

基于 IDL 的海洋内波波面三维可视化的设计与实现

陶荣华, 陈维亮, 陈 标, 许素芹

(海军潜艇学院, 山东 青岛 266071)

摘要: 为了直观、全面及动态地展示内波的时空特性, 基于交互式数据语言(IDL)的对象图形方法, 研究了三维空间内波波面显示技术的实现方法。应用事例表明, 该方法能贴切地展现内波的三维分布和逼真地呈现波动特性, 有利于揭示内波的水体结构及其变化特征, 在海洋内波表达和理解中具有较高的应用价值。

关键词: 内波; 交互式数据语言(Interactive Data Language, IDL); 对象图形法; 波面; 可视化

中图分类号: TN248.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2013) 07-0095-05

内波是海洋中常见的中、小尺度物理海洋现象, 它对生产活动及军事活动都存在较大影响。区别于海洋表面波浪, 海洋内波是指发生在密度稳定层化的海水内部的一种重力波, 其垂向振幅远大于海面上的重力表面波^[1]。因此, 精确反映(刻画)海洋内波存在海域内海洋要素的时空分布不均匀性, 既要考虑水体场的三维变化特征又要体现其水平面上的波动特性。目前, 在表达和展示海洋水体中内波三维空间波动特性方面的研究较少, 鲜见海洋内波三维可视化产品开发案例。文献[2]对 CTD 观测的内波绘制了二维等温线深度时间序列图, 文献[3]对实验室条件下观测到的内波采用纹影技术和 PIV 技术进行了可视化测量, 上述工作都只是以二维图像(图形)的方式对内波的某一断面或平面进行了显示, 没有从三维空间这个宏观角度对海洋内波水体进行整体可视化表达, 尤其缺乏灵活展现内波区物理要素等值面的波动起伏。事实上, 内波区的海洋三维水体反映着介质物理性质分布状况和运动状况, 它直接决定着内波的结构形态并体现着内波的强弱, 贴切地展现三维分布和逼真地呈现波动性有利于揭示内波的水体结构及其变化特征, 从而便于直观、全面及动态地表现内波的时空特征(波长、振幅、传播方向和波速等)和变化规律。

三维可视化技术是用于显示、描述和理解三维空间物理要素的一种技术, 具有交互性、多维性和可视性等显著特点, 广泛应用于对观测对象的物理解释, 因此, 三维可视化技术是海洋内波研究和产品开发过程中的关键技术和重要内容。IDL(Interactive Data Language)是美国 ITT EXELIS 公司开发的第四

代科学计算语言, 它为用户提供了完善、灵活、有效的开发环境, 在三维可视化方面具有独特的优势, 是海洋信息可视化不可或缺的基础软件。IDL 图形系统包括直接图形系统(Direct Graphics)和对象图形系统(Object Graphics), 后者融合了 C 语言的面向对象技术和 OpenGL 图形技术, 有利于充分控制和重复利用图形, 因此, 通常采用后者进行应用系统开发, 文献[4-8]应用 IDL 对象图形法分别实现了各自应用领域的三维切面的可视化。针对海洋内波波面可视化的实际情况, 本文以对象图形法为例讲述其实现方法^[9-12]。

1 可视化方法描述

内波的存在会引起海洋要素(温/盐/密)的垂直分布不均匀性, 表现为水体中的等密(温、盐)度面呈现海面波浪状的起伏振荡。因此, 在构建的可视化场景中恰当地展示这种水平波动效果, 并且随着观察深度的变化自适应动态地呈现这样波动是内波波面可视化的核心和目标。从空间位置角度看, 海洋内波波面显示对象包括呈高程分布的水平曲面和三维立方体等, 根据海洋数据可视化维度, 可将其分为 2.5D 和真 3D 二类^[13]。由于不同维度的数据应显示在相应空间区域内, 因此, 需要设计一种可同时容纳并可视化显示 2.5D 和 3D 的混合型系统。针对研究对象的特点, 该可视化技术包括三维空间及其内

