

水利枢纽建设 三维动态可视化管理

The Three-Dimension Dynamics Visual Management of Water Control Project

耿 敬 李明伟 耿贺松 张 洋 著

非
外
借

 哈尔滨工程大学出版社

水利枢纽建设三维动态 可视化管理

**The Three-Dimension Dynamics Visual Management
of Water Control Project**

耿 敬 李明伟 耿贺松 张 洋 著

内 容 简 介

本书在总结作者多年水利研究的基础上,对水利枢纽建设三维动态可视化管理中的总体设计框架、关键技术、实施方案、模块设计做了较为深入、完善的论述和探讨。

本书分为上、下两篇。上篇对施工动态可视化管理概述与总体框架设计、施工动态可视化管理、施工进度动态管理及过程仿真、施工可视化管理辅助系统关键技术等方面进行深入的探讨和详尽的论述。下篇主要是论述了施工动态可视化管理模块设计与应用,讨论了施工可视化管理模块、施工进度管理模块、施工过程仿真及安全质量管理模块、施工动态可视化管理辅助系统设计与实现技术路线,最后基于 B/S 结构体系介绍了依兰航电枢纽建设三维动态可视化管理系统的使用内容与操作流程。

本书可供各级水利工程设计、管理、建设单位和职能管理部门工作人员,计算机与 GIS 应用研究人员阅读,也可供大专院校水利、环境、计算机、GIS 等及专业教师、研究生、高年级学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利枢纽建设三维动态可视化管理/耿敬等著. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2017.3
ISBN 978-7-5661-1470-9

I. ①水… II. ①耿… III. ①水利枢纽-水利工程管
理 IV. ①TV6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 038112 号

选题策划 史大伟
责任编辑 雷 霞
封面设计 博鑫设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江龙江传媒有限责任公司
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张 10.5
字 数 261 千字
版 次 2017 年 3 月第 1 版
印 次 2017 年 3 月第 1 次印刷
定 价 40.00 元
<http://www.hrbeupress.com>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

水利工程的三维可视化已经成为水利工程建设管理过程中的有效手段,也是实现我国水利工程建设精细化管理的重要途径。水利三维可视化,是设计条件、设计建模、计算分析过程及成果设计的可视化。三维可视化管理方法可帮助用户快速优化施工方案,为管理者、决策者、施工者提供重要决策支撑。

施工动态可视化管理涉及水利水电设计技术、施工管理技术、计算机技术、软件集成技术及数字化监控技术等多项技术,是一项多学科、多领域互相交叉、互相融合的复杂系统工程。同时将 GIS 合理地应用到水利工程领域,充分地提高信息系统的分布性、有效性和系统性,使得整个水利工程管理过程能够实现有效的集成,提高水利枢纽工程的信息化管理水平及安全运行能力,实现施工过程的精细化管理。

本书作者在总结多年水利工程规划、设计、建设管理研究,以及基于 GIS 的水利工程三维可视化开发研究成果的基础上,全面系统地论述了水利工程三维可视化信息管理建设的总体框架、关键技术和模块设计等内容。全书共 9 章,分为三维动态可视化管理总框架与关键技术和施工动态可视化管理模块设计及应用上、下两篇。

上篇对施工动态可视化管理必要性,研究现状,技术基础与总体框架设计规划,地形及枢纽建筑物的数据采集,三维水利枢纽建筑物可视化,GIS 工程动态可视化,水利枢纽二、三维交互式集成等实现方法,施工动态可视化管理关键技术,施工进度动态管理及过程仿真关键技术,施工可视化管理辅助系统关键技术等方面进行了系统论述,为下篇的设计与应用奠定理论基础及必要的技术储备。

下篇主要论述了施工动态可视化管理模块设计及应用,介绍了施工可视化管理模块、施工进度管理模块、施工过程仿真及安全质量管理模块、施工动态可视化管理辅助系统设计方法与实现技术路线,最后基于 B/S 结构体系,以依兰航电枢纽建设三维动态可视化管理系统为例,阐述了三维动态可视化管理系统的使用内容与操作流程。

本书融理论性与实践性于一体,内容丰富、论证严谨、图文并茂、实用性强,对 GIS 地理信息系统和施工可视化管理系统的研究、开发具有很好的参考价值。本书可供各级水利工程设计、管理、建设单位和职能管理部门工作人员,计算机与 GIS 应用研究人员阅读,也可供大专院校水利、环境、计算机、GIS 等专业教师、研究生、高年级学生参考。

