

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2010.05.015

基于 CATIA 的重力坝可视化设计

董甲甲¹,杨 磊²,杜燕林³

(1.黄河勘测设计有限公司,河南 郑州 450003;2.黄河水利科学研究院,河南 郑州 450003;
3.华北水利水电学院研究生处,河南 郑州 450011)

摘要 以重力坝的设计方案为研究对象,将 CATIA 平台引入水工建筑物设计领域,建立了重力坝各个部分三维参数化模型。通过自上而下的三维设计理念,对重力坝各个部分的三维模型进行装配,在多视角、全景观的可视化环境下,完成了诸如地质模型构建、坝址选择、坝体结构划分、坝体模型建立、附属建筑物建模、各部分模型装配等一系列设计过程,实现了重力坝的三维模型化设计。该设计方案对重力坝设计提出了新的思路 and 方向,有益于重力坝的整套设计过程向集成化、参数化和智能化延伸。

关键词 :CATIA ;重力坝 ;可视化设计 ;参数化模型

中图分类号 :TV222.1 ;TV642.3 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2010)05-0057-04

Visual design of gravity dams based on CATIA//DONG Jia-jia¹, YANG Lei², DU Yan-lin³ (1. Yellow River Engineering Consulting Company, Zhengzhou 450003, China ;2. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China ;3. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract :Based on the design proposals of a gravity dam, the CATIA platform was introduced into the design domain of hydraulic structures, and the establishment of 3D parametric models for each part of the gravity dam was realized. According to the top-down 3D design idea, the 3D models for each part of the gravity dam were assembled. Under the visual environment with multi-angles of view and panoramic perspective, a series of design processes were accomplished, such as establishment of geological model, selection of dam site, division of dam structure, establishment of dam model, establishment of model for appurtenant structures and assemble of various models, and 3D model design of the gravity dam was realized. The present design proposal provides a new way for the design of gravity dams, and it is beneficial to integrate, parameterize, and intelligitize the whole design process of gravity dams.

Key words :CATIA ;gravity dam ;visual design, parametric model

从目前世界各国所修建的大坝来看,重力坝是一种重要的、有代表性的坝型^[1]。在我国,重力坝已被广泛采用,如新安江、古田、丹江口、刘家峡、三门峡、黄龙滩、龚嘴、乌江渡、潘家口、三峡等水利枢纽均采用混凝土重力坝坝型。在重力坝工程的建设过程中,工程设计是最重要的环节之一,设计方案的优劣、设计水平的高低以及设计周期的长短都直接影响着工程建设的质量和投资。随着工程技术的进步和发展,传统的二维设计方案已经适应不了现代重力坝设计过程中工作任务重、设计周期短和质量要求高的特点。采用三维可视化的方法来优化重力坝的设计过程,不仅能够全面提高工程设计的质量、效率和水平,而且可以最大限度地节约人力物力、缩短

建设周期和减少设计失误,并能够顺应水利水电行业三维设计信息化的趋势,推动我国水利水电产业由粗放型向集约型转化,为科学技术改造传统水利水电产业提供新思路。设计采用的 CATIA 平台是一款功能强大的 CAD/CAE/CAM 一体化终端,其设计技术和解决方案在世界上处于领先地位,目前已广泛应用于航空航天、机械制造、电器电子、土木工程等领域,并逐渐向水利水电、岩土工程、地理信息、资源环境等领域发展。

1 设计目标

该设计依据重力坝的设计流程,立足可视化思想,将参数化特征造型方法应用于重力坝三维设计

基金项目 水利部“948”计划(200903)
作者简介 董甲甲(1983—),男,河南许昌人,硕士,从事水工建筑物可视化仿真与设计研究。E-mail :dongjiajiawang@126.com

中,运用 CATIA 平台实现重力坝的参数化建模,并生成用于指导施工的工程图,具体设计目标如下:

①根据地质信息建立三维地质模型,在此基础上依据重力坝设计规范进行坝址选择,采用自上而下的三维设计理念拟定骨架元素,如坝肩控制点、坝轴线以及 0+000.00 桩所在平面等。

②在对重力坝设计理念和步骤深入掌握的前提下,以某重力坝工程为例,参照混凝土重力坝设计规范,对重力坝工程从结构上进行划分,并通过 CATIA 实现重力坝各个部分的三维参数化建模。

