

黑潮锋区的水温分形特征研究

韩 梅¹, 周艳霞², 笪良龙¹

(1. 海军潜艇学院 海军战术水声数据中心, 山东 青岛 266071; 2. 海军潜艇学院 训练部, 山东 青岛 266071)

摘要: 借助 GIS ArcView 软件分析提取黑潮锋区域, 将一定间隔的经纬度点的温度值生成等值线以此为研究对象, 应用网格法计算了 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$, $120^{\circ} \sim 130^{\circ} \text{E}$ 范围内黑潮锋区 50 m 和 100 m 深处水温的分维值, 100 m 深处的分维值波动较 50 m 深处小, 但整体上分维值较 50 m 深处大。计算结果符合黑潮锋区强度的实际分布情况, 初步认为分形维数能够表征黑潮锋强度, 分维值随黑潮锋强度的增大而增大。

关键词: 黑潮锋; 水温; 分形维数

中图分类号: O427

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)05-0028-04

海军作战, 特别是潜艇战和反潜战都是在海水介质中展开, 而声波是海水介质中唯一能够良好传播信息的载体。在黑潮锋区水声环境极为复杂, 水下三维声场形成了一系列声传播的奇异区域, 这就对声纳的探测与反探测产生显著的影响。特别是随着卫星遥感技术的不断发展, 使得那些能够引起水下声传播畸变的海洋锋、涡旋以及内波等中尺度现象的观测和预报成为可能, 因此如何有效地提取这些中尺度现象的主要特征对于海军舰艇作战效能的提高显得尤为重要。

长期以来, 人们习惯用简单的标准来判断黑潮锋的存在及其强度, 比如中国的海洋工作者大都以 $0.1^{\circ} \text{C}/\text{n mile}$ 的标准来判断海洋锋是否存在, 对其强度的描述更为笼统。这对潜艇指挥人员是远远不够的。作者借助于 GIS ArcView 软件分析提取黑潮锋区域, 应用网格法计算了 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$, $120^{\circ} \sim 130^{\circ} \text{E}$ 范围内黑潮锋区 50 m 和 100 m 深处水温的分维值。经过分析比较初步得出分形维数能够表征黑潮锋强度, 分维值随黑潮锋强度的增大而增大的结论, 为潜艇指挥人员提供一种决策依据。

1 在 GIS ArcView 中黑潮锋的界定

黑潮锋区是一空间区域, 在不同的空间方向上, 水温各不相同, 对于网格化水温数据的锋面特征提取采用空间的面分析方法。本文采用了趋势面分析方法建立锋区水平特征参数的提取模型, 其基本原理是根据温度场的空间分布数据, 拟合一个数字曲面, 用该数学曲面来反映温度场空间分布的变化情况。趋势面的拟合精度具有特殊性, 它并不要求有很高的拟合精度, 相反, 过高的拟合精度反而会使温度场趋势面难以反映锋区分布的主体特征。在实际温度场趋势面分析中采用多项式的分析

方法, 并通过改变多项式的次数来控制拟合精度。温度场空间曲面的水平梯度是位置点的函数, 给定位置点的梯度是曲面上该点 O 的场值与方位角为 α 的方向上 D 点之间的梯度值, 如图 1 所示。

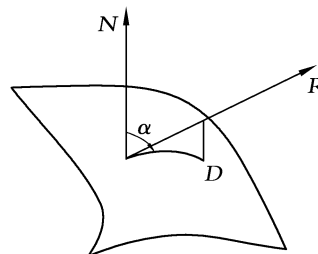


图 1 温度场水平梯度空间分布

Fig.1 Distributions of horizontal grads in temperature field

假设温度场数据的某一空间层中有 n 个观测点 $(x_1, y_2) (l=1, 2, \dots, n)$, 观测值分别为 $z_l (l=1, 2, \dots, n)$, 则该空间分布 z 的趋势面可表示为 N 次多项式:

$$\hat{z} = \sum_{\substack{i,j=0 \\ i+j \leq N}}^N a_{ij} x^i y^j \quad (1)$$

(1) 式中 a_{ij} 通过最小二乘法求解, 算法如下:

