

基于 AutoCAD 的碾压混凝土坝仿真研究

王仁超, 王 驰, 潘菲菲

(天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072)

摘 要: 作为工程辅助设计软件, AutoCAD 具有用户覆盖面广、工程设计人员使用熟练、三维空间描述和二维空间转换方便等优点。基于目前碾压混凝土浇筑仿真系统存在问题分析, 文章探讨了基于 AutoCAD 技术的碾压混凝土浇筑仿真系统模型构建问题。运用 Visual Basic 语言和 ActiveX 技术开发了碾压混凝土坝的仿真平台。该平台将碾压混凝土浇筑仿真嵌入 AutoCAD 系统, 因此, 只要熟悉 AutoCAD 的设计人员就可以方便构建仿真模型, 并进行仿真分析, 提高了仿真模型构建效率和仿真过程的可视化程度。最后通过一个实例验证了该平台的有效性。

关键词: 碾压混凝土坝浇筑; 计算机仿真; AutoCAD

中图分类号: TV642.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)02-0083-06

Study on simulation of RCC Dam construction based on AutoCAD

WANG Renchao, WANG Chi, PAN Feifei

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: As an engineering aided design software, AutoCAD possesses the advantages of wide coverage for users, engineers' skilled application, is easy to convert between three-dimensional and two-dimensional space conversion. This paper studied the modeling problems of AutoCAD technology of RCC pouring simulation system base on the analysis of the problems exist in RCC pouring simulation system. A simulation platform has also been developed by applying visual basic and activeX technology. This platform embedded the RCC pouring simulation into AutoCAD system, and made the designers who were familiar with AutoCAD build simulation models and analyze simulation results easily. This platform also improved efficiency of building simulation models and the visualization level in this period. At last, the validity of the simulation platform was verified by a project instance.

Key words: RCC dam construction; computer simulation; AutoCAD; modeling

0 前 言

目前的碾压混凝土坝浇筑仿真建模过程复杂, 需对大坝工程的实际情况进行分析, 将大坝形体信息、施工机械浇筑能力等实际信息进行抽象概括, 构建以数据形式进行表达的仿真模型^[1]。因此, 建模工作需要既了解仿真内部数据组织结构, 又理解施工仿真过程的专业仿真人员进行, 对于缺乏仿真经验的一般工程管理技术人员而言, 仿真模型理解和运用难度较高。其次, 仿真计算过程以二维可视化为主, 不能实现完全基于三维的仿真建模和仿真计算的三维可视化。大多数的仿真软件都在仿真后期利用 GIS、3DMax 等三维平台可视化技术, 依据模拟

计算结果实现仿真过程三维演示功能^[2-3]。仿真计算过程二维可视化不利于即时了解施工过程, 辨析施工中存在的问题。

可以看到: 混凝土坝浇筑仿真不仅要考虑专业仿真人员的能力, 还要满足设计与施工部门技术人员的使用需求, 简化仿真建模过程, 降低仿真平台理解运用难度; 另外, 大坝浇筑仿真需要实现建模过程三维可视化和计算过程三维可视化, 直观显示大坝浇筑面貌等施工信息, 加深三维模型与仿真信息的结合程度。

AutoCAD 作为一款用户覆盖面广泛的建模制图软件, 能够同时保证建模通用性, 还具有三维二维转换显示优势, 软件本身预留了二次开发接口, 并且在

收稿日期: 2012-11-14

作者简介: 王仁超(1963-), 男, 山东龙口人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 大型工程系统分析、项目管理及计算机仿真。

通讯作者: 王 驰(1988-), 男, 湖南娄底人, 硕士研究生, 主要从事大坝施工计算机仿真研究。

建筑工程方面存在不少应用成果,就解决目前碾压混凝土坝浇筑仿真中存在的问题而言具有极大潜力。

因此,根据水利工程设计单位、工程管理部门对大坝浇筑现场辅助管理仿真分析需求,本文探索开发了以 AutoCAD 三维可视化技术为基础的,将 AutoCAD 与离散事件系统相结合的碾压混凝土坝浇筑施工仿真平台,为进一步研究开发大坝浇筑实时可视化辅助仿真分析系统研究提供基础。

