

张宇, 崔超然, 杨倩, 等. 北太平洋北部的风能输入门户[J]. 海洋学报, 2021, 43(3): 40–47, doi:10.12284/hyxb2021039

Zhang Yu, Cui Chaoran, Yang Qian, et al. North part of the North Pacific is a major gateway of wind energy into the ocean[J]. Haiyang Xuebao, 2021, 43(3): 40–47, doi:10.12284/hyxb2021039

北太平洋北部的风能输入门户

张宇^{1,4}, 崔超然^{2,4}, 杨倩^{1,4}, 管玉平^{1,3,4*}

(1. 中国科学院南海海洋研究所 热带海洋环境国家重点实验室, 广东 广州 510301; 2. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 3. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 广东 广州 511458; 4. 中国科学院大学 海洋学院, 北京 100049)

摘要: 风不仅驱动了上层海洋的环流, 也是深层海洋运动的主要能量来源。本文主要研究了北太平洋北部的风能输入的季节性分布特征和年际变化趋势, 包括风向表面波、表层地转流和表层非地转流的能量输入。基于 SODA3 数据的结果表明, 风能输入门户随季节变化显著, 其中黑潮延伸区是冬季门户, 副极地流涡是春、秋季门户, 大洋东边界则是夏季门户, 能量输入强度逐次递减。21 世纪以来, 秋冬风能输入明显减弱, 春季增加, 夏季无显著变化。就变化趋势的空间分布而言, 向表面波的能量输入由风场主导, 而向表层地转流和非地转流的能量输入则由流场主导。这些机械能输入结果对进一步认识该海域的动力机制有重要意义。

关键词: 风能输入; 门户区域; 表面波; 表层地转流; 表层非地转流

中图分类号: P732.1

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2021)03-0040-08

1 引言

海洋中机械能的重要来源之一是风应力的输入, 风应力通过对海流做功和增强海表面波向海洋输送能量^[1-4]。近年来, 国内外许多学者进行了大量风向海洋能量输入的相关研究工作, 认识到风对海洋的机械能输入对于维持大尺度表层环流和驱动深层海洋有重要作用^[1,4-6]。维持深海环流所需的机械能约为 2.1 TW (1 TW = 1×10^{12} W), 其中由潮汐提供的约为 0.9 TW, 剩下的大部分则是由海表风场提供, 作用于海面的风应力驱动了表面波和表层流^[7]。输入全球海洋表面波中的风能约 57~78.6 TW, 大约 33~36 TW 耗损在上层海洋的波破碎中, 剩余的大部分能量耗散在海滩过程中^[3,8-9]。风向海洋表层流的能量输入可以分为输入至表层地转流和表层非地转流两个部分。表层非地转流主要是指埃克曼流^[4,10], 输入的能量主要用于维

持埃克曼螺旋, 往往被耗散在海洋上层; 而向表层地转流输入的能量则可以通过埃克曼泵压/吸的作用转化为重力位能, 进而通过动位能转换影响深层海洋运动^[4,11]。

以往的研究主要估算了风输入到全球海洋中的能量。基于美国国家环境预报中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 风应力资料的研究表明, 在 1997–2002 年间风向世界大洋表面波输入的平均风能约为 60 TW^[2]。这一结果与 MASNUM (Marine Science Numerical Modeling) 模式模拟出的 2005 年的结果 (57 TW) 基本一致^[8], 而基于 ERS-2 散射计资料得到的结果为 78.6 TW, 则相对较高^[9]。相对于向表面波输入的能量, 向表层地转流和表层非地转流输入的能量则往往小 1~2 个量级。基于 NCEP/NCAR 风场数据和 TOPEX/Poseidon 卫星高度计数据的研究表明, 向表层流输入的能量约为 1.16 TW, 其中约

收稿日期: 2019-12-29; 修订日期: 2020-04-04。

基金项目: 国家自然科学基金 (41676021); 国家重点基础研究发展计划 (2013CB956201); 南方海洋科学与工程广东省实验室 (广州) 人才团队引进重大专项 (GML2019ZD0306)。

作者简介: 张宇 (1992—), 男, 安徽省马鞍山市人, 博士研究生, 主要从事海洋能量学、海洋带状流研究。E-mail: kyuzhang@163.com

* 通信作者: 管玉平, 研究员, 主要从事大洋环流与气候变化、海洋能量学、海洋带状流、海洋涡旋、台风研究。E-mail: guan@scsio.ac.cn

0.87 TW 是通过表层地转流输入的^[7,12]。当考虑海表流速对海表风应力的影响时,计算得到的风能输入结果减少了约 20%~35%^[13]。此外,数据的时间分辨率对结果也有一定的影响,例如 Zhai 和 Wunsch^[14] 分析 6 小时风场数据算得的输入地转流能量值比使用月平均风场提高了约 70%。

从 Huang 等^[7] 和 Wang 和 Huang^[3] 的研究中可以看出,全球范围内风能输入并非均匀分布,存在着明显区域性风能输入的高值区,我们将其称之为风能输入的门户区域。这些门户区域得到了广泛的研究,首先以南半球咆哮西风带驱动的南极绕极流区最强^[15-16],其次是赤道信风作用的太平洋区域^[10],最后到各大洋盆的中高纬度区域,其中以南印度洋、北太平洋和北大西洋较为显著。北大西洋是全球深层环流的发源地,外部机械能的输入对驱动深层环流的形成非常重要,因而也备受关注^[14,17]。但是南印度洋和北太平洋中高纬度地区则往往被人们所忽略。

