

基于 OGRE 的碾压混凝土坝施工过程可视化仿真系统

赵春菊¹, 胡超², 周宜红¹

(1. 三峡大学水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉 430072)

摘要:构建了基于碾压混凝土坝施工过程仿真数据动态交换机制的数据库管理模式,运用面向对象的建模方式建立了系统中不同属性对象的实体模型,并采用面向对象的图形渲染引擎 OGRE 开发了碾压混凝土坝施工过程三维可视化系统。系统能对仿真方案的调整实时响应并根据仿真结果动态展示坝体施工全过程;通过友好的人机交互功能使用户能够自由观察和查询施工详细信息。系统在某碾压混凝土坝工程中的应用表明,该系统能够提高可视化实现的效率及效果,可为工程施工方案的管理和决策提供信息化支撑。

关键词:碾压混凝土坝;OGRE;三维可视化;施工仿真;施工过程

中图分类号:TV512 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)04-0041-05

Visual simulation system of RCC dam construction process based on OGRE//ZHAO Chunju¹, HU Chao², ZHOU Yihong¹(1. College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. School of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: By creating a database management model based on dynamic simulation data exchange during RCC dam construction process, and constructing entity models with different properties by employing object-oriented modeling method, a three dimensional visualization system for RCC dam construction process was developed by incorporating the object-oriented graphic render engine (ORGE). This system can adjust the real time response with new simulation schemes and can dynamically display the entire dam construction process. In addition, it provides friendly human-machine functions for users to observe dynamic process and inquire construction information in detail. Application of this system in a practical project demonstrates that, this system can improve the efficiency and quality of visual realization, and can provide information support for construction management and decision-making.

Key words: RCC dam; OGRE; 3-D visualization; construction simulation; construction process

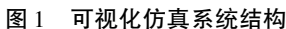
施工可视化仿真技术以直观反映工程施工全过程为目的,能动态、多维地显示某施工方案的实施过程及各项活动的协调关系,为工程人员提供详细的施工信息,使其在短时间内从宏观(施工总布置、交通运输布置等)和微观(浇筑方案、资源利用等)层面掌握施工方案的大坝动态施工过程及详细数据,辅助决策人员直观地评估施工方案的合理性。由于影响水利水电工程施工过程的因素多变,因而仿真方案也需要根据实际情况进行动态调整^[1-3],但传统的研究方法难以随施工方案的变化实时响应、更新可视化输出效果。本文基于施工过程仿真数据建立了仿真数据与可视化系统的数据动态交换机制,研究了各种实体的建模及三维场景中各种特效的产生方式,利用面向对象的图形渲染引擎(object oriented render engine, OGRE)开发了碾压混凝土坝施工过程

可视化仿真系统,该系统通过与仿真数据库的动态链接,实现交互查询与显示,能够在演示过程中同步显示当前坝块浇筑信息,供用户参考和决策。

1 可视化仿真系统的结构框架

本文可视化仿真系统的核心是以三维动态的形式反映大坝施工全过程,可视化系统展示的所有施工场景和相关信息均建立在大坝施工过程仿真数据之上,因而其精度远远高于一般的演示动画^[4-5]。可视化仿真系统主要包括施工过程仿真系统和三维可视化系统,如图 1 所示。大坝施工过程仿真系统采用离散事件系统仿真的方法对既定施工方案下的坝体浇筑过程进行模拟,得出坝体的浇筑顺序、并仓方式、施工强度等信息并存储到公共数据库中便于三维可视化系统调用。施工过程仿真系统通过应用程

可视化系统。



三维可视化系统模拟流程如图 2



2.1 OGRE 渲染技术

发图像应用程序。

器都挂在 OGRE 的根节点 Root 下,系统的所有功能都由 Root 进行管理。OGRE 的工作流程如下:首先利用 3ds、dwg 资料建立对象的三维模型,将三维模型处理后输出 OGRE 能够识别的 mesh 文件及 material 材质文件,导出的模型以实体的方式在三维可视化系统中挂接到场景节点,场景管理器调用外部监听(键盘与鼠标)、交互系统、粒子系统等功能并加载场景特效,同时将施工信息以层的形式显示在可视化界面上,所有场景经过处理后交由场景绘制系统输出到渲染窗口。OGRE 组织结构如图 3 所示。



