学手段。

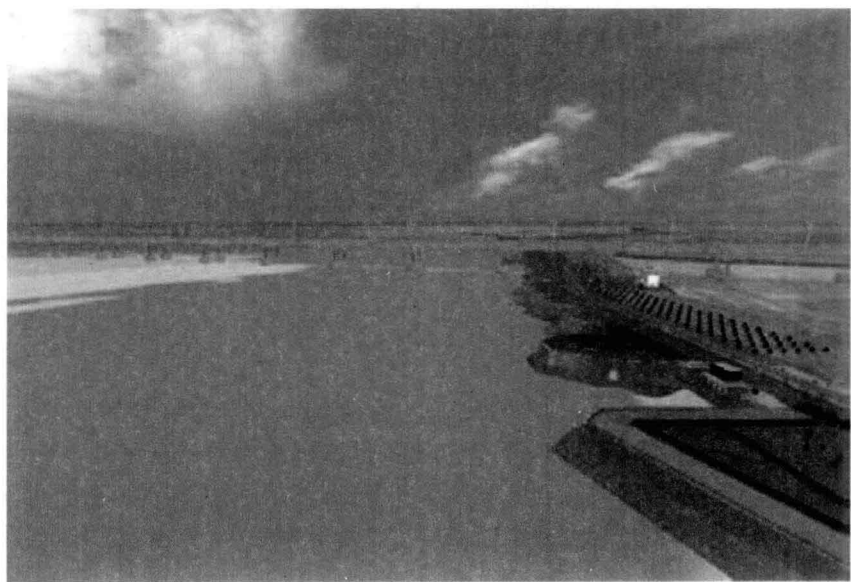


图 1-7 黄河下游险工靠水情况模拟

长江勘测规划设计研究院承担了水利部“948”科研项目“基于虚拟环境下的水利工程三维勘测设计集成技术”，将虚拟仿真技术广泛应用于流域内水利工程联合调度、长距离输水工程运行管理、单个水利工程运行维护与管理 and 水利工程运行机理研究等方面^[29-30]。

许多科研院所也积极推进水利工程虚拟仿真研究与应用工作。大连理工大学的张彦召^[31]以松嫩流域扎龙湿地为主要对象，对流域三维可视化虚拟场景构建和洪水演进实时动态模拟及其实现方法进行研究，着重探讨洪水流场模拟分析和断面分析问题的解决方

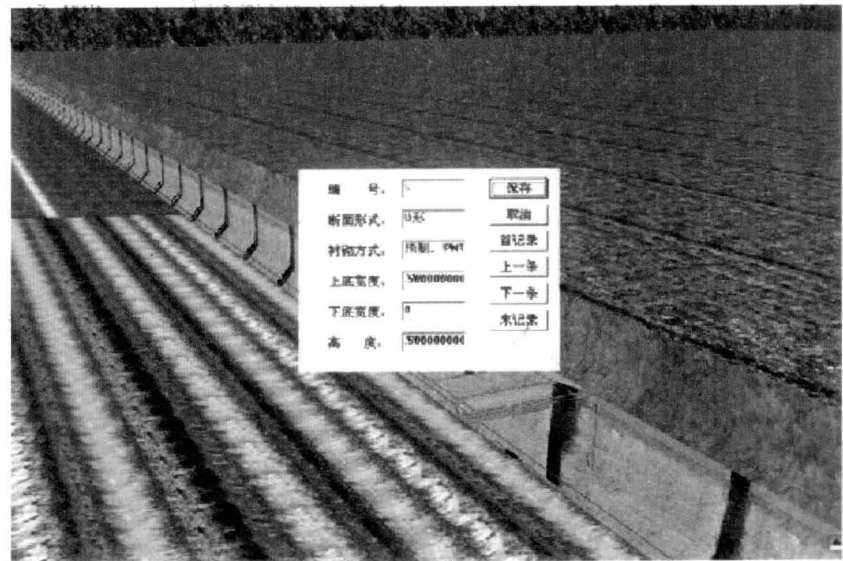


图 1-8 陕西宝鸡峡杨凌二支渠三维仿真系统

法。武汉大学的尹习双等^[32]针对水利水电工程施工动态仿真的复杂性,基于虚拟现实技术采用高效的图形渲染引擎,进行物理系统的模拟,展现出具有真实感的可实时交互的虚拟场景,并将系统仿真信息与图形紧密结合起来,为水利水电工程的设计管理提供了一种全新的环境,为决策者提供更科学直观的依据。西北农林科技大学的胡少军等^[33]以实现陕西宝鸡峡杨凌二支渠渠系漫游、查询和交互式控制为目的,选定该渠系干渠与支渠的主要交汇点为虚拟对象,构建了一个局部渠系仿真系统,真实再现了宝鸡峡渠的景观(见图1-8)。