与南印度洋相比,北太平洋中高纬度地区不仅风向表面波的输入较强,而且风向表层地转流以及埃克曼层输入的能量均十分显著地区别于相邻海域。由此可见,北太平洋中高纬度地区风能输入可以维持该海域的各种运动。首先,海表风场驱动了北太平洋表层的副热带流涡和副极地流涡。然后,由通风温跃层理论可知,在冬季北半球中高纬度地区温跃层抬升并露头,受到风场的直接作用,驱动的海水沿着等熵面向南输运。所以风输入到该区域的能量还是该海域深层运动的主要能量来源之一。因此,对该区域的风能输入的研究对于进一步认识北太平洋环流场的动力机制有着重要的意义。

本文旨在利用 SODA3.4.2 资料(2000–2016 年)分析北太平洋北部(25°~55°N, 110°E~110°W)的风能输入情况,及其门户区域输入能量的季节性变化特征和年际变化趋势。如前文所述,作用于海面的风应力驱动了表面波和表层流,其中输入到表层流中的一部分(风输入到地转流中的能量)可以向深海传播。因此,本文分别计算了风向表面波、表层地转流和表层非地转流中的能量输入。

2 数据和方法

2.1 SODA 资料介绍

SODA(Simple Ocean Data Assimilation)海洋数据集是美国马里兰大学在 20 世纪 90 年代初采用全球简单海洋资料同化系统开发的一种资料分析数据,为海洋气候研究提供了一套与大气再分析资料类似的

海洋再分析资料。该系统在运行过程中同化了大量的观测资料,是目前使用非常广泛的一种海洋同化资料,在很多海洋研究中都得到了应用和认可^[18-21]。随着同化技术的发展和观测资料的更新,SODA 资料已经发展出多个版本,本文采用了最新的 SODA3.4.2 版(<https://www.atmos.umd.edu/~ocean/>)。该数据的水平空间分辨率为 0.5°×0.5°,时间分辨率为月平均,垂向分为非等距的 40 层。本文选用的数据时间为 2000 年 1 月至 2016 年 12 月,数据包括水平速度、垂直速度、盐度、现场温度、纬向风应力和经向风应力。

太平洋年代际振荡(PDO)指数是基于北太平洋月平均的海表温度的主成分定义的,数据网址:<http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest.txt>。采用的厄尔尼诺–南方涛动(ENSO)指数是多元 ENSO 指数,由来自热带太平洋的 5 个变量计算所得,数据网址:<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/multivariate-ens-index>。

2.2 风向表面波能量输入的计算公式

参考文献 [2], 风向表面波的能量输入公式为

$$W_{\text{wave}} = \iint_A 3.5\rho_a \left(\frac{\tau}{\rho_a}\right)^{\frac{3}{2}} dx dy, \quad (1)$$

式中, τ 为风应力大小; ρ_a 表示空气密度,取值 1.2 kg/m³; A 是计算区域面积。

2.3 风向表面流和地转流能量输入的计算公式

参考文献 [22], 风向表面流和地转流能量输入公式为

$$W_s = \iint (tau_x \times u_s + tau_y \times v_s) dA, \quad (2)$$

式中, u_s 和 v_s 为表面流速; tau_x 和 tau_y 分别为纬向和经向风应力; A 为海域面积。

当流速取表层地转流 V_g 时,即为风向表层地转流的能量输入。地转流计算公式为

$$\vec{V}_g = \frac{\vec{g}}{f} \times \nabla \text{SSH}, \quad (3)$$

式中, \vec{g} 为重力加速度; f 为科氏参数; SSH 为绝对海平面高度。

3 风应力和表层流的分布特征和变化趋势

根据上述的计算公式,不难看出,风能输入的强弱与风应力和表层流息息相关,因此这里先给出了风应力和表层流及其变化趋势的季节性空间分布特征,分别如图 1 和图 2 所示。因中纬度西风带位置的偏移,研究区域内的风场总体上呈现出显著的夏弱冬强的季节性趋势。风应力高值区位置的季节性特征尤