2.2.1 地形建模

及施工过程中挖填变化过程。

以下 3 步:

合适的等高线间距。

误等高线及多余点线,这些无用的点线会影响模型

的生成及精确度。

c. 等高线离散后,采用随机栅格的转换方法生成 TIN 网格模型,这个过程主要由 AutoCAD 二次开发来实现,在生成 DTM 的时候同时将山体模型转换为山体 TIN 网格模型,以便后期的道路、建筑物等布置与开挖计算。由等高线生成的 DTM 如图 4 所示。

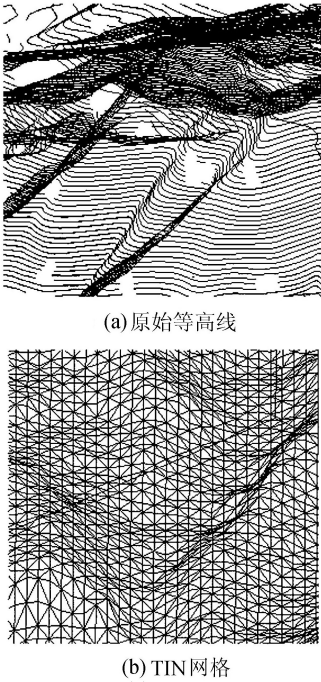


图 4 等高线生成的 DTM

2.2.2 静态地物建模

静态地物模型主要指在三维可视化系统模拟过程中模型的几何数据和空间拓扑关系保持不变的模型,主要包括施工区道路、施工工厂、生活营地、导流建筑物等结构。本文采用多种建模技术相结合的方法,对于基坑和地面开挖部分采用 CAD 二次开发程序完成;其他规则建筑物主要由三维建模软件来实现,如 AutoCAD 和 3DSMax 等;对于一些结构特殊的部位,如公路、厂房进水口、泄洪中孔出水口等均为空间扭曲壳体结构或空间扭曲渐变结构,需采用 CAD 二次开发完成这些复杂结构的建模,如使道路横截面图沿着高度方向旋转拉伸生成盘山公路,利用圆移组合曲面渐变的展开放样生成进水口方形到圆形的渐变段等。

2.2.3 动态地物建模

动态地物模型指在施工过程中模型形态不断发生变化或者由于交互操作而使空间和时间状态发生变化的模型。本三维可视化系统的动态地物模型对象主要指大坝,采用三维建模软件来建立大坝动态地物模型。为了在三维可视化系统中动态显示大坝浇筑过程,需要按照浇筑层厚对坝体模型进行切分,碾压混凝土坝的浇筑层厚一般是 0.5 m 的整数倍,

对坝体按 0.5 m、1 m 和 3 m 层厚进行切分,使系统能够优化组合,提高运行效率。对坝体的切分过程采用 AutoLisp 二次开发的程序,能够自动对某一坝段进行切分,并对每个切分后的实体模型建立新图层和按照既定规则进行重命名,以便三维可视化系统的管理。建立的坝体模型的三维线框模型和三维实体渲染效果如图 5 所示。

