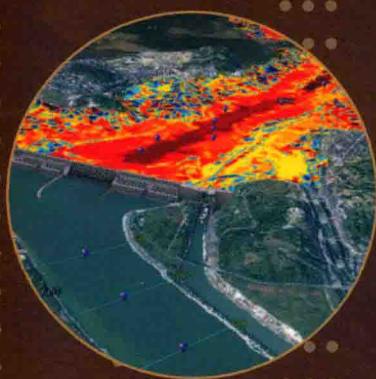


三峡水库泥沙冲淤变化 三维动态可视化 系统设计与实现

许全喜 王伟 刘亮 李圣伟 白亮 原松 任实 编著



非外借

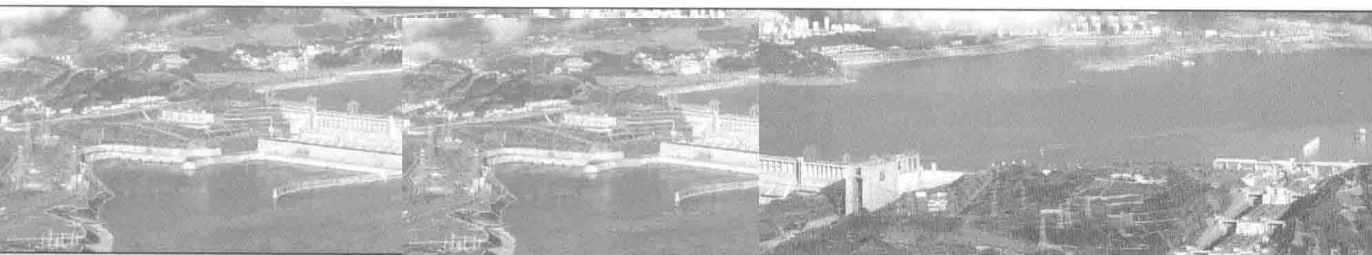


WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

三峡水库泥沙冲淤变化 三维动态可视化系统 设计与实现

许全喜 王伟 刘亮 李圣伟 白亮 原松 任实 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

三峡水库泥沙冲淤变化三维动态可视化系统设计与实现/许全喜等编著. —武汉:武汉大学出版社,2019.3

ISBN 978-7-307-20712-7

I.三… II.许… III. 三峡工程—水库泥沙—泥沙冲淤—计算机辅助设计—应用软件 IV.TV145-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 024012 号

责任编辑:杨晓露

责任校对:汪欣怡

版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮箱:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:北京虎彩文化传播有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:15.5 字数:365千字 插页:1

版次:2019年3月第1版 2019年3月第1次印刷

ISBN 978-7-307-20712-7

定价:46.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

长江三峡水利枢纽是世界罕见的大型多目标水利工程，具有防洪、发电、航运、供水和旅游等巨大的综合效益。水库淤积问题是水库发挥综合效益的重要制约因素。因此，如何减少水库泥沙淤积，减轻其对航道、港口、码头等的影响，同时延长水库的使用寿命，是今后相当长一段时期内三峡水库科学调度所面临的关键技术问题之一。

随着科技水平和以三峡水库为核心的大型水库群联合调度要求的逐步提高，在已有研究成果的基础上，进一步根据三峡水库已累积的大量的水文泥沙、河道地形实时监测数据，利用 GIS 技术及三维仿真技术，结合三峡水库为核心的水库群联合调度会商平台建设的要求，研究建立三峡水库泥沙冲淤变化三维动态演示系统，对新水沙条件和水库群联合调度下三峡水库泥沙冲淤变化进行更为及时、高效的计算分析是十分必要的。

2016 年中国长江三峡集团有限公司设立“三峡水库泥沙冲淤变化三维动态演示系统”专题，由长江水利委员会水文局负责研发。通过对本专题的研究，能够更加及时、形象、逼真地展现水文泥沙冲淤变化过程，实现测绘成果的分析与共享、监测数据与三维球体快速浏览瓶颈体之间的融合与统一，填补大型水库泥沙冲淤三维动态分析与演示的空白。该专题的研究不仅可实现三峡水库主要控制站水沙整编数据、实时监测与报讯数据和库区地形、固定断面数据的实时入库与科学管理，实现库区实测泥沙冲淤的实时动态演示与定量分析，还可利用三峡库区水沙一维数学模型，通过三维平台动态实时演示水库实时调度过程中库区水沙输移和泥沙冲淤变化过程，总结库区泥沙的输移规律，指导三峡水库的实时调度，为水库最大限度地发挥防洪、发电和航运等综合效益服务。

