

ERS 散射计全球海面风场数据处理与 El Nino 海面风场异常观测^{*}

王 超

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 星载散射测量技术是获取全球海面风场的有效手段。该文研究了欧洲遥感卫星(ERS)散射计全球海面风场数据的处理分析技术。对1997年3月、6月和12月的全球海面风场数据进行平均处理,并同时与1996年6月和1995年10月的观测数据进行对比,利用遥感技术发现了赤道太平洋西部的风场异常,从遥感资料上分析了1997年El Nino现象的海面风场(风速与风向)异常变化特征。研究结果显示了星载微波散射计在全球变化监测中的重要作用。

关键词 散射计,欧洲遥感卫星(ERS),全球海面风场,全球变化,El Nino

1 引 言

多数洋流依赖于大气环流,海洋表面风场影响着海气能量交互作用。El Nino/南方涛动现象(ENSO)是热带海洋和大气强烈耦合的结果,它不但影响区域和全球气候,而且对热带太平洋的生态环境和人类活动都有明显的影响。因而近年受到人们的广泛关注^[1]。

目前存在不同的热带海气耦合模式用于ENSO的研究和预测^[2-4]。例如耦合GCM、混合海气耦合模式、简单的海气耦合模式。海气耦合模式中关于ENSO产生、发展和消亡的机制能否代表真实海气耦合系统中的情况,很大程度上取决于模式中风应力场与海洋势力场的分布与真实场的一致程度。因此,监测和分析海洋表面风应力场,对海气耦合模式的理论研究及ENSO的预测具有重要意义。

遥感科学的发展,特别是航天散射计的发展,为观测全球海面风场提供了全新的方法。从散射截面反演风场参数包括正反演两个问题。正演问题是建立雷达截面与入射角、风速、风向关系的精确地球物理模型,反演问题则是从模型反演风速和风向。雷达截面与风场关系模型的研究已20余年,1991年欧洲空间局(ESA)发射了欧洲遥感卫星1号(ERS-1),大大推动了该领域的研究。利用1992—1994年在赤道太平洋和中纬度地区获取的大量ERS散射计

数据,并有25 km范围内的浮标数据作验证,发展了一系列模型用于从散射测量反演海面风场^[5],如CMOD1至CMOD4。近期C.L. Rufenach等提出了BMOD5^[6]。目前,CMOD4被ESA用作ERS散射计海面风场产品的模型。

首先介绍ERS散射测量获取海面风场的原理和散射数据处理方法,对1997年3月、6月和12月的ERS-2散射计海面风场数据进行处理分析,并与1996年6月和1995年10月的数据进行了对比分析,研究1997年全球海面风场的变化特点及其与El Nino的关系。

2 ERS 风散射计数据特点与处理方法

2.1 ERS 风散射计测量海面风场方法

ERS-1/2携带的主动微波仪器包括合成孔径雷达(SAR)和风散射计。风散射计的目的是获取海面风速和风向信息,以用于大气和海洋模型全球变化研究。它可以记录海洋表面因风的作用所产生的波纹而导致的雷达后向散射的变化。这种波纹的能量与风速成正比,因而后向散射强度随风速增加而增加,同时与波速方向与风向的交角有关^[6]。

ERS-2风散射计为C波段(5.3GHz)垂直极化散射计,具有3副天线,分别与轨道方向呈45(前束)、90(中束)、135(后束)度交角,向飞行方向的右侧发

^{*} 本研究是欧洲空间局(ESA)ERS A02项目(102010101)数据由CFREMER/ERSAT提供,并得到国家大型航天遥感工程项目的资助,研究中得到了中国科学院徐冠华院士的热情鼓励,在此表示衷心感谢!

