

紧邻成山角的海域流速分布特征分析*

顾传成 蓝淑芳 傅秉照

(中国科学院海洋研究所)

“近岸高能环境调查”将是 2000 年海洋科学的重要研究课题之一。位于山东半岛顶端,深入黄海之中的成山角,素以水深流急,流向多变著称。对其附近海域海流能的开发与利用,历来为人们所瞩目。成山角地理位置独特(南侧水浅,东侧陡峻,北侧水下地形复杂,涡旋频频连接),现场观测困难,因而其紧邻海域是否是我国近岸高能环境之一的问题,较长时期以来没有定论。

据估计,全球海洋蕴藏海流能约 10 亿 kW。目前国外只有美、日等国进行海流能的利用研究。1972 年 10—12 月,中国科学院海洋研究所首次在紧邻成山角的海域(离海岸距离约 3n mile)作了专题调查。当时目的旨在为开发和利用成山角附近海域海流能提供初步的、但是可信的依据。

本文引用这次调查部分测站上的海流观测资料,试图从海流结构与统计特性两方面对紧邻成山角海域的流速和流向特性进行分析研究。本文分析选用了紧邻成山角的海域六个昼夜连续观测站的流速流向资料。这六个测站配置在成山角的北、东、南三个侧向上,每一侧向上各相对均匀地分布两个,分别以字母 C_2 和 C_3 (位于涡旋区), D_3 和 E_2 , 以及 E_1 和 F_1 标识。这些测站离海岸最近的是 C_2 站,最远的是 E_2 站。测量按常规方法进行。

一、冬季紧邻成山角的海域海流基本特征

1. 表层余流与风的关系

紧邻成山角的海域表层余流与风的关系如图 1 所示。图中风向是根据海流观测相同日期风向记录合成的,风速则取所有记录的算术平均。须指出,由于 D_3 站和 F_1 站缺乏现场风速、风向观测资料,借用了邻近成山角的海洋观测站相同日期的陆上风速、风向观测资料。由图 1 可知,紧邻成山角的海域表层余流与风的关系较为密切,与“普查海流报告”¹⁾阐述的远岸海域相似,其中以 D_3 站, C_3 站和 E_2 站最为明显。 D_3 站上合成风向偏北时,表层余流方向偏南; C_3 站和 E_2 站上合成风向偏南时,表层余流方向偏北。同时,由图 1 还可看出,紧邻成山角的海域表层余流也呈现受非风海流影响的近岸浅海区域的特点。这表现为表层余流矢量与合成风向的偏角普遍较大,偏角大多在 100° — 140° 之

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1065 号。

本文曾在中国海洋湖沼学会水文气象学会学术讨论会(1984 年 7 月,青岛)上宣读。

收稿日期: 1984 年 8 月 17 日。

1) 管秉贤、陈上及, 1964。中国近海的海流系统。《全国海洋综合调查报告》第五册。(文中简称“普查海流报告”)