本书以软件工程的思路，科学地阐述了地理信息系统在水利行业的发展应用趋势，着重介绍了三峡水库泥沙变化三维动态分析和可视化需求要点，从水文泥沙理论和分析方法等方面对系统进行了总体设计、平台搭建、数据库设计，以实现系统各项功能，其间还特别对一些重要算法和关键技术手段进行了详细描述，让读者能更加清晰地了解系统实现的理论依据和方法技巧。

系统在技术路线设计与开发过程中采用了多项先进技术，主要体现在三维 GIS 技术和仿真技术融合、灵活可扩展的跨平台集成技术、功能强大的河床演变综合分析技术、基于 Web Services 模型库的水沙预测模型管理与调度技术、河道泥沙分析预测与三维动态模拟仿真技术等方面。

该系统组织严谨、功能强大，结构清晰明了、操作简单。通过本书的讲解，希望对读者在开发此类系统方面有所启发，使读者了解如何将海量的空间数据与属性数据进行组织，为数据管理和各类功能实现提供快速、合理的存储方式，了解如何利用相关算法和技术实现能满足日常水文泥沙分析与预测需求的功能，从而提高对此类系统的分析和设计能

力。本书适合有一定水文泥沙相关知识和 GIS 开发经验的读者学习。

本书共包括 9 个章节和 3 个附录。长江水利委员会水文局许全喜、王伟、李圣伟、白亮、原松和中国长江三峡集团有限公司枢纽局刘亮、任实负责各章节的编写，由许全喜统稿。

第 1 章“概述”，介绍了地理信息系统及其在水利中的应用、三峡库区的泥沙概况。由许全喜、刘亮编写。

第 2 章“系统开发过程及特点”，对系统的功能与特点进行了概述。由王伟、许全喜编写。

第 3 章“关键技术与算法”，介绍了在系统实现中所用到的新技术、新方法以及重要的算法与关键的处理技巧。主要由王伟、许全喜、任实编写。

第 4 章“系统总体构架设计与实现”，总体设计从总设计师的角度，搭建了系统框架，提出了技术路线，阐明了设计的理念与原则，规划了系统软硬件平台。主要由许全喜、王伟、刘亮、任实编写。

第 5 章“数据库管理子系统设计及实现”，数据库设计介绍了系统数据基石的组织方式与存储方式。由李圣伟、白亮、任实编写。

第 6 章“三维浏览与信息查询模块设计及实现”，用于完成三维空间下的三峡库区大区域海量影像和地形数据实时渲染和漫游，并提供水文站、水位站、固定断面等信息的查询功能。主要由原松、李圣伟、白亮、刘亮等编写。

