

多波束海底地形三维虚拟仿真研究

王楠^{1,2}, 徐永臣², 陶常飞³

(1. 中国海洋大学 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 山东 青岛 266100;

2. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100;

3. 自然资源部 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要:基于多波束探测获得的高精度海底地形数据,通过对水下地形进行设色纹理渲染生成地形和纹理数据集,以三维建模软件 Multigen Creator 和 Terra Vista 为主要工具,采用细节层次 LOD(Levels of Detail)技术和虚拟纹理映射技术,建立起视景仿真领域通用的 OpenFlight 数据格式的三维地形数据库模型。利用交互式三维可视化分析软件 Vega Prime 可以真实直观地反映海底地形环境,实现了海底地形的三维可视化与漫游,可以更直观地表现和解译水下地形数据。虚拟现实技术为海洋测量数据的三维可视化展示方面提供了新的技术途径,在水下目标分析、航行保障和水下 AUV、ROV 安全保障中具有良好的应用前景。

关键词:多波束;海底地形;三维可视化;虚拟仿真

中图分类号:P229.1

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2019)03-0203-07

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2019.03.005

引用格式:WANG N, XU Y C, TAO C F. Research on 3D visualization of multi-beam seabed terrain[J]. Coastal Engineering, 2019, 38(3): 203-209. 王楠, 徐永臣, 陶常飞. 多波束海底地形三维虚拟仿真研究[J]. 海岸工程, 2019, 38(3): 203-209.

随着遥感探测技术、地理信息技术、计算机图形图像技术和虚拟现实技术的迅速发展,作为数字海洋信息空间表现的基础和重要内容,水下地形的三维可视化显示是目前国内外数字海洋应用研究的重要关注点之一^[1-3]。地形的三维可视化表示一般通过对地形进行几何表面的建模,采用阴影、不同颜色来表示不同地形特征(高度、材料等),同时可以叠加融合卫星影像来表现^[4-6]。在海洋测绘领域,利用高精度的多波束声呐数据,采用新的处理算法可以快速地建立海底地形场景库,并生成地形和纹理数据^[7-8]。同时,随着虚拟现实技术的广泛应用,可以构建真实度极高的地形场景,让地形表现更加直观^[9]。这些方法使得利用交互式三维可视化分析和解释水下地形数据得以实现。

本研究基于高精度多波束海底地形数据,建立起了视景仿真领域通用的三维地形场景数据库模型,利用交互式三维可视化分析软件可以真实直观地反映海底地形环境,实现了海底地形的三维可视化与漫游,可以更加直观地表现和解译水下地形数据。

1 数据获取和处理

获取高精度水下地形数据是构建高仿真度水下地形模型的关键。高分辨率的陆地影像数据和高精度的局部 DEM(Digital Elevation Model)数据可以通过卫星遥感或无人机测量等手段获得,但是在水域或海域,高精度的水下地形地貌数据多通过多波束或侧扫声呐等精密海洋探测设备来获得。多波束测深技术可以获取高精度和高密度的水下地形点云数据,精确地反映水下地形的细节特征。本文以 2018-05 在青岛海西湾进行的多波束探测数据为基础,构建水下地形 DEM 模型,网格尺寸为 1 m,数据精度为 0.1 m。研究区位置见图 1。

收稿日期:2019-04-07

作者简介:王楠(1981-),男,工程师,博士,主要从事多波束声呐处理与信息化可视方面研究。E-mail:wanganou@163.com

(李燕 编辑)

