

纬向垂直环流在东海渔场形成过程中的作用*

郑建元

(东海水产研究所)

提 要

本文收集并整理了1972年到1979年东海水产研究所及海洋局东海分局在东海区进行的水文调查资料,以及上海市海洋渔业公司同期的渔获资料,探讨东海纬向垂直环流在渔场形成过程中所起的作用,并讨论了利用该环流系统的有关资料进行渔情预报和渔场安排的可能性。

东海纬向垂直环流的概况

每年夏秋季节在东海纬向垂直断面上存在着顺时针的环流系统,这已为1959年以来的水文调查资料所证实。每年四月前后,以长江径流为主的沿岸淡水及其外缘的混合水体随着大陆径流的增加和风频的改变,表层流向外扩散,使表层海水的输送具有向东的分量。同时,黑潮次表层水沿着海底向岸逆坡爬升,使底层海水的输送具有向西的分量。到近岸海区后,可涌升到中上层,从而形成一个纬向垂直环流系统。这时,在北纬 32° 以南海区的断面水文图上,可看到这种类型的结构。其空间存在模式如图1、图2所示。

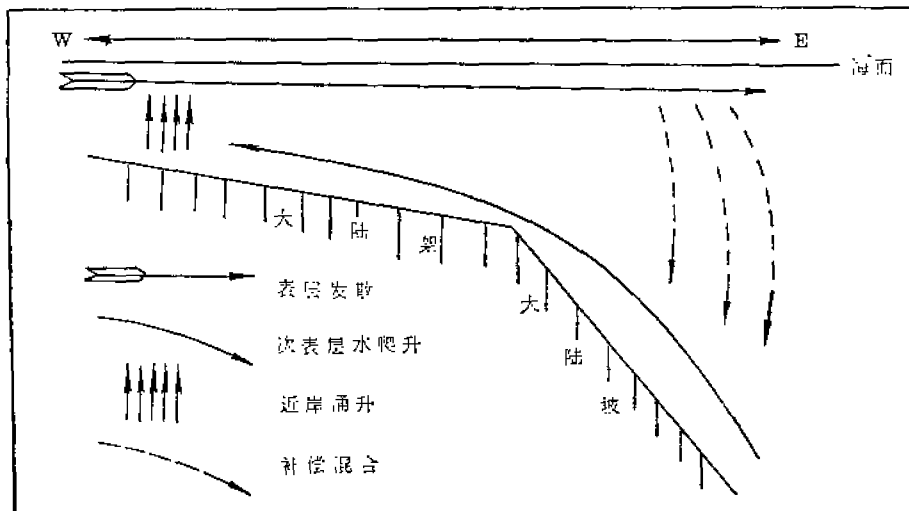


图1 东海纬向垂直环流基本模式

* 本文在撰写过程中曾受到曹正之所长、陶子实、赵传继副所长以及沈惠民等同志的热忱关怀与指导,谨此致谢。

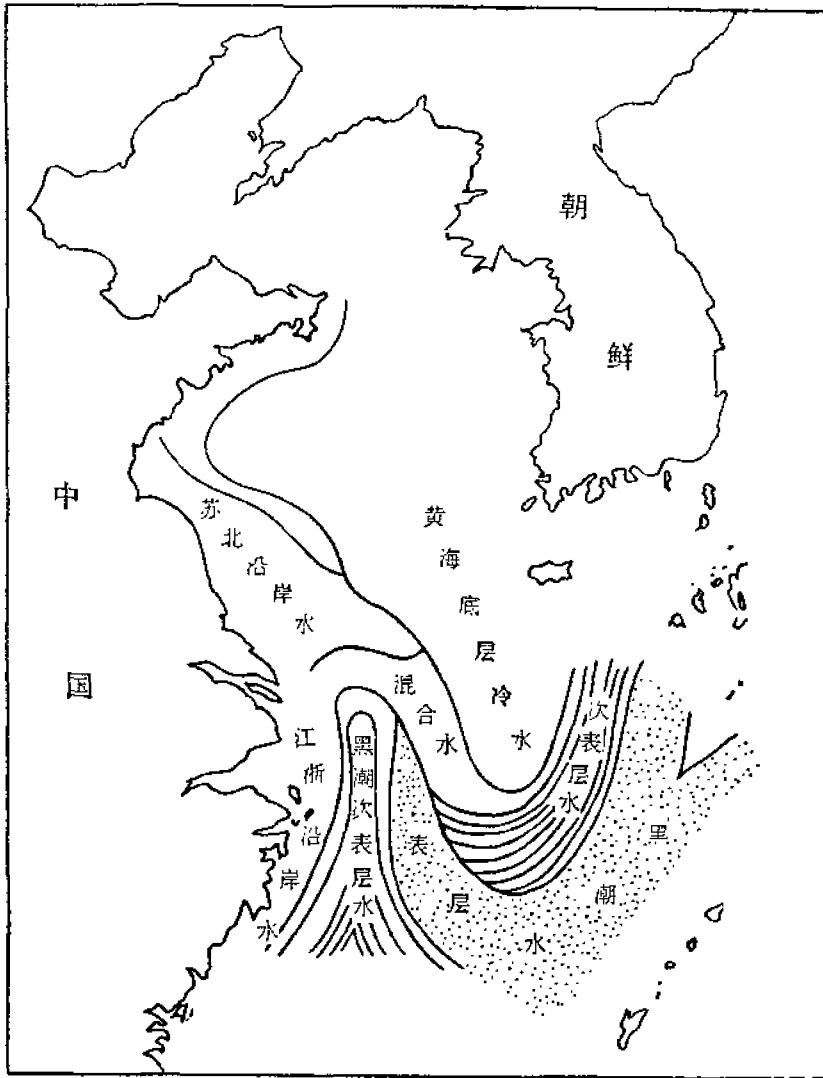


图2 夏季东海底层水系分布

关于该系统的制约因子,吉田耕造和毛汉礼在介绍“大水平尺度上升流”的理论时,曾作过分析^[9,61]。

上升流的流速可按下列近似的涡动方程求得:

$$\frac{D}{Dt}(\zeta + f) = -(\zeta + f)\text{div } V - \left(\frac{\partial}{\partial z} \text{curl}_z\right)_{T_z} + BVH^2\zeta$$

