

文章编号: 1674-5566(2024)03-0776-10

DOI: 10.12024/jsou.20240104404

东太平洋赤道海域中尺度涡的特征分析

吴静怡¹, 陈新军^{2,3,4,5,6}, 方星楠²

(1. 上海海洋大学 海洋科学与生态环境学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 海洋生物资源与管理学院, 上海 201306; 3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 5. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 6. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘要: 东太平洋赤道海域是我国重要的作业渔场, 中尺度涡与渔场的分布有着密切的联系。本研究基于流场几何的涡旋判别方法, 利用2012—2018年气象卫星遥感数据对东太平洋赤道海域(85°W~125°W, 5°S~5°N)的中尺度涡进行识别, 筛选出生命周期大于一周的涡旋, 分析了该海域中尺度涡旋的空间分布、半径范围、生命周期和迁移路径及速度等基本特征, 并讨论其与该区域内重要经济头足类渔场分布的关联。结果显示, 东太平洋赤道海域反气旋涡的数量要多于气旋涡; 涡旋的生命周期较短, 绝大多数不超过一周; 涡旋的半径主要集中在250~310 km, 迁移速度主要为6~18 cm/s, 迁移距离为25~50 km; 在靠近南北纬5°的海域表现出两条涡旋活动较为频繁的“热点区域”, 而在纬度为零的海域几乎没有涡旋存在。同时, 涡旋的生命周期和半径表现出明显的年间变化。本研究为东太平洋赤道海域头足类渔场形成、分布和渔情预报等研究提供了支撑。

关键词: 中尺度涡; 东太平洋; 涡旋特征; 渔场

中图分类号: P 732 **文献标志码:** A

中尺度涡在海洋中是一种非常普遍的中尺度现象^[1], 它不仅在海动力环境^[2]、物质能量输运^[3]、生物化学过程^[4]、全球气候变化^[5]等中扮演关键角色, 还对海上航行和 underwater 通信等^[6]具有重要影响。同时, 涡旋活动与经济鱼类的渔场形成及其时空分布也极为密切^[7]。

东太平洋赤道海域是我国重要的茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)作业渔场, 我国于2011年在该区域进行茎柔鱼的探捕生产^[8]。该海域具有复杂的海流系统, 主要分布着北赤道暖流、南赤道暖流、赤道潜流以及为北赤道逆流^[9], 这些海流之间的相互作用形成了很多中尺度涡。一般来说, 涡旋的附近往往伴随着丰富的营养盐, 吸引较多的大型海洋生物在其周围进行摄食^[9-10]。因此, 赤道海域中尺度涡的活动很可能与渔场的形成和分布关系极为密切。

近期研究^[7]表明, 东太平洋赤道海域中尺度

涡旋周围有较多茎柔鱼分布, 且资源丰度较高。目前, 国内外缺乏对东太平洋赤道海域茎柔鱼渔场内中尺度涡的时空分布特征分析。为此, 本研究利用2012—2018年海洋卫星遥感数据对东太平洋赤道海域(85°W~125°W, 5°S~5°N)的中尺度涡进行识别, 分析该海域中尺度涡旋的特征及其规律, 为深入研究东太平洋赤道海域涡旋对渔场形成和分布以及渔情预报等研究提供支撑。

1 材料与方法

1.1 数据来源

海表面流场数据采用的是美国国家海洋大气局(National Oceanic and Atmospheric Administration Commissioned Officer Corps, NOAA)的第三代实用气象观测卫星数据, 数据来自网站 https://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/thredds/ncss/grid/noaa_sla/dt/dataset.html。数据的内容为

收稿日期: 2024-01-12 修回日期: 2024-03-02

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFD2401300)

作者简介: 吴静怡(2002—), 女, 研究方向为渔业海洋学。E-mail: 2416117761@qq.com

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

网格化的地转流场数据(U-东西分量和V-南北分量)和海表面高度异常(Sea level anomaly, SLA)数据。时间跨度为2012—2018年,时间分辨率为天;数据的空间范围为85°W~125°W,5°S~5°N,空间分辨率为1 km。

1.2 涡旋判定方法

目前对于识别中尺度涡旋的常用的方法有很多,并且都获得了广泛的应用。常用的方法有:Okubo-Weiss(O-W)算法^[11-12]、缠绕角方法^[13]、小波分析法^[14]、二维流场几何特征识别法^[15]和人工智能识别方法^[16]等。研究^[17-19]表明,二维流场几何特征识别法对中尺度涡旋具有较好的识别能力,被广泛地应用到不同的海域中。二维流场几何特征识别法是一套海洋涡旋的自动探测方法,具体的识别原理和过程详见文献^[15, 18, 20-22],本文选取表层流场的几何特征识别法来进行东太平洋赤道海域中尺度涡旋的识别。

1.3 涡旋特征分析

将数据按天输入涡旋识别的程序当中,以便获取每个涡旋在整个生命周期中每天的运动状态。本研究利用涡旋的生命周期、涡旋中心的经纬度、涡旋存在日期、涡旋类型和半径、涡旋相关轮廓等参数来描述涡旋的基本特征,所有具体的特征数据均由程序输出。

首先统计分析2012—2018年东太平洋赤道

海域涡旋(生命周期大于一周)的总体特征,主要包括涡旋的生命周期、半径、迁移速度和迁移距离;其次,按年统计涡旋的各项特征,分析涡旋特征的年间变化差异。将涡旋的分布统计在0.25°×0.25°的网格当中,绘制涡旋分布图,分析涡旋空间分布密度的年间变化与差异。

2 结果

2.1 东太平洋赤道海域涡旋的生命周期、半径和运动轨迹

2012—2018年期间,东太平洋赤道海域共识别出涡旋489个,其中气旋涡178个,反气旋涡311个。涡旋数量与生命周期呈明显反比关系,即生命周期越长,对应的涡旋数量越少。其中,绝大部分涡旋的生命周期为8~12 d,对应的气旋涡有150个,反气旋涡有253(图1a)个。在不同的生命周期范围内,反气旋涡的数量均大于气旋涡的数量。随着涡旋的生命周期增加,两者的数量差距逐渐减小。

