

三维电子海图系统的实现与应用

沙宏杰 陆龙妹 邵 宇

(交通运输部东海航海保障中心上海海图中心, 上海 200090)

摘要: 三维电子海图具有更强的直观性、真实性和可视化效果, 其强大的空间分析能力能够满足不同用户的航行需求。三维电子海图除了具备二维电子海图所有的要素和功能外, 还集成了三维模型、海底地形、遥感影像、水面纹理等要素。本文以琼州海峡为研究区, 研究并开发了一套标准化的三维电子海图系统, 以期为广大船员和海事管理者提供重要的空间参考信息。

关键词: 三维模型; MPT; 三维电子海图; 三维可视化

航海是一个涉及多学科、多角度, 应用性很强的研究领域, 电子海图在实现船舶航行系统集成化、智能化的过程中有划时代的意义。它深刻影响着舰船定位方式、航海资料形式, 并实现对航线的规划、监视以及记录等工作^[1]。

自 20 世纪 80 年代以来, 电子海图不断完善、进步, 被广泛应用于船舶的导航以及协助港口船舶引航, 有效的提高了船舶航行安全率^[2]。但不可否认的是传统的二维电子海图仅仅依靠水深和等深线来描述水下的地形地貌, 有表述不直观、可视化程度低、重要信息缺失等不足, 不利于海底地形分析。

随着社会经济的发展, 人类的活动范围从陆地走向海洋, 又从海面扩展到海底, 航海技术早已超出了海面航行的范畴, 延展到了整个海洋三维一体化的空间范围。随着越来越多的潜艇、水下机器人等航海新设备的生产使用, 人们对水下三维空间地形图的需求也愈发迫切。得益于三维可视化与虚拟现实技术的迅猛发展, 使得建立三维电子海图成为可能。

目前, 国内外对三维地图的研究主要集中在数据来源、建模方法和技术实现等方面。许兆新等人利用加权平均法提取水深数据规则格网化, 并采用四叉树结构对 DEM 数据进行组织实现细节层次技术, 最后采用 Visual C++ 和 Open

GL 来显示渲染三维信息^[3]。李军等研究了多类型数字海图的三维可视化显示、管理和应用技术, 并基于数字海洋基础平台, 建立实用的数字海图三维可视化应用系统平台^[4]。张建春等采用 VPB 和 OSG 相结合的开源三维渲染引擎进行长江航道三维可视化系统的设计^[5]。景西安等开发了一套三维地形修复工具, 解决了不同数据源、不同时相数据在制作三维地图时, 道路扭曲变形的问题^[6]。Arianna Campiani 等利用三维数据和地理信息系统监测土建筑空间分析和遗产保护^[7]。Mimi Zaleha Abdul Ghani 等探讨了三维可视化和地理信息系统作为马来西亚规划过程中决策工具的潜力, 并通过定量分析衡量其有效性^[8]。纵观国内外学者现阶段的研究, 主要集中在小区域范围内的三维可视化研究, 且存在交互性弱、体验感差、可视化程度低等不足, 不能满足实际的导航需求, 尤其是在航海领域的研究更是少之又少^[9-10]。因此本文针对目前三维电子海图领域研究的空白, 提出了一套从数据采集、处理、三维建模到应用的标准化的三维电子海图系统设计方案, 以期为广大航海用户和海事管理者提供航行依据。

1 研究区现状

琼州海峡位于广东省雷州半岛和海南省海南岛之间^[11],

中国三大海峡之一,是海南岛与大陆的交通咽喉,也是北部湾与南海北部的最佳通道,见图1。东西总长103.5 km,最宽处39.6 km,最窄处仅有19.4 km,海域面积约为2 370 km²,平均水深44 m,最大深度为114 m。

琼州海峡处于雷琼断陷区南部,基底呈现凸凹相间的特征。海峡两岸的北西向断裂和东北向断裂延伸到海峡内,与近东向断裂交汇,海底地形非常复杂。



图1 研究区示意图

2 数据来源与预处理

2.1 遥感影像数据

为了增强三维电子海图系统的可视化效果,采用高分辨率的卫星遥感影像作为陆地数据源,并对影像数据进行了几何精校正、影像增强和影像裁剪等预处理,几何校正误差小于0.5个像元。