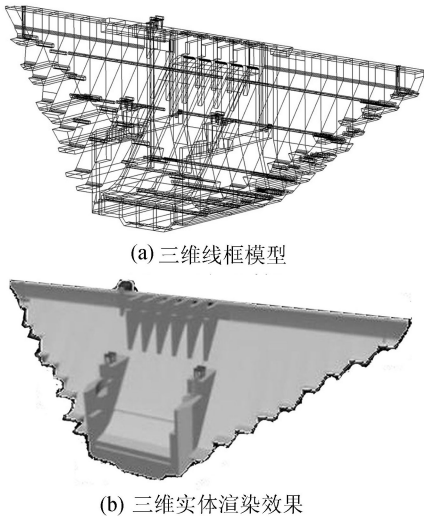


图 5 坝体三维线框模型与实体渲染效果

2.2.4 模型效果处理

以上建立的模型为三维线框模型,且为单个独立的,需要进行贴图、纹理映射、坐标赋值等处理,将模型赋予真实环境中的特点,才能实现更为逼真的可视化系统显示效果。

对于三维线框模型,首先将其导入 3DSMax 中,对各种建筑物的位置进行定位;然后对建筑物进行贴图和纹理映射处理,将建筑物模型表面赋予真实的材质;完成贴图渲染之后将所有模型通过 ogreMax 插件导出为 OGRE 支持的 mesh 文件,同时导出 material 材质文件。导出的 mesh 文件可以直接生成 OGRE 中由场景管理器管理的实体 (Entity) 模型。在导出过程中根据图层名生成对应的新名称,从而完成实际的映射与管理,以便于在 OGRE 中能够高效地对场景模型进行管理。

2.3 数据库管理机制

可视化仿真系统中主要包含 3 类数据库:①坝体施工仿真数据库,该数据库存储施工过程仿真数据,如当前在浇坝段的起始高程、结束高程、起始时间、浇筑方量等坝体施工信息,这些信息由数据库接口根据三维可视化系统的需要采用动态链接的方式进行选择性查询与分析;②坝体模型数据库,按碾压层厚将每个坝段切割成若干个坝块,每个坝块有所属的坝段号、顶部高程、状态 (true 表示挂接到场景节点,false 表示未挂接到场景节点) 等属性;③原始

地形、基坑开挖、道路等施工布置模型数据库。

图如图 6 所示。

可视化仿真系统的数据库管理有两个方面的内容:一是三维可视化系统与施工过程仿真系统的公共数据库动态链接;二是三维可视化系统中施工信息的显示与查询。动态链接通过自定义的动态链接库的接口进行连接,采用 SQL 标准进行开发。在施工过程仿真系统中存储大量的施工信息,动态接口根据系统初始化的需要从数据表中获取边界条件,转换为可视化仿真系统的对象格式,当边界条件改变时,能够快速读取数据,从而提高了系统的运行效率。在三维可视化系统运行时,施工信息的显示与查询功能通过 OGRE 的可编辑图形用户界面 (CEGUI) 插件来完成,CEGUI 中包含 Overlay 模块,能够在场景表层显示的组件,可将数据库读取的信息通过自定义的显示面板显示,更新频率同系统运行保持一致,从而保证了当前显示的信息与当前施工进度相匹配。

3 工程应用

某碾压混凝土重力坝的最大坝高为 168 m,最大底宽为 153.2 m,坝顶中轴线长 516 m,共有 24 个坝段,布置 2 个放空中孔和 5 个溢流表孔,采用地下厂房,总装机容量为 2 400 MW。系统中实体建模主要分为坝体建模、山体建模和施工总布置建模,模型建立之后根据控制点对坐标系统进行统一,然后对模型分别进行贴图、渲染等处理,得到的施工总布置



图 6 施工总布置

坝体施工过程仿真数据由施工过程仿真系统计算得到,仿真得到的施工进度信息如图 7 所示。

大坝可视化仿真系统运行时先依次读取每一条施工进度信息中的坝段号、浇筑的顶部高程、层厚等内容,调用模型库中对应的实体模型并加载渲染窗口,同时在信息覆盖层 (OverLay) 中同步显示其信息,该实体模型渲染完成后读取下一条信息直至结束。可视化仿真系统能够根据施工进度及水文资料模拟其他建筑物的施工进度、河道中水位的变化及流向、不同的天气状况等,使操作者有较高的沉浸感;同时采用的帧监听及 CEGUI 能够使操作者对虚拟环境进行自由控制和实时操作,可以对任意浇筑部位进行查看,控制渲染速度。可视化仿真系统能够准确地反映出坝体实际施工过程,为工程辅助决策提供参考依据。可视化仿真效果如图 8 所示。