第 7 章“实测地形冲淤变化分析与动态演示模块设计及实现”，用于完成三维空间下，基于实测地形的冲淤变化的相关计算和三维动态的展示。主要由李圣伟、原松、王伟编写。

第 8 章“实测地形库容计算与动态演示模块设计及实现”，用于完成三维空间下，基于干流或主要支流的实测地形的库容计算及三维展示。主要由白亮、李圣伟、原松编写。

第 9 章“一维泥沙冲淤数模成果表现与动态演示模块设计及实现”，介绍了一维泥沙冲淤计算模型封装、计算、成果展现的过程。主要由原松、李圣伟、任实编写。

最后的附录由原松、白亮组织编写。

本书在编著过程中，武汉大学王伟教授，武汉吉嘉时空信息技术有限公司苏卫波总经理和王鹏博士等为本书的编写提供了大力支持和许多诚恳的建议，在此向他们致以衷心的感谢！

由于时间和水平有限，书中难免存在疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

作 者

2018 年 11 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 地理信息系统概况	1
1.2 地理信息系统在水利中的应用	2
1.2.1 在防洪减灾中的应用	2
1.2.2 在水资源管理中的应用	3
1.2.3 在水资源与水土保持中的应用	3
1.3 水利行业应用发展趋势	4
1.4 三峡库区及泥沙概况	4
第 2 章 系统开发过程及特点	6
2.1 系统需求分析	6
2.2 研究内容	6
2.2.1 研究目标	6
2.2.2 主要研究内容	7
2.3 开发研究思路	7
2.4 系统开发过程	8
2.5 系统开发难点	9
2.6 系统主要特点	10
第 3 章 关键技术与算法	12
3.1 GIS/3DGIS	12
3.1.1 GIS	12
3.1.2 3DGIS	14
3.2 三维虚拟仿真	15
3.2.1 概念	15
3.2.2 特点	16
3.2.3 在水利方面的应用	16
3.2.4 在系统中的作用	16
3.3 影像金字塔	16
3.3.1 概念	16
3.3.2 在系统中的作用	17

3.4 地理坐标系统	17
3.4.1 地理坐标系统的概念	17
3.4.2 坐标系统	18
3.4.3 投影转换	20
3.4.4 在系统中的作用	20
3.5 水文泥沙分析与预测关键算法	20
3.5.1 断面要素计算	20
3.5.2 水量计算	23
3.5.3 沙量计算	23
3.5.4 河道槽蓄量计算	24
3.5.5 冲淤量计算	25
3.5.6 冲淤厚度计算	26
3.6 河道水面三维仿真	26
3.6.1 概念	26
3.6.2 方法	26
3.6.3 在本系统中的作用	31
3.7 一维水沙数学模型建立	31
3.7.1 模型基本方程	31
3.7.2 离散求解	32
3.7.3 补充方程	35
3.7.4 模型有关问题处理	38
3.8 断面变化	40
3.8.1 概念	40
3.8.2 在本系统中的作用	41
3.9 渲晕图变化	42
3.9.1 渲晕图变化概念	42
3.9.2 在本系统中的作用	42
第4章 系统总体构架设计与实现	44
4.1 设计理念	44
4.1.1 使用理念	44
4.1.2 安全理念	44
4.2 架构设计	46
4.2.1 概述	46
4.2.2 软件体系架构图	46
4.2.3 软件开发设计与技术	48
4.2.4 软件环境	69
4.2.5 硬件环境	70

4.3	模块划分	70
4.3.1	子系统清单	70
4.3.2	各子系统功能描述	71
4.4	应用模式	72
4.5	系统逻辑视图	73
4.6	系统界面设计	74
4.6.1	总体原则	74
4.6.2	原则详述	75
4.6.3	界面设计	76
4.7	用户分析与权限设计	77
第5章	数据库管理子系统设计及实现	79
5.1	概述	79
5.2	子系统研制方案	79
5.3	数据分类及组成分析	80
5.4	数据库设计	81
5.4.1	数据组织	81
5.4.2	数据库表设计	82
5.4.3	数据库逻辑设计	83
5.4.4	数据库编码规则	84
5.4.5	地形图要素分类与编码方案	84
5.5	系统功能实现	85
5.5.1	系统维护	85
5.5.2	数据维护	87
第6章	三维浏览与信息查询模块设计及实现	91
6.1	概述	91
6.2	功能列表	91
6.3	功能设计与实现	93
6.3.1	基本信息查询	93
6.3.2	断面查询	116
6.3.3	测站信息查询	126
6.3.4	可视化成果输出	143
6.3.5	档案管理	145
第7章	实测地形冲淤变化分析与动态演示模块设计及实现	147
7.1	概述	147
7.2	功能列表	147

7.3 功能设计与实现	148
7.3.1 局部地形查看	148
7.3.2 地形渲染	150
7.3.3 断面法冲淤量计算	155
7.3.4 地形法冲淤量计算	157
7.3.5 冲淤厚度图演示	159
7.3.6 冲淤高程关系	163
7.3.7 深泓线分析	166
第8章 实测地形库容计算与动态演示模块设计及实现	168
8.1 概述	168
8.2 功能列表	168
8.3 功能设计与实现	169
8.3.1 水位实时动态变化演示	169
8.3.2 断面法库容计算	174
8.3.3 地形法库容计算	176
8.3.4 静库容成果分析	179
8.3.5 库容高程曲线	181
8.3.6 实时库容分析	183
8.3.7 初步设计成果库容对比曲线	185
第9章 一维泥沙冲淤数模成果表现与动态演示模块设计及实现	187
9.1 概述	187
9.2 功能列表	187
9.3 功能设计与实现	187
9.3.1 一维泥沙成果预测	187
9.3.2 一维泥沙冲淤成果展示	190
附录	193
附录1 数据提交标准	193
附录2 矢量图形分层标准	208
附件3 数据库数据表结构清单	219
参考文献	237