2.2 水深数据

水深资料均来自本单位HPD数据库中原始资料以及外购电子海图资料,以m为单位。

2.3 三维模型数据

虽然三维电子海图主要是针对海面要素进行三维化建模,但陆地要素尤其是港口码头同样是三维电子海图的重要组成部分,是不可忽视的。因此本文除了根据传统二维电子海图中所需的物标要素,进行三维化建模,设计并制作了一批航标、船舶等三维模型外,还对陆地要素,如吊桥、集装箱、建筑物等进行了精细化的三维建模。

2.4 矢量数据

矢量数据包括航道、障碍物、警戒区、倾废区等海图要素,数据来自本单位HPD数据库中原始测量资料。

3 关键技术

本文利用skyline软件进行三维场景构建和发布,利用

3Dmax软件进行三维模型设计,利用ArcGIS软件进行数据预处理,系统总体设计路线见图2。

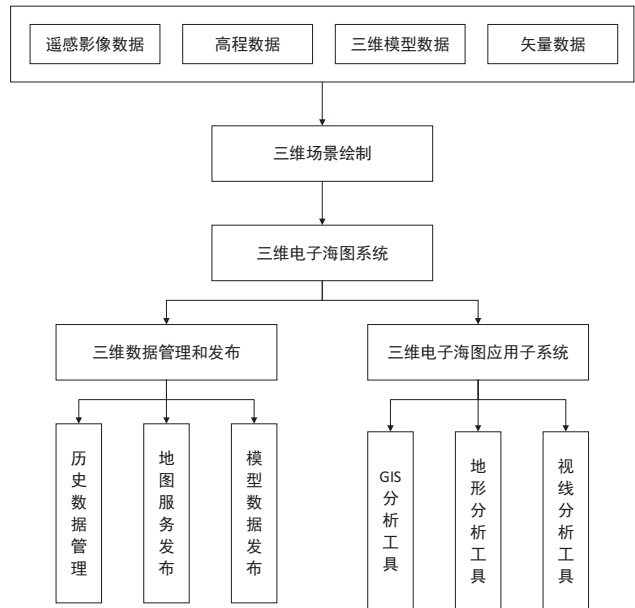


图2 系统总体设计图

3.1 海底地形制作

首先将水深点数据和等深线数据作为高程矢量数据,运用Delaunay三角测量方法通过将一系列折点(点)组成三角形来构建不规则三角网TIN。接着通过线性插值的方法将TIN三角形转换为栅格,它的原理是查找落在2D空间中的三角形并计算像元中心相对于三角形平面的位置来为每个输出像元指定高度。输出得到的栅格数据即为我们需要的海底地形数字高程模型DEM(Digital Elevation Model)。

3.2 MPT制作

MPT是skyline独有的三维地形数据格式,可以理解为是遥感影像加DEM得到的三维底图。在TerraBuilder工程内,所有的遥感影像和DEM图层都根据需要调整完成之后,可以合成一个独立的流优化文件MPT。系统坐标采用WGS84经纬度坐标。生成的MPT文件可以视为三维电子海图的底图直接加载浏览,也可发布到服务器上。

3.3 三维电子海图制作

制作完整的三维电子海图除了需要构建海底三维地形外,还需要加载航道、航标等辅助要素。这一技术流程大致可以分为两个部分,一是海图三维模型的加载,二是助航要素矢量图层的加载以及三维化显示。第一部分三维模型的加载主要是指海面船舶以及港口码头三维模型的叠加,这些模型的制作的主要目的是为了增强三维电子海图整体的三

维可视化效果。第二部分是矢量图层的加载和符号三维化，这部分对支持水运、渔业、海洋开发和国防建设等具有重要作用。以航标为例，在 ArcGIS 中对航标点进行预处理，并保存成 shapefile 矢量点图层，可以批量叠加到三维地形上，最后将航标点状符号进行三维化处理，得到与现实场景中相一致的航标效果，用于引导和辅助海上船只安全航行。其余助航要素如航道、锚地、障碍物等都可用相同方法进行处理。