式中, ζ 为相对涡度(relative vorticity)的垂直分量,

f 为柯氏参数 = $2\omega\sin\phi$,

$\text{div } V$ 表示二元速度矢量, u, v 分别为 x, y 轴上的分力。

T_z 为 x, y 轴上的垂直切应力。

B 为侧向混合系数。

为了确定制约上升流的主要因子,我们需要了解式中每一项的大致数量级(表1)。

表 1

项	表 层	下 层
$\partial \zeta / \partial t$	0.8×10^{-11}	0.2×10^{-12}
$u \partial \zeta / \partial x + v \partial \zeta / \partial y$	0.4×10^{-11}	0.25×10^{-12}
$*\beta v (= Df/Dt)$	0.4×10^{-11}	1.0×10^{-12}
$*(\zeta + f) \operatorname{div} V$	0.9×10^{-11}	1.0×10^{-12}
$*(\partial \operatorname{curl}_z / \partial z) T_e$	0.8×10^{-11}	0.05×10^{-12}
$BVH^2 \zeta$	0.2×10^{-11}	0.05×10^{-12}

从表中加星号的项与加波纹线的数值可以看出,水平发散是涡动方程中最重要的项。近两层间边界的垂直速度可由表层风力的分布和下层流的极向分量求得。

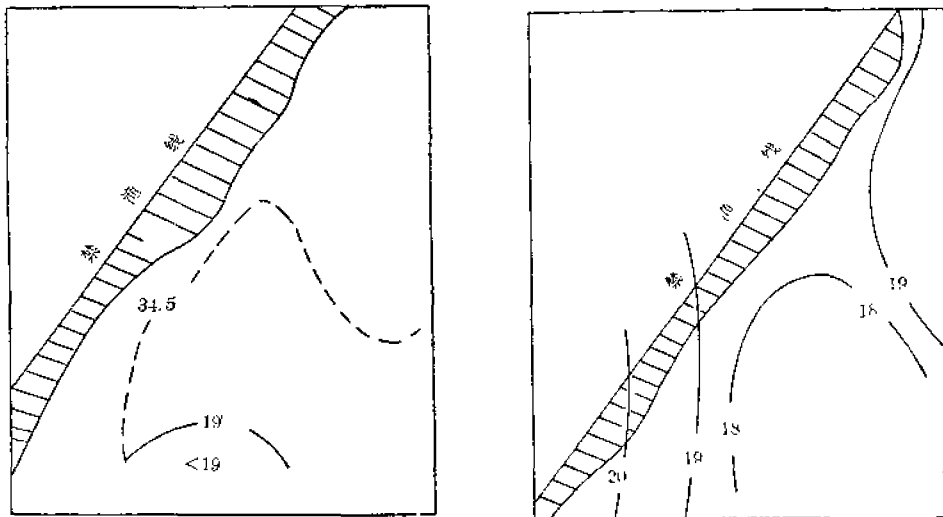
Cushing (1969) 建立的涌升流域模式也是以风场引起的表层离岸流为其基础的转引自^[4]。

因此,表面风引起的近岸海水水平发散,被海水的极向输送引起的次表层水的水平辐聚所补偿是东经纬向垂直环流的动力学基础。

东经纬向垂直环流在渔场形成过程中的作用

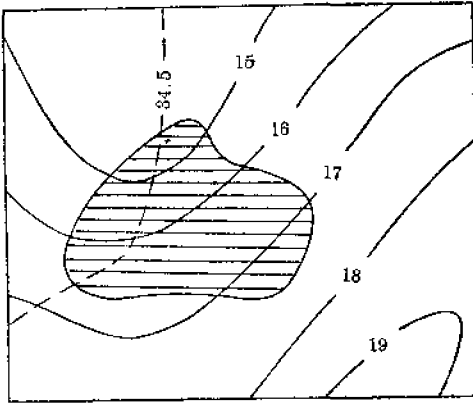
一般认为,鱼类洄游除自身的生理、遗传原因外,与追求或避开某种外界环境条件有关。在洄游过程中,鱼类总是趋向于有利于鱼卵发育,仔幼鱼存活和成鱼生存的环境条件。对于长距离洄游的海洋生物来讲,大尺度水团运动的推动也是非常重要的。

我们将东经纬向垂直环流的历年消长情况与几种主要经济鱼类的洄游趋势对照分析时,可以看出它们的某些关系。从图 3 和图 4 各图可以看出,每年春季环流系统从小到大逐步向岸推进时,大量的底层鱼类相应地由外海向岸洄游;夏秋季节,环流的强盛时期,可在近岸的上升流区形成渔场,12 月以后,随着该环流系统逐步减弱和退缩,鱼群即分期分批向外海游向越冬场。因此,鱼群的向岸或离岸运动与环流的消长有着明显的关系,即,

