

南黄海近表层实测流速谱研究*

顾传成 蓝淑芳 付秉照

(中国科学院海洋研究所)

南黄海浅水陆架区是我国重要经济海域之一,对该海域海流结构的研究是研究陆架环流的一个重要环节。虽然关于这项研究的论著颇多,但根据描述统计学方法研究中国海海流结构的论述至今却极少。本文根据我国海洋地质调查局较长时间的海流观测资料,以描述统计学的分析方法,对南黄海实测流速的统计特征进行了初步分析。

文中引用的实测流速数据的观测站分布于偏近我国的南黄海陆架上。共选取三个观测站,分别以A, B, C标示,三者近似地呈等腰三角形分布, A, B站的连线近似地与经线平行。观测日期颇长,分别是1975年4—5月, 1976年4—8月和1977年4—7月。本文着重研究南黄海近表层(5米层) 4—6月实测流速谱的特性,所以,统计分析结果反映的是南黄海近表层海流在春夏交替季节的特性。实测流速数据的采样时间间隔均取每15分钟一次。观测仪器系国产HLP₁-1印刷海流计。各观测站上截取的观测数据组数见表1。

表 1

数据组 站号	n_1	n_2	n_3	$n_4^\dagger$
A	566	621		1187
B	1429	2282		3711
C	1294	1184	4109	6587

$$^\dagger n_4 = \sum_{i=1}^3 n_i \quad (n_i \text{——第 } i \text{ 个数据组})。$$

一、关于浅海陆架区实测流速数据随机平稳性讨论

作者在前文^[1]进行谱计算时,曾径直地假设,我国浅海陆架区实测流速数据是随机平稳或者准随机平稳的。这是依据描述统计学处理海洋学要素观测数据时经常采用的方法。这一假设的真实性和代表性如何,似需深入的研究。这里我们仅通过实际的运算

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第856号。收稿日期:1982年9月3日。

予以示性检验。

本节选取南黄海陆架区 B 和 C 站上 5 组实测流速数据进行试验。文中有关谱的计算方法基本与前文相同;略有不同之处是:前文采用标准方法计算了水平流速两个分量(东分量和北分量)的脉动能谱,本文则直接地计算水平流速的脉动能谱。首先对 B 和 C 两个观测站上 5 组观测数据分别进行了谱计算。然后将 B 观测站的 2 组观测数据和 C 观测站的 3 组观测数据分别进行组合,再进行谱计算。最后将计算结果分别进行比较。当海洋中某参数的测量数据是随机平稳或者准随机平稳的时候,关于这个参数的测量数据的任何组合,若其样本长度满足统计学分析的要求,将不会影响最后的结果。换言之,计算的谱曲线的形状应是相似的,从谱曲线图上反映的统计特性应是相同的,因为它们所反映的(物理)现象本身就是统一的。

图 1 所示是 C 观测站上两组实测流速数据序列经 DJS-6 计算机处理的结果。图中上方的谱曲线是 C 观测站的第 3 组观测数据序列算得的;下方的谱曲线是由该站 3 个数