本书由耿敬、李明伟、耿贺松、张洋合著。在成书过程中陈志远、郑天驹、王剑伦、王文龙、牛新宇、马世领、刘永超、张娜、徐前、朱睿、李琛、马松及薛蓉等同志在项目实例组织、资料整理、程序代码调试方面做了大量的工作,在此表示感谢。

本书研究成果得到了国家自然科学基金(51509056)、交通运输部信息化科技项目

(2014364554050)、黑龙江省水利厅科技项目(SLKYG2015 - 923)、中国博士后科学基金特别资助(2016T90271),以及多个工程应用项目的资助支持,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中错误和疏漏在所难免,恳求各位专家、同行不吝赐教,也诚请广大读者提出宝贵意见。

著 者

2017 年 1 月

目 录

上篇 三维动态可视化管理总框架与关键技术

第 1 章 施工动态可视化管理概述及总框架设计	3
1.1 施工动态可视化管理概述	3
1.2 水利枢纽施工动态可视化管理的作用和意义	3
1.3 施工动态可视化管理研究进展	4
1.4 水利枢纽施工动态可视化管理框架设计	9
第 2 章 施工可视化管理关键技术	12
2.1 地形及枢纽建筑物基础数据采集及处理	12
2.2 三维数字地形及枢纽建筑物可视化	26
2.3 水利枢纽 GIS 动态可视化展示	38
2.4 基于 GIS 的水利枢纽二、三维交互集成方法	43
2.5 基于 GIS 的工程可视化	52
第 3 章 施工进度动态管理及过程仿真关键技术	55
3.1 数据库挖掘	55
3.2 多系统数据耦合共享	61
3.3 数据库挖掘技术与施工管理实现	62
3.4 二维图表生成技术	66
3.5 施工智能调整优化技术	72
第 4 章 施工可视化管理辅助系统关键技术	83
4.1 施工安全、质量管理关键技术	83
4.2 工程电子图库关键技术	85
4.3 数据管理与报表关键技术	93
4.4 三维辅助工具关键技术	93

下篇 施工动态可视化管理模块设计及应用

第 5 章 施工可视化管理模块设计	99
5.1 施工可视化管理模块设计原理	99
5.2 施工可视化管理模块功能	99
5.3 施工进度可视化管理设计与实现	100

第 6 章 施工进度管理模块设计	104
6.1 施工进度管理模块基本框架结构	104
6.2 施工进度调整子模块设计	104
6.3 总工程进度优化子模块设计	106
6.4 施工 S 曲线子模块设计	107
6.5 施工横道图子模块设计	108
6.6 施工网络图子模块设计	109
第 7 章 施工过程仿真及安全质量模块设计	110
7.1 施工过程仿真模块设计原理	110
7.2 施工过程仿真子模块设计	111
7.3 安全质量管理模块基本架构	112
7.4 安全质量管理子模块设计	112
第 8 章 施工动态可视化管理辅助系统设计与实现	118
8.1 工程电子图库子模块设计	118
8.2 数据管理与报表模块基本框架	118
8.3 数据管理与报表子模块设计	119
8.4 GIS 辅助工具子模块设计	120
第 9 章 依兰航电枢纽建设三维动态可视化管理系统	124
9.1 系统登录	124
9.2 施工可视化管理	125
9.3 施工进度管理	134
9.4 施工过程仿真	148
9.5 工程电子图库	151
9.6 个性化报表定制	155
参考文献	158

上篇 三维动态可视化管理 总框架与关键技术

第1章 施工动态可视化管理概述及总框架设计

1.1 施工动态可视化管理概述

施工组织管理作为水利枢纽工程建设的一个重要组成部分,对工程建设起着重要的作用,是工程建设的一个关键环节,同时也是水利枢纽工程建设施工学科的一个重要组成部分,而水利枢纽工程施工现场监管又是水利枢纽工程施工组织管理中的重要内容,施工组织管理水平的高低直接影响施工技术水平的发挥和施工效率的提高。采用科学有效的设计方法充分预见工程的实际施工过程,直观清楚地描述复杂的施工动态过程,是提高工程施工组织设计和施工管理水平的关键。因此,寻求新的技术和计算机辅助设计的方法,实现施工组织设计的数字化、可视化、智能化是未来该领域发展的重要方向。

本文将施工动态管理技术应用于工程施工管理系统的研究中,提出基于 GIS 的水利枢纽施工三维动态可视化仿真技术,来描述和分析复杂工程施工监管过程。该过程以基于数字化的直观可视化为出发点,呈现复杂施工过程中各施工单元时空上的逻辑关系,从而揭示施工系统内部动态行为特征,进一步实现施工总体布置的全过程三维动态演示,不仅能直观显示组织设计、施工的成果,而且为全面、准确、快速地分析和掌握施工全过程,以及进行多方案比较提供了有力的辅助分析工具,将有利于实现工程施工的精细化管理。

