

虚拟现实环境下的混凝土坝施工管理与决策

周厚贵¹, 曹生荣², 王泉德³

(1. 中国葛洲坝集团公司, 湖北宜昌 443002; 2. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072; 3. 武汉大学电子信息学院, 武汉 430072)

[摘要] 在虚拟现实环境下建立混凝土坝施工管理与决策平台, 实现了对坝体结构、浇筑仓位、施工进度、施工机械、现场管理等多维施工信息的高度集成, 逼真展现施工场景, 可对施工过程及现场管理进行实时交互管理, 为混凝土坝施工管理与决策提供了全新的环境。平台具有施工信息管理、坝体模型编辑、浇筑仓位管理、施工场景漫游、施工动画渲染、施工进度模拟、浇筑机械调度、施工过程交互等功能。

[关键词] 混凝土坝; 虚拟现实; 施工管理与决策; 丹江口大坝加高工程

[中图分类号] TV512 ; TP31 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009 - 1742(2010)09 - 0063 - 06

1 前言

混凝土坝的施工过程是一个由复杂的信息流、物质流、控制流组成的庞大系统。施工现场管理与决策呈现时间和空间上的高维、动态、不确定等特点, 其复杂程度高, 管理与决策难度大。同时, 管理与决策效率的提升对于提高混凝土坝施工管理水平、施工决策的科学性具有重要意义, 是实现混凝土坝质量、进度、成本、安全、环保等建设目标的基础和保证。因此, 如何提高混凝土坝施工管理与决策水平历来受到工程建设各方的高度重视。随着系统科学、信息科学、管理科学等领域相关理论、方法与技术的不断发展与应用, 混凝土坝施工管理系统、施工进度仿真、施工过程可视化等研究工作应运而生, 并在工程实践中发挥了重要作用。虚拟现实技术在混凝土坝施工中的应用, 更是将混凝土坝施工管理与决策推向了一个新的台阶^[1-3]。

此前有关虚拟现实在混凝土坝建设中应用的研究工作主要针对虚拟现实在混凝土坝设计阶段的相关工作展开, 包括大坝虚拟施工场景的构建^[1,2], 虚

拟施工场景的渲染以及在场景内显示模拟的大坝施工过程^[3]。研究工作侧重于大坝设计方案、施工组织设计方案、施工过程的虚拟现实形象展现。

相对于混凝土坝的设计阶段, 施工阶段牵涉到仓面安排、施工机械调度、施工进度管理与控制等施工现场管理的各方面工作, 施工现场的管理与决策是一个动态的过程, 如何借助于虚拟现实建立施工管理与决策平台, 提高其效率与科学性是一个崭新的课题。为此, 笔者围绕建立虚拟现实环境下的混凝土坝施工管理与决策平台开展相关研究工作, 包括平台设计思路、平台组成及结构、平台功能体系等内容, 并详细介绍了该平台在南水北调中线丹江口大坝加高工程中的应用情况。

2 虚拟现实与混凝土坝施工

虚拟现实技术(virtual reality, VR)是一种综合计算机图形技术、多媒体技术、传感技术、人机交互技术、网络技术、立体显示技术以及仿真技术等多个学科所形成的计算机领域的最新技术, 也是力学、数学、光学、机构运动学等多种学科的综合应用。通过生成具有接

[收稿日期] 2008 - 11 - 08; 修回日期 2009 - 08 - 20

[基金项目] 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(5082022); 中国博士后基金(20070410954); 湖北省水电工程施工与管理重点实验室开放基金(HEF200507)

[作者简介] 周厚贵(1962 -), 男, 湖北枝江市人, 教授级高级工程师, 博士生导师, 研究方向为水电工程施工技术与与管理;
E-mail: hougui@tom.com

近于真实世界的视、听、触觉等作用的虚拟环境(virtual environment, VE),用户可以在虚拟环境中进行各种操作,钱学森先生称其为“灵境技术”^[4]。

严格意义上的VR系统包含价格昂贵的头盔显示器、立体眼镜、数据手套、三维空间球、高性能图形工作站等传感设备、交互设备、显示设备。而对于混凝土坝施工虚拟现实而言,基于PC的桌面式VR足以满足现实要求,笔者所讨论的即为这种情况。

