

引文格式: 叶志荣, 宋立伟, 沙宏杰, 等. 琼州海峡三维电子海图系统设计与实现[J]. 海洋测绘, 2021, 41(2): 78-82.

DOI: 10.3969/j.issn.1671-3044.2021.02.016

琼州海峡三维电子海图系统设计与实现

叶志荣¹, 宋立伟¹, 沙宏杰¹, 彭认灿^{2,3}, 董 箭^{2,3}

(1. 交通运输部东海航海保障中心 上海海图中心, 上海 200090; 2. 海军大连舰艇学院 军事海洋与测绘系, 辽宁 大连 116018; 3. 海洋测绘军队重点实验室 辽宁 大连 116018)

摘要: 针对目前以二维显示为主的电子海图系统存在的可视化效果不够理想的问题, 以琼州海峡三维电子海图系统开发为例, 在扼要介绍琼州海峡概况及其数据预处理的基础上, 针对该系统的功能设计要求, 重点对基于 ArcGIS 的基础数据处理、3D Max 的海图符号三维建模和 Skyline 的三维场景搭建等关键技术内容进行了详细介绍。结果表明, 该三维电子海图系统具有较逼真的三维可视化效果和较强的空间分析功能, 可更好满足琼州海峡船舶航行、港口码头管理和海洋工程建设等应用的需要。

关键词: 三维 GIS; 三维模型; 三维电子海图系统; Skyline 软件; 琼州海峡

中图分类号: P285.7 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-3044(2021)02-0078-05

1 引 言

航海图(简称海图)是航海工作者制定航行计划、规划航行路线和进行海图作业必不可少的工具。而纸质海图是海图的传统展现形式, 出现至今已经过了数百年的发展, 虽然目前纸质海图在制图技术上已有了很大的进步^[1], 但其介质形式决定了其难以克服的一些固有问题, 如图幅范围大小受到纸张限制、不易携带保存、改正作业繁琐且效果差等缺陷^[2]。除此之外, 受图面载负量的限制, 纸质海图上的要素必须经过严格的制图综合处理, 因而会丢失部分信息, 而电子海图则可以较好克服这些存在于纸质海图上的不足。因此, 针对电子海图的研究已成为当下海图制图的重点^[3]。目前, 在实际生产中通过采用多级网格分幅和制定电子海图制图综合规则等方法, 使得电子海图产品的质量得到不断提高, 较好满足了海图用户的使用要求^[4]。但是, 无论是纸质海图还是目前广泛应用的电子海图, 都是以二维平面形式表示海图要素^[5-6], 存在表达上不够直观, 可视化效果较差等问题。调研表明, 现有的海图模式已很难满足水下机器人、潜水艇等高新装备在航行时的专业化应用需求。随着三维 GIS 技术的发展^[7-12], 使得电子海图从二维向三维化发展成为了可能, 进而可以更好地满足用户进行多维度空

间分析和辅助决策的需要^[13]。

2 琼州海峡概况及其数据预处理

2.1 研究区概况

琼州海峡是中国三大海峡之一, 地处广东省雷州半岛与海南省之间, 属于中国内海, 被誉为“黄金水道”, 东西长约 80 km, 宽约为 19~40 km, 其海底地形复杂, 是广东海区与北部湾海上交通要道^[14-15]。该地区属于北热带季风气候区域, 常年受热带风暴和台风侵袭, 以 7~9 月最盛。同时该地区又属于南海多雾区, 年平均雾日约为 18~30 天, 能见度较低, 对海峡航行安全有极大的潜在影响。

2.2 数据及其预处理

在基础数据方面, 本文所采用的海图数据, 水深、航标, 以及定线制等专题数据来自本单位相应数据库中的原始资料以及外购的电子海图资料, 并利用 Caris HPD 软件对这部分数据进行了格式转换等预处理工作。在影像数据采用方面, 综合考虑航行安全以及遥感影像成像质量等因素的影响, 本文选用低潮时段的高分辨率遥感影像作为陆地部分资料, 共选用了分辨率均为 0.3 m 的 6 幅琼州海峡地区的遥感影像, 并利用 ENVI 软件对遥感影像进行了几何校正、辐射定标、大气校正等预处理工作。