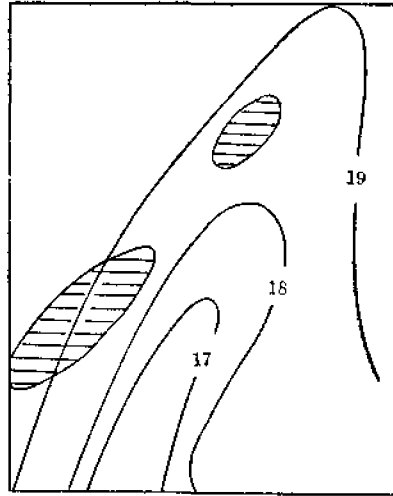


(a) 1972 年 12 月

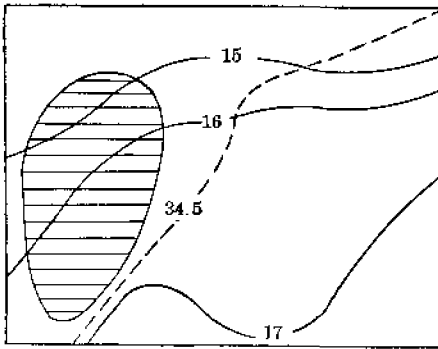
(b) 1973 年 12 月



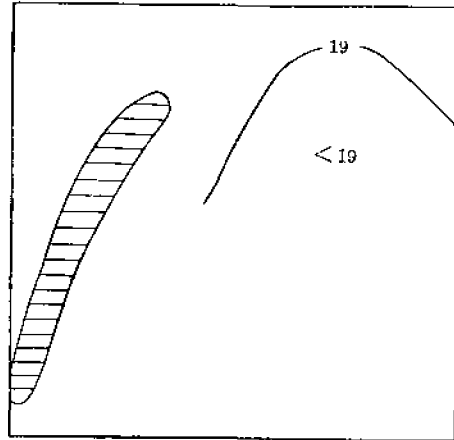
(c) 1975年3月



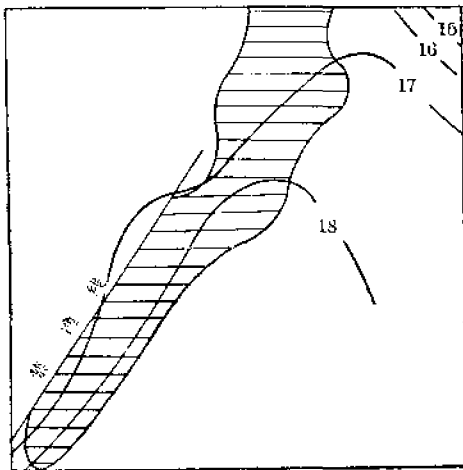
(d) 1973年10月



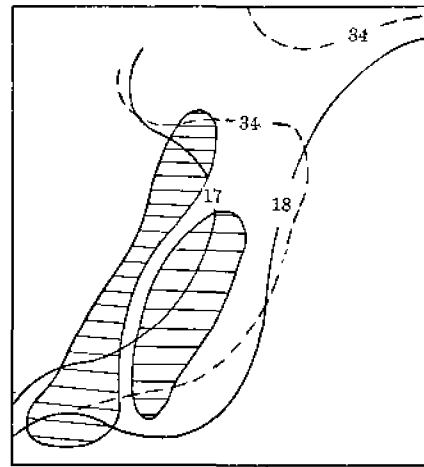
(e) 1974年4月



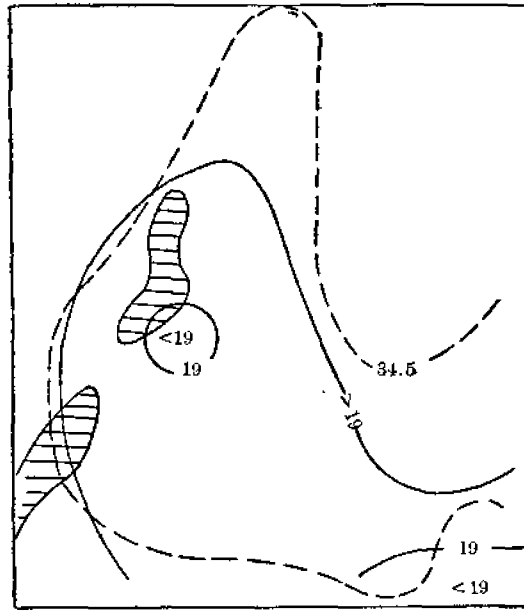
(f) 1975年11月



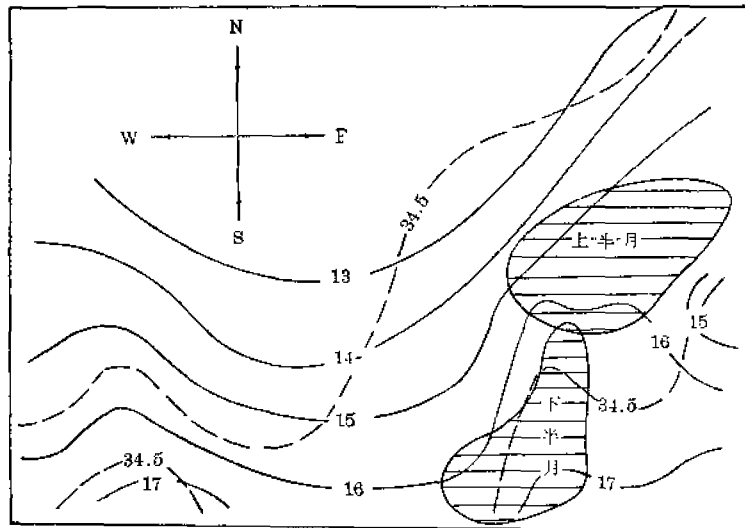
(g) 1976年5月



(h) 1976年12月



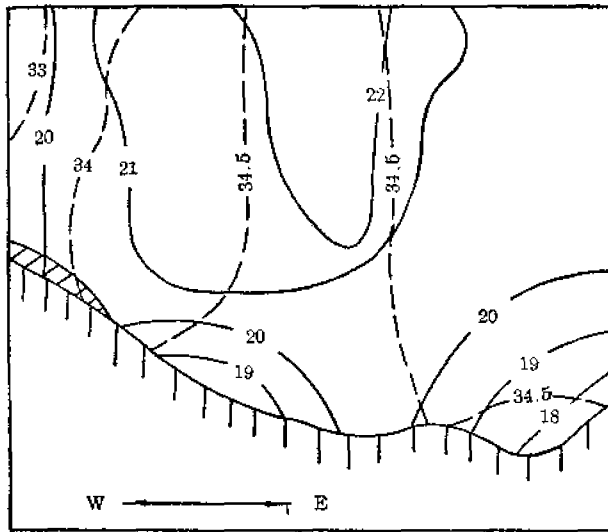
(i) 1976年10月



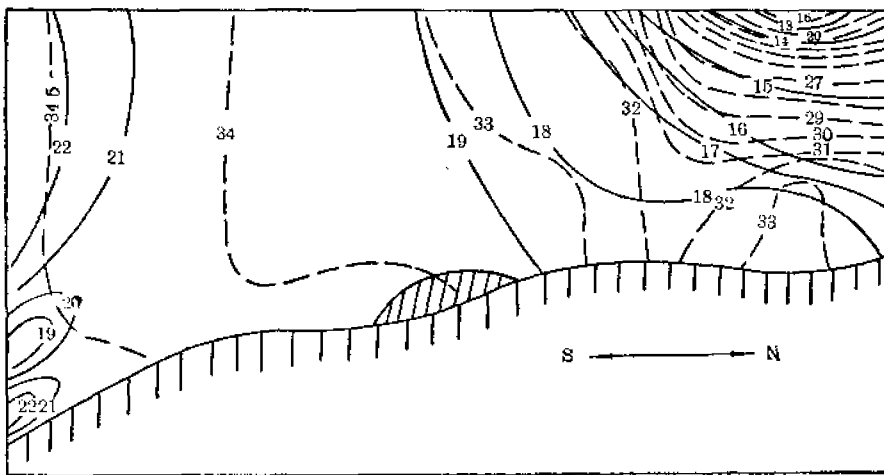
(j) 1978年3月

图3 底层鱼渔场分布

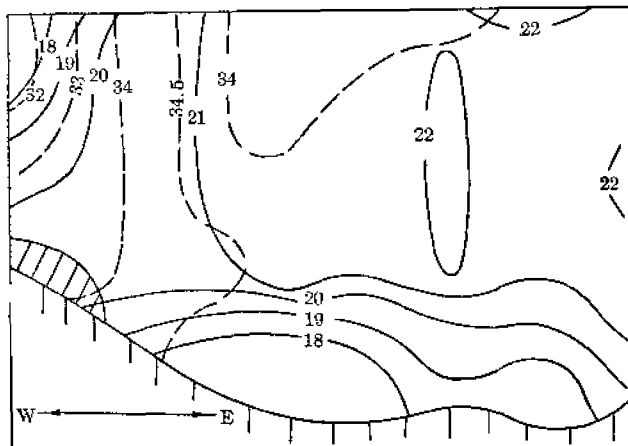
实线为温度等值线(℃);虚线为盐度等值线(‰);横线区域为鱼群位置



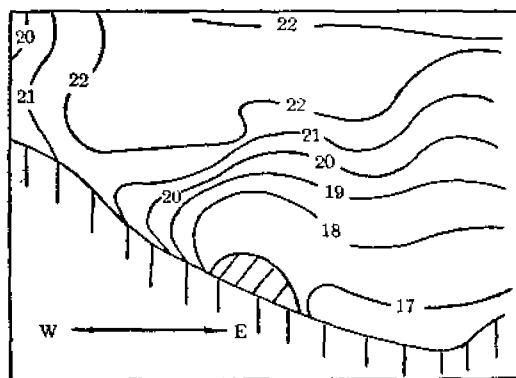
(a) 1972年12月, 27°N断面