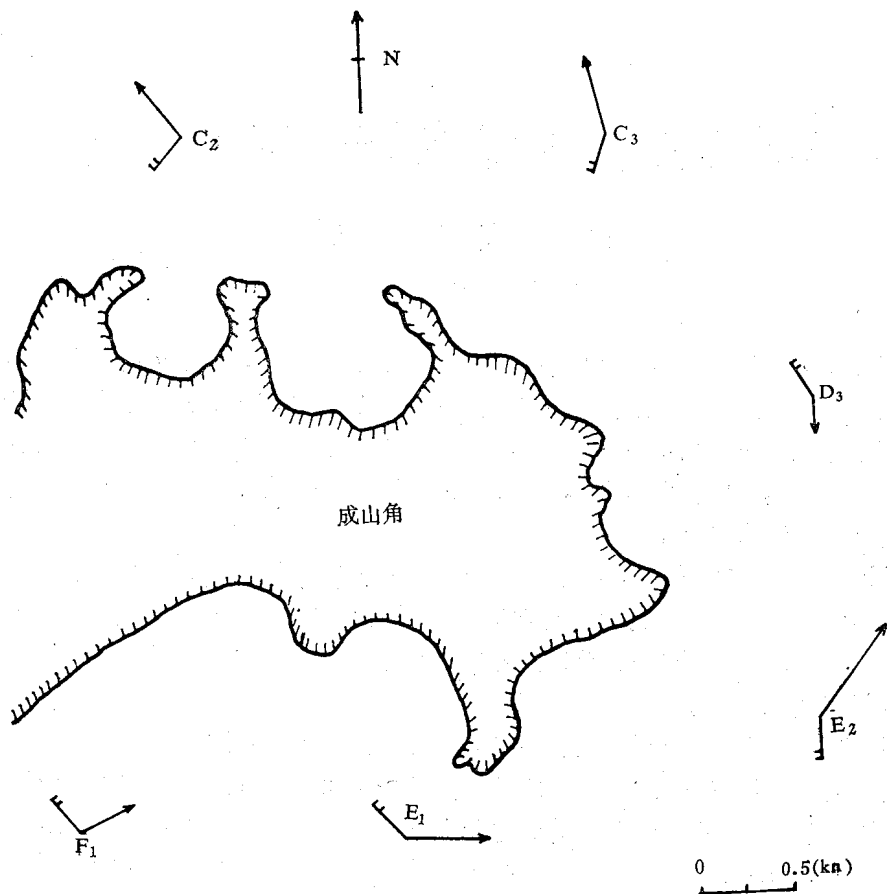


图1 紧邻成山角的海域表层余流与风的关系

间,这是与远岸海域显著不同的特征之一,其原因在于观测站紧贴成山角,风的强制作用受到海岸与浅海地形的明显阻挡。除 D_3 站相对开阔,风强制作用可达 20m 水层外,多数测站上风强制作用被限制在很浅的近表层(水深小于 5m)。例如,成山角南侧的两个测站虽然水深很浅(约 10m),且观测日期风力较强,在 5—7 级西北风时,风的强制作用仍然发生在近表层。紧邻成山角的海域表层流速的另一个重要特征是表层余流相当强,这是与远岸海域又一显著不同之处。除 D_3 站较接近远岸海域,余流强度为 0.2kn 外,大多数测站上的余流强度相当大,在 0.3—0.5kn 之间。此外,成山角紧邻海域表层余流方向在南、北两侧均较为一致:北侧指向西北,南侧指向偏东;东侧则不一致。 D_3 站表层余流向南流, E_2 站表层余流却向东偏北流。由此不难看出,紧邻成山角的海域表层余流与风之间存在这样的关系:南北两侧测站余流流向均偏于风向之左 90° 以内,而中部东侧测站余流流向则偏于风向之右 45° 以内。

2. 余流垂直结构

图 2 是紧邻成山角的海域六个测站表层以下不同深度上的余流矢量分布。根据以上讨论,表层以下风的强制作用较小,因此表层以下各层的流应是相对稳定的,它们的分布特征可由图 2 直接获知。紧邻成山角的海域北侧, C_2 站各个深度上余流矢量的方向接近一致,均指向西北;15m 以浅上层海流强度较强,约为其下层的 2 倍。 C_3 站是我们在紧

邻成山角的海域观测到的余流最强的测站。表层以下至 20m 的各个深度上余流方向基本相同，均指向东北。其中以 5m 层余流最强，高达 1.0kn 左右，是我们在紧邻成山角的海域观测到的余流最强的层次之一。近底层余流矢量方向与其上层的交角达 65° ，指向西北。这充分显示 C_3 站附近海域海流呈现分层的现象。南侧两个测站上的上、下层余流方向相一致，强度接近相等，余流矢量方向由偏北 (F_1 站) 转向东北 (E_1 站)。东侧， D_3 站各个深度上的余流强度是观测海区中最小的，除 20m 层稍大外，多数在 0.1kn 左右。虽然 D_3 站余流强度较小，但余流方向随深度而异：20m 层余流方向指向西北，30—40m 层指向东，而近底层 (60m 层) 则指南。 E_2 站海流也呈现这种特性。10m 层余流远低于 0.1kn，而近表层与近底层的余流不仅强度较大，而且方向也相近。