ID	浇筑顺序号	总方量	RCC方量	NC方量	开始时间	持续时间	完成时间	等待时间	间隔时间(d)	坝段	底部高程	顶部高程	间歇时间(h)	长	宽	高	体积
525345	1	2294	0	2294	2010/8/1	81807994843	2010/8/1 5:15:23	20	0	7	1214	1216.25284087657938	105	10.5	2	2294	
525346	2	2040	0	2040	2010/8/1 10:13:07	18184256554	2010/8/1 15:46:57	20	0	6	1228	1230.13049948215485	18984741211	19538964844	2	2040	
525347	3	4760	4760	0	2010/8/2	09111499786	2010/8/2 12:58:55	9	9	5	1246	1250.576822563648224	19869482422	19869482422	4.5	4760	
525348	4	935	935	0	2010/8/2	12784147263	2010/8/2 7:38:48	7	182	24	1305	1308.96483451128006	10003814637	16.5	3	935	
525349	5	1003	1003	0	2010/8/2 7:41:15	99474954605	2010/8/2 17:12:38	7	8.2032135	1	1326	1329.5127439489014	10007623935	19932370605	3	1003	
525352	6	5.580078125	12680	19980163574	2010/8/7	14575576782	2010/8/12 5:44:22	9	11	10	1211	1215.526671290397644	140	22	4.51	580078125	
525350	6	8882	8882	0	2010/8/7	14575576782	2010/8/12 5:44:22	9	11	8	1211	1215.526671290397644	118.0122070313	4.51	580078125		
525351	6	8874	8874	0	2010/8/7	14575576782	2010/8/12 5:44:22	9	11	9	1211	1215.526671290397644	101	20	4.51	580078125	
525353	7	879	879	0	2010/8/9 7:41:15	37820243835	2010/8/9 14:49:51	7	00169992446899	24	1308	1311.49967014789581	10007623935	18755859375	3	879	
525354	8	1014	1014	0	2010/8/9 17:15:00	82800283432	2010/8/10 9:00:59	7	00163793963843	1	1329	1332.74265456199646	10007623935	24	3	1014	
525355	9	5399609375	9560	10006103516	2010/8/12 3:45:00	62531661987	2010/8/17 11:45:25	9	11.40625	11	1211	1215.53884636960449	5000915527	22	4.5	29123	
525356	9	7001953125	9330	10012207031	2010/8/12 3:45:00	62531661987	2010/8/17 11:45:25	9	11.40625	12	1211	1215.53884636960449	5000915527	21.5	4.5	29123	
525357	9	7001953125	9330	10012207031	2010/8/12 3:45:00	62531661987	2010/8/17 11:45:25	9	11.40625	13	1211	1215.53884636960449	5000915527	21.5	4.5	29123	
525358	10	962	962	0	2010/8/16 14:49:51	67143034935	2010/8/16 22:35:56	7	7	24	1311	1314.1875230627594	10007623935	10122070313	3	962	
525359	11	676	0	676	2010/8/17 9:00:59	04959911636	2010/8/17 15:22:00	7	7	1	1332	1334.61581265926361	10007623935	24	2	676	
525360	12	4436	4436	0	2010/8/17 15:45:00	55413627625	2010/8/18 10:02:30	8	5.1153411865234	5	1250.5	1255.8399956554144	19869482422	16	4.5	4436	
525361	13	1304	0	1304	2010/8/18 15:45:00	11112236377	2010/8/18 20:05:48	20	0	4	1259	1261.1777478634916	59.1969482422	2	1304		
525362	14	1010	1010	0	2010/8/23 22:35:56	11588859558	2010/8/24 12:53:46	7	7	24	1314	1317.86603689193726	10007623935	18877929688	3	1010	

图 7 施工进度信息



(a) 坝体施工过程面貌



(b) 坝体完工面貌

图 8 可视化仿真效果

4 结 语

采用面向对象的图形渲染引擎 OGRE 开发了碾压混凝土坝施工过程可视化仿真系统,通过建立三维可视化系统与施工过程仿真系统的数据动态链接方式解决了传统方法中难以根据施工方案的调整实时改变可视化输出效果的难题,同时该系统能随着坝体浇筑的进度显示当前浇筑的各项信息,采用友好的人机交互技术使用户能够自由控制场景。本文还研究了三维可视化系统建立的流程与模式,采用该模式建立的三维可视化系统具有较好的可移植性和可维护性。通过某碾压混凝土坝施工可视化的应用,表明该系统能够为工程施工方案的选择与优化提供支持,提高了工程信息化管理的水平。

参考文献:

[1] 李景茹,钟登华,刘东海,等. 水利水电工程三维动态可视化仿真技术与应用[J]. 系统仿真学报,2006,18(1): 116-119. (LI Jingru,ZHONG Denghua,LIU Donghai,et al. Methodology and application of three-dimension dynamic visual simulation of hydraulic and hydroelectric engineering [J]. Journal of System Simulation,2006,18(1):116-119. (in Chinese))

[2] 钟登华,刘奎建. 基于实时仿真的地下洞室群施工进度预测与控制[J]. 天津大学学报,2007,40(6):721-725. (ZHONG Denghua,LIU Kuijian. Schedule forecasting and control based on real-time simulation of underground structure group construction[J]. Journal of Tianjin University,2007,40(6):721-725. (in Chinese))

[3] 刘宁,钟登华,张平. 高心墙堆石坝施工现场交通可视化仿真研究[J]. 水利水电技术,2012,43(4):73-78. (LIU Ning,ZHONG Denghua,ZHANG Ping. Study on visualized

simulation of in-situ traffic for construction of high rock-fill dam with core[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2012,43(4):73-78. (in Chinese))

[4] 黄源,周宜红,刘全,等. 基于面向对象仿真的水电工程施工布置可视化研究[J]. 系统仿真学报,2006,18(8): 2210-2213. (HUANG Yuan,ZHOU Yihong,LIU Quan,et al. Research on visualization for construction site layout of hydropower engineering based on object-oriented simulation [J]. Journal of System Simulation,2006,18(8):2210-2213. (in Chinese))

[5] 姜锴,周宜红. 可视化仿真技术在施工截流中的应用研究[J]. 中国农村水利水电,2009(4):103-105. (JIANG Kai,ZHOU Yihong. Application of visualization technology in construction diversion engineering [J]. China Rural Water and Hydropower,2009(4):103-105. (in Chinese))

[6] 佟大威. 基于虚拟现实的截流施工动态可视化仿真研究[J]. 中国工程科学,2011,13(12):80-83. (TONG Dawei. Research on dynamic visual simulation for construction process of river closure project based on virtual reality[J]. Engineering Sciences,2011,13(12):80-83. (in Chinese))

[7] 李红亮,翟建,熊建清,等. 河口村水库面板堆石坝施工动态三维可视化仿真研究[J]. 水电能源科学,2011,29(11):164-166. (LI Hongliang,ZHAI Jian,XIONG Jianqing,et al. Study of dynamic three-dimensional visual simulation for concrete faced rock-fill dam construction [J]. Water Resources and Power,2011,29(11):164-166. (in Chinese))

[8] 翁永红,谢红忠. 水工混凝土工程施工实时动态仿真[J]. 人民长江,2001,32(10):20-22. (WENG Yonghong,XIE Hongzhong. Real-time dynamic emulation for construction of hydraulic concrete works[J]. Yangtze River,2001,32(10):20-22. (in Chinese))

(收稿日期:2012-08-06 编辑:周红梅)

· 简 讯 ·

第 3 届江苏省海洋湖沼学会研究生论坛将在南京举办

为提高海洋湖沼领域的科学研究和社会服务水平,促进青年学者的成长,江苏省海洋湖沼学会将于 2013 年 9 月上旬在南京举办第 3 届江苏省海洋湖沼学会研究生论坛。

本次论坛由江苏省海洋湖沼学会主办,河海大学青年科协、河海大学研究生科协、国际水利与环境工程协会(IAHR)河海大学学生分会承办,南京师范大学研究生会、南京大学研究生会、南京信息工程大学研究生会、中国科学院南京地理与湖泊研究所研究生会联合协办。

论坛以“聚叙湖海情,共铸生态梦”为主题,设河湖水环境与生态修复、海岸带资源开发与保护、海岸灾害预测与防治、水信息学与海洋遥感等 4 个方向。论坛将以研究生为交流主体,并聘请专家进行现场点评,参会论文将汇编成论文集,并评选出优秀论文推荐到核心期刊发表。会议一律采用邮件形式征稿,论文摘要及全文请发送至邮箱:hohaiykx@126.com。

详情可见:http://jtxy.hhu.edu.cn/xwzx_show.asp?id=1183。

(本刊编辑部供稿)