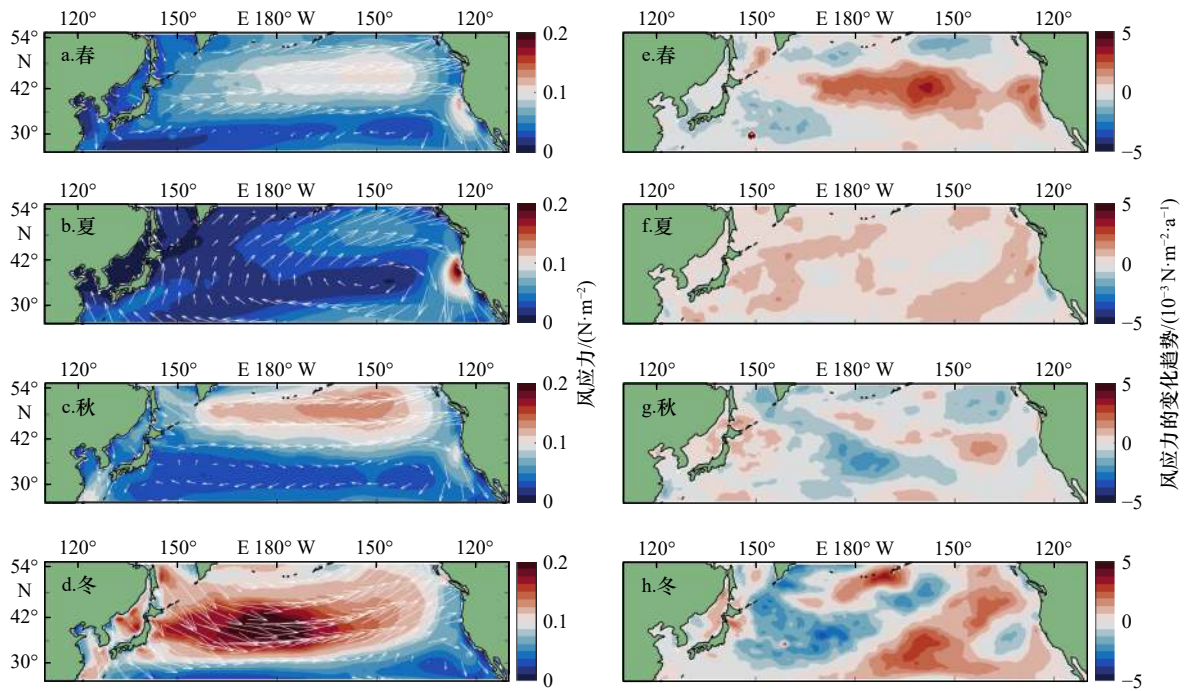


图 1 风应力(a-d)及其大小变化趋势(e-h)的季节性空间分布
Fig. 1 Seasonal spatial distributions of wind stress (a-d) and their trends (e-h)

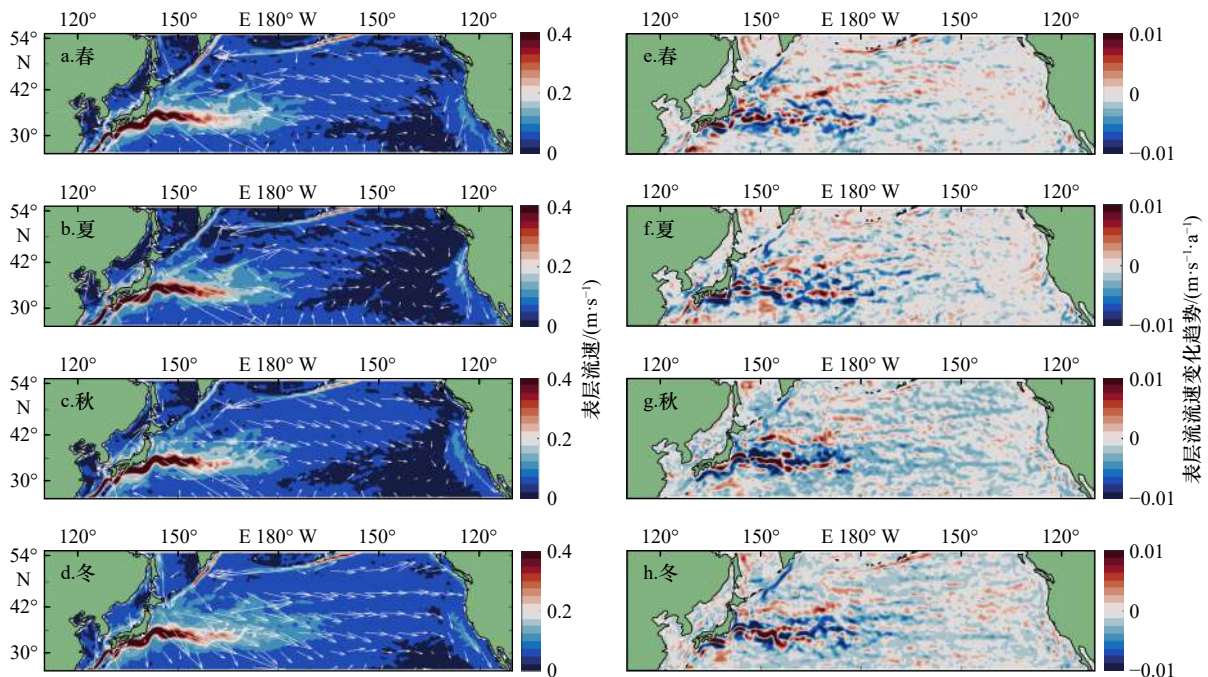


图 2 表层流流速(a-d)及其流速变化趋势(e-h)的季节性空间分布
Fig. 2 Seasonal spatial distributions of surface currents velocity (a-d) and their trends (e-h)

为明显,其中,春秋以副极地流涡东部区域为主,夏季以大洋东边界最强,冬季则以黑潮延伸体最强。而表层流场则不存在明显的季节性特征。就风应力和流场在 17 年内的变化趋势而言,前者以大尺度的区域变化为主,而后者则因为表层流场包含着大量的中尺度信号而以中尺度的区域变化为主。