1 目前仿真软件问题分析

1.1 建模参数输入过程复杂

根据现有研究成果^[4],目前碾压混凝土仿真软件中基本上将碾压混凝土施工系统划分为大坝形体子系统、机械子系统、施工控制子系统,或划分为混凝土生产子系统和混凝土运输子系统、混凝土浇筑子系统等相近形式。碾压混凝土仿真模型的建模过程一般要完成:数据初始化和模拟参数输入、确定模拟方案和仓面数据生成^[5]。数据初始化包括大坝三维数字模型数据初始化和浇筑机械技术参数初始化,其中,大坝形体模型一般采用参数化建模。例如,拱坝建模需要沿高程采集控制点,利用插值方程获取拱坝上下游表面形体数据;重力坝建模采用标准化断面方式输入大坝横缝截面的形体控制点坐标。模拟参数输入则包括模拟机械数量和机械运行参数,有效工日、施工浇筑参数、时间参数等。参数输入一般均采用人工输入方式,工作量大,效率低,是仿真周期中耗时最长部分。

1.2 三维可视化过程转换复杂

混凝土仿真实用的三维可视化手段包括 GIS 平台^[6-7]、虚拟现实技术^[8-9],其实现途径见图 1,针对坝体浇筑施工过程而言,三维可视化一般都要经过:①AutoCAD 或其他常用建模软件建模,构造基本的大坝三维实体;②数据转换,将大坝三维模型、地形模型、其他模型根据不同数据格式转换成能够被三维可视化系统识别的数据格式;③构造三维输出途径,协调软硬件系统,构造数据之间的关联关系,并将仿真成果以三维可视化方式进行输出。

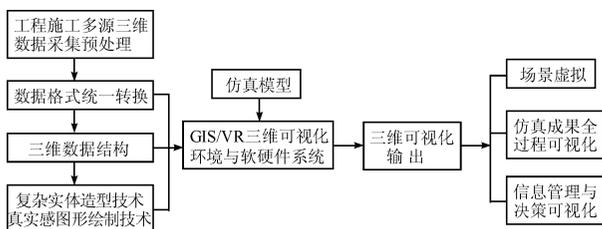


图1 系统仿真实用三维可视化实现手段

由于整个转换过程设计多类软件数据之间的传递交互与处理,难免发生数据转换中的误差、不兼容、信息遗漏等问题。而且系统实现手段相对而言比较复杂,需要专业人员进行处理,不利于普遍推广。

2 基于 AutoCAD/ActiveX 的碾压混凝土浇筑仿真系统框架

2.1 AutoCAD 二次开发应用

AutoCAD 提供了丰富的接口和组件,二次开发技术相对成熟,应用面广泛,在国内外得到了众多学者研究。例如,英国霍德谢菲尔德大学^[10]开发了基于 AutoCAD 的新一代几何产品说明系统,允许用户在 AutoCAD 平台下构造标准化产品几何说明指标符,为产品设计说明书编制提供了极大便利;同济大学^[11]利用 AutoCAD 开发了城市供水管网的分析模型,允许用户与 AutoCAD 供水管网图交互,直接获取管网信息用于水利计算;在土木建筑领域,研究人员将有限元分析计算的前处理和后处理过程与 AutoCAD 技术相结合,梁声闻^[12]等利用 ObjectARX 实现了 ANSYS 与 AutoCAD 的无缝对接,能够直接将 AutoCAD 模型转化为 ANSYS 有限元模型,李水乡^[13]等在 AutoCAD 平台上实现了具有自适应特点的模型网格自动生成,并开发了 Auto MESH 前处理软件。

AutoCAD 在我国水利水电设计行业也占有重要地位。因此,针对目前碾压混凝土坝浇筑仿真模型存在的两类问题,本文提出了基于 AutoCAD 的碾压混凝土浇筑仿真框架。