如图1b所示,气旋和反气旋涡的半径分布表现出明显的“双峰效应”,最主要集中在250~320 km之间,约占总数的75.66%。其次,在160~200 km半径范围内,分布频次也相对较高,约占总数的7.36%。此外,在绝对多数范围内,反气旋涡数量普遍多于气旋涡的数量。

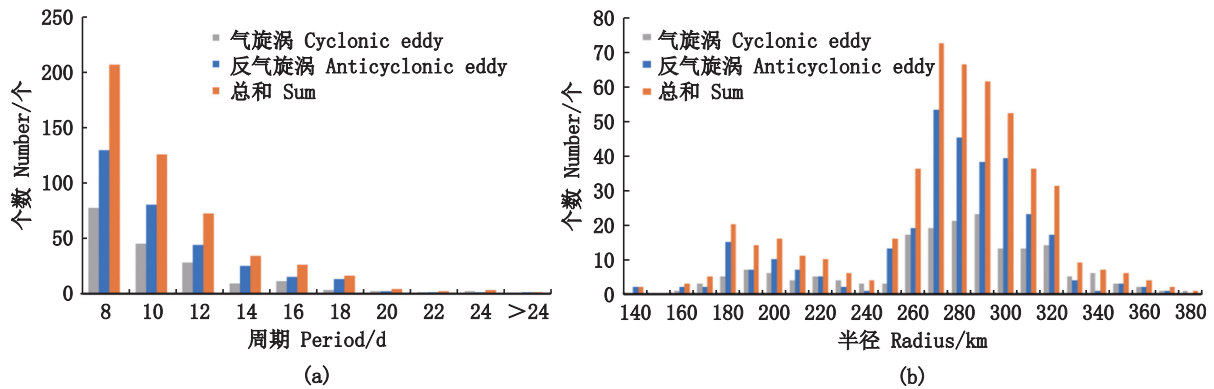


图1 东太平洋赤道海域中尺度涡的生命周期和半径
Fig. 1 Period and radius of mesoscale eddies in the eastern equatorial Pacific Ocean

由图2可知,气旋涡和反气旋涡的运动方向较为一致,均主要向西运动。其中,约有146个气旋涡向西,11个向东;270个反气旋涡向西运动,11个向东。气旋和反气旋的空间分布相对均匀,但是南部海域的气旋涡数量多于北部海域。此外,气旋涡主要分布在西南海域,而反气旋主要

分布在东南以及正北海域。

经统计,气旋和反气旋涡变化规律较为一致,随着迁移速度和距离的增加,对应的个数呈现先增加后降低的趋势变化。所有涡旋迁移速度主要集中在3~18 cm/s,所占比重为84.25%(图3a);而迁移距离主要集中在25~150 km,所

占比重为 87.53%(图 3b)。对比不同涡旋,在每一个迁移速度和距离区间内,反气旋涡的数量均高于气旋涡。

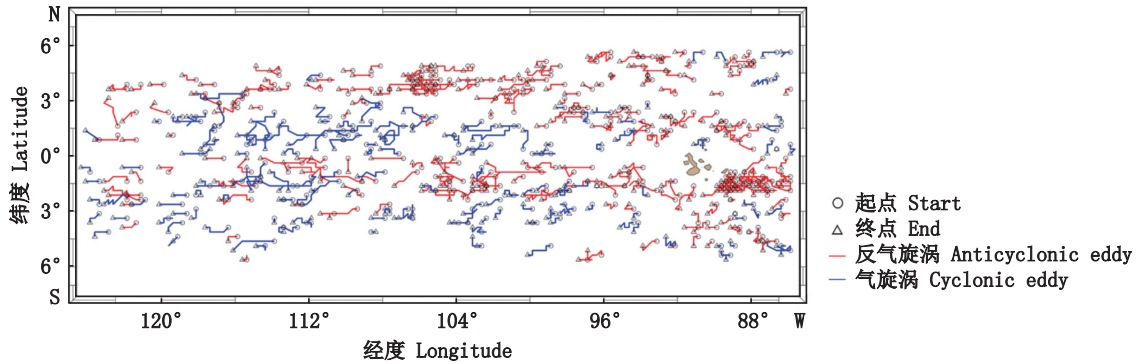


图 2 涡旋运动路径
Fig. 2 Tracks of eddies

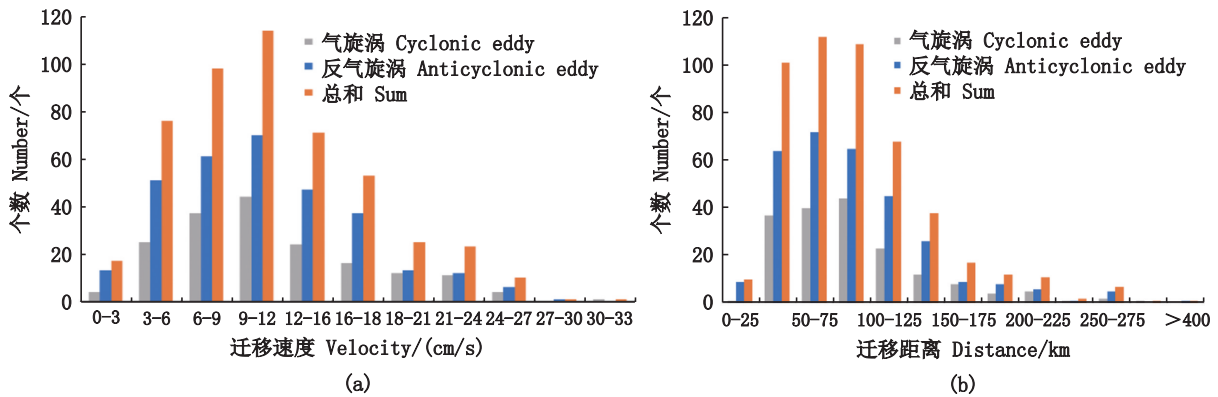


图 3 中尺度涡的迁移速度(a)和迁移距离(b)
Fig. 3 Movement speed (a) and distance (b) of mesoscale eddies