4 风向表面波的能量输入

北太平洋北部风向表面波输入的能量具有明显的季节性分布的变化特征。如图 3a 至图 3d 所示,研究区域内 4 个季节风能输入门户的空间位置和能量大小都存在着非常显著的差异。这里我们人为定义

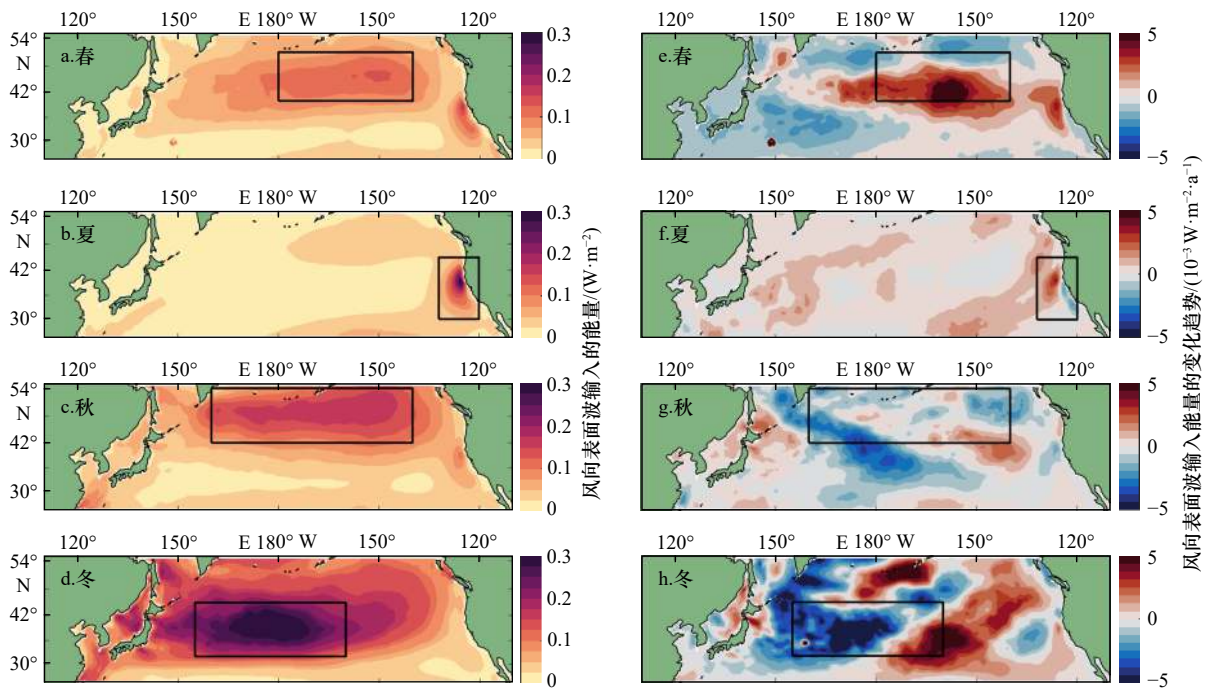


图3 风向表面波输入的能量(a-d)及其变化趋势(e-h)的季节性空间分布

Fig. 3 Seasonal spatial distributions of wind energy input to surface wave (a-d) and their trends (e-h)

黑色线框为人为定义的风能输入门户区域

Black boxes show the wind energy input gateways

风能输入的局部高值区为门户区域,如图3中黑线框所示,根据填色的深浅可大致确定春、夏、秋、冬各季节的门户区域地理范围分别为(40°~51°N, 140°W~180°)、(30°~45°N, 120°~132°W)、(42°~54°N, 160°E~140°W)、(32°~45°N, 155°E~160°W)。春季,门户区域位于副极地流涡的东部海域,单位面积上的平均风能输入约为0.12 W/m²;夏季,大洋内区的风能输入持续减弱,而在东边界海区,逐渐形成了以40°N为中心的局部的风能输入门户区域,单位面积上的平均风能输入约为0.2 W/m²;秋季,此时夏季形成的门户区域迅速消失,在整个副极地流涡内形成了新的门户区域,与春季类似,但范围和强度均稍有增加;冬季,是一年之中风能输入最强的季节,门户区域也由秋季的副极地流涡转移至黑潮延伸区附近。门户区域内,单位面积上的平均风能输入可以达到0.35 W/m²。

图3e至图3h为2000–2016年之间各个季节的风能输入变化趋势的空间分布,即风能输入在这17年间增加或减少的量值。首先,就整个研究海域而言,春、秋、冬3季风能输入变化比较显著,夏季则变化不大,主要是因为风能输入在夏季最弱。而就各个季节的风能输入的门户区域而言,也略有不同:春、夏两季的风能输入都显著增加,秋季变化不大,但冬季则呈东部增强,西部减弱的特征,其分界点大约在