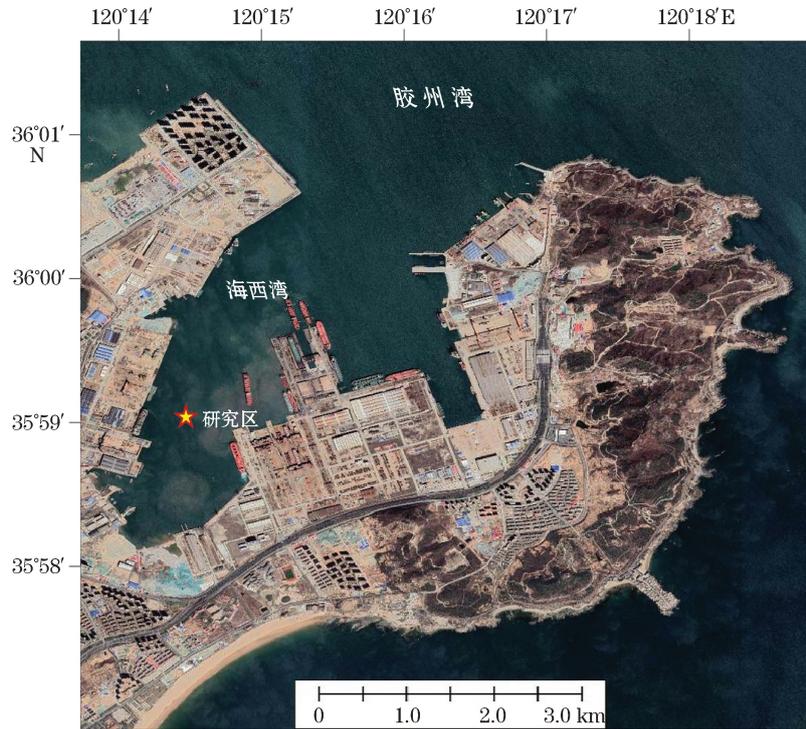


图1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

1.1 外业采集

1.1.1 多波束系统的安装

水深地形测量采用的调查设备为丹麦 RESON Seabat 7125 多波束测深系统。多波束换能器安装方式采用单探头船舷安装,MRU(Motion Reference Unit)姿态系统安装在船的靠近中心位置,GPS 天线直接固定在多波束换能器的正上方,现场安装情况如图 2 所示。系统安装后精确测量了各个传感器相对于多波束换能器之间的距离和角度,并输入到控制软件中,进行补偿修正和实时提供船舶向、船只横摇、纵摇、上下起伏和定位数据。



(a)定位、姿态系统安装



(b)多波束换能器安装

图2 多波束定位、姿态系统及换能器安装

Fig.2 Positioning, attitude system and transducer installation of the multi-beam

1.1.2 导航定位

海上定位导航软件采用 HYPACK MAX(0.05b 版)海洋综合测量软件系统。测量工作中,导航图像通过屏幕显示正在测量的测线和测量船行进的轨迹;导航图像的右侧窗口,显示各种导航数据,如坐标、船速、船艏向、纪录状态、测线名、事件号、到线距离、文件名、时间、偏移距、水深等,以保证测量船沿设计测线航行。

1.1.3 声速剖面测量

声速是影响多波束测量精度的重要参数,为此,在进行测量工作之前,必须首先使用声速剖面仪,采集测量海域当时的声速数据,并进行编辑后输入到多波束数据采集工作站,用于实时改正。

1.1.4 潮位观测

为了保证水深数据起算于统一的基准面,在测区码头已知控制点上设立了一个临时验潮站,采用水尺观测水深测量当日的水位资料,以对多波束数据后处理进行潮位改正。验潮时每 15 min 观测 1 次水位,水位观测误差±2 cm。

1.1.5 多波束全覆盖测量

测量工作中根据水深范围实时对测线间距进行了调整,保证相邻测线重叠约大于 10%,对海底完成了无遗漏的全覆盖测量(图 3),面积约 1.2 km²。



图 3 多波束现场测量示意图

Fig.3 A sketch map of multi-beam survey

1.2 数据处理和分析

外业采集的多波束数据采用 CARIS HIPS 7.1 软件进行处理,该软件主要包括位置处理、水深处理和数据清除三个模块。本研究利用该软件进行多波束数据的预处理,定位、水位、吃水改正,并对数据进行清理,剔除质量差的数据。多波束数据经过数据清理、格网计算最后输出数据成图,生成网格尺寸为 1 m 的 DEM 数据文件。数据处理流程见图 4。