由于大坝模型相对规则的特性,AutoCAD 软件建模可以实现高精度的三维模型建立,可以缓解参数化建模方式中由于模型近似处理造成的精度降低问题,同时,AutoCAD 软件的操作便利性能够方便一般熟悉 AutoCAD 的设计人员的使用;ActiveX 作为微软提供的基于 COM(Component Object Model)可用于软件部件在网络中进行交互的技术集,AutoCAD 也提供了相应技术集,允许研究人员针对特定需求进行 AutoCAD 软件进行开发,利用 ActiveX,可将 AutoCAD 内嵌在仿真平台中,并可运用已有大坝三维模型进行仿真或在仿真平台中构建大坝三维模型;句柄是各三维实体对象具有的唯一标识值,在仿真平台中运用 AutoCAD 扩展字典、对象选取、布尔运算、分割运算、群组等功能块可以通过句柄与三维模型进行实时互动,实现仿真建模阶段人机交互和仿真计算过程实时可视化与仿真结果三维可视化输

出,避免了数据由于多次转换与传递造成的冲突或误差。

2.2 4D 模型构建思想

4D 理论是由美国斯坦福大学 CIFE 于 1996 年首先提出^[14],其基本结构见图 2。即在 3D 模型的基础上,结合工程进度计划等时间相关因素,构造附带建设信息的工程模型,允许工程设计人员对模型设计进行操作的同时,能够做到建造过程的动态模拟,便于工程人员对工程项目进行管理控制。

4D-CAD 技术以施工对象的 3D 模型为基础,以施工建造计划为时间因素,根据进度计划中工作结点作为基本的时间划分依据,并将对应的时间信息以及其它工程关联的资源信息与相应工作部分的三维模型结合,从而实现对工程进度进行形象的展示。在水利工程施工中,尤其是碾压混凝土浇筑施工中,进度计划按照高程区段浇筑目标作为划分工作结点的依据,而对大坝浇筑过程仿真的目标是对大坝各仓面浇筑过程进行模拟,获得仓面组合方案和浇筑顺序,以及各个仓面开始与完工时间等相关施工信息。且碾压混凝土仓面的浇筑过程具有动态随机性,进度计划无法实现对每一个仓面进行工作划分。因此,我们还无法直接将 4D-CAD 技术同碾压混凝土坝浇筑仿真直接进行结合。

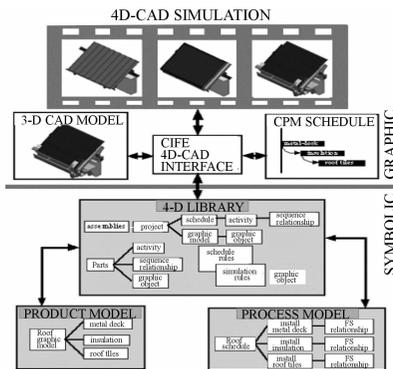


图 2 4D-CAD 模型组成结构

但借鉴 4D-CAD 建模思想,可以在三维模型中预留信息添加通道,将碾压混凝土坝仓面浇筑时间信息与仿真所需的统计信息,如坝块位置、浇筑高程、浇筑机械、浇筑方量等工程信息与大坝三维实体结合起来,构造与 4D 模型表达方式相似的类 4D 模型,并将类 4D 模型作为仿真操作的对象。

2.3 基于 AutoCAD 的碾压混凝土浇筑仿真框架

针对目前仿真软件中基本上不能将三维实体直接结合到仿真建模辅助操作和仿真计算过程中,需要进一步对三维实体进行抽象提取,过程复杂繁琐,

无法简化仿真建模过程,且一般不能实现仿真计算过程三维可视化等问题,本文借鉴 4D 模型建模思想提出了基于 AutoCAD/ActiveX 的碾压混凝土仿真系统框架,见图 3。

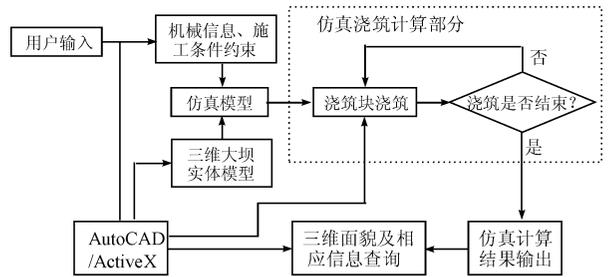


图 3 碾压混凝土坝浇筑施工仿真系统仿真框架

(1) 碾压混凝土坝浇筑仿真模型中的几个要素为大坝形体、浇筑机械、施工控制参数,在一定的流程和规则控制下,完成仿真计算过程。其中,浇筑机械和施工控制参数(施工条件约束)分别采用特定的机械类和参数类进行描述,虽然缺乏三维实体的承载,却可以通过和 AutoCAD 交互,利用 AutoCAD 的建模操作优势,在三维视角或其他视角之间转换,辅助选择设定参数值,简化参数输入过程;三维实体模型是大坝形体的承载对象,同时也是仿真计算过程中浇筑方量、高程等空间信息的来源,此外,三维实体模型也是系统将与大坝浇筑相关的工程施工信息对应进行存储的承载主体,是构建包含施工信息的类 4D 模型的基础。

