

文章编号: 1007-4619 (2002) 02-0123-06

遥感和 GIS 技术在全球海面风速分析中的应用

陈 戈, 方朝阳

(青岛海洋大学 海洋遥感研究所, 山东 青岛 266003)

摘 要: 将遥感技术和地理信息系统(GIS)技术相结合, 建立了一个基于 TOPEX 卫星的全球海面风速分析的海洋地理信息系统(MGIS)。阐述了全球海面风速分析模型的建立方法, 定义了描述风场特征的相关参数, 介绍了全球海面风速海洋地理信息系统的结构、功能和工作流程, 另外, 对系统的 3 个应用实例进行了地学分析。

关键词: 海洋遥感; 海洋地理信息系统; 海面风速; 卫星高度计

中图分类号: P208/TE733 **文献标识码:** A

1 引 言

风是海洋运动中最主要的驱动力, 在海/气相互作用中也发挥着重要作用。20 世纪 80 年代以前, 人们对海洋风场的关注相对较少, 那时的测风数据主要来自船舶观测。基于船测资料分析风场, 存在人为因素和较大的时空间隔^[1]。这一状况从 20 世纪 90 年代初开始有所改变, 主要归功于一系列星载测风传感器的成功发射和运行。如今这些传感器每隔几天就可以获取一套覆盖全球的海面风场资料, 并且这些资料的连续时间跨度已接近十年。现在的问题是人们对这些数据中蕴含的有关风场的各种知识还未能很好地挖掘出来, 它们的作用尚未得到充分发挥。其中重要原因之一是缺乏一个对这些数据进行提取、管理、分析和表现的有效系统。现有的应用基本上是由研究人员自己先对数据进行预处理, 再根据所研究的专题利用一些通用的制图工具软件作出图件。由于不得不经常做一些重复性工作, 加上数据处理和制图往往需要相当的技能, 这样既浪费了科研人员的宝贵时间又造成了科研成果可移植性较差, 难以发挥其应有的效益。

地理信息系统作为对地学信息进行存储、处理和分析的一个强有力的工具, 结合科学可视化技术

使得研究人员可以将获得的大量地理数据转化为所研究的地理对象、地理现象和地理事件的图像、声音和动画, 通过对这些信息的分析理解, 诱发新思想, 获得新发现。

20 世纪 80 年代末以来, 国内外许多学者已尝试将 GIS 应用于海洋研究领域, 并建立了一些海洋地理信息系统(MGIS)^[2-4]。但是我们注意到海洋 GIS 的应用明显地滞后于陆地 GIS, 而且现有的 MGIS 只包含了通用的数据库生成、制图和简单的地图分析功能, 在利用 GIS 开发海洋学研究专用的分析功能方面几乎还是空白。这种现象是由海洋环境和海洋研究的特殊性所造成的。首先, 海洋环境数据获取不管从技术上还是从经济上都有很大的难度, 尤其是大范围的在时间和空间尺度上都有理想采样频率的数据获取更为困难; 其次, 海洋环境的属性大多随时间连续变化, 而对于这类地理数据的时态关系, 存储结构和表现形式仍是当前地理信息系统研究的热点和难点; 第三, 目前流行的各种商用 GIS 系统软件和开发平台基本上是为陆地应用服务的, 要想直接用于海洋环境尚有很大困难。另外, 海洋科学在各个研究方向上的知识和模型不但复杂且表达方式多样, 要想在 GIS 系统中很好地加以实现, 从技术到观念都有待提高。

本文基于 TOPEX 卫星高度计数据, 建立了一组

收稿日期: 2001-01-08; 修订日期: 2001-05-08

基金项目: 国家杰出青年科学基金(40025615)和教育部“高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划”资助。

作者简介: 陈戈(1965—), 男, 教授。1993 年在青岛海洋大学获理学博士学位。1994 至 1996 年在法国海洋开发研究院(IFREMER)进行一站博士后研究; 1998 至 2000 年在中国科学院遥感应用研究所进行二站博士后研究。主要研究方向为卫星高度计及其海洋应用及海洋地理信息系统。已发表学术论文 30 余篇, 被 SCI 收录 10 篇。