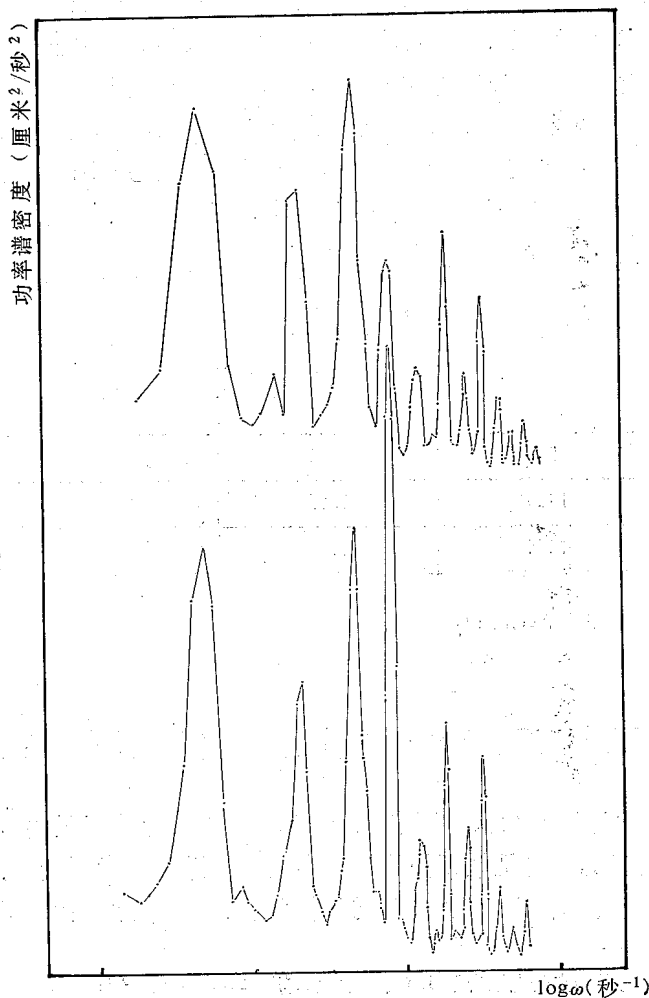


图 1 C 观测站上实测水平流速脉动能谱

据组总计 6587 个观测数据经过组合后算得的。由图可知,两条实测流速水平脉动能谱曲线的形状十分相似,它们所反映的 C 观测站实测流速的统计特性基本上是相同的。同样,图 2 所示是 B 观测站上两组实测流速数据序列算得的谱曲线。图中上方的谱曲线是 B 观

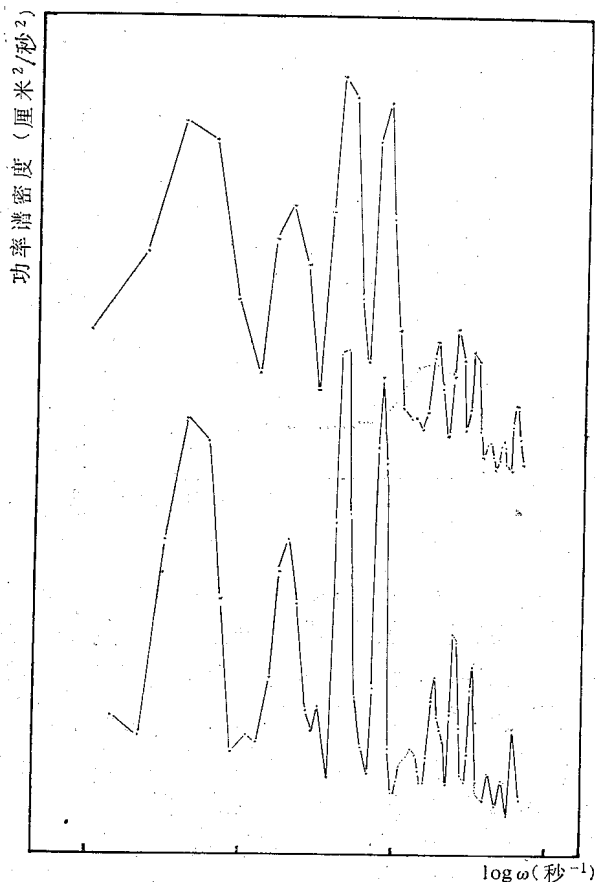


图 2 B 观测站上实测水平流速脉动能谱

测站的第 2 组观测数据序列算得的;下方则是由该站两个数据组的 3711 个数据,经过组合后算得的谱曲线。图中两条实测流速水平脉动能谱曲线的形状也极其相似,它们反映的统计信息也是相同的。这些实例性检验的结果似乎表明,关于我国浅海陆架区实测流速数据序列,如同深海大洋的一样,是随机平稳或者准随机平稳的假设是可以接受的。

