

东海水文要素若干统计特性分析

I. 中部陆架区实测流速的统计学分析*

顾传成 蓝淑芳 傅秉照

(中国科学院海洋研究所)

关于我国广阔陆架海区实测流速的统计特性的研究,迄今尚未见到报告。近十余年来,致力于实测流速统计处理的国家计有美、苏、加、法、日和挪威等^[3,4,6]。但是,他们大多数侧重于大洋或深海中实测流速的统计特性研究,对浅海,特别是陆架海区则研究甚少。

流速是海水运动的一个重要参数,其大小与其它水文要素的关系至为密切。实践表明,凡是海流经过的区域,无不同时引起水文要素的局地变化。我国东海水文状况比较复杂,无疑与该海域海流状态(流场)的复杂性有关。例如,黑潮的弯曲与其分支点附近,海洋水文要素的变化特别显著。沿台湾海峡和福建、浙江沿岸方向,自西南向东北或东北北运动,有时逼近长江口的台湾暖流水,影响着东海浅水区(125°E以西)的锋面位置、水温的正梯度型分布,以及东海中层冷水型的成长与消衰等等^[2],其中又以海流对密度/盐度细微结构的生长与消衰的影响最为显著。要比较完整地确定这些影响颇为艰难,尤其对这个海域的海流全貌尚不十分清楚的时候。因为它们经常涉及整个流场及其时-空的变化。目前,除了关于海流的动力学及其空间结构与时间变化的研究之外,关于实测流速的统计特性的研究,正在引起人们的重视。后者是从描述统计学的观点进行海流研究,与前者研究方法迥然不同。

关于实测流速统计特性的研究,目前大致可分为两类。一类主要研究实测流速分量和流速值的分布特性^[5,6]。另一类主要研究实测流速值的谱特性^[3,4,7]。由于实测流速值的谱性质与海洋内波、行星波以及海洋湍流的关系极为密切^[10,11,12],后类研究在本世纪七十年代取得了迅速发展。

本文试图从描述统计学的观点,就以上两个方面探讨我国东海中部陆架区实测流速的若干统计特性。

一、测 量

本文用于统计分析的实测流速数据来源于两个方面。一是取自本所 1977 年度“金星”轮调查所得的观测资料,本文仅取该年度调查中相邻两个测站 D₇ 和 F₇ 上记录的海流速度数据进行分析。D₇ 站和 F₇ 站分别临近黑潮水和混合水。两站观测时间相近,仅间隔七天,观测期间天气条件相同。所用仪器为国产 HLT₁₋₁ 型海流计。观测选取 5 和 15 分

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 656 号。

收稿日期: 1980 年 10 月 7 日。

钟两个时间间隔,自近表层(5米)以下选取5—7个层次。测量方式,除 D_7 站的 10 和 75 米层外,均采用单层系留法。其优点是安全可靠,特别是当测站海流具有明显的层状结构特征时,大大减少了上、下层间的相互作用。在 D_7 站的 10 和 75 米层的海流观测试验了单索多层系留法,遗憾的是没能取得成功。最后用于统计分析的是这两个测站合计 11 层次上记录的流速数据,数据累计数超过 4000 项。

第二个来源是本所 1964 年度“金星”轮调查所得的观测资料。文中仅选用了 30003 站的观测数据。该站位于舟山群岛以东,临近大陆。所用仪器是传统的厄克曼海流计。观测间隔为一小时。此次调查时间较长,共取得了 15 个昼夜的观测数据。测量分 6 个层次进行,数据累计数为 2000 余项。

表层海流的观测均使用最简单的双联浮筒观测方法,此种方法带进的人为误差较大,因而在本文统计处理中表层数据均予屏弃。

D_7 和 F_5 两测站的统计数据都是在较短的时间内获取的,时间序列数据的自相关程度比 30003 站的高些,因而每一层次上数据间的独立性程度相对地低些。然而,我们的统计分析是以每个测站上所有层次的观测数据为基础,分析的结果表明, D_7 和 F_5 两测站上各个层次间的独立性程度较高。由此,可以认为我们的观测数据基本上符合绝大多数统计处理对单个数据抽样独立性的要求。相反, 30003 站各个层次上数据的自相关程度相对地低一些,每一层次上数据间的独立性程度就相对地高些;但是,计算结果表明,该站各个层次间的独立性程度相对地低些。由此不难看出, D_7 和 F_5 站海流的层化现象较 30003 站显著。

由 D_7 , F_5 和 30003 三个测站组成的三组观测数据是在不同的时间和地点获取的,且由下节分析可以看出,这三个测站上的平均海流和水文状况也很不相似。这些均表明这三组观测数据间的独立性程度较高,符合统计处理的要求,因而在统计分析中得出的相类似的结果(尽管是初步的)具有一定的代表性。