1.2 水利枢纽施工动态可视化管理的作用和意义

水利枢纽施工动态可视化管理有助于推动水利水电工程设计向数字化、可视化、智能化方向发展。同时,本文结合 GIS 技术,在数字化基础上反映工程施工动态过程的可视化研究,不仅是一个新的尝试,而且由于涉及“数字水利”所涵盖的工程信息数字化与可视化技术,从而构成了“数字水利”研究的一个重要组成部分。

1.2.1 经济效益

施工动态可视化管理涉及水利水电设计技术、施工管理技术、计算机技术、软件集成技术及数字化监控技术等,同时涉及表现施工网络计划全程动态情况的可视化系统。施工动态可视化管理是一项多学科、多领域互相交叉、互相融合的一项复杂系统工程,可有效提高水利枢纽工程的信息化管理水平以及水利枢纽工程的安全运行能力。

水利枢纽工程施工管理是一项十分复杂的工作。水利枢纽可视化施工管理可提高工程施工监管的质量和实效性,特别是对突发事件进行应急处理的反应速度和能力得到大幅

度提高,不仅为施工总布置设计与决策提供一个科学简便、形象直观的可视化分析手段,推动水利枢纽工程施工监管工作的智能化、现代化,而且还可带来显著的经济效益,具有重要的推广应用价值。

1.2.2 社会效益

水利枢纽施工动态可视化管理不仅有可观的经济效益,而且还有巨大的社会效益。水利枢纽的问题如果解决得不好,对所属航道的航运安全,对水力发电装置的正常工作,乃至对两岸的工业生产、居民正常生活都会产生巨大的负面影响。水利枢纽工程是一项多功能的,综合利用水资源的工程,具有明显的经济效益和社会效益,对国民经济的贡献是多方面的。工程效益主要有可以增加国内生产总值(GDP)、航运效益、改善水环境效益、交通效益、发电效益、养鱼效益,其次是提高沿江现有灌区及城市供水保证率和减少年运行费用,以及增加生态环境效益、旅游效益等社会效益。

在社会经济服务方面,水利枢纽可视化仿真系统是对工程施工场地在施工期间进行的空间规划,它是根据施工场地的地形、地貌、水文、地质、气象、枢纽及永久建筑物布置等,为满足施工期间的分期、分区、分标的方案要求,加快工程施工进度和降低工程造价,保证工程施工安全及工程质量等要求而创造的环境条件。分析施工总布置主要建筑物施工全过程,在此基础上协调各建筑物施工之间的关系,进一步实现施工总布置的全过程三维动态演示,不仅能直观显示施工总布置施工组织设计的设计成果,而且将有利于辅助工程施工总布置的决策及管理,提高施工组织设计效率及施工管理水平。

施工动态可视化管理技术奠定了各企事业单位在水利水电领域新产品开发以及海内外市场开拓的坚实基础,有利于提高各合作方进行施工可视化动态管理水平。

1.3 施工动态可视化管理研究进展

水利枢纽工程施工动态可视化管理,涉及GIS技术、系统仿真、三维建模技术、可视化技术、4D管理技术等,其实现过程非常复杂。尽管国内外在此方面已有较多研究,而且已经发展到利用面向对象技术和三维仿真技术来实现一定意义上的可视化仿真,但由于施工总布置过程非常复杂,各地区的施工条件差异较大,对其进行研究有较大难度,所以,关于施工总布置的仿真及施工监管的研究述及较少。

1.3.1 三维建模技术及其应用

三维模型就是使用点、线、面等要素将事物构造出来,经过后期处理后通过计算机或者其他视频设备进行输出。三维模型不仅可以显示现实世界客观存在的实体,也可以显示虚拟想象的事物。从理论上来说,自然界的任何真实实体都可以使用三维模型显示。三维模型作为点、线、面等信息的集合体,可以利用专业的三维建模软件生成,也可以按照一定的规则、标准利用计算机自动生成。三维模型最早应用于制作三维图形动画。目前,三维模型已经应用于不同的领域:在电影动画产业中,利用制作的三维模型来表示人物、物体和现实场景;在建筑行业中,利用三维模型模拟技术有效避免工程设计中的缺陷与不足。

