



三峡工程施工中的计算机仿真技术

2004-07-05 00:00

文章编号: 1006-6349(2004)03-0023-02

三峡工程施工中的计算机仿真技术

郑 瑛

(三峡大学土木水电学院, 湖北宜昌 443002)

摘要: 三峡总公司在三峡工程二期混凝土大坝浇筑中开发了功能强大的计算机仿真系统, 可以快速评价承包商作的施工总进度计划, 对技术措施进行定量分析, 快速比较多种浇筑方案, 对影响混凝土施工的各种因素作敏感性分析, 对工程进度进行实时控制, 还可对浇筑过程进行三维动态显示等。三峡工程截流及围堰工程施工过程的仿真研究, 基于可视化技术及计算机图形、图像技术、多媒体技术等, 以三维动态方式生动逼真地展示了截流、围堰填筑施工全过程。

关键词: 计算机仿真; 施工; 三峡工程

中图分类号: TV 51

文献标识码: A

计算机仿真技术应用于水电工程施工近30年, 应用范围从辅助施工组织设计扩展到结构设计、三维动态显示等, 从仿真单一的混凝土坝浇筑到仿真土石坝施工、截流施工、地下工程施工等; 应用目标从静态的方案优选发展到动态的实时控制等; 从最初把仿真成果仅仅作为一种不重要的决策参考, 逐渐发展成水电工程、尤其是大型水电工程规划、设计和施工管理中不可缺少的技术手段。三峡总公司在三峡工程二期混凝土大坝浇筑中开发了功能强大的计算机仿真系统, 可以快速评价承包商作的施工总进度计划, 对技术措施进行定量分析, 快速比较多种浇筑方案, 对影响混凝土施工的各种因素作敏感性分析, 对工程进度进行实时控制, 还可对浇筑过程进行三维动态显示等。三峡工程截流及围堰工程施工过程的仿真研究, 基于可视化技术及计算机图形、图像技术、多媒体技术等, 以三维动态方式生动逼真地展示了截流、围堰填筑施工全过程。

1 大坝混凝土施工过程仿真

三峡工程大坝混凝土工程不仅量大, 工序复杂, 施工期长, 影响和制约因素众多, 而且大型施工经验有限, 国内成熟的施工方案也不多。巨型工程的施工, 难免会出现许多不可预见的干扰因素, 且在各种因素变化时, 难以快速对大坝混凝土施工进行多方案比较及调整。三峡开发总公司通过委托有关科研部门, 根据以往系统工程在大坝混凝土施工中应用的经验, 通过对三峡工程的施工特性和需要的分析, 运用现代科技管理技术, 实现了快速制定大坝混凝土浇筑的施工进度计划、合理地评价预先拟定的施工方案、实现进度计划的适时监控, 为业主的重大决策提供了依据。

1.1 大坝混凝土施工过程仿真

大坝混凝土施工包括砂石料生产、混凝土拌和、混凝土运输和混凝土浇筑4个子系统。在混凝土的浇筑过程中, 坝区工作面的施工组织非常复杂, 影响施工的因素众多, 除混凝土生产和浇筑的生产效率外, 还有坝体结构型式(孔洞、廊道)、气候条件、坝体分缝分块、相邻高差、温度控制措施、接缝灌浆、基础处理、仓面处理等。

三峡二期大坝工程混凝土施工, 采用了高架门机、圆筒式门机、胎带机、缆机、塔带机等多种机械联合作业。这些机械运行方式不同, 生产效率不同, 且投入使用的时间也不同, 导致混凝土浇筑在时间和空间上均出现了互相交叉、互相干扰的情况, 更增加了大坝混凝土浇筑施工组织的难度。在作施工组织设计时, 需在设备使用基本原则的基础上, 根据坝面施工的具体情况, 以及混凝土浇筑设备的工作范围、布置位置、使用时间, 作出具体的设备配置安排。

通过收集、整理分析时间约束条件、大坝混凝土温度控制、气象条件、间歇时间、相邻高差等大坝施工参数, 遵循浇筑设备时钟最小优先原则、坝块浇筑高程最低优先原则、坝块间隙时间最长优先原

