

· 信息技术 ·



荆江护岸工程施工水下抛石形态 实时监控系统的*

付旭辉^{1,2}, 罗宏^{1,3}, 杨胜发¹, 李德华³, 胡伟才³, 刘常全³, 马文杰³

(1. 重庆交通大学 国家内河航道整治工程技术研究中心, 重庆 400074;

2. 重庆交通大学 水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074; 3. 长江重庆航道工程局, 重庆 400011)

摘要: 长江中游荆江河段是航道整治工程难度大、水沙条件变化复杂的河段。目前, 该河段典型的航道整治措施为软体排加抛石与钢丝网护坡相结合的稳滩固岸结构, 而施工中水下抛石形态的监控难度较大, 缺少简便、直观、实用的软件与地形测量仪器相结合。本研究基于多波束河床地形扫描技术和三维虚拟仿真技术, 开发一种水下抛石着床形态实时监控系, 对抛石前后的水下地形进行对比分析, 及时反馈抛石施工区域漏抛少抛超过安全允许范围的情况并预警。研究成果将对水下抛石施工的质量控制具有重要的意义。

关键词: 荆江河段; 水下抛石施工; 床面形态; 实时监控系

中图分类号: TV 148; U 615

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)05-0105-05

Real-time monitor system of riprap form under water in Jingjiang river

FU Xu-hui^{1,2}, LUO Hong^{1,3}, YANG Sheng-fa¹, LI De-hua³, HU Wei-cai³, LIU Chang-quan³, MA Wen-jie³

(1. National Engineering Research Center for Inland Waterway Regulation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Key Laboratory of Hydraulic and Waterway Engineering of the Ministry of Education, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

3. Changjiang Chongqing Waterway Engineering Bureau, Chongqing 400011, China)

Abstract: The waterway regulation engineering is very difficult in middle Yangtze River which is called Jingjiang reach because of the special flow and sediment characteristics. The soft mattress with riprap and steel wire mesh protection structure is used as a typical waterway regulation measure to make the bank shore steady in recent years. Due to the lack of intuitive and practical software combined with the terrain measurement instruments, there are many difficulties in bed form monitor during the underwater riprap construction. This paper develops the real-time monitor system on the underwater riprap bed form based on the multi-beam terrain scanning and 3D-VR technology to compare the underwater terrain before and after the riprapping. The system can feed back the information once the riprap form is beyond the safe threshold value and warn the operator to do some remedial work. The research result will benefit the quality control of the construction of underwater riprap significantly.

Keywords: Jingjiang reach; underwater riprap construction; bed form; real-time monitor system

1 研究背景

荆江河段上起枝城, 下迄洞庭湖出口处的城陵矶, 全长约 347.2 km, 以藕池口为界, 分上、下荆江。由于自身的自然特性加之三峡工程清水

下泄的影响, 河床演变剧烈, 洲滩变迁频繁, 航槽极不稳定, 碍航情况频发。长江中游通航能力不足的问题仍十分突出, 荆江河段现有航道条件与日益增长的沿江经济对水运的需求仍有较大差距。

收稿日期: 2015-12-20

*基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划(2012BAB05B03); 国家自然科学基金委项目(51509027); 重庆市自然科学基金(cstc2011JJA30002); 重庆市教委基金(KJ1400319/KJ1400322); 重庆交通大学研究生教育创新基金(20140112)

作者简介: 付旭辉(1976—), 男, 博士, 副教授, 从事水利工程、航道泥沙方面的研究工作。

为缓解荆江河段航道的不利形势,航道部门已陆续对一些重要浅险碍航滩段实施了航道整治控导工程,对河道内与航道条件关系密切的关键滩槽进行控制。在整治工程设计中,为了保证整治措施的安全稳定,采用了大量的抛石压载措施,比如,对河岸采用边坡护岸和软体排防护,并抛石压载;对河滩采用透水框架和软体排防护,并抛石压载。