射脉冲。在约 500km 的观测幅度里,每个测量节点间距为 25km,沿轨向节点间距约为 25km,入射角变化范围为 18°-59°(中束天线的入射角为 18°-47°,前后束天线入射角为 25°-59°)。这样,在 500km×500km 范围内排列了 19×19 的节点,共有 361 个节点,每个测量节点都有不同观测方向和观测角的散射信号测量值(图 1)。

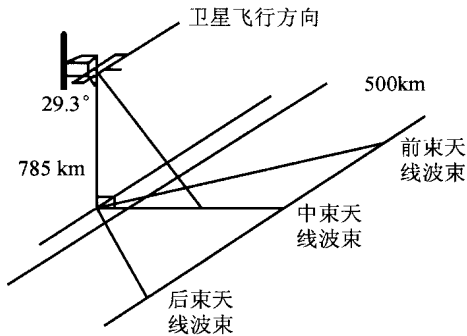


图 1 ERS-1/2 风散射计测量示意图

Fig. 1 Measurement principle of ERS-1/2 wind scatterometer

根据每个测量节点的 3 组散射计测量数据,利用雷达截面和风场关系模型,即可得到观测点的风速与风向^[7]。具体流程分 3 步(图 2):

- (1) 风场解的寻找:利用散射模型寻找满足雷达截面测量值的不同风场解。
- (2) 冰掩膜的产生:根据测量值与散射模型估值的关系建立冰掩膜。
- (3) 风场解的确定:通过与气象数据的比较或由散射模型得到的测量概率完成风场解模糊的去除。

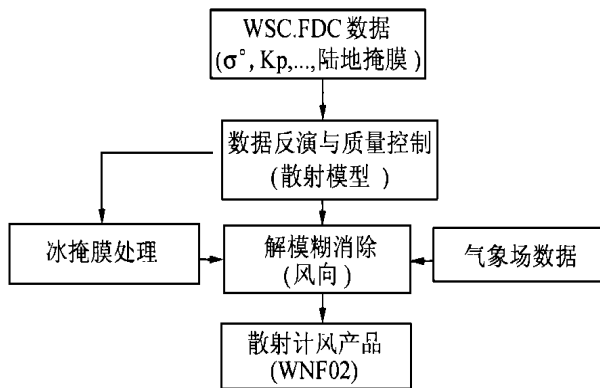


图 2 ERS 散射计风场产品处理流程

Fig. 2 Processing flowchart of ERS WNF data

2.2 ERS 散射计风场数据的处理

本研究分析的数据为 ESA 散射计脱线(off-line)风场数据产品(WNF)。数据参数见表 1。该数据按

轨道记录节点的观测参数和计算值。每一个产品(product)记录了 500km×500km 范围的测量结果,由一个头记录和 361 个测量记录(记录 19×19 个节点的数据)组成。由于 ERS-1/2 每天飞行约 14.3 轨,因此至少需 3 天才能覆盖地球表面一次。由 3 天的观测数据制成的全球测量结果图显示,一方面存在数据空隙区,另一方面各轨道间由于测量数据的差别而使轨道十分清晰,因而不适宜全球风场的分析。ERS-1/2 轨道的重复周期是 35 日,因此用 35 日的测量结果,采用如下处理方法,形成全球海面均值风场图像:

表 1 ERS-1/2 风散射计脱线风场数据参数

Table 1 Parameters of ERS-1/2 wind scatterometer data

数据范围	500km×500km
测量规模	19 节点(距离向), 19 节点(方位向)
定位精度	5km(距离向), 5km(方位向)
空间分辨率	50km(距离向), 50km(方位向)
数据网格	25km×25km
风速精度	2m/s
风向精度	20deg

(1) 数据的输入:根据数据结构输入每一节点的数据,主要包括节点经纬度、测量置信数据、风速、风向及其最大似然估计等。

(2) 低置信数据的去除:根据测量置信数据,去除置信度低的数据。造成置信度低的原因有,风场低于反演模型精度,测量区位于海冰或陆地区域或受其影响,测量受大气水含量或雪的影响,原始数据处理中存在误差。

(3) 投影坐标的选取:采用平面横轴默卡托投影,以世界地理坐标零点为原点,纬度从 -90°(南纬)到 90°(北纬),经度从 0°(原点)向东到 360°。采用 0.5°×0.5°的网格将全球用 720(经向)×360(纬向)的矩阵表示。

(4) 全球海面风场矩阵的形成:将 ERS 卫星 3 天的测量数据(43 轨),根据位置最近赋值原则,分别标到全球风场矩阵中,形成全球海面风场矩阵。

(5) 全球海面风场均值矩阵的形成:将 ERS 卫星 35 天的测量数据所形成的 8 个全球风场矩阵进行平均处理,形成全球海面风场均值矩阵,代表 ERS 卫星一个轨道重复周期的全球风场观测结果,也基本相当于全球海面风场的月平均。