三维场景虚拟技术的发源地是美国,美国拥有世界上最多的三维建模和三维场景构建的研究机构。美国的 MultiGen - Paradigm 公司开发出的三维实体建模 MultiGen Creator 具有建立的三维模型尺寸较小、虚拟环境的实时性能好的特点,而且能够与使用人员进行简单、直观的交互,是三维建模软件中被大多数人认可的最优秀的软件之一。MultiGen Creator 提供了 Open GL 接口与其他数据库和软件控件对接,兼容性较强。但 MultiGen Creator 对硬件和使用人员的要求较高。美国影视、游戏制作巨头 CG2 INC 也开发出自己的三维建模工具 Vtree,能够实现视觉及场景仿真、游戏动画环境模型、实时事件重现等应用。英国在三维建模和场景虚拟现实技术的某些方面展开研究。英国 Bristol 公司开发的三维建模软件 DVS,还提供了领先于 DVS 的环境编辑语言。日本的三维建模和场景虚拟现实技术的某些方面在亚洲处于领先地位,其主要应用在游戏和动漫等领域,在加强人机接口能力的研究项目上取得了重大成就。

我国的三维建模和虚拟场景技术可视化发展较晚,与发达国家之间尚有很大的差距。近年来随着“智慧水利”“智慧城市”理念的兴起,三维建模和虚拟场景可视化技术已经引起我国政府有关部门的高度重视,并获得了很大进步。国家“十二五”发展规划、国家自然科学基金、国家社会科学基金、中国博士后科学基金、国家高技术研究发展计划(863 计划)都对三维建模和虚拟场景可视化技术进行了大幅度支持。国内一些重点院校已经积极投入到三维建模和虚拟场景的研究工作中。清华大学对三维建模和虚拟场景等方面进行了大量研究,获得了球面屏幕显示和图像随动技术等成果。浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室研制了在虚拟环境中一种新的快速漫游算法和一种递进网格的快速生成算法。

1.3.2 地理信息系统及其在水利工程领域的应用现状

地理信息系统(Geographic Information System 或 Geo-Information System, GIS)是近年来迅速发展起来的,一门介于地球科学与信息科学之间的交叉学科,它亦是一门地理学空间数据与计算机技术相结合的新型空间信息技术。它是以地理空间数据库为基础,在计算机软硬件的支持下,对空间数据进行采集、管理、操作、分析、模拟和显示,并采用地理模型分析方法,适时提供空间和动态地理信息的计算机技术系统。它是在地理学学科与数据库管理系统(DBMS)、计算机图形学(Computer Graphics)、计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)等与计算机相关学科相结合的基础上发展起来的。一个完整的地理信息系统主要由四个部分组成,即计算机硬件系统、计算机软件系统、地理数据(或空间数据)和系统管理操作人员。地理信息系统在外观上表现为计算机软硬件系统,其内涵却是由计算机程序和地理数据组织而成的地理空间信息模型。一般地,地理信息系统的基本功能包括数据获取、数据处理、数据存储与组织、空间查询与分析、图形显示与交互等。

地理信息系统的出现是地理学的一个革命性事件,它发展之快、应用之广、影响之深刻是其他地理学科所无法比拟的。Parker H D 认为地理信息时代已经到来,陈述彭院士也充分阐述了地理信息系统在地理学中的重要作用,指出它是地理学发展的一个重要方向。当前 GIS 研究的热点集中在与面向对象技术、网络技术的结合,三维地理信息系统、时空系统等空间信息建模技术的研究。同时,随着计算机软、硬件技术的不断发展,一些成熟的并具有强大功能的 GIS 商业软件也不断被推出。目前,国际上较为著名的如美国 ERSI 的 Arc/Info 和 Arcview、Mapinfo 公司的 Mapinfo、Intergraph 公司的 MGE 及 GeoMedia 等。

地理信息系统的研制与应用在我国起步较晚,但发展很快,目前比较有影响的 GIS 软件

有:Citystar(北京大学遥感与地理信息系统研究所)、GeoStar(武汉测绘科技大学)、MapGIS(中国地质大学)等。这些 GIS 工具软件为各领域广泛的应用提供了更为有力的技术保证。如今,地理信息系统已被广泛地应用于能源开发、资源清查、区域规划、环境保护、军事治安、邮电通信、工程建设等领域,并获得了巨大的成功。同样,将 GIS 与水利工程领域相结合,亦显示了其强大的生命力。