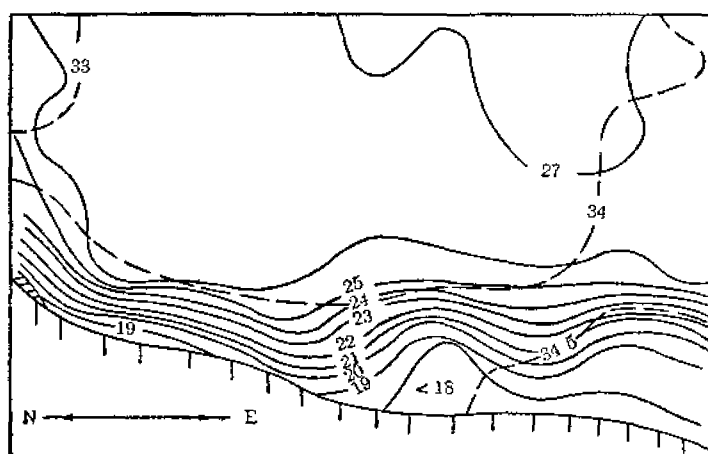
(b) 1972年12月, 123°E断面



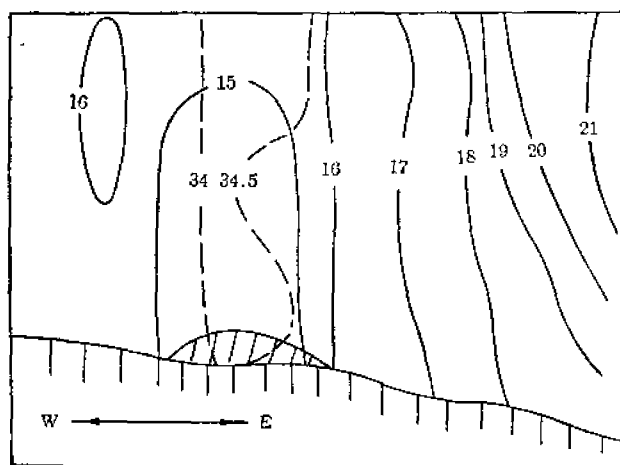
(c) 1973年12月, 23°N断面



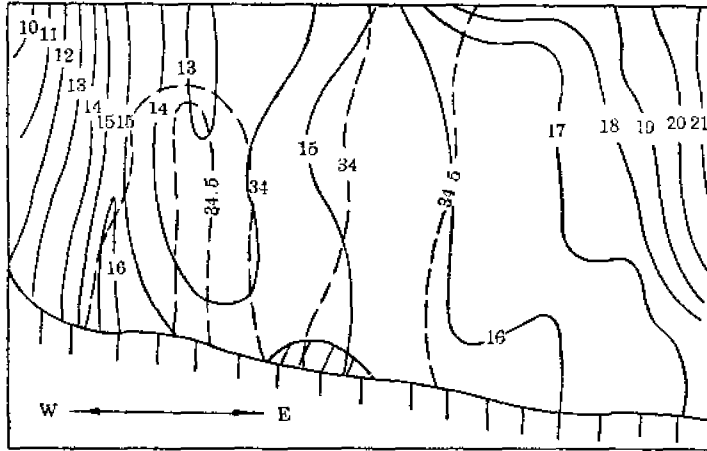
(d) 1973年4—5月, 27°N断面



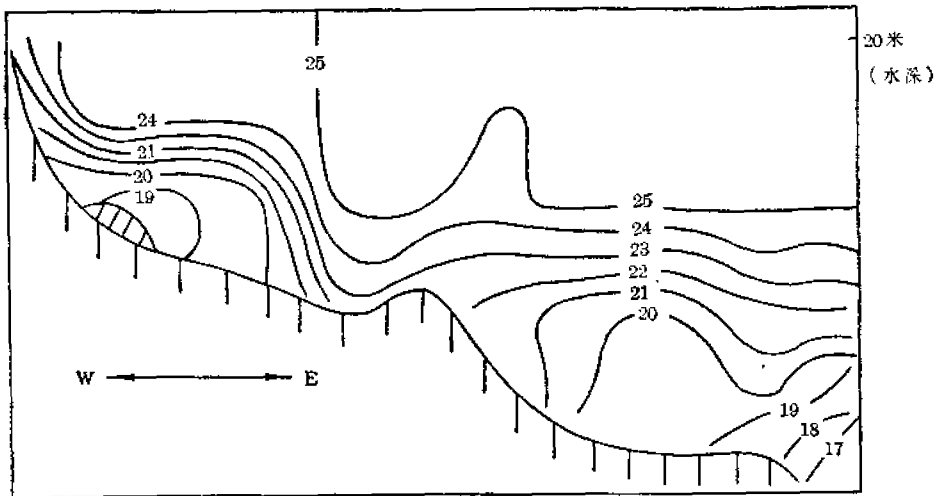
(e) 1973年, 28°N断面



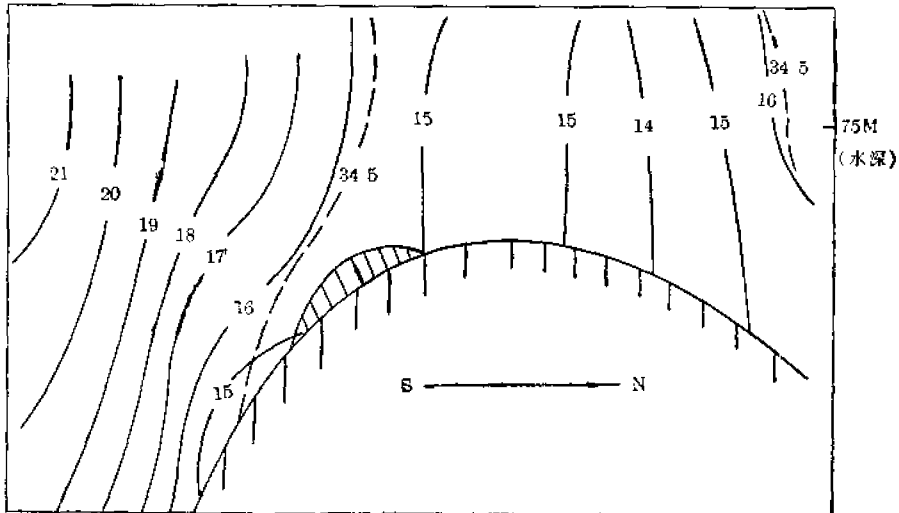
(f) 1975年3月, 28°N断面



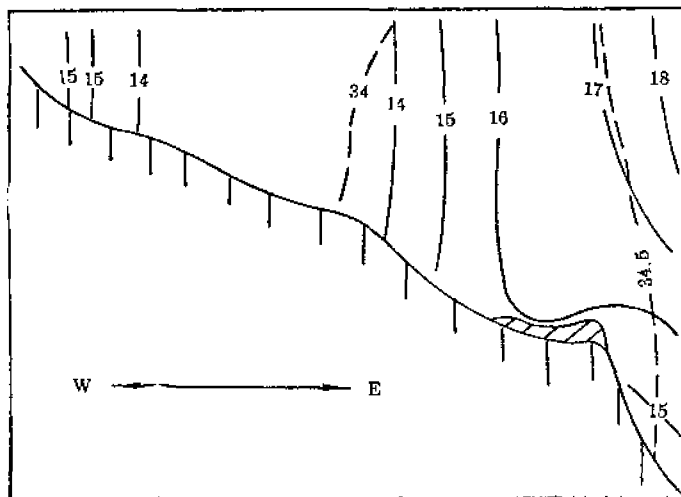
(g) 1974年4月, 28°N断面



(h) 1976年10月, 29°N断面



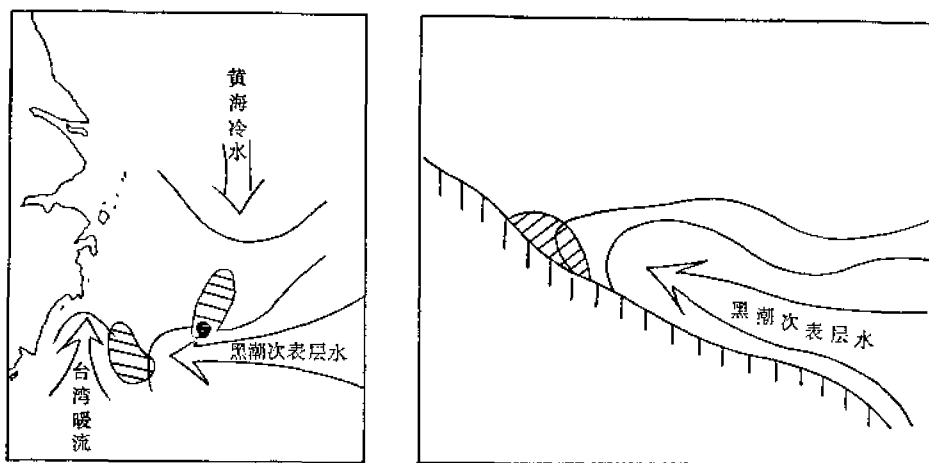
(i) 1978年3月, 127°E断面



(j) 1978年8月, 29°N断面

图4 鱼群的断面分布

不论鱼群和环流分布的地理位置如何变动, 两者的相对位置总是不变——鱼群总是集结在该环流系统的西侧前缘(图5)。对于底层鱼来讲, 正好是集结在环流的下部即黑潮次表层向岸爬升水体的前部。



(a) 平面分布

(b) 断面分布

图5 东海纬向垂直环流的鱼群分布

