

国家大坝安全工程技术研究中心支撑项目

# 水利水电工程 三维可视化设计

翁永红 陈尚法 著



长江出版社

水利水电工程三维可视  
A3264232  
TV222  
W67

国家大坝安全工程技术研究中心支撑项目

# 水利水电工程 三维可视化设计

翁永红 陈尚法 著



A3264232

长江出版社

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程三维可视化设计/翁永红,陈尚法著. —武汉:  
长江出版社, 2014.12  
ISBN 978-7-5492-1999-5

I. ①水… II. ①翁…②陈… III. ①水利水电工程—工程设计  
IV. ①TV222

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 318356 号

水利水电工程三维可视化设计

翁永红,陈尚法 著

责任编辑:张蔓

出版发行:长江出版社

地 址:武汉市解放大道 1863 号

邮 编:430010

E-mail:cjpub@vip.sina.com

电 话:(027)82927763(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉市首壹印务有限公司

规 格:787mm×1092mm

1/16

26 印张

550 千字

版 次:2014 年 12 月第 1 版

2014 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5492-1999-5

定 价:60.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

## 前 言

计算机技术领域的 CAD 技术,给各行各业专业人员带来了设计技术的变革,成为提高产品设计质量、加速产品更新换代的重要工具。20 世纪 80、90 年代,设计手段实现了第一次飞跃,即从手工绘图到计算机绘图的转变。当时提出了一个生动而又响亮的口号:甩掉图板!伴随着微型计算机的迅速普及和计算机性能的提高,这一开始看上去有些遥不可及的目标,在 20 世纪 90 年代中期的几年间完全变为现实。

随着现代设计行业及工程管理的技术要求越来越高、问题越来越复杂、客户要求产品的智能化程度越来越高,以及实体造型、网络等技术的发展,设计方法又面临且正在进行着第二次飞跃,即向数字化设计和三维协同设计方向发展,这不仅包括设计手段的变化,还蕴含着设计理念的更新与变革。在部分发达国家机械制造行业,三维 CAD 技术已经取代了二维 CAD 技术,对产品设计与生产制造组织管理方式产生了深远影响。

当今电力需求日益增加、节能减排问题日趋突出。在“环保先行、积极推进”原则以及国家西部大开发战略的指导下,我国水利水电工程正处于建设高峰。未来行业的快速发展,使得从事水利水电的设计单位面临来自业主对设计周期、设计质量高要求的压力,面临来自设计单位内部承担的项目多、工作量大的压力,面临来自单位长远发展带来的国际竞争与合作、国际设计标准的压力;不同国家、不同行业、不同专业之间沟通和协调将更为重要,开展水利水电工程三维可视化设计技术研究,利用三维 CAD 可视化技术完成重复性、烦琐性、规律性的工作,不仅可以减轻设计人员的劳动强度,提高设计效率,而且设计成果直观、可视,有利于保证成果质量,减少出错率,同时可大大提高专业之间的协调性和不同层次的沟通效率。

本书文字力求通俗易懂,用比较生动的语言讲述水利水电工程三维可视化的技术内容,力求内容全面、翔实和实用,注重于工程实践。各章节内容联系紧密,循序渐进,贯穿于水利水电工程的工程地形测量、工程地质、水工建筑物结构设计、水工结构配筋、三维可视化系统设计数据融合、建筑物多源纹理技术、遥感移民解译技术、交互式三维及移动式三维可视化技术等。参加本书编写的人员均为长期从

事水利水电工程设计的工程师,书中融入了很多个人在工程应用中的深刻体会,从工程应用的角度来帮助读者加深理解,更加合理地在实际中应用三维可视化设计技术,力求使从事水利水电工程设计的读者能有所收获。

本书由翁永红、陈尚法总体策划并统稿。参加编写的人员有(按姓氏拼音排序)陈尚法、程晓君、范青松、黄少华、李盛青、刘聪元、刘小飞、苏培芳、翁永红、王进丰、严勇、杨薇、杨新军、张恒飞、郑迪等。

本书引用了长江勘测规划设计研究院大量的设计成果及文献资料,并得到了设计院多位专家的大力支持,在此,谨向他们表示衷心的感谢!