1.3 地形可视化

三维地形地貌的可视化影像包括陆地遥感影像和水下地貌影像。陆地地貌可采用 Google-Earth 高分辨率卫星影像,水下地貌影像则是用来表现水下目标信息的细部特征,但是真实且完整水下地貌影像的获取通常需要水下摄影、水下三维激光扫描设备等方式来完成,数据不易获得^[10]。根据实际应用的需要,可以对水下 DEM 数据根据水深值的不同,用不同的颜色来进行分层次赋色,采用水下地形渲染图的方式来表现水下地形信息。在 WGS84 坐标系下使用统一的垂直参考基准构建起陆地和

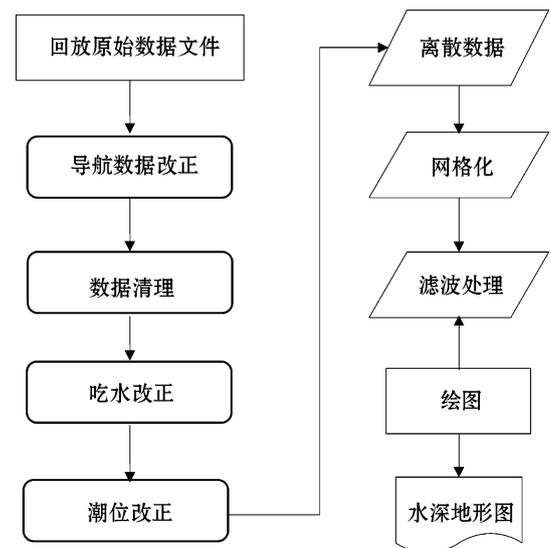


图 4 数据处理流程

Fig.4 Data processing flow

1.4 水深地形分析

多波束水深测量结果显示,测区水深值范围介于 1.2~14.3 m,除局部区域,测区内水深普遍大于 5 m,最深处可超过 14.0 m。受多期次疏浚工程影响,海底多呈不规则的起伏状态,码头前沿水域的港池和进出港航道水深较大,普遍超过 10 m;未疏浚的原始海底区域水深较小,为 1.2~7.0 m;各港池经过多次疏浚后水深存在明显差异,海底可见较多的锚痕。当前海西湾水深属于典型的人工干预地形。

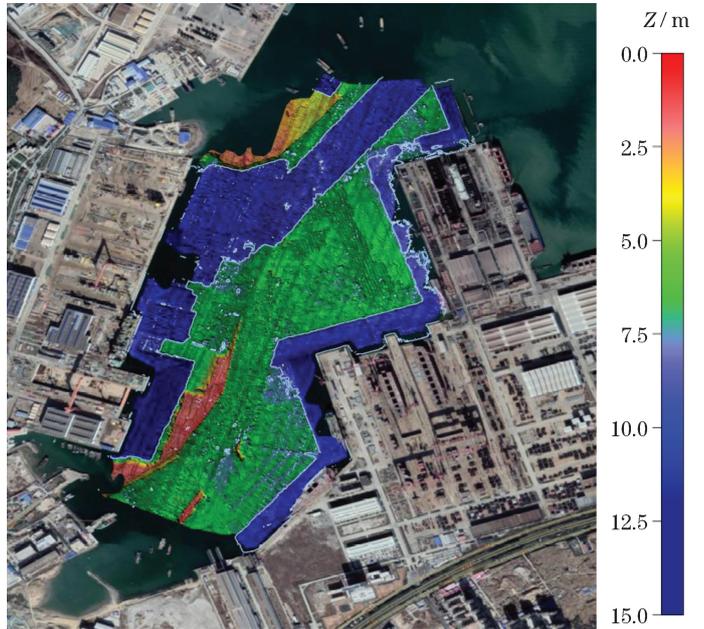


图 5 水深地形分色渲染图

Fig.5 Color separation rendering map of bathymetric topography

2 三维可视化地形场景数据库构建

OpenFlight 数据库格式是目前实时视景仿真领域通用的三维模型文件格式,包括多种应用数据类型、结构和确保实时 3D 性能和交互性的逻辑关系。OpenFlight 采用逻辑化的节点式分层结构来描述三维物体,可以使应用程序快速访问空间数据,保证对物体的顶点、面和部分的控制,生成精确可靠的 3D 场景,在提供优质视觉效果的同时优化内存占用^[11]。