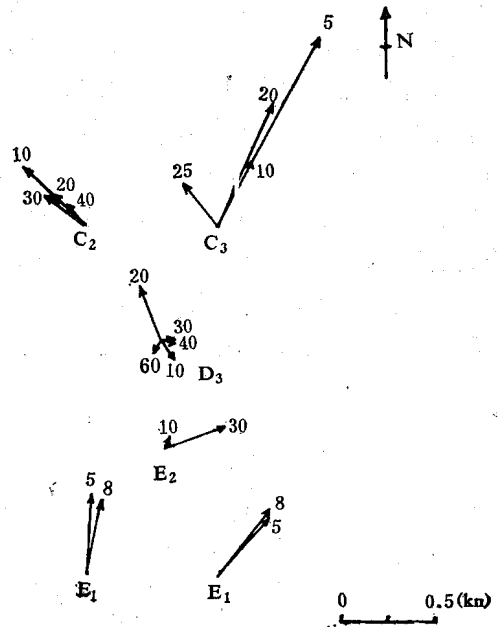


图 2 紧邻成山角的海域表层以下余流矢量垂直结构

3. 实测流速与潮流之比较

根据观测期间整点实测流速资料得知(因是整点记录,几乎不出现 3.0kn 以上之强流

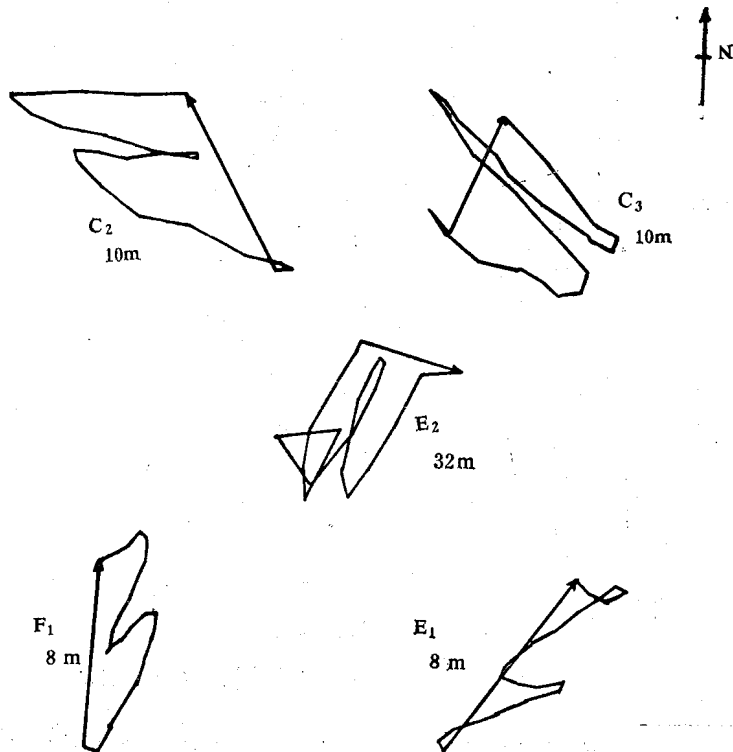


图 3 紧邻成山角的海域实测流速前进矢量图 (C_2 , C_3 , E_1 , E_2 , F_1 站)

速),紧邻成山角的海域南侧平均流速(指实测,下同)较小,在 0.6—0.8kn 之间,且上、下层的平均流速十分接近。根据以上讨论,该海域的余流强度约为 0.3—0.4kn。由此可知,紧邻成山角的海域南侧的潮流相对地较小。东侧平均流速最大,表层接近 2.0kn。 D_3 站表层以下平均流速为 1.7—2.2kn,而余流特别小,低于 0.2kn (在 30m 以深的各个深度上更小,低于 0.1kn)。 E_2 站除 10m 层平均流速为 0.6kn (余流为 0.06kn) 外,各层平均流速接近 2.0kn,而余流在 0.3—0.5kn 之间。因此,紧邻成山角的海域东侧潮流特别强。其原因在“普查潮流报告”¹⁾中曾作过阐述,一是成山角附近海域处在驻波节点附近,二是成山角向外伸出,成山角和朝鲜半岛之间的地形较狭隘,从而形成了特强的潮流。北侧, C_2 站平均流速约为 1.2—1.4kn; C_3 站平均流速略为高些。 C_2 站 10m 以浅水层的余流强度为 0.7kn,10m 以深水层的余流强度为 0.3—0.4kn; C_3 站除 5m 层和 20m 层余流较强外,

