

乌东德水电站大坝三维仿真计算机模拟研究

龚毅

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川成都 610081)

摘要:计算机仿真技术可以通过建立浇筑过程仿真模型进行多方案比较分析计算用以研究各个影响浇筑进程要素之间的相互影响,明确不同施工阶段各个要素的影响程度。通过对乌东德水电站大坝混凝土施工在投标阶段的三维仿真模拟研究,为进度计划的制定和未来工程实施阶段的工程控制提供了必要的决策支持。

关键词:BIM;常态混凝土浇筑;乌东德水电站;三维仿真;双曲拱坝

中图分类号:TV7;TV22;TV22.2

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(2014)06-0016-05

1 工程概述

乌东德水电站是金沙江下游河段四个水电梯级——乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝中的最上梯级,坝址所处河段的右岸隶属云南省昆明市禄劝县,是“西电东送”的骨干电源点。

乌东德水电站为I等大(1)型工程,枢纽主要建筑物为1级,设计标准为1000年一遇,校核标准为5000年一遇。挡水建筑物为混凝土双曲拱坝,坝顶高程988 m,最大坝高265 m;泄洪建筑物主要由5个表孔、6个中孔及3条泄洪洞组成;坝体下游设水垫塘和二道坝。

大坝共设置有14个横缝,将坝体分为15个坝段,从左岸到右岸依次为1号到15号坝段。大坝不设纵缝,横缝型式为分段铅垂缝,高程988~930 m、高程905~870 m、高程845~723 m之间为铅垂缝,铅垂缝之间为过渡缝,在岸坡坝顶,横缝底设转折缝。横缝设置键槽并进行接缝灌浆。

2 系统仿真的基本原理

系统仿真(又称为系统模拟)是在不干扰真实系统运行的情况下,为研究系统的性能而构造并在计算机上按照特定的规则运行、表示真实系统的模型的一项技术。系统模拟的优点表现在它不影响和破坏真实系统,同时能够反映真实系统的某些行为,与物理实验相比,它具有易改变、成本低的特点;另一方面,当真实系统的某些因素具有不可实验性时,模拟系统照样可以建立;与解释模型相比,模拟模型可以考虑众多因素,尤其是当这些因素的作用机理非常复杂时,模拟模型的优

越性就更加突出。因此,系统模拟是解决某些复杂系统的、最为有效的手段之一。

3 仿真策略与计算方案设计

鉴于乌东德水电站结构特点和坝体施工特点,本研究结合投标方案以及国内高拱坝施工经验开展仿真研究,采取的仿真策略是:

结合投标方案,通过仿真边界条件、参数变化研究投标方案的可行性以及保障程度;

结合国内外高拱坝施工经验以及仿真计算经验,对乌东德水电站拱坝浇筑上升调仓规则、层覆盖时间控制(涉及缆机运用)等进行多方案比较,以揭示乌东德水电站大坝可能采用的不同的浇筑方式以及相应的坝体浇筑进程、浇筑强度、缆机运用等变化情况。

基于以上仿真策略,本研究对乌东德水电站大坝浇筑进行了以下几方面的重点研究。

(1) 坝体上升方式研究。

高拱坝坝体浇筑上升方式对于岸坡坝段稳定控制、混凝土温控、接缝灌浆悬臂高度控制都有一定程度的影响。通常,高拱坝坝体浇筑上升的过程是:从河床底部最低块开始浇筑,然后逐步扩展;岸坡坝段由于受固结灌浆或岸坡稳定要求控制,通常低于相邻更靠近河床部分坝段的高程,当其上升到一定程度后再按照“高低高”的方式跳仓浇筑,这种浇筑方法通常被称为“顶浇法”。

鉴于乌东德水电站大坝结构和枢纽布置、坝体混凝土浇筑施工特点和招标要求,坝体浇筑上升方式可以有不同的方式:一是泄洪中孔以下一致保持坝体“顶浇”形成的浇筑面貌,到泄洪中孔