三维可视化地形场景数据库构建利用建模软件 Multigen Creator 和 Terra Vista,将 DEM 格式的地形文件转换为虚拟仿真标准格式的 OpenFlight 格式的数据库模型,应用实时视景仿真软件 Vega Prime 来实现三维地形场景的可视化和漫游。工作流程见图 6。

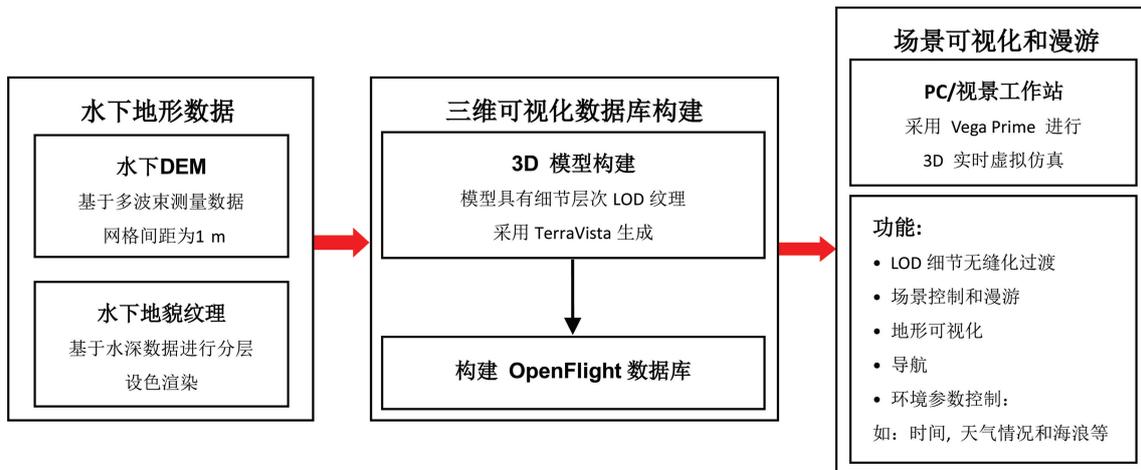


图 6 三维场景数据库构建工作流程

Fig.6 Construction workflow of the 3D scene database

2.1 关键技术

如何合理地优化地形模型和数据组织结构,减少场景的复杂程度,是三维地形场景数据库构建的关键^[12]。细节层次 LOD(Levels of Detail)技术的原理是根据视点与物体之间的距离,对每一个原始的多面体模型建立不同逼近精度的几何模型,通过平滑过渡技术根据视点距离目标物体的远近,自动选择显示不同细节层次的模型,有效地减少场景的几何复杂性。

虚拟纹理是由原始的纹理数据融合而成,都是有多层结构的正方形网格堆栈纹理数据,每一层的分辨率为上一层的 2 倍,最高可达 512×512 。实时渲染地形场景时,通过 LOD 技术和虚拟纹理映射技术,自动根据视点的位置选择适当分辨率的虚拟纹理映射到相应的地形网格之上。

2.2 构建三维地形场景数据库

构建地形场景数据库包括格式为 DEM 的海底网格化地形数据以及用来覆盖地形的纹理数据,格式为 GEOGIF。创建地形数据库时,首先制定适合的格网结构和地形块的设计,设置不同等级的 LOD,通过优化不同等级的 LOD 来改善地形高度的突变情况。处理纹理数据时,根据不同 LOD 等级对虚拟纹理数据集进行切割和生成,生成不同层级分辨率的虚拟纹理网格堆栈,来保证不同分辨率图像在虚拟场景显示时的视觉无缝化过渡(图 7)。