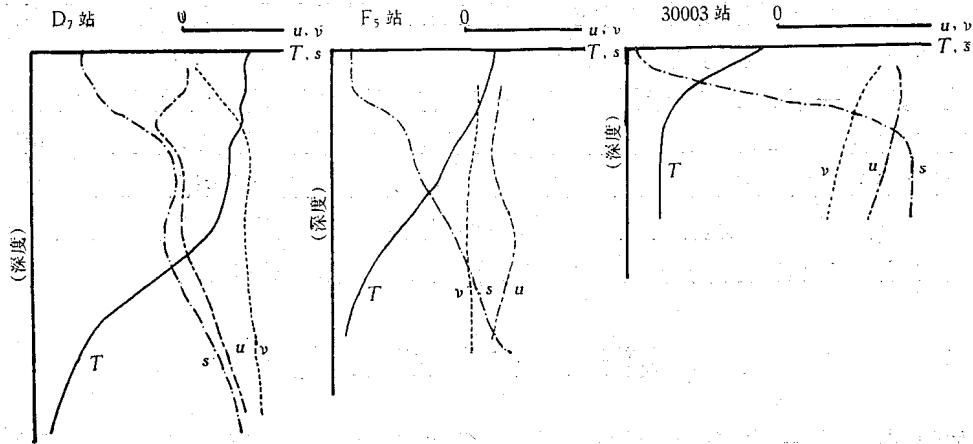
二、观测期间平均水文状况的分析

东海濒临大陆,水深变化较大;东、南两侧为岛屿包围,与太平洋有着一定程度的隔离;北部与黄海相连;西侧海岸曲折,多岛屿,且有入海径流;外侧有洋流注入。因此,本海区的水文性质在一定程度上具有独立的特性。

有关东海海域水文状况的基本特征,已有许多详尽论述。以下仅就本文引用数据观测期间的平均状况作简要说明。

图 1 分别描绘了 D_7 , F_5 和 30003 站平均水温、盐度和流速分量的垂直分布曲线,它们反映的均是夏季增温季节出现的特性。

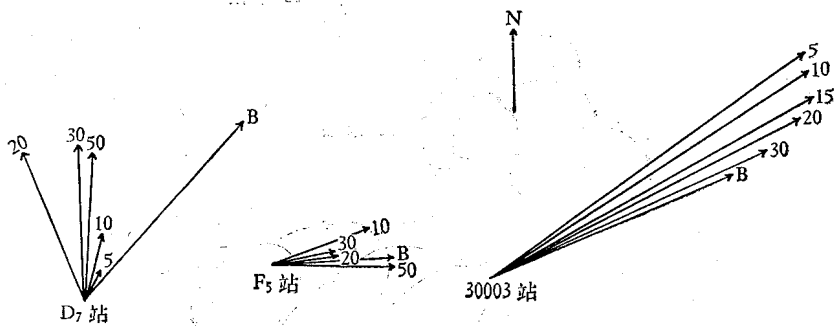
关于平均流速分量的情形,图中 $\bar{u}$ 表示实测流速东分量的平均值, $\bar{v}$ 表示实测流速北分量的平均值。由图可知, F_5 和 30003 站各个深度上平均实测流速东分量均大于北分量, D_7 站则相反。在 D_7 和 F_5 站上,平均北分量随深度的变化不大,水深大于 20 米时,几乎均匀一致。30003 站上平均流速的二个分量均随深度的增加而缓慢地减小,且变化趋势接近一致,水深大于 10 米时,两条曲线几乎平行。除 D_7 站的平均东分量在水深小于 50


 图 1 D_7 , F_5 和 30003 站平均水文特性与水平流速分量垂直分布

米时为负值(亦即指向西)外,其余均为正值。

三个测站的平均温度垂直分布的大致情形由图可知： F_5 站可以简单地视为一层模式——缓变型——的温度垂直分布，温度随深度缓慢地减小； D_7 和 30003 站则可按二层模式划分， D_7 站是上均匀层和下缓变型的二层模式；30003 站则相反，为上缓变型和下均匀层的二层模式。

平均盐度垂直分布的情形与平均温度垂直分布的情形相仿。 F_5 和 30003 站可视为二层模式，前者是上均匀层和下缓变型的二层模式的盐度垂直分布，后者则是上跃层型和下均匀层的二层模式。 D_7 站的情形有些特异，在缓变型的一层模式中间稍微隆起（20 米附近深度上），呈现高盐特性。这个特征也许可以从该站各层平均流速的分布上寻求解释。图 2 指出了 D_7 , F_5 和 30003 站各个深度的平均流速分布。由图可知， F_5 , 30003 和 D_7 （除


 图 2 D_7 , F_5 和 30003 站各个深度平均水平流速分布

20 米层外) 三站各个深度上平均海流的流动方向分别变动在夹角 27° 、 12° 和 42° 范围内。可以粗略地认为，它们各自指向一个方向，即， F_5 站指向 ENE，30003 站指向 NE， D_7 站(除 20 米层外)指向 NNE，而 D_7 站的 20 米层却独自指向 NNW。

从平均海流强度来看，以 30003 站为最大，且随深度之增大有次序地减弱，但变化不太大。其次是 D_7 站，除水深 10 米以内强度较小外，中间深度上平均海流强度几乎相等，