由于本书涉及专业众多,编写时间仓促,加之作者水平有限,错误与不当之处在所难免,敬请同行专家和广大读者批评指正。

著 者

2014 年 8 月

# 目 录

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 第一章 绪 论 .....                     | 1   |
| 1.1 三维计算机辅助设计技术发展概况 .....         | 1   |
| 1.2 水利水电工程三维可视化设计发展情况 .....       | 4   |
| 1.3 三维可视化设计特点 .....               | 7   |
| 1.4 本书主要内容 .....                  | 8   |
| 第二章 地形三维可视化技术 .....               | 10  |
| 2.1 概述 .....                      | 10  |
| 2.2 空间数据获取与处理 .....               | 30  |
| 2.3 三维地形模型及数字地形分析 .....           | 59  |
| 2.4 水利工程中地形三维可视化技术及应用 .....       | 84  |
| 2.5 地形三维可视化信息系统建设 .....           | 91  |
| 2.6 地形三维可视化的技术难点分析及展望 .....       | 107 |
| 第三章 地质三维可视化技术 .....               | 109 |
| 3.1 概述 .....                      | 109 |
| 3.2 地质三维可视化理论及软件选择 .....          | 111 |
| 3.3 基于 GOCAD 地质三维可视化建模方法 .....    | 117 |
| 3.4 模型优化、维护与更新 .....              | 125 |
| 3.5 模型综合应用 .....                  | 127 |
| 3.6 接口 .....                      | 130 |
| 3.7 工程实例 .....                    | 131 |
| 3.8 结语 .....                      | 134 |
| 第四章 基于 CATIA 的水利水电工程三维可视化设计 ..... | 136 |
| 4.1 三维几何造型 .....                  | 136 |

|            |                                 |            |
|------------|---------------------------------|------------|
| 4.2        | CATIA 软件水工三维设计过程与特点 .....       | 145        |
| 4.3        | 重力坝三维设计 .....                   | 161        |
| 4.4        | 拱坝三维设计 .....                    | 165        |
| 4.5        | 面板坝三维设计 .....                   | 170        |
| 4.6        | 电站厂房三维设计 .....                  | 172        |
| 4.7        | 道路三维设计 .....                    | 175        |
| 4.8        | 水利水电工程三维设计协同技术 .....            | 179        |
| <b>第五章</b> | <b>水工结构三维 CAD 系统 .....</b>      | <b>188</b> |
| 5.1        | 概述 .....                        | 188        |
| 5.2        | 水工结构三维 CAD 系统架构设计 .....         | 192        |
| 5.3        | 水工结构三维参数化设计 .....               | 200        |
| 5.4        | 水工结构三维配筋设计 .....                | 216        |
| 5.5        | 水工结构信息转换 .....                  | 232        |
| 5.6        | 水工结构工程图设计 .....                 | 249        |
| 5.7        | 工程应用 .....                      | 263        |
| 5.8        | 小结 .....                        | 264        |
| <b>第六章</b> | <b>三维可视化系统设计数据融合技术 .....</b>    | <b>267</b> |
| 6.1        | 地形地质模型融合技术 .....                | 267        |
| 6.2        | 地质与水工建筑物融合技术 .....              | 277        |
| 6.3        | 水工结构与机电融合技术 .....               | 281        |
| 6.4        | CATIA 三维水工结构模型与三维配筋系统融合技术 ..... | 299        |
| 6.5        | 水工结构三维模型与三维可视化平台融合技术 .....      | 300        |
| <b>第七章</b> | <b>三维可视化系统多源纹理技术 .....</b>      | <b>310</b> |
| 7.1        | 概述 .....                        | 310        |
| 7.2        | 纹理获取 .....                      | 313        |
| 7.3        | 纹理映射 .....                      | 315        |
| 7.4        | 纹理合成 .....                      | 318        |
| 7.5        | 纹理分析 .....                      | 321        |
| 7.6        | 纹理应用方法 .....                    | 322        |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| <b>第八章 水利水电工程建设征地移民三维遥感解译技术</b> ..... | 340 |
| 8.1 概述 .....                          | 340 |
| 8.2 遥感解译技术 .....                      | 344 |
| 8.3 移民安置规划三维遥感解译技术路线 .....            | 348 |
| 8.4 移民安置规划设计中遥感和地理信息技术应用 .....        | 352 |
| 8.5 移民安置规划三维遥感解译技术应用案例 .....          | 355 |
| 8.6 应用展望 .....                        | 357 |
| <b>第九章 交互式三维应用技术在水利水电工程中的应用</b> ..... | 362 |
| 9.1 概述 .....                          | 362 |
| 9.2 交互式三维技术 .....                     | 363 |
| 9.3 交互式三维在水利水电工程中的应用 .....            | 380 |
| <b>第十章 移动式三维可视化技术</b> .....           | 386 |
| 10.1 概述 .....                         | 386 |
| 10.2 智能移动终端图形处理与交互设备 .....            | 386 |
| 10.3 移动终端三维可视工具 .....                 | 389 |
| 10.4 移动终端上浏览水利水电工程三维模型实例 .....        | 392 |
| 10.5 云计算模式下的移动三维可视化 .....             | 392 |
| 10.6 三维可视工具的开发 .....                  | 394 |
| 10.7 水利水电工程三维模型实现移动三维可视化的挑战 .....     | 395 |