173°W。也就是说风能高值中心逐渐向东移动。对比图1和图3可知,风向表面波的能量输入的分佈特征和变化趋势大体上与风应力一致。

5 风向表层流的能量输入

表层流可以分解为表层地转流和表层非地转流两部分。表层地转流可以通过海表高度算出,见公式(3),因此可以分别算出风向表层流和表层地转流输入的能量,而风向表层非地转流输入的能量则为两者之差。其中,风向表层地转流输入的能量可以通过埃克曼泵吸/压产生的重力势能的变化,经动位能的转化向深海传递^[7];而输入到非地转流中的能量通过埃克曼层中的垂向湍流耗散仅仅用于维持埃克曼螺旋^[4,10]。下文分别给出了风向表层地转流和表层非地转流的能量输入的空间分布及变化趋势。

与风向表面波能量输入大体相同的是,风向表层地转流和非地转流的能量输入的空间分布也具有显著的季节性分佈特征,但是四季门户区域的范围则略有不同,春、夏、秋、冬各季节的门户区域地理范围分别为(35°~51°N, 150°E~140°W)、(30°~45°N, 120°~132°W)、(40°~52°N, 160°E~140°W)、(32°~45°N, 145°E~160°W)。通过对比图4和图3可以看出,三者之间的季节性门户区域整体上保持一致,均呈现为

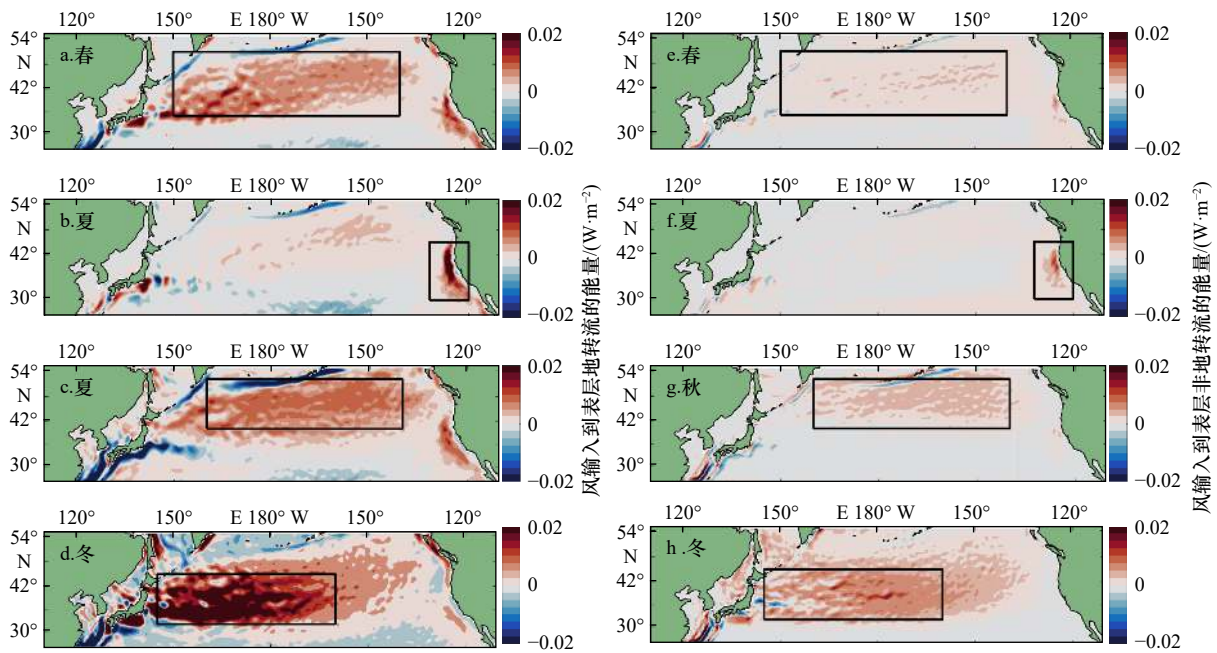


图 4 风向表层地转流(a-d)和表层非地转流(e-h)能量输入的季节性空间分布

Fig. 4 Seasonal spatial distributions of wind energy input to surface geostrophic current (a-d) and ageostrophic current (e-h)

冬季最强,其他季节较弱;夏季的门户区域位于大洋东边界等特征。同时也有一些值得注意的差别,从量级上看,风向表层非地转流的能量输入小于向地转流的能量输入,而且两者远小于风向表面波的能量输入;从风所做功的性质上看,风向表层地转流的能量输入在大洋西边界以及阿拉斯加沿岸海域均为负值,即风场在这些区域内需要对流场做负功,尤其以秋季最为显著,单位面积上的风所做负功最高可以达到 $0.02\sim 0.04\text{ W/m}^2$;从细节上看,黑线框所示的风能输入门户内的核心位置也有所不同,例如冬季风向表层地转流的能量输入的核心位置相对于风向表面波能量输入的核心位置偏西,而且呈现出自西向东逐渐减弱的趋势。

与风向表面波能量输入显著不同的是风向表层地转流和非地转流的能量输入在同样的17年内的变化趋势。如图5所示,变化趋势的分布呈现出了一种自西向东的带状特征,而且增强和减弱的区域交替存在。这种带状趋势的经向宽度约为 $200\sim 300\text{ km}$,为明显的中尺度的特征。由式(1)可知,风向表面波能量输入的变化主要由风应力的变化引起;而由式(2)可知,风向表层地转流或表层非地转流能量输入的变化则同时由海表风应力以及表层地转流速或非地转流速控制。风场中包含的信号以大尺度为主,而地转流场中不仅包含大尺度信号,还包含了很强的中尺度信号,如涡旋、黑潮大弯曲等。而且这种中尺度过程