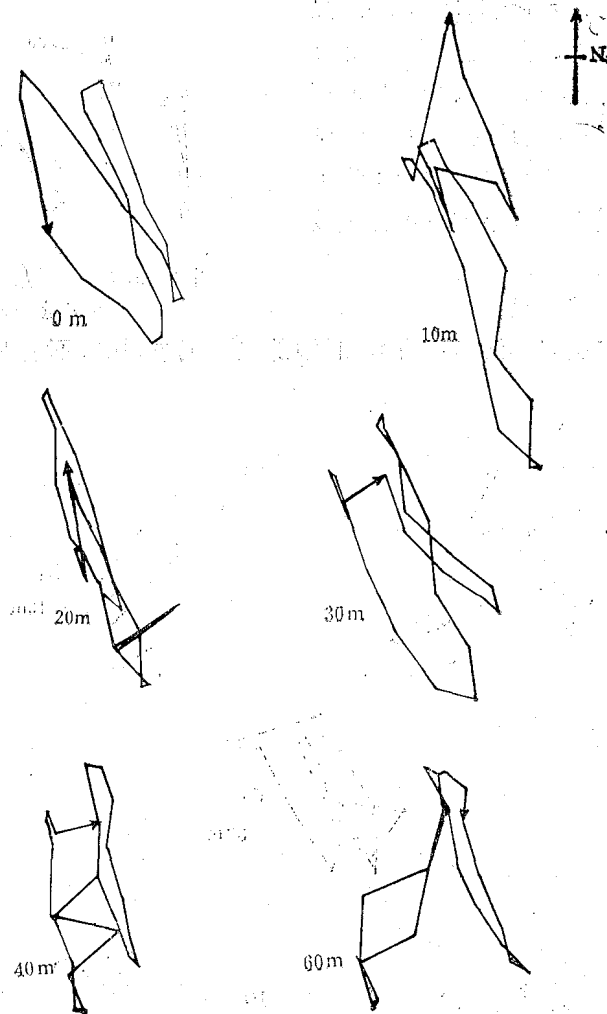


图 4 紧邻成山角的海域实测流速前进矢量图(D_3 站)

1) 刘好治、尤芳湖、郑文振,1964。中国近海的潮波系统。《全国海洋综合调查报告》第五册。(文中简称“普查潮流报告”)

其他层次在 0.5—0.7kn 之间, 20m 层余流强度为 0.6kn。因此紧邻成山角的海域北侧的潮流强度略次于东侧, 但较南侧又强得多。

同时, 从紧邻成山角的海域各个测站的实测流速前进矢量曲线(图 3), 可以简略地了解紧邻成山角的海域潮流的概貌, 由图可知, 范围很小的紧邻成山角的海域不同位置的潮流特性差异极大。尤其在东侧的测站上, 各个层次之间的差异也很大(图 4)。这些均表明成山角的独特地理位置对于该地区的潮波系统有着很大的影响。