2.2 东太平洋赤道海域涡旋个数和分布的年际变化

涡旋数量随着年份的变化呈现一定的波动(图 4)。总体来说,每年的涡旋变化较大,最多时可达 112 个,最少时仅有 23 个。2012 年涡旋总数有 80 多个,随后几年涡旋数量先下降后上升,直到 2015 年,涡旋数量达了最高值,为 112 个;2016 年,涡旋数量显著下降至最低值,仅有 23 个。2017 年和 2018 年涡旋数量又逐渐上升。涡旋总数表现出显著的年际变化,气旋涡的变化趋势与总体涡旋数量的变化趋势相同。此外,反气旋涡的数量变化有所不同,具体表现为 2012—2015 年稳步上升,在 2016 年反气旋涡的数量显著下降后,在 2016—2018 年继续有明显的稳步上升。

不同年份涡旋的空间分布如图 5 所示。除去 2018 年,在靠近南、北纬 3°~5° 的区域内,涡旋的数量最多,呈现出两个活动较为频繁的“热点区

域”,而在纬度为零的海域内涡旋数量较少;而 2018 年,涡旋的分布横跨赤道,在纬度为零的海域密集分布。此外,涡旋的空间分布也呈现明显的年际差异,总体来说涡旋的空间分布呈南移的趋势,2012、2013 和 2014、2015 年,北部海域的涡旋分布要多于南部海域,而 2017 和 2018 年则相反,南部海域的涡旋分布要多于北部海域。