但底层的特别大,这与陆架中部其它区域近底层海流强度由于底摩擦作用一般地不大的情况恰好相反。相对地说, F_5 站的强度较小。

现在,解释一下 D_7 站20米层附近呈现高盐特性的问题。该站临近黑潮主干海区,其平均海流的方向(除20米层外)稍偏离黑潮主干的流动方向,于是20米层的平均海流方向与黑潮主干几乎构成直角。这个方向的海流源源不断地将黑潮主干附近的高盐水沿垂直于黑潮主干的方向搬运,亦即自东向西,由外侧向内侧搬运。搬运的结果就在这里形成了盐度垂直分布上的高盐隆起。如此解释是否确切,尚待进一步探讨。

三、实测流速矢量位移曲线分析

如同其他海域一样,在我们的观测站上,多数实测流速记录表明,存在着振荡周期接近局地 $\frac{1}{4}$ 摆日的惯性运动。图3和图4分别描绘了 F_5 和 D_7 站实测流速矢量位移曲线。这种图通常称作前进矢量图,它是按每小时的平均流速,求得每小时之位移,再以图算法逐步相加制作的。我们这里则是按每0.5或1小时实测流速求得位移,进行矢量相加而制作的。由于制图时没有消除潮流,因此,曲线表征的位移是“实”位移。由图可知, D_7 和 F_5 站实测流速位移曲线,除了因处北半球而均沿顺时针方向回转(右旋)外,差异甚显著。如同 Sverdrup 等^[9]一样,若假定观测到的运动代表水团所在海区内的运动情形,那么,实

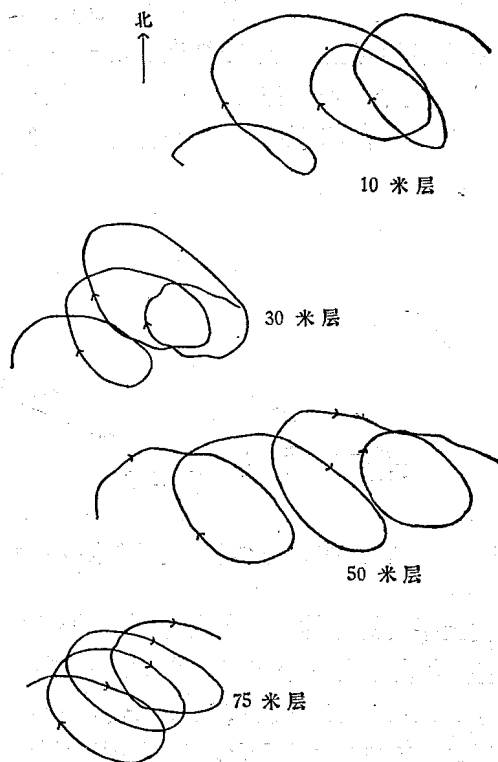


图3 F_5 站水平流速矢量位移曲线

测流速矢量位移曲线便表示该水团的路径。F₇ 站各个深度上实测流速矢量位移曲线十分相似。它表示该地水团运动的总方向均指向 ENE，运动形式比较简单，主要是向右旋转的回转运动。回转周期从表层到底层均接近局地 $\frac{1}{4}$ 摆日。同一曲线上回转幅度基本不