(2) 类 4D 模型在仿真流程中被作为仿真计算的运用对象,系统在仿真计算时先提取模型中储存的施工信息用于计算,计算生成新的三维筑块实体,并将更新后的施工信息存入实体中,从而构造碾压混凝土坝筑块的类 4D 模型,循环计算直到仿真结束。计算过程中,三维实体的生成过程通过 AutoCAD 平台被实时更新,从而使用者可以在仿真计算阶段便对大坝浇筑施工过程产生直观认识,便于即时发现施工中存在的问题。

(3) 仿真计算完成后,根据类 4D 模型的模型特性,可以实现对仿真三维信息的查询工作,包括查询各时段的碾压混凝土坝浇筑面貌,月浇筑方量,机械浇筑方量等一系列施工工程信息。针对以上框架构造思路的阐述,鉴于 AutoCAD 与 ActiveX 技术的特点,本碾压混凝土坝浇筑仿真系统以 AutoCAD 平台作为系统三维可视化操作的基础,采用面向对象的方法构建系统。其中,AutoCAD 平台下的类 4D 模型构建实现方式见图 4。

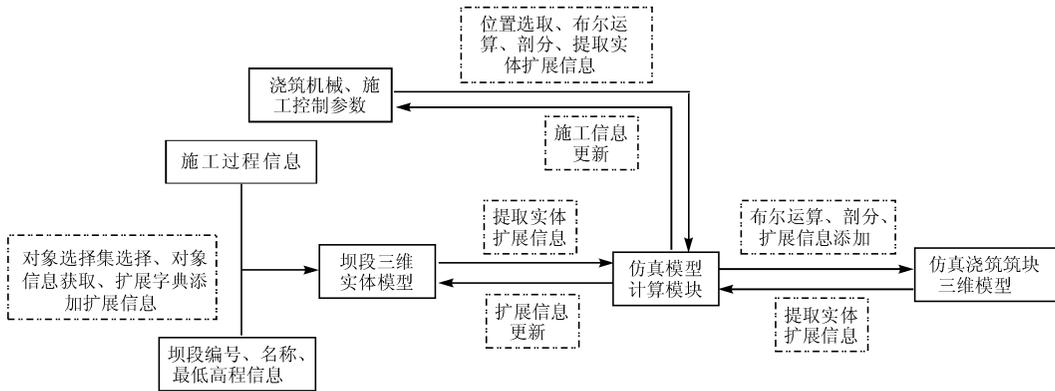


图4 基于 AutoCAD 的类 4D 模型构建

系统将 AutoCAD/ActiveX 技术结合到仿真系统中,并将 AutoCAD 内嵌于系统界面,便于使用者与三维模型进行交互。利用本系统与 AutoCAD 互动特性,在 AutoCAD 中建立三维实体模型,并利用句柄和扩展字典等途径将实体的空间特征与其他工程属性储存在实体中,构建附带多种工程信息的三维模型实体并直接应用于仿真计算过程。

(1) 仿真建模阶段。构造大坝形体模型,利用二次开发的实体选择命令,可以通过调用 AutoCAD 的对象选取函数 (GetEntity) 选取用户想要选择的三维模型实体,并通过对象信息获取函数 (GetBoundingBox) 获取相关高程信息,系统会将三维实体封装在大坝形体模型内,作为仿真操作的三维基础,使用信息添加命令,可以通过调用或创建 AutoCAD 实体扩展字典 (GetExtensionDictionary) 的功能,将仿真需要应用到得工程信息、时间信息分类储存在三维实体中;浇筑机械、施工控制参数的辅助功能调用点选择 (GetPoint)、对象选择、布尔运算 (Boolean)、扩展字典信息提取等多项函数,实现在三维环境下的高程选取、实体分区、信息获取等功能,简化建模过程。