③运用 CATIA 装配设计模块,参照骨架元素进行重力坝各个部分三维模型的装配,并通过开挖等结构上的处理,实现整个重力坝工程的三维设计。

④在可视化设计的基础上,可以对整体重力坝三维模型进行深层次的研究,如三维模型至二维工程图的快速转换,各种工程量的快速量取,结合 CATIA 自身优势进一步开展对渲染、仿真以及与有限元结合的研究等。

2 设计过程的实现

2.1 坝址的选择

重力坝的设计是在充分了解地质条件的情况下进行的,设计人员需要通过对地质模型的分析来确定坝址,进而完成整个大坝的设计。在地质模型构建过程中,应首先运用地形测量仪器(如经纬仪、全站仪、激光雷达等)获取坝址区的原始地质数据,从复杂实体或实景中重建坝址地区的全景三维数据及模型,为后续重力坝设计做好铺垫。通常情况下,选择坝址时应全面研究枢纽附近的地质环境、地形布局、水流状况,以及建筑材料、施工环境、枢纽布置等条件。通过对地质信息的全面分析,并考虑到枢纽布置技术上的可行性,确定坝址、坝轴线的位置。坝轴线的位置一旦确定,它将和地质模型一起作为整个工程的关键定位,以此为参照确定重力坝各个部分与地质模型之间的相关关系,自上向下地传递设计数据,规范地完成重力坝的后续设计。限于文章篇幅和主旨,不再讨论地质模型的创建和坝址选定等过程,而设定左右坝肩的控制点 A 和 B 等要素均为已知,并将其一同发布出去当做骨架,作为整个工程的定位关键和布置依据。

2.2 坝体结构的划分

重力坝的体型结构很复杂,如果不进行划分,不仅参数繁多,而且体现不出挡水坝、溢流坝和内部廊道等结构相互独立的特征,所以在重力坝模型设计中首先要考虑如何把复杂的重力坝进行合理拆分,使之成为多个简单模型的组合。

重力坝可简单地分为挡水坝段和溢流坝段两部

分,另外还包括廊道、排水管和帷幕等细节。以溢流坝为例,其设计过程主要包括:

①根据河道的地形地质条件确定溢流坝段的平面位置。

②拟定非溢流坝坝体轮廓尺寸并进行稳定及应力计算。首先确定坝顶高程,根据坝顶的交通、运行等要求初步拟定坝顶宽度,根据地质资料和规范要求拟定河床和两岸岸坡坝段的建基面高程,以及上下游坝坡和折坡点高程;其次,根据规范要求拟定各设计工况并进行相应工况的荷载计算、稳定和应力计算,再次,根据稳定和应力计算结果调整断面尺寸,直到稳定和应力均满足规范要求并使坝体工程量最省。

③根据下游河道的地质条件和水位情况确定消能方式,通过水力计算拟定溢流坝坝体轮廓尺寸并进行稳定及应力计算。

设计过程中,可将地质模型作为一个基本对象,在此基础上建立挡水坝和溢流坝等主要建筑物,最后考虑廊道、导墙、闸门等其他建筑物。坝体结构划分时可以把地形模型看做一个大的实体图元,其他部分均看做是大图元中的小实体,最后得到的重力坝实体就是这些大小实体的组合,把重力坝完全抽象为若干对象的集合。

2.3 坝体模型的建立

2.3.1 挡水坝段的建模

挡水坝段的设计要素主要包括坝顶高程、坝顶宽度、坝坡、上下游起坡点位置及底宽等^[2]。

a. 坝顶高程的确定。坝顶高程分别按设计和校核 2 种情况考虑,波浪要素可按适用于内陆峡谷水库的官厅公式计算,放浪墙至设计洪水位或校核洪水位的高差可设定为累计频率为 1% 的波高、波浪中心线至计算水位的高度以及安全超高三者之和。

b. 坝顶宽度的拟定。为了适应运用和施工的需要,坝顶宽度一般取最大坝高的 8% ~ 10%,且不小于 2m。若有交通要求或有移动式启闭设施时,应根据实际需要确定。

c. 坝坡的拟定。考虑坝体利用部分水压力增加其抗滑稳定,根据工程实践,上游边坡系数 n 为 0.1 ~ 0.2,下游边坡系数 m 为 0.6 ~ 0.8。底宽为坝高的 0.7 ~ 0.9 倍。

d. 上下游起坡点位置及底宽的确定。上游起坡点位置应结合应力控制标准,一般起坡点在坝高的 $1/3 \sim 2/3$ 附近,下游起坡点的位置应根据坝的实用剖面形式、坝顶宽度,结合坝的基本剖面计算得到。