二、冬季紧邻成山角的海域实测流速统计特征

1. 实测流速相对频率分布

观测期间紧邻成山角的海域表层以下实测流速相对频率分布如图 5, 流速按每 0.2kn

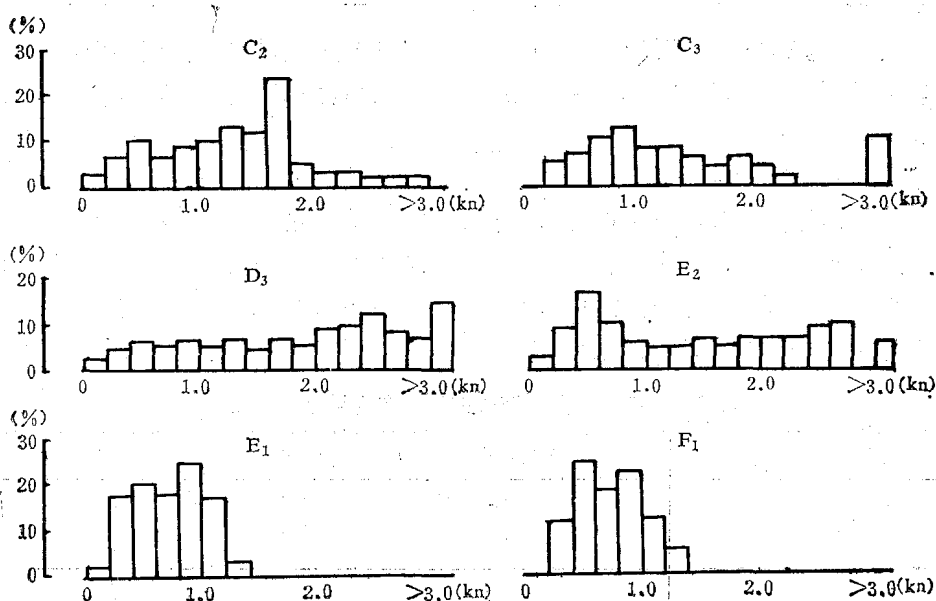


图 5 紧邻成山角的海域表层以下实测流速相对频数分布

间隔进行统计。由图 5 可知, 实测流速除成山角紧邻海域南侧的流速幅度较窄(约为北、东两侧的一半), 相对频率较高外, 北侧和东侧的流速幅度相当宽, 几乎遍布测量仪器的各个量程(0.0— ≈ 3.0 kn)。此外在 C₃ 站, D₃ 站和 E₂ 站的某些层次上, 还观测到一定数量的强流速(指流速值 ≥ 3.0 kn)。它们的相对频率分别为 10% (10m 层因仪器故障, 不予统计), 13% 和 5%。图 5 清楚地表明, 实测流速的相对频数在多数流速间隔上小于或接近 10%。表 1 中列示流速间隔相近, 且相对频数均大于 10% 的所谓优势流速间隔及其相对频数。由表可知, 紧邻成山角的海域每一测站一般都存在一个优势流速间隔, 其中在南侧, 不但优势流速间隔基本相同, 而且相对频数也极接近。

此外, 观测还表明, 紧邻成山角的海域各个测站不同深度上实测流速相对频数分布不尽相同。例如, 北侧 C₂ 站 20m 层和 C₃ 站近底层, 流速幅度比其他层次窄得多。C₂ 站 20m 层 1.6—1.8kn 流速间隔相对频数高达 40%; C₃ 站近底层 2.6—2.8kn 流速间隔的相

表 1 紧邻成山角的海域优势流速间隔相对频数

测 站	优势流速间隔 (kn)	相对频数(%)
C ₂	1.2—1.8	46
C ₃	3.0—3.6	10
	0.8—1.0	13
D ₃	>3.0	13
	1.4—1.6	12
E ₂	0.2—0.4	16
E ₁	0.2—1.2	96
F ₁	0.2—1.2	92

对频数也较高,达 16%。东侧 E₂ 站 10m 层流速幅度较窄,且呈现低流速特征,0.4—0.6kn 流速间隔相对频率较高,达 42%。南侧流速幅度也较窄,呈现低流速特征,且近表层流速略低于底层。

2. 实测流向相对频数分布

紧邻成山角的海域表层以下实测流向相对频数分布如图 6,流向按每 10° 间隔进行统计。由图 6 不难看出,此海域各个测站的流向相当分散。实测流向相对频数在多数流向间隔上小于或接近 10%。仿照流速,表 2 中列示流向间隔相近,且相对频数大于 10% 的所谓盛行流向及其相对频数。由表 2 可知,除北侧 C₃ 站无盛行流向,C₂ 站存在两个

表 2 紧邻成山角的海域盛行流向间隔相对频数

测 站	盛行流向间隔(°)	相对频数(%)
C ₂	80—100	30
	260—280	25
C ₃	/	/
D ₃	330—350	32
E ₂	10—30	31
E ₁	40—70	41
F ₁	10—30	31