利用此方法分别处理了 1996 年 6 月、1997 年 6

月和 12 月的数据(封三图版 I 图 3—图 5)。分别代表了 1996 年和 1997 年的不同季相。为了比较分析,同时还处理了 1995 年 10 月、1996 年 6 月的数据。

为定量进行海面均值风场的比较,采用采样点差异矢量的分析法,即将两期海面均值风矢量矩阵相减,这样,获得了 1997 年 6 月与 1996 年 6 月的均值差异矢量矩阵(封三图版 I 图 6),以及 1997 年 6 月与 1997 年 12 月的均值差异矢量矩阵(图略)。

3 El Nino 现象与 1997 年太平洋海面风场异常

3.1 1997 年全球海面风场与其它年度同期风场比较

从封三图版 I 图 3 可见,1996 年 6 月太平洋赤道附近风场十分规则。而 1997 年 6 月的图上则不明显(封三图版 I 图 4),特别是在赤道东太平洋,几乎看不出规律的东风。从差异矢量图上看,西经 180°以西赤道出现明显偏西风异常,反映 1997 年 6

月赤道太平洋西部东风减弱或出现偏西风(封三图版 I 图 6)。

将 1997 年 3 月海面风场与 1996 年 3 月海面风场比较,同样出现赤道太平洋西部西风异常,只是位置偏西,规模也没有 6 月份时大(图略),将 1997 年 12 月与 1996 年 11 月进行比较,西风异常明显变小(图略)。

在西太平洋选取纬向 20°、经向 8°的 3 个样区,分别对 1997 年 6 月、12 月和 1996 年 6 月以及它们的差异矢量进行定量统计分析,样区中心位置和统计结果见表 2。统计表明,1997 年赤道西太平洋海面风速较 1996 年的低,其均值分别为 4.30m/s 和 5.50m/s,两者均比各自北部和南部海域的风速低。图 7 是以西经 178°的赤道为中心、沿经向切 35°长的风速剖面,可以直观地反映这一特征。但是,赤道西太平洋的均值风场的差异矢量均值却远高于其两侧的值(9.21m/s),反映不仅在风向上存在差异,在风速变化上也存在明显差异,即赤道西太平洋风速变化明显(图 8,剖面位置同图 7)。将 1997 年 6 月与 12 月相比,则该现象基本没有表现(图 9)。

表 2 太平洋西部海面风场统计数据

Table 2 Statistics of ocean wind field in the Western Pacific

单位:m/s

		赤道北(W180°,N13°)	赤道(W180°,S2°)	赤道南(W180°,S22°)
199606 风速	最小值	5.1927	0.0000	0.0000
	最大值	9.1772	8.2000	11.0719
	均值	7.2597	5.4970	6.1045
	标准差	0.6583	0.7607	1.7357
199706 风速	最小值	4.6239	0.0000	0.0000
	最大值	8.6271	14.100	9.6762
	均值	6.3816	4.3015	5.6145
	标准差	0.7488	2.2364	1.6084
199712 风速	最小值	6.0914	0.0000	0.0000
	最大值	10.9857	8.3000	9.6425
	均值	8.4861	3.6159	6.9396
	标准差	0.6735	1.5063	1.2573
199706—199606 差异风速	最小值	0.0876	0.0000	0.0000
	最大值	2.9550	18.5047	6.8000
	均值	1.2075	9.2070	2.5874
	标准差	0.5265	2.7507	1.1078
199706—199712 差异风速	最小值	0.3259	0.0000	0.0000
	最大值	5.8914	16.7856	6.9086
	均值	2.1974	5.5679	4.2130
	标准差	0.8106	4.2130	1.1435

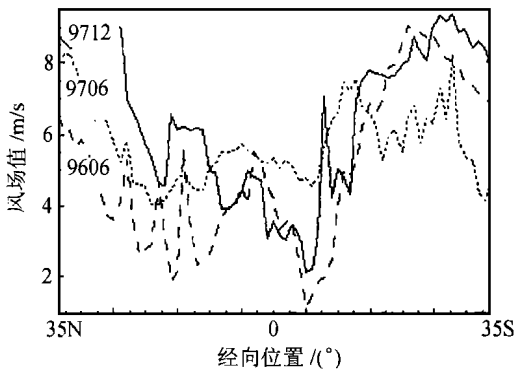


图 7 赤道西太平洋海面风场经向剖面图(1997 年 6 月、12 月, 1996 年 6 月)