近年来,GIS 技术已经深入到水利工程的各个方面,并发挥了巨大作用。如国家防洪抗灾总指挥部开发的“区域性防洪减灾信息系统”,是基于 GIS 软件 Mapinfo 平台开发的。此系统主要实现枢纽总体的地理信息、测绘信息、枢纽建筑物图形和属性信息,以及施工道路、桥梁、供水供电、沙石料系统、混凝土系统等空间信息的管理。陈朝辉、肖卫国等的论文介绍的均是地理信息系统在防洪系统中应用的具体实例,这些系统主要实现流域地图、水利设施分布、交通线路的查询及水情分析等功能。

另外,Boumediene 等结合 GIS 构建了一个面向对象的水环境质量评估管理系统,Wong 等也把 GIS(Arc/Info)用于洪水污染的评价,Mashrigui 成功地把一个格栅 GIS 嵌入到泥沙生成与运输模型,而 Miles 则是利用 GIS 来分析地震导致的边坡稳定性问题。

从总体上看,目前 GIS 技术在水利行业的应用主要集中在旱灾情评估、水资源管理、水土保持、生态和水环境监测和工程规划等方面。因此,把 GIS 技术应用于水利枢纽工程具体施工领域,来辅助工程建筑物设计、动态仿真施工三维过程,以及进行地质数字化与可视化有着坚实的理论基础。

1.3.3 可视化技术及其在工程施工领域中的应用

可视化技术是于 1987 年 2 月美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)召开的一个专题研讨会上首次提出并逐步发展起来的集地理数据收集、计算机数据收集和决策分析为一体的综合处理技术,可以利用计算机图形和图像处理技术,将在科学实验过程中产生的人眼无法直接观察的一维数据转换为人容易接受的二维和三维视觉信息并在屏幕上显示的计算方法。根据科学数据的来源和类型不同,可视化技术分为科学计算可视化技术和空间信息可视化技术。科学计算可视化运用计算机图形和图像处理技术将实验过程中的科学数据转换为直观的、人容易接受的视觉信息,实现计算过程和计算结果的可视化。空间信息可视化运用计算机图形图像处理技术,将复杂的科学现象和自然景观等抽象概念图形化,实现自然景观等抽象概念的可视化。三维可视化属于空间信息可视化,也就是实现科学现象三维空间信息的可视化。

由于可视化技术的功能特性,其在工程中的应用主要在施工监管与布置方面。国外在这一领域的研究介入比较早,发表了许多有关文章,从可查的文献资料中发现,关于这一问题最早可追溯到 20 世纪 60 年代。Armour G C 和 Buffa E S 早在 1963 年就发表了有关设备和设施位置选择和布置的论文,但研究范围侧重于施工工厂,随后发表了一系列有关这方面的文章。进入 70 年代,Eastman C M 发表了几篇关于空间分析和空间设计、布置的论文,但研究的范围基本还是针对施工工厂,到 70 年代中期,他曾研究了计算机辅助建筑物空间的设计和分析的内容,另外,研究的范围是机械设备的合理布置问题。到 80 年代,对于施工现场监管研究进入了一个高潮阶段,Popescu C, Moore J, Neil J M 等人进行了这一问题的研究。1989 年,Tommelein I D 完成了施工现场监管的博士论文,并发表了研究成果——利用专家系统的方法解决这一问题的有关论文。进入 90 年代,在施工现场监管研究的领域,

Tommelein I D 是一个具有代表性的人物,发表了多篇有关这一领域研究的文章,在 90 年代初,他的研究成果多采用专家系统和人工智能的方法,并开发了相应的计算机软件,在 90 年代后期,则集中于基于 GIS 的平台研究施工现场监管问题。他的合作伙伴 Zouein P P 也发表了几篇文章讨论了有关施工现场监管的研究成果。近三年来,对于施工现场监管的研究除了 Tommelein I D 和 Zouein P P 以外,我国台湾地区也有人在进行这一问题的研究,如 Cheng Min Yuan Yang, Shin Ching 和 Guo Sy Jye 等人,其研究方法同样是基于 GIS 平台研究建筑材料的合理堆放和建筑材料在施工场内二次搬运所引起的费用减小方法,以及有关施工现场监管时易发生矛盾冲突的分析方法和解决办法。

水利枢纽工程施工现场可视化监管系统的研究在我国还比较滞后,缺乏系统性的研究和先进的研究成果,研究范围有一定的局限性,从事施工场地监管专题研究的人员还不是很多,仅从 20 世纪 90 年代中期才开始研究。从现有可查的文献资料看,在国内多采用数学理论方法进行水利枢纽工程施工场地布置、监管的研究,有人利用最优化方法计算出成本最小或工期最短等对施工场地布置进行研究,也有人从施工场地监管方案评价的角度进行研究,但是研究成果大多比较零散,没有系统化。

