

海底地形及其变化可视模型的研究^{*}

任建武 孙亚梅 李海宇

(南京大学城市与资源学系, 南京 210093)

A STUDY ON VISUAL MODELS OF SUBMARINE TOPOGRAPHY AND ITS CHANGE

Ren Jianwu, Sun Yamei, Li Haiyu

(Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093)

Abstract Visual models and its forming methods of submarine radiative sandbar and tide channel in the Yellow Sea have been introduced in this paper. According to the depth data surveyed for three years separately (or digitizing data of chart) in the area, we have generated a spatial-temporal depth data sequence of continuous multiyear through fractional interpolation. Then a group of mathematical models for submarine topography change are established. Based on this, by the visualizing treatment, manifold visual models of submarine topography and its change have been formed in the area beginning from 1968 to 2000 year.

Key words Submarine topography, Marine resources, Visual model, Dynamic simulation

摘 要 本文介绍了黄海海底辐射沙洲与潮汐通道的可视模型以及建模的方法。根据该海区 3 年的测量数据(或海图数字化数据),通过分形内插,生成连续多年时/空水深数据序列。然后建立一组反映海底地形及其变化的数学模型。在此基础上,通过可视化处理,形成该区 1968 至 2000 年海底地形及其变化的多种可视模型。

关键词 海底地形 海洋资源 可视模型 动态模拟

1 前言

海底地形是海洋动力,泥沙运动和人为等多种因素综合作用的反映,其变化过程是一个复杂的巨系统,人们对其研究远不如对陆地地形研究深入。海洋测绘以海图等形式提供了一个可以“看得见”的海底世界。海洋,尤其是近海地区,常年遭受海陆双重自然因素与人为因素的综合作用,其地形变化多端。因此,要掌握其变化幅度与变化规律,需要经常实施测量,就我国当前人力、物力和财力,还不可能进行经常性的实测及利用遥感测深技术进行海底定期观测。

从当前实际出发,我们经过一段时间的探索和设计,利用有限年份的测深资料(或海图)作为数据源,建立数据库和有关的数学模型,生成连续多年的时/空水深数据序列,建立从多方面展现海底地形及其变化的模型,用于海洋资源的规划、决策、开发和利用。本文中的可视模型是通过一组图表操作得以体现的,主要包括:不同年代测量的水深分层设色地形图及各层水面统计表;不同年代多方位分层设色三维地形图;不同年代地形冲淤分布图及冲淤程度表;1968 至 2000 年二维海底冲淤过程动态模拟图;不同年代及相同等深距系统等深线复合图;不同年代同一方位的纵或横剖面复合图;沉积物(表层底质)与不同年代海底三维地形复合图;潮位与不同年代海底三维地形复合图;未测年份的时/空水深插值图及其精度检查图;水深预测图及

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http

^{*} 本文 1995 年 10 月 5 日收到,截稿日期 1995 年 3 月 16 日。黎刚和陆德清同学参加了研究实验。
国家自然科学基金资助项目。

其精度检查图;1968 至 2000 年三维海底地形变化过程动态模拟图。

这些模型不仅具有可视性,而且具有可比性,为江苏省东部沿海港口建设及航道选择等论证工作提供了有力的证据。

2 数据源及数据处理

做好数据源及数据的处理工作是获得可靠成果的前提,系统数据最好直接采用测量数据,因为它未经过人为加工。没有测量数据时,则可采用测深原图或海图作为数据源,这时必须进行以下处理:

(1) 修改等深线。由于国家出版的海图都是以确保航行安全为宗旨,故除了采用最为安全可靠的深度基准面以外,其制图综合原则也向确保安全倾斜,例如水深的选取原则为舍深取浅;匀绘等深线采取匀浅不勾深的原则。所以原图上原有的等深线并不能完全反映海底的本来面貌,需根据实际水深对等深线加以修正。