$$Q = \sum_{l=1}^n (z_l - \hat{z}_l)^2$$

收稿日期: 2005-01-04; 修回日期: 2008-02-28

作者简介: 韩 梅 (1967-), 女, 山东淄博人, 硕士, 副教授, 目前主要从事水声战、海洋环境要素的分形特征研究; 周艳霞, 通讯作者, 电话: 13173208579, E-mail: zhou_yx703@126.com

$$\text{即 } Q = \sum_{l=1}^n (z_l - \sum_{ij} a_{ij} x_l^i y_l^j)^2 \quad (2)$$

为使 $\hat{z}$ 尽可能逼近 Z_l , Q 应当取极小值, 根据数学分析原理, 当 Q 对于一切 a_{ij} 的偏导数为 0 时, 所确定的 a_{ij} 可使 Q 极小。不失一般性, 记 $i=r, j=s$ 时的 a_{ij} 为 a_{rs} , 则:

$$\frac{\partial Q}{\partial a_{rs}} = \sum_{l=1}^n \left(z_l - \sum_{ij} a_{ij} x_l^i y_l^j \right) x_l^r y_l^s = 0 \quad (3)$$

(3) 式可变为:

$$\sum_{l=1}^n \sum_{ij} (a_{ij} x_l^{i+r} y_l^{j+s}) = \sum_{l=1}^n z_l x_l^r y_l^s$$

展开为:

$$\begin{aligned} \sum_{l=1}^n z_l x_l^r y_l^s &= a_{00} \sum_{l=1}^n x_l^r y_l^s + a_{10} \sum_{l=1}^n x_l^{1+r} y_l^s + \dots + \\ &a_{01} \sum_{l=1}^n x_l^r y_l^{1+s} + \dots + a_{ij} \sum_{l=1}^n x_l^{i+r} y_l^{j+s} + \dots \end{aligned}$$

取 $r, s=0, 1, \dots, N, r+s \leq N$ 。

通过上式确定各 a_{rs} 的值, 从而确定

$$\hat{z} = \sum_{\substack{i,j=0 \\ i+j \leq N}}^N a_{ij} x^i y^j$$

阵可逆, 这在 n 足够大 (至少不小于 $N=1$)、观测点之间较少共线的情况下是可以保证的。由以上分

析可知, 当 N 确定后, $\hat{z} = \sum_{\substack{i,j=0 \\ i+j \leq N}}^N a_{ij} x^i y^j$ 式唯一确定,

则温度场趋势面的拟合精度确定, 因此设定不同的 N 值可获得不同的拟合精度, 实际分析中采用三次多项式, 提取黑潮锋面的空间特征。

作者使用水温实测数据进行计算, 数据间隔为 2 n mile, 研究范围为 $20^\circ \sim 30^\circ \text{N}$, $120^\circ \sim 130^\circ \text{E}$ 内黑潮锋区域。图 2 为 100 m 深处在 GIS ArcView 中界定的 1 月份黑潮锋范围。

2 水温等值线的确定

等值线能够充分的反映该要素的地理分布特征。为了借助 ArcView 软件强大的空间分析功能, 将不同经纬度点的水温信息连成等值线进行分析和计算, 即由点状信息转换为线状信息。

黑潮锋范围界定之后, 将这些数据资料生成图层, ArcView 软件将自动勾画出等值线并显示出来。在 ArcView 软件中, 可以选择等值线的间隔并进行空间分析, 等值线用栅格数据显示, 具有放大缩小都不变形的优点。虽然采用不同的算法, 勾画出的等值线形状略有差异, 但不会影响其大致的走势,