全球海面风速的分析模型,开发了一个旨在为海洋科学工作者提供更为有效、简捷、形象的研究方法的MGIS系统。这个系统可以对全球海面风速从不同的侧面以不同的时空组合用不同的表现形式进行操作,并实现了分析过程的自动化、交互性和可视化。

2 海面风速分析模型

2.1 数据预处理

我们对全球海面风速的分析使用了1993年1月到1998年12月的TOPEX卫星高度计数据。卫星高度计是一种以海平面高度、海面风速和有效波高为基本测量参数的主动式雷达。其数据在星下点轨迹上呈等间隔分布,但纬向空间分辨率随纬度的增加而增加。为便于分析,首先对卫星采样的数据进行质量控制^[5],然后进行预处理,通过优化插值转化成规则的网格数据。所有的数据在时间维上以月为单位进行分割,而在二维空间上按照 $1^\circ \times 1^\circ$ 的网格进行插值。通过对多种插值方法进行测试和比较,我们选定了距离加权反比(Inverse Distance Weight, IDW)插值法。IDW算法的解析表达式为:

$$F(x, y) = \frac{\sum_{(u-x)^2+(v-y)^2 < r^2} V(u, v) \omega(u, v)}{\sum_{(u-x)^2+(v-y)^2 < r^2} \omega(u, v)} \quad (1)$$

其中: (u, v) 为采样点的二维空间位置, (x, y) 为插值网格点的二维空间位置, $V(u, v)$ 是在搜寻范围内采样点的风速值, $F(x, y)$ 为网格点 (x, y) 通过插值得到的风速值, $\omega(u, v) = [(u-x)^2+(v-y)^2]^{-\frac{1}{2}}$ 为权重, $r=6^\circ$ 为搜寻半径。

通过以上处理,我们得到包含 $12 \times 6 \times 360 \times 131$ 个风速值的数据文件。这个文件用时间步长为一个月、空间步长为 1° 、覆盖范围为 $65^\circ\text{S} - 65^\circ\text{N}$ 的72个网格化风速场,以离散方式反映了在此空间范围内海面风速自1993年1月至1998年12月间的变化情况。

2.2 海面风速分析模型的建立

由于我们的数据集时间长度为6年,时间间隔为1个月,能够分辨的信号周期为从月际到年际,因此可采用下面的模型对海面风速的变异性进行描述:

$$U(t) = \sum_{i=1}^{2.4} \left[a_i \times \cos\left(\frac{2\pi it}{T}\right) + b_i \times \sin\left(\frac{2\pi it}{T}\right) \right] + c_0 + c_1 \times t + c_2 \times t^2 \quad (2)$$

其中, U 是某个指定网格点的海面风速(单位为 m/s), t 是1993年1月后的某个时间(以月为单位), $T=12(\text{月})$, a_i, b_i, c_0, c_1 和 c_2 是待定系数。

我们知道,风是由于空气密度不均匀形成的,地球表面的气压分布与太阳辐射密切相关。由于地球表面所接收到的太阳辐射具有显著的年变化周期,因此海面风速变化也具有显著的年分量。气象观测的历史资料表明,对于全球海洋的某些区域,风速变化的半年分量也是非常重要的,必须加以考虑,例如著名的阿拉伯海季风区。高频分量所占的比重通常很小,作为其代表,我们只考虑了季际变化。另外,6年的连续资料使我们能够对海面风速的年际变化进行趋势性描述。为此,我们采用了二次函数模型。基于上述考虑,可将(2)式作为风速变化的模型。根据此式将每一格点上72个时间序列的数据作为输入,用基于最小二乘法的调和函数分析可以确定一组系数,从而对该点处不同频率的风速变化进行分析。