(2) 仿真计算阶段。通过系统与 AutoCAD 平台互动,利用扩展信息提取函数与添加函数,提取坝段类 4D 模型中储存的方量信息、高程信息、浇筑开始结束时间等作为仿真计算数据基础,并按照计算结果,对类 4D 模型中的三维实体进行布尔运算和剖分操作,构建新浇筑筑块。最后,将计算结果 (时间信息、方量信息、机械信息等) 采用扩展字典方式储存在新生成的三维模型中。AutoCAD 平台能够即时更新模型信息,将新生成的筑块显示出来,从而实现 AutoCAD 界面中计算过程三维可视化。

(3) 大坝三维信息查询阶段。利用扩展字典对大坝模型尤其是筑块模型的三维实体的扩展信息进行读取,并利用 AutoCAD 下的群组 (Group) 模块,颜

色控制 (Color) 分别构建包含各个月浇筑筑块的群组以及改变实体颜色,从而利用时间属性或其他选取指标对大坝浇筑信息进行查询。

3 面向对象的模型系统构建

碾压混凝土坝浇筑施工仿真系统由大坝形体子系统、机械子系统及施工控制子系统构成,主要包含四类实体:大坝模型实体、浇筑机械实体、拌合系统实体、工程施工仿真控制实体。根据面向对象的建模思想,仿真平台中各类实体建模组织方式见图 5。

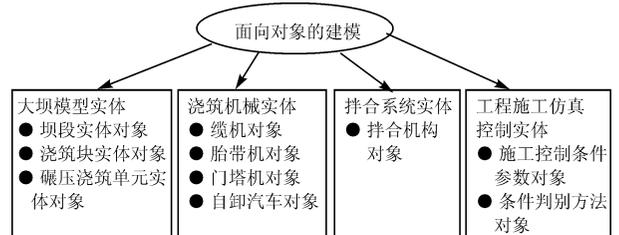


图5 面向对象的碾压混凝土仿真系统结构

3.1 大坝模型实体

大坝模型实体包括坝段实体对象、浇筑块实体对象和碾压浇筑单元实体对象。

(1) 坝段实体对象封装的属性由模拟计算参数属性和模拟中间过程数据属性构成。计算参数属性包括坝段形体属性;模拟中间过程数据属性包括当前浇筑块位置、当前浇筑状态。坝段实体对象将 AutoCAD 中建立的三维坝段实体模型绑定在对应对象的坝段形体属性中作为三维可视化的操作对象;利用 AutoCAD 扩展字典功能模块与三维实体对象句柄的唯一性,坝段实体对象通过接口将与坝段形体模型直接关联的工程信息属性以扩展信息方式存入三维模型自建立的扩展字典中。

(2) 浇筑块实体对象将 AutoCAD 中构建的三维浇筑块实体模型绑定在对应浇筑块实体对象的筑块

形体属性中。在仿真计算阶段,仿真平台运用 AutoCAD 软件功能块对坝段三维实体进行互动操作,构造当前浇筑块三维实体,同时利用扩展字典功能模块自动将模拟计算得到的与当前浇筑块浇筑同步对应的开工时间、完工时间等施工信息存入浇筑块模型自建的扩展字典中,并通过接口与坝段实体对象的当前浇筑块属性实现信息交换。

(3) 碾压浇筑单元实体对象封装的模拟中间过程数据属性包括坝段储存集合、浇筑单元当前高程、单元起止坝段号、单元浇筑机械储存集合、拌合机械储存集合、浇筑单元当前状态等。通过接口,坝段实体、浇筑机械、拌合系统可以完成与坝段储存集合、单元浇筑机械储存集合、拌合机械储存集合的信息交换。

3.2 浇筑机械实体

浇筑机械包括多种具有相似工程特性的机械类型。本文采用抽象浇筑机械基类作为描述浇筑机械一般特征的基础,包括机械状态、机械名称、当前浇筑能力计算等属性和方法接口。胎带机、门塔机、缆机等具体机械类在继承抽象浇筑机械基类的属性和方法的基础上,根据各自具体特征,封装对应的特殊属性和接口扩充,满足对象信息交互需求。

