

# 三维可视化仿真技术在石门坎水电站工程中的应用

白留星

(国电大渡河公司深溪沟水电站建设管理局,四川汉源 625300)

**摘要:**本文系统地分析了混凝土坝、混凝土施工的各主要因素之间相互联系和制约关系,讨论了混凝土坝仿真计算系统与三维可视化系统的建模及实现过程,并将其应用于石门坎水电站大坝混凝土施工仿真中,达到了预期目的。将大坝仿真计算系统与三维可视化系统结合起来,直观、清楚地描述大坝混凝土浇筑过程,为大坝施工过程提供了有效的分析工具。

**关键词:**石门坎水电站;三维可视化;仿真

## 1 混凝土坝仿真计算的系统分析及建模

### 1.1 仿真计算系统分析

混凝土坝施工过程包含了混凝土制备、混凝土运输及混凝土浇筑三个主要环节,据此可将其施工系统划分为混凝土拌和、混凝土运输和混凝土浇筑三个子系统。由于各系统之间既相互独立,又相互联系,因此,在进行混凝土坝仿真研究时,可单独选择某一子系统进行仿真研究,也可同时对各子系统进行仿真研究。文中仅对混凝土浇筑子系统进行仿真研究,对于其它子系统则作为该系统的边界条件予以简化处理。

对于混凝土坝,由于混凝土自身特性的影响,为防止坝体开裂,施工过程中常采用分层分块浇筑施工。浇筑机械按照一定的坝体上升规则,在满足特定约束条件的坝块中选择一个进行浇筑,并协助吊装机械做一些辅助工作,这是一个循环往复的过程。因此,可将混凝土坝浇筑看作一个排队服务系统,在这个排队服务系统中,浇筑机械是“服务台”,坝体浇筑块是“顾客”,对此可采用离散系统仿真的思想方法进行研究。

### 1.2 仿真计算系统建模

由系统分析可知,混凝土坝混凝土浇筑的仿真计算是通过离散事件建模实现的,对仿真全过程而言,采用等步长法来安排时间进程,即将施工期划分为天,再将天划分为台班,以一个台班为步长。各浇筑机械用主导实体扫描法来选择可浇筑坝块,由事件表来模拟机械的运行过程。这种等步长中变步长,时间、事件混合法驱动系统状态的变化,既弥补了时间步长法中步长的大小对仿真精度影响,又有效地处理了仿真主时钟和仿真子时钟之间的关系,符合混凝土

坝混凝土浇筑的实际施工过程,解决了混凝土坝混凝土施工模拟难以建立常规解析数学模型的难点。

在常态混凝土施工仿真模型中,通常应用排队论构造仿真模型,把浇筑机械(缆机、门塔机等)看成“服务台”,而每个浇筑块看成“顾客”。浇筑过程通常看成服务过程,“顾客”在系统中通常具有这样的特点:每当“顾客”被服务一次完成后,又重新进入系统进行排队,排队规则通常按照浇筑块高程进行,筑块高程越低,排队愈靠前,而不管某个“顾客”是否刚刚接受完服务,有时为了工程施工面貌要求,对某些“顾客”在排队过程赋予一定的优先权,使其排队位置尽量靠前。仿真模型的构造与实现需完成以下工作:

(1)数据初始化和模拟参数输入。初始化各浇筑机械技术参数、大坝的三维数字模型数据;输入模拟采用的各浇筑机械的数量和运行参数、有效工日、施工浇筑参数(层间间歇时间、允许拆模时间、相邻块高差限制、混凝土初凝时间、立模时间等);选择仿真开始和结束时间等。

(2)确定模拟方案和仓号数据。仓号数据是进行仿真计算的基础,仓号数据生成主要与大坝结构及分缝分块有关,故首先确定模拟方案是通仓浇筑还是分缝浇筑,再根据大坝结构、施工规范等计算出仓号工程量及空间几何数据。

(3)以施工日历来限制仿真。仿真主时钟以一天为步长,每天起始时,判断该天是否已到仿真终止时间,是则仿真结束,否则继续判断该天是否可施工,可施工

作者简介:白留星(1982-),男,河南驻马店人,硕士研究生,主要研究方向为水利水电工程施工组织管理。

则仿真时钟继续推进,不可施工则顺延至下一天。

(4)每天的具体仿真。首先根据仿真时钟及浇筑机械的安装使用情况确定由哪些浇筑设备来完成当天的混凝土浇筑;然后将一天分为3个台班(或2个台班),在每个台班内,对每一台浇筑机械进行扫描,确定对应可浇坝块,再转到各浇筑机械服务子程序;在一个台班仿真结束后,记载本台班内相关变量(混凝土量、高程、时间等),转至下一台班,直至一天的仿真结束;继续模拟,直至到达仿真终止时间。

## 2 三维可视化建模与实现

### 2.1 三维数字模型的建立

三维数字模型的建立包括三个步骤:

(1)地形模型的建立。数字地形模型是整个大坝施工系统三维数字模型的重要组成部分,是大坝布置及其施工活动的场所。对地形表面的描述是采用 AutoCAD 面片建模的方法:首先对地形图进行初处理,然后进行等高线矢量化,最后通过面片建模,将线型模型转化为面模型。

(2)大坝浇筑系统建筑物的三维实体建模。在大型水利工程中,三维实体包括主体工程建筑物、相关土建工程建筑物、附属工程建筑物等。三维实体模型属静态空间数据模型,包括空间位置、形状和空间拓扑关系等信息。利用 AutoCAD 三维绘图工具,构建各部件的三维图形,然后将这些模型进行取交、取差及合并等处理,使孔洞等特殊部位的结构表现出来,通过这种方法建立与设计要求的相符的地物实体模型。

(3)地形模型与三维实体模型的整合。地形模型与实体模型建立之后,并不能立即构成整个施工场地模型,需要对它们进行整合。由于地形模型较为复杂,改变地形模型进行整合的难度也相应较大,因此采用改变三维实体模型的办法来进行模型的整合。在与地形模型的匹配中,首先找到实体模型在地形模型上的某一投影点,使该点的高程与实体对应点的高程相同。此时有可能遇到实体模型的尺寸、位置较设计中的实际模型有所改变,可采用缩放、旋转等操作使其尽可能与设计模型达到一致。

### 2.2 三维可视化实现

三维可视化是在 OpenGL 中实现的,因此须首先将所构建的地形和实体模型转换为 OpenGL 能够读取的数据格式,在 OpenGL 中实现模型的重构与交互。具体步骤为:

(1)将所建的地形和实体模型导出为“\*.3ds”数

据格式。此过程可利用 VC++6.0 程序读入 3ds 文件,也可以利用一些流行的三维图形格式转换软件,如 3Dwin 等进行格式转换。

(2)真实感处理。模型在转换过程中,色彩、材质等非几何信息可能会丢失,可借助 OpenGL 提供的相关函数如光照、贴图、雾化等对模型进行真实感处理。

(3)大坝浇筑块的处理。为了实现坝体浇筑过程的动态仿真,需根据仿真计算结果,对各浇筑块进行编号。

(4)大坝浇筑三维动态演示。从仿真计算成果数据库中读取各浇筑块信息(包括编号、空间数据、浇筑信息等),将其依次绘制出来。OpenGL 绘制浇筑坝块是通过 OpenGL 显示列表来实现的,先在程序中将坝块定义为单独的显示列表,预先生成三维实体,在图形显示时,只需要用 glCallList() 函数调用浇筑块的显示列表即可将其绘制出来。坝块与坝块间的显示时间间隔使用 SetTimer() 函数来进行设定,间隔长短可根据画面的显示速度进行调节。

## 3 工程实例

石门坎水电站位于云南省思茅地区普洱县(右岸)与墨江县(左岸)交界处,红河支流李仙江上游的把边江上,为干流的第二级水电站。电站正常蓄水位 756.00m,死水位 740.00m,汛限制水位 740.00m,总库容 1.95 亿  $m^3$ ,调节库容 0.8 亿  $m^3$ ,电站装机容量 130MW。大坝拟采用混凝土双曲拱坝,坝顶高程 758.00m,坝顶长度 356.36m,坝顶宽度 5.00m,最大坝高 108.00m。坝体连同河床基础回填混凝土总量为 32.12 万  $m^3$ 。

在电站预可研阶段针对大坝混凝土浇筑拟定 2 台 20t 辐射式缆机浇筑方案和 2 台 DBQ4000 塔机浇筑方案(布置图见图 1、图 2),采用通仓浇筑,大坝混凝土开始浇筑时间设定为 2008 年 5 月,详细体形参数、施工参数及机械参数等此处从略。

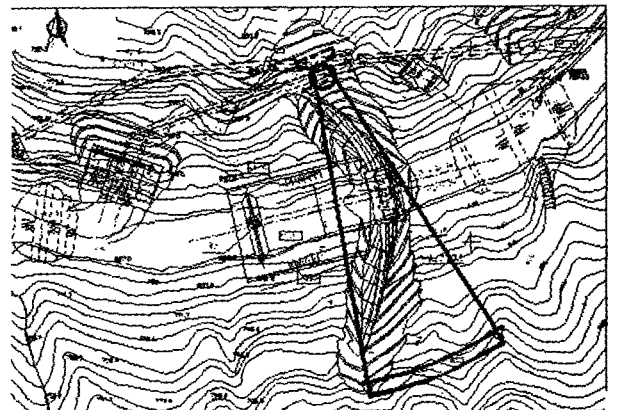


图1 缆机方案平面布置图

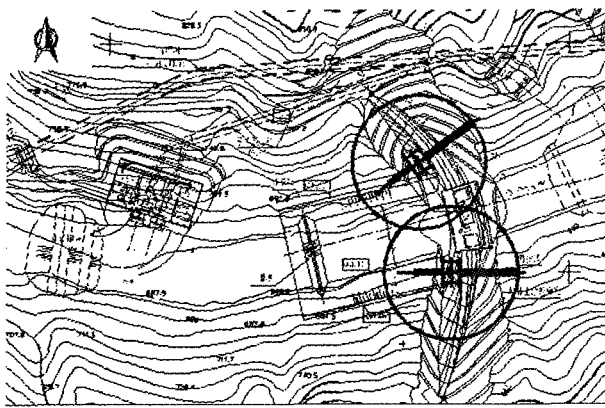


图2 塔机方案平面布置图

#### 4 仿真成果与方案分析

通过仿真计算,得到的成果及分析如下:

(1) 缆机方案和塔机方案在大坝上升关键节点控制高程(挡水、度汛、发电)均满足设计要求。表1给出了两种浇筑方案下仿真计算所得到的施工参数。大坝混凝土月浇筑强度、混凝土浇筑累计曲线见图3。在仿真中实现了对大坝浇筑过程三维动态演示,图4是大坝施工某一时刻的形象面貌及浇筑信息。

表1 各主要设备浇筑强度及设备利用率统计表

主要参数指标	缆机方案	塔机方案
设备最高月浇筑强度( $\times 10^4 \text{m}^3$ )	1.76	1.65
设备平均月浇筑强度( $\times 10^4 \text{m}^3$ )	0.98	0.94
设备平均利用率(%)	30.97	40.84
全坝最大月浇筑强度( $\times 10^4 \text{m}^3/\text{月}$ )	3.41	3.43
全坝平均浇筑强度( $\times 10^4 \text{m}^3/\text{月}$ )	1.89	1.84
不均衡系数	1.80	1.86
总工期(月)	17	17.5

(2) 在本工程中缆机能覆盖除1#坝段外的所有坝段,其混凝土浇筑能力较塔机强。不足之处是供料线较难布置,需在河床两岸设置塔架,经计算缆机平台工程量为石方开挖14.38万 $\text{m}^3$ ,混凝土浇筑1.44万 $\text{m}^3$ ,工程投资相对较高。

(3) 为避免搭设栈桥、影响坝体混凝土块的正常跳仓浇筑,拆、安起重机影响正常施工工期,可将塔式起重机布置在坝后,塔机安装及临建工程量小,相对缆机而言更经济。

综上所述,从大坝混凝土浇筑的技术角度进行分析,缆机方案和塔机方案在大坝施工进度上总工期相差不多,大坝上升关键节点控制高程(挡水、度汛、发电等)均能满足设计要求,但塔机方案机械设备的利

用率较缆机方案高;从经济角度分析,塔机方案较缆机方案投资要小,方案更经济,因此推荐使用塔机方案。

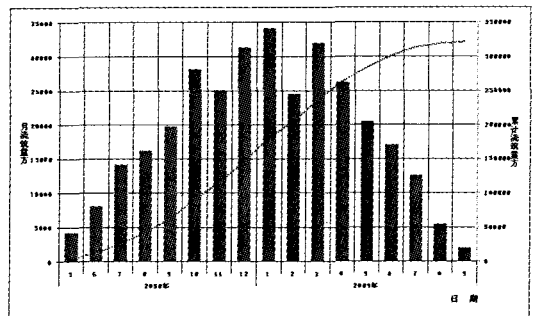


图3 大坝混凝土浇筑强度及累计曲线图

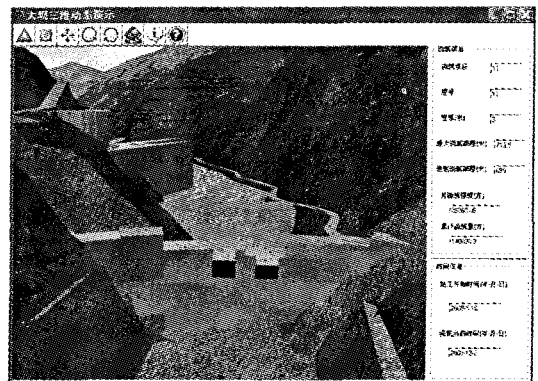


图4 大坝08年12月2日施工面貌及相关信息

#### 5 结语

大坝混凝土施工是一个复杂的系统,浇筑过程中施工条件相互约束及施工规划中的人为因素干扰增加了仿真的难度。本课题研究混凝土坝施工过程仿真,对各施工方案的各项指标进行定量的分析,同时将仿真计算系统与三维可视化系统相结合,直观清楚地描述复杂的施工过程,为大坝的施工过程提供了有效的分析工具。

#### 参考文献:

- [1] 袁光裕编著. 水利工程施工[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [2] 孙锡衡等著. 水利水电工程计算机模拟与程序设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [3] 申明亮, 陈立华等. 向家坝工程大坝混凝土施工过程动态仿真研究[J]. 中国工程科学, 2004, (6): 69.
- [4] 钟登华. 混凝土浇筑过程三维动态可视化仿真[J]. 天津大学学报, 2004, 37(1): 45~49.
- [5] 费广正, 乔林. Visual C++ 6.0 高级编程技术—OpenGL篇. 北京: 中国铁道出版社, 2000.