1.4 存在的问题

同其他行业相比,我国水利行业的计算机虚拟仿真应用水平差距很明显^[30],所起作用仅局限于工程的某个局部,缺少为整个工程项目提供集成的信息服务,特别是在可视化、多元数据融合上还很薄弱,综合的多目标、多任务的虚拟仿真系统在水利行业的应用才刚刚起步。水利工程的运行管理基本上还是在二维平面上,三维空间动态地进行调控和管理决策才刚刚开始。

水利行业计算机虚拟仿真技术所发挥的作用十分有限,这与当前从业人员对虚拟仿真技术的认识与掌握水平相关。一些水利工程的决策者及管理人员对虚拟仿真技术知之甚少,将虚拟仿真技术与传统的三维仿真动画等混为一谈,更不清楚虚拟仿真系统与三维GIS系统之间的区别与联系。在虚拟仿真系统所能发挥的作用方面,仅仅能认识到它有助于工程方案的展示与宣传,尚不了解虚拟仿真技术在工程方案比选、施工进度管理、调度仿真、员工培训等方面的更深层次的作用,因而对其虚拟仿真系统的开发不重视,经费人员投入不足。也有一些水利从业者认识到虚拟仿真技术的巨大推动力,计划开发相关的虚拟仿真系统,但由于缺乏相关的专业知识背景,对系统开发的方法与流程不甚了解,面对纷繁复杂的开发手段和技术方法,无从下手或是陷入某些技术难题而举步维艰。

水利工程虚拟仿真涉及多个学科,既有水利专业特点,又需具有较为全面的计算机图形学、数据库、软件开发与集成等方面的知识,对系统开发人员的知识结构提出了较高的要求。水利工程虚拟仿真系统的专业化特点,很大程度上决定了该系统的开发必须由水利专业的人员主导,或是直接参与系统开发,或是间接进行技术指导。相对而言,当前的水利从业者在计算机图形学、虚拟仿真技术、软件开发等方面的理论知识和开发实践经验仍较为缺乏,亟待加强。就水利工程虚拟仿真系统开发技术而言,在大规模三维地形的调度管理、水利模型快速智能建模方法以及虚拟现实与地理信息系统的融合等方面仍有很多工作要做,其中很多技术问题也是虚拟仿真领域研究的热点问题,甚至是尚未很好解决的难点问题^[34-35]。

1.5 本书研究主要内容

针对虚拟仿真技术在水利工程领域应用有限,以及水利从业者虚拟仿真知识水平普遍不高的现状,本书紧密结合水利行业特点,在系统阐述虚拟仿真技术的基础理论和系统开

发相关知识的基础上,以引渤济锡大型调水工程为例,详述其虚拟仿真系统的开发技术和具体实现过程。

本书的主要内容如下。

(1) 水利工程虚拟仿真系统开发理论。系统阐述水利工程虚拟仿真系统开发的专业理论知识。介绍虚拟现实技术的概念特征、组成分类、关键技术、发展现状与应用展望等。提出水利工程虚拟仿真系统开发的框架,详细阐述相关的计算机图形学基础知识,结合水利专业特点,从地形建模、地物建模、地形地物模型的结合、水流水环境模拟等多个环节,阐述其实现方式和相关的关键技术问题,分析不同技术手段的特点和适用范围。评述目前市场上流行的虚拟仿真系统开发软件,指导开发者选择合适的开发软件和技术途径进行系统开发。

(2) 大规模三维地形、地物建模及模型优化。介绍引渤济锡调水工程的项目规划、输水线路、结构设计等项目背景,提出引渤济锡虚拟仿真系统的框架。研究基于 Terra Vista 的大规模三维地形建模技术,探讨地形及纹理分割、变比例地形生成、局部高精度地形生成和自建模型高效智能嵌入等关键技术问题,实现大规模三维地形的快速智能建模。针对大规模水利工程地物建模需求,采用 Creator 与 Terra Vista 相结合的技术手段,实现泵站、管道、渠道、交叉建筑物的快速智能建模,研究相应的模型数据库优化技术。借助 3DS MAX 工具,进行不规则水工结构的建模,提出其模型优化方法。

(3) 虚拟空间内的模拟控制与实时交互。针对大型水利工程跨越区域广,重点工程较为分散的特点,研究适应大型场景漫游特点的多种漫游方式,适应不同场合的需要;研究虚拟场景内的快速定位功能,使观察者能够自由地在预设的重点区域场景间进行定位及切换,减少不必要的飞行过程。为虚拟仿真系统设计二维导航地图,建立二维导航地图与三维虚拟空间的坐标对应关系,实现二者图像的同步更新,实时显示视点所在方位,避免大地形中漫游时的迷失感。

(4) 虚拟仿真系统信息的管理与传递。运用数据库管理技术实现虚拟仿真系统信息的组织管理与共享。对当前流行的主要数据库系统进行比选,建立引渤济锡调水工程虚拟仿真系统数据库。采用 ADO 技术,实现数据源的链接、数据库的索引查询等功能。研究三维实体模型与数据库间信息传递的原理与实现方法,实现虚拟空间内空间信息的实时查询与离线查询。