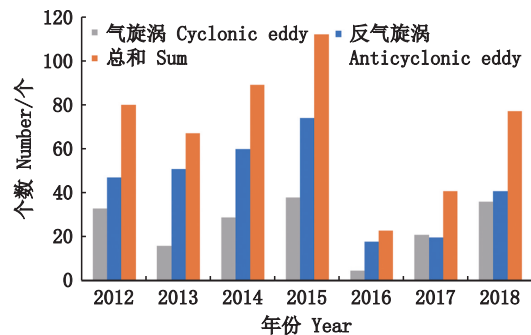


图 4 中尺度涡数量的年度分布
Fig. 4 Annual distribution of the number of mesoscale eddies

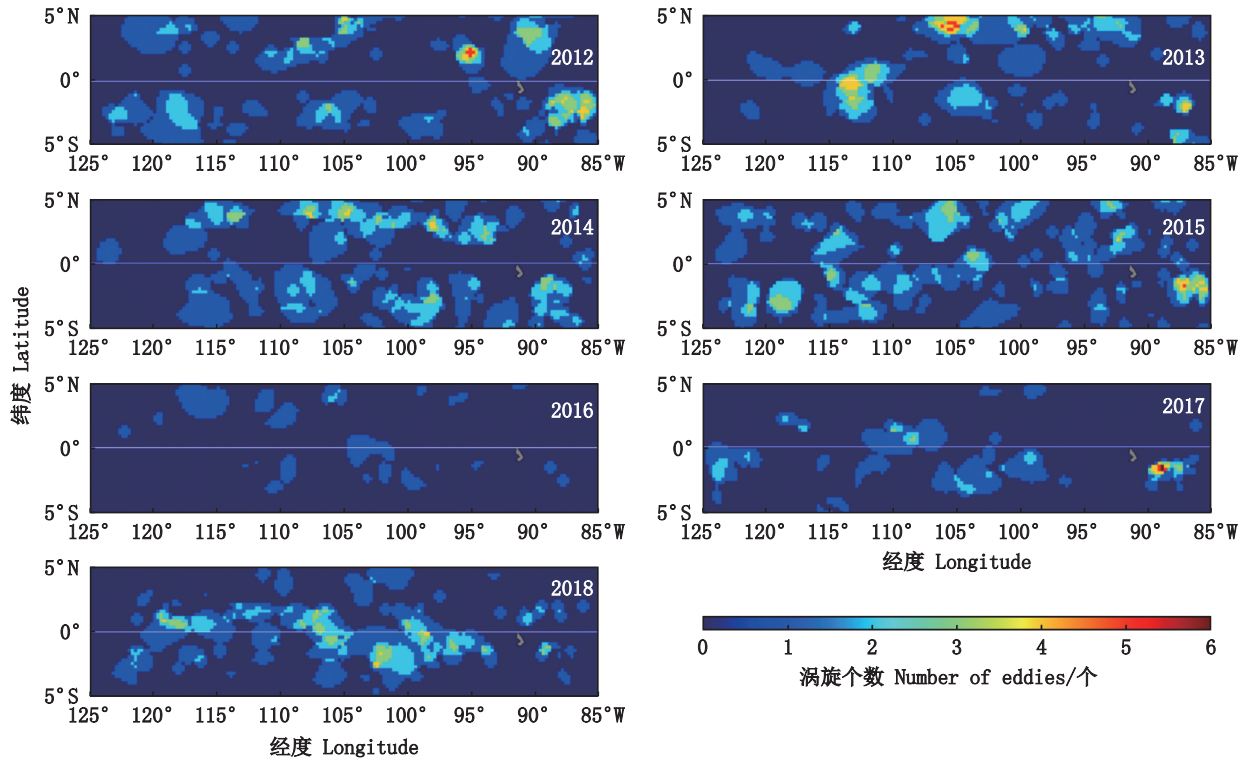


图5 涡旋空间分布的年间变化
 Fig. 5 Annual variation of eddies spatial distribution

2.3 东太平洋赤道海域涡旋生命周期和半径的年际变化

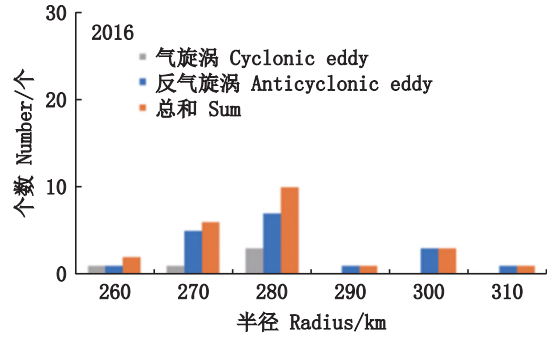
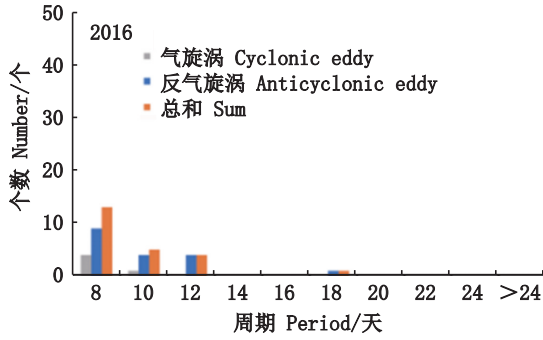
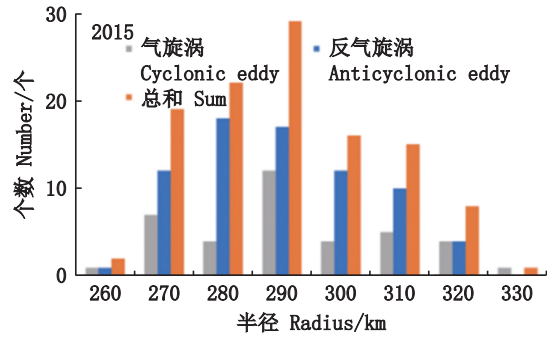
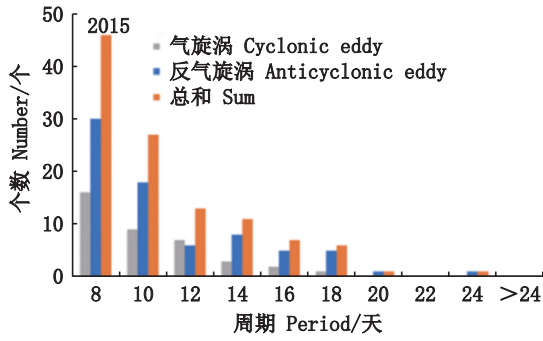
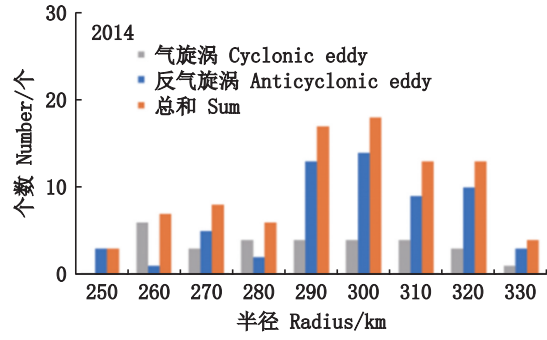
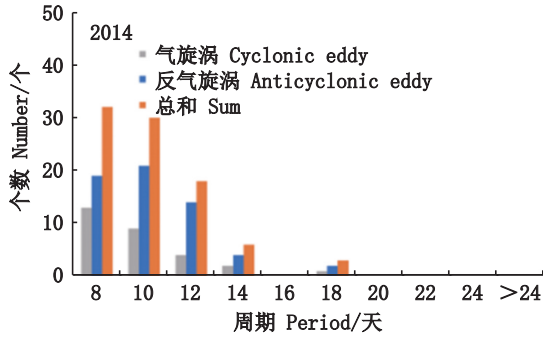
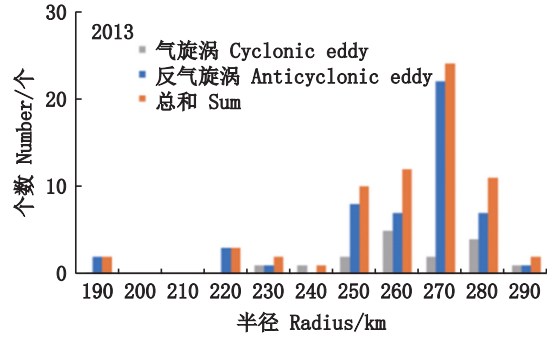
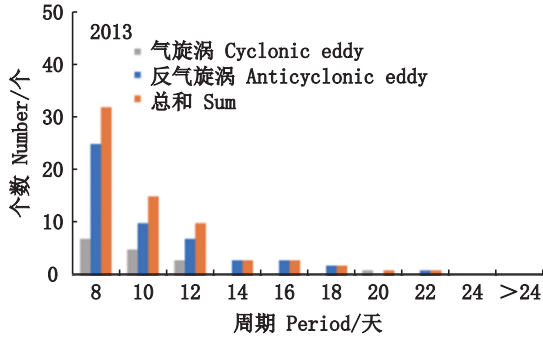
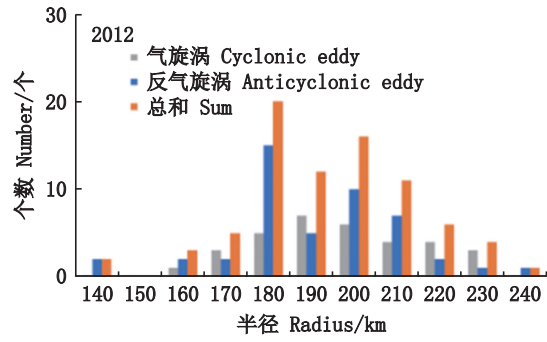
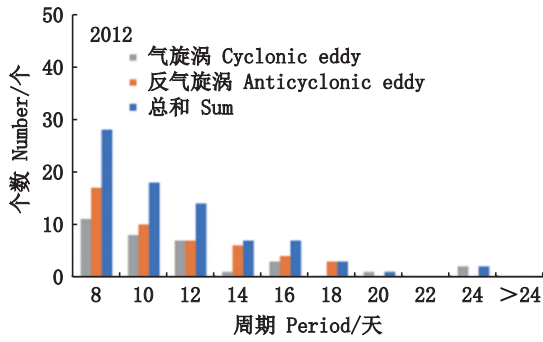
从图6中可以看出,涡旋生命周期的年际变化相对较小,各年均主要集中分布在8~12 d,随着生命周期的增加,涡旋数量急剧减少。而涡旋半径存在显著的年际变化,2013—2016年,涡旋半径分布呈现类似正弦函数的单峰值的变化趋势,而2012年和2017年涡旋半径分布表现出明显的双峰变化趋势。2012年涡旋的半径主要集中在180 km的范围内,其次在200~210 km的涡旋数量也相对较多,表现出明显的两个峰区;2017年半径则主要集中在270~280 km、300 km范围内。2018年呈现多峰的变化趋势,在260 km、290~300 km和330~350 km皆有较为密集分布,其中260 km的涡旋分布数量最多,330~350 km的气旋的分布数量最少;其他年份涡旋的半径总体上呈现集中分布,主要分布在270~300 km。