Fig. 7 Longitudinal profile of ocean wind field on equatorial Western Pacific (June 1997, December 1997, June 1996)

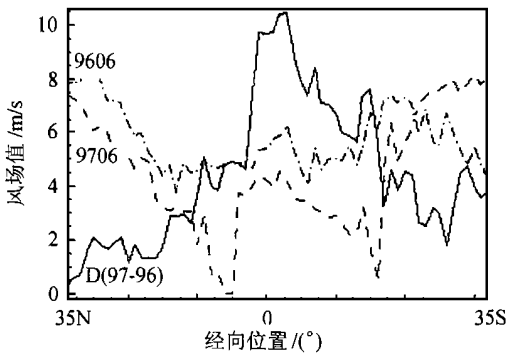


图 8 赤道西太平洋海面风场经向剖面图(1997 年 6 月, 1996 年 6 月及其差异矢量)

Fig. 8 Longitudinal profile of ocean wind field on equatorial Western Pacific (June 1997, June 1996, and difference vectors)

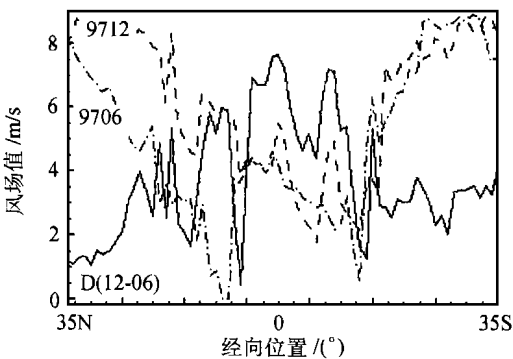


图 9 赤道西太平洋海面风场经向剖面图(1997 年 6 月、12 月及其差异矢量)

Fig. 9 Longitudinal profile of ocean wind field on equatorial Western Pacific (June 1997, December 1997, and difference vectors)

3.2 1997 年赤道太平洋海面风场变化特征

为了研究赤道太平洋海面风场的变化特征,以每 3 天(43 轨)测量结果形成的全球风场矩阵为处理对象,在经度方向从赤道至南纬 10°进行平均处理后,从东经 150°到西经 90°沿南纬 5°方向切剖面。将 1997 年 3 月、6 月和 12 月共 24 组剖面按序排列,并以 1996 年 6 月的 8 组剖面作参照,形成 1997 年赤道太平洋海面风场变化序列图(图 10)。结合差异矢量图,可以看出 1997 年赤道太平洋西部海面风场西风异常的东移特点。

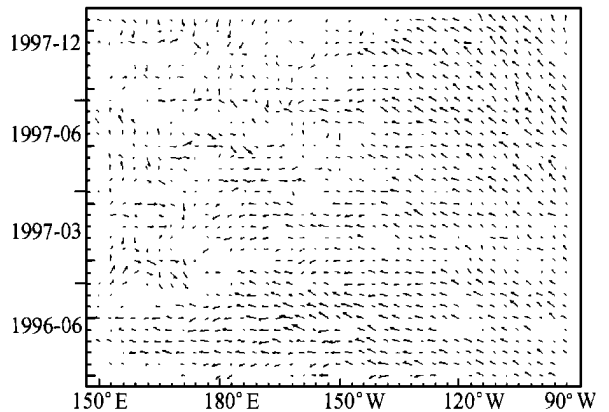


图 10 1997 年赤道太平洋风场剖面变化序列图

Fig. 10 Sequential wind field profiles on the equatorial Pacific in 1997

3.3 1997 年全球海面风场变化与 El Nino 现象

Rasmusson 和 Carpenter 对 1982/1983 年以前的 6 次 El Nino 事件进行了合成,指出了赤道太平洋西风异常往往发生在 El Nino 事件爆发之前^[8]。黄荣辉和 张人禾也指出,在 1982、1983、1986/1987 和 1991/1992 年 El Nino 事件发生之前,赤道太平洋西风明显增强^[9]。张人禾和黄荣辉应用一个简单热带海洋模式对热带太平洋纬向风应力异常的演变在 ENSO 循环中的动力作用进行了理论分析,指出 El Nino 事件发生和发展的机制有东传西风应力异常激发的暖 Kelvin 波及其在大洋东边界反射产生的暖 Rossby 波,以及西风应力异常移到赤道东太平洋时强迫产生的海洋混合层厚度变厚^[2]。