4 三维电子海图实现

4.1 海底地形

海底三维地形是三维电子海图的基础，它将传统电子海图中的等深面、水深等信息以三维的形式进行构建，极大的增强了可视化效果，琼州海峡海底地形见图 3。

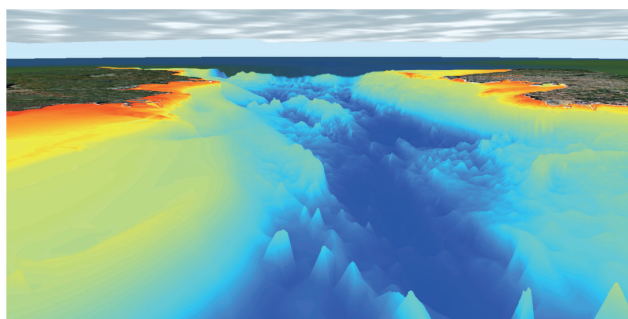


图 3 琼州海峡海底地形

4.2 海图要素

琼州海峡三维电子海图系统中涉及的海图要素可分为点、线、面三种类型，其中点要素包括左侧标、右侧标和专用标等；线要素包括海底电缆、导航线、推荐航线和分道通航制边界等；面要素包括锚泊区、倾废区、航道、障碍物、引航员登船点、受限区域和通航分割带等。琼州海峡三维电子海图及各海图要素示意图见图 4 和图 5。

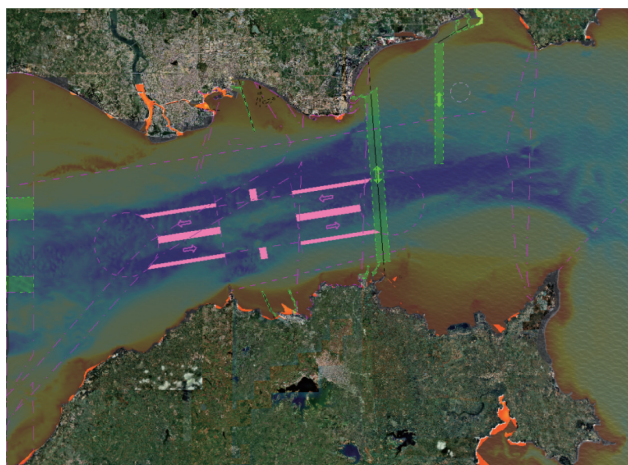


图 4 琼州海峡三维电子海图总体示意图

4.3 港口码头

琼州海峡三维电子海图系统中将该区域重要的港口码头进行三维建模。三维空间数据模型在港口码头的建设中有重要的作用，通过对数据进行坐标建立使得其与实际的空间位置保持一致，最大程度的实现了港口码头的模拟。其中海口港是琼州海峡区域重要的集装箱码头，因此本研究在 3Dmax 软件中对集装箱、吊桥、集装箱船、货轮、货车等港口码头重要要素进行三维建模，并在三维电子海图系统中进行三维港口场景搭建，实现了海口港的三维可视化，见图 6。

5 三维电子海图系统应用

5.1 GIS 分析功能

该模块是三维电子海图系统基础的分析功能，通过该模块可以方便的进行高程、距离和面积等属性的测量，测量结果可以动态的显示，也可以根据实际需要进行保存。

高程测量就是对海底三维地形高程值的查询。

距离测量就是对两个点或者多个点之间距离的计算。在三维电子海图场景中使用测量距离工具，用鼠标依次选取两个或多个目标点，就可得到它们之间的距离。运用该工具除了可获得每条线段的距离外，也可以得到所有线段叠加得到的整体距离。与传统二维电子海图只能测量平面距离不同的是，在三维电子海图场景中除了测量平面距离还可以测量空间距离，平面距离和空间距离对应的计算公式如下：

平面距离：

$$d_1 = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

空间距离：

$$d_2 = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

面积测量可分为水平面积测量和三维面积测量，水平测量的面积是指用户框选区域的水平投影面积，即使该区域内有浅滩或者深沟。三维面积测量工具能测量任意平面的面积，多边形的方向由最先绘制的三个点来决定的。