3 讨论与分析

3.1 东太平洋赤道海域的涡旋特性

研究表明,东太平洋赤道海域反气旋涡的数

量远超过气旋涡的数量。白志鹏等^[23]研究发现,在南海海域,2008年以前气旋涡的数量多于反气旋涡,但2009—2012年,反气旋涡的数量开始多于气旋涡。这与我们的研究结果相似,强调了涡旋数量分布在时间上可能会发生变化。对于涡旋半径,各月间半径分布主要集中在270~300 km,这与其他海域具有较大差异。例如,北欧海的涡旋半径主要分布在20~140 km^[17];而在北太平洋副热带逆流区,其涡旋半径主要分布在60~120 km^[24]。赤道海域涡旋的半径相对较大。而对于生命周期,研究表明,赤道海域涡旋的生命周期主要集中在8~12 d。南海海域大部分涡旋的周期都集中在30 d以内,占比达91.27%^[25];印太海域的涡旋半径周期也相对较小^[25]。因此,赤道海域的涡旋生命周期明显低于其他海域。研究表明,赤道海域涡旋的速度主要分布在3~18 cm/s,9~12 cm/s的分布数量更多。此外,对于涡旋的运动方向来说,主要为向西运动。相关研究^[26-27]也表明,在全球尺度上短生命周期涡旋以西向迁移为主,与本研究结果一致。



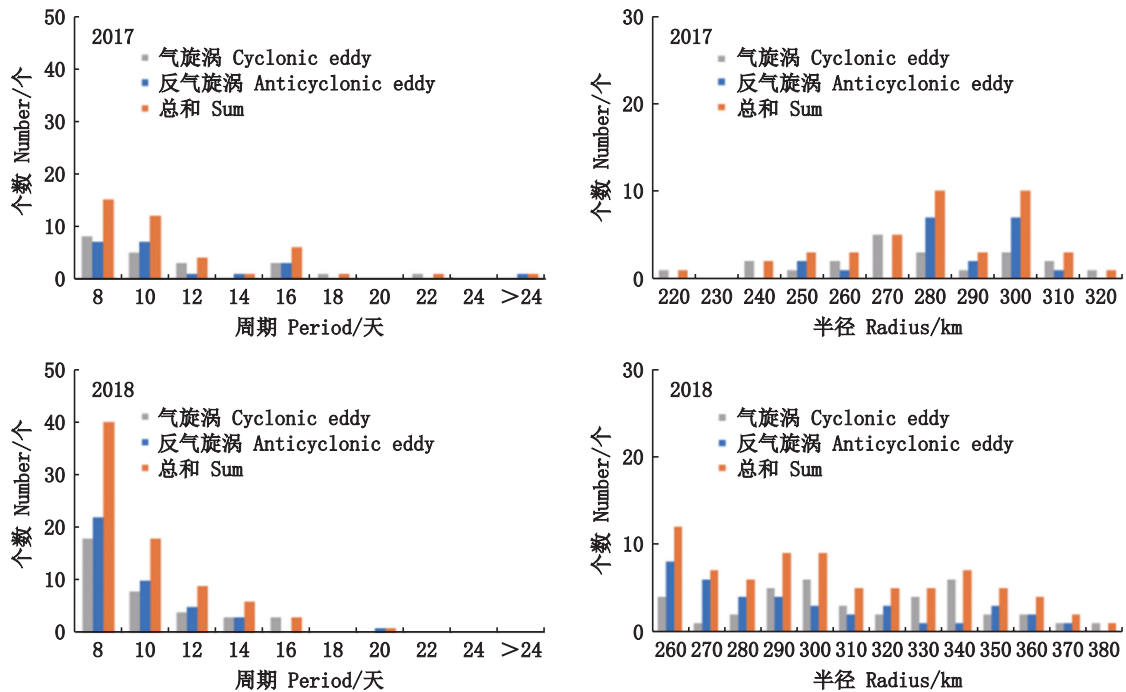


图6 中尺度涡的半径和生命周期的年际变化

Fig. 6 Interannual variations in the radius and period of mesoscale eddies

在北欧海,涡旋生命周期集中于两周左右,其移动速度可达 10 cm/s ^[17];而亚丁湾附近海域涡旋移动速度平均为 $5\sim 6 \text{ cm/s}$ ^[28];对比这些海域,本研究结果是合理的,并且比起边界流,速度会更大一些。而在北太平洋海域涡旋的平均生命周期分别为 18.7 和 19.8 周,平均半径分别为 45 和 46 km,平均移动距离分别为 559 和 562 km,平均移动速率分别为 5.1 和 5.0 cm/s ^[29]。赤道海域与其他高纬度海域相对比,其生命周期会小很多,移动速度会更快,半径更大。总体来说,赤道海域的中尺度涡会比其他高纬度海域涡旋表现出更强的不稳定性。主要的原因可能来源于以下几个方面^[30]:一是涡旋受到科里奥利力较小的影响,其移动速度相对较快;二是大气和海洋的辐合带,气流和海流在此汇聚,形成较低的压力系统,这种低压区域促使海洋中尺度涡形成,并使其具有较大的半径;三是赤道附近通常存在着温度梯度,因为它能够引起热量的交换和对流运动,进而促使涡旋快速地形成和发展;四是赤道海域经常受到季风和风暴系统的影响,这些天气现象能够提供额外的能量和动力促成涡旋的形成和移动^[30]。