具有比大尺度过程更高的变化频率。所以我们可以看到,风向表层地转流或表层非地转流能量输入的空间分布呈大尺度($>1\ 000\text{ km}$)特征,是由风场决定的;而它们的变化趋势呈中尺度($200\sim 300\text{ km}$)特征,则是由流场主导的。

6 各季节门户区域的年际变化

将每个季节的门户区域作为研究区域,计算了风能输入各个分量的年平均和区域平均的年际变化(图6)。春、秋两个季节门户的变化趋势比较相近,而与夏季门户和冬季门户相差较大。但是有时也表现出相同的极值特征,如2010年均呈极大值。本文计算了风能输入与太平洋的主要气候模态(PDO和ENSO)之间的相关性,见表1。春秋季节门户内,风能输入的3个分量与PDO或ENSO指数的相关度均较低。但是夏季门户内,3个分量与PDO指数和ENSO指数均呈较大的负相关;而在冬季门户内,3个分量与PDO指数均呈较大的正相关,与ENSO指数的相关度则偏小。由此可见冬季门户内风能输入受到PDO的影响更强烈。

7 结论与讨论

本文用SODA3.4.2资料分析了2000–2016年间北太平洋北部的风能输入的情况,主要计算了风向表面波、表层地转流和表层非地转流输入的能量,考察了

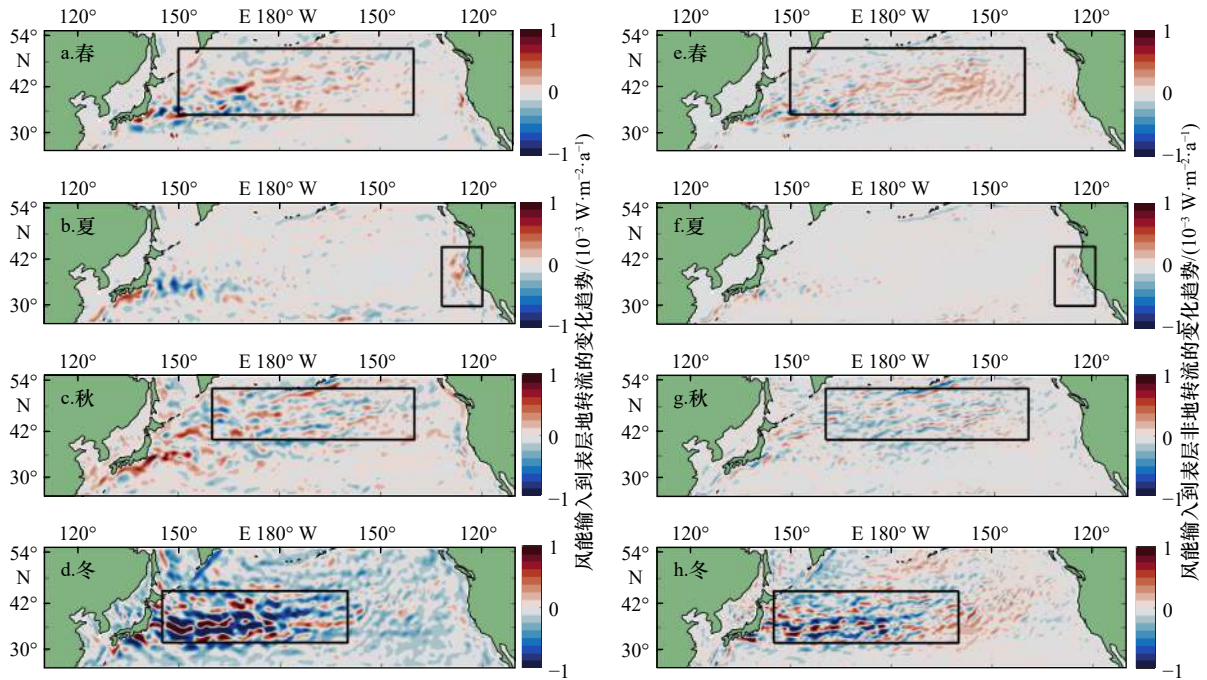


图5 风向表层地转流(a-d)和表层非地转流(e-h)的能量输入的变化趋势

Fig. 5 Trends of the wind energy input to surface geostrophic current (a-d) and ageostrophic current (e-h)