因此, 只要弄清黑潮次表层水的某些性质对鱼群的影响, 也就搞清了该垂直环流的集鱼机制。首先, 我们看到图上所显示的鱼群集结部位总是在次表水的外部而不在其内部。在实际作业中, 过去由于资源调查和生产试捕的需要, 曾在黑潮次表层水分布区进行过多次试捕, 也证明在这些海区渔获很低。这说明次表层水的某些性质是不适于鱼群大量集结的。次表层水的主要特征是低温(15—20°C), 高盐(>34.5‰), 高磷(10—30mg/M³), 低氧(<40%—90%)。其中, 磷是营养盐类, 高磷应是有利因素。温度 15—20°C 对于越冬

场的鱼群来讲属于可适应的范围。盐度偏高一点,但对于象马面鲷、大眼鲷之类外海性鱼类,只要其他条件合适,在盐度 34.5‰附近仍可有较好的渔获〔图 3(j), 图 4(i)〕。看来,次表层水不适于鱼群栖息的原因主要是其低氧特性。从图 7 可以看到,在黑潮次表层水的爬升范围内,溶氧饱和度一般均小于 70%。在其从外海向岸爬升过程中由于消耗,到近岸海区其饱和度更小,可低于 30%,甚至更低。对于周围饱和度很高(100%)或过饱和(>120%)海水来讲,它是一种贫氧水。许多鱼类生理学家经过试验后认为,海水中溶解氧含量对鱼类生理,特别是生殖生理的重要性是不容忽视的。Moore(1942)指出,当 15—26℃时,大多数鱼类维持生命所需的溶解氧浓度至少为 3.5—5.0ppm,而在 2—3ppm 时有生命危险转引自^[2]。上海市水产研究所对鳗鲡耗氧量的研究也表明,当水温 15℃时,含氧量降至 0.33mg/L 时,鳗鲡即开始死亡。在国外文献中可看到暴发性的上升流引起鱼群大规模死亡的记载转引自^[8]。Bonse(1968)指出,近底层溶解氧若小于 2ml/L 时底鱼渔获量即显著降低。

