

# 基于概率估算的南海中尺度涡强度定级方法

匡晓迪<sup>1</sup>, 方长芳<sup>2</sup>, 李竞时<sup>1</sup>, 李云<sup>1</sup>

(1. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081; 2. 海军海洋水文气象预报中心, 北京 100161)

**摘要:** 根据预报工作的实际, 选用中尺度涡振幅作为强度指标, 首先用概率大小定义强度等级, 然后将强度等级和衡量中尺度涡的强度量值——振幅的大小一一对应, 给出中尺度涡强度分级方案的同时, 提出了以风险评估为基本思路, 以概率分布为主要工具的强度定级新方法。这一方法取代纯经验的指标设置, 提供一种新的有依据的定级方法。基于实际工作需求, 使用概率阈值 21\15\10 cm 定义中尺度涡强度等级, 将中尺度涡强度分为 4 级。

**关键词:** 中尺度涡强度; 强度分级标准; 概率估算; 三参数威布尔分布

**中图分类号:** P731.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2018)01-0060-04

## 1 引言

南海海盆蕴含着丰富的油气、矿产及渔业等战略资源, 是维护国家海洋权益的重要海区, 在实现我国海洋强国战略目标的道路上具有重要的战略地位。中尺度涡是南海重要的海洋动力过程<sup>[1-2]</sup>, 涡旋的存在和移动, 对海洋资源开发、海上交通安全和海上军事活动都会产生重大影响。随着南海多尺度海洋卫星观测能力和数值模拟能力的不断提高, 已经具备了中尺度涡的分析和初步预测预报能力<sup>[3-4]</sup>, 但由于中尺度诊断方案和涡旋的强度表述方法多种多样, 在提供分析产品和预报产品时, 强度指标作为涡旋的重要属性指标之一, 它的选取存在很大的主观性。为了提高分析和预报产品的直观性、实用性和规范性, 规范中尺度涡分析预报产品的表述, 提升海洋资源开发、海上航行安全、海洋权益维护等活动中的预报保障水平, 亟需建立一个直观、实用的强度量化指标。

虽然在实际海洋中中尺度涡一般不构成灾害, 但仍可以借鉴风险评估<sup>[5]</sup>中基于风险发生频率的要素分级和强度量化方法的主要思路。ISO9001: 2015(以下简称 ISO)中关于风险发生频率评价准

则: 风险的发生频率是指潜在风险出现的频率, 为便于识别和定义, 将风险频度定义为 5 级: (I) 极少发生; (II) 很少发生; (III) 偶尔发生; (IV) 有时发生; (V) 经常发生。通过统计风险发生的频度, 对风险可能发生的频率进行量化确认作为风险的发生频率的评价准则(见表 1)。《GB/T27921-2011 风险管理 风险评估技术》<sup>[6]</sup>(以下简称 GB)中也有关于风险可能发生性的表述(见表 1)。两者都是依据风险的发生概率来进行定义, 将风险分为 5 级, 只是采用的概率阈值存在差别。因此, 本文将发生频次为依据, 借鉴风险管理学中关于风险发生频率定级方法开展中尺度涡强度分级方法的研究, 给出了以中尺度涡振幅为指标, 以风险评估为基本思路, 以概率分布为主要工具的强度定级新方法。

## 2 数据

本文的基础数据选用了法国国家空间研究中心卫星海洋学存档数据中心(AVISO)提供的延迟时间海表面高度异常(Sea Level Anomaly, SLA)格点数据(Ssalto/Duacs), 该数据是 HY-2A、Saral/AltiKa、Cryosat-2、Jason-1、Jason-2、T/P、Envisat、GFO、

收稿日期: 2017-11-09; 修回日期: 2017-11-14。

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC1401800); 国家海洋局预报减灾司海洋预报员业务发展专项。

作者简介: 匡晓迪(1984-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事海洋预报技术和解释应用方法的研究。E-mail: kuangxd@nmfnc.cn

表 1 3个方案的概率阈值和振幅的对应关系

等级	方案					
	ISO9001-2015		GB/T27921-2011		按工作实际	
	发生概率	振幅/cm	发生概率	振幅/cm	发生概率	振幅/cm
I	≤0.01%	≥37	<10%	>12	≤1%	≥21
II	(0.01%~0.1%]	29~37	10%~30%	8~12	[1%~5%)	15~21
III	(0.1%~1%]	21~29	30%~70%	5~8	[5%~20%)	10~15
IV	(1%~10%)	12~21	70%~90%	4~5	≥20%	≥10
V	≥10%	≤12	≥90%	≤4	—	—

ERS1/2和Geosat等高度计的融合产品。SLA为融合海面高度数据减去20a(1993年1月—2013年12月)的平均海表面高度的差值。本文选用南海区域日平均SLA数据,空间范围为4°~25°N,108°~122°E,时间范围为1993—2014年,水平方向采用Mercator坐标系,分辨率为1/4°。