2.3 模型应用

根据上述模型并结合研究需要可以导出若干与海面风速有关的特征参数。在指定时间段 $[t_1, t_2]$ 内风速的平均值(U):

$$U(t_1, t_2) = \left[\sum_{t=t_1}^{t_2} U(t) \right] \div (t_2 - t_1 + 1) \quad (3)$$

$(t_1 = 1, 2, \dots, 72; t_2 = 1, 2, \dots, 72; t_2 \geq t_1)$

n 年中相同指定时间段 $[t_1, t_2]$ 的风速平均值(U_n):

$$U_n(t_1, t_2) = \frac{1}{n} \times \frac{1}{t_2 - t_1 + 1} \times \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{t=12 \times i + t_1}^{12 \times i + t_2} U(t) \quad (4)$$

$(t_1 = 1, 2, \dots, 12; t_2 = 1, 2, \dots, 12; t_2 \geq t_1)$

某一年中指定时间段 $[t_1, t_2]$ 内风速平均值和相同时间段内 n 年平均值的差值(距平值) D :

$$D(t_1, t_2) = U(t_1, t_2) - U_n(t_1, t_2) \quad (5)$$

最大和最小年风速的大小(U_{\max}, U_{\min})和位相(t_{\max}, t_{\min}):

$$U_{\max} = U + \max_{(j)} \left\{ \sum_{i=1}^{2.4} \left[a_i \times \cos\left(\frac{2\pi it_j}{T}\right) + b_i \times \sin\left(\frac{2\pi it_j}{T}\right) \right] \right\} \quad (j = 1, 2, \dots, 12) \quad (6a)$$

$$= c_0 + \sum_{i=1}^{2,4} \left[a_i \times \cos \left(\frac{2\pi i t_{\max}}{T} \right) + b_i \times \sin \left(\frac{2\pi i t_{\max}}{T} \right) \right] \quad (6b)$$

$$U_{\min} = U + \min_{(j)} \left\{ \sum_{i=1}^{2,4} \left[a_i \times \cos \left(\frac{2\pi i t_j}{T} \right) + b_i \times \sin \left(\frac{2\pi i t_j}{T} \right) \right] \right\} \quad (j = 1, 2, \dots, 12) \quad (7a)$$

$$= c_0 + \sum_{i=1}^{2,4} \left[a_i \times \cos \left(\frac{2\pi i t_{\min}}{T} \right) + b_i \times \sin \left(\frac{2\pi i t_{\min}}{T} \right) \right] \quad (7b)$$

风速的年际变化量 (\bar{U}):

$$\bar{U} = \max_{(j)} \left(\sum_{i=1}^2 c_i t_j^i \right) - \min_{(j)} \left(\sum_{i=1}^2 c_i t_j^i \right) \quad (j = 1, 2, \dots, 72) \quad (8)$$

3 用于海面风速分析的海洋地理信息系统

3.1 系统结构和工作流程

如图 1, 系统由 5 个功能模块(分析模型系数数据库建库模块、人机交互模块、风速分析和专题数据准备模块、图件生成模块和典型图件管理模块)和 3 个数据文件(分析模型函数系数数据库、海岸线轮廓数据文件和典型图件管理数据库)组成。另外, 在系统的运行过程中利用专题数据池作为存放分析结果以供图件生成模块使用的数据缓冲区。