利用 ERS-1/2 风散射计观测的海面风场,显示出 1997 年赤道东太平洋海面风场的异常及其变化特征,是 El Nino 现象的表现。

4 结论

本文研究了 ERS-2 散射计脱线海面风场产品数据的处理方法,完成了全球海面风矢量矩阵的图像处理。对 1997 年和 1996 年 6 月数据进行处理,获取海面均值风矢量矩阵及其差异矢量矩阵。与 1996 年 6 月同期数据相比,1997 年 6 月赤道太平洋西部风向出现异常,差异矢量为偏西风,同时风速差异也较其南北两侧明显,反映了瓦克环流圈的东移和南方涛动的出现。El Nino 现象不仅表现在海面升温与气压场变化,同时,表现在海面风场变化。本研究显示了星载散射计为全球海面风场观测和 El Nino 监测提供了全新方法,为海气交互作用研究提供了重要信息,这无疑对全球变化研究具有重要意义。

参考文献 (References)

- 1 Chao Jipin. Dynamics of EL Nino and the Southern Oscillation. Beijing: Meteorology Press, 1993. (in Chinese)[巢纪平. 厄尔尼诺和南方涛动动力学. 北京: 气象出版社, 1993.]
- 2 Zhang Renhe, Huang Ronghui. Dynamical Roles of Zonal Wind Stresses over the Tropical Pacific on the Occurring and Vanishing of El Nino, Part I: Diagnostic and Theoretical Analyses. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1998, **22**(4): 587-599. (In Chinese)[张人禾, 黄荣辉. El Nino 事件发生和消亡中热带太平洋纬向风应力的动力作用: 1、资料诊断和理论分析. 大气科学, 1998, **22**(4), 587-599.]
- 3 Wu Guoxiong, Meng Wen. Gearing Between the Indo-monsoon Circulation and the Pacific-Walker circulation and the ENSO. Part I: Data

- Analyses. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1998, **22**(4), 470-480. (In Chinese)[吴国雄、孟文. 赤道印度洋-太平洋地区海气系统的齿轮式耦合和 ENSO 事件: 1、资料分析. 大气科学, 1998, **22**(4), 470-480.]
- 4 Yan Bangliang. Characteristics of Sea-Atmosphere Coupling Resolution between Different Frequencies. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1999, **23**(1), 77-90. (In Chinese)[严邦良. 热带大气和海洋运动的频率差异在海气系统演变中的作用. 大气科学, 1999, **23**(1), 77-90.]
 - 5 Quilfen Y, Cavanie. A high precision wind algorithm for the ERS-1 scatterometer and its validation. Proc. IGARSS '91, 1995, 873-876.
 - 6 Rufenach C. L. et al. ERS-1 scatterometer measurements-Part I: the relationship between radar cross section and buoy wind in two oceanic regions. *IEEE Geosci. Remote Sensing*, 1998, **36**: 603-635.
 - 7 Stoffelen A, Anderson D. Scatterometer data interpretation: estimation and validation of the transfer function CMOD4. *J. Geophys. Res.*, 1997, **102**: 5767-5780.
 - 8 Rasmusson, E. M. T. H. Carpenter. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the southern oscillation and El Nino. *Mon. Wea. Rev.*, 1982, **110**, 354-384.
 - 9 Huang Ronghui, Zhang Renhe. Diagnostic Analyses of Coupling Process between ENSO Circulation and Monsoon. Memoir for Zhao Jiuzhang (Editor: Ye Duzheng). Beijing: Science Press, 1997, 93-109. (In Chinese)[黄荣辉, 张人禾. ENSO 循环与东亚季风环流相互作用过程的诊断研究. 赵九章纪念文集, 叶笃正主编. 北京: 科学出版社, 1997, 93-109.]