抛石压载技术在工程实践中取得了良好的护岸固滩效果,但也存在着一些问题。目前抛石施工依靠工程船定位,利用大船移动抛石。该施工工艺导致抛石区域定位精度不高,由于抛石粒径不均匀,大小混合的抛石在水下的运动距离不一致,导致床底抛石厚度也不能均匀分布,甚至出现漏抛区域。此外,现有的检测设备分辨率较低,功能单一,抛石在水流作用下着床位置不易确定,抛石过程中无法实时监测抛石的着床形态并及时修复。本文基于多波束河床地形扫描技术和三维虚拟仿真技术,开发一种水下抛石着床形态实时监控系,对抛石前后的水下地形进行对比分析,及时反馈抛石施工区域漏抛少抛情况并预警。本文的研究成果对水下抛石施工的质量控制具有重要意义。

2 研究区域概况

本文研究内容依托的长江中游荆江河段航道整治工程昌门溪—熊家洲段工程 VI 标段位于长江中游荆江河段的下段,全长约 54 km。河道左岸为湖北省监利县,右岸为湖南省岳阳市。

1) 工程方案。

依托工程包括窑监大河段和铁铺—熊家洲河段 2 段(图 1)。

① 铁铺—熊家洲河段。

广兴洲边滩守护工程:在广兴洲边滩建设 4 道护滩带,并对护滩带根部高滩进行守护,长 1.96 km。盐船套高滩守护工程:对左岸盐船套一带高滩岸线进行守护,长 1.984 km。熊家洲右边滩守护工程:在熊家洲右边滩建设 4 道护滩带,并对根部高滩进行守护,长 1.87 km。中沙堤护岸加固工程:

对中沙堤一带已护岸线进行抛石加固,长 2.398 km。

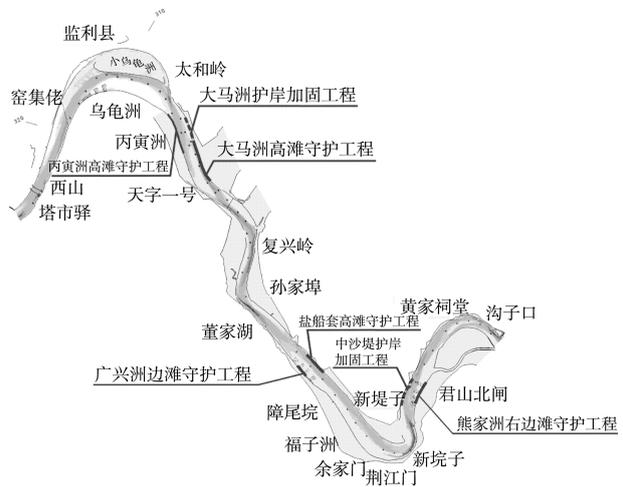


图 1 工程方案布置

② 窑监大河段。

丙寅洲高滩守护工程:对右岸丙寅洲高滩岸线进行守护,长 3.269 km。大馬洲加固工程:对左岸大馬洲已护岸线进行抛石加固,长 1 813 m。大馬洲高滩守护工程:对左岸大馬洲高滩岸线进行守护,长 2.85 km。

2) 现有抛石施工工艺。

目前水上抛石基本采用首船称重计量法。施工质量控制措施包括:抛石施工前根据网格面积计算抛石量,编制抛石网格设计工程量,绘制抛石网格示意图,施工时根据抛石船的装载量确定抛石网格,通过随时检测方量控制好每网格抛石数量,抛完一个网格立即作好记录,并严格按照每个抛石分区的工程量。

每抛完一个断面立即用测深仪进行检测,符合要求后才能移船进行下一断面施工(图 2)。



图 2 抛石施工现场

该方法采用网格体积控制, 对床面抛石形态监控也为水深仪单点测量, 速度慢、效率低、需要后期处理, 无法实现抛石效果的实时监控。因此, 本文采用多波束地形扫描仪, 一方面地形数据采集速度快效率高, 另外结合自行开发的三维监控软件对地形实现及时分析预警, 可以大为提高施工控制的精确性和实效性。

3 系统设计原理及算法

采用多波束地形扫描仪结合自行开发的地形对比预警系统, 实现对抛石施工的实时监控与预警, 提高抛石施工的控制精度。为了使软件适用于多种地形测量设备, 将多波束测量仪的输出文件导出为 ASCII 码的 X、Y、Z 数据集, 再用开发的软件及时读取分析。