收稿日期:2014-09-06

后,钢衬安装会对混凝土浇筑上升方式形成一定的影响,这时可以继续延续这时的面貌,直到坝顶;另一种方式是当岸坡坝段浇筑到一定高程后,通过“倒高差”实现坝体跳仓控制,这种方式下可以根据高程控制“倒高差”的部位,图 1 和图 2 为两种不同的“倒高差”控制方式。

(2)718 m 基础高程施工方案适应性研究。

根据招标文件,乌东德水电站大坝基础高程可能从 723 m 高程降低到 718 m 高程。方案的适应性对于保证未来大坝施工具有重要影响。方案比较情况见表 1。

(3)混凝土胚层的覆盖时间。

胚层覆盖的时间间接影响缆机的运用,进而影响到坝体浇筑进程以及温度控制。对于同样的胚层面积情况,层覆盖时间要求短,需要配备的缆机数量多,相反,覆盖时间长,需要配备的缆机数量就少。

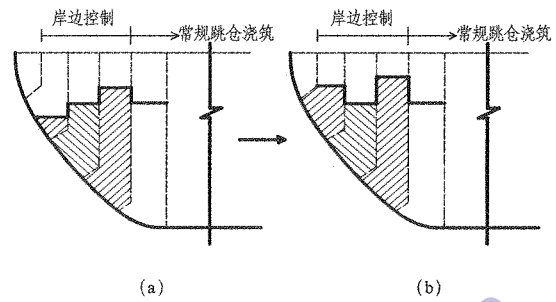


图 1 陡坡高高程“倒高差”岸坡控制方式示意图

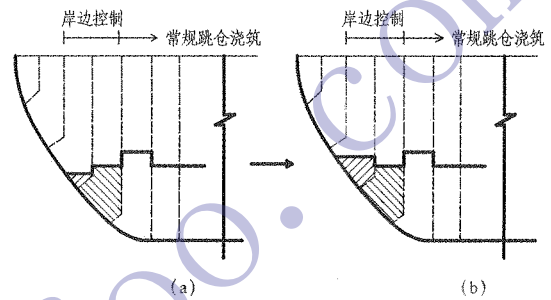


图 2 陡坡低高程“倒高差”岸坡控制方式示意图

表 1 模拟计算方案设计表

模拟计算方案	方案计算边界条件	方案特点	研究目的
基本方案	岸坡坝段跳仓方式 1 - 靠近岸坡的 3 个坝段呈岸坡到河床方向的台阶,其他坝段按照需要跳仓,如图 1 所示	相邻坝段基本在中孔部位倒高差,陡坡坝段稳定性高	论证分析投标方案的可行性、合理性
比较方案 1	岸坡坝段跳仓方式 2 - 岸坡坝段低块高于上部未开仓块基础高程 6 m,上部块开浇,待上部块浇筑到一定高程后,可以根据需要超过下部块,如图 2 所示	优势是中孔以下坝体浇筑均衡上升,有利于坝体接缝灌浆悬臂高度的控制,可以加快该部分区段浇筑的进度和强度	比较岸坡调仓方式的不同对于坝体浇筑进程的影响
比较方案 2	混凝土胚层覆盖时间控制在 2.5~4 h	坝体单仓浇筑时间缩短,需要的缆机入仓强度高	研究胚层覆盖时间对于坝体浇筑进程和缆机调配的影响
比较方案 3	河床开挖至 718 m 高程时,其他参数同基本方案		探讨开挖基坑至 718 m 高程投标方案的适应性。
比较方案 4	河床开挖至 718 m 高程时,适当放松基本方案的过强边界约束条件		探讨基坑开挖深度加深后,通过常见的工程进度加快措施是否可以提高基本方案的适应性

4 高拱坝浇筑模拟系统

4.1 系统开发与运行环境

(1)系统开发。

本系统是基于 Microsoft Visual Studio 软件开发平台的 Visual C#高级程序设计语言开发。系统基于离散时间仿真原理,采用了面向对象、数据库、CAD 二次开发等技术。