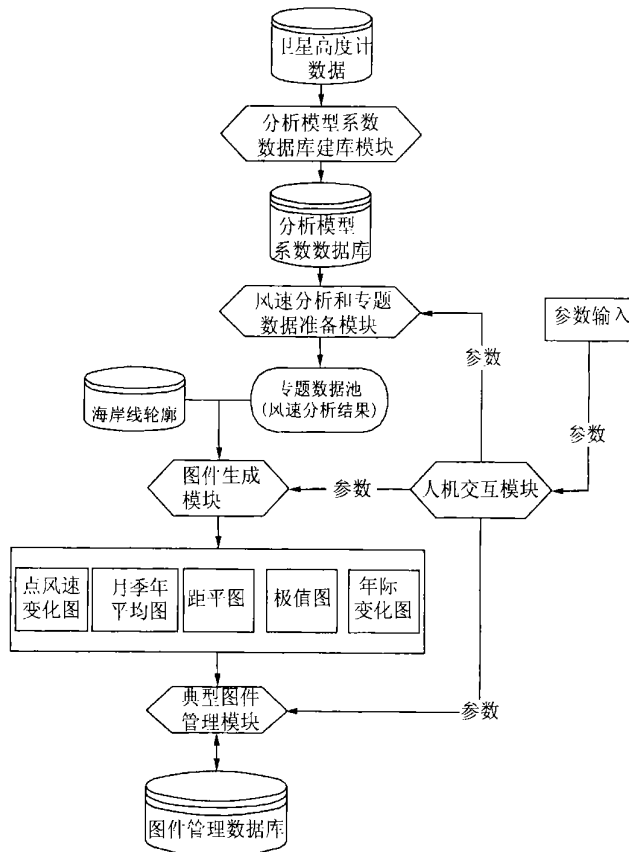


图 1 系统的结构

Fig. 1 System configuration

风速分析模型的系数数据是系统的基础。卫星高度计数据首先经过系数数据库建库模块的处理得到模型函数的一系列系数, 这些系数以数据库的方式存储起来以备用户根据需要提取。地理信息系统的优势之一是它在传统数据库的基础上引入了空间

位置这一属性。要深入研究海面风速在全球范围内的分布情况及其变化规律, 必须有一个高精度的海岸线作为观察基准。一个结点间距离为 5km 的线文件被本系统用做反映全球海岸线轮廓的数据文件。为了避免重复性的图件生成, 我们还设立了图

件管理数据库用于保存那些典型的图件以便在需要时直接调用。

当客户通过人机交互模块提交风速分析任务时,风速分析和专题数据生成模块会对用户关注的特征参数和时空范围进行分析,并转化成 SQL(结构化查询语言)语句的形式从服务器上提取所需的系数数据,然后根据特征参数的定义和用户对数据的质量要求生成相应的专题数据暂时存放在专题数据池中。图件生成模块则根据用户对图件元素的属性和表现方式的要求利用专题数据池中的数据生成各类图件。

3.2 系统功能

系统采用关系型数据库管理风速分析模型的系数。为了提高全球海面风速的分析质量,后续年份的数据将被陆续补入系统中。系统可以基于新的卫星数据集重新生成分析模型的系数,自动完成模型的更新。

系统设计了友好的人机交互界面。用户可以通过多种方式指定所关注的空间和时间范围。图形参数和状态参数的设置功能为用户提供了根据自己的研究需要和习惯决定图形表现内容和风格的手段。比如,等值线的间隔、线型和色阶都有自动和手动两种配置方式。多种风速特征参数可在同一幅面内表现,用户可据此进行对比研究。系统还提供了一些统计分析和空间分析的工具,用户可以利用它们对

全球海面风速进行相关的分析。

4 系统应用实例及分析

4.1 全球海洋风候

20 世纪 70 年代末,Seasat 高度计获取了第 1 张较为可靠的全球海面风速分布图^[6]。我们利用本系统基于 TOPEX 连续 6 年的高度计资料建立了更为可靠的全球风候(参见文献[7]中的图版 I)。TOPEX 风候与 Seasat, GEOS 和 Geosat 的同类结果^[6,8,9]相比在许多方面有明显的改善。更为重要的是,它所揭示的风速场的主要特征与经典风速分布^[10]相比有多处显著的差异。首先,风速的大部分特征(如无风带、信风带、马纬度、西风带等)除南印度洋外大多不平行于纬度。在北半球,它们多是西南—东北走向;第二,北太平洋的赤道无风带和马纬度在大洋的东、西边界处实际上是交汇在一起的,从而形成一个包围信风带的低风环;第三,南太平洋的信风带和西风带都分解成两个相对独立的子系统,分别位于太平洋的东、西两侧。TOPEX 高度计观测结果相对于经典风速分布规律的差异主要反映出南北两半球海陆分布的不对称性以及各大洋周边陆地形态的差别^[11]。