# 第一章 绪 论

## 1.1 三维计算机辅助设计技术发展概况

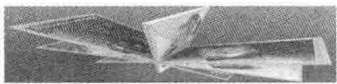
### 1.1.1 三维计算机辅助设计技术概念

计算机辅助设计(computer aided design),简称 CAD,是计算机技术、现代数值方法与工程设计紧密结合的产物。它起始于 20 世纪 60 年代,随着计算机硬件和软件的发展、计算机图形学和系统设计理论不断完善,CAD 技术得到广泛应用。

从传统意义上说,CAD 是使用计算机设备在工程设计中辅助设计者进行建模、修改、分析和优化的方法和技术。CAD 技术有效结合了计算机高速精确的数字计算、存储和数据处理能力,以及设计者的综合分析能力、实践经验和创造性思维等,在相当大程度上缩短了设计时间,节约了设计成本,并提高了设计质量。CAD 技术还吸收了与设计技术相关的其他学科的理论与技术,如数值分析、计算几何与图形学、信息处理、有限元与边界元方法、优化理论、可靠性设计等。因此,它能够彻底摆脱传统的静态分析、经验估算、近似设计、少方案比较等框架,使技术进入动态分析、数值仿真、精确分析、多方案优选的新阶段。采用 CAD 能够使技术人员从劳动量大、重复性强的手工设计中摆脱出来,从事更有创造性的环节,优质高产地完成设计任务。CAD 技术作为现代信息技术的一个重要组成部分,对加速工程和产品开发、缩短周期、提高质量、降低成本、增强企业市场竞争能力和创新能力发挥了重要作用,是人的智慧和创造力与计算机技术巧妙结合的产物。

### 1.1.2 CAD 技术的发展情况

计算机辅助制图开始于 20 世纪 50 年代后期,当时出发点是用传统的三视图方法来表达零件,以图纸为媒介进行技术交流,这就是二维计算机绘图技术,当时的 CAD 工具仅仅是传统图板的替代品而已。60 年代初,美国麻省理工学院开发了一种名为 Sketchpad 的计算机交互图形处理系统,并描述了人机对话设计和制造的全过程,形成了最初的 CAD 概念。此时的 CAD 系统仅能支持简单二维元素,如直线、圆弧、圆锥曲线等,只是简单二维元素的集合,称为二维线框模型。二维建模不能表示设计对象的表面和形体信息,仅能用于二维设计和绘图。80 年代末,CAD 技术快速发展,出现了特征建模的概念,是为了解决 CAD/CAM 集成的需要而发展起来的一种新的产品建模方法,是用更高层次的具有工程意义的特征体素来描述构件的建模方法。



目前,CAD的生产和应用以美国最发达,其次是日本、西欧诸国。据报道,美国在设计中应用CAD的比例:1983年为15%,80年代后期为50%。而我国CAD技术的应用和研究工作开始于上世纪60年代末期,直到80年代以后,才为较多的设计单位所接受,CAD技术的应用开始进入发展阶段。经过30多年的努力,我国目前在工程设计、化工、煤炭、石油、电力、机电等工业部门,已经广泛应用了CAD技术,特别是微机CAD技术的应用更是无处不在。CAD在土建工程中的应用已经达到了一个很高的层次,现在各大建筑设计院使用的CAD辅助软件有十几种之多。

CAD技术的发展与应用普及,大大促进了社会生产力的发展。美国科学基金中心这样形容CAD技术:对直接提高生产力而言,CAD技术比电气化以来的任何发展,具有更大的发展潜力,它触发了新的产业革命。