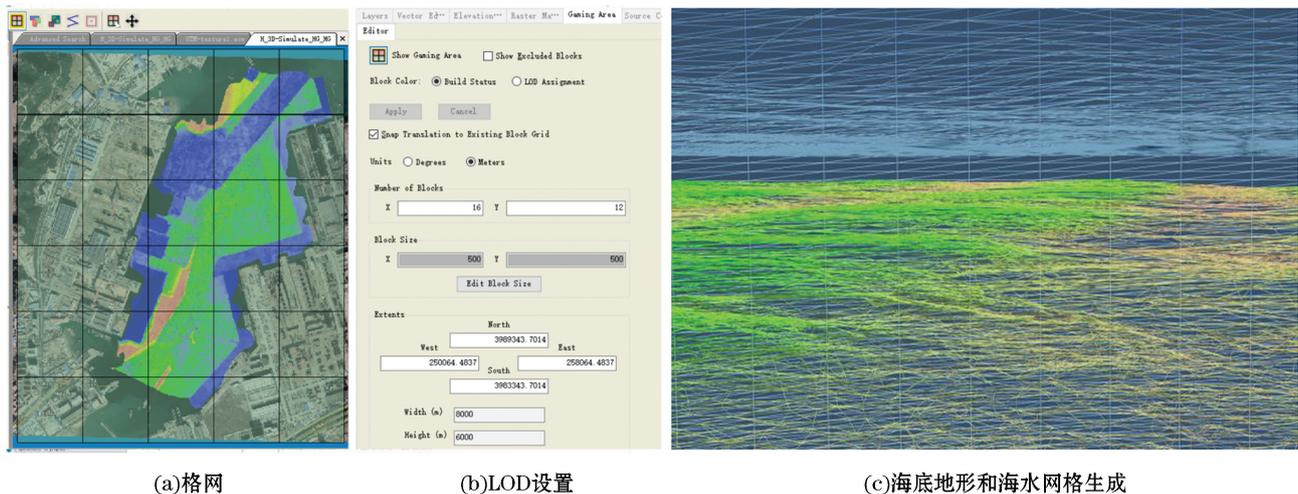


图 7 三维地形数据库格网和 LOD 构建

Fig.7 Constructions of the 3D terrain database grid and the LOD

3 地形数据库的实时视景显示

将制作完成的 OpenFlight 格式的三维场景数据库模型,导入实时视景仿真软件 Vega Prime 中来实现三维虚拟场景的实时视景显示。系统包括仿真环境和运动特效等相关的模块,可以实现环境效果的加入和交互控制。通过调用 Environment 环境类模块可以实时控制光照、云层、风速等环境要素的变化;通过调用 Motion 运动特效模块,可以实现飞行、行走、航行等实时控制漫游。通过 Marine 海洋模块可以表现水面和波浪特效,可以实现光照和水上物体的交互显示,可以创建出极富真实感的海洋、海岸地形的视觉场景。

海底地形虚拟场景显示时,可以通过使用 Pathtool 路径工具来进行交互式海底漫游路线的设计,或者用鼠标控制来进行实时漫游,在漫游过程中海底地形的不同细节层次都可以一一展现在视景中(图 8)。