基于SLA数据和涡旋自动检测算法<sup>[17]</sup>,识别涡旋,并提取中尺度涡的振幅特征(振幅大于4cm<sup>[1]</sup>),共得到16819个反气旋涡和18246个气旋涡,最大振幅约36cm。

### 3 强度等级划分

统计不同强度范围的涡旋个数,可以得到南海中尺度涡的振幅分布如图1所示。以全部涡旋振幅为样本,用三参数威布尔分布进行拟合其概率分布,三参数威布尔分布的概率密度函数形式为:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad x \geq \gamma \quad (1)$$

对上式在区间 $(-\infty, x_p]$ 内积分,得到分布函数:

$$F(x_p) = \int_{-\infty}^{x_p} f(x) dx = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right] & x_p \geq \gamma \\ 0 & x_p < \gamma \end{cases} \quad (2)$$

式中: $-\infty < \gamma \leq +\infty$ ,为位置参数, $\beta > 0$ ,为形状参数, $\alpha > 0$ ,为尺度参数。当 $\gamma = 0$ ,即简化为威布尔分布(二参数)。

用分布函数对样本进行拟合,可以得到3个参数值和95%置信区间(见表2),拟合误差标准差0.0052,拟合相关系数99.96%。

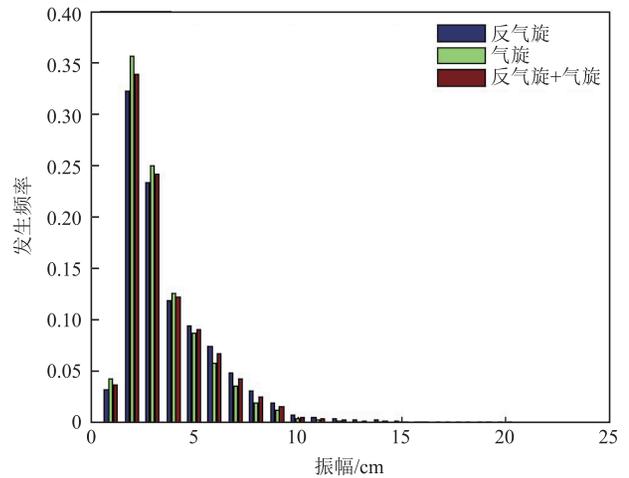


图 1 基于 AVISO 数据的南海气旋涡、反气旋涡和全部涡旋的振幅分布

表 2 三参数威布尔分布参数估计

参数	估计值	95%置信区间
$\alpha$	1.019	[0.985 8, 1.051]
$\beta$	3.76	[3.667, 3.854]
$\gamma$	3.849	[3.793, 3.904]

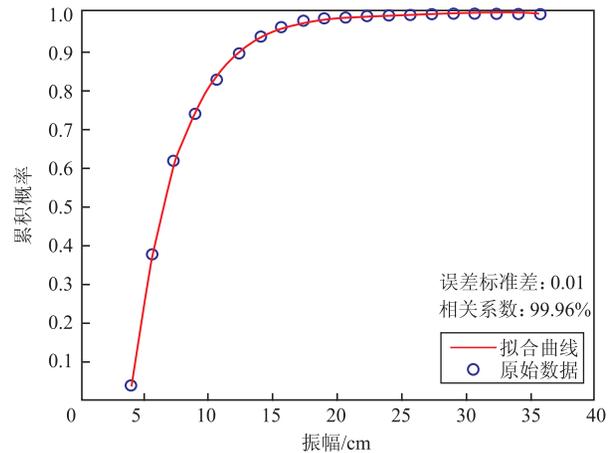


图 2 全部涡旋振幅累积分布函数拟合

为了对应发生概率和振幅值,由概率分布函数得:

$$F(x) = P(x < x_p) = \int_{-\infty}^{x_p} f(x) dx = P \quad (3)$$

式中:  $P$  为累计概率,表示振幅小于特征值  $x_p$  的概率,对于三参数威布尔分布,根据式(2)可得对应累积概率  $P$  的振幅值:

$$x_p = \exp\left(\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-P}\right)/\alpha + \ln\beta\right)\right) + \gamma \quad (4)$$

按照 ISO、GB 和经验划分 3 种方案的概率阈值,则根据式(4)计算强度分级阈值如表 2,其中的发生概率为  $1-P$ 。

可以看出,按照 ISO 的概率阈值计算得到的振幅值,从 I 和 II 级定义的振幅范围已经超出已有观测的最大值高达 25%,对南海区域而言即为 22 a 内未曾发生过的强事件,而 22 a 的观测数据对于估算相当于万年一遇的强度极值来说,估算误差太大。而 GB 方案概率阈值对应的振幅阈值太小,IV 和 V 级定义的振幅范围接近 SLA 观测误差<sup>[1]</sup>。因此,这两种方案都不适合中尺度涡预报工作的实际。

基于实际工作需求,参考《风暴潮、海浪、海啸和海冰灾害应急预案》,将强度等级分为四级,使用 1%、5%、20% 作为概率阈值计算振幅阈值如表 1 所示,得到中尺度涡强度的定级量化方案。