收稿日期: 2020-09-30; 修回日期: 2020-12-12

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1405505)。

作者简介: 叶志荣(1971-), 男, 浙江衢州人, 高级工程师, 主要从事电子海图研究与开发。

3 系统设计及关键技术

根据用户使用的要求,首先完成了对琼州海峡三维电子海图系统的功能设计。该系统由基本功能、测量功能、海底地形分析功能和通视分析等四大功能模块组成,见图1。在此基础上,设计了见图2所示的系统技术路线图。在系统实现上,主要是利用 ArcGIS 软件对水深数据、遥感数据以及海图基础数据进行处理,3D Max 软件对航标、船舶、港口码头等物标对象进行三维建模,Skylines 软件进行三维场景构建。以下对琼州海峡三维电子海图系统的关键技术进行介绍。

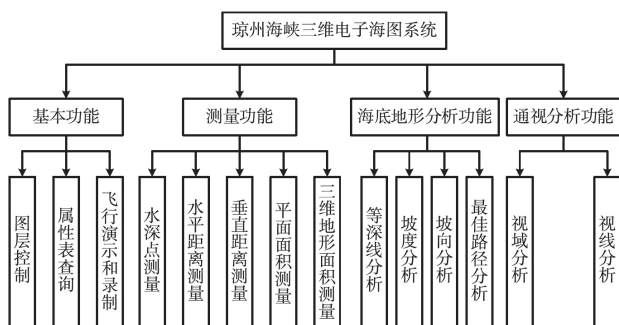


图1 系统功能组成示意图

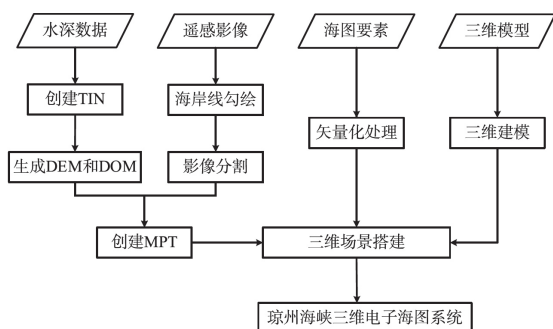


图2 系统技术路线示意图

3.1 基于 ArcGIS 的基础数据处理

三维电子海图数据主要包括陆部遥感影像、海部地形和航行要素这三部分内容。其中陆部遥感影像与海部地形数据是构成三维电子海图的基础,可视为底图。由于两者的数据来源不同,空间分辨率也有差别,因此如何实现陆部遥感影像和海部地形数据的完美拼接,就成了首先需要解决的关键技术问题。

3.1.1 陆部遥感影像处理

为了能够实现陆部遥感影像和海部地形的无缝衔接,需要先确定两者的分界线。本文将卫星遥感影像成像时刻的水陆分界线视作遥感海岸线,并将遥感海岸线作为后续海陆接边处理的分界线。利用 ArcGIS 提供的相应工具,首先基于阈

值分割的原理并结合数学形态学方法,勾绘出琼州海峡地区的遥感海岸线^[16],见图3(b);其次根据遥感影像的范围绘制出外围闭合边界线,见图3(c);在此基础上再与遥感海岸线一起生成研究区掩膜面(分成陆部和海部两部分),见图3(d);最后根据陆部掩膜面范围对遥感影像进行分割处理,得到制作三维电子海图所需的陆部遥感影像数据,见图3(e)。陆部遥感影像处理各步骤示意图见图3。