3.3 拌合系统实体

拌合系统实体由拌合机械对象进行描述。包括拌合机械编码、拌合机械名称、所属系统、月浇筑能力、机械状态、累计拌合时间、当前输出量等属性。

3.4 工程施工仿真控制实体

工程施工仿真控制实体包括施工控制条件参数对象与条件判别方法对象。

4 实例验证

4.1 实例概况

某工程混凝土坝坝顶高程为 1 139.000 m,坝顶总长度为 838.035 m。本次计算取大坝右岸标段标段为研究对象,坝段分布为 24-25 坝段为明渠溢流坝段,28-30 坝段为岸边溢流坝段,26-27,31-35 为右岸挡水坝段。

4.2 约束条件

浇筑块厚度与间歇期:强约束区内块厚 1 m,间歇期 5 d;弱约束区内块厚为 1.5 m,间歇期 6 d;脱离约束区块厚 3 m,间歇期为 6 d;碾压混凝土初终凝时间:初凝按 5 h,终凝按 48 h 计算。分区方案:根据工程特性与施工安排,将工程划分为三个时段,分区内部相邻坝段间最大高差约束为 12 m,至少高

差为 3 m,分区间高差,根据不同分区的工程特性分为 12 m、20 m、110 m。

4.3 建模辅助特性

建模阶段,大坝形体编辑可以在软件中直接通过 AutoCAD 平台选取坝段三维实体,机械实体信息编辑可以实现 AutoCAD 三维环境下选取坝块实体或高程点等方式辅助仿真模型建立。碾压混凝土大坝实体对象建模过程见图 6,在软件中点击添加按钮,可以切换到 AutoCAD 界面中选取所需要的三维实体,再添加工程附加信息从而构造大坝三维实体模型对象;缆机位置选取界面见图 7,单击固定端选择按钮,可以让用户在 AutoCAD 三维环境下选取缆机的固定端点,并读取端点坐标,作为缆机运行规律的计算数据基础。

4.4 模拟过程和结果查询

通过仿真计算,可以在 AutoCAD 平台上查看坝体的浇筑面貌,而且坝体浇筑计算所得到的三维筑块已包含浇筑信息,可以点击任意筑块来查看其浇筑信息。同时也可将浇筑信息输入到数据库中,进行总体浇筑信息的查询。计算过程三维可视化见图 8(a),为计算过程中某时刻点浇筑面貌,任意筑块信息查询见图 8(b),其施工信息会显示在弹出的对话框中,清晰明了。总体浇筑信息见表 1。

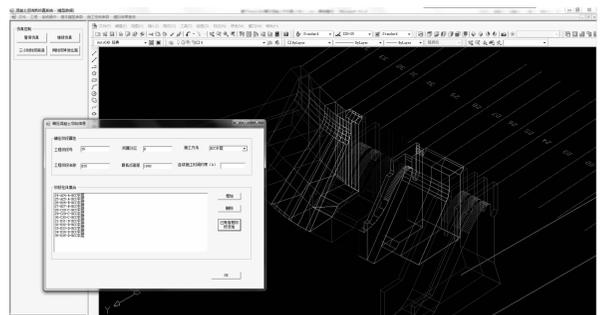


图 6 碾压混凝土大坝实体对象构建

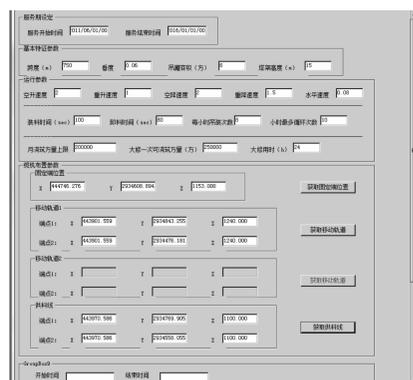
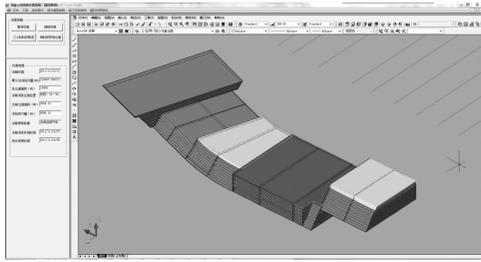
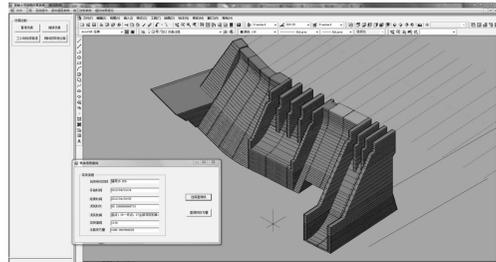