第1章 概述

1.1 地理信息系统概况

地理信息系统(GIS, Geographic Information System)是一门综合性学科,结合地理学与地图学以及遥感和计算机科学,已经广泛地应用在不同的领域,是用于输入、存储、查询、分析和显示地理数据的计算机系统。随着GIS的发展,也有称GIS为“地理信息科学”(Geographic Information Science);近年来,也有称GIS为“地理信息服务”(Geographic Information Service)。GIS是一种基于计算机的工具,它可以对空间信息进行分析和处理(简而言之,是对地球上存在的现象和发生的事件进行成图和分析)。GIS技术把地图这种独特的视觉化效果和地理分析功能与一般的数据库操作(例如查询和统计分析等)集成在一起。

地理信息系统通常主要由四个部分组成:①存储处理和表示数据的硬件;②管理和分析数据、获取所需信息的软件;③描述客观对象并被储存于信息分类中的相关地理数据;④使用信息系统的部门,它们的管理和使用方法以及各组织间的联系。地理信息系统是一种用来管理、分析空间数据的空间数据库管理系统,几乎所有使用空间数据和空间信息的部门都可以应用GIS。

目前,GIS成为以应用为基础、市场为导向、软件为核心的产业,被应用到城市规划与管理、社会调查与统计分析、环境保护与管理、土地管理、地理测绘与管理、交通与管道管理等与空间信息密切相关的各个方面。其中,水利信息化建设数据量大,而且类型多,70%以上与空间地理位置相关,充分利用地理信息系统的作用将极大地促进水利现代化的建设步伐。水利部早在“十五”规划中就明确指出:“建设水利信息系统时,要以地理信息系统(GIS)为框架。”在水利信息化系统建设中,GIS是系统构建的框架,是辅助决策的工具和成果展示的平台,不仅可以用于存储和管理海量水利信息,还可用于水利信息的可视化查询与发布,其空间分析能力甚至可以直接为水利决策提供辅助支持。国内水利行业应用GIS经历了认识了解、初步应用和结合GIS技术进行深入研究三个阶段。随着GIS在水利领域应用范围的不断扩大,其应用层次也逐渐深入,从最初的只注重数据的可视化,发挥查询、检索和空间显示功能,到成为分析、决策、模拟甚至预测的工具,在防汛减灾、水资源管理、水环境和水土保持等方面都得到了广泛应用。

1.2 地理信息系统在水利中的应用

1.2.1 在防洪减灾中的应用

我国幅员辽阔，自然地理地貌十分复杂，洪涝灾害发生频繁，使国家和个人都蒙受了很大的经济损失。随着社会经济和科学技术的飞速发展，我国的防洪工作将逐步从“以洪水为敌”的控制洪水向体现水资源特性的洪水管理转变，全面建成覆盖全国的水利信息网络，其中防洪减灾属于重点应用系统。目前 GIS 技术在防洪减灾方面的应用主要有以下四种类型：

1. 防汛决策支持系统或信息管理系统的平台

在国家防汛指挥系统总体设计框架下，目前流域或省、自治区、直辖市的防汛决策支持系统或防汛信息管理系统都以 GIS 为平台。GIS 在这些系统中的作用主要体现在以下几个方面：

- ①空间数据处理、查询、检索、更新和维护；
- ②利用空间分析能力和可视化模拟显示为防汛指挥决策提供辅助支持；
- ③为各类应用模型提供实时数据；
- ④优化模型参数；
- ⑤预报预测和防汛信息及决策方案的可视化表达。