(5) 虚拟仿真系统的开发与集成。采用面向对象编程技术,在 MFC 框架和视景开发软件包 Vega 的基础上,运用 VC 自主开发的方式进行系统开发与集成,保证各模块的执行效率和模块间的数据传递和信息共享。整个系统由 Terra Vista 建立三维地形,Creator 建立三维实体模型,并处理多重细节、纹理材质、阴影和结构树分组命名等操作;Access 实现后台的属性数据管理;由 VC 调用 Vega 的各种绘图和实体操作函数完成整个虚拟场景的载入、视点视角的运动,实现基于三维虚拟场景的互动查询。

参 考 文 献

- [1] 张秋文,张勇传,王乘,等.数字流域整体框架及实现策略[J].水电能源科学,2001,19

- (3): 4-7.
- [2] Wang Y H, Shao Y, Fan X T, et al. Study on the interconnection and interoperability between urban 3D visualization and geographic information system [C]. Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2002, 6: 3535-3537.
- [3] 朱达凯. 水利虚拟仿真实训平台建设的研究与实践 [J]. 中国现代教育装备, 2010 (19): 146-148.
- [4] 杨开林. 南水北调中线工程水力控制实时数字三维视景仿真 [J]. 南水北调与水利科技, 2004, 1 (2): 1-3.
- [5] 张尚宏, 赵刚, 宋博, 等. 南水北调中线工程三维视景仿真系统开发 [J]. 南水北调与水利科技, 2007, 2 (5): 31-34.
- [6] 张尚宏. 都江堰水资源可持续利用及三维虚拟仿真研究 [D]. 北京: 清华大学, 2004.
- [7] 王光谦, 刘家宏, 孙金辉. 黄河流域三维仿真系统的构想与实现 [J]. 人民黄河, 2003, 25 (11): 1-3.
- [8] 钟登华, 熊小平, 冯志军, 等. 水利水电工程施工场地总布置可视化动态演示系统研究 [J]. 水利水电技术, 2001, 32 (12): 29-31.
- [9] 钟登华, 毛寨汉, 朱慧蓉, 等. 水利水电工程土石方开挖可视化设计方法初探 [J]. 水利水电技术, 2001, 32 (12): 32-34.
- [10] 钟登华, 张成, 宋洋. 基于可视化仿真的水电工程动态信息管理与控制方法 [J]. 中国工程科学, 2006, 8 (2): 80-84.
- [11] 宋洋, 钟登华, 段文泉. 基于 VR 的水电站调度三维图形仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19 (3): 649-653.
- [12] 张尚弘, 曲兆松, 郑钧, 等. 虚拟现实技术在都江堰三维信息系统中的应用 [J]. 水科学进展, 2004, 15 (5): 643-649.
- [13] 黄健熙, 毛锋, 许文波, 等. 基于 VegaPrime 的大型流域三维管理系统实现 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18 (10): 2819-2823.
- [14] 姚仕明. 三峡葛洲坝通航水流数值模拟及航运调度系统研究 [D]. 北京: 清华大学, 2006.
- [15] 袁艳斌, 王乘, 杜迎泽, 等. 洪水演进模拟仿真系统研制的技术和目标分析 [J]. 水电能源科学, 2001, 19 (3): 30-33.
- [16] 董文锋, 袁艳斌, 杜迎泽, 等. 流域三维地形仿真及洪水演进动态模拟 [J]. 水电能源科学, 2001, 19 (3): 37-39.
- [17] 康玲, 董纯. 基于 OpenGL Performer 的流域可视化仿真研究 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31 (6): 71-73.
- [18] 谢莉. 清江河道三维地形实时漫游中仿真技术研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2003.
- [19] 陈文辉. 基于 Vega 平台的洪水演进三维仿真应用研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [20] 张志学. 水利枢纽闸门系统集成自动化研究与实践 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [21] 胡孟, 杨开林, 石维新. 南水北调中线北京段输水系统数字三维视景仿真 [J]. 南水北调与水利科技, 2005, 3 (2): 6-8.
- [22] 郭新蕾, 杨开林, 乔青松, 等. 调水工程变比例三维视景仿真系统构建技术 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19 (12): 2750-2752.
- [23] 崔巍, 杨开林, 付辉. 长距离调水工程虚拟仿真系统开发研究 [J]. 水利水电技术, 2007, 33 (9): 22-25.
- [24] 甘治国, 蒋云钟, 赵红莉. 黑河流域虚拟仿真系统建设 [J]. 水利水电科技进展, 2005, 25 (3): 58-60.
- [25] 王军良, 王彤, 张继勇, 等. 构建黄河三维数字平台, 为“维持黄河健康生命”提供技术支撑