收稿日期: 2012-12-15; 修回日期: 2013-05-21

基金项目: 国家 863 计划(2007AA092116)

作者简介: 陶荣华(1971-), 男, 江苏盐城人, 讲师, 博士生, 主要从事海洋遥感应用研究, E-mail: ygstrh@tom.com

含实体的构建和实现,其中三维空间是承载各显示对象的立体视图窗体框架,后者是欲具体显示的图形对象,它以面、体的形式多角度展现和表达内波在时间和空间尺度的分布及特征。

1.1 可视化模型框架构建

对象图形系统是一个内置于 IDL 内核中的 IDL 对象库,基于 IDL 对象图形系统进行应用开发,实际上包括构建系统物理体系、虚拟图形体系和系统运行体系等三个架构。图形可视化的主要工作就是用对象图形构建虚拟图形体系,它涉及为内置对象创建正确的层次结构,决定着三维图景中各图形的布局及其相互联系。通常,按照确定的层次结构来创建和布局图形场景,实现具体的图形要素对象的显示。包括:创建 IDLgrView 对象、创建 IDLgrModel 对象、创建 IDLgrAtom 对象、将 IDLgrModel 加入 IDLgrView 中,将 IDLgrAtom 加入 IDLgrModel 和产生目标对象并显示图形。根据前述的功能需求分析结果,可视化图形对象包括:三维内波体、水平面上呈高程分布的波动曲面体、色彩板及附属标注等,下文主要就图形对象构建和实现过程中的三维空间水平波动显示技术进行阐述。

1.2 三维空间波面的可视化

通常情况下,对于表示高程含义的二维数据大多采用曲面方式显示,在 IDL 中即使用 idlgrsurface 对象绘制二维半图形来实现。但以此种方式生成的图形都是呈现在由绘制数据驱动的动态坐标系中,无法承载于已构建的三维水体坐标空间这个大场景中;另外,内置的 idlgrsurface 对象不支持动态交互显示,必须在显示前就事先指定输入数据。为解决此问题,笔者采用自行从底层编程实现曲面对象的构建。下文以大小为 $30 \times 40 \times 20$ 的三维数据 vol 作为示例讲述实现过程,具体步骤如下:

(1) 坐标转换,将数据坐标转换为视窗坐标

```
sz=SIZE(vol)
xMax=sz[1]-1
yMax=sz[2]-1
zMax=sz[3]-1
maxDim=MAX([xMax,yMax])
xs=[-0.5*xMax/maxDim,1.0/maxDim]
ys=[-0.5*yMax/maxDim,1.0/maxDim]
zs=[-0.5*zMax/maxDim,1.0/maxDim]
```

(2) 创建多边形曲面对象,将其加载到上一层级对象中

```
oPolygon_sur=OBJ_NEW('IDLgrPolygon',
                      color=[255, 0, 0])
oGroupModel->Add,oPolygon_sur
```

(3) 绘制数据准备

从 vol 数据体中抽取相对于待观察水层(第 k 层)平面的二维数据 matrix(图 1A)。

```
matrix=vol[:,*,k]
```

(4) 以 matrix 作为输入,使用 MESH_OBJ 函数生成顶点列表 vertex 和连接表 connectivity。

```
MESH_OBJ,1,vertices,connectivity,matrix
```

(5) 颜色映射,将整个三维水体数据映射成 256 色三维图像数据,抽取相应层的二维图像数据

```
vol256=bytsc1(vol,/NAN)
matrix256=vol256[:,*,k]
```

(6) 设置曲面对象的顶点位置和连接关系属性,实现曲面形状的定义和控制(图 1B)

```
oPolygon_sur->SetProperty,DATA=vertices,
POLYGONS=connectivity
```

(7) 设置曲面颜色,保证每一顶点处的着色关系与所表达物理量的大小关系两者相适应(图 1C)

```
oPolygon_sur->SetProperty,VERT_COLORS=
(matrix256[:,*]),PALETTE=oPalette
```