在水利枢纽工程施工场地施工布置及监管方面,武汉水利电力大学胡志根、肖焕雄在这一方面做出了一定的贡献,曾发表了一系列论文,对水利枢纽工程施工现场监管方案的优化进行了探讨,如《砂石料料场规划模型研究》《砂石料料场开采顺序优化模型研究》,系统分析了砂石料料场建设、开采、加工、运输、储存等环节间的关系,建立了料场开采顺序的混合整数规划模型,并进行了求解,选择出经济合理的规划方案。《施工系统中混凝土拌和工厂位置选择综合评价模型》一文中用系统分析的层次性原理为基础,用可能性-满意度(表示两者之间关系)的计算方法,建立了厂址选择的综合评价模型,并通过实例进行了验证分析。

在工业与民用建筑工程施工现场监管方面,清华大学和中建一局的张建平、邢林涛曾针对民用建筑工程施工研究了施工现场布置和监管的问题,并发表了《计算机图形系统在建筑施工中的应用》和《建筑施工进度计划与场地布置计算机图形系统的实际应用》,文中介绍了所研究成果,即应用计算机图形技术,以形象的三维实体图形表达施工进度与现场监管,以及对项目施工计划和进度进行实时控制管理的办法。文章分析了多层建筑物的空间利用和进度计划的协调,以及随着进度计划的推进,建筑物场地的变化和建筑物体形的现状,但所讨论的问题属于工业与民用建筑范围,同水利枢纽工程施工是有一定的区别的。

针对这一问题的研究从开始时采用建立数学模型,用数学的方法研究解决施工工厂的设施及设备合理布置问题,以及施工现场监管中设施和设备的位置选择优化的问题,到后来利用计算机技术、人工智能、专家系统等技术来研究解决这一类型的问题,最近几年,其研究方法则多是基于 GIS 技术,结合以前所建立的数学模型,研究施工现场监管这一领域出现的问题。计算机技术的发展为研究该领域的问题提供了有利的工具,尤其是 GIS 技术和软件的日趋成熟,使研究施工现场监管这一问题更加具有了说服力。建筑业所工作的对象是改造自然形状和利用自然的地形、地貌、地质等自然形成的因素,建造可为人类造福的建筑物,GIS 技术强大的自然空间分析能力和便利的三维可视化分析能力,为现代建筑业带来了强大的冲击力,并提供了技术变革手段,减少了施工过程中不确定因素的发生,扩大了对于不确定因素的控制范围。国外对于建筑业的施工现场监管问题的研究范围同样多集中于工业与民用建筑领域,水利枢纽工程施工的现场监管研究文献非常有限,但是可以从中

借鉴国外的这种研究思路,为我们的研究开阔视角。

1.3.4 系统仿真及其在工程领域的应用现状

系统仿真是 20 世纪 40 年代末以来伴随着计算机技术的发展而逐步形成的一门新兴学科。它是指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运行的表示真实系统模型的一种技术,是建立在控制理论、相似理论、信息处理技术和计算技术等理论基础之上的,以计算机和其他专用物理效应设备为工具,利用系统模型对真实或假想的系统进行试验,并借助于专家经验知识、统计数据和信息资料对试验结果进行分析研究,进而做出决策的一门综合性的和试验性的学科。系统仿真的目的是通过对系统仿真模型的运行过程进行观察和统计,来掌握系统的基本特性,找出仿真系统的最佳设计参数,实现对真实系统设计的改善或优化。

系统仿真技术的发展大致经历了模拟计算机仿真(20 世纪 40 年代末至 60 年代)、数字/模拟混合计算机仿真(20 世纪 50 年代末至 70 年代)及全数字计算机仿真(20 世纪 60 年代到现在)三个主要阶段,而全数字计算机仿真又可分为两个阶段。20 世纪 60 年代末到 80 年代初,属于第一阶段。在这一阶段中,从方法论角度来看是以研究仿真实验为主,从仿真工具的研究来看,则是以各种仿真语言为主。由于缺乏对建模的支持,而仿真工具又有一定的缺陷(比如人-机接口不够直观,没有统一的数据管理等),因此仿真效率不高。20 世纪 80 年代到 90 年代则属于第二阶段。这一阶段的主要特征是:按照仿真的基本概念框架(建模—实验—分析),已形成了一整套先进的建模与仿真方法学,并通过建立一体化仿真环境来支持实现它,同时充分采用了先进的计算机技术(如图形技术、数据库技术等)。随着人们对建模方法学研究的不断深入及计算机技术的飞速发展,对系统仿真技术提出了更高的要求。20 世纪 90 年代以来,对系统仿真技术的研究主要集中在分布式交互仿真(Distributed Interactive Simulation)、可视化仿真(Visual Simulation)、多媒体仿真(Multimedia Simulation)、虚拟现实(Virtual Reality)、面向对象仿真(Object-Oriented Simulation)以及智能仿真(Intelligent Simulation)等几个方面。