作者简介

王超, 男, 1963 年 12 月生, 研究员, 博士生导师。1989 年于南京大学获得博士学位。现在中国科学院遥感应用研究所从事微波遥感研究, 研究方向为干涉雷达遥感、海洋微波遥感。

ERS Wind Scatterometer Data Processing and Observation of Ocean Wind Field Abnormal of El Nino

Wang Chao

(Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101)

Abstract Spaceborne scatterometer technology is meaningful for observation of the global ocean wind field. The Processing and analysis method were studied for the European Remote Sensing Satellite (ERS) wind scatterometer data (WNF). The Global ocean wind fields were averaged in March, June and December 1997 respectively. They were compared with those of June 1996 and October 1995. The wind field abnormal was observed in the equatorial Western Pacific, which was related to El Nino 1997. The evolution characteristics of ocean wind abnormal (speed and direction) related to El Nino 1997 was analysed using ERS WNF data. It is shown that spaceborne scatterometer plays an important role in the monitoring of global changes.

Key words Scatterometer, ERS, Global ocean wind field, Global change, El Nino

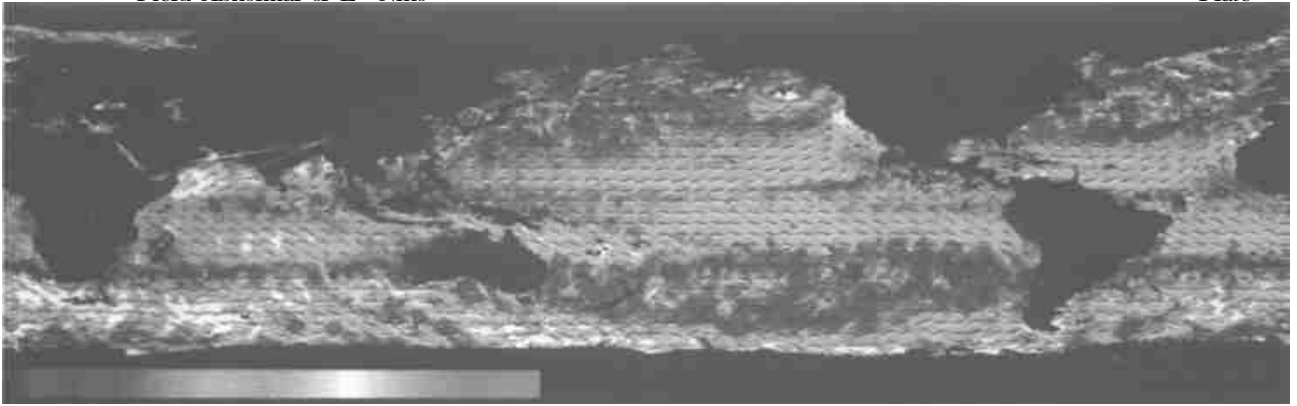


图 3 1996 年 6 月全球平均海面风场图
(图中色标代表风速 0—23m/s, 红色箭头方向代表风向, 长短代表风速, 下同)