本软件采用 MVC (model-view-controller) 框架模式, 该模式强制性地应用程序的输入、处理和输出分开到模型、视图、控制器这三个核心部件里, 并令它们各自处理自己的任务。软件框架如图 2 所示。

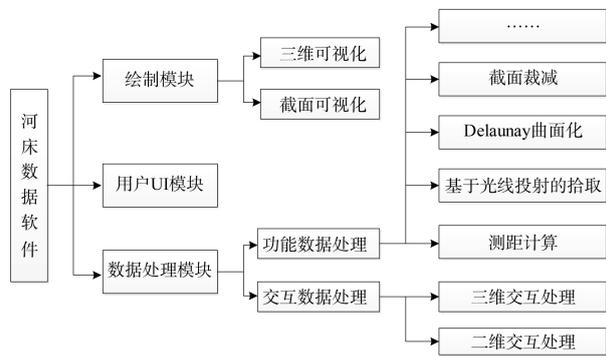


图 2 软件主要框架组成

根据具体需求, 软件分为点云数据建模、三维数据可视化、河床数据测量与分析、三维可视化交互共 4 个模块, 共同完成河床数据可视化、交互、辅助分析等功能。

软件主要基于计算机图形学及视觉的原理及算法实现。主要算法包括三维场景的构建、二维三维的平移旋转缩放、深度颜色映射、点云曲面化、截面裁切、等高线抽取、距离计算、局部数据框选等多种虚拟交互算法, 其具体原理如下。

3.1 基于 Delaunay 的点云数据曲面化

由于考虑软件的适用性, 输入数据是 X/Y/Z 的散点坐标集, 即相邻点之间不具备几何拓扑信息。这主要是由于测量设备只能提供点云数据, 而且在面临多处河床数据拼接的时候 (即希望完整观察连续的河床数据时), 只能利用点云数据进行融合而非曲面数据。另一方面, 点云数据不利于可视化分析, 直接对点云数据进行放大将看到区域空缺, 而且也不能在其上进行颜色信息、深度信息插值 (用户甚至不能判断空缺区域的深度值)。为了解决点云数据快速曲面化的问题, 本软件采用 Delaunay 三角化算法来实现点云数据曲面化, 效果如图 3 所示。

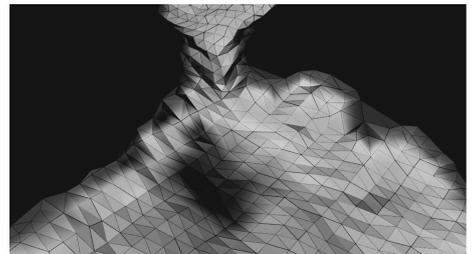


图 3 Delaunay 三角化算法效果

Voronoi 图和 Delaunay 三角网是被普遍接受和广泛采用的用于分析研究区域离散数据的有力工具。当然, 它不仅适用于地学, 而且活跃于所有与简单三维分析有关的领域。其中, Voronoi 图和 Delaunay 三角网的定义如下:

1) 设 x 为平面上的点, 则区域 $V(i) = \{x \in E_2 | d(x, x_i) \leq d(x, x_j), j = 1, 2, \dots, N, j \neq i\}$ 称为 Voronoi 多边形 (简称 V-多边形)。各点的 V-多边形共同组成 Voronoi 图。

2) Delaunay 三角网的定义: 有公共边的 V-多边形称为相邻的 V-多边形。连接所有相邻的 V-多边形的生长中心所形成的三角网称为 Delaunay 三角网 (简称 D-三角网)。

根据以上定义构建出的三角网具有一些重要的性质:

1) 空外接球准则。对于 n 维欧几里德空间中给定的点集, 例如: 本软件需求中的河床数据点云中, 任一 n 维单纯形的 n 维外界球内没有剖分

点。对于平面点集，这一准则称为空外接圆准则，对于三维点集，则成为空外接球准则。

2) 局部性。在已有的点云中加入或者移除一个顶点后，仅需要进行局部修改即可重新获得 Delaunay 三角剖分，并不影响整体剖分效果。

3) 最小角最大准则。对于给定的平面点集，任何一个三角剖分中总有一个三角形的内角是最小的，而 Delaunay 三角剖分中的这个最小角在所有三角剖分中的最小角之中是最大的，这一性质避免了狭长三角形的出现，是平面点集上 Delaunay 三角剖分的特有性质。

3.2 基于 VTK 的三维可视化交互

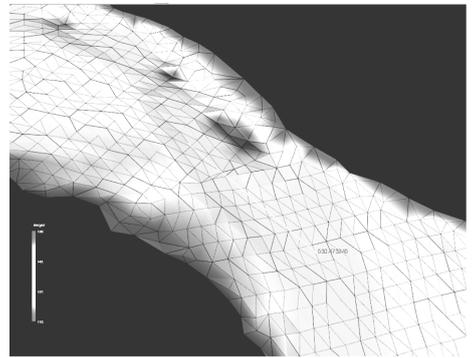
三维数据可视化交互是计算机仿真的一种，其目的是利用计算机模拟真实环境中的对象。为了提供在观察河床数据中更有沉浸感的体验，本软件实现了漫游式的可视化交互，以用户为第一视角实现对河床数据的旋转、平移和缩放。同时，增强辅助功能的即视感，对于测距、框选等辅助分析的功能实现了实时的辅助线和辅助框来提高用户体验输出项。

3.3 基于光线投射的拾取功能

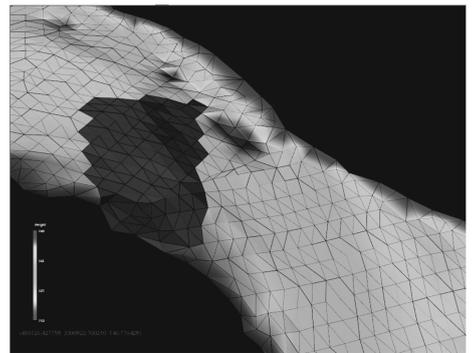
采用基于光线投射的方法，通过矩阵变换将屏幕二维点变换到空间点坐标，并发出一条光线射向整个河床模型。利用三角形求交算法找到与之相交的片面，最后通过线性插值得到拾取的点坐标。以此功能为基础，本软件实现了测距、截取截面、框选河床区域等指定需求功能。其中，测距功能满足了对河床数据测量的需求，截取截面满足了查看任意截面的需求，框选功能满足了关注特定区域的需求。图 5 显示应用拾取功能完成的测距和框选的示例。

3.4 等高线抽取

为可视化河床数据的高度差，本软件将高度值与颜色映射，并显示高度条于界面。在此基础上，本软件还实现了等高线抽取及显示功能，只需要简单输入希望的深度值，软件自动在河床曲面数据上勾勒出黑色的等高线，有助于快速理解数据。



a) 测距



b) 框选

图 5 拾取操作结果

等高线是指曲面上高度值相等的各点连线，主要用于气象、地形、水文等领域。本软件借鉴了三维曲面重建中的等值面抽取方法，即移动立方体算法 (marching cube) (图 6)。该算法的基本原理是将空间划分成若干独立的单元，对于每一个单元分别提取等值线或者等值面与该单元的交点与交线。再利用拓扑追踪算法将分离的交线连接起来。下图显示了本软件产生的等高线效果，通过输入指定数据可以清晰看到指定高度的等高线。

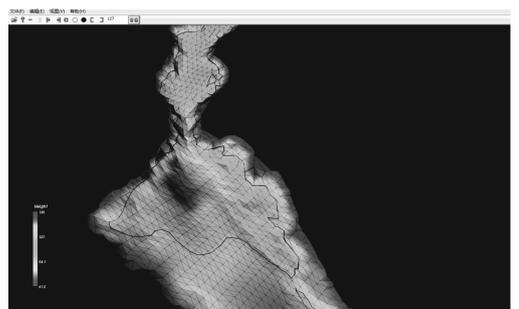


图 6 等高线抽取算法

3.5 截面裁切

本软件实现了对河床数据进行截面观察的功能,其核心包括截面选择与截面计算。截面选择在三维场景交互算法中实现,截面的计算需要利用数字几何处理算法实现。本软件利用几何数据的拓扑关系以及截面选择的先验知识过滤,最后将得到的点连成线形成最终的截面。图7是分屏显示二维截面的例子。