2. 灾情评估

在灾情评估中，GIS 作为基础平台，它充分利用了自己的查询和分析功能以及可视化模拟的能力，发挥了很多别的系统不具备的作用：

- ①基础背景数据(包括地理、社会、经济)的管理；
- ②空间和属性数据查询、检索、统计和显示的基础；
- ③灾情数据的提取和分析；
- ④灾情的模拟和可视化表达；
- ⑤对决策起辅助作用的工具。

3. 洪涝灾害风险分析与区划

洪涝灾害风险分析是分析不同强度的洪水发生概率及其可能造成的损失。它包括洪水的危险性分析，承灾体的易损性和损失评估。采用 GIS 技术，可以将上述三方面所涉及的诸多自然、地理和社会因子附上相应的权重进行空间叠加，是进行洪涝灾害风险分析与区划的有效手段。GIS 发挥的作用有：

- ①多源、多尺度和海量数据的管理；
- ②空间数据的叠加与综合处理；
- ③图形处理的特殊功能。

4. 城市防洪

由于城市社会经济地位和社会影响的特殊性，防洪工作尤其重要。同时由于许多城市都是依水而建和城市不透水面积大、产流量大等特点，防洪工作的难度比农村地区大，所

以 GIS 在城市防洪中发挥的作用除了一般防洪减灾决策支持系统外,还利用其时空特征分析和高分辨率数据的处理功能在城市防洪减灾中发挥了更多更大的作用,目前比较突出的有以下几个方面:

- ①城市积水、退水的预报预测;
- ②现有排水设施(排水管网、泵站等)信息的管理;
- ③排水设施的规划、设计和施工管理;
- ④暴雨时空特征分析;
- ⑤以街道为统计单元和以街区为空间单元的社会经济数据空间展布;
- ⑥暴雨分布及积水街道分布的可视化显示;
- ⑦高分辨率、多层次、多源和更新频繁的数据的存储、维护和管理。

1.2.2 在水资源管理中的应用

我国水资源短缺,而且分布极不均匀。同时由于我们在社会经济飞速发展的过程中对环境保护不力,因此在资源型缺水的同时又加上水质型缺水,水资源严重短缺又存在水资源浪费。面对如此严峻的形势,水资源管理工作已经被赋予了维系社会经济可持续发展的历史性重任。由此也决定了必须用现代化的手段,实现以信息化为基础的技术来对水资源进行监控管理,才能解决好资源水利中的诸多复杂问题,这也为 GIS 提供了大显身手的机会。

水资源信息的面非常广,有水文气象、地理、地质、水质、水利工程、水处理工程,各行各业与生活需水量等。所有这些数据既有历史的,又有实时或现状的,从性质上决定了其具有多源、多时相、多种类和动态这几个基本特征。水资源信息管理系统发挥了从时间、空间上了解水资源的现状与变化,通过模拟可视化直观地表示水资源状况,有助于让研究人员和决策人员了解水资源的变化规律,通过信息处理和分析,提供管理的基础信息与手段,完善水资源信息的管理与更新,实现数据共享。在水资源信息管理系统中 GIS 发挥的作用大致有以下几个方面:

- ①历史数据管理和实时数据的动态采集和加载;
- ②信息的空间与属性双向查询和分析;
- ③时空统计;
- ④以多种方式直观地可视化表达各类信息的空间分布及模拟动态变化过程;
- ⑤区域水资源的空间分析;
- ⑥区域水资源管理模式区划,如地下水禁采与限采区划、水环境区划等。

1.2.3 在水资源与水土保持中的应用

由于社会经济高速发展中过多的人类活动影响,我国的水系污染问题已经十分严重了,土壤侵蚀面积达国土面积的 20% 以上,而土壤侵蚀本身也是造成水系污染的主要因素之一。为了进一步了解和监测水环境和水土保持的情况,水利部门已有包括 170 多个主要测站的全国水环境信息管理系统,有如广东那样的省级系统,有如三峡库区那样的区域性系统,也有如九洲江那样的江河级系统。水环境信息管理系统是空间决策支持系统的基

础或者是组成部分，而 GIS 是其基础，同时也是提取数据和显示数据的平台。这些以 GIS 技术为支撑的信息管理系统和空间决策支持系统的功能主要有以下几个方面：

①自然、地理、社会经济等基础背景数据，水利工程与设施，监测站点，水质与水量的历史与实时数据，水环境评价等级，水质标准及法规和条例，决策项目和边界条件数据，水污染预测数据的采集和管理；