图 7 缆机参数选取界面



(a) 浇筑块某时刻浇筑状态



(b) 任意浇筑块信息查询

图8 计算过程三维可视化与任意筑块信息查询

表1 浇筑信息统计表(2011年) m³

筑块 编号	句柄	浇筑开始时间	浇筑结束时间	方量	浇筑机械
01	42D	06-07 2:00	06-13 4:00	5792	明渠塔机和溜槽
02	457	06-07 7:00	06-07 12:00	1332	右岸自卸汽车
03	471	06-07 20:00	06-08 1:00	1383	右岸自卸汽车
04	48B	06-08 10:00	06-08 17:00	2107	右岸自卸汽车
05	493	06-09 3:00	06-09 12:00	2772	右岸自卸汽车
...

5 结 语

本文针对目前碾压混凝土坝浇筑仿真程序参数化建模数据输入过程耗时长且运用难度大,以及三维可视化实现过程复杂,数据转换可能出现误差等问题进行分析,提出了将 AutoCAD/ActiveX 与系统仿真相结合,并利用 AutoCAD 二次开发技术,采用面向对象的方法构造碾压混凝土施工仿真模型系统框架。在案例中,通过仿真软件与 AutoCAD 平台之间进行交互,可以在仿真系统中实现三维辅助建模,以及基于 AutoCAD 的碾压混凝土坝施工仿真过程三维演示,证明了系统的有效性。

参考文献:

- [1] 连继亮. 混凝土坝施工系统仿真实理论与应用研究[D]. 天津:天津大学,2004.
- [2] 张伟波,黄河,李景茹,等. 复杂地下洞室群施工系统仿真与进度研究[J]. 系统工程理论与实践,2002,23(3): 125-130.
- [3] 钟登华,郑家祥,刘东海,等. 可视化仿真技术及其应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002.
- [4] 王仁超,石英,李名川,等. 混凝土高拱坝浇筑施工仿真[J]. 天津大学学报,2005,38(7):625-629.
- [5] 申明亮,陈立华,陈伟,等. 向家坝工程大坝混凝土施工过程动态仿真[J]. 中国工程科学,2004,6(6):68-73.
- [6] LIAN Jiliang, ZHONG Denghua. DamVSIS visual - simulation system used in concrete dam construction[J], Journal of Tianjin University, 2006, 39: 398-405.
- [7] 宋洋,钟登华. 基于可视化仿真的水电工程施工进度分析与控制研究[J]. 系统工程理论与实践,2006,27(8): 55-62.
- [8] 钟登华,任炳昱,吴康新. 虚拟场景下高拱坝施工仿真建模理论与应用[J]. 系统仿真学报,2009,21(15):4701-4705.
- [9] 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[J]. 系统仿真学报,2005,17(7): 1690-1693.
- [10] Lu W, Jiang X, Scott P J, et al. A Host system for form tolerance specification in the next-generation GPS based on AutoCAD[C]//. Proceeding 11th CIRP CAT seminar,2009.
- [11] Yang Bin, Yu Guoping. The Hydraulic calculation model of water supply network based on AutoCAD[J]. Journal of University of Science and Technology of Suzhou(Engineering and Technology), 2008,21(2):42-45.
- [12] 梁声闻,杨新华,杨文兵,等. ANSYS 前处理与 AutoCAD 的系统集成[J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 2004,21(1):81-83.
- [13] 李水乡,刘剑飞,袁明武. AutoCAD 平台上的有限元前处理软件 AutoMESH[J]. 计算力学学报,1999,16(3): 375-378.
- [14] Kathleen McKinney, Jennifer Kim, Martin Fischer, et al. Interactive 4D - CAD[M]. New York, Computing in Civil Engineering,1996.
- [15] 张帆,郑立楷,卢择临. AutoCAD VBA 二次开发教程[M]. 北京:清华大学出版社,2006.