有的学者认为,鱼类生殖时期总是处在很急的水流和滨海地区或者是在水的表层,即便是海底生殖的鱼类(如鳕)其受精卵也要浮到水面上来孵化,这说明鱼类繁殖总是选择含氧量较高的地方转引自^[2]。

Привольнев(1948)提出所谓“鱼类机能呼吸”的假说,认为鱼类洄游主要依靠和呼吸代谢的抑制有关的过程。如果水中含氧量低到该鱼种的“氧的适应带”以下,以致加强呼吸也不能补偿时,鱼群就开始寻找高氧的地方。生殖洄游发生在鱼的机体总代谢的高涨期,这说明了生殖期前鱼类总是趋向高氧带的事实^[2]。

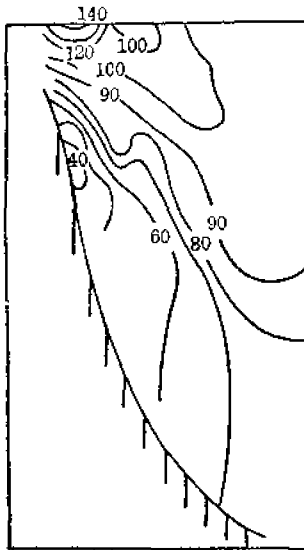
因此,鱼类,特别是产卵前期的鱼类,躲避贫氧水是一种本能反应,而贫氧水在海底的推进对鱼类具有“驱赶”作用。每年春季在黑潮次表层水大规模向岸爬升时,沿途就把外海越冬的鱼群向岸驱赶,爬升水的范围愈大,势力愈强,被驱集的鱼群就愈多愈集中。以 76 年与 77 年 6 月份机轮拖网带鱼生产为例:从这两年的东海带鱼总产量、机轮平均网产、冬汛带鱼机帆船总产量和机帆船平均单产来看,这两年的带鱼资源量水平大致相近,但这两年 6 月份机轮拖网生产好坏悬殊(表 2)。结合东海纬向垂直环流的资料来看,可从底层贫氧水的强弱情况找出端倪(图 6):1976 年 6 月环流较弱并有混合现象,故近底层溶氧饱和度变化幅度很小,均在 70%左右;1977 年 6 月环流较强,近底层溶解氧的变化幅度一般处于 60—80%,近岸海区出现了小于 60%的低氧海水。底层海水缺氧程度愈高,它驱集鱼群向岸、向北移动的能力相对愈强。因此,1977 年 6 月带鱼密集程度比 1976 年同期相对为高。