此时绘制出的图形曲面表示的是内波在三维空间的分布, z 方向对应着数值的大小,该方向轴刻度的最大值和最小值相应着 matrix 中的最大值和最小值,当改变 k 值时(对应于另一位置的水层),坐标值会自适应动态变化。而在构建的三维空间坐标系中, z 方向表示内波发生位置,轴的最值刻度却是固定不变的。也就是说,绘制出的任一曲面图形都应包容于已构建的三维坐标系框架中,它们都在围绕着各自的基本水平面呈现上下波动。因此,必须对 matrix 所在的曲面坐标系和 vol 三维坐标系进行配准,即对 oPolygon_s 的关键字 ZCOORD_CONV 的输入参数进行归一化处理。

(8) 坐标关联,保证曲面坐标系自然无缝地贴于已构建的三维体系中(图 1D)

```
oVol->GetProperty,XCOORD_CONV=xs,YCOORD_CONV=ys,ZCOORD_CONV=zs
zs[0]=zs[0]+zs[1]*(zMax-k)
zs[1]=zs[1]/dz
oPolygon_sur->Setproperty,
XCOORD_CONV=xs,YCOORD_CONV=ys,
ZCOORD_CONV=zs
```

另外,采用上述方式生成的曲面对象响应消息驱动,当需观察不同深度的内波波面时,实时传入数据即可实现动态显示相应的曲面图形。

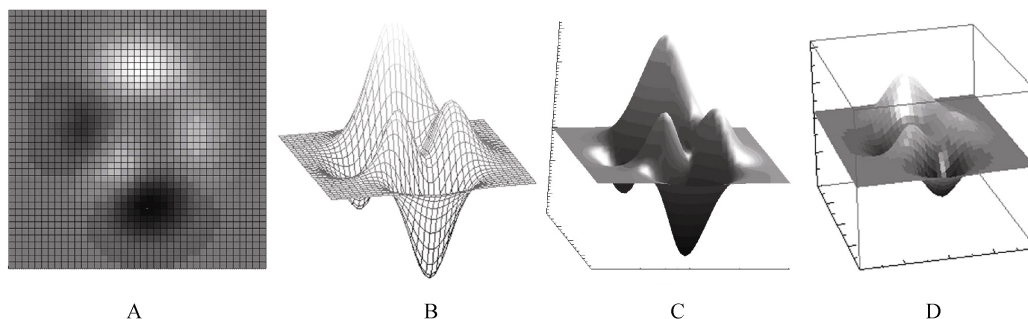


图1 三维空间中波面可视化分解图

Fig. 1 The setup Graphics of surface among 3D

A. 二维平面图; B. 曲面网格图; C. 曲面图; D. 三维空间中的曲面图
A. 2D graphic; B. mesh graphic; C. 2.5D graphic; D. surface graphic among 3D space

2 实例及分析

卫星遥感技术是探测海洋内波有效手段, 基于遥感获取的内波 SAR 图像或光学图像可以得出内波波长, 结合现场测量的海区剖面数据运用内波动力学模型即可反演出内波振幅, 进而重构出整个水体的三维结构, 为深入研究和观察内波的时空特征提供全域数据。图 2A 是 2008 年 5 月 4 日 ERS1 卫星在南海某处(中心位置: 19.649°N, 112.493°E)获得的内波 SAR 图像, 根据 CTD 同步测量的剖面数据, 对水下 5 m 至水下 100 m, 每间隔 5 m 的水层进行内波振幅反演(经向间隔 42 m, 纬向间隔 143 m)。图 2B 是重构的三维内波水体(大小为 200 × 80 × 20), 明显看出, 内波引起海洋水体较大的垂直波动。考虑到波动带来的位移, 故垂直方向的坐标轴在最上层和最