二、关于采样容量和记录长度选取

不言而喻,在进行海洋学要素的统计学分析时,截取的观测数据序列愈长,它蕴含的统计信息就会愈丰富。但是,海洋学观测实际上不可能无限地连续进行下去。当观测(或采样)的时间间隔 Δt 确定后,仅要求一定长度的实测流速的观测数据序列,便可以揭示某频率范围内实测流速的统计特性。这一点在图 1 和图 2 均可清楚地看出来。图中上、下两条谱曲线根据的观测数据序列不同,相差几近一倍,但是计算结果并没有显著的差异

(在相应的频率上)。图3所示是A观测站上两组实测流速数据序列组合后算得的谱曲线。由于观测数据序列过短,图中谱曲线尚不能清楚地反映出该观测站上海流速度的统计信息。由此可见,研究观测数据序列的较确切长度,亦即采样容量(N)和记录长度

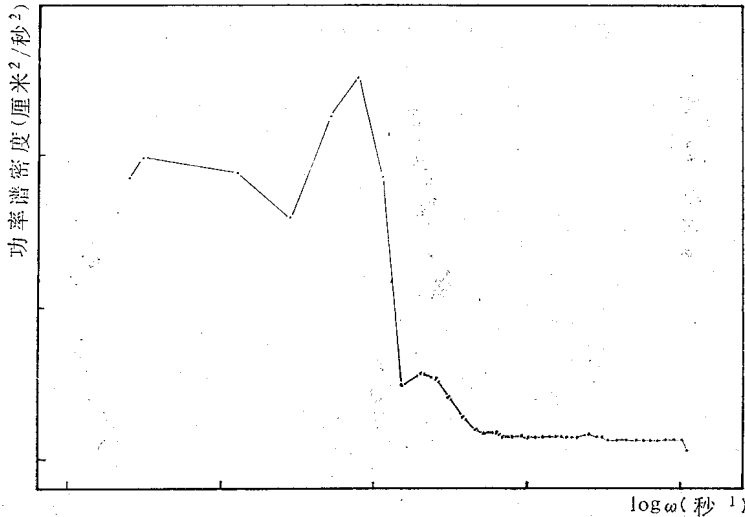


图3 A观测站上实测水平流速脉动能谱

(T_r),在经济上抑或科学上均具有重要意义。

由现代随机数据的测量理论和分析方法^[2,3]可知,如果海洋观测数据序列是每隔 Δt (时间间隔)完成一次观测的不连续观测序列,亦即统计学上采样率为每秒 $\frac{1}{\Delta t}$ 个子样的

离散型采样方法得到的观测数据序列,便可以构成

$\frac{1}{T_r} - f_N$ 频率范围内的谱

函数。其上限(最高频率)仅与相邻两次观测的时间间隔 Δt 有关,而与观测数据序列的长度无关。因此,进行海洋学观测之前必须认真考虑采样时间间隔 Δt 的选择。因为绝大多数海洋学观测数据是不连续地获得的, Δt 不能任意选择,它经常为使用的海洋学观测仪器所制约。目前我国海洋学调查中使用的常规观测仪器,附有一个时间控制器,有几种时间间隔可供选择,均以分、小时为计时单位。现代较先进的C/STD和测流仪器扫描时间则只需几十毫秒,最长也仅几秒钟,完成一次观测的时间很短。通过不同的采样间隔,可以研究不同频率范围内功率谱的统计特性。如果观测资料累积很多,便可将频率分段功率谱加在一起研究,找出所观测海区海洋学要素典型的代表性频率范围内功率谱的统计特性。

两次观测间的时间间隔 Δt 选定后,根据给定的频差 Δf 确定基频的宽度 $B\left(-\frac{1}{2m\Delta t}\right)$,

括号中的 m 是相关滞后值的最大数。据此, $\left(\frac{1}{T_r}, f_N\right)$ 频段便可分割成若干个子频段。相应于这些子频段,可以计算一个谱函数值与之对应。原则上 m 愈大谱的统计信息愈丰富,但是, m 取得过大,随机误差的概率会随着增大,直接影响计算谱函数值的精度。因此, m 应取一个适中的值。由于邻近频率相互间的影响,频差为 Δf 的振动完全被分离是不可能的;在近似条件下,可认为二倍于基频宽度的振动可以分辨开来。也有主张四倍于基频宽度的,例如Munk。这就是统计学中进行功率谱计算时希望的等效分辨带宽 B_e 。利用相关滞后值的最大数 m 与 B_e 间的关系 $\left(B_e = \frac{1}{m\Delta t}\right)$,便可确定 m 值。如果在统计学分析前,给定谱估计的精度(常用标准化标准误差 ϵ_r 描述),便可通过以下公式确定采样容量(N)和最低记录长度(T_r):