自从VR出现,便广泛应用于军事、医学、教育、制造业、气象等领域^[5],并取得了可喜的成效。VR在土木工程施工领域的研究工作也逐步推进^[6],并在施工规划、施工管理、施工仿真等方面发挥了重要作用。VR应用于混凝土坝施工管理与决策的作用与优势反映在以下几个方面。

1)施工信息的高度集成:混凝土坝施工VR实现了对施工布置、施工机械、坝体结构、施工进度等信息的高度集成,特别是VR轻松表达其他载体无法或不易表示的空间关系,如浇筑机械布置方案、混凝土浇筑门塔机运行的空间关系(碰撞与否)、坝体浇筑形象进度等。

2)施工场景的真实展现:可在VE内展示与现实世界一致的施工场景、混凝土坝浇筑过程、大型机械运行过程,从而为施工管理与决策服务。

3)施工过程的实时交互:在混凝土坝VE中,可以进行逼真的浇筑设备安排、施工布置方案的更改、施工进度的调整等交互操作,对施工过程进行实时控制与管理。

将VR的特色与优势充分应用于混凝土坝的施工管理与决策中,建立基于VR的混凝土坝施工管理与决策平台,对于提高混凝土坝施工管理与决策水平具有重大意义。

3 管理与决策平台整体设计

3.1 平台设计的整体思路

基于VR的混凝土坝施工管理与决策平台设计的整体思路为:以VR为整体环境,建立由坝体结构、施工区地形、施工机械、主要施工布置等组成的虚拟施工场景;以施工进度模拟为基础,在该平台内实现对施工进度、施工机械、施工布置等的统一管理与决策;用户可在平台内漫游,对施工布置、施工机械等交互操作,为施工现场管理与决策服务。

3.2 平台组成与结构

如图1所示,基于VR的混凝土坝施工管理与决策平台由大坝三维模型处理、施工信息数据库、施工过程分析、虚拟现实引擎、用户接口等五大模块组成。各模块的功能如下。

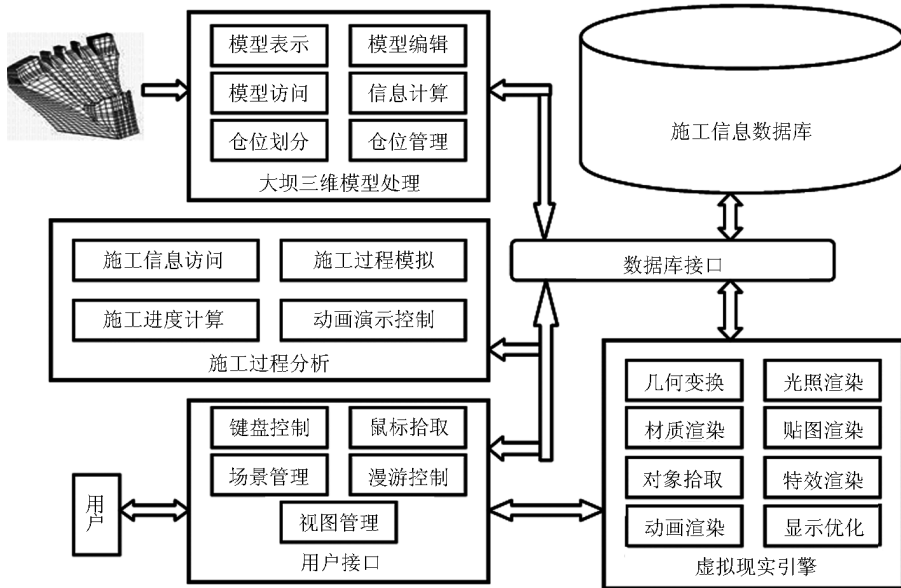


图1 虚拟现实环境下的混凝土坝施工决策与管理平台

Fig.1 VR-based concrete dam construction management and decision-making platform

1)大坝三维模型处理:该模块负责对坝体及施工区地形等三维模型的各种操作,包括模型的读取、编辑、仓位划分、仓位方量计算等功能。

2)施工信息数据库:该模块存储与管理混凝土坝施工的各类信息,包括施工进度信息、施工机械参数、各类施工参数以及施工机械的三维模型库等

内容。

3) 施工过程分析:该模块的主要功能是通过混凝土坝浇筑过程的模拟,得到预期的施工进度,并为进度管理、机械调度等提供基础数据。

4) 虚拟现实引擎:该模块负责图形渲染、场景制作、动画渲染等工作,以及材质、光照、贴图、特效等的处理。

5) 用户接口:该模块负责系统与用户之间的交互,即输入/输出模块,包括鼠标拾取、键盘控制、漫游控制、场景管理等内容。通过用户接口模块,可以实现对虚拟场景内任何元素的控制与管理。