4.2 亚洲季风

图 2 为系统作出的阿拉伯海季风区中心(10°N , 55°E)1993—1998 年间风速随时间的变化图。从图 2

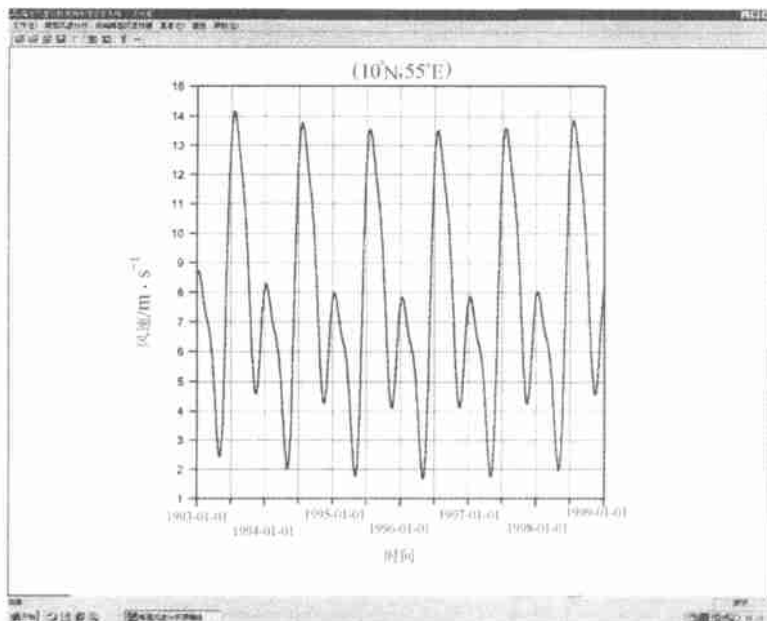


图 2 阿拉伯海季风区中心(10°N , 55°E)1993—1998 年间海面风速随时间的变化
Fig. 2 Variation of sea surface wind speed as a function of time for the Monsoon center (10°N , 55°E) in the Arabian Sea during 1993—1998

中可以看出其风速呈双峰非对称结构,主峰出现在夏季季风活跃的6月,次峰出现在北半球冬季的1月。主峰比次峰高出近一倍的事实表明该区域的气候受季风的绝对控制。

4.3 海面风速年际变化

封四图版 I 图 3 为 1993—1998 年全球海面风速的年际变化图。这期间发生的 1997—1998 特大厄尔尼诺(El Niño)事件是有历史记录以来最强烈的一次^[12]。正如所预期的那样,远远高于平均水平的年际变化率出现在赤道西太平洋和南太平洋辐聚带的部分区域。这些变化基本上分为两个模态,在 El Niño 年为一个模态,非 El Niño 年为另一个模态。正如文献[12]所报告的那样,在 1997 年春季,赤道太平洋中、西部的信风带迅速减弱并发生反向。这些风场异常对于 El Niño 的发生和发展是至关重要的^[13]。在封四图版 I 图 3 中,有些出乎意料的是南太平洋辐聚带以东的高值区,这与赤道东太平洋的低值区形成鲜明的对比。其它年际变化较大的区域位于东北太平洋和东北大西洋以及南大洋的部分海区。值得注意的是印度洋海面风速的年际变化非常低,季风盛行的海区尤其如此。

5 结 论

本系统把遥感和 GIS 技术相结合对 TOPEX 卫星高度计的风速数据进行建模、分析和可视化,使海洋学家能够对从月际到年际尺度的全球海洋风速的结构和变异进行较为系统的分析,有助于提高人们对相关时空尺度的海洋动力过程和气候变化的认识。同时,系统的建立为中国 MGIS 的发展,特别是在遥感与 GIS 在海洋学研究领域中的综合应用方面进行了有益的探索。