### 1.1.3 三维CAD技术发展情况

人在设计时的原始冲动是三维的,是有颜色、材料、形状、尺寸、位置和复杂运动关系等关联概念的三维实体,而传统的设计工作是从三维到二维,再从二维到三维,依靠工程师的空间想象力和基本制图技能来完成空间设计,带有局限性和特殊性。在工程设计中,设计者把大脑中三维形体抽象出相关联的平面三向视图来表达,这种表达信息是极不完整的,难免出现差错和缺漏;而施工者又要将平面信息想象成三维形体才能付诸实施,表达和理解的差异往往也带来差错。而且绘图、读图都要由专业人员完成。于是人们迫切渴望三维设计的出现,只有三维设计才能完成思维过程、设计过程和制造过程的统一。

三维设计是工程设计发展的必然趋势,只有三维设计才是真正的CAD。只有可视化程度高、形象直观的三维设计,才能让不熟悉平面图、剖面图的人们交流设计思想,了解设计思路,形成更优化的设计方案。三维设计可以通过产品三维模型的投影直接生成二维工程图,各视图之间完全相关,修改三维模型时,二维工程图可以完成自动更新;三维设计能够通过着色和渲染功能得到设计方案的三维效果图,无需做出样机和模型,设计人员和决策人员就能在产品投产和工程项目投标之前全面准确地了解其外观,有助于设计决策,缩短审批周期,加快产品开发进程;三维设计还能够方便地计算模型的体积、质量、重心、转动惯量等参数,分析产品的动态特性,对工程项目的成本进行预算;三维设计是实现设计、制造一体化的基础,为工程设计带来了巨大的变革,把设计推上了前所未有的高度。

三维设计的发展与CAD技术的发展密切相关,而CAD技术的发展又与计算机技术、计算机图形化技术的发展密切相关。三维设计发展到现在经历了五个发展阶段。

(1)20世纪50年代后期至70年代初期:初级阶段——线框造型技术。

计算机辅助制图始于50年代后期。进入60年代,随着在计算机屏幕上绘图变为可行而开始迅速发展。CAD技术的起步是用传统的二视图方法来表达零件,以图纸为媒介进行技术交流,这是一维计算机绘图技术。以一维绘图为主要目标的算法一直持续到70年代末

期,而后作为 CAD 技术的一个分支而相对独立、平稳地发展。同时,60 年代出现的采用线框造型技术来表达三维实体的技术,是极为简单的线框造型系统,只能表达基本的几何信息,不能有效表达几何数据间的拓扑关系。由于缺乏形体的表面信息,CAE 及 CAM 均无法实现。

(2)20 世纪 70 年代初期至 80 年代初期:第一次 CAD 技术革命——曲面(表面)造型技术。

基于贝赛尔算法的运用,使得计算机能够处理曲线及曲面问题被开发出来,以表面模型为特点的自由曲面造型技术,推出了二维曲面造型系统,标志着计算机辅助设计技术从单纯模仿工程图纸的二视图模式中解放出来,使产品开发手段比旧的模式有了质的飞跃,新产品开发速度大幅度提高。

(3)20 世纪 80 年代初期至 80 年代中期:第二次 CAD 技术革命——实体造型技术。

进入 20 世纪 80 年代初期,CAE(computer aided engineering)、CAM(computer aided manufacturing)技术开始有了较大发展。有了表面模型,CAM 的问题可以基本解决,但由于表面模型技术只能表达形体的表面信息,难以准确表达零件的其他特性,如质量、重心、惯性矩等,对 CAE 十分不利。基于对 CAD/CAE 一体化技术发展的研究,提出了实体造型技术。由于实体造型技术能够精确表达零件的全部属性,在理论上有助于统一 CAD、CAE、CAM 的模型表达,给设计带来了惊人的方便。

(4)20 世纪 80 年代中期至 90 年代初期:第三次 CAD 技术革命——参数化技术。

20 世纪 80 年代中期,CAD 技术的研究又有了重大进展,此时提出了参数化实体造型技术。其主要特点是:基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改。20 世纪 80 年代末,由于计算机技术的迅猛发展,硬件成本大幅度下降,在一定程度上促进了参数化设计技术的发展。参数化设计技术在通用件、零部件设计上体现出了简便易行的优势。

(5)20 世纪 90 年代初期至现在:第四次 CAD 技术革命——变量化技术。

参数化技术尚有许多不足之处,例如,“全尺寸约束”这一硬性规定干扰和制约了设计者创造力及想象力的发挥。对于全尺寸约束,设计者在设计初期及全过程中,必须将形状和尺寸联合起来考虑,并且通过尺寸约束来控制形状,通过尺寸的改变来驱动形状的改变,一切以尺寸(即所谓的“参数”)为出发点。一旦所设计的零件形状过于复杂,而对满屏幕的尺寸,如何改变这些尺寸以达到所需要的形状就很不直观,特别是关键形体的拓扑关系发生改变时,失去了某些约束的几何特征会造成系统数据混乱。因此,在 20 世纪 90 年代初期以后,研究人员对现有各种造型技术进行充分的分析和比较,以参数化技术为蓝本,提出了一种比参数化技术更先进的实体造型技术——变量化技术。变量化技术既保持了参数化技术的原有优点,同时又克服了它的许多不利之处。它的成功应用,为三维 CAD 技术的发展提供了更大的空间和机遇。