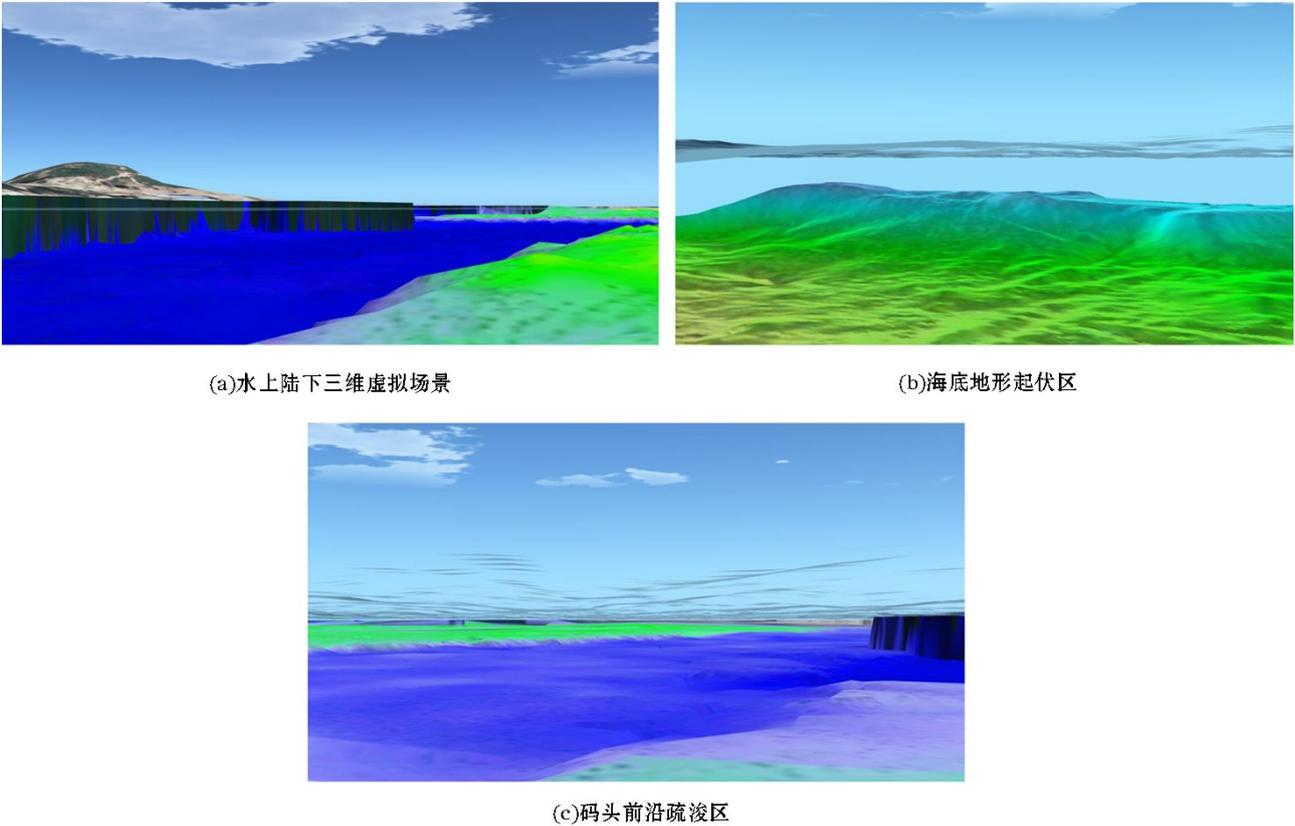


图8 海底地形三维视景仿真场景

Fig.8 The 3D visual simulation scene of the seabed terrain

4 结 语

本研究基于获取的高精度多波束海底地形数据,通过对水下地形进行设色纹理渲染生成地形和纹理数据集,以三维建模软件 Multigen Creator 和 Terra Vista 为主要工具,采用细节层次 LOD(Levels of Detail)技术和虚拟纹理映射技术,建立起了视景仿真领域通用的 OpenFlight 数据格式的三维地形数据库模型。利用交互式三维可视化分析软件 Vega Prime,可以真实直观地反映海底地形及海洋环境,实现了海底地形的三维虚拟交互控制与漫游,是虚拟现实技术应用于数字海洋研究的一种有益的尝试。虚拟现实技术为海洋测量数据的三维可视化展示方面提供了新的技术途径,在水下目标分析、航行保障和水下 AUV,ROV 安全保障中具有良好的应用前景。