相位差恰好为 180° 的盛行流向(这表明潮流占主要成分)外,东侧和南侧均各有一个盛行流向,且同一侧上盛行流向较为接近。

观测同样表明,紧邻成山角的海域各个测站不同深度上流向相对频数分布也略有差异。例如,北侧 C₂ 站近表层(10m 层) 290°—300° 流向间隔相对频数达 13%。C₃ 站虽无盛行流向,但 5m 层和 20m 层各有一个流向相对集中的间隔。东侧 D₃ 站 30m 层为 140°—150°(11%),40m 层为 160°—170°(19%),近底层为 150°—160°(12%)。E₂ 站 10m 层为 200°—220°(33%),20m 层为 200°—210°(17%),近底层为 190°—210°(24%)。南侧 E₁ 站 5m 层为 70°—80°(15%)。F₁ 站近底层为 30°—40°(13%)。

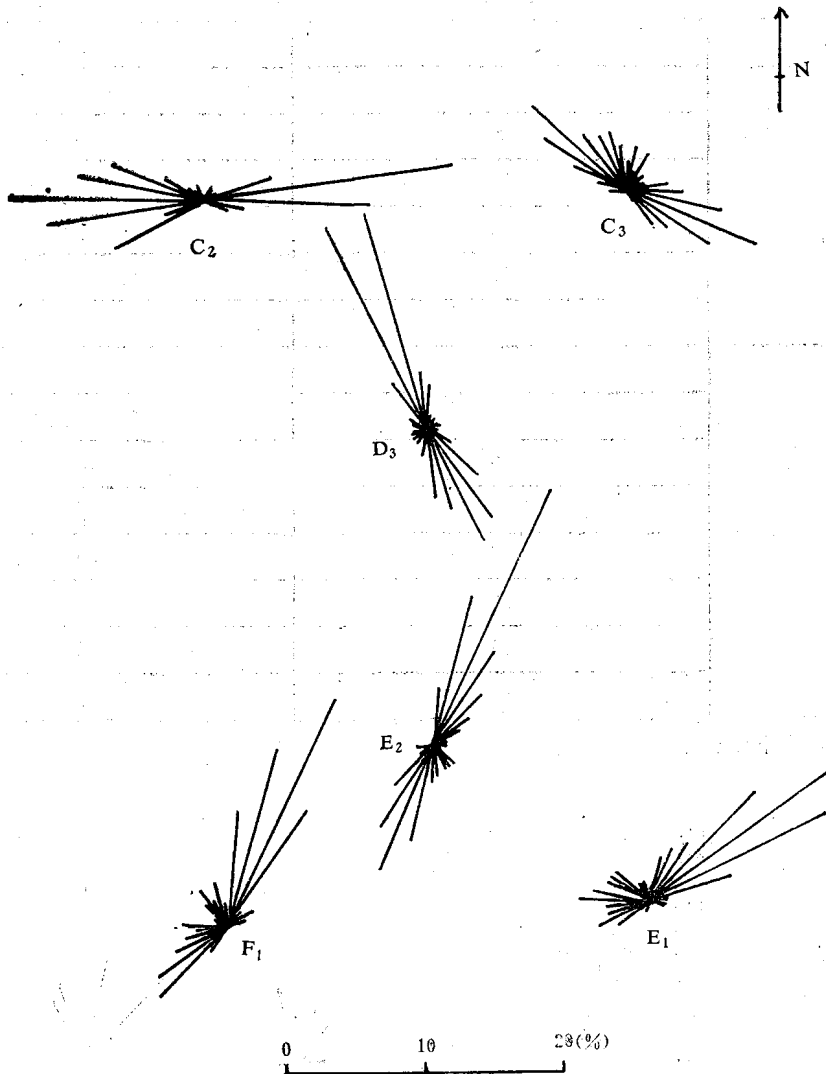


图6 紧邻成山角的海域表层以下实测流向相对频数分布

从以上分析可以看出,影响盛行流向的因子有二个,一是潮流(C_2 , C_3 测站属此型),一是余流(D_3 , E_2 , E_1 , F_1 测站属此型)。

3. 强流速流向分析

如前已述,在我们的专题调查中分别在紧邻成山角的海域 C_3 站, D_3 站和 E_2 站的若干水层上观测到若干强流速。遗憾的是同时观测到强流速值和其相应流向的只有一个测站—— D_3 站, C_3 站和 E_2 站由于流速值超出观测仪器的量程,仅观测到强流速的流向。表3中列示 D_3 站、 C_3 站和 E_2 站表层以下各个水层上观测到强流速的相对频数(相对于同一层次的观测次数)。