3.2 赤道海域涡旋分布特征

赤道海域涡旋在南北纬 $3^\circ\sim 5^\circ$ 的海域中呈现

出明显的带状分布特征,其中从北向南依次排列着反气旋涡和气旋涡(图2),形成了一种相对有序分布的模式。相关研究^[31]表明,赤道海域涡旋的形成和分布与海流的相互作用密切相关,因此涡旋的生成位置受海流分布的影响。在西北太平洋黑潮延伸体海域,涡旋的形成与黑潮延伸体的摆动有关^[31]。当黑潮延伸体强烈摆动时,涡旋的数量明显增多。这暗示了海流的动力学过程对涡旋的形成和演变具有重要影响,形成了这一海域涡旋分布的特殊格局。南海的气旋涡形成了3个密集带,分别位于 $7^\circ\text{N}\sim 10^\circ\text{N}$, $11^\circ\text{N}\sim 17^\circ\text{N}$ 和 $19^\circ\text{N}\sim 22^\circ\text{N}$ ^[25]。与之相关的反气旋涡在 12.5°N 处形成分界线,其北部分布较为密集,而南部相对稀疏。这与研究得出的南北条带状分布结果相一致,进一步印证了涡旋在低纬度海域的有序排列。其他研究^[27]也指出,在印度太平洋暖池海域,大多数中尺度涡分布在 $5^\circ\text{N}\sim 15^\circ\text{N}$ 和 $5^\circ\text{S}\sim 15^\circ\text{S}$ 海域。这与太平洋中部赤道海域涡旋的分布相似,强调了涡旋在低纬度海域的一致性分布规律。

3.3 涡旋特征的年间差异分析

赤道海域涡旋的部分特征表现出明显的年间差异。如图7所示,在生命周期方面,2012、2013、2014、2015年的平均周期呈先减小后增大

的变化趋势,在2016年生命周期有明显下降;而2017年,生命周期再次增加并高于其他年份,在2018年中,生命周期再一次下降。而对于半径,2012、2013、2014这3年中平均半径总体上呈现

逐渐增大趋势,而在2015年达到了一个峰值,随后开始减小,在2018年,平均半径再次呈现增大趋势。

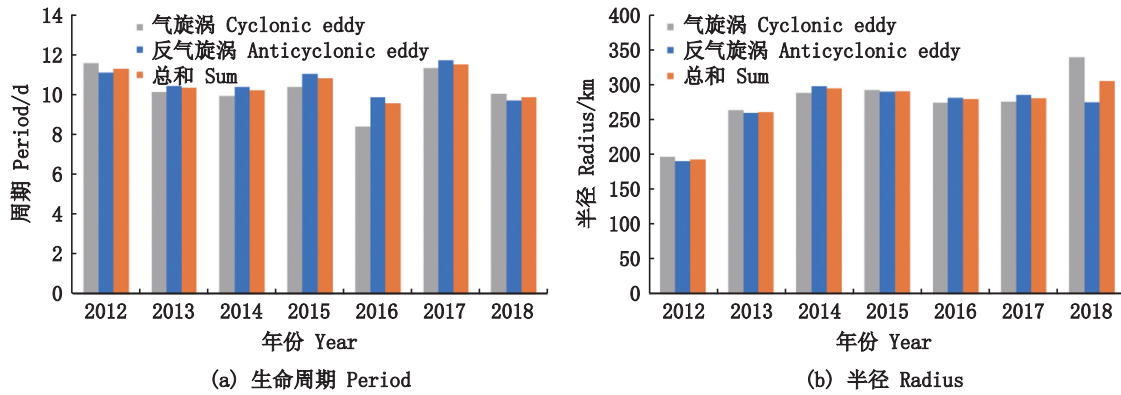


图7 中尺度涡的生命周期和半径的平均数的年际变化
Fig. 7 Interannual variation of the mean life cycle and radius of mesoscale eddies

另外,在涡旋分布方面也表现出明显的年际差异,2013年、2015年和2018年的涡旋更集中在靠近赤道的海域,而2012、2014和2016年的涡旋分布则相对较少。涡旋分布存在年际间变化,呈现出一定的时空变化。在2014和2015年,涡旋的总体数量增加,达到峰值;而在2016年,涡旋分布达到了一个相对较低的水平,与其他年份相比,涡旋在赤道附近的分布较为稀疏。

有研究^[32]指出,在南海海域涡动能在1997年、2001年、2009年以及2014年表现为正异常,在1993年、1999年、2004年以及2017—2018年表现为负异常。特别是2014年,该年涡动能呈现正异常,与之前提到的2014年和2015年的周期性变化高峰相吻合。这可能意味着在这一年,涡动能的异常表现与涡旋的周期和半径变化有关。正异常的涡动能可能与涡旋活动的增大、涡旋分布集中在赤道附近以及半径的整体增加相关联。在2017—2018年,涡动能呈现负异常,这可能与之前提到的2018年的半径的增加趋势相对应。这可能指示了一种相反的趋势,即半径增加可能与负异常的涡动能有关。这种对比分析强调了南海海域涡动能的年际变化与涡旋的周期、半径特征之间的潜在关系。因此,赤道海域涡旋特征年际变化可能与海流引起的涡动能变化有关,需要后续进一步研究证实。