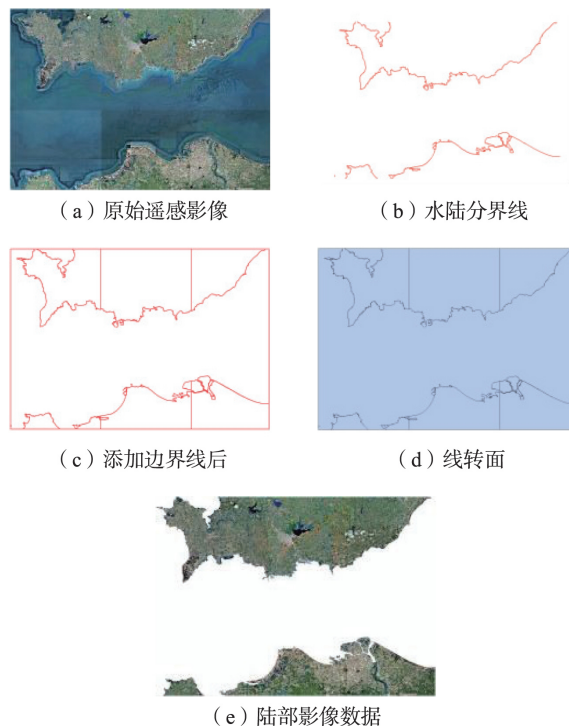


图3 陆部遥感影像的处理示意图

3.1.2 海部地形数据制作

海部(底)地形数据制作分为以下两部分:一是琼州海峡海部 DEM(digital elevation model ,数字高程模型)制作^[17],二是琼州海峡海部 DOM (digital orthophoto map ,数字正射影像图)制作。其中,海部 DEM 的制作方法是:利用 ArcGIS 软件提供的相应工具,首先利用离散水深点数据构建不规则水深三角网 TIN;然后采用线性插值方法将水深三角网 TIN 转换为水深栅格数据;最后利用前面制作的海部掩膜面范围对栅格数据进行裁剪处理,得到所需的琼州海峡海部 DEM 数据。海部 DOM 的制作方法是:在海部 DEM 数据的基础上利用“拉伸”渲染器进行色带调整(本文采用红蓝色带表示海底地形起伏,深度越深颜色越蓝,反之越红)。最后使用“强制 RGB”将海部 DOM 输出为 TIFF 格式。以上各主要步骤及制作的琼州海峡海部地形数据效果见图4。

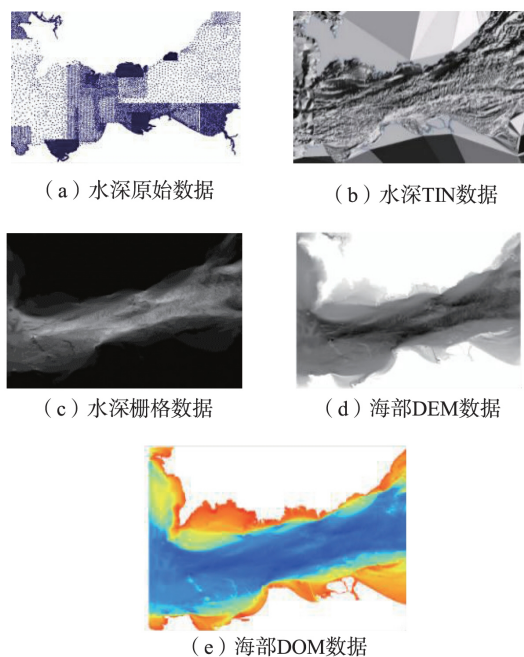


图4 海部地形数据制作示意图

3.2 基于3D Max的三维模型建模

基于3D Max软件的三维模型制作方法是:首先采集模型对象尺寸大小、纹理图片等相关数据和;然后构建模型的整体结构和轮廓;最后通过纹理贴图 and 灯光、阴影等参数调整等手段,最大程度地提高模型的真实效果。本文根据实际应用的需要,制作了航标、船舶等三维模型并对海口港集装箱码头进行了三维化模拟。在建模过程中,解决了模型命名不能以数字和特殊字符开头,纹理贴图不支持 GIF、TIFF、BMP 等格式,且贴图文件名不能有中文和特殊符号,以及 Skyline 只支持 3D Max 的标准材质及漫反射通道等具体技术问题;另外,针对 3D Max 不支持 Skyline 所需 XPL 格式三维模型的问题,采取利用插件先将 MAX 格式转为 X 格式,再将其转成所需的 XPL 格式的方法加以解决。