参考文献 (References):

- [1] JIANG Y L, PENG G J. Study on 3D visualization modeling of seabed topography[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2015, 29(10): 139-142. 江玉玲, 彭国均. 海底地形的三维可视化建模研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2015, 29(10): 139-142.
- [2] WILSON D S, LEIFER I, MAILLARD E. Megaplume bubble process visualization by 3D multibeam sonar mapping[J]. Marine and Petroleum Geology, 2015, 68: 753-765.
- [3] TANG Q H, JI X, DING J S, et al. Research progress and prospect of acoustic sea bed classification using multibeam echo sounder[J]. Advances in Marine Science, 2019, 37(1): 1-10. 唐秋华, 纪雪, 丁继胜, 等. 多波束声学底质分类研究进展与展望[J]. 海洋科学进展,

- 2019, 37(1): 1-10.
- [4] WILSON J P. Digital terrain modeling[J]. *Geomorphology*, 2012, 137(1): 107-121.
- [5] GRACIANO A, RUEDA A J, FEITO F R. Real-time visualization of 3D terrains and subsurface geological structures[J]. *Advances in Engineering Software*, 2018, 115: 314-326.
- [6] LI J, LI H B, SHEN J S, et al. Research on the application of fusion of underwater three-dimensional terrain and relief[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2011, 31(4): 43-46. 李军, 李海滨, 申家双, 等. 水陆三维地形地貌融合应用研究[J]. *海洋测绘*, 2011, 31(4): 43-46.
- [7] MEI S, GAO J Y, YANG C G, et al. Initial exploration from virtual scene simulation of multibeam submarine topography in the south of the Okinawa Trough[J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2010, 30(2): 19-23. 梅赛, 高金耀, 杨春国, 等. 冲绳海槽南部多波束海底地形虚拟视景仿真初探[J]. *海洋测绘*, 2010, 30(2): 19-23.
- [8] MAYER L A. Frontiers in seafloor mapping and visualization[J]. *Marine Geophysical Researches*, 2006, 27(1): 7-17.
- [9] PORTMAN M E, NATAPOV A, FISHER-GEWIRTZMAN D. To go where no man has gone before: virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2015, 54: 376-384.
- [10] LIU H Y. Mapping method research and implementation of three-dimensional seabed digital terrain[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2009. 刘惠媛. 三维海底地形绘制方法研究与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- [11] QIU Q X. The research and implementation of three-dimensional seabed terrain simulation[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2011. 邱秋香. 三维海底地形仿真技术的研究与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011.
- [12] YAN B. Research on the approach of large terrain simulation based on Vega Prime[D]. Xi'an: XIDIAN University, 2009. 阎彬. 基于 Vega Prime 的大地形视景仿真技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.

Research on 3D Visualization of Multi-Beam Seabed Terrain

WANG Nan^{1,2}, XU Yong-chen², TAO Chang-fei³

(1. *Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;*

2. *College of marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;*

3. *First Institute of Oceanography, MNR, Qingdao 266061, China)*

Abstract: Based on high-precision seabed topographic data obtained by multi-beam survey, a terrain and texture dataset is generated by color setting and texture rendering of the underwater terrain. By using 3D modeling software Multigen Creator and Terra Vista and applying LOD (Levels of Detail) technique and virtual texture mapping technology, a three-dimensional terrain database model with the OpenFlight data format commonly used in the field of visual simulation is established. The seabed terrain environment can be reflected truly and intuitively by using the interactive 3D visualization analysis software Vega Prime. Thus, the 3D visualization and roaming of the seabed terrain can be realized and the underwater topographic data can be interpreted and expressed more intuitively. The virtual reality technology provides a new technical approach for 3D visualization display of marine survey data, which has a good application prospect in the aspects of underwater target analysis, navigation support and underwater AUV and ROV security.

Key words: multi-beam; seabed terrain; 3D visualization; virtual reality

Received: April 7, 2019