3.3 平台的功能体系

基于 VR 的混凝土坝施工管理与决策平台的功能以满足混凝土坝施工现场的各项管理工作为目标,涵盖了与施工进度、施工机械、施工布置等相关的规划、决策与现场管理工作。平台的功能主要包括以下几方面。

1) 施工信息管理:这一部分功能相当于一个传统的施工管理系统,包括施工进度管理、施工机械管理、施工工艺与约束参数管理、施工方案数据管理、坝体结构特征数据管理等方面内容。

2) 坝体模型编辑:这一部分功能实现对坝体模型的修改,即对应于类似 AutoCAD, MicroStation 或 3Dmax 图形编辑的基本功能,以满足施工过程中坝体结构调整的需要。

3) 浇筑仓位管理:包括混凝土浇筑仓位的剖分、仓位方量的计算、侧面积/底面积的计算(用于计算灌浆工程量)、仓位浇筑情况的统计分析。

4) 施工场景漫游:分为全景漫游和定制漫游两种模式。在全景漫游模式中,用户可通过控制鼠标和键盘在施工区任意游走;在定制漫游模式中,通过用户设定的施工时间段、施工方案、漫游路线,以四维模式漫游。

5) 施工动画渲染:在平台内根据用户设定的施工时间段、施工方案、漫游路线录制动画,形成一个独立的动画文件,可在平台外使用。

6) 施工进度模拟:按照预定的施工方案及各类施工约束参数,对混凝土坝浇筑施工进度进行仿真,得到详细的混凝土坝浇筑过程和各类施工参数^[7]。

7) 浇筑机械调度:基于模拟施工进度或预定施工方案,实现对混凝土坝浇筑门塔机、供料线等主要设备的调度,包括浇筑仓位安排、混凝土浇筑机械联合浇筑等工作。

8) 施工过程交互:实现施工进度调整、施工参数修改、施工机械调整等操作,并实时反映在 VE 内并进行进度模拟、场景漫游等后继工作。

4 丹江口大坝加高工程应用

4.1 工程概况

丹江口大坝加高工程是南水北调中线的关键性、控制性和标志性工程,也是我国水电工程加高续建项目中规模和难度最大的工程。工程具有技术难度大、施工工艺复杂、改扩建工程量大、制约因素多等特点,存在新老混凝土结合、现场施工组织与管理、施工/度汛/发电之间的关系协调等多项难题。

加高工程是在原混凝土坝体的基础上坝后贴坡并加高 14.6 m,达到 176.60 m 高程。工程完工后,丹江口水库总库容达 $290.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,比初期增加库容 $116 \times 10^8 \text{ m}^3$,增加有效调节库容 $88 \times 10^8 \text{ m}^3$,增加防洪库容 $33 \times 10^8 \text{ m}^3$;汉江中下游的防洪标准可由现有的 10 年至 20 年一遇提高到 100 年一遇;水库正常蓄水位由 157.00 m 提高到 170.00 m,可年平均向北方供水 $95 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。混凝土工程主要为溢流坝段的溢流面和闸墩加固加高,其他混凝土坝段在原混凝土坝的基础上进行下游贴坡和坝顶加高 14.6 m。

在丹江口大坝加高工程施工中,由于施工场地狭窄、混凝土水平运输途径单一、老坝体混凝土拆除及混凝土表面处理等的影响和制约,施工组织与管理的工作量大、难度高,对施工进度有着直接的影响,最终关系到工程能否顺利实施。因此,如何提高施工组织与管理水平,提高施工现场决策的效率和科学性成为丹江口大坝加高工程建设中的重要问题。施工实践表明,基于 VR 的混凝土坝施工管理与决策平台为丹江口大坝加高工程的顺利实施发挥了重要作用。