3.3 基于 Skyline 的三维场景建立

3.3.1 利用 Skyline TerraBuilder 生成地形数据库文件

Skyline TerraBuilder 是 Skyline 软件中用于三维地形数据集创建的工具,可利用该工具创建高质量三维地形模型。首先,利用该工具新建一工程,并选择 WGS 84 坐标系;然后,将经处理的陆部遥感影像、海部 DEM 和 DOM 数据添加到该工程中;最后,利用该工具将低分辨率三维地球模型、高分辨率陆部遥感影像以及海部 DEM 和 DOM 数据进行融合处理,并最终生成“.MPT”格式的地形数据库文件。

3.3.2 利用 Skyline TerraExplorer Pro 搭建三维场景

Skyline TerraExplorer Pro 作为 Skyline 软件中用

于创建、编辑、注记和发布真实感三维场景的工具,利用该工具可以直接调用生成好的三维地形数据库文件“.MPT”。本文利用该工具实现了对二、三维海图要素数据或要素模型的加载。其中,航道、锚地、警戒区等二维海图要素数据以图层的形式进行加载;航标等具有精确位置信息的三维模型先以点图层的形式添加到三维场景中,然后再对其模型符号样式进行更改;吊桥、集装箱、船舶等要素模型则直接以三维模型文件(XPL 格式)加载,并进行三维场景搭建。

4 结果分析

从琼州海峡三维电子海图系统实现效果看,三维电子海图在对海底地形的呈现上能给用户更加真实的感觉,以三维立体方式传递地理空间信息,不仅能表示不同物标间的平面位置关系,还能准确反映出物标与海底地形间的垂直位置关系,见图5。除此以外,三维电子海图系统还提供了更为强大的多维空间分析能力。

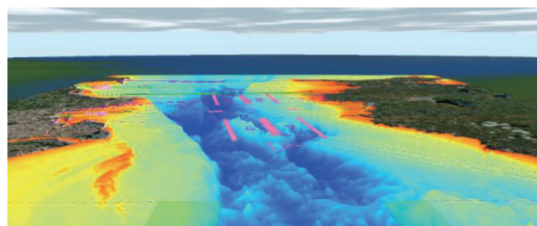


图5 琼州海峡三维电子海图示意图

从水深表示效果看,传统的二维电子海图是以数值的形式来表示水深点所在位置海水的深度,受显示器分辨率的制约,目前电子海图上所标示的水深点其间距只能放大约 1.5 倍显示^[21],水深点数量相对较少,因此用户只能获得电子海图上比较稀疏的水深点位置处的准确水深值。而琼州海峡三维电子海图系统提供的水深值查询工具,可满足用户随时查询得到琼州海峡内任意位置的准确水深值。

从等深线表示效果看,传统的二维电子海图上显示的 0、2、5、10 和 20 m 等深度的等深线,虽已基本满足航行安全的一般需求,但对有高密度等深线特殊需求的用户群体来讲,这种等深线显示方案仍有所欠缺,尤其是在疏浚航道边坡水域,此类问题尤为突出。而琼州海峡三维电子海图系统提供了等深线自动生成工具,用户可根据自己的需要,自行设置等深线显示方案,自动实现等深线的实时生成,并可方便地更换等深线线型、颜色等参数,更好满足不同用户的实际需求。

从港口码头表示效果看,传统的二维电子海图通过点、线、面的形式展现港口码头的形状,用注记标示码头名称,用属性表记录港口码头的类型、用途等情况,对港口码头的细节表现不够充分,可视化效果较差。而琼州海峡三维电子海图系统以高分辨率遥感影像作为底图,充分展示了港口码头的实际情况,同时结合 3D Max 建模技术,对港口码头进行三维场景建模,实现了港口码头的真实还原。图 6 是海口港集装箱码头的三维建模效果示意图。

从空间分析角度看,琼州海峡三维电子海图系统提供了功能多样的三维空间分析工具。按工具类型大致可分为两类:一类是测量工具,主要有水深点测量、水平距离测量、垂直距离测量、平面面积测量和 3D 地形面积测量等。第二类是海底地形分析工具,主要有等深线分析、坡度分析、坡向分析、最佳路径分析和通视分析等。三维电子海图系统强大的空间数据分析能力可为海事管理者的空间决策提供技术支持。