目前的系统中仅考虑了海面风速这一关键参数,今后将陆续把卫星高度计数据中的其它参数以及其它海洋卫星传感器获取的相关数据引入系统中。通过各种数据的相互印证与融合,卫星遥感和海洋地理信息系统将在人类研究海洋、认识海洋和保护海洋的过程中发挥更大的作用。

参 考 文 献 (References)

- [1] Cardone V J, Greenwood J G, Cane M A. On Trends in Historical Marine Wind Data[J]. *Journal of Climate*, 1990, **3**: 113—127.
- [2] Kucra. Object-Oriented Modeling of Coastal Environmental Information[J]. *Marine Geodesy*, 1995, **18**: 183—196.
- [3] Wang H M, Hao T Y, Zhang M H, et al. Marine Geographic Information Systems for Synthetically Forecasting Marine Oil and Gas Resources[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2000, **5**(A): (10): 868—872. [王红梅, 郝天珧, 张明华等. 面向海洋油气资源与综合预测的海洋地理信息系统研究[J]. 中国图像图形学报, 2000, **5**(A)(10): 868—872.]
- [4] Fang C Y, Chen G. A TOPEX-Based Marine Geographical Information System for Prediction of Extreme Sea Surface Wind Speeds[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2001, **31**(5): 789—794. [方朝阳, 陈戈. 一个基于 TOPEX 卫星极端海面风速预测的海洋地理信息系统[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, **31**(5): 789—794.]
- [5] Chen G, He M X, Akiyama M, et al. Mean Sea Level and Sea Surface Variability of Eastern China Seas and NW Pacific[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1994, **12**(2): 154—164.
- [6] Chelton D B, Hussey K J, Parke M E. Global Satellite Measurement of Water Vapour, Wind Speed and Wave Height[J]. *Nature*, 1981, **294**: 529—532.
- [7] Chen G. On Retrieving Sea Surface Wind Speed from Satellite Altimeters: Model Functions and an Application Case[J]. *Journal of Remote Sensing*, 1999, **3**(4): 305—311. [陈戈. 卫星高度计反演海面风速——模式函数和应用实例[J]. 遥感学报, 1999, **3**(4): 305—311.]
- [8] Sandwell D T, Agreen R W. Seasonal Variation in Wind Speed and Sea State from Global Satellite Measurements[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1984, **89**: 2041—2051.
- [9] Etcheto J, Banega L. Wide-scale Validation of Geosat Altimeter-derived Wind Speed[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1992, **97**, 11393—11409.
- [10] Stowe K. Exploring Ocean Science[M]. John Wiley & Sons Inc., New York, 1996.
- [11] Chen G. Observation Techniques and Ocean Applications of Satellite Altimetry[R]. Post-doctoral Research Report of Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, 2000. [陈戈. 卫星高度计的观测技术与海洋应用[R]. 中国科学院遥感应用研究所博士后研究报告, 2000.]
- [12] McPhaden M J. Genesis and Evolution of the 1997—98 El Niño[J]. *Science*, 1999, **283**: 950—954.
- [13] Wang C, Weisberg R H, Wimani J I. Western Pacific Interannual Variability Associated with the El Niño-Southern Oscillation [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, **104**: 5131—5149.