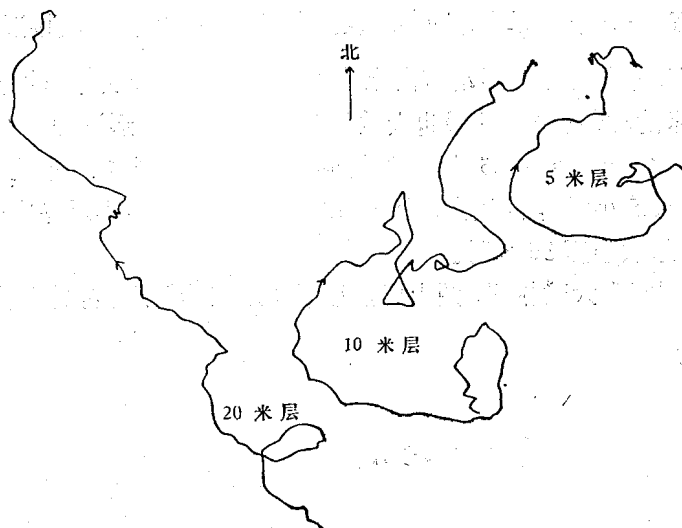


图 4a D₇ 站 5—20 米层水平流速矢量位移曲线

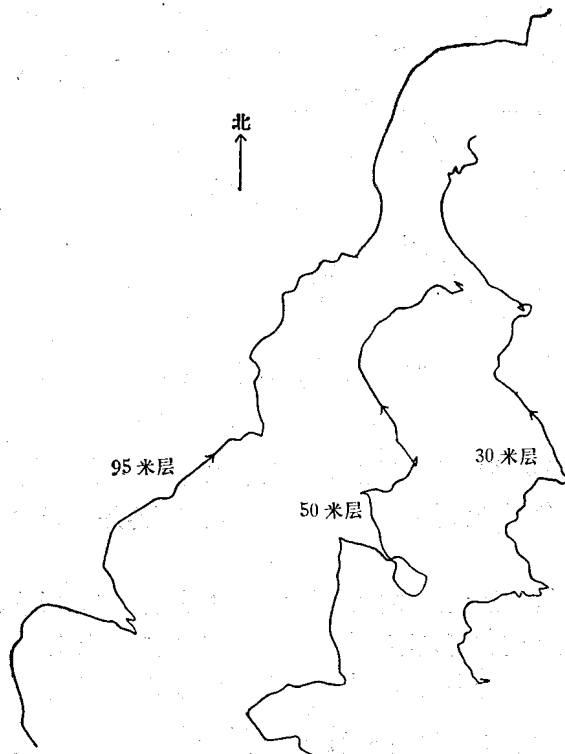


图 4b D₇ 站 30—95 米层水平流速矢量位移曲线

变,但各层之间有较大的差异。

D₇ 站的情形较 F₂ 站复杂,按曲线形状可以分成两种类型,深度小于 20 米的是一种,深度大于 20 米的又是一种类型。这充分显示该地海流的层化现象。大于 20 米的各个深度的实测流速矢量位移曲线表明,水团运动按图 4 所示方向前进,曲线上出现几个歧点(cusping),偶而有 1—2 个小环(looping)。歧点之间的平均时间长度接近局地 $\frac{1}{4}$ 摆日。这类运动有点类似于迭加在平均运动方向上的“摆线运动”。小环经历的时间长度约为 8 小时。在小于 20 米的均匀层内,曲线也大致相似,它们按“C”形运动。例如 10 米层,从观测开始时刻起向北运动,经过 5.5 小时后,折向南运动,又经过 5 小时回到起始状态,构成一个环形(费时 10.5 小时),此后向西运动 4.5 小时,又过 8.5 小时完成一个“8”字形运动。这样的运动总共经历 36 小时。

30003 站各层情形大致相似,图上仅描绘了 5 米层的情形,亦即曲线 I—IV。它的运

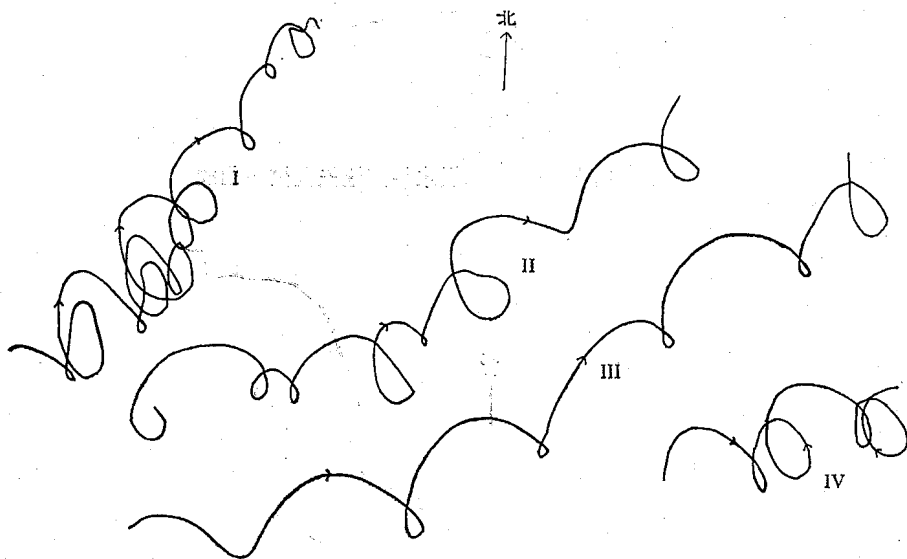


图 5 30003 站 5 米层水平流速矢量位移曲线

动形式更为复杂,但仍然清楚地显示出这是上述二种运动形式的迭加结果,且迭置的向右回转运动的幅度有时急增,有时剧减。作者揣测,这可能是由于该站濒临大陆,受到地理条件影响的原故。

按照图 3—5 所示,若假定水文状况的变化主要是海流的影响,则不难设想, F₂ 站上水文状况随时间的推移变化将是不大的,而 D₇ 和 30003 站上水文状况的变化相对地要显著些。这是因为前者的运动在接近局地 $\frac{1}{4}$ 摆日的周期内将“复位”到初始状态,后者则相反,它们将不断地向前推移。也就是说,前者的海水性质比较“保守”,后者则不断地“补充”与“更新”。由图可知, F₂ 站的近底层和中间层(30米)最为“保守”。

四、实测流速的正态性分析

根据以上分析可知,东海中部陆架区不同位置上流速的(时间)变化存在很大差异,海流结构比较复杂。但是,描述统计学的目的之一,在于从大量的数据中提取若干富有代表性的特征。本节试图探讨一下东海中部陆架区不同地理位置上实测流速(值)共同的分布特征。