## 1.2 水利水电工程三维可视化设计发展情况

随着计算机技术的日益发展,三维可视化设计技术被广泛运用到各行各业。飞机和汽车工业属于先驱,后来三维可视化设计技术在电子、模具、工民建的结构、水暖及其管线专业等领域也成为了必不可少的手段。随着三维可视化技术的广泛应用,三维可视化设计越来越受到水电工程领域的设计和研究者的重视。然而,与其他行业相比,水利水电行业三维 CAD 技术应用还没有形成规模。迄今为止,国内外尚没有一个得到市场公认的商品化水利水电工程三维 CAD 系统,也没有一个有影响力的专门致力于水工三维 CAD 研究的部门或平台,这与三维 CAD 技术在航天、机械、电子、冶金等行业发展形成了鲜明的对比。

### 1.2.1 水利水电工程三维可视化设计的特点

目前我国在建或正在设计的水利水电工程建设条件越来越复杂。复杂的地形条件(高山、峡谷、高边坡等)和地质条件(褶皱、断层、软弱带等)给工程勘测、设计和施工管理带来了较大困难,覆盖坝工、地质、厂房、水道和通航建筑、机电、金结、施工等多个专业,涉及地形测量、地质勘察、工程设计、工程施工等多个流程。总体而言,水利水电工程三维可视化具有如下特点。

(1)水利水电设计一般规模较大、设计复杂、设计周期长、涉及专业较多、不确定因素多,从而使水利水电工程三维 CAD 应用软件开发困难(侯东奇,2010)。水工建筑物为满足地形、地质和功能要求,结构型式千变万化,使得结构模型、钢筋布置亦是千变万化;钢筋布置与混凝土表面或截面形状轮廓近似;视图剖切的随意性大,各视图之间相互剖切,剖切位置比较随意。虽然视图关系比较随意,但视图所反映的信息是协调一致的,它们描述共同的对象。以上特点决定了水工设计过程和设计结果的复杂性,而复杂性中又有一定的规律性。

(2)水利水电三维 CAD 软件应用面比较窄,造价昂贵,推广应用比较困难;和机械、航天、电子等领域的三维 CAD 软件相比,水工三维 CAD 软件市场小,应用面相对较窄。但由于水利水电工程规模大、流程复杂、专业多,水工三维 CAD 软件又势必庞大而复杂,从而使水工三维 CAD 软件的市场运作比较困难。

(3)水利水电勘察设计和具体国家的国情紧密联系,甚至不同的工程其设计方法也存在巨大的差异,这就使得水利水电三维 CAD 应用软件很难做到通用。和其他行业不同,水利水电行业没有一个生生不息的市场需求环境。一个国家大规模的水利水电工程建设完成以后,对水工三维 CAD 软件的需求就会趋于疲软。在我国正值水利水电建设高峰期,发达国家却没有同步的需求。发达国家的研究导向在很大程度上决定了我国的学术界和产业界难以向这一领域倾斜。

(4)新技术尚未与水工结合。水工建筑物型式受地形地质条件影响,设计上存在不定型性,使传统的适用于对定型产品设计的 CAD 技术难以发挥优势;另一方面,基于约束的设

计、智能 CAD 等现代 CAD 技术尚在发展和完善之中,目前还没有和水利 CAD 的研究有效地结合。

(5)水利水电工程不同专业队伍之间的工作方式是流水线式的,即地形—地质—水工设计—施工设计—施工管理。这种工作方式虽然各专业部门的工作范围非常明确,但不利于专业之间的信息交叉与反馈,往往产生地形、地质与水工、施工相脱节的现象。如地形地质资料更新或者设计方案发生变更时,各专业人员都需花费很多时间和精力返回重新工作,而且不同专业之间的数据难以有效地协调,使得工程设计的水平和效率降低,从而影响工程建设的顺利进行(李明超、钟登华,2012)。开发实现完善、简便、实用的水利水电工程三维一体化设计系统,建立各专业完整的共享数据库,地质、水工和施工等不同专业的工程人员能够很容易地进行数据采集、分析处理、设计并优化方案以及施工管理等,实现专业间的交叉循环,大大提高水利水电工程勘测与设计的水平和效率,具有重要的现实意义。