则，建立坝体浇筑仿真计算的数学模型，实现状态变量、决策变量与约束条件之间的数学逻辑关系的定量描述，通过状态变量和决策变量的不断改变，按照既定的浇筑规律和约束条件对大坝混凝土的施工过程进行仿真。混凝土浇筑仿真施工的要为：

(1) 首先判断有无可浇筑的混凝土块，否则模拟时钟时间直接向前推进，重新判断直到条件均满足为止。

(2) 如果有满足条件的混凝土块，需先确定混凝土浇筑块的位置，然后确定浇筑该块混凝土的浇筑设备及数量。

(3) 如此反复循环，各台设备从大坝开始浇筑之时起，随着浇筑工作的进行，设备的工作时间逐渐增加，直至整个大坝混凝土全部浇筑完毕，此时设备的工作延续时间就是大坝总浇筑工期，累计的混凝土量即为浇筑完成的混凝土量，各时段浇筑的混凝土即为混凝土浇筑强度。在这个循环过程中，随时记录设备的工作时间状态、坝块的浇筑顺序及混凝土量、各坝段高程，即可得到设备的工作状态和大坝施工面貌的动态变化过程。

整个系统的主要功能模块包括主控模块、数据库文件管理模块、数据处理模块、模拟计算模块、图形模块、报表模块、查询模块等。这几个模块之间，以数据文件为媒介进行交流。

系统具有文件的存取与多方案的自动比较、二维与三维动态图形显示、信息动态反馈功能、强大的适应能力及处理特殊问题的能力（包括自动调整层高及倒缝、各种异常情况的处理、层厚调整、设备的调整、修订目标进度）、动态跟踪跳块过程等特点。

2大江截流计算机决策仿真

通过建立三峡工程大江截流及相关工程的水力学计算模型和三维实体模型，对大江截流工程的施工全过程进行三维计算机仿真模拟，从而反映出大江截流各个阶段的的水力学指标和形象面貌，及时发现工程施工过程中存在的问题，并寻求解决问题的方法及相应对策，为大江截流决策提供可靠依据，以实现指导工程施工、科学规划和科学管理。主要有三个方面的功能：

(1) 建模及水力学计算。根据长江科学院所作大江截流物理模型的试验结果，建立了截流水力学分析计算数学模型。利用该模型可以方便地计算出在不同流量、不同水位、不同上下游口门宽度组合的情况下，截流戗堤周围流场分布，包括每一点的水流流速、流向，以及明渠内的分流比与明渠内的流速分布情况。据此能科学地决定抛投物料的尺寸大小与性质、汛期以前口门宽度、平抛垫底的最大高程上下游口门宽度的最优组合等。数学模型的建立，弥补了物理模型试验的局限性，可以在真实比尺下快速计算出各种工况的截流水力学状况。

(2) 大江截流计算机施工过程的三维仿真。利用先进的三维CAD技术，构成三维实物模型，对大江截流全过程进行仿真模拟，逼真地展现了大江截流惊心动魄的壮观场面，具有直观形象的可视效果。它可以给出特定参数下任意时点的截流面貌，并可在施工现场漫游。这种可视化虚拟现实的先进手段，使得对截流可能存在的问题具有前瞻性，能为实际决策提供有力的科学佐证。

为确保三维实体模型的准确与实用，研究采用的基本资料包括区域地形图、施工详图、总体布置规划、施工关键时段形象面貌图、水工模型试验资料、以及与三峡工程施工期有关的工程施工图片。

首先利用实测的地形图通过数字化仪在计算机内形成二维地形，然后用 Microstation 形成三维地形图，之后在 Microstation 下形成导流明渠、纵向围堰、关键时段大江截流及二期围堰三维实体模型，最后在 3 D MAX 下进行动画制作，漫游施工现场，包括有水下深槽、平抛垫底、预进占施工、渡汛、非龙口段施工、龙口段施工、二期围堰建完等几个阶段。

(3) 图文数据库及截流施工组织设计动态优化。包括有关截流的工程概况、基础资料数据库、决策文档库和施工组织设计图形库。根据前述两部分对截流的模拟仿真，发现问题时可以实时地调出相应图文数据，在 CAD 软件中修改图纸，随时优化施工组织设计。