由表3可知,紧邻成山角的海域强流速大多出现在海洋的上层,近表层的强流速相对频数最高。其中特别值得提出的是, E_2 站的10m层不出现强流速,而其上、下水层却出现强流速。同时由表3还可以看出, D_3 站强流速相对频

表 3 紧邻成山角的海域强流速出现层次及其相对频数

测 站	层次 (m)	相对频数 (%)
D ₃	10	22
	20	15
	30	9
	40	/*
	50	(仪器故障)
	60	/*
C ₃	5	19
	10	(仪器故障)
	20	16
	25	/
E ₂	5	33
	10	/
	20	11
	30	/

* 观测到 1—2 个强流速值。

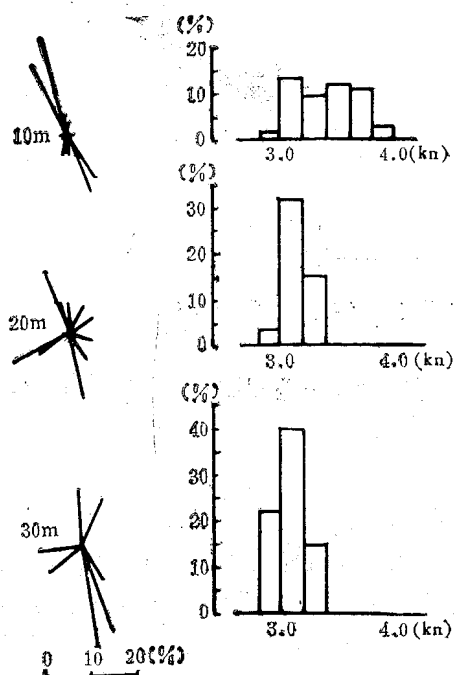
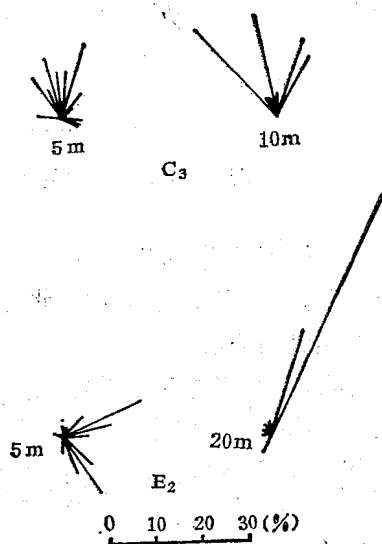
图 7 D₃ 站 10m, 20m 和 30m 水层上强流速相对频数分布

图 8 紧邻成山角的海域强流速的流向相对频数分布

数呈现随水深线性递减特征(在 40m 以深的水层仅零星地观测到强流速值)。图 7 列示 D_3 站三个水层(10m, 20m 和 30m)上观测到强流速的相对频数分布。由图 7 可知, 强流速值随水深之增加而递减, 而相对频数则随之增加。同时在 10m 层上观测到接近 4.0kn 的最大流速值。

图 8 列示 C_3 站和 E_2 站不同水层上强流速的流向相对频数分布。由图 7, 8 可知, 紧邻成山角的海域强流速的流向分布相对地较为分散, 其中只有 D_3 站的 10m 层和 E_2 站的 20m 层的强流速流向较为集中。