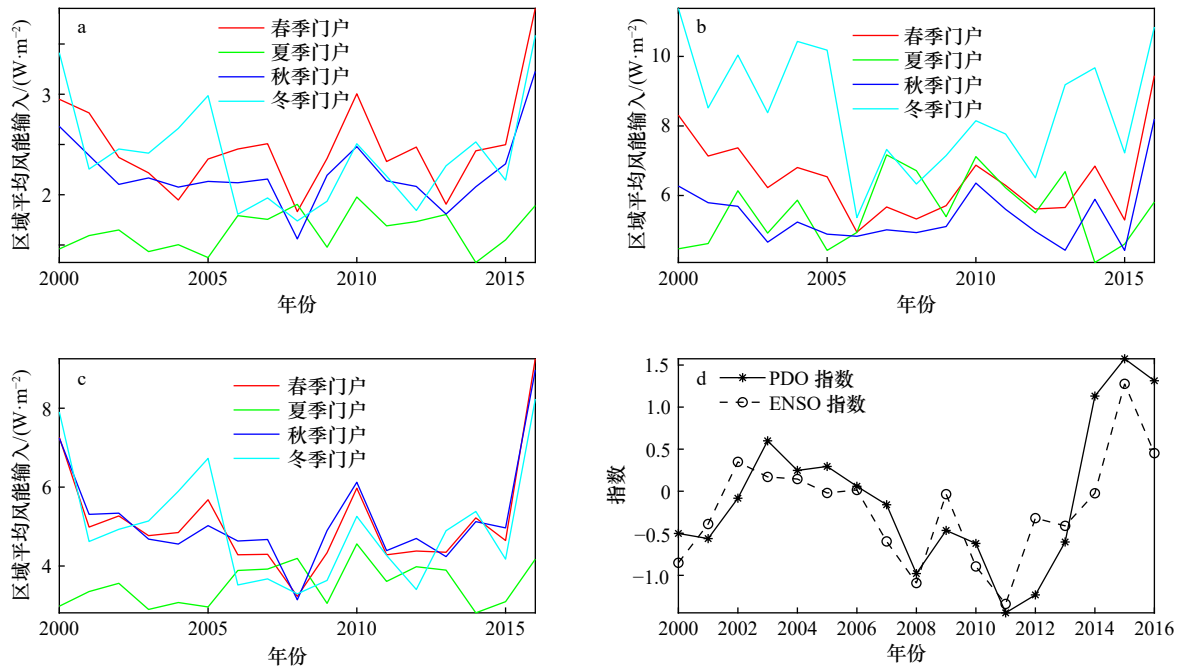


图6 2000-2016年各季节门户区域内风向表面波(a)、表层地转流(b)、表层非地转流(c)能量输入的年际变化及该时间段内PDO指数和ENSO指数的变化趋势(d)

Fig. 6 Wind energy input to surface wave (a), surface geostrophic currents (b), surface ageostrophic currents (c) of each seasonal gateway in 2000 to 2016, and the PDO index and ENSO index (d)

风能输入门户区域的季节性分布特征以及年际变化趋势。结果表明,北太平洋北部风向表面波、表层地转流和非地转流能量输入的门户基本一致,均呈显著的季节性分布。冬季最强,门户区域位于黑潮延伸体;夏季最弱,门户区域位于大洋东边界;春、秋介于

两者之间,门户区域位于副极地流涡区域。在2000-2016年间,风向表面波能量输入的变化趋势的空间分布由风场变化主导,呈大尺度(>1 000 km)特征;而风向表层地转流和非地转流能量输入的变化趋势则由中尺度信号强的流场变化主导,呈中尺度(200~300 km)

表 1 各个季节门户内风能输入与 PDO 指数以及 ENSO 指数的相关系数

Table 1 Correlation between wind energy input and PDO index and ENSO index in each seasonal gateway

区域	指数	表面波	表层地转流	表层非地转流
春季门户	PDO	0.29	0.26	0.42
	ENSO	0.13	0.05	0.21
夏季门户	PDO	-0.35	-0.46	-0.39
	ENSO	-0.33	-0.44	-0.38
秋季门户	PDO	0.39	0.18	0.38
	ENSO	0.24	-0.07	0.21
冬季门户	PDO	0.40	0.32	0.40
	ENSO	0.15	0.14	0.14

特征。进入 21 世纪以来,秋冬季风能输入明显减弱,春季增加,夏季无显著变化。

就北太平洋北部而言,风能输入具有明显的季节性变化特征,主要是由于受到东亚季风和阿留申低压的影响,该区域内的表层风场冬强夏弱。输入到表面

波中的能量远大于输入到表层流中的能量,前者绝大部分在海洋上层通过海浪破碎、湍流内波等作用下逐步耗散掉,而后者(主要是其中输入表层地转流的能量)则通过埃克曼泵吸的作用,向深层传递。作为北太平洋风能输入的主要门户,风应力向黑潮延伸区的地转流输入能量,增加了该地区内的重力位能,一方面加剧了中尺度涡的形成,另一方面诱导了中高纬度海水的潜沉作用,促进了北太平洋南北方向的水体交换。输入到表层地转流中的能量呈现出显著的下降趋势则与近年来观测到的海表风场减弱息息相关。总而言之,本文的研究补充了前人对于北太平洋风能输入门户研究的不足,系统地计算了风向表面波、表层地转流及表层非地转流输入的能量。但是仍有一些问题有待进一步探究。例如,向该区域内输入的能量在海洋中是如何分配和耗散的?风输入到表层地转流中能量有多少可以向深层传递?此外数据的局限性也在一定程度上对结果产生影响,尤其是风能输入与 PDO 或 ENSO 之间的相关性。相信在未来的研究中,随着观测和模式的发展,我们可以得出更加准确的结果。