3明渠截流施工Petri网仿真

Petri网能够以图形方式深刻、简洁地描述系统的动态过程，精确描述事件的顺序、并发和冲突关系，使系统形象化，有利于理解，赋时Petri网（TPN）具有（事件）变迁的时间延迟，广泛应用于离散事件系统中的面向对象技术，因其抽象性、封装性、继承性、多态性等特色，有利于提高系统的建模能力；因此采用赋时Petri网对三峡三期截流施工系统建模，并将面向对象技术融入其中，既可以更好地描述施工系统的动态过程，又大大方便了系统的建模与实现。

建立Petri网模型，以库所表示的汽车、挖装机械和施工部位均被抽象为对象来看待，每一个对象均具有多种属性，同时汽车和挖装机械还具有方法。这两者的结合大大增强了程序的可扩充性，使实现容易、简便，同时更便于研究系统的运行特性。三峡三期截流共有16个主要料场，为确保施工强度，节省运距，基本按“上游各料运至上游围堰、下游各料运至下游围堰”的原则进行平衡。运输时主要选用32~85 t的大型载重自卸汽车。整个施工运输系统是由一系列特定运输环节所构成的一个循环过程。在截流运输中，各料场的汽车经装载后，到达各自的卸料部位，卸完后即返回到原先的料场挖装机械前等

待装车。这个过程循环往复，每一次都是前一次的重复。

在初始状态下，每辆汽车及挖装机械设备都处于空闲状态，在模型图中体现为托肯（Token）处于可用状态，整个过程每辆汽车顺次经历装载、重运、进入卸载队列、卸载、空返这5个变迁，每一变迁的发生时间体现为托肯从不可用状态到可用状态的持续时间，这一段持续时间在程序中用随机函数产生。

在程序实现中，针对挖装机械设备和卸料点的使用，定义了料场处的装载等待队列和卸料点处的卸载等待队列。对于每个料场，根据Petri网的运行规则，结合输入的有关参数，顺次处理汽车装载、重运等事件。当汽车到达施工部位时，则进入卸载等待队列等待处理卸载事件。每次通过处理最短时间事件来推进模拟钟。在推进模拟钟的同时，将系统当前的状态在模拟时实时写屏输出并存入文件。

在三峡三期截流施工运输系统中，具有顺序、并发及冲突等事件关系，其中，冲突事件对系统性能的影响最大。对于挖装机械设备及卸料点的使用冲突，采用“FIFO（先到先服务）”及“SPT（服务时间最短）”等调度规则。

经过对三峡导流明渠截流与三期土石围堰的仿真计算，优选施工组织方案和施工机械设备的配置。赋时Petri网能简洁地描述系统的动态特性，然而往往存在模型的复杂问题；而面向对象技术，对庞大而复杂的系统描述提供了更有效的简化手段，将面向对象技术与赋时Petri网方法相结合，可充分发挥二者的优势，同时又弥补了各自的缺点。通过上述方法进行建模与仿真，条理清晰，易于理解且便于计算机实现，程序的可扩充性也大大增强。它不仅能提供常规分析方法所得到的数据，优选施工组织方案和施工机械设备的配置还能反映实际施工系统的动态变化情况，并能实时取出某个具体对象（如自卸汽车，卸料点等）的当前属性；对于车辆的拥挤程度和行车状况等指标也能较容易地得到。运用该模型及方法进行施工运输系统模拟可以为施工计划、施工组织设计和施工进度管理提供更多的决策信息。□

（编辑：陆一芳）

收稿日期：2004-05-10

作者简介：郑瑛，三峡大学土木水电学院讲师，硕士；主要从事水电工程施工组织管理研究。

关闭窗口

[联系我们](#)

[集团邮箱](#)

[网站地图](#)

中国长江三峡工程开发总公司版权所有 ©2002 All rights reserved 未经书面授权严禁刊用本网站资料。若经授权刊用，请注明信息来源。

地址：湖北省宜昌市建设路1号 总机：0717-6276666 传真：0717-6270088 本网热线：0717-6762797 E-MAIL: webmaster@ctgpc.com.cn

中国长江三峡工程开发总公司主办 中国三峡总公司新闻宣传中心/信息中心制作维护 鄂ICP备05010722号