## 4 结论和讨论

本文根据预报工作的实际,选用振幅作为强度指标,首先用概率大小定义强度等级,然后将强度等级和衡量中尺度涡的强度量值——振幅的大小一一对应,给出中尺度涡强度分级方案的同时,提出了以风险评估为基本思路,以概率分布为主要工具的强度定级新方法。这一方法可以推广应用到尚未有强度分级标准的预报要素中。

同时也需要指出,即使已实现强度定级的定量分析,此时计算或得到强度等级值仍是以数据拟合、参数估计和经验分析为基础得出的结论,和实际的需求和应用之间仍然会存在一定程度的偏差,需要在预报实践中进行充分论证和修订,方可形成确定的标准进行发布。

尽管如此,本文所给定级方法的意义在于,取代纯经验的指标设置,可以提供一种有依据的定级

方案。这种方法的推广应用,一方面可以推动海洋预报标准化体系建设,同时,用量化的数值取代要素本身的量值进行预报,也可提高预报产品的实用性和可读性,进而提升海洋预报服务蓝色经济发展的能力,以及海洋资源开发、海上航行安全、海洋权益维护等活动中的预报保障水平。

## 参考文献:

- [1] 崔凤娟,匡晓迪,王玉.南海中尺度涡年际变化特征及动力机制分析[J].海洋与湖沼,2015,46(3):508-516.
- [2] 俞慕耕,刘金芳.南海海流系统与环流形势[J].海洋预报,1993,10(2):13-17.
- [3] 王桂华.南海中尺度涡的运动规律探讨[D].青岛:中国海洋大学,2004.
- [4] 郑聪聪,阎忠辉,梁永春,等.北太平洋中尺度涡温度垂直结构区域差别分析[J].海洋预报,2017,34(3):10-16.
- [5] Chen Y L, Chen H Y, Lin I I, et al. Effects of Cold Eddy on Phytoplankton Production and Assemblages in Luzon Strait Bordering the South China Sea[J]. Journal of Oceanography, 2007, 63(4): 671-683.
- [6] Lin I I, Lien C C, Wu C R, et al. Enhanced Primary Production in the Oligotrophic South China Sea by Eddy Injection in Spring[J]. Geophysical Research Letters, 2010, 37(16): L16602.
- [7] Wang D, Xu H, Lin J, et al. Anticyclonic Eddies in the Northeastern South China Sea during Winter 2003/2004[J]. Journal of Oceanography, 2008, 64(6): 925-935.
- [8] Wang G, Su J, Chu P C. Mesoscale Eddies in the South China Sea Observed with Altimeter Data[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30(21): OCE6-1-OCE6-4.
- [9] Wu C R, Chiang T L. Mesoscale Eddies in the Northern South China Sea[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2007, 54(14-15): 1575-1588.
- [10] Yin Y, Lin X, He R, et al. Impact of Mesoscale Eddies on Kuroshio Intrusion Variability Northeast of Taiwan[J]. Journal of Geophysical Research Oceans, 2017, 122(4): 3021-3040.
- [11] Zhuang W, Du Y, Wang D, et al. Pathways of Mesoscale Variability in the South China Sea[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(5): 1055-1067.
- [12] Zu T, Wang D, Yan C, et al. Evolution of an Anticyclonic Eddy Southwest of Taiwan[J]. Ocean Dynamics, 2013, 63(5): 519-531.
- [13] Feng B, Liu H, Lin P, et al. Meso-scale eddy in the South China Sea simulated by an eddy-resolving ocean model[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 36(5): 9-25.
- [14] Zhu X, Wang H, Liu G, et al. Comparison and Validation of Global and Regional Ocean Forecasting Systems for the South China Sea[J]. Natural Hazards & Earth System Sciences, 2016, 16(7): 1639-1655.
- [15] 郑恒,周海京.概率风险评估[M].北京:国防工业出版社,2011:

- 2-3.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T27921-2011 风险管理 风险评估技术[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [17] Chelton D B, Schlax M G, Samelson R M. Global Observations of Nonlinear Mesoscale Eddies[J]. *Progress in Oceanography*, 2011, 91(2): 167-216.

## Probability estimation based method to categorize the intensity of meso-scale eddies in the South China Sea

KUANG Xiao-di<sup>1</sup>, FANG Chang-fang<sup>2</sup>, LI Jing-shi<sup>1</sup>, LI Yun<sup>1</sup>

(1. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China; 2. Navy Marine Hydrology and Meteorology center, Beijing 100161 China)

**Abstract:** A new method is developed with amplitude used as an index to categorize the intensity of meso-scale eddies to improve the forecasting description. Instead of empirical subjectivity, this method is based on risk assessment and probability distribution. Based on the practical need, the intensity of meso-scale eddies is categorized into 4 levels utilizing the threshold of 21/15/10 cm.

**Key words:** intensity of meso-scale eddies; intensity category; probability estimation; 3-parameter Weibull distribution