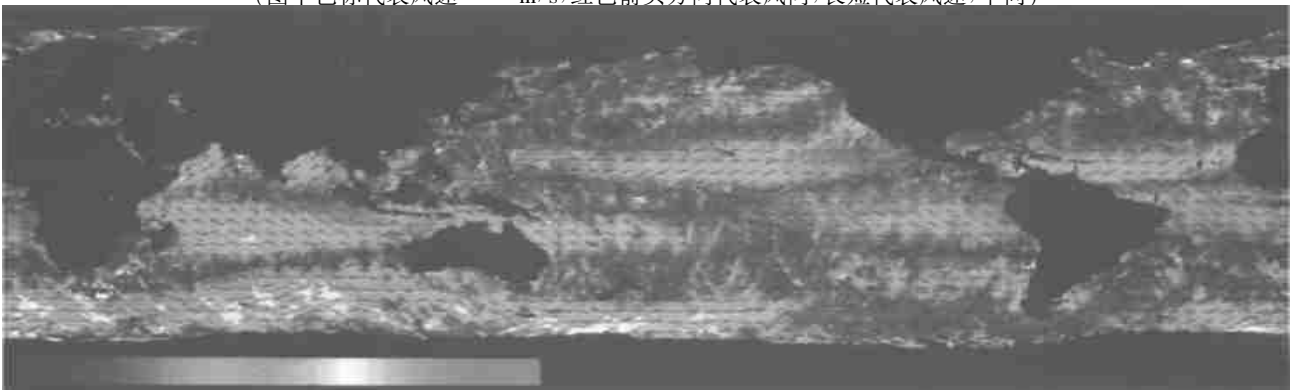


图 4 1997 年 6 月全球平均海面风场图

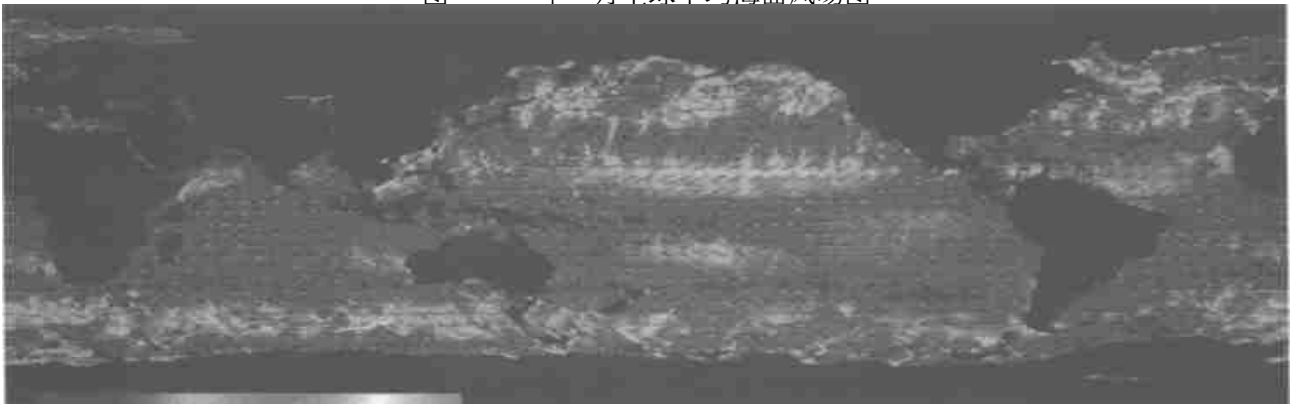


图 5 1997 年 12 月全球平均海面风场图

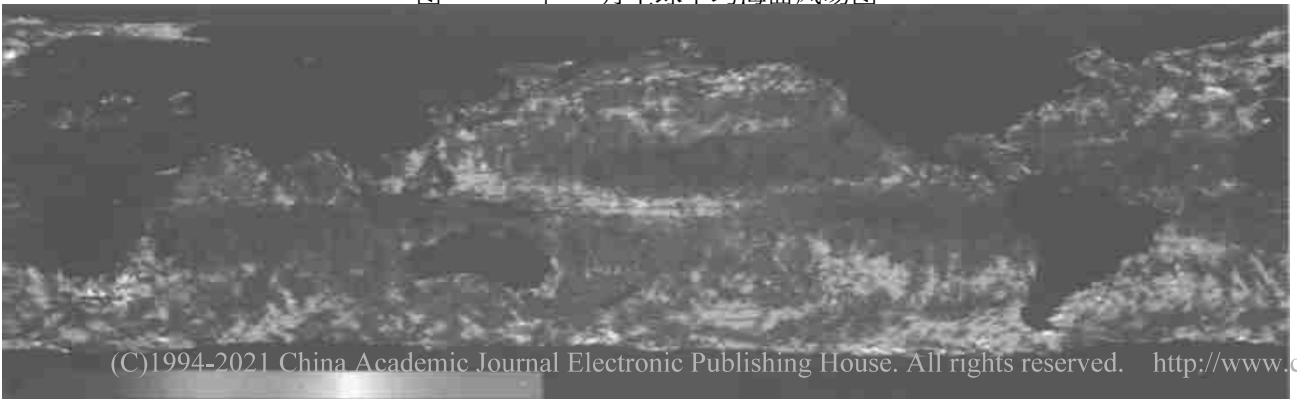


图 6 1997 年 6 月与 1996 年 6 月全球平均海面风场差异图