4.2 平台实施方案

基于 VR 的混凝土坝施工管理与决策平台在丹江口大坝加高工程中的实施方案如下。

1) 应用对象:由中国葛洲坝集团公司承建的丹江口大坝加高左岸混凝土坝工程。

2) 主要功能:进度管理、施工机械调度、施工信息管理、仓位及浇筑管理。

3) 平台运行模式:C/S 模式,即在工程项目部局域网内共享数据库。

4) 平台采用 Delphi 7.0 作为开发平台,数据库

系统采用 SQL Server 2000,利用 OpenGL 提供的 3D 图形库开发虚拟场景、3D 动画和场景渲染。坝体、机械等模型采用 3Dmax 格式,平台导出的 3D 动画文件为 AVI 格式。

4.3 平台界面截图与功能示例

平台功能体系较为庞大,这里只给出以下几个平台界面截图及相应的功能简介。如图 2 所示,整个平台由系统菜单、快捷按钮、VE 区、控制区、提示区等组成。其中 VE 区是混凝土坝实际施工场景的高度虚拟,现实世界混凝土坝施工的各主要相关要素在 VE 内都有相应的展现。如图 3 所示,可在平台内从施工机械库中读取门塔机等施工机械三维模型,并将机械布置在相应位置。如图 4 所示,可在平台内进行模拟时段、施工机械、施工参数、台班等参数设置,并进行混凝土坝浇筑模拟、场施工组织与管理、施工/度汛/发电之间的关系协调等多项难题。

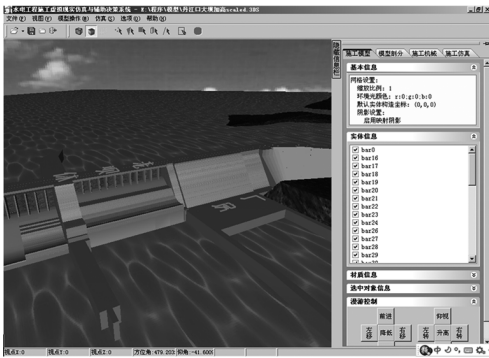


图 2 平台整体界面

Fig. 2 The whole interface of the platform



图 3 施工机械配置

Fig. 3 Allocation of construction machine

如图 5 所示,可在平台内按照基点、基线和方程



图 4 施工模拟参数设置

Fig. 4 Parameters setting for construction simulation

3 种方式进行混凝土浇筑仓位的划分,并计算方量等参数,同时对仓位进行管理。如图 6 所示,可在平台内进行施工进度的仿真,在 VE 内形象展示坝体混凝土浇筑过程、浇筑机械调度关系等主要施工信息,可在平台内按照设定的路线进行施工场景漫游,以及生成预定路线的动画。

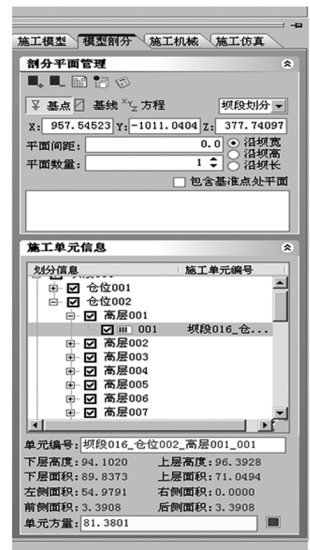


图 5 仓位划分与仓位管理

Fig. 5 Concrete bin division and management

4.4 应用成效

基于 VR 的混凝土坝施工管理与决策平台在丹江口大坝加高工程中的作用主要有以下几方面。

1)管理效率的提高:在平台内实现了对坝体结构设计方案、混凝土浇筑仓位、施工机械、施工进度、施工约束参数等的多维集成,明显提高了混凝土坝浇筑施工的管理效率。

2)决策环境的改善:在混凝土坝施工的 VE 中,

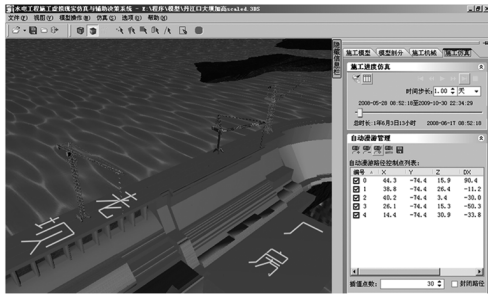


图6 进度仿真、漫游控制及动画生成
Fig.6 Schedule simulation, roaming controlling and animation generation

建设效率与建设水平具有重要影响,基于VR的混凝土坝施工管理与决策平台实现了多维信息的高度集成、决策信息的可视化、决策环境的虚拟化。平台的开发与应用是新兴的虚拟现实技术与坝工建设的有机结合,是水电施工企业软实力的重要提升。