参考文献:

- [1] Wunsch C, Ferrari R. Vertical mixing, energy, and the general circulation of the oceans[J]. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 2004, 36: 281-314.
- [2] Wang Wei, Huang Rinxin. Wind energy input to the surface waves[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2004, 34(5): 1276-1280.
- [3] Wang Wei, Huang Ruixin. Wind energy input to the ekman layer[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2004, 34(5): 1267-1275.
- [4] Urakawa L S, Hasumi H. The energetics of global thermohaline circulation and its wind enhancement[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2009, 39(7): 1715-1728.
- [5] Munk W, Wunsch C. Abyssal recipes II: energetics of tidal and wind mixing[J]. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 1998, 45(12): 1977-2010.
- [6] Watanabe M, Hibiya T. Global estimates of the wind-induced energy flux to inertial motions in the surface mixed layer[J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(8): 64-1-64-3.
- [7] Huang Ruixin, Wang Wei, Liu Lingling. Decadal variability of wind-energy input to the world ocean[J]. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2006, 53(1/2): 31-41.
- [8] Teng Yong, Yang Yongzeng, Qiao Fangli, et al. Energy budget of surface waves in the global ocean[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 28(3): 5-10.
- [9] Liu Guoqiang, He Yijun, Zhang Yuanzhi, et al. Estimation of global wind energy input to the surface waves based on the scatterometer[J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2012, 9(6): 1017-1020.
- [10] Brown J N, Fedorov A V. Mean energy balance in the tropical Pacific Ocean[J]. *Journal of Marine Research*, 2008, 66(1): 1-23.
- [11] Von Storch J S, Sasaki H, Marotzke J. Wind-generated power input to the deep ocean: an estimate using a $1/10^\circ$ general circulation model[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2007, 37(3): 657-672.
- [12] Wunsch C. The work done by the wind on the oceanic general circulation[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 1998, 28(11): 2332-2340.
- [13] Duhaut T H A, Straub D N. Wind stress dependence on ocean surface velocity: implications for mechanical energy input to ocean circulation[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2006, 36(2): 202-211.
- [14] Zhai Xiaoming, Wunsch C. On the variability of wind power input to the oceans with a focus on the subpolar north Atlantic[J]. *Journal of Climate*, 2013, 26(11): 3892-3903.
- [15] Wu Kejian, Liu Bin. Stokes drift-induced and direct wind energy inputs into the Ekman layer within the Antarctic Circumpolar Current[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2008, 113(C10): C10002.

- [16] Kilbourne B F, Girton J B. Quantifying high-frequency wind energy flux into near-inertial motions in the Southeast Pacific[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2015, 45(2): 369–386.
- [17] Zhai Xiaoming, Greatbatch R J. Wind work in a model of the northwest Atlantic Ocean[J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(4): L04606.
- [18] Zhu Yaohua, Fang Guohong, Wei Zexun, et al. Seasonal variability of the meridional overturning circulation in the South China Sea and its connection with inter-ocean transport based on SODA2.2. 4[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2016, 121(5): 3090–3105.
- [19] Carton J A, Giese B S, Grodsky S A. Sea level rise and the warming of the oceans in the Simple Ocean Data Assimilation (SODA) ocean reanalysis[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110(C9): C09006.
- [20] Carton J A, Giese B S. A reanalysis of ocean climate using simple ocean data assimilation (SODA)[J]. *Monthly Weather Review*, 2008, 136(8): 2999–3017.
- [21] Giese B S, Ray S. El Niño variability in simple ocean data assimilation (SODA), 1871–2008[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2011, 116(C2): C02024.
- [22] Yang Haiyuan, Wu Lixin. Trends of upper-layer circulation in the South China Sea during 1959–2008[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2012, 117(C8): C08037.

North part of the North Pacific is a major gateway of wind energy into the ocean

Zhang Yu^{1,4}, Cui Chaoran^{2,4}, Yang Qian^{1,4}, Guan Yuping^{1,3,4}

(1. State Key Laboratory of Tropical Oceanography, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangdong), Guangzhou 511458, China; 4. College of Marine Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Wind not only drives the surface ocean circulations, but also provides the main source of kinetic energy for deep ocean movements. This study focuses on the wind energy input to the north part of the North Pacific, including wind energy input to surface wave, surface geostrophic currents and surface ageostrophic currents. Results based on SODA3 (2000–2016) data show that there are obvious seasonal wind energy input gateways, which are the Subpolar Gyre for spring and autumn, the Eastern Pacific for summer and the Kuroshio Extension for winter respectively. The winter gateway gains the most wind energy among the four seasonal gateways, which is about 3–5 times higher than others. Since the beginning of the 21st century, wind energy input in winter gateway has weakened significantly, while increased in spring gateway, but has not changed significantly in summer and autumn gateway. For the spatial distribution of the trend in the 17 years, wind energy input to the surface wave is mainly dominated by the wind field, while wind energy input to the surface geostrophic current and ageostrophic current is dominated by the flow field. These mechanical energy input results are important for further understanding the ocean circulations in the North Pacific.

Key words: wind energy input; gateway; surface wave; surface geostrophic current; surface ageostrophic current