3.4 涡旋分布与渔场的关系

东太平洋赤道海域是茎柔鱼的主要分布区

域,也是我国捕捞茎柔鱼的重要渔场之一。以往研究^[7]表明,赤道海域涡旋活动会提高茎柔鱼栖息地的适宜性,会吸引很多茎柔鱼个体聚集。相关现象可以由不同方向海流的运动机制来解释,FANG等^[7]研究发现,在垂直方向上,赤道海域反气旋涡旋使得其中心的温跃层下降,而冷水使得等温线向上弯曲,形成上升流;上升流导致了海水中较深层的营养物质上升,从而使得渔场区域的营养物质增加,进而促进了茎柔鱼数量的增加^[7]。水平方向上,反气旋涡旋能够使得海水在赤道以北的海域形成一个温度差距较大的锋面,而锋面的产生将会使得对于温度敏感的茎柔鱼聚集在渔场海域,无法大范围地移动,因此会增加渔场海域的茎柔鱼的数量,从而其资源丰度增加。而在秘鲁外海,JIN等^[33]分析指出,反气旋涡比气旋涡产生了更高的茎柔鱼资源丰度以及更适宜的生活环境,并强调了反气旋涡对茎柔鱼的聚集有潜在影响。在西北太平洋海域,ZHANG等^[34]研究认为气旋涡往往会形成不适合形成柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)的生境,而反气旋涡适宜的海温与有利的觅食条件是产生高丰度的主要驱动因素。上述研究表明,气旋涡与反气旋涡的不同特性将会导致渔场的产量发生巨大的变化,因此在本研究海域也可能会有相应的现象的发生,需要进一步结合赤道海域的茎柔鱼渔业数据进行研究。

参考文献:

- [1] 林宏阳, 胡建宇, 郑全安. 南海及西北太平洋卫星高度计资料分析: 海洋中尺度涡统计特征[J]. 台湾海峡, 2012, 31(1): 105-113.
LIN H Y, HU J Y, ZHENG Q A. Satellite altimeter data analysis of the South China Sea and the northwest Pacific Ocean: statistical features of oceanic mesoscale eddies[J]. Journal of Applied Oceanography, 2012, 31(1): 10-113.
- [2] 修树孟, 郑全安, 孙湘平. 中尺度涡诱导的陆架上升流[J]. 水动力学研究与进展, 2002, 17(1): 61-68.
XIU S M, ZHENG Q A, SUN X P. Shelf upwelling induced by mesoscale eddy [J]. Journal of Hydrodynamics, 2002, 17(1): 61-68.
- [3] 李敏, 谢玲玲, 杨庆轩, 等. 湾流区涡旋对海洋垂向混合的影响[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(4): 744-752.
LI M, XIE L L, YANG Q X, et al. Impact of eddies on ocean diapycnal mixing in gulf stream region [J]. Science China Earth Sciences, 2014, 57(6): 1407-1414.
- [4] 刘金. 南海北部跨陆架输运的变化及中尺度涡对叶绿素的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
LIU J. Variations of cross-shelf volume transports and mesoscale eddy effects on Chlorophyll in the northern South China Sea[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [5] FARNETI R, DELWORTH T L, ROSATI A J, et al. The role of mesoscale eddies in the rectification of the Southern Ocean response to climate change[J]. Journal of Physical Oceanography, 2010, 40(7): 1539-1557.
- [6] JIAN Y J, ZHANG J, LIU Q S, et al. Effect of mesoscale eddies on underwater sound propagation [J]. Applied Acoustics, 2009, 70(3): 432-440.
- [7] FANG X N, YU W, CHEN X J, et al. Response of abundance and distribution of Humboldt Squid (*Dosidicus gigas*) to short-lived eddies in the Eastern equatorial Pacific Ocean from April to June 2017 [J]. Frontiers in Marine Science, 2021, 8: 721291.
- [8] 陈新军, 李建华, 易倩, 等. 东太平洋赤道附近海域茎柔鱼 (*Dosidicus gigas*) 渔业生物学的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(6): 1233-1238.
CHEN X J, LI J H, YI Q, et al. Preliminary study on fisheries biology of *Dosidicus gigas* in the waters near the equator of Eastern Pacific Ocean [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(6): 1233-1238.
- [9] KENNAN S C, FLAMENT P J. Observations of a tropical instability vortex [J]. Journal of Physical Oceanography, 2000, 30(9): 2277-2301.
- [10] DAVIS R W, ORTEGA-ORTIZ J G, RIBIC C A, et al. Cetacean habitat in the Northern Oceanic Gulf of Mexico [J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2002, 49(1): 121-142.
- [11] WEISS J. The dynamics of enstrophy transfer in two-dimensional hydrodynamics [J]. Physica D: Nonlinear Phenomena, 1991, 48(2/3): 273-294.
- [12] OKUBO A. Horizontal dispersion of floatable particles in the vicinity of velocity singularities such as convergences [J]. Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts, 1970, 17(3): 445-454.
- [13] SADARJOEN I A, POST F H. Detection, quantification, and tracking of vortices using streamline geometry [J]. Computers & Graphics, 2000, 24(3): 333-341.
- [14] DOGLIOLI A, BLANKE B, SPEICH S, et al. Tracking coherent structures in a regional ocean model with wavelet analysis: application to Cape Basin eddies [J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2007, 112(C5): C05043.
- [15] NENCIOLI F, DONG C M, DICKEY T, et al. A vector geometry-based eddy detection algorithm and its application to a high-resolution numerical model product and high-frequency radar surface velocities in the southern California bight [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2010, 27(3): 564-579.
- [16] XUG J, CHENG C, YANG W X, et al. Oceanic eddy identification using an AI scheme [J]. Remote Sensing, 2019, 11(11): 1349.
- [17] 张春玲, 夏燕军, 高郭平. 北欧海中尺度涡旋特征分析[J]. 海洋科学进展, 2016, 34(2): 207-215.
ZHANG C L, XIA Y J, GAO G P. Characteristics of mesoscale eddies in the Nordic Seas [J]. Advances in Marine Science, 2016, 34(2): 207-215.
- [18] LIU Y, DONG C M, GUAN Y P, et al. Eddy analysis in the subtropical zonal band of the North Pacific Ocean [J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2012, 68: 54-67.
- [19] XU G J, DONG C M, LIU Y, et al. Chlorophyll rings around ocean eddies in the North Pacific [J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 2056.
- [20] LIN X Y, DONG C M, CHEN D K, et al. Three-dimensional properties of mesoscale eddies in the South China Sea based on eddy-resolving model output [J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2015, 99: 46-64.
- [21] DONG C M, MAVOR T, NENCIOLI F, et al. An oceanic cyclonic eddy on the lee side of Lanai Island, Hawai'i [J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2009, 114 (C10): C10008.
- [22] DONG C M, LIN X Y, LIU Y, et al. Three-dimensional oceanic eddy analysis in the Southern California Bight from a numerical product [J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2012, 117(C7): C00H14.
- [23] 白志鹏, 韩君, 郭贤鹏, 等. 基于CORA2再分析数据的南海中尺度涡时空分布特征初步研究[J]. 海洋预报, 2020, 37(2): 73-83.
BAI Z P, HAN J, GUO X P, et al. Spatial and temporal