一般地说,实测流速的经验分布不呈现明显的规律性,但是,经过以 10 为底的常用对数变换后,实测流速的经验分布就呈现规律性,接近或者就是正态分布。例如,应用大型浮标测量的流速数据,推算出了 25—1200 米 10 个深度上流速分量的经验分布,证明在密度跃层以下的深度上的分布基本上是正态的^[5]。Mahaffy 在前人研究的基础上,更深入地研究了 29 组海流记录时间序列,证明对数-流速值分布可以看成是一组平均对称分布的曲线,此种分布一般是正态的;并指出平均分布呈现的微小的系统偏差,可能是由数据中的暂时现象所造成。同时对 1904—1945 年间 50 组船舶漂移记录作了相同的研究,发现(作了必要的变更之后)其分布特性与海流计测得的一致。虽然船舶漂移数据表明,海区和季节对流速变动有影响,但是,并不影响对数-流速的分布特性^[6]。

前已指出,上述研究中应用的海流计记录均是在大洋或深海中测量的。对于水深在 0—200 米以内的浅水区的情形没有涉及。为了使海流计时间序列数据的研究扩展到深度急剧变化的陆架海区,本文对东海中部陆架海区不同位置上 3 组海流计记录进行对数-流速值正态性的初步分析。

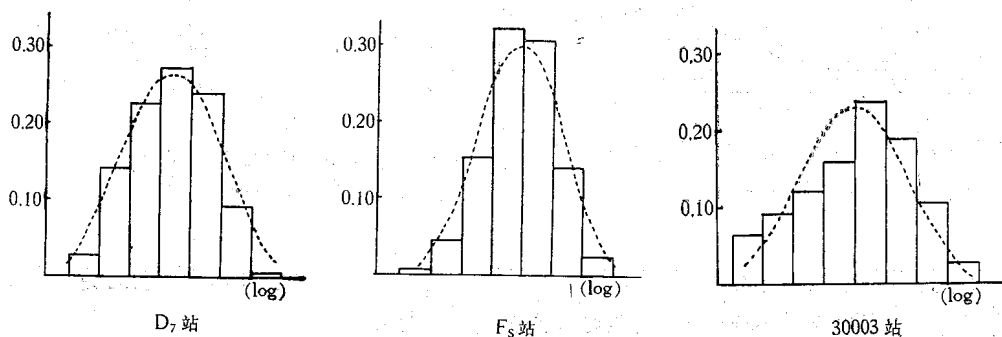


图 6 D_7 , F_5 和 30003 站对数-流速相对频数分布直方图

图 6 是根据 D_7 , F_5 和 30003 站海流计记录的流速,经过常用对数变换后,进行初步统计处理获得的结果。由图可知,这三个测站上对数-流速分布近似地具有正态分布的性质。以下应用统计方法进行检验。

在统计学上关于数据序列正态性的分析,通常取两个基本途径中的一个。一是依照每个累积概率分布的标准差记录和绘制测量数据的对数分布与理论对数-正态分布之间的差值曲线。如果经验对数分布是正态的,差值应为零。另一途径则是运用已知统计量,根据分布的头四个矩推出平均值、标准偏差、偏度系数和峰度系数。

我们采用更简便、有效的直观判别方法,即利用正态概率的特殊坐标纸,其横坐标是

普通刻度,纵坐标按正态分布规律刻划,按照规定的方法在正态概率纸上打点。显然,如数据遵从正态分布,这些点应该在一条直线上^[4]。由于样本的随机波动,多少有点偏差是允许的,但偏差不能过大。一般地说,中间点离直线的偏差不能过大,两端的点偏差可稍大些。图7描绘了 D_7 , F_5 和 30003 站海流计记录的对数-流速分布的正态性特征。由