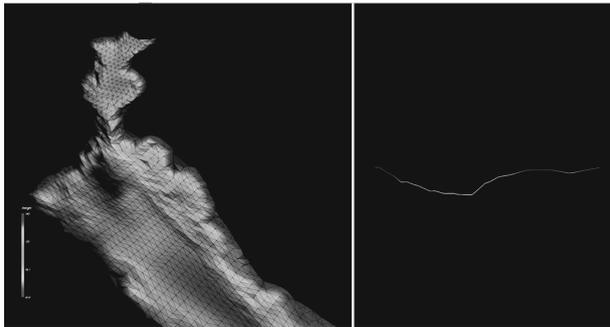


图7 截面截取剪裁

4 结论

通过现场调研、系统集成、三维仿真软件开发和试用反馈优化等方式,研发出适用于多波束水下地形观测系统和水深仪测量系统的水下抛石着床形态监控预警软件。其基本功能包括:

1) 测量软件输出 Dat 文件的数据读入及地形的三维重构,实现包括基于 Delaunay 的点云数据曲面化和等高线的提取等技术;

2) 具备施工前后地形的对比分析功能,包括断面数据的截取及对比、局部地形的拾取及放大对比;

3) 实现了软件的三维重构和基本的平移、缩放、旋转等人机三维可视化交互功能。

经过不断的优化完善,该软件系统将具备更强

的实用性、更完善的数据分析处理功能,将可以推广应用到各流域的航道治理工程的地形监测、回填或者炸礁清淤工程的施工质量监控等方面,进一步促进航道治理工程施工技术的完善和发展。

参考文献:

- [1] 付中敏,闫军,刘怀汉.下荆江监利河段河床演变与航道整治思路浅析[J].泥沙研究,2011(5):30-38.
- [2] 陈飞,付中敏,刘怀汉.等三峡水库蓄水对下荆江监利河段航道条件影响分析[J].水力发电学报,2011,30(2):91-95.
- [3] 郭小虎,李义天,渠庚.三峡水库蓄水后荆江河段水位变化研究[J].水电能源科学,2011,29(1):30-34.
- [4] 刘亚,李义天,孙昭华,等.荆江河段水沙条件与主流线特征关系研究[J].水利水运工程学报,2011(2):77-83.
- [5] 汪红英,何广水,谢作涛.三峡工程蓄水后荆江河势变化及整治方案研究[J].人民长江,2010,41(9):26-29.
- [6] 陈伟.长江抛石护岸工程吨位控制方法及经验[J].江淮水利科技,2011(4):21-23.
- [7] 徐海涛.长江护岸工程中机械抛石的施工应用与控制[J].科技创新导报,2012(6):105.
- [8] 何广水,姚仕明,黎礼刚,等.荆江护岸工程水毁机理及加固对策研究[J].人民长江,2006,37(7):54-56.
- [9] 姚仕明,何广水,卢金友.三峡工程蓄水运用以来荆江河段河岸稳定性初步研究[J].泥沙研究,2009(6):24-29.
- [10] 何广水,姚仕明,金中武.长江荆江河段弯道凸岸边滩非典型冲刷研究[J].人民长江,2011,42(17):1-3.
- [11] 史云霞,陈一梅.国内外内河航道护岸型式及发展趋势[J].水道港口,2007,28(4):261-264.
- [12] 上海华测导航技术有限公司.GeoSwath Plus 中浅水多波束条带测深综合测量系统技术文件[R].上海:上海华测导航技术有限公司,2013.

(本文编辑 郭雪珍)

著作权授权声明

全体著作权人同意:论文将提交《水运工程》期刊发表,一经录用,本论文数字化复制权、发行权、汇编权及信息网络传播权将转让予《水运工程》期刊编辑部。