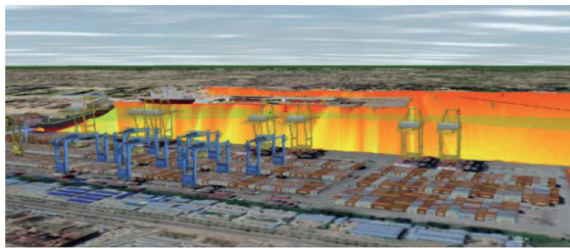


图6 海口港码头三维建模效果示意图

5 结束语

本文以琼州海峡为例,对三维电子海图系统设计与实现的关键技术问题进行了详细的分析。本文研究表明:

(1) 相较于传统的单纯以二维点线面形式表示海底地形的电子海图系统,三维电子海图系统除了可以真实还原海底地形的起伏变化情况外,还可以获取海区任意位置处的深度信息并动态实现任意深度间隔等深线的生成与显示。

(2) 三维电子海图系统除了具备传统电子海图常用的水平距离测算、平面面积测量、路线规划等功能外,还具有三维电子海图特有的垂直距离测算、三维地形表面积测量、体积测算、坡度坡向分析、视域分析等功能。

(3) 三维电子海图系统的研发,不仅可满足船舶日常航行的需求,还能在恶劣的天气下,尤其是在大雾天船舶难以进港靠岸时,提供必要的航行参考

依据。除此之外,三维电子海图系统还能为水下机器人作业等提供准确的水下地形信息。

(4) 在研发三维电子海图系统过程中,综合运用 ArcGIS、3D Max 和 Skyline 软件等开发工具,可以明显降低实现难度和各种成本,具有较好的推广应用前景。

从进一步满足实际应用需求的角度看,如何将实时潮位信息和天气数据融合进三维电子海图系统,以及如何在海图上实现航行自动预警提示等,还需在今后的研究中进一步加以解决。

参考文献:

- [1] 彭认灿,董箭,朱芮.一种纸质航海图水深注记表示的新方法[J].海洋测绘,2014,34(6):32-35.
- [2] 王艺.电子海图的完全时代还有多远?[J].科技信息,2010(27):291-292.
- [3] 陈长林,贾俊涛,鲁强.新一代电子航海图面图案结构的 SVG 表达[J].海洋测绘,2019,39(5):56-60.
- [4] 叶志荣.基于 HPD 制作电子海图的研究[J].航海,2014(5):51-53.
- [5] 王志展,万晓霞.面向海图信息发布的点符号模型设计与实现[J].交通科技与经济,2015,17(3):119-123.
- [6] 王娟,王志云.浅谈通航环境信息在海图上的表示[J].航海,2020(1):49-51.
- [7] 胡敏章,张胜军,金涛勇,等.新一代全球海底地形模型 BAT_WHU2020[J].测绘学报,2020,49(8):939-954.
- [8] 刘振东,戴昭鑫,李成名,等.三维 GIS 场景与多路视频融合的对象快速确定法[J].测绘学报,2020,49(5):632-643.
- [9] 窦世卿,赵学胜,刘成军,等.河网线要素与 DEM 综合的三维 Douglas-Peucker 算法[J].测绘学报,2016,45(4):450-457.
- [10] SARAVANAVEL J, RAMASAMY S M, PALANIVEL K, et al. GIS based 3D visualization of subsurface geology and mapping of probable hydrocarbon locales, part of Cauvery Basin, India[J]. Journal of Earth System Science, 2019, 129(21): 457-477.
- [11] ALI MUTAR FANOS, BISWAJEET PRADHAN, ABDULLAH ALAMRI, et al. Machine Learning - Based and 3D Kinematic Models for Rockfall Hazard Assessment Using LiDAR Data and GIS [J]. Remote Sensing, 2020, 12(11): 1755-1779.
- [12] 李志伟,傅军,韩洪祥.海洋环境数据三维可视化系统设计与实现[J].海洋测绘,2019,39(6):68-72.
- [13] 潘立,张旭,任东风.基于 Skyline 的三维 GIS 构建与研究[J].测绘与空间地理信息,2016,39(8):90-93.
- [14] 李振,彭华,马秀敏,等.琼州海峡西线跨海通道工程地