下层, 预留了适当空间以尽可能容纳这种起伏(此处各预留了一个间隔的空间长度)。

按照前述的可视化方法, 笔者构建了内波波面三维显示系统。该应用系统能交互响应各曲面的显示, 从而动态地体现波动性, 便于在同一框架内对内波的空间分布特性进行可视化比较。内波波动性主要体现在不同水层处的振幅存在较大差别, 同一水层中各水质点波动的位移也不尽相同。图 3 是对水体部分水层内波波动的可视化结果, 不同水层曲面的起伏程度对应着内波位移的大小。其中: 图 3A 是第 1 层(水下 5 m)处的内波波动分布, 其最大值为 3.1 m, 最小值为-1.8 m; 图 3B 是第 11 层(水下 55 m)处的内波波动分布, 其最大值为 21.7 m, 最小值为-12.7 m; 图 3C 是第 20 层(水下 100 m)处的内波波动分布, 其最大值为 2.9 m, 最小值为-1.7 m。动态过程直接表明, 内波的最大振幅达 40 m, 但只是发生在中间的部分水层, 而表层和底层的振幅并不大。

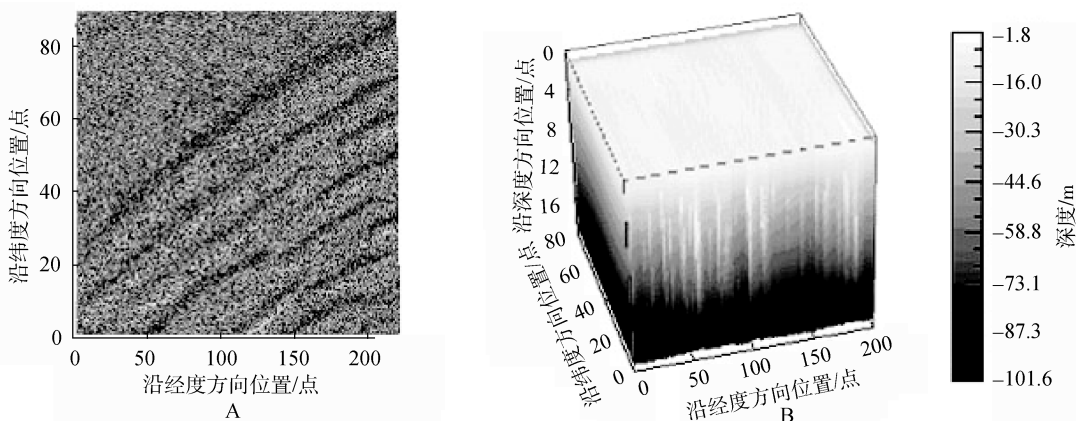


图2 内波 SAR 图像及三维内波分布图

Fig. 2 SAR image of IW and its 3D graphic

A. 内波 SAR 图像; B. 三维内波分布
A. SAR graphic of IW; B. 3D IW

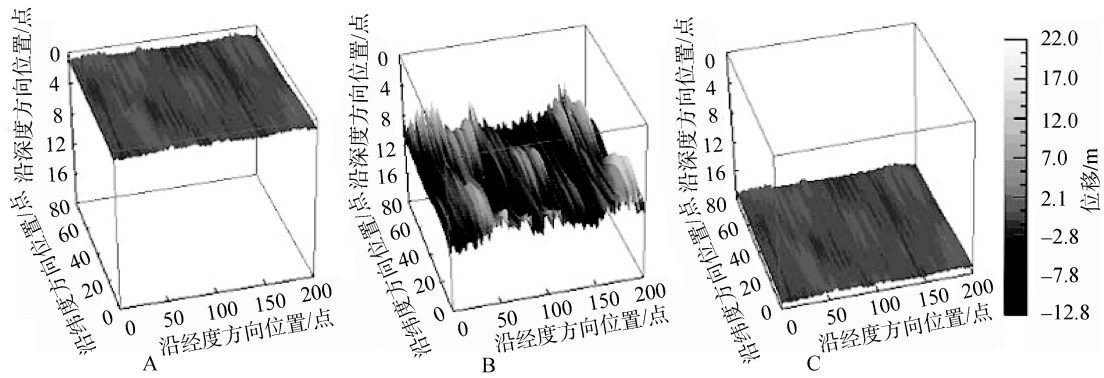


图3 三维空间中波面波动可视化图

Fig. 3 The surface graphic among 3D

A. 水下 5 m 处; B. 水下 55 m 处; C. 水下 100 m 处

A. at 5 m under water surface; B. at 55 m under water surface; C. at 100 m under water surface

3 小结

内波是海洋中较为广泛分布的一种自然现象, 它所引起的物理要素等值面的上下波动使得内波研究中对振幅的提取及波动特性的表征变得十分重要。本文基于内波三维显示的应用需求, 采用 IDL 的对象图形方法, 就体视化技术在海洋内波波面可视化中的关键问题做了初步的探索。示例表明, 该方法能突出反映内波的波动特征且具有动态交互功能。当然, 由于内波水体是一个三维场, 除了本文关注的水平面波动外, 事实上, 任一垂直切面也是观察内波波动的有效角度, 因此, 今后应加强该位置的内波波动特性表征技术研究。

参考文献:

[1] 杜涛, 吴巍, 方欣华. 海洋内波的产生与分布[J]. 海洋科学, 2001, 25(4): 25-28.
 [2] 方文东, 施平, 龙小敏. 南海北部孤立内波的现场观测[J]. 科学通报, 2005, 50(13): 1400-1404.
 [3] 于佳. 实验条件下内波生成和演化的可视化测量[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
 [4] 何全军, 程斌, 许惠平, 基于 IDL 的地形三维可视化

实现[J]. 世界地质, 2004, 23(1): 85-89.

[5] 何全军, 曹静. 利用 IDL 语言实现对气象数据的体视化显示[J]. 气象科学, 2007, 27(4): 445-450.
 [6] 刘海行, 于卫东, 周玉斌. 海洋观测航线断面数据的三维可视化实现[J]. 海洋科学进展, 2004, 22 (4): 493-500.