$$N = \frac{m}{\varepsilon_r^2}, \quad (1)$$

$$T_r = N \Delta t \quad (2)$$

三、南黄海近表层水平流速脉动能谱分析

浅海陆架区流场由于受海岸形状与海底地形的严重影响,经常呈现复杂性和多变性。从统计学观点来看,这意味着浅海陆架上的海水运动是许许多多不同频率的运动叠加、相互作用与制约的结果。显然,采用较为简单的周期分析和相关分析方法不可能较详尽地披露这类运动的特性,以及不同地理位置上的差异。但是“谱分析方法”在一定程度上却能达到这样的目的。所以,谱分析方法近年来受到了重视,其应用也日益广泛。

由图 1, 2 不难看出: (1) 我国南黄海陆架区近表层海流水平流速脉动能主要集中在(圆)频率 ω 为 $10^{-4.5}—10^{-3.5}$ 秒 $^{-1}$ 的范围内。这个结论与我国东海中部陆架区的情形有些不同。后者则主要地集中在频率 ω 为 $10^{-4}—10^{-3}$ 秒 $^{-1}$ 的范围内。这似乎表明, 浅海陆架区海流的水平流速脉动存在频移现象。就是说, 在浅海陆架区不同的海域, 水平流速所含的振动频率是有差异的。我国南黄海陆架区近表层海流的变化比东海中部陆架区(相对地)缓慢。(2) 在 B 和 C 两个观测站上, 海流的水平流速脉动能谱均有四个显著的统计谱峰, 且相应于这四个谱峰的频率均在 $10^{-4.5}—10^{-3.5}$ 秒 $^{-1}$ 范围内。这表明, 我国南黄海陆架区近表层海流结构基本上是由四个主频率的振动所组成。诚然, 算得的谱曲线在 $10^{-3.5}—10^{-2.5}$ 秒 $^{-1}$ 频率范围内各自还存在着 5—6 个谱峰, 但是, 它们拥有的能量较小。因此, 与这些频率相应的振动, 对于我国南黄海陆架区海流结构的贡献是微小的。(3) 图 4 所示的是 B 和 C 两个站上相应于 $10^{-4.5}—10^{-3.5}$ 秒 $^{-1}$ 频率范围内的部分谱曲线。由图可以看出, B 站和 C 站上四个显著统计谱峰相应的(圆)频率非常接近。换言之, 构成我国南黄海陆架区近表层的四个主频率, 可粗略地认为是相同与相近的(表 2)。表 2 中的序号按显著统计谱峰所含的能量多少排列。

表 2 与显著统计谱峰相应的 ω (秒 $^{-1}$)

序 号	站 号	B	C
1		2.2×10^{-4}	2.8×10^{-4}
2		2.8×10^{-4}	2.1×10^{-4}
3		6.6×10^{-5}	6.9×10^{-5}
4		1.4×10^{-4}	1.4×10^{-4}

综上所述, 可以得出初步结论: 南黄海陆架区近表层海流的结构基本上是相同的, 主要由四个主频率的振动叠加、相互作用与制约而形成。由于相应于这四个主频率的显著统计谱峰包含能量的多少随地理位置而各异, 我国南黄海陆架区近表层海流随其所在海域之不同而略呈变化。但是对比东海中部陆架区海流的情况, 南黄海陆架区近表层的海流在结构上更复杂, 然而又更有规律。