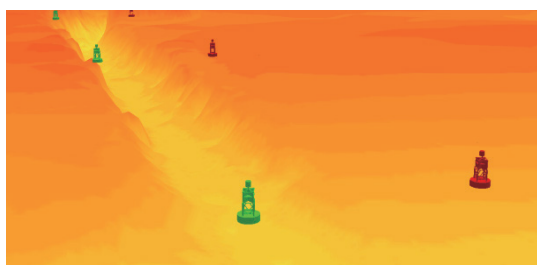
5.2 等深线分析功能

等深线地图工具通过连接相等的高程点来绘制等深线，该模块是三维电子海图系统常用的地形分析功能，通过该模块，用户可以更具实际需要，自定义等深线间隔，自动生成海底等深线地形图。

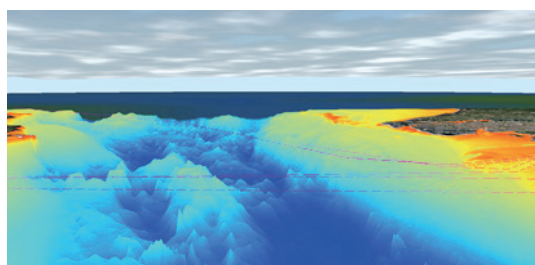
5.3 视线分析功能

视线分析工具可以帮助用户判断从选定位置是否能看到三位电子海图场景中的特定位置。此功能结合观察点、视线方向和距离，标绘出可被看到的位置。

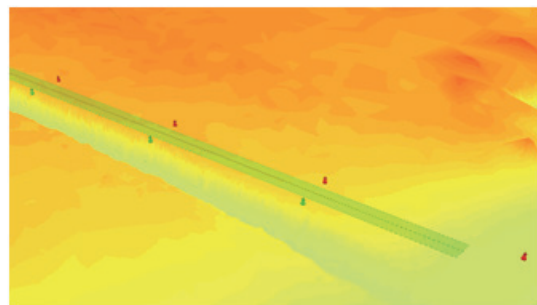
5.4 应用分析



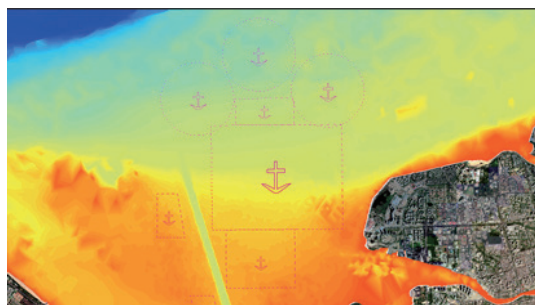
航标



海底电缆



航道和导航线



锚泊区

图5 海图各要素示意图

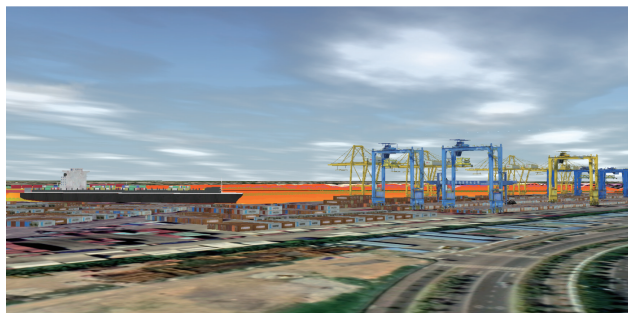


图6 海口港示意图

综合运用三维技术、GIS 空间分析技术、数据库技术和网络技术等信息技术手段，以 Skyline 软件作为基础平台，实现了琼州海峡区域三维电子海图系统的开发。该系统对海面要素、海底地形以及港口码头等地面建筑模型进行三维可视化建模，真正的实现了陆地海洋、海面海底的一体化展示，并为用户提供了浏览、查询、分析等功能，为船舶航行带来了极大的便利。

琼州海峡三维电子海图系统实现了全空间的三维可视化浏览，同时提供图层的放大、缩小、平移、旋转等功能，以便用户可以从不同角度、不同高度获得自己需要的航线信息。基于三维空间的几何对象和高程信息，实现了水深查询、等深线分析、距离测量、面积测量和视线分析等功能，满足

不同用户的航运需求。

琼州海峡三维电子海图系统填补了目前琼州海峡区域三维地图服务的空白，在与传统二维电子地图服务模式一致的基础上，增强了三维可视化效果，极大的提高了用户体验效果，拓展了琼州海峡三维电子海图系统服务的深度和广度。随着琼州海峡三维电子海图系统的不断发展及用户需求的日益提高，三维电子海图的用户体验和服务能力也将不断完善和提高。