系统为 Windows 风格,具有良好的通用性、交互性和可移植性。由于模拟参数和模拟结果的全数据库组织,因此,可以与水利水电工程建设管理信息系统进行对接和数据交互。

(2)运行环境。

本系统需要在 Windows7、8 系统下运行,要求的计算机内存为 4 GB,屏幕最低分辨率为 1 024 × 768;CPU 运行速率最好为 2.4 GHz 以上;系统需要 Auto Cad2010、Office2010 版本支持。

(3)运行步骤。

①新建工程。

执行 ConcreteDamSimAPP. EXE,选择新建菜单,系统将新建一个工程并创建相应的文件夹。

②打开工程。

执行 ConcreteDamSimAPP. EXE,选择打开文件菜单,打开要模拟的方案;也可以通过文件管理器进入要打开的工程文件夹,选择工程名. Dwg 文

件打开,然后再运行 ConcreteDamSimAPP. EXE。

③保存工程。

在进行运行模拟计算时,系统自动保存一个阶段的模拟结果;参数调整时,在点击相应的菜单后,系统自动保存改变的数据。

4.2 系统功能与系统界面

(1)系统功能。

本软件主要针对常态混凝土坝浇筑过程模拟而设计,其主要功能包括:

- 常态混凝土坝浇筑过程模拟;
- 坝体工程量计算与查询;

模拟模型参数的输入与修改;

坝体分阶段模拟;

基于随机环境因素的模拟;