不会影响分形维数的计算。本研究中水温等值线间隔为 0.4°C 。图 3~图 6 分别为黑潮锋区 50 m 和 100 m 深处的水温等值线。

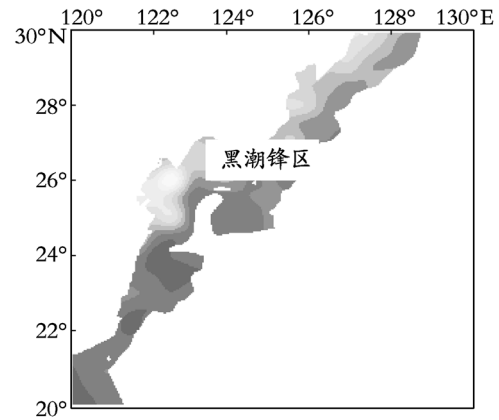


图 2 黑潮锋位置示意图

Fig.2 Sketch map of the Kuroshio's position

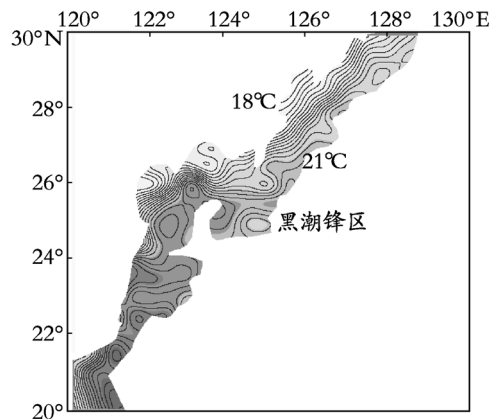


图 3 2 月 50 m 层水温等值线

Fig.3 Isoline of sea-water temperature at 50 m deep in the 2nd month

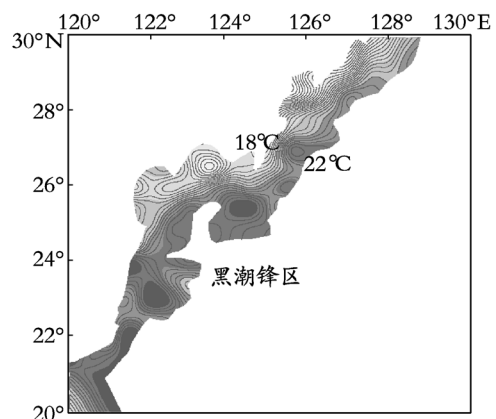


图 4 5 月 50 m 层水温等值线

Fig.4 Isoline of sea-water temperature at 50 m deep in the 5th month

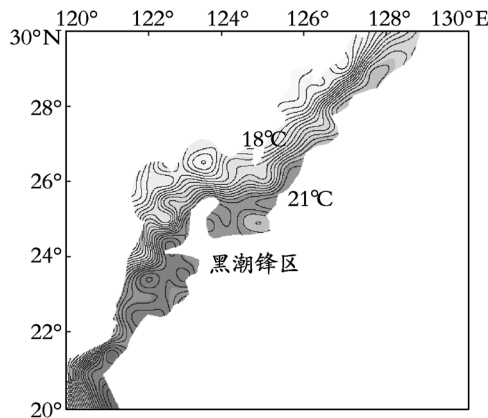


图5 2月100 m层水温等值线

Fig.5 Isoline of sea-water temperature at 100 m deep in the 2nd month

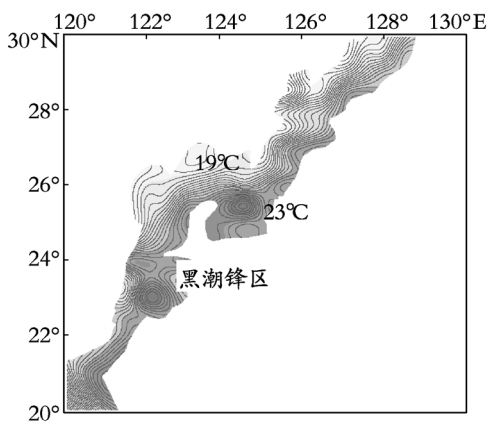


图6 5月100 m层水温等值线

Fig.6 Isoline of sea-water temperature at 100 m deep in the 5th month

3 分维计算及分析

网格法^[2]的基本思想是用不同长度的正方形网格去覆盖线体, 如果正方形边长 r 与覆盖线体的正方形总数 N 之间满足关系式:

$$N(r)=cr^{-D} \quad (4)$$

将(4)中 c 为待定常数, 将(4)式进行变换, 可以得到:

$$\lg N(r)=-D\lg r+A \quad (5)$$

式(5)中 D 即为客体的分维, 其值等于该式斜率值的绝对值, A 为待定常数。

分形维数从分形几何的意义出发, 表征空间复杂度。对于线体, 影响分形维数值大小有两点: 线体曲折复杂度和线体密度。在一定面积内, 如果曲

线越复杂, 线条数越多, 则该区域内的线体在满足分形特征的前提下, 其分维值就会越大。

作者计算了黑潮锋区 50 m 和 100 m 深处的水温等值线的分维。在 ArcView 软件中, 改变覆盖线体网格的大小, 回归拟和, 计算线体的分维值。以不同的间隔生成的等值线, 其分维值有所差异。因此, 须采用同一间隔才可以互相比较。以上情况的相关系数值均在 0.99 之上, 可以通过置信水平为 0.95 的相关性检验。表 1 反映了 50 m 和 100 m 深处的分维值的比较情况。