②建立空间数据和属性特征的拓扑关系，用来进行数据的双向查询；

③通过对区域或上下游水质的空间分析，找出某水质参数严重超标的污染源；

④各类数据的可视化表达和可视化共享；

⑤水质水量模拟与预测；

⑥污染排放管理与控制；

⑦取水口位置最优化选择和各类突发事件的处理方案及优化。

1.3 水利行业应用发展趋势

GIS 在水利行业中的应用随着各种信息技术的发展和人们认识的转变而不断加深，发展趋势也呈现出多方面的特点：

①多媒体技术与数据库、通信技术和知识信息处理相结合，开发界面友好、具有一定智能的决策支持系统，与计算机图形模拟技术和 GIS 结合来解决水利行业管理中的实际问题。

②引入神经网络技术、模糊控制理论及人工智能理论，集成专家系统(ES)与地理信息系统，将使 GIS 在水利信息化中的应用进入全新的领域。

③网络技术发展和信息高速公路的建设促进具有统一规范标准的多级、分布式具有网络通信功能的地理信息系统的发展，将更有利于处理具有分布式特点的水利问题。

④利用全球定位系统(GPS)的实时定位功能和遥感(RS)大面积同步数据收集功能，与 GIS 强大的空间分析功能相结合，3S 集成技术在水利信息化中将发挥重要作用。

⑤现代无线通信技术的发展，使得在移动终端上开发实时数据接收与分析的地理信息系统成为可能，对于水利信息化也有着重要意义。

1.4 三峡库区及泥沙概况

三峡水库，是三峡水电站建成后蓄水形成的人工湖泊，总面积达 1084 平方千米，范围涉及湖北省和重庆市的 21 个县市，串流 2 个城市、11 个县城、1711 个村庄，其中有 150 多处国家级文物古迹，库区受淹没影响人口共计 84.62 万人，搬迁安置的人口有 113 万。淹没房屋总面积 3479.47 万平方米。175 米正常蓄水位高程，总库容 393 亿立方米，形成总面积达 1084 平方千米的人工湖泊。三峡库区是指受长江三峡工程淹没的地区，并有移民任务的 20 个县(市)。库区地处四川盆地与长江中下游平原的结合部，跨越鄂中山区峡谷及川东岭谷地带，北屏大巴山、南依川鄂高原。

根据长江水利委员会 2015 年底对外发布的《长江泥沙公报》，三峡库区淤积泥沙情况

远好于预期，2014 年库区淤积泥沙仅 0.449 亿吨，仅为原预测值的一成多。这一数字仅为原预测值 3.3 亿~3.5 亿吨的一成多；水库排沙比为 19.0%。专家表示，三峡水库泥沙淤积量少于预期，有利于延长水库使用寿命和综合效益的发挥。

长江三峡水库水下实测地形表明，水库蓄水以来，横断面以主槽淤积为主；从沿程变化来看，94.1%的淤积量集中在宽谷段，且以主槽淤积为主；窄深段淤积相对较少或略有冲刷；深泓最大淤高 64.6 米。

同时，《长江泥沙公报》分析了三峡库区泥沙淤积减少的原因，主要是上游水库群拦截泥沙、水土保持和退耕还林减少了水土流失面积、上游降雨量总体偏少等因素导致水库上游来沙大幅减少。三峡水库采用了“蓄清排浑”的运行方式，使得汛期约三成的泥沙被排除在库外。此外，长江水利委员会通过科学调度，在汛期开展沙峰调度，有效减少了水库的泥沙淤积。

第 2 章 系统开发过程及特点

2.1 系统需求分析

长江三峡水利枢纽是世界罕见的大型多目标水利工程，具有防洪、发电、航运、供水和旅游等巨大的综合效益。水库淤积问题是水库发挥综合效益的重要制约因素。因此，如何减少水库泥沙淤积，减轻其对航道、港口、码头等的影响，同时延长水库的使用寿命，是今后相当长一段时期内三峡水库科学调度所面临的关键技术问题之一。