三、讨 论

1. 紧邻成山角的海域北侧的 C_2 站和 C_3 站位于涡旋区域, 仔细地对比 C_2 站和 C_3 站的余流矢量垂直分布, 发现表层以下 5—20m 的中间水层的余流矢量呈现对称性, 按 $\pm 30^\circ$ 的角度对称于正北方向。从强度来看, C_3 站略大于 C_2 站。我们揣测, C_2 站和 C_3 站可能位于成对的涡旋(气旋式和反气旋式)之中。如按“普查海流报告”阐述, 冬季, 成山角北侧沿岸流受黄海暖流余脉与偏北风的影响, 比较近岸, 在这种情形下海流与海岸的摩擦作用显著, 由于“绕流”将产生顺时针方向(即反气旋式)涡旋。根据现场目测, 估计涡旋的水平尺度应为 $O(10^3\text{m})$ 。其垂向尺度, 根据观测资料分析, 应为 $O(10^4\text{m})$ 。一般气旋式(反时针方向)的涡旋呈现冷涡性质; 反气旋式(顺时针方向)的涡旋则呈现暖涡性质。根据 C_2 站和 C_3 站的水文气象资料(观测日期仅相差 12 天), 发现两站现场气压、气温、风力大致相近, 同时海水盐度几乎完全相同(平均盐度分别为 30.93‰ 和 30.94‰), 而 C_2 站的水温(平均水温为 15.27°C) 却比 C_3 站(平均水温为 17.10°C) 的低, 温差接近 2°C 。 C_2 站呈现冷涡特性。

2. 由图 2 上 D_3 站的余流分布不难看出, 该站余流矢量除 20m 层指向西北外, 其他层次的余流方向分布在 85° — 200° 间隔内, 这可能表明“普查海流报告”阐述的紧邻成山角的海域的“耳状”逆流区在此海域是不连续的。紧邻成山角的海域 D_3 站以南区域表层以下余流矢量清楚地表明北上逆流是存在的, 我们揣测, 这很可能是由于南黄海东南方向存在一股冬季强盛, 沿西北方向伸展的北上水流逼近南黄海西海岸, 同时携带沿岸水北上而造成的。根据“普查海流报告”等有关文献及作者近期对冬季南黄海暖流水的研究证实, 源自对马暖流的南黄海暖流水冬季特别强盛, 几乎盘踞整个南黄海, 它们在北上过程中, 至成山角东侧附近再次分叉, 向右侧分出一股水流汇入西朝鲜沿岸流一并南下。

不言而喻, 由于观测区域相对较为狭小以及紧邻海岸、观测时间较短等原因, 我们在此次专题调查中发现的上述现象, 亟待作进一步深入的调查研究。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院《中国自然地理》编委会, 1979. 中国自然地理(海洋地理). 科学出版社, 224 页。
- [2] 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。
- [3] 夏综万、郭炳火, 1983. 山东半岛和辽东半岛顶端附近水域的冷水现象及上升流. 黄渤海海洋 1: 13—19。
- [4] 蓝淑芳、顾传成、傅秉照, 1986. 南黄海暖流水的温、盐度分布特征. 海洋科学集刊 27: 45—53。
- [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] Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation of fisheries in the East China Sea and Yellow Sea. *Jour. of the Faculty of Marine Science and Technology Tokai University*, Special Number: 199—367.
- [8] Sawarh, T., 1974. On the sea surface temperature in the East China Sea for years 1953—1972. *The Oceanographical Magazine* 26(1): 17—26.

ANALYSIS OF THE DISTRIBUTED CHARACTERISTICS OF THE CURRENT VELOCITY IN THE IMMEDIATE PROXIMITY OF THE CHENGSHAN CAPE*

Gu Chuancheng, Lan Shufang and Fu Bingzhao

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

It is one of the current worldwide interest to explore new energy source from the ocean. More recently, emphasis has been placed on offshore high energy environmental survey. The authors have made a preliminary study based on site observation in the immediate proximity of the Chengshan Cape, Shandong. This paper attempts to discuss 1) the construction of current in the immediate proximity of the Chengshan Cape, and 2) the statistics of the measured current velocity. We have also found that a couple of cells seem to occur on the north side of the immediate proximity of the Chengshan Cape, and that "ear-shaped" region may be uncontinuous on the east side.

* Contribution No. 1065 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.