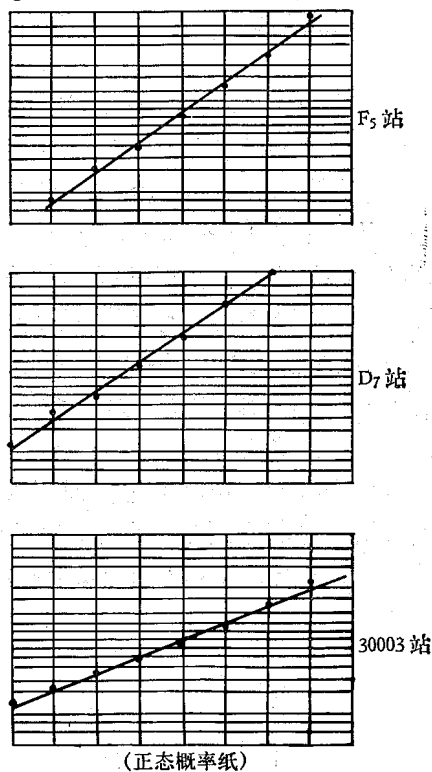


图7 F_5 , D_7 和 30003 站对数-流速分布的正态性检验

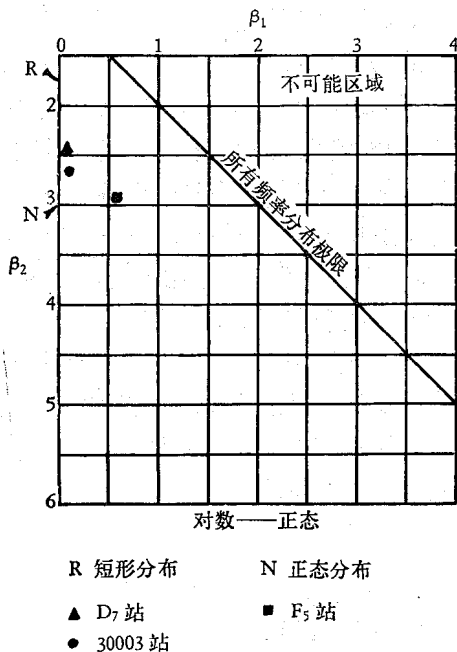


图8 D_7 , F_5 和 30003 站对数-流速的 β_1 , β_2 值的 Pearson 图

图可知,观测点分布在直线的附近,只是两端偏离稍大些。由此可初步得出结论,东海中部陆架海区对数-流速的分布近似地遵从正态分布规律。

由图还可以近似地估算平均值($\bar{x}$)和标准偏差(σ)。表1列入根据图上直线估算的平均值和标准偏差,同时列入根据数据计算的头几个矩、标准偏差,以及偏度和峰度。偏度系数和峰度系数分别按式 $r_1 = \sqrt{\beta_1}$ 和 $r_2 = \beta_2 - 3$ 计算。由表可知,利用正态概率纸得出的平均值和标准偏差与计算值十分接近。

还可以利用确定数据分布类型的另一种方法——Pearson 图法,检查对数-流速分布的正态性。这是一种由偏度系数的平方(β_1)对峰度(β_2)制成的图。显然, β_1 , β_2 空间的不同区对应于不同的理论分布曲线^[8]。正态曲线的 β_1 和 β_2 值分别为 0.0 和 3.0,因此, $[0, 3]$ 值周围的点群是对数-流速分布正态性优度拟合的一个指标。由图8可知,对数-流速时间序列数据的三个点靠近 $[0, 3]$,这表明东海中部陆架区实测流速数据的统计

表 1 D_7 , F_5 和 30003 站对数-流速分布的综合统计特性

站号	平均值 $\bar{x}$	标准偏差 $\hat{\sigma}$	计 算 值						
			平均值 $\bar{x}$	m_2^*	m_3	m_4	$\sigma = \sqrt{m_2}$	偏 度 $\beta_1 = \frac{m_3}{m_2^{3/2}}$	峰 度 $\beta_2 = \frac{m_4}{m_2^2}$
D_7	1.433	0.119	1.48	0.0158	0.0001	0.0006	0.126	0.0256	2.4
F_5	1.583	0.111	1.64	0.0131	-0.0004	0.0005	0.115	0.7272	2.94
30003	1.55	0.18	1.55	0.0343	-0.0023	0.0031	0.185	0.1290	2.64

* m_i 表示 i 阶中心矩

处理,得出的是一个接近正态的分布。如与文献[6]的结果进行对照,不难看出,大洋流速值对数时间序列数据的点相对地分散得远些,虽然大多数点靠近点[0, 3]。

五、实测水平流速脉动能谱分析

本节采用描述统计学中广泛运用的谱分析方法,研究实测流速的统计特性。经验证明,谱分析方法在海洋学的研究中是极有成效的。海洋学观测的一般特征是,观测数据序列通常不长,且不连续;这些对实测流速的统计分析的结果有相当的影响。由观测数据计算谱的方法颇多,本文采用 Blakman-Tukey 方法,即是通过对相关函数作富氏变换计算功率谱密度函数的标准方法。该方法要求随机数据是平稳的,就是说,当一系列随机数据的长度变化时,它的平均值仍然保持不变,此时自相关函数只取决于迟滞(时延量),而与其所在位置无关。因此,若所考虑的随机数据序列具有非周期性的分量,亦即所谓趋势,那末该序列便不是平稳的。但是若事先消除这个非周期分量,最后得到的序列在大多数情形下是平稳的。考虑到目前海洋学观测的上述弱点,加之在本文研究的海区这样特定的环境中获取的数据,尤其是流速值,具有较为明显的周期特性,本文便径直地假定实测流速数据是平稳随机的,或者准平稳随机的。

在谱函数的实际计算工作中,最大时延量的选择十分重要。自然选取的最大时延量越大,算得的谱函数所揭示的统计信息越多,但是随机误差的概率也随之变大。本文与其他作者一样,选取最大时延量等于观测数据长度的十分之一。这样便足以使算得的谱函数得到统计学上的保证,亦即选取自由度接近于 20。

本文计算了以上三个测站共 17 个层次上水平流速脉动能谱 $S_E = (S_u + S_v)/2$ (这里 S_u 和 S_v 各自相应于纬向和经向流速脉动分量谱)。以下是功率谱密度计算结果在常用对数坐标纸上反映出的若干统计特性的初步分析。