Application of RS and GIS Technologies in the Analysis of Global Sea Surface Wind Speed

CHEN Ge, FANG Chao-yang

(*Ocean Remote Sensing Institute, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China*)

Abstract: As the largest source of momentum for the ocean surface, wind affects the full range of oceanic motion and plays a very important part in air-sea interaction. It is recognized that remote sensing (RS) satellite has the capability of acquiring high quality marine winds with fine resolution in both space and time. Meanwhile, geographical information system (GIS) is becoming an unprecedented powerful tool for storing, processing, analyzing, and visualizing geo-spatial data. Jointly using RS and GIS technologies, a marine GIS (MGIS) system based on satellite data is developed for the analysis of global sea surface wind speed. TOPEX altimeter data between January 1993 and December 1998 which cover the oceanic areas within $\pm 65^\circ$ are used as input. An analytical model of wind speed is proposed, on the basis of which seasonal, annual and interannual variabilities (both intensity and timing) are derived. The MGIS consists of five functional modules: A database construction module, a human-computer interface module, a wind speed data preparation and analysis module, a graphic and image production module and a typical illustration management module. The system also includes three data files of model coefficient, coastal line, and typical graphics and images, respectively. A relational database structure is adopted by the system. As examples of the application of this MGIS, results of three thematic cases are presented, namely, the global marine wind climatology, the Asian Monsoon, and the El Niño related interannual wind variability. These applications demonstrate the advantages of jointly using RS and GIS in oceanographic studies. We will continue to improve this MGIS by expanding its functionality and incorporating other key geophysical parameters into the system.

Key words: ocean remote sensing; marine geographical information system; sea surface wind speed; satellite altimeter

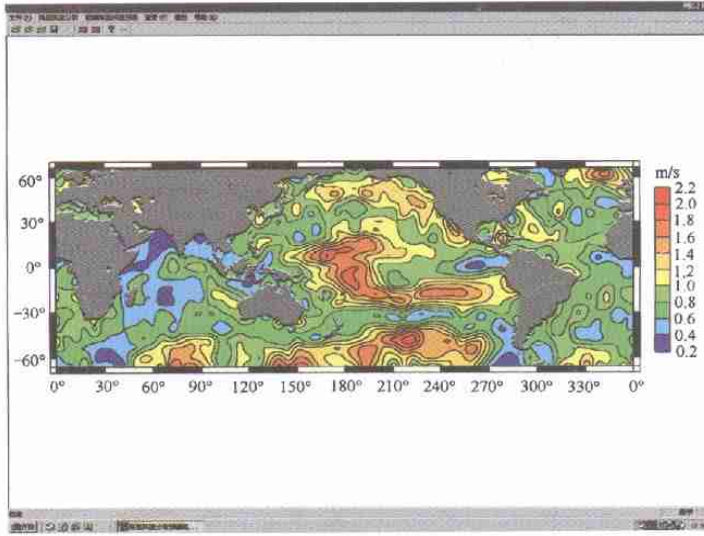


图 3 1993—1998 年 65°S—65°N 间海面风速年际变化分布图

遥感学报

(双月刊 1997 年创刊)

2002 年 3 月 第 6 卷 第 2 期

JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Bimonthly, Started in 1997)

Vol. 6 No. 2 Mar. 2002

中国地理学会环境遥感分会 主办

中国科学院遥感应用研究所

编 辑 《遥感学报》编辑委员会

北京市安外大屯路中科院遥感所

邮编: 100101; 电话: (010) 64889543

主 编 徐冠华

出 版 科 学 出 版 社

北京东黄城根北街 16 号

邮编: 100717

印刷装订 中国科学院印刷厂

总发行处 北京报刊发行局

订 购 处 全国各邮电局

中国国际图书贸易总公司

国外总发行 (中国国际书店)

北京 399 信箱

Editor: Editorial Board of Journal of

Remote Sensing

P. O. Box 9718, Beijing 100101, China

<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical/ygxb/index.htm>

E-mail: jrscas@public.sti.ac.cn

Chief Editor: Xu Guanhua

Publisher: Science Press

16, Donghuangchenggenbeijie Street

Beijing 100717, China

Distributed Abroad: China International

Book Trading Corporation

(Guoji Shudian)

P. O. Box 399, Beijing, China

国内外公开发行人 刊号: ISSN 1007-4619
CN 11-3841/TP

邮发代号: 82-324

国外刊号: Q1002

定价: 14.00 元

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>