近年来，中国长江三峡集团公司和长江水利委员会水文局研究建立了水文泥沙信息分析管理系统、库尾泥沙冲淤实时分析系统，初步实现了三峡水库水文泥沙整编数据和河道地形数据的统一管理，以及水库库尾河段实时泥沙冲淤分析，提高了分析成果的时效性、准确性，并在三峡水库科学调度中得到成功应用。

随着科技水平和三峡水库为核心的大型水库群联合调度要求的逐步提高，在已有系统的基础上，进一步利用三峡水库已累积的大量的水文泥沙、河道地形实时监测数据和 GIS 技术及三维仿真技术，结合三峡水库为核心的水库群联合调度会商平台建设的要求，研究建立三峡水库泥沙冲淤变化三维动态演示系统，对新水沙条件和水库群联合调度下三峡水库泥沙冲淤变化进行更为及时、高效的计算分析是十分必要的。通过研究，可以更加及时、形象、逼真地展现水文泥沙冲淤变化过程，可实现测绘成果保密与共享、监测数据与三维球体快速浏览瓶颈体之间的融合与统一，可填补大型水库泥沙冲淤三维动态分析与演示的空白。研究既可实现三峡水库主要控制站水沙整编数据、实时监测与报讯数据和库区地形、固定断面数据的实时入库与科学管理，实现库区实测泥沙冲淤的实时动态演示与定量分析，还可利用三峡库区水沙一维数学模型，通过三维平台动态实时演示水库实时调度过程中库区水沙输移和泥沙冲淤变化过程，提示库区泥沙的输移规律，指导三峡水库的实时调度，为水库最大限度地发挥防洪、发电和航运等综合效益服务。

2.2 研究内容

2.2.1 研究目标

通过本研究，实现库区河道水沙资料的高效管理；通过三维动态计算与仿真，可以更加形象、逼真地展现水文泥沙冲淤变化过程，指导三峡水库的实时调度，为水库最大限度地发挥防洪、发电和航运等综合效益服务。主要目标包括：

①实现三峡水库进出库水沙、库区固定断面和地形数据的统一、高效和科学、安全管理,为三峡水库科学调度提供及时、准确的基础水沙数据保障。

②结合历年水文泥沙、库区地形、固定断面监测数据和三维 GIS 平台,重点实现三峡水库泥沙冲淤变化过程,局部河段河床地形变化的二、三维动态计算和展示,为三峡水库的科学调度提供科学、方便、快捷的实时分析计算工具。

③运用三峡水库一维水沙数学模型计算成果,利用二、三维动态展示技术,实现三峡水库实时调度过程中的泥沙冲淤变化的动态演示,为三峡工程调度运行与管理提供参考。

2.2.2 主要研究内容

收集整理三峡水文泥沙、库区地形监测数据,建立库区河道地形、水沙综合数据库,将 GIS 技术、三维仿真与可视化技术与三峡水库水沙数学模型相结合,开发三峡水库泥沙冲淤变化三维动态演示系统,形象、逼真地展现水文泥沙冲淤变化过程,为三峡水库防洪发电、科学调度、科学管理提供技术支撑和参考。主要研究内容包括:

(1)收集、整理资料与数据库建设

系统收集整理长系列三峡水库水文泥沙观测数据、河道地形及固定断面数据,结合水沙实时监测数据和数据保密技术,建立统一、高效、科学、安全的河道地形与水沙数据库管理系统。

(2)实测资料,对泥沙冲淤变化进行分析、计算与动态演示

利用三维 GIS 平台,进行基础水沙信息查询,结合三峡水库实测地形,实时提供三峡水库沿程、局部重点河段河床地形三维图,实现三峡水库局部河段泥沙冲淤量、河床冲淤面积、冲淤厚度等计算功能及泥沙冲淤变化的三维动态展示,绘制不同时期库区任意横、纵剖面 and 库段泥沙冲淤变化分布云图,制作分段冲淤量、冲淤速率等统计图表。