### 1.2.2 水利水电工程三维可视化设计国内外的研究进展

目前,国内外对水利水电工程三维可视化设计的研究与开发方面开展了较多工作(宋文忠,2013)。2003年,加拿大 QUEBEC 电力公司进行 Mercier 水电站设计时,运用 CATIA 三维设计平台实现了地质重构、大坝设计、厂房设计和机电设备安装设计等,建立了水电站三维设计环境;中国水电顾问集团华东勘测设计研究院与中国地质大学合作开发了基于三维地质建模技术的三维可视化地质系统 GeoEngine,并基于 Microstation 三维设计平台初步完成了厂房机电设备的三维设计工具;河海大学曾宏等人应用离散光滑插值方法构建了三维地质模型,在此基础上完成了水工隧洞的三维布置;华北水利水电学院魏群等人在水电工程设计中,把计算机技术、图形技术、网络技术、虚拟现实技术同专业标准规范相结合,开发出了拱坝三维可视化设计建模软件;西南交通大学李柏林等基于 CATIA 三维设计平台开发了智能化的双曲拱坝、地下厂房三维 CAD 系统,并建立了拱坝系统的参数化构件库;河海大学苏超等开发了重力坝数字化建模子程序,并利用开发的部分程序简单地实现了 CAD/CAE 集成;东北勘测设计研究院开发出了土石坝 CAD 系统。

此外,一些设计院及科研院校在考虑地形地质条件下的枢纽布置三维设计方面也取得了一定成果。海河水利委员会结合潘家口大黑汀水库三维模型,在三维地形基础上完成了大坝三维布置;贵州省水利水电勘测设计研究院基于 Bentley 公司 Microstation 三维设计平台完成了典型水工建筑物(包含双曲拱坝、厂房及升压站等)的三维模型设计,采用 Geopak site 软件精确模拟了三维地形,并根据总体布置图的要求,完成了枢纽布置的三维设计工作;中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院张宗亮、杨建敏等人结合糯扎渡电站枢纽工程,基于 AutoDesk BIM 软件,完成了枢纽地形、地质、水工建筑物的三维建模设计,并逐步扩展到机电、金属机构、勘测、水文、施工等专业,全面实施了 BIM 工作流程和对应的解决方案,实现了基于 BIM 理念的冲突检测、虚拟漫游、四维模拟、规划与设计支持、多方案比较



与选择,以及项目整体展示。

就目前三维可视化设计的发展而言,虽然还不能由一个 CAD 应用系统贯穿工程设计的全过程,但在工程的前期规划、可行性研究、初步设计和施工设计等阶段,对重力坝、拱坝坝型及厂房布置的方案优选,土石坝断面优选及其他若干单项设计工作方面,都基本上做到了计算机辅助三维设计(钟登华,2004)。这些 CAD 系统经过许多工程应用验证,具有推广价值。但是,这些软件还不具有通用数据接口,无法进行数据交换,各自为政,各具特色;在数据结构、数据库设计方面没有一个统一的标准,未对整个水利水电工程枢纽布置和水工建筑物 CAD 进行统一和全面的规划设计,未能集中有限的精力开发水工建筑物 CAD 的公共数学计算软件、地形与地质软件、大型数值分析软件、公共图形模块库、规范知识库(钟登华,2007);并且,这些软件没有统一的用户接口标准,大部分软件都不具有良好的用户界面;所开发的 CAD 软件也未能进行商业化包装,各开发单位所开发的软件仅为自己所用。

### 1.2.3 水利水电工程三维可视化设计的作用和意义

当前水利水电工程设计需要设计师首先将设计思想通过二维工程图来反映,对二维工程图进行校核、修改后,然后通过工程施工将二维工程图的设计成果转化成三维实物。整个设计过程中,设计师需要花费很大精力把三维构想转化为二维平面图。应用二维 CAD 辅助设计技术仅仅提高了二维平面图的制图质量和效率,仍然无法减少图纸数量,无法避免“三维—二维—三维”的思维过程,更不能有效降低专业之间错、碰、漏等出错率,二维设计本身与设计分析相分离,无法适应工程设计工作复杂、周期短的要求。