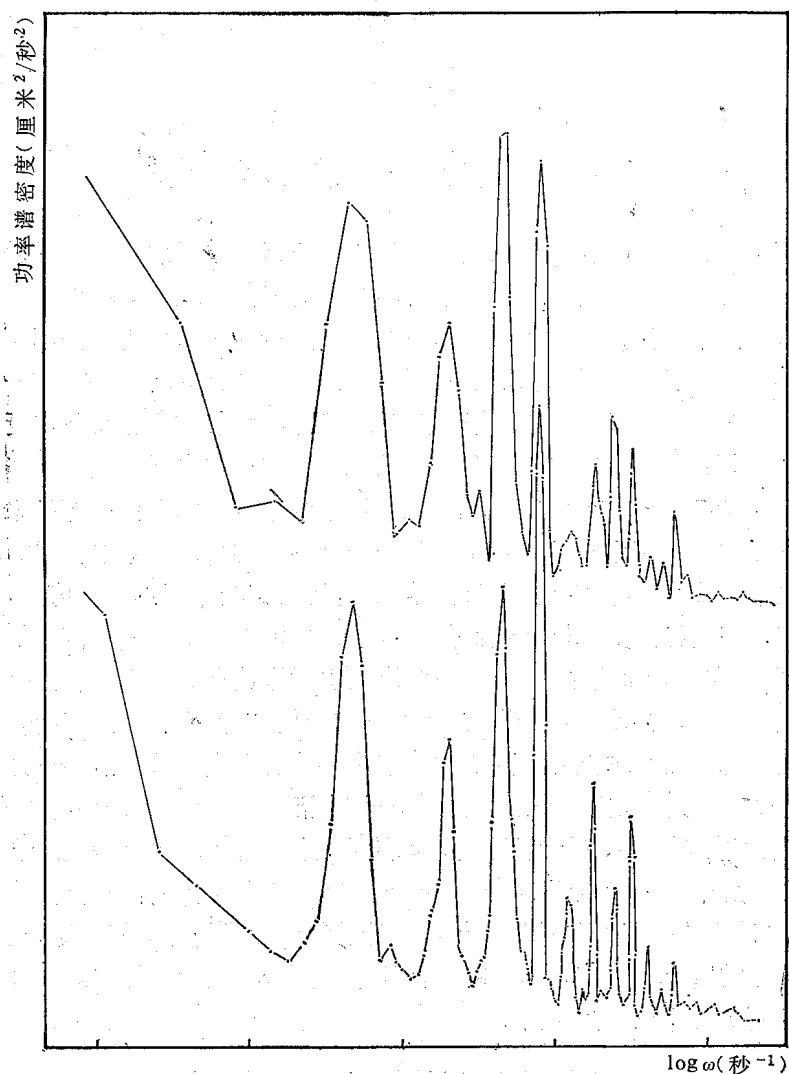


图4 B和C观测站上实测水平流速脉动能谱比较

参 考 文 献

- [1] 顾传成、蓝淑芳、付秉照, 1983. 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. 海洋科学集刊 21: 23—34.
- [2] 贝尔特, J. S. 和 A. G. 皮尔索, 1971. 随机数据分析方法. 凌福根译, 1976年, 国防工业出版社, 1—429页.
- [3] Ямпольский, А. Д., 1965. О спектральных методах исследования океанологических процессов. Океанология V (5): 769—778.

STUDIES OF THE ENERGY SPECTRUM OF THE MEASURED CURRENT VELOCITY NEAR THE SURFACE OF THE SOUTH YELLOW SEA*

Gu Chuancheng, Lan Shufang and Fu Bingzhao

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

The energy spectrum of the measured current velocity near the surface of the South Yellow sea was studied with the modern descriptive statistics. The data cited here were taken from the National Marine Geological Suevey during the years 1975—1977. This paper consists of three main parts: 1) discussion of the stationary stochastic or quasi-stationary random of the measured current velocity; 2) a method on determinating the time series data length ensured statistically; and 3) an analysis on the character of the energy spectrum of the measured current velocity near the surface of the South Yellow Sea.

*Contribution No. 856 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.