模拟浇筑过程中的坝体上升过程、月浇筑强度、机械利用率和浇筑强度、接缝灌浆进程、老混凝土量及发生部位等浇筑过程信息的查询和统计分析。

(2)系统界面。

系统运行主界面如图 3 所示。系统主界面包括的菜单项为:项目管理、参数编辑、仿真与计算、仿真结果查询和帮助。

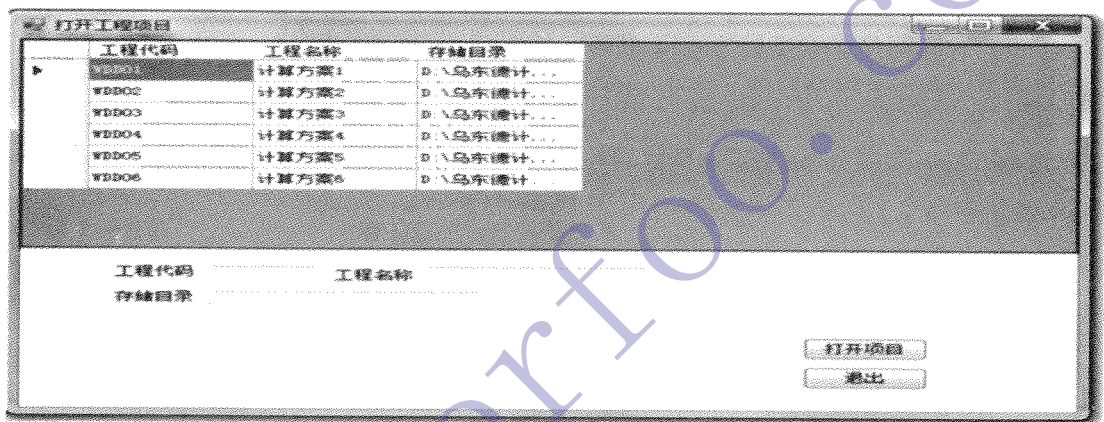


图 3 系统运行主界面图

(3)模拟参数编辑界面。

与 CAD 相结合,设定坝块基本参数、赋予 CAD 实体以名称、设定相邻关系等。

①坝块编辑界面如图 4 所示。坝块编辑界面

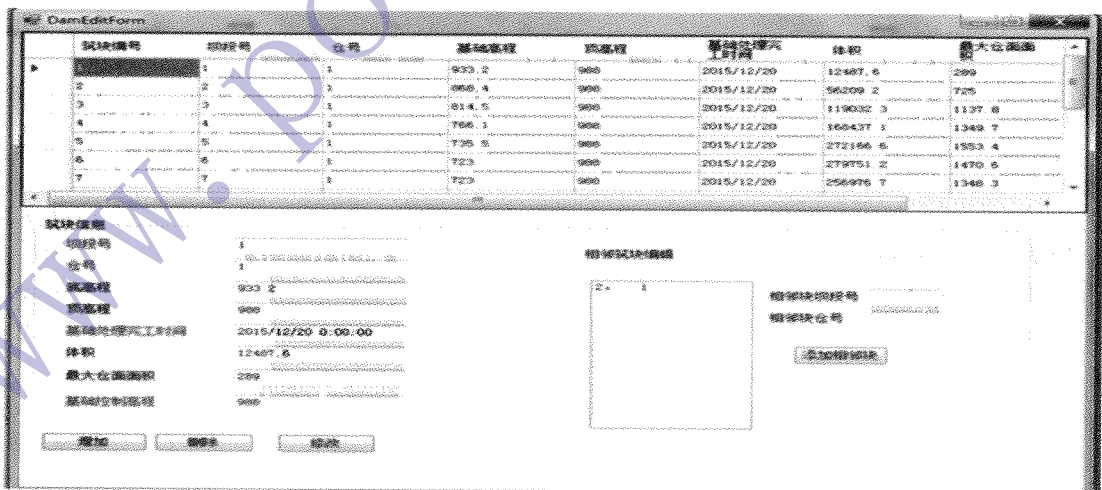


图 4 坝块编辑界面图

5 模拟计算方案的综合对比分析

从坝体最后一块到顶时间上看:对于 5 个方案,最早的是比较方案 2,即 723 m 基础高程,缩短混凝土层覆盖时间方案。该方案除层覆盖时间

外,其他边界条件与基本方案完全相同,坝体最后一块混凝土到顶的时间为 2019 年 2 月 13 日;最迟为比较方案 3,即基础开挖至 718 m 高程方案,坝体最后一块混凝土到顶的时间为 2019 年 4 月