同样,春季分布于东海东南部的短尾大眼鲷,也受环流强弱制约。73 年是 70 年代垂直环流最强盛的年份之一,这一年春季大眼鲷的生产相当好,百箱以上网头很普遍,鱼发位置也是在次表层水的前缘(图 5)。但在以后几年里,环流势力较弱,大眼鲷出现了分散分布于东南外海的情况。这说明 73 年 4—5 月在温台渔场出现的大眼鲷密集渔场是当时强大的黑潮次表层贫氧水在底层大规模爬升的结果。

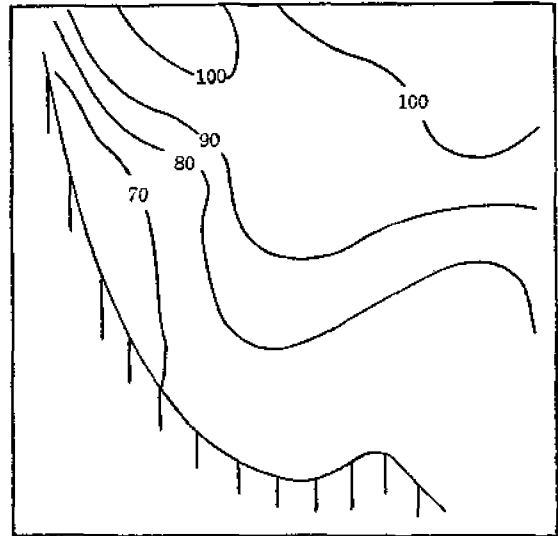
东海的绿鳍马面鲷渔场是 70 年代通过外海调查新开发的资源之一。但在早春期间,其渔场变动比较激烈,经与环流资料对照,可看出其变动受东海纬向垂直环流西侧位置的影响颇深。早春期间,马面鲷渔场主要分布在温台渔场的中北部,渔场位置处在黑潮次表

表 2

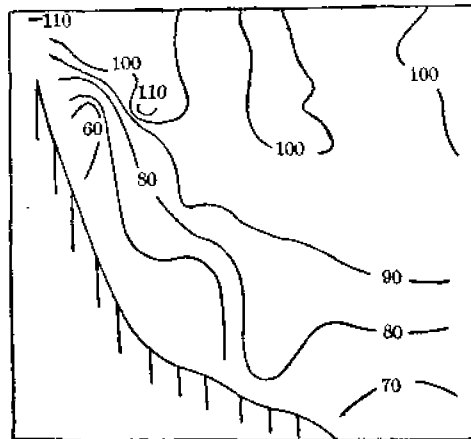
渔 场	平均网产量(箱)		大网头百分比	
	1976.6	1977.6	1976.6	1977.6
海礁长江口	64		28%	
舟山渔场东南部	69		30%	
舟山海礁		77		45%
长江口		77		49%



(a) 1973年7月



(b) 1976年6月



(c) 1977年6月

图 6 溶解氧(饱和度%)分布图

层水向岸爬升的西侧前缘和台湾暖流的东部边界之间。但该环流系统的强弱与边界位置在早春1—3月各年变化较大。在一般年景,早春期间黑潮次表层水可伸达温台渔场的 125°E 附近,台湾暖流控制着 123°E 附近海区。渔场即分布在两者之间的海区。78年3月暖流位置偏向外海,台湾暖流移至 $123^{\circ}\text{—}124^{\circ}\text{E}$ 之间海区,黑潮次表层水退至 125°E 以东,这时渔场位置明显东移至鱼外渔场和温外渔场,但是从渔场结构来看,仍处在次表层水西侧前缘[图3(j)]。在环流系统比较强大的年景(77年12月,79年1—3月)渔场底部全部受次表层水控制,迫使鱼群起浮,也不利于底拖网作业。每年3月以后,马面鲷渔场移至钓鱼岛北部的台湾暖流区,由于台湾暖流常年在此从黑潮主干分支,所以渔场也就比较稳定少变,一直可持续到6月份前后。

在东海纬向垂直环流西侧前缘构成渔场的条件是多方面的。除了上述的贫氧水在底层大规模推进,把原先分散分布于外海越冬的鱼群向岸驱赶集中之外,在近岸上升流区,富含营养盐类(主要是磷)的贫氧水,向中上层和表层涌升,混入了充分的氧气,接受了充沛的阳光,即构成高生产力海区,从而引起饵料生物的大量繁殖,进一步提高了鱼群集结的程度。

东海纬向垂直环流的集鱼机能综述于下:当鱼类机体到了一定的发育阶段以后,在生理上发生了一系列的变化,特别是在产卵前期,即所谓机体总代谢的高涨期,对氧的消耗大量增加。恰在同时,东海纬向垂直环流逐步形成并向岸推进,在海底就出现了贫氧水与富氧水的明显对比,越冬期间分散分布在外海区的鱼群就被驱赶到爬升水的前缘并集结起来。随着环流的不断发展,其西侧的上升流也不断增强,从而形成高生产力海区,由于饵料基础雄厚,更吸引了其他海区的鱼类在此集中,当鱼类集结到一定程度后,便具备了生产作业的基本条件——也即形成了渔场。