6 结论与展望

随着社会科技的进步发展，人们对空间信息需求的不断提升，尤其是航海领域，传统的二维电子海图信息已远远不能满足人们的航行需求。当前空间信息的发展趋势应是朝着多维度、多角度以及高可视化性的方向发展，因此三维电子海图技术的研究与开发便有了重要的现实意义。

三维电子海图应用的关键在于实现电子海图要素的三维化空间表达，在三维空间以可视化方式将水深点、等深线、等深面、碍航物、助航设备、禁渔区等要素表达出来，这些要素以线状、面状、三维模型等形式在三维空间形象、立体地表达，方便用户对海图要素的理解和应用。专业化、标准化的三维电子海图系统可为船舶航行、港口引航、海上救援和海事管理等应用提供重要的空间信息参考。

本文对三维电子海图系统的研究尚处于起步阶段,对该系统建设设计的理论知识与技术手段的研究不够深入,因此仍有很大改进空间。三维电子海图系统设计的主要目的是让用户能从不同角度、不同高度、动态地浏览琼州海峡区域三维场景,虽然实现了三维浏览、编辑查询和分析统计,但未能在该系统中实现路径规划、导航等功能。除此以外,潮流和天气等因素对航行安全有很大影响,本系统暂未实现对潮流和天气数据的实时更新加载,将在后续的研究中加以开发应用。

参考文献

- [1] 邓东辉.论基于电子海图的航线设计对船舶航行的重要意义[J].科技创新与应用,2019(6):105-106.
- [2] 王艺聪,徐乐.电子海图在船舶航行中的应用研究[J].计算机产品与流通,2018(8):78.
- [3] 许兆新,花文华.三维电子海图地形可视化技术研究[J].哈尔滨工程大学学报,2009,30(10):1129-1133.
- [4] 李军,滕惠忠,陆毅,等.数字海图三维可视化应用技术研究[J].海洋测绘,2015,35(1):62-65.
- [5] 张建春.长江航道三维可视化系统设计与实现[J].海洋测绘,2017,37(3):66-69.
- [6] 景西安,王凯,张永振.三维电子地图道路地形修复关键技术及实现[J].测绘标准化,2019,35(2):56-57.
- [7] Arianna Campiani,Ashley Lingle,Nicola Lercari. Spatial analysis and heritage conservation: Leveraging 3-D data and GIS for monitoring earthen architecture[J]. Journal of Cultural Heritage,2019,39.
- [8] Mimi Zaleha Abdul Ghani, Yazid Sarkom, Siti Mazwin Kamaruddin, et al. The Potential of 3-D Visualisation and GIS for Decision Making. 2019, 19(2):54-59.
- [9] 王欣怡,车明亮,王晓文,等.基于 ArcGIS Pro 的网络三维地图可视化平台建设研究[J].地理空间信息,2020,18(5):87-89+129+7.
- [10] 赵黎晨,全晓哲.基于 Cesium.js 的网络三维地图制作方法研究[J].现代测绘,2019,42(6):5-8.
- [11] 孙涌新,王朝东.多功能航标在海事服务(MS)中的应用——以多功能航标在琼州海峡的应用为例[J].中国海事,2019(6):43-45.

EPS 公司在油轮上试验 生物燃料以降低 GHG 排放

东太平洋航运公司(EPS)委托 GoodFuels 公司为其 2010 年建造的 47 377 载重吨 MR 型油轮 M/T Pacific Beryl 号提供生物燃料舱。GoodFuels 为 EPS 提供了一种剩余燃料当量的生物燃料油(BFO)。BFO 的性能将在 M/T Pacific Beryl 号轮以及 EPS 管理的其他船级船舶上进行测试和分析。

EPS 首席执行官 Cyril Ducau 说,“GoodFuels 提供的先进的、可持续的生物燃料,提供了一个符合我们价值观和可持续发展议程的解决方案。”替代性船用燃料是迈向全行业脱碳雄心的重要途径。

(刘昭青 编译)



这个文献阐述了效果，数据来源和处理方法并未展示。

收获：ArcGIS软件，有矢量数据，有离散数据，关键是输出DEM。