图 9 和图 10 描绘了 F_5 站不同深度上水平流速脉动能谱。由图可知, F_5 站 5 个层次的谱均有一个显著的统计谱峰,且在同一频率 ($\omega \approx 2 \times 10^{-4}$ 秒 $^{-1}$) 上,同时脉动能量也几乎在同一频率 ($\approx 10^{-3}$ 秒 $^{-1}$) 上显著地跌落(约为峰值能量的 25—33%)。在高于 10^{-3} 秒 $^{-1}$ 诸频率上,脉动能量变化不大。这意味着水平流速脉动运动的形态比较简单。由图还可以看出, F_5 站各个深度上谱的形状十分相似。图 9 上绘制的是小于 70 米诸深度上

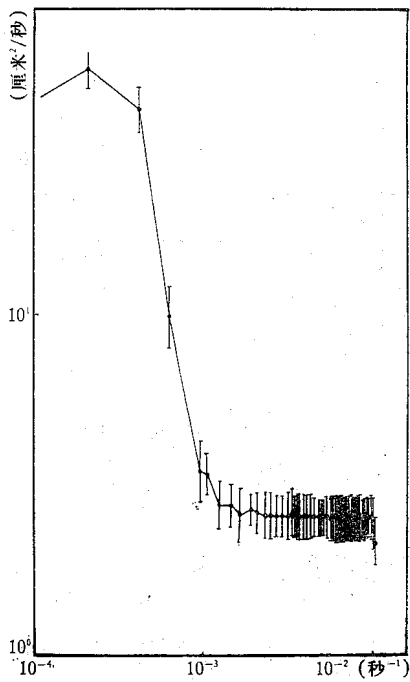


图9 F₅站小于70米诸深度上平均水平流速脉动能谱函数

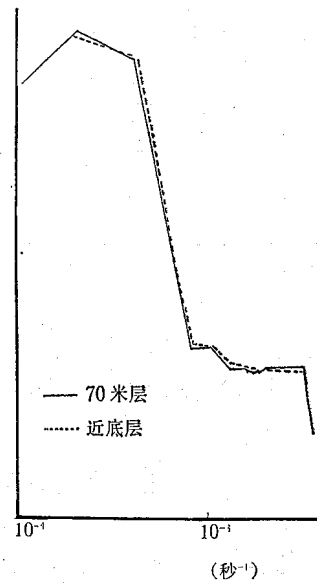


图10 F₅站70米层和近底层水平流速脉动能谱函数

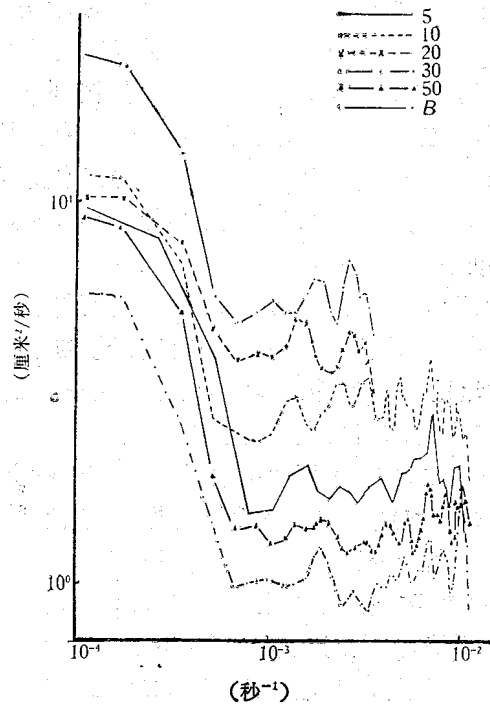


图11 D₇站诸深度水平流速脉动能谱函数

平均水平流速脉动能谱,短竖线表示偏离范围,最大偏离约为统计峰值的1%。图 10 则是 70 米层和近底层 (≈ 80 米) 的谱曲线,它们的绝对值不同,曲线几乎完全重合,与图 9 上的情形一样。这些似乎表明,在混合水中可以依靠任一深度上水平流速脉动谱揭示其某些统计特性。

图 11 描绘了 D_7 站 6 个深度上水平流速脉动谱。这些曲线与 F_2 站的相类似,虽然没有明显的统计谱峰,但是脉动能量集中在 $\leq 2 \times 10^{-4}$ 秒 $^{-1}$ 的频率上,且在 $(5-10) \times 10^{-4}$ 秒 $^{-1}$ 频范围内显著地跌落(减到 20—50%)。在 $> 10^{-3}$ 秒 $^{-1}$ 的频率上,错落地出现几个谱峰。由图可知,对应于相同频率的各个深度的脉动能量是不同的,近底层最大,其下依次为 20, 10, 50 米层,30 米层最小。除此之外,不呈现任何规律性。这表明, D_7 站由于其特定的地理位置受到强大黑潮暖流的巨大影响,因而水平流速脉动运动显得较为复杂。

图 12 描绘了 30003 站 6 个层次的谱曲线。由图不难看出,这些曲线均在频率为 1.4×10^{-4} 秒 $^{-1}$ 和 2.8×10^{-4} 秒 $^{-1}$ 上出现显著的统计谱峰。特别有意义的是,深度为 5, 15 和 20 米的三条谱曲线,还在同一频率 6.5×10^{-5} 秒 $^{-1}$ 上出现一个显著的统计谱峰,且其拥有的能量随深度而逐渐增加,由 0.43(相对于 5 米层第一个显著峰值)增加到 0.99(相对于 20 米层第一个显著峰值);但是,在它们之间的 10 米层,却没有这样的峰值出现。这非