东海纬向垂直环流理论在渔业生产上应用的初步探讨

通过上面的讨论可知,对东海纬向垂直环流的研究具有经济价值。它可用作渔情预报、渔场安排及现场作业的参考资料。

影响东海纬向垂直环流的主要因子是黑潮(及其支流)下层流的极向分量 and 引起表层海水发散的大气环流系统。其中黑潮因受冲绳海槽地形制约作用,终年流向东北,常年具有极向分量。引起表层海水发散的大气环流系统,主要受亚洲、太平洋地区的副热带高压(简称“副高”)的影响,每年夏秋季节可影响东海,在其西部控制的范围内属南—西南—西气流。这些气流可促使表层海水发散并吸引黑潮次表层水的爬升和涌升。因此,有关副高的位置、强弱和动向均可作为环流强度的指标。以此可用于渔情预报和水文预报。如上面提到的1976年与1977年机轮拖网夏带鱼发好坏的问题,如进一步对照这两年的副高情况,便可看出它们之间的联系:原来这两年副高强度相差颇大,1976年副高弱,5—6月中心位置在 155°E 附近,偏离东海,且范围很小;而1977年同期,副高位置从太平洋中部一直伸展到南海和中印半岛。考虑到东海纬向垂直环流的部分能量来源是由风力提供的话,76年的环流系统就缺乏强大的推动力,致使环流主要分布在 28°N 以南海域, 28°N 以北海水混合较盛。黑潮次表层水一经混合以后,其低温缺氧的特性就将丧

失或减弱,驱集鱼群的能力势必受到影响。由此可知,在资源量相近的情况下,大气环流和纬向垂直环流的资料可预测鱼发相对好坏的概貌。对照其他各年的副高、环流和渔场资料未发现例外的情况。只是资源量本身具有较大的波动,尚难于用气流和环流的强度参数对某一渔场的资源丰度(abundance)进行线性数量估计。

由于贫氧水与低温高盐水的一致^[1],因此在生产作业现场没有条件进行溶解氧测定的情况下,现场的温盐资料均可利用。如在春季(4—6月)或秋季(9—12月)浙闽近海的带鱼、竹鱼渔场即属环流西侧的涌升流渔场。初到渔场时,可利用表底层温度指标来确定作业位置。如表层水温在 20°C 以上、底层海水在 20°C 以下,且跃层位置接近底层时,说明有环流存在,也即底层有次表层水存在(参见各断面图)。在底温 17—19°C 的水温范围内(春季偏向低温一侧,秋季偏向高温一侧),其形成渔场的可能性要较其他海区为大,以此可减少摸索时间。

由于环流的形成和发展与优势风向的关系颇为密切,所以在渔场作业期间可利用优势风向的情况来确定渔场转移的方向。如作业期间有一个较强的南风过程,可能鱼发将转好,中心渔场将向岸移动;相反,在一个北风过程后,渔场将会逐渐排开。(注意,这仅适用于浙闽近海与纬向垂直环流系统有关的底拖网渔场,大洋网、围网、中层拖网、或流、钓的鱼发规律与此不同)。

每年秋季,环流最强季节,渔场贴近禁渔线,或移入禁渔区内。因此,环流西侧位置与禁渔区的相对位置对机轮拖网作业关系甚大,如渔场全部或大部进入禁渔区内,则一个北风过程对机轮拖网是有利的。在环流较强年份,主要渔场常逼近海岸,在外围的鱼群由于底层有贫氧水的盘据,而往往不易贴底,这时可考虑变水层拖网的作业。

冬季(12月前),环流消退的迟早、方式均可影响浙闽近海渔场位置和渔期结束的迟早。

关于东海纬向垂直环流的强度估计可根据大气环流特征和温盐、溶解氧或密度的平面、断面分布图进行定性估计,也可将低温高盐水、贫氧水、或高密度水的分布面积或体积来定量计算。

此外,由于环流是一个完整的循环系统,故可以其中某一段的强弱来窥其全貌。如在近岸涌升区涌升流速度 $\omega_H(0)$ 与垂直环流系统的强度正相关,而且是可求的。吉田耕造^[8]提出了以下的计算模式:

$$\omega_H(0) \approx \frac{\tau_v}{\sqrt{gH \frac{\Delta\rho}{\rho}}}$$

式中, $\omega_H(0)$ 为近岸涌升速度;
 τ_v 为与岸线平行的风的切应力;
 g 为重力加速度;
 $\Delta\rho$ 为两层间的密度差;
 ρ 为平均密度;
 H 为上层的平均密度。

[1] 毛汉礼等, 1964。南黄海和东海北部夏季的水文特征及海水类型的初步分析(未刊稿)。

或者,直接用垂直流计(VCM)进行现场测定,则可取得更为可靠的资料。

总之,利用东海纬向垂直环流的资料来指导生产实践有着广阔的前景。

参 考 文 献

- [1] 布朗, M. E. (费鸿年译), 1962. 鱼类生理学. 科学出版社。
- [2] 普契柯夫, H. B. (何大仁译), 1959. 鱼类生理学. 上海科技出版社。
- [3] 吉田耕造, 1974. 涌昇. 海洋学講座 I, 海洋物理学 I. 东京大学出版社。
- [4] 佐佐木忠義等, 1969. 海洋閉塞. 海洋開発センター——出版社。
- [5] Heia, I. and Laevastu, T., 1961 Fisheries Hydrography. Fishing News (books) Ltd London EC4.
- [6] Yashida, K. and Mao, H. L., 1967. A Theory of Upwelling of Large Horizontal Extent *Journal of Marine Research*, 16(1): 40—59.

THE EFFECT OF TRANSVERSE VERTICAL CIRCULATION ON THE FORMATION OF FISHING GROUND IN DONG HAI

Zheng Jianyuan

(*Dong Hai Fisheries Research Institute*)

Abstract

1. It has been proved by investigations since 1959 that there exists a transverse vertical circulation system in the Dong Hai.

2. This circulation system consists of the surface rip current (the divergence caused by wind in surface water), the subsurface current of the Kuroshio climbing up along the bottom towards the shore and the upwelling near the shore. The latter two are partly caused by meridional currents in the lower layers.

3. The subsurface water is short of dissolved oxygen, so it is able to drive fish shoal to the fishing ground. It plays an important role in the process of concentrating fishes. Besides that, the effects of upwelling and other suitable conditions make the western bound of the circulation system have the opportunity to form a fishing ground.

4. Based on the fundamental principles of circulation, we can apply the information of the circulation in a certain period to the fishing forecasts, in order to make the arrangement of fishing and the operation on the ground.