29日,通过采取一定的措施后,与方案3相应的方案4坝体到顶时间提前到2019年3月14日。基本方案的坝体到顶时间为2019年3月22日(图5)。

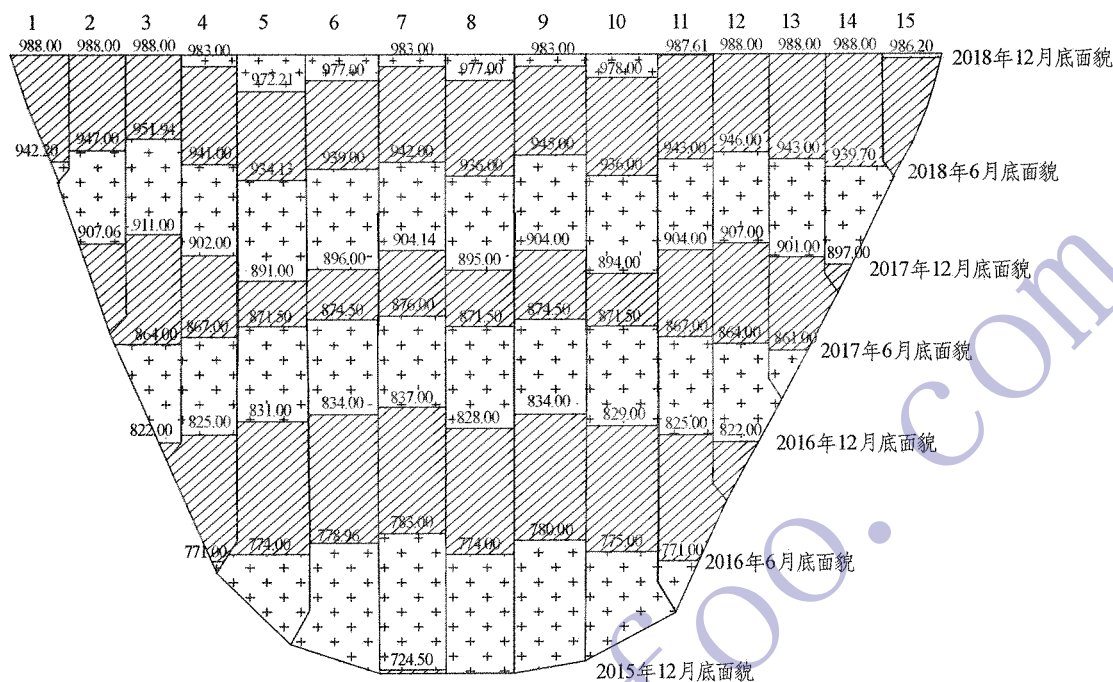


图5 基本方案中坝体每半年浇筑面貌图

从控制性进度满足情况看:坝体浇筑混凝土高度方面,5个方案中2018年5月底坝体最低块高程均超过要求的915m高程,2018年10月底均超过要求的950m高程;接缝灌浆方面,基本方案、比较方案2、比较方案4在2019年2月底接缝灌浆均达到要求的945m高程。比较方案1、3略滞后于要求。

从月浇筑高峰强度看:5个方案坝体浇筑强度均接近或略超过 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。基本方案、比较方案3月混凝土浇筑高峰均出现在2016年12月,比较方案1的月混凝土浇筑高峰强度出现在2017年1月。比较方案2的月高峰强度出现在2016年10月,比较方案4的月高峰强度出现在2018年1月(图6)。

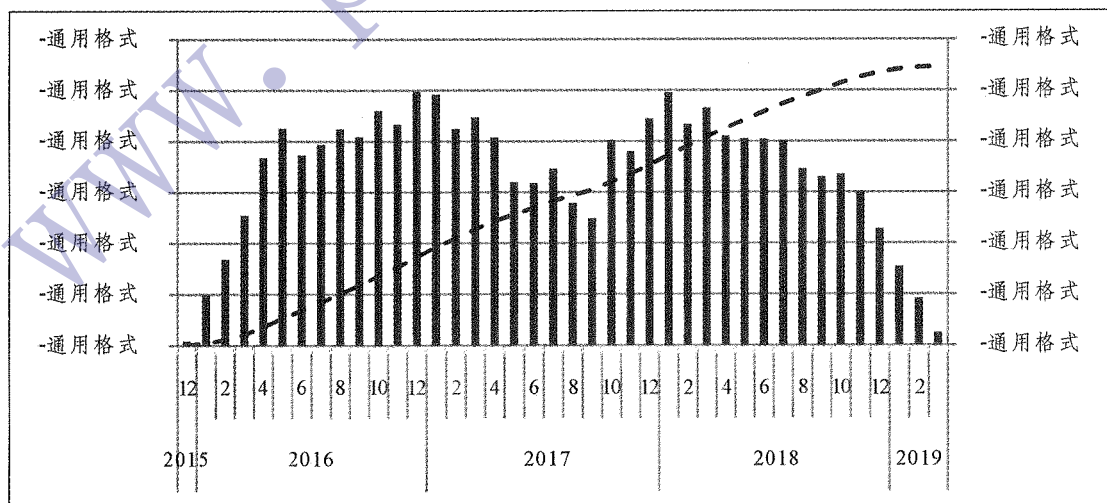


图6 基本方案月浇筑强度直方图

从缆机月高峰浇筑强度和浇筑混凝土利用效率方面看:5个计算方案中3台缆机平均高峰浇筑强度在 $3.3 \sim 3.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 之间,最高的是比较方案2,即缩短层覆盖时间方案。该方案在有效时间内浇筑混凝土的时间利用率也最高,为71%,其他均为60%左右。