系统仿真在工程施工领域的应用,早在 20 世纪 70 年代,Halpin 就提出了循环网络模拟技术,并研制开发了 CYCLONE 系统。此后,用于隧道施工费用预测的 TCM、土方工程施工仿真的 SCRAPESIM、代替 CPM 的循环网络仿真技术 SIREN、施工过程动态交互仿真技术 DISCO,以及基于知识的施工计划仿真系统 CIPROS 等被陆续地提出与应用。在仿真建模技术研究方面,Zeigler 等为简化建模,提出了层次化模块式仿真建模的概念。Shi 等利用模块式建模概念提出了基于资源的土方开挖与运输仿真自动建模方法。AbouRizk 和 Mather 则提出了整合 3D CAD 技术的简化仿真建模方法。在国内,钟登华等人在 20 世纪 80 年代就开展了隧洞施工的循环网络仿真技术的研究,近年来,更是提出了水利枢纽工程施工全过程的可视化仿真技术,并应用到大型地下洞室群施工、交通运输、土石坝施工等多个方面。

1.3.5 4D 管理技术在工程施工中的应用

4D 理论是美国斯坦福大学 CIFE 于 1996 年首先提出的,其主导思想是利用 4D 生成 3D+ 进度模型,可以提前对方案的进度安排进行控制,使项目资源得到最充分的利用,提

高管理效率和质量。随后推出了 CIFE 4D—CAD 系统。1998 年, CIFE 发布了 4D 应用系统 4D—Annotator。在该系统中, 实现 4D 技术与决策支持系统的有机结合, 借助 4D 显示功能, 管理者能够直观地发现施工现场潜在的问题, 大大提高了对施工状况的感知能力。目前, CIFE 正致力于将 4D 概念应用于整个 AEC 领域中, 发展基于网络的分布式管理工具。应用先进的计算设备与交互工具, 构建一个全数字交互工作室, 使施工的各参与方能够实时地展开协同工作。Marcus 的出现, 揭示了下一代的施工管理工具发展的方向。

在 4D 的研究领域中, 比较有代表性的还有英国的 Shachelyde 大学的 PROVISYS 模型, South Bank 大学的建筑后期维护的 4D 模型。清华大学从 1991 年开始, 也致力于建筑施工计划三维可视化和动态管理方面的研究, 于 1995 年开发了 GCPRU 系统。该系统将施工对象定义为一个 3D 整体描述、施工过程模拟和结构构件实体的三维复合模型。GCPSU 系统体现了 4D 模型的基本概念, 其后研究的 4DSMM 模型实现了施工对象 3D 模型与外部进度计划系统的链接, 但其研究侧重于工程施工现场布置。

20 世纪 90 年代末, 英国 Salford 大学开始进行一项名为“From 3D to n D”的研究项目, n D 是在 3D 模型的基础上, 加上成本、进度等参数, 使之成为多维计算模型。该模型可以描绘整个设计和施工过程, 使用者能够看到和模仿整个项目建设过程。在遇到设计问题时, 通过使用假设分析演示成本和进度的变更影响, 将极大地提高决策支持和施工过程实施的有效性, 实现建设项目多目标的最优化。

4D 建模技术及其软件化的实施成为集成化管理最理想的工具, 其可视化的动态模拟效果为项目各参与方提供了全面快速的工程信息, 从而实现工程全寿命周期的动态管理, 即前期的设计管理、中期的现场管理和后期的运营维护, 为项目决策者提供决策支持, 实现了工程项目多目标决策的最优化。

针对水利枢纽工程施工现场的动态管理, 国内外已有较多研究, 并且具备一定的技术条件和技术基础, 结合水利枢纽工程施工的特性, 采用可视化和动态管理理论对其施工现场监管的研究在技术上是完全可行的。本书对水利工程枢纽施工可视化管理技术开展研究, 建立一种面向水利枢纽建设的三维动态可视化管理方法。