在 CATIA 中建立挡水坝段典型剖面所在的平面,在此平面内创建草图,绘制挡水坝段典型剖面,运用 CATIA 拉伸命令实现挡水坝段从二维典型剖面到三维模型的转换,并对模型添加约束尺寸,提取

参数,使所建模型参数化。设计后的挡水坝段如图 1 和图 2 所示。



图 1 挡水坝段模型上游侧



图 2 挡水坝段模型下游侧

2.3.2 溢流坝段的建模

溢流坝既是挡水建筑物又是泄水建筑物,不仅要满足稳定和强度要求,还要满足泄水要求。因此需要有足够的空间尺寸、较好体型的堰型,以满足泄水的要求,并使水流平顺,不产生空蚀破坏。

a. 溢流坝泄水方式的选择。溢流坝的泄水方式主要有 2 种:开敞溢流式和孔口溢流式。以开敞溢流式为例,除泄洪外还可排除冰凌或其他漂浮物,堰顶不设闸门时堰顶高程等于水库的正常高水位,泄洪时库水位雍高,从而加大了淹没损失,但其结构简单,管理方便,适用于泄洪量不大、淹没损失小的中小型工程。设置闸门的溢流坝,闸门顶高程大致与正常高水位齐平,堰顶高程较低,可利用闸门的开启高度调节库水位和下泄流量,适用于大型工程及重要的中型坝。

b. 孔口设计。孔口设计主要包括洪水标准的确定、设计流量的确定、单宽流量的确定、孔口尺寸的确定和布置、溢流堰顶高程的确定等,可依据相关标准^[3]和规范^[4]进行计算。

c. 消能防冲设计。溢流坝顶下泄的水流具有很大的能量,必须采取有效的消能措施保护下游河床免受冲刷。消能防冲设计主要包括连续式鼻坎设计、挑距和抗冲估算等环节。

d. 溢流面体型设计。溢流面由顶部曲线段、中间直线段和反弧段 3 部分组成。主要设计内容包括顶部曲线段的设计和溢流坝剖面的绘制等。

溢流坝段的 CATIA 参数化建模与挡水坝段类

似,不同之处在于其根据溢流曲线方程、运用 CATIA 的规则曲线准确模拟溢流坝段的溢流面,以保证所建溢流坝段模型精准。设计后的溢流坝段如图 3、图 4 所示。



图 3 溢流坝段模型上游侧



图 4 溢流坝段模型下游侧

2.3.3 重力坝附属建筑物的建模

2.3.3.1 廊道三维模型的创建

为了满足灌浆、排水、观测、检查和交通等要求,需要在坝体内设置各种不同用途的廊道,这些廊道相互连通,构成廊道系统^[5]。廊道断面多为城门洞形,宽度和高度应能满足灌浆作业的要求,一般宽为 2.5 ~ 3 m、高为 3 ~ 4 m。底面距基岩面不宜小于 1.5 倍廊道宽度。灌浆廊道随坝基面由河床向两岸逐渐升高,坡度不宜陡于 40° ~ 45°,以便钻孔、灌浆及搬运设备。

在 CATIA 环境下,只要确定典型剖面、给出轴线就能够完成三维模型的创建,而且轴线可以是直线、折线甚至是曲线,适用与廊道三维模型的创建。廊道截面相对简单,只要确定廊道起点桩号、截面中心位置以及轴线走向,便可以完成三维模型的创建。

2.3.3.2 溢流坝导墙及闸墩的三维模型创建

在 CATIA 中只需创建 1 个导墙和桥墩模型,通过镜像和阵列功能控制导墙和桥墩的个数及间距,快速实现两边导墙和溢流坝段上多个桥墩模型的创建。闸墩的平面形状应满足如下要求:在上游端使水流平顺,减小孔口水流的侧收缩;在下游端可减少墩后水流的水冠和冲击波。所以上游常采用半圆形或椭圆形,下游端一般采用流线型圆弧或半圆形曲线。设计后的廊道、闸墩及导墙如图 5 和图 6 所示。