(3)库容分析计算与动态演示

结合三维仿真与可视化技术,实现三峡水库不同坝前水位下库区水面范围与面积和水库库容的自动演算和动态演示。

(4)水沙数学模型计算与动态演示

运用三峡水库一维水沙数学模型计算模拟成果,利用二、三维动态展示技术,实现三峡实时水库调度过程中的泥沙冲淤变化的动态演示。

2.3 开发研究思路

在已有三峡水库一维水沙数学模型、GIS 水文泥沙分析与管理研究的基础上,结合“金沙江下游梯级水电站水文泥沙数据库及信息管理分析系统”和“三峡水库库尾泥沙冲淤实时分析系统”等多个专业的水沙及河道地形信息分析与管理模式,利用计算机网络、仿真和数据库管理技术,建立三峡水库泥沙冲淤变化三维动态演示系统,多视角实时掌握、模拟水库水沙变化和河床冲淤变化过程,为三峡水库科学调度管理提供高效服务。主要开发研究思路如下:

①建立空间与属性数据一体化管理的三峡水库水沙与河道地形数据库管理系统。收集

三峡水库进出库水沙整编资料、河道地形以及断面数据等，结合实时报讯、水沙监测数据，在与中国长江三峡集团公司现有系统数据库存储格式兼容的基础上，统一数据存储格式及传输规范，数据库结构采用行业标准表结构，无标准的，遵循数据库规范和参照行业标准设计；与一维泥沙数学模型预测分析成果等通过数据处理终端接入系统提供的入库接口或通过指定的数据库访问端口进行调用；开展工艺规程制订，进行数据整理、DEM生成、数据入库等。

②通过综合监测成果，结合理论分析，分析库区河段水沙特性，利用已开发的三峡库区一维水沙数学模型，参考以往各种条件下已有的三峡水库的淤积成果和河床演变分析方法，建立泥沙冲淤变化过程和河床地形变化的演示模型，开展不同条件下三峡水库运用后库区的冲淤变化过程分析，为三维动态计算和仿真提供大范围、长系列的数据支持。对局部重点河段如重庆主城区、洛碛、黄花城、青岩子、坝前段等开展更高精度的河床冲淤变化分析与三维动态演示。

③进行应用系统开发。按照软件工程的要求，将整个系统的开发过程分为需求分析、系统设计、系统编码和测试、系统运行和维护四个阶段进行。需求分析阶段主要明确系统要解决的主要问题和建设目标，结合已有水沙分析成果和系统开发成果、数据安全性要求，完成系统的可行性研究。系统设计阶段首先根据系统需求确定系统的主要功能和性能，结合公司现有系统体系架构，确定系统的边界和结构体系，选定软硬件平台；然后在系统概要设计的基础上进行系统的详细设计，深入描述系统的功能和性能，并提出实现系统的具体技术方案。系统编码和测试阶段主要是通过对系统进行编码和测试满足系统功能和性能的需要。系统运行和维护阶段主要是根据用户的使用需求对系统运行中存在的问题和不足进行改正性维护、适应性维护和完善性维护，为系统的运行提供必要的服务。

④完成系统集成，将硬件平台、网络设备、操作系统、开发的应用软件，集成、融合为功能和信息相互关联的、统一和协调的系统之中，使资源达到充分共享，实现集中、高效、便利、安全的管理，并部署安装，进行系统运行。

2.4 系统开发过程

系统的设计研发经历了前期调研、需求分析、系统设计、编码实现、集成安装与试运行等各阶段的工作。按系统研发合同要求按时完成了三维浏览与信息查询、实测地形冲淤变化分析与动态演示、实测地形库容计算与动态演示、一维泥沙冲淤数模成果表现与动态演示、数据库管理五大功能的设计研发，并通过了计算机软件产品质量检测机构——湖北华仲软件测评服务有限公司的第三方测试。

该系统研发从2016年1月开始，历经12个月的时间，其中前期调研、数据准备与整理入库历时2个月，系统开发用时9个月，系统试运行1个月。在系统研发过程中，多次召开正式会议和工作交流会，各级领导、专家、项目管理人员提出了多项建议和意见，不断帮助提升技术水准，持续助推、优化软件的开发和研制；技术开发人员根据各次会议与各类交流的精神、客户需求及实际运行情况，多次修改、补充研发方案，完善和改进系统和技术文档，开发完成了系统的5个子系统，十余个模块，数万行代码，编写了31期的