1.4 水利枢纽施工动态可视化管理框架设计

水利枢纽施工动态可视化管理系统建设充分利用国内外先进的管理思想和管理技术, 特别是先进的计算机技术和网络技术, 结合水利枢纽建设管理特点, 建立和逐步完善适合工程的先进管理制度和管理信息系统, 为工程管理提供一个优秀的管理平台。通过信息的高效统一管理, 将设计、监理、施工等单位的各种信息统一起来, 实现对水利枢纽工程全过程、全方位信息管理与控制, 从而提高水利枢纽工程整体管理水平, 为决策层提供分析决策所必需的准确而及时的信息。

1.4.1 水利枢纽施工动态三维可视化管理实现方法

结合水利枢纽施工管理特点, 完成水利枢纽施工动态管理方法研究, 然后以水利枢纽施工动态三维可视化管理系统为依托, 完成水利枢纽工程的二维与三维可视化动态管理、施工进度管理等相关功能。施工动态三维可视化管理系统按照功能和级别分为施工管理

主系统平台和施工信息子系统平台。其中施工管理主系统平台供建设管理单位使用,施工信息子系统平台供工程施工单位使用。在工程建设施工的具体管理过程中,施工单位通过对施工过程的进度情况、费用使用、材料供给、机械配备、工程质量安全等相关信息进行搜集、统计、整合,然后利用施工信息子系统平台实现工程信息录入,同时施工信息子系统基于输入的施工信息完成数据预处理、施工进度调整和成果分析与导出;施工信息子系统一方面服务于工程施工单位,用于辅助施工单位的施工管理,另一方面通过数据与信息接口实时地向施工管理主系统平台传输施工单位搜集处理后的数据,作为施工管理主系统平台的基础数据源。施工管理主系统平台在接收各个施工单位的动态数据后,实现对土建施工数据库、临时工程施工数据库、辅助工程施工数据库及施工质量安全数据库中数据的整合,完成数据统计分析,一方面辅助建设管理单位实现对工程建设的可视化管理,并提供一个科学、形象、可追溯的有效辅助管理手段,另一方面建设管理单位利用施工管理主系统平台将施工信息规范化分析处理后,实现了建设管理单位对施工单位的相关施工指令的下达,指导施工单位安全、高效、快速施工。工程项目闭环管理,实现对工程的总工期和关键路径的确定,对整个施工过程进行分解,明确了整个工程的各个阶段的任务与职责,定期对里程碑进度的完成情况进行分析,及时跟踪工程的实施、协调、控制情况,按时将工程进度情况、存在的问题进行分析调控,同时施工单位可以根据施工显示状况为建设管理单位提供建议与技术支撑,最终对施工进度、工程质量、施工安全等进行分析管理,为水利枢纽动态施工管理的实现提供一条可靠途径。冰冻河流水利枢纽施工动态管理实现方法如图1-1所示。

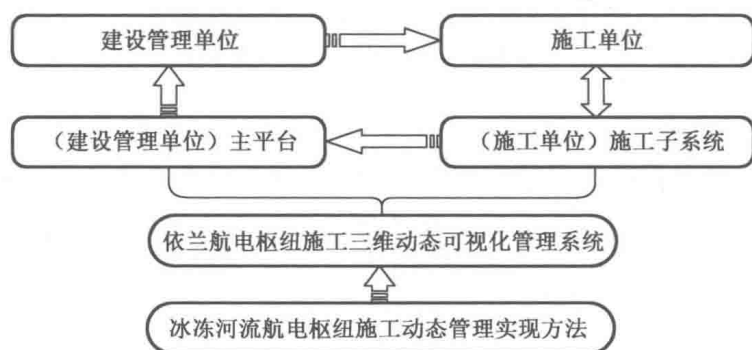


图 1-1 冰冻河流水利枢纽施工动态管理实现方法

1.4.2 水利枢纽施工动态三维可视化管理系统基本框架

面向水利枢纽施工动态管理总体要求,基于 ArcGIS Engine 二次开发技术、SQL Server 2008 数据库技术、空间数据库挖掘技术,以及数据库连接及应用技术,完成施工动态三维可视化管理系统研发。该管理系统具备二、三维场景联动下水工建筑物及环境要素的查询、定位、漫游、放缩、鹰眼等功能,同时完成 GIS 二、三维场景下的施工进度可视化管理、施工进度调整与工期优化、施工过程的动态仿真、安全质量管理、工程电子图库、数据管理与报表、GIS 辅助工具等模块,实现目标工程基础数据的采集、查询、统计、报表输出等功能,同时基于数据动态更新机制,科学、形象、立体地展现水利枢纽工程建设过程中的各施工段状况,为实现水利枢纽建设的精细化、可视化管理提供技术支撑。

施工动态三维可视化管理系统针对水利枢纽工程施工总过程的特点,融合土建工程施