2.4 各部分模型的装配

装配设计即产品的高效管理和装配设计,它体



图5 廊道模型



图6 闸墩及导墙模型

现了在装配环境下可由用户控制关联关系的设计能力,通过使用自上而下和自底向上的方法管理装配层次,使装配设计和单个零件设计之间的并行工程得以实现^[6]。装配设计通过使用图形化的命令建立机械设计约束,可以直观方便地将零件放到指定位置,并通过修改参数实现零件尺寸和位置的动态更新。设计者可以重新排列产品的结构,动态地把零件放到指定位置,并进行干涉和缝隙检查。系统提供了多种高效的工作方式和直观的用户界面,功能强大,使用方便,大幅度减少设计时间和提高设计质量。通过装配设计,可以将重力坝各个部分有机地装配成一个完整的重力坝工程,服务于实际设计需要,实现重力坝工程实际意义上的三维设计。

要进行装配设计,首先要对挡水坝模型、溢流坝模型及其附属建筑物的模型参数按照设计进行修改,CATIA 所建的模型尺寸与参数相关联,只需修改参数就能实现模型的自动更新。重力坝模型是在零件基础上建立的,创建一个产品对象,把挡水坝模型、溢流坝模型及其附属建筑物作为产品的一个个零件,参照骨架元素把这些按照设计修改参数后的模型零件有机地装配起来,以构成完整的工程。主要装配过程有 地质模型和骨架装配、知识模板功能的挡水坝模型装配、知识模板功能的溢流坝模型装配、导墙和闸墩的模型装配、工作桥及其他模块的装配、廊道的模型装配等。装配过程主要通过模型对象的组合、扩展和参数化装配来实现,CATIA 为这些操作提供了专门的功能模块,操作并不复杂,这里不再赘述。模型装配完成以后可将整体模型发布出来作为一个整体,如图7所示。

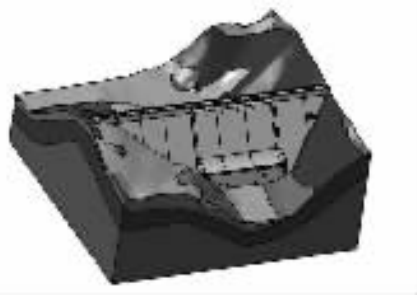


图7 发布的重力坝设计模型

3 结 语

重力坝三维可视化设计是一个复杂的过程,必须全方位、多角度地开展研究工作,以确保研究成果具有客观性,并能够有效地指导决策过程。笔者针对重力坝设计的具体情况,基于 CATIA 平台,运用自上而下的三维设计理念系统地对重力坝参数化设计方法进行了研究,结合2个重力坝工程实例,实现了重力坝的可视化设计。研究认为:①参照重力坝设计规范和重力坝的设计思想,按照结构特点,可将重力坝工程划分为地址地形部分、挡水坝部分、溢流坝部分、廊道系统和闸墩等结构,对重力坝各个部分分别建模,并实现其参数化。②根据自上而下的三维装配设计理念,运用知识工程方法,可将各部分参数化模型转换成为文档模板,为重力坝工程的三维模型装配打好基础,通过调整各个文档模板的参数可使数据满足重力坝工程的要求,并能够完成重力坝工程三维模型的装配和开挖。③三维模型建立以后,为使所建模型更加智能化、自动化、并行化且更符合行业标准和规范,可对重力坝模型的混凝土分区、模型的二维图转换、工程量的量取、模型有限元分析、局部功能的二次开发、程序驱动模型的自动建立等问题做进一步的研究,使实际工程模型全景观地展现在设计人员面前,以更好地服务于工程。

参考文献:

- [1] 华东水利学院.水工设计手册第五卷 混凝土坝[M].北京:水利电力出版社,1987.
- [2] 焦爱萍.水利水电工程专业毕业设计指南[M].郑州:黄河水利出版社,2003.
- [3] SL252—2000 水利水电枢纽工程等级划分及设计标准规定[S].
- [4] SL319—2005 混凝土重力坝设计规范[S].
- [5] 林继镛.水工建筑物[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [6] 鲁君尚,张安鹏,王书满,等.无师自通 CATIAV5 之装配设计与实时渲染[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.

(收稿日期 2009-11-13 编辑 高建群)