- distribution characteristics of mesoscale eddies in the South China Sea based on the CORA2 reanalysis data[J]. *Marine Forecasts*, 2020, 37(2): 73-83.
- [24] 罗娜, 宋军, 郭俊如, 等. 西北太平洋不同寿命中尺度涡统计特征[J]. *应用海洋学学报*, 2023, 42(2): 277-291.
- LUO N, SONG J, GUO J R, et al. Statistical characteristics of different lifetime mesoscale eddies in the Northwest Pacific Ocean by reanalyzed data[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2023, 42(2): 277-291.
- [25] 龙霜. 印太暖池区中尺度涡对叶绿素 a 浓度的影响研究[D]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院空天信息创新研究院), 2021.
- LONG S. Effects of mesoscale eddy on chlorophyll-a concentration in the indo-Pacific warm pool[D]. Beijing: Aerospace Information Research Institute Chinese Academy of Sciences, 2021.
- [26] 杨盛牧. 南海北部及其周边海域典型中尺度涡动力过程研究[D]. 北京: 清华大学, 2019.
- YANG S M. Dynamics of typical mesoscale eddies in the Northern South China Sea and its adjacent region [D]. Beijing: Tsinghua University, 2019.
- [27] 徐茗, 陈戈, 彭琳. 短生命周期海洋涡旋的时空分布特征[J]. *海洋学报*, 2019, 41(9): 94-104.
- XU M, CHEN G, PENG L. Temporal and spatial properties of short-life oceanic eddies [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2019, 41(9): 94-104.
- [28] 杨亮, 修义瑞, 张雷, 等. 亚丁湾附近海域海洋中尺度涡的时空特征分析[J]. *海洋测绘*, 2023, 43(2): 46-49.
- YANG L, XIU Y R, ZHANG L, et al. Temporal and spatial characteristics of mesoscale eddies in the sea area near the Gulf of Aden [J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2023, 43(2): 46-49.
- [29] 祖永灿, 方越, 高晓倩, 等. 北太平洋中尺度涡季节和年际变化的统计分析[J]. *海洋科学进展*, 2016, 34(2): 197-206.
- ZU Y C, FANG Y, GAO X Q, et al. Seasonal and interannual variation of mesoscale eddies in the North Pacific Ocean: a statistical analysis [J]. *Advances in Marine Science*, 2016, 34(2): 197-206.
- [30] CHELTON D B, XIE S P. Coupled ocean-atmosphere interaction at oceanic mesoscales [J]. *Oceanography*, 2010, 23(4): 52-69.
- [31] 付冠琦. 南大洋中太平洋扇区涡动能年际变化特征及其动力机制[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2023.
- FU G Q. Interannual variation of eddy kinetic energy in the central Pacific sector of the Southern Ocean and its dynamic mechanism [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2023.
- [32] 郑聪聪. 北太平洋中尺度涡现象分析[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2013.
- ZHENG C C. Analyses of mesoscale eddies in North Pacific [D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2013.
- [33] JIN P C, ZHANG Y, DU Y L, et al. Eddy impacts on abundance and habitat distribution of a large predatory squid off Peru [J]. *Marine Environmental Research*, 2024, 195: 106368.
- [34] ZHANG Y C, YU W, CHEN X J, et al. Evaluating the impacts of mesoscale eddies on abundance and distribution of neon flying squid in the Northwest Pacific Ocean [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9: 862273.

Characteristics of mesoscale eddy in the Eastern Equatorial Pacific Ocean

WU Jingyi¹, CHEN Xinjun^{2,3,4,5,6}, FANG Xingnan²

(1. College of Oceanography and Ecological Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 5. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 6. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: The Eastern Pacific Equatorial region is an important fishing ground for China, and there is a close relationship between mesoscale eddies and the distribution of fishing grounds. In this study, a vector geometry method based on flow field was used to identify mesoscale eddies in the Eastern Pacific Equatorial region (85°W – 125°W , 5°S – 5°N) using 2012–2018 meteorological satellite remote sensing data and filtering out vortices with a lifespan longer than one week. The spatial distribution, radius range, lifecycle, migration path, and velocity of mesoscale eddies in this region were analyzed. The relationship between the eddy and the fishing ground distribution was also discussed. The results showed that the number of anticyclonic eddies in the Eastern Pacific Equatorial region was greater than that of cyclonic eddies. The eddy lifecycle was relatively short, with the majority lasting no more than one week. The eddy radius was mainly concentrated in the range of 250–310 km, and the migration velocity was mainly concentrated at 6–18 m/s, with a migration distance of 25–50 km. There were two regions, called as "tropical regions," near the 5°N and 5°S , which exhibited more frequent eddy activity, while near the equator, there were almost no eddies present. Additionally, some characteristics of the eddies (period and radius) showed obvious interannual variations. These findings provide a basis for analysis of fishing ground formation, temporal and spatial distribution, and the development of fishing forecasts in the Eastern Pacific Equatorial region.

Key words: mesoscale eddy; eastern Pacific; eddy characteristics; fishing ground