 [7] 于志强, 杨杰, 胡英. 基于 IDL 语言的水声声场数据可视化的设计与实现[J]. 红外与激光工程, 2001, 30 (5): 336-339.
 [8] 田金华, 马俊生, 池秀文. 滑坡可视化及可视化软件 IDL[J]. 西部探矿工程, 2004, 94(3): 179-181.
 [9] ITT.Objects Programming[M/CD]. [2009-05-01].http://www.ittvis.com.
 [10] ITT. IDL Tutorial-Volume Rendering [M/CD].[2008-05-01].http://www.ittvis.com.
 [11] ITT. IDL Tutorial-Advanced Graphics [M/CD] .[2008-05-01]. http://www.ittvis.com.
 [12] 赵鑫. 水下环境和声纳处理数据的三维可视化技术研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2009.
 [13] 覃如府, 叶娜. GIS 系统中多维海洋数据可视化研究[J]. 同济大学学报, 2009, 37(2): 272-276.

Design and implementation of 3D visualization for ocean internal wave surface based on IDL

TAO Rong-hua, CHEN Wei-liang, CHEN Biao, XU Su-qin

(Navy Submarine Academy, Qingdao 266071, China)

Received: Dec., 15, 2012

Key words: internal wave; IDL (Interactive Data Language); object graphics; surface; visualization.

Abstract: In order to intuitively, comprehensively and dynamically display the spatial and temporal characteristics of internal waves, the realizing method of three-dimensional wave surface display technique based on IDL object graphic was studies in this paper. The case showed that the method can be used to accurately show the three-dimensional distribution of wave and realistically appear fluctuation characteristics. It is helpful to reveal the characteristics of water structure and the changes of internal waves, and has high application value in expression and understanding of ocean internal waves.

(本文编辑: 刘珊珊)