(2) 加密等深线。海图上一一般只有 0、2、5、10、20、50 米……等深线,图上的水深点也很稀疏。为了提高构模精度,必须对海图上的等深线进行加密。加密的程度取决于建立 DEM 时确定的网格尺寸,网格越小,等深线应越密,以保证在形成每个网格数据时能搜索到足够多的水深点,确保 DEM 的精度。加密等深线时,首先要概算加密程度,加密的等深距不强求统一。加密等深线实际是加密等深点。

(3) 加绘图廓及经纬网(或方里网)。在不同年代测量出版的海图上绘制相同范围的图廓和统一间距的经纬网,以便在数据处理和构模时作控制,否则工作就难以进行。

(4) 数据编辑和几何纠正。水深点、等深线等数字化后会出现差错,需应用图形编辑功能予以改正。图形转换成数据过程中,由于仪器、自然和人为等因素,出现的误差,进行数据的几何纠正,减小甚至消除误差。

(5) 数据的投影和比例尺变换。当几个年份资料的投影和比例尺互相不一致时,应根据使用的目的,选择一种投影和比例尺,将它们统一起来,否则将失去可比性。这里还应注意,假如要进行长度、面积等统计计算,则必须选择变形小的投影作为统一的地图投影。

(6) 深度基准面改正。深度基准面是量测水深的起算面,当几个年份图上的基准面不一致时,都应设法加以统一。

3 时/空水深数据的内插与预测

3.1 时/空水深数据序列的生成

为构造出可靠的模型,首先要构造生成连续多年的时/空水深数据序列的数学模型。生成连续多年时/空水深数据序列是构造各种可视模型的必要条件。据经验,地理现象的变化通常服从于指数变化规律,所以用分形插值数学方法生成连续多年时/空水深数据序列是合适的。

假设从 60 至 90 年代,某点水深变化如图 1 所示,对于不规则变化的变元受系统的影响也具有自相似性,因此可以长时间段内获取变化信息,用公式表示:

$$k = \frac{P_{a2} - P_{a1}}{P_{a1} - P_1} \times \mu \quad (0 \leq \mu \leq 1) \quad (1)$$

$$\begin{cases} PP_1 = P_1 + \left[\frac{P_{a1} + k p_1}{1 + k} \times \xi - P_1 \right] / 2 \\ PP_2 = P_{a1} + \left[\frac{P_{a2} + k p_{a1}}{1 + k} \times \xi - P_{a1} \right] / 2 \end{cases} \quad (2)$$

式中 μ 为改正系数,通常取 1.0。 ξ 为经验系数, $0 \leq \xi \leq 1$,通常取 1.0,用(2)式插值得到的水深数据经检验,精确性是有保证的。

3.2 时/空水深变化预测

取得了连续多年的水深序列后,便可着手未来年份的水深预测。由于海底地形受控于诸多因素,同时又受时/空制约,所以建模时既要考虑有关因素,又要顾及时/空问题,还要考虑不同海域的自适应性。基于这些方面,我们提出了空间相关混合自适应模型:

$$Z_t = a_0 + a_1^0 Z_{t-1} + \dots + a_{p_0}^{(0)} Z_{t-p_0} + a_1^{(1)} X_{1,t-1} + \dots + a_p^{(1)} X_{1,t-p_1} + \dots + a_1^{(\xi)} X_{\xi,t-1} + \dots + a_p^{(\xi)} X_{\xi,t-p_\xi} \dots$$

式中 Z 为因变元, X 为自变元, P_ξ 为因子的个数

这是一个通用模型,由于数据的欠缺,在具体工作中需做具体修正,使其更为合理。在试验区内,由于冲淤变化明显,故将该区的地形变化视为“黑匣”系统,选择以往的地形作为主导因子进行时间序列的分析,改化公式为:

$$Z_t = a_0 + a_1 Z_{t-1} + \dots + a_p Z_{t-p} + a_{p+1} Z_{t-1,1} + \dots + a_{p+4} Z_{t-1,4}$$

式中 Z_{t-i} 表示 $t-i$ 年的水深数据($0 \leq i \leq m$), $Z_{t-1,j}$ 表示 $t-1$ 年该点相邻点的水深数据($0 < j \leq 4$)。预测结果,经检验是可信的。