三维设计的直观性可以使得设计方与业主进行全面沟通。①枢纽工程布置采用三维设计模式,并结合地质勘测成果,有助于综合经济比较以进行方案比选(李长明,2013)。②工程技术人员利用三维设计成果可尽早地发现设计缺陷,及时进行修改,避免工程建设中出现问题以免造成巨大损失。③三维设计还能方便地计算模型的体积、质量、重心、转动惯量等参数,分析产品的动态特性。④枢纽工程三维整体设计模型,设计人员和决策人员在设计阶段便可全面、直观、准确地了解建筑物形象,有助于设计决策,推进枢纽设计开发进程(张社荣,2013)。总之,三维设计应用于水利水电枢纽工程,可以实现真正意义上的多方案比较及工程方案优化,对于提高工程技术指标和品质、降低工程造价、缩短设计周期、提高设计质量具有重要意义。

传统的二维设计利用平面图结合多个剖面图反映工程的布置,而三维设计则直接在立体空间内将工程布置反映出来。从传统的图板手工绘图到计算机 CAD 三维制图,是设计方法的第一次跨越。而从 CAD 二维平面制图到 CAD 三维设计,则是设计方法的第二次跨越。第一次跨越所产生的变化更多地体现在设计手段上,而第二次跨越所产生的变化则更多地体现在设计理念上。相对于二维设计,三维设计主要体现出以下优越性(黄丽华,2011)。

(1)三维设计成果直观、可视。三维设计可从空间不同方位观察和操作对象,有利于设

计方案的形成,用三维模型着色、渲染功能可以得到设计方案逼真的效果图,设计人员和决策人员在设计阶段便能形象地看到建筑物的面貌,设计成果三维、直观,有利于决策(卜克明,2012)。

(2)基于参数化设计,三维设计出图周期短,修改工作量小。利用三维可视模型能很快生成主视图、俯视图、侧视图及任意方向的投影图和轴测图等,并可以把模型输出为标准的工程图纸。工程布置如需改变,只需修改三维设计模型,重新生成相应的平面图、剖切图等视图即可,有助于提高设计效率,减少了设计错误。

(3)提高设计成果质量。采用三维协同设计,各专业均在同一平台上同时进行设计。专业间可随时参考彼此的设计图纸,便于错、漏及碰撞检查(林洁民,2013)。

(4)三维实体模型可直接计算工程量及其他模型分析参数。三维设计成果能够直接进行重量、体积等工程量计算,同时可直接计算出模型的重心、转动惯量等参数,以分析模型的动态特性;三维模型亦可与大型结构分析软件相结合,分析模型的受力特性。

(5)三维设计成果可直接服务于工程运行管理,三维模型与虚拟仿真技术相结合(王杉,2010),应用于水利工程运行管理,管理人员不仅可对枢纽工程实现虚拟漫游,获取形象的感知认识,并能基于三维模型实现运行监控与查询。

### 1.3 三维可视化设计特点

可视化(Visualization)技术是利用计算机图形学和图像处理技术,将数据转换成图形或图像在屏幕上显示出来,并进行交互处理的理论、方法和技术。它涉及计算机图形学、图像处理、计算机视觉、计算机辅助设计等多个领域,成为研究数据表示、数据处理、决策分析等一系列问题的综合技术,包括科学计算可视化和信息可视化。

制造业广泛应用了各类可视化技术。通过三维 CAD 软件,设计者不仅可以设计出产品的三维形状和拓扑关系,还可以表达出零件的装配次序;应用有限元分析软件,可以模拟产品的各种性能,通过对分析结果进行后处理,实际上也就是通过可视化,显示出产品在承担载荷时的应力应变;通过数字化工厂(Digital Factory)仿真技术,可以对整个车间和生产线的布局进行仿真,并可以进行人机工程仿真;通过应用三维轻量化技术,可以建立立体的、互动式、多媒体的产品使用与维修手册;而虚拟现实技术能使人们进入一个三维的、多媒体的虚拟世界,在汽车、飞机等复杂产品的设计和使用培训过程中,得到了广泛的应用。

在制造企业管理过程中,也广泛应用了可视化技术。例如,通过 ARIS 软件对企业进行建模,将企业的组织架构、产品/服务、数据和业务流程进行关联,从而使企业的业务流程可视化;通过对生产过程的追溯,实现制造过程的可视化,通过对供应链的状态进行模拟与分析,实现供应链可视化;通过对企业业务数据的挖掘,实现商业智能(Business Intelligence),通过各类可视化的图表,对企业的运行状态进行分析,建立管理驾驶舱。而自动化系统也配备了各类显示设备实时状态的可视化系统,即人机界面。