表 1 黑潮锋区内水温的分维值

Tab.1 The fractal dimensions of sea-water temperature in the Kuroshio

月份	分维值	
	50 m	100 m
1	1.328	1.353
2	1.355	1.400
3	1.394	1.422
4	1.436	1.520
5	1.467	1.508
6	1.427	1.484
7	1.405	1.486
8	1.318	1.503
9	1.359	1.486
10	1.281	1.459
11	1.248	1.498
12	1.306	1.444

50 m 深处, 分维最大值出现的时间为 5 月份, 值为 1.467; 分维最小值出现的时间为 11 月份, 值为 1.248。最大值和最小值相差 0.219。最大值出现在春季, 其余三个季节的分维值较小。100 m 深处, 分维最大值出现的时间为 4 月份, 值为 1.520; 最小值出现的时间为 1 月份, 只有 1.353。最大值和最小值相差 0.167。总体上, 100 m 深处的分维值波动较 50 m 深处小, 但绝对值较 50 m 深处大。黑潮锋的实际分布特征为 100 m 深比 50 m 深处的强度大, 但终年比较稳定, 50 m 深处的海洋锋会随季节发生变化。由此得出结论: 分形维数可以表征黑潮锋的强度, 黑潮锋随强度不同, 分形维数值会相应的发生变化, 黑潮锋强度越大, 分维值越大。

5 结论与讨论

作者应用 ArcView 软件界定了黑潮锋区域, 应用网格法计算了中国黑潮锋 50 m 和 100 m 深处的水温等值线的分维值。得出 100 m 深处的分维值大

于 50 m 深处的分维值, 50 m 深处的分维波动较 100 m 深处大, 这符合该区域黑潮锋的分布特征。得出分形维数可以表征黑潮锋的强度, 黑潮锋随强度不同, 分形维数值会相应的发生变化, 黑潮锋强度越大, 分维值越大。由于黑潮锋的区域性差异大, 无法从整体上分析锋区的季节特征。随着研究的深入, 能够逐步实现黑潮锋区的区域性分维描述, 同时对黑潮锋强度的分维描述进一步量化。

参考文献:

- [1] 苏纪兰. 国家海洋局科技司. 黑潮调查研究论文选[C]. 北京: 海洋出版社, 1994. 33-41
- [2] 朱晓华. 中国地理信息中的分形与分维[D]. 北京: 北京大学, 2004.
- [3] 朱晓华, 查勇. MapInfo 与 ArcView GIS 软件在线体分形中的应用[J]. 测绘信息与工程, 2002. 27(5): 12-16.

The fractal character of temperature of seawater in the Kuroshio

HAN Mei¹, ZHOU Yan-xia², DA Liang-long¹

(1. Underwater Acoustics Center, Navy Submarine Academy, Qingdao 266071, China; 2. Training Department of Submarine Academy, Qingdao 266071, China)

Received: Feb., 26, 2006

Key words: Kuroshio; fractal dimension; temperature;

Abstract: The Kuroshio will affect sonar detection greatly. The intension of Kuroshio is always concerned by the submarine commanders. Gis ArcView is used to identity the Kuroshio area from underwater acoustics data. The seawater tempreature isolines are drawn based on the temperture data which is distributed by some interval. Appling the box counting method ,it is calculated that the fractal dimension of the seawater temperture isolines of the Kuroshio at different times at 50 m and 100 m deep. The conclusion is given that the fractal dimension is bigger at 100 m deep than at 50 m deep, but the former waves less than the latter. It is accorded to the factual Kuroshio. So the fractal dimension can be used to describe the Kuroshio and the fractal dimension will become larger while the the Kuroshio. becomes intenser.

(本文编辑: 刘珊珊)