平台在南水北调中线丹江口大坝加高工程中得到了良好的应用,取得了满意效果。该项研究工作已在金沙江向家坝等工程中推广应用,并拓展了工程质量管理等方面的功能,形成一个完善的坝工建设施工管理专业平台。

参考文献

- [1] 张培仁,刘珍平,范少华,等.二滩水电站虚拟环境的实现[J].系统仿真学报,1999,10(2):138-141
- [2] 孟永东,田斌.基于Java和MySQL的虚拟现实动态场景构建方法[J].系统仿真学报,2005,17(9):2287-2290,2300
- [3] 尹习双,周宜红,胡志根,等.基于虚拟现实的水电工程施工动态可视化仿真研究[J].系统仿真学报,2005,17(7):1690-1693
- [4] 汪成为,祁颂平.灵境漫话:虚拟技术演义[M].北京:清华大学出版社,1996
- [5] 洪炳镕,蔡则苏,唐好选.虚拟现实及其应用[M].北京:国防工业出版社,2005
- [6] Sampaio A Z, Henriques P G, Studer P. Research on virtual reality in construction[A]. Proceedings of the 10th ISPE International Conference on Concurrent Engineering Research and Applications: Enhanced Interoperable Systems [C]. Portugal, Madeira; 2003. 1241-1248
- [7] 马金刚,周厚贵,李庆斌,等.丹江口大坝加高工程混凝土浇筑施工模拟与管理系统的[J].水电能源科学,2008,26(1):111-114,163

施工进度、施工机械等施工要素都与现实施工场景高度一致,混凝土坝浇筑施工的时间关系、空间关系都在VE内充分反映,“所见即所得”,是一个高度仿真的决策环境。

3)决策方式的变革:平台实现了施工进度仿真模拟、施工过程可视化及VR化、施工过程管理、施工现场实时交互等的统一与集成,实现了施工仿真→施工决策→施工管理→现场控制所组成的决策模式,是对传统决策方式的变革。

纵观基于VR的混凝土坝施工管理与决策系统在丹江口大坝加高工程施工中的应用情况,平台在施工方案优化、施工进度控制、施工机械调度、施工现场管理等方面发挥了重要作用,确保了工程的顺利实施。平台的开发和应用是工程项目施工管理模式的创新,是施工企业软实力的重要提升。

5 结语

混凝土坝的施工管理与决策水平对于提高工程

Concrete dam construction management and decision-making based on virtual reality

Zhou Hougui¹, Cao Shengrong², Wang Quande³

(1. China Gezhouba Group Corporation, Yichang, Hubei 443002, China; 2. State Key Laboratory of Water Resource and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 3. School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

[Abstract] Concrete dam construction management and decision-making platform is established based on virtual reality. In the platform, the multi-dimensional construction information is integrated highly, including dam

constructure, pouring bins, construction schedule, construction machines, construction site management and so on. Virtual construction scene is shown lively in the platform. The construction progress and construction field can be managed real-timely and interactively in the platform. The platform provides a completely new environment for concrete dam construction management and decision-making. The platform has rich functions on concrete dam construction management and decision-making, such as construction information management, dam model editing, pouring bins management, construction scene roaming, construction animation rendering, construction schedule simulation, construction machine operation, construction progress interaction.

[**Key words**] concrete dam; virtual reality; construction management and decision-making; Danjiangkou Dam heightening project

(上接 62 页)

Study on concoction and water mist fire suppression performance of new composite additives

Liu Jianghong¹, Jin Xiang², Liao Guangxuan²

(1. Ocean Environmental and Engineering College, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; 2. State Key Laboratory of Fire Science, University of Science Technology of China, Hefei 230026, China)

[**Abstract**] Water mists for fire suppression and control have widely received considerable attention as one of the potential methods for halon replacement. A new composite additive was concocted and its effectiveness to water mist's fire suppression performance was investigated through the base of ethanol fire, diesel fire and wood crib fire. Results showed that this additive can greatly improve the fire suppression efficiency of water mist and shorten the extinguishing time remarkably. The fire suppression mechanism of water mist with this additive was combined with physical and chemical effect. However, the surface cooling and fuel isolation were considered to be the crucial suppression mechanism.

[**Key words**] water mist; additive; concoction; fire suppression performance