可视化技术使人能够直接对具有形体的信息进行操作,和计算机直接交流。这种技术已经把人和机器的力量以一种直觉而自然的方式加以统一。这一革命性的变化将极大地提高设计工作效率,用以前不可想象的手段来获取信息,充分发挥人的创造性思维。

运用最新的可视化技术成果,结合水工结构设计的特点,长江设计院在 20 世纪末率先提出“三维设计、二维出图”理念。其具体描述是:首先建立水工建筑物的三维结构模型,在实体结构上进行钢筋布置,创建水工建筑物的三维精确模型(该模型可直接用于有限元分析、仿真等),设计人员可以直观地对数字化信息进行可视和检测;通过对数字化的三维模型进行剖切或投影,自动生成详图和信息图。将设计人员从复杂琐碎的制图活动中解脱出来,精力集中于创造性设计,大大提高了工作效率和设计质量,提高了设计活动的层次。此外,三维设计模式还为施工、监理、管理提供了统一的数字化模型,有利于专业协同和信息集成等(林洁民,2013)。

## 1.4 本书主要内容

水利水电工程三维可视化系统涉及水利水电工程科学、数学、计算机学、图形学等多个学科,内容包含三维地形获取、三维地质模型构建、水工建筑物三维参数化、可视化、协同化设计、三维参数化配筋设计、三维数据融合、多源纹理技术、移民规划设计三维遥感解译技术、交互式三维技术和移动三维技术等,涵盖了水利水电工程设计的全过程。

本书主要分为如下几个部分。

### (1) 地形三维可视化。

第二章阐述水利水电工程三维地形数据的获取与地形三维可视化技术的实现方法,包括国内外卫星遥感数据、航空遥感数据、地面测量数据和水下地形数据的获取与处理技术;介绍了基于数字高程模型、数字地形模型,构建流域大场景水利水电工程三维可视化模型和集成三维可视化信息系统的过程和方法。

### (2) 地质三维可视化。

第三章介绍地质三维可视化理论及软件选择;基于 GOCAD 平台讲解如何构建三维地质模型,特别是如何解决断层、褶皱等大型结构面及结构面相互交切关系的三维表示,并介绍乌东德水电站和马来西亚沫若水电站三维地质建模两工程案例。

### (3) 水工建筑物三维可视化设计。

第四章讲述基于 CATIA 平台的水工建筑物三维设计包括骨架关联设计技术、三维参数化设计技术、模板设计技术、基于参数级协同管理、三维设计二维出图、工程量计算以及三维设计和有限元分析的结合技术,并讲述重力坝、双曲拱坝、面板坝、电站厂房等的三维设计流程和建模实现。

### (4) 水工结构三维配筋技术。

第五章介绍采用面向对象、基于实体建模的水工结构三维配筋技术,以及如何基于三维

配筋图实现三维剖切及二维钢筋图自动标注,并介绍了亭子口水利枢纽、南水北调中线工程两个工程应用。

(5)三维可视化系统设计数据融合技术。

第六章介绍地形、地质、建筑物、机电设备等不同三维模型间的数据融合技术,包括地形地质数据融合、地质与水工建筑物数据融合、水工建筑物与机电设备模型数据融合、基于CATIA的三维水工建筑物模型与三维CAD配筋系统数据融合、水工建筑物模型与三维可视化平台的数据融合等。

(6)三维可视化系统多源纹理技术。

第七章讲述直升机拍摄、数码相机拍摄、航空及卫星影像资料等多源纹理的获取或采集方法;以及航天纹理、航空纹理、地面纹理、模拟纹理等在三维可视化技术中的应用。

(7)第八章介绍水利水电工程移民规划设计三维遥感解译技术,包括三维遥感解译方法、移民规划设计应用的技术路线及实施方案,以及相应的工程应用案例。

(8)交互式三维技术在水利水电工程中的应用。

第九章讲述交互式三维技术,包括交互式设备选择、交互程序设定及如何实现工程技术人员及三维模型交互,并介绍了交互式三维技术在水利水电工程勘察、设计和管理中的应用案例。

(9)三维可视化技术。

第十章介绍基于智能移动终端的移动式三维可视化技术,包括移动三维可视化解决方案、在云计算模式下的三维可视化技术、移动终端上三维模型浏览程序开发过程以及移动式三维可视化技术在水利水电工程三维设计中的应用。