4 海底地形及其变化的可视模型举例

研究可视模型目的在于将变化着的,不可视的海底世界变为可见的世界,以便人们对它进行各种开发性的分析与操作,现举例如下:

4.1 海底三维可视、可比地形模型

为使人们建立起地形起伏及其变化的真实概念,我们建起了不同年代全方位分层设色的立体可视、可比模型(本文图略) 。当将不同年代的水深序列形成统一要求的数字高程模型(DEM) 以后,对 DEM 进行透视,再经过裁剪与消除隐藏线等过程,便生成了三维可视地形模型。为实现对地形进行完整的、全方位的观察,透视过程包括下列两种过程的平行处理。

(1) 模拟人眼对空间物体的透视。人对物体的观察是由眼睛的位置和视线方向决定的。其光学原理是物体反射光线经瞳孔/晶状体聚焦后在视网膜上成像。模拟这一过程须确立视点的位置,由空间坐标确定;视平面位置,由视平面法矢量和距离确定。为与人的视觉印象保持一致,还应增加一方向参数(U) ,使视平面上的像对于人来说是正立的。

(2) 对空间物体的操纵。仅用上述模拟透视过程可以建立立体模型,但还不能满足观察者的实际需要,例如要在不移动视点的情况下观察物体的另一侧,或是要求对物体放大、缩小、移动等,所以透视过程中要对物体施以几何变换。

在上述两种过程的共同作用下,可以实现对地表任意角度、任意位置和尽可能清楚的观察,例如对局部地区的放大观察、高空遥视观察等。采用高视点方式形成的三维图与遥感图像十分相似。

4.2 地形剖面变化的可视、可比模型

典型剖面分析是以面代体作分析的有效方法,既可节省工作量,又可集中反映地形变化的

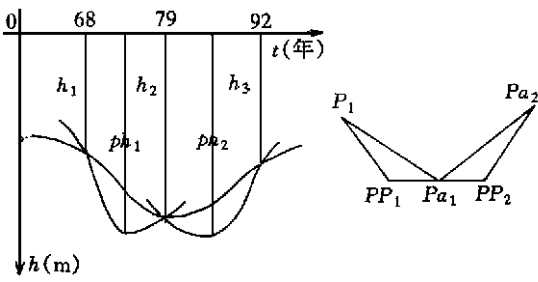


图 1 某点的插值曲线与插值点

图 1 某点的插值曲线与插值点

特点。我们开发的剖面可视模型在技术上有一定的特色。其一，同一条剖面线可同时出现在不同年代的图面上，不同年代的剖面状况则以不同线型或颜色显示，并标注出各年代剖面上的特征值，供人们比较研究；其二，剖面的背景可以消现滚动，当观察剖面与整体地形的关系时，背景可即时显现(图 2)，当研究不同年代的地形剖面特征时，背景可随即消逝(图 3)。



图 3 剖面背景消去

DEM 是对自然地形的数字模拟，在区域的 DEM 上用橡皮筋方法任意选取一剖面线，如图中的 AB ，依次提取 AB 通过的栅格单元值，便可得到 AB 间的地形剖面。在不同年份的 DEM 上提取同一个剖面，通过比较研究，可了解地形随时间的变化情况。

4.3 三维地形上复合海洋要素的可视模型

海平面至海底的广阔空间里存在着诸多的海洋要素，它们的分布与海底地形有密切的关系，例如潮流海流通过的地方，因受其冲刷常形成负地形，流速越强，冲刷越明显，反之冲刷就越弱，甚至形成堆积而呈现正地形；沉积物(这里指表层底质)由于粒度大小和轻重不同，其分布的部位也不同，颗粒大而重的往往分布在正地形及其边缘处，而颗粒小且轻的则随波逐流，往往停积在负地形处，潮汐通道上通常是比较坚硬的底质(当然，沉积物还受其他要素的影响，其分布情况是复杂的)。同样，