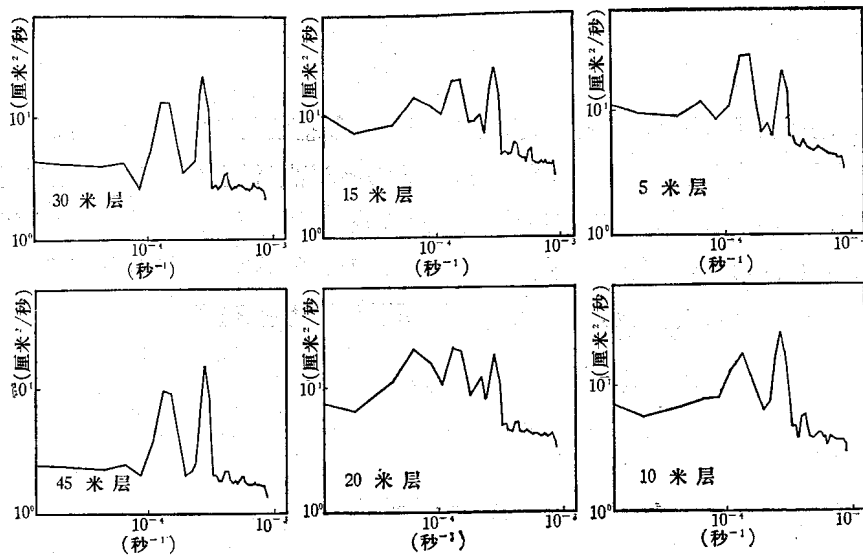


图 12 30003 站水平流速脉动能谱函数

常耐人寻味,值得今后进一步探讨。

由以上讨论可以看出,东海中部陆架海区不同位置上的谱特性与谱的形状是各不相同的,这除了表明东海陆架中部海区海流的结构较为复杂外,还证明这个海区存在着几支海流。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院数学研究所统计组编, 1973. 常用数理统计方法. 科学出版社, 262 页。
- [2] 翁学传等, 1983. 东海西北部海水温、盐度结构初步探讨. 海洋科学集刊 21:49—61。
- [3] 小長俊二、西山勝暢、小泉宗三郎和渡辺明, 1978. 伊東における流速の変動について(I)。海と空53(4):1—14。
- [4] ————, 1978. 伊東における流速の変動について(II)。海と空54(2—3): 1—14。
- [5] Belyayer, V. S. and R. V. Ozmidov, 1971. Distributions of velocity components in the ocean. *Atmospheric and Oceanic Physics* 7: 528—533.
- [6] Mahaffy, L. A., 1974. Investigation of the statistics of ocean current speeds. AD/A-001293.
- [7] Paquette, R. G., 1972. Some statistical properties of ocean currents. *Ocean Engineering* 2: 95—114.
- [8] Pearson, E. S., 1966. The Selected Papers of E. S. Pearson. University of California Press, Berkeley and Los Angeles.
- [9] Sverdrup, H. U., M. W. Johnson and R. H. Fleming, 1946. The Oceans: their physics, chemistry and general biology. New York. Prentice-Hall, pp. 1049.
- [10] Warsh, K. L., K. L. Echternacht and M. Garstang, 1971. Structure of near-surface east of Barbados. *Journal of Physical Oceanography* 1(2): 123—129.
- [11] Коротаев, Г. К. и Н. А. Пантелеев, 1977. Гидродинамическая Неустойчивость внутренних волн в океане при нестационарном сдвиге. *Физика Атмосферы и Океана* 13 (10): 1044—1054.
- [12] Мировпольский, Ю. З. и В. Г. Нейман, 1974. Внутренние волны и температурная микроструктура в Тиморском Море. *Физика Атмосферы и Океана* 10 (11): 1181—1193.

AN ELEMENTARY ANALYSIS OF OCEANOGRAPHIC BASIC ELEMENT'S STATISTICAL PROPERTY IN THE EAST CHINA SEA I. STATISTICAL RESEARCH OF MEASURED CURRENT VELOCITIES ON THE MID-PROVINCE OF THE CONTINENTAL SHELF*

Gu Chuancheng, Lan Shufan and Fu Bingzhao
(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

Starting from the modern descriptive statistics, which means a technique for collecting, summarizing and analysing data, the authors investigated the statistical characteristics of the measured current velocities in the mid-province of the continental shelf. By statistically analyzing the measured current velocities for a period of 2—15 day-night cycles in summer, the following main results are obtained: (1) the logarithmic current speed distribution curves for the Mid-province of the continental shelf, as well as for the Deep-sea and Ocean, approximate to a normal distribution; and (2) all of the fluctuation energy of the measured current velocities at all levels in our stations was mainly concentrated within circular frequency (10^{-3} — 10^{-4}) sec^{-1} .

* Contribution No. 656 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.