6 仿真结论

《乌东德水电站大坝浇筑进度仿真》系统具有通用性强、控制灵活、操作方便,可以与“乌东德水电站数字大坝”系统进行互访问,便于在工程实施期进度计划调整和实时控制。通过对乌东德水电站拱坝枢纽布置、施工特点分析,紧密结合施工组织设计方案,建立了乌东德水电站大坝仿真模拟模型,并进行了5个方案的仿真计算分析,计算分析的主要结论如下:

乌东德水电站大坝位于典型的窄“U”型河谷,河谷陡峭;同时,泄洪中孔坝段多,在15个坝段中布置了6个泄洪中孔;方案采取的河床坝段领先浇筑、到中孔附近岸坡坝段再逐步跳仓的坝体上升方案是适宜的。采用低高程调仓虽然可以均衡坝体浇筑强度,但一定程度上会影响领先块的上升,对于提早进行中孔钢衬安装有不利影响,其原因与乌东德大坝结构布置、河谷地形特征有关。

按照大坝施工组织设计方案,坝体从开浇到所有坝段浇筑至坝顶历时38个月左右;坝体高峰月浇筑强度接近 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$,与P3进度计划分析的强度略有不同,出现在2016年12月或2017年1月,坝体浇筑部位为830 m高程附近,可浇坝段数为9~10个,整个坝面面积在 $10\,000 \text{ m}^2$ 左右。

(上接第12页)

由于采用钢模台车衬砌引水隧洞圆弧段,混凝土外观质量达到了与平段相同的效果。因钢模台车面板从12 m长改装为6 m长,增加了混凝土衬砌分仓单元,但施工完成后圆弧成形效果较好,外弧中心仅脱离设计结构线8 cm,内弧也仅侵占设计结构线8 cm,圆弧段整体折线从视觉上不明显。如此实施,减少了采用组合钢模板二次浇筑成型形成的顺水流方向的两条水平施工缝,满足

坝体浇筑强度出现的两个明显的高峰时段为2016年9月~2017年3月和2017年10月~2018年3月。

乌东德水电站大坝上升受泄洪中孔影响比较大,从2017年3月开始,泄洪中孔牛腿部位混凝土浇筑到2018年2月坝体浇筑过中孔闸门大梁,历时近一年,该段施工是乌东德大坝施工的关键阶段。

3台缆机的坝体混凝土入仓浇筑设备方案可以满足坝体混凝土浇筑强度和层覆盖时间要求。从缆机月浇筑混凝土强度看,中间一台缆机负担的混凝土浇筑强度大,达到 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3$,其他两台缆机高峰时段月浇筑混凝土强度为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 左右。高峰时段3台缆机平均利用效率(混凝土浇筑时间/月有效工作时间)为60%左右,说明缆机尚有一定时间辅助吊装。

当河床基础开挖至718 m高程时,施工组织设计方案采取了一些常规措施后也可以满足工期和控制性进度要求。另外,本工程坝体自下而上单个坝段浇筑仓面面积随高程变化不大,中孔906 m高程附近部位坝面面积基本上是坝体最大面积高程部位,整个大坝坝面面积达到 $13\,000 \text{ m}^2$ 左右,可浇坝段多,缆机吊深小,有利于充分发挥缆机浇筑混凝土的效率,而且二道坝在这个期间基本到顶,方案在这段安排的混凝土强度不高,有一定的提高坝体浇筑速度和加快进度的余地。

作者简介:

龚翼(1980-),男,重庆市人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

了设计要求。

5 结语

俄公堡水电站引水隧洞采用改装后的钢模台车运用于圆弧段的实例,解决了施工中的技术难题,节约了费用,满足了设计要求,达到了业主对工程的质量要求,取得了较好的效果!

作者简介:

谭城隆(1981-),男,重庆开县人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)