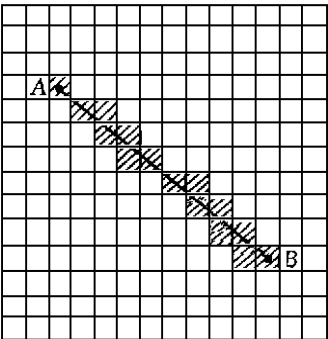


图 4 提取剖面

海洋生物、海洋矿产等分布也都有一定的地形规律,根据它们在不同年份地形图上的分布是否遵循地形规律,同样可以用来研究海底地形变化与否。

4.4 海底地形冲淤过程的可视模型

上述模型均需通过比较分析才能确定海底地形变化与否,而且主要是定性分析。冲淤变化模型可直接反映地形变化及变化程度,是定量分析模型。图 5 仅仅是该区冲淤长河中的极小部分,但它已经显示了该区的冲淤特点,即以动态平衡(冲淤深度 ± 1 米)为主,其次是冲刷,刷深在 2 米左右。淤积最严重处在区域的南中部和北东部,淤积厚度达 4 米以上。

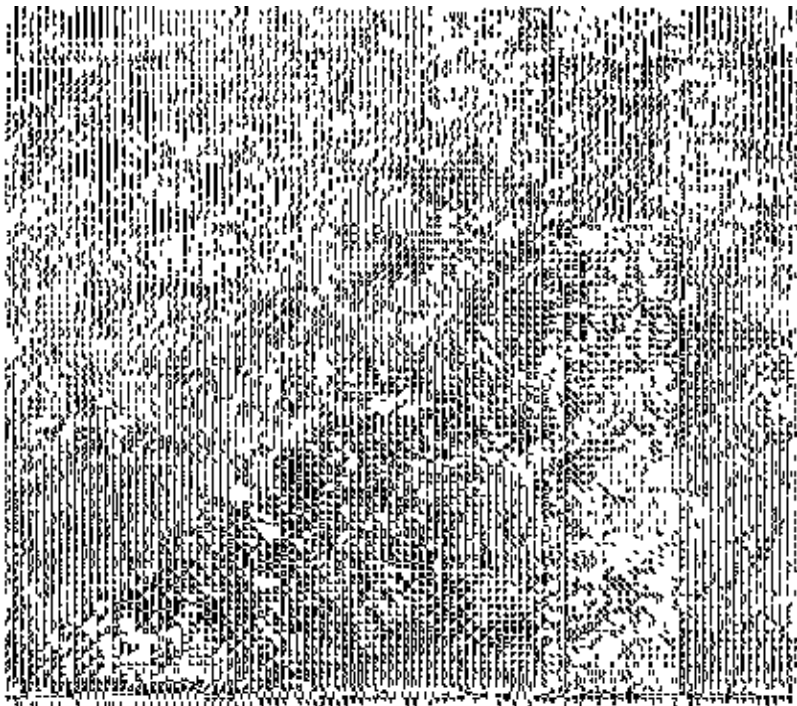


图 5 1970 至 1972 年×××海区地形冲淤状况

5 结语

本文所述海底地形及其变化的可视模型已用于江苏省港口开发决策论证。然而,就数据源而言,用于较长期的水深预测还是不能令人满意,即正规化实测次数太少。众所周知,尤其是浅海海域,地形变化多端,这主要是水文动力作用于泥沙所致,其中最重要的是潮汐与海流,而潮、海流的强弱主要受控于天体运动,如能在一个天文周期(近 19 年)中取若干年,如每次隔 5 年测一次,用这 4 次实测成果作为基础数据,则可视模型的精度将可大大提高,而且预测年份的有效期也将得到延长。21 世纪将是“海洋世纪”,随着海洋开发利用步伐的加快,对海底地形研究的要求将会越来越高。为此,建议有关部门及早考虑,并作出对策。

参 考 文 献

1 杨位钦等.时间序列分析与动态数据建模.北京:北京工业出版社,1988
2 王雪瑜.海岸沉积.见:江苏海岸带与海涂资源综合考察报告.北京:海洋出版社,1985