

黄海冷水域水化学要素 的垂直分布特性*

刁焕祥 沈志良

(中国科学院海洋研究所)

黄海夏季深层冷水(简称黄海冷水)^[1],又称为黄海冷水团^[3,4],已为海洋物理学家进行过较多的研究。该水域化学研究开展较晚,近年来顾宏堪首先报道了黄海夏季溶解氧垂直分布最大值与黄海冷水密切相关^[2]。黄海冷水与其它水团一样,理、化、生物等特性是相互关联的统一体。遗憾的是,迄今尚未见到有关于此的多学科综合性的研究报道。

本文根据 1959 年海洋调查资料,对黄海冷水域主断面水文化学要素的垂直分布特性进行了研究,并讨论了该冷水形成及诸参数变化的原因。

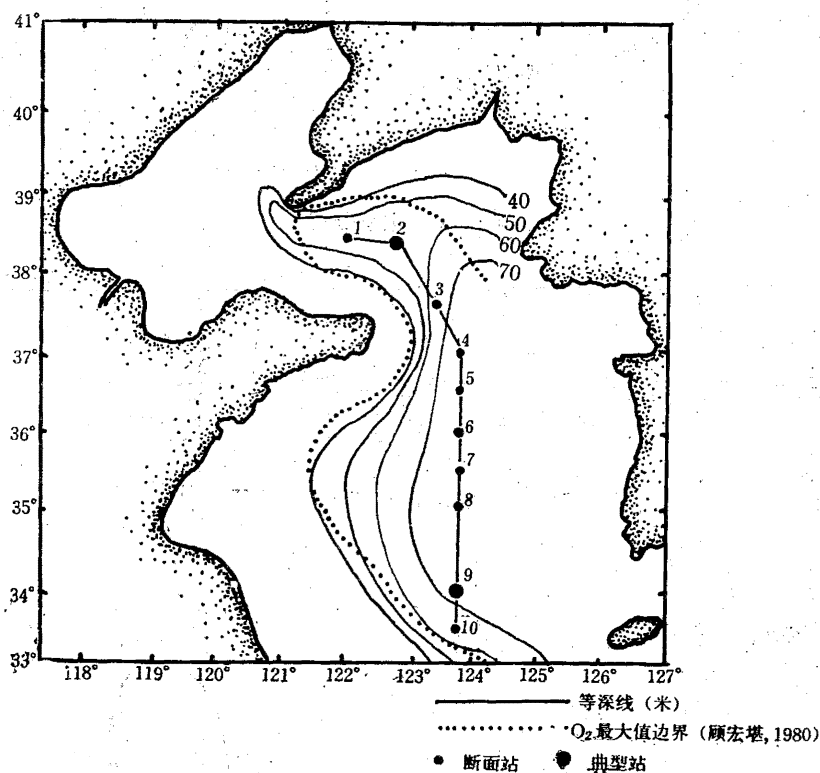


图 1 站位、水深及 O₂ 最大值的分布

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1008 号。本文荣蒙顾宏堪同志指导,谨此致谢。
收稿日期: 1983 年 8 月 30 日。

一、水文、化学要素的垂直变化

断面站位、水深及溶解氧最大值分布列于图1中。本文文图中诸参数的符号如下：

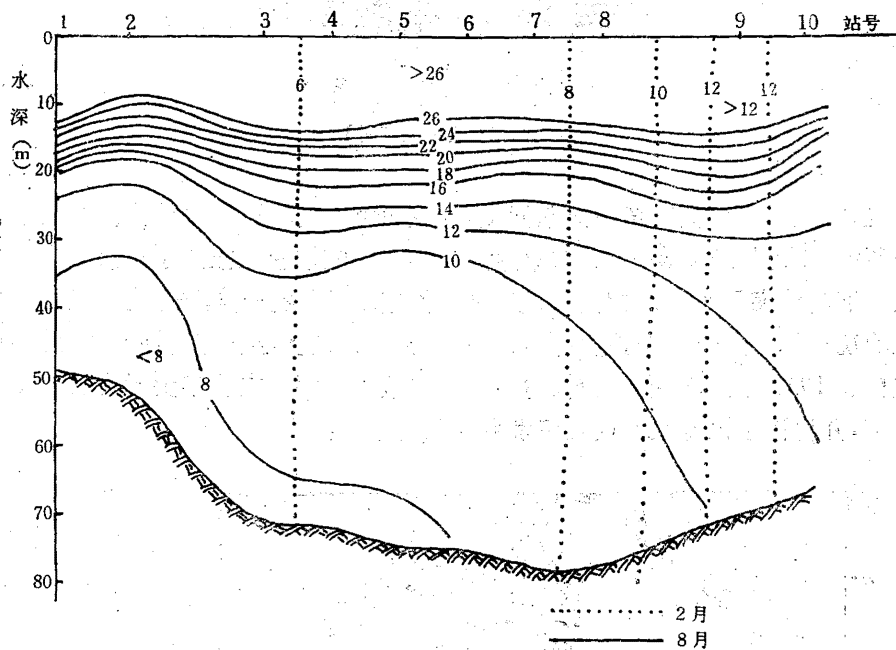


图 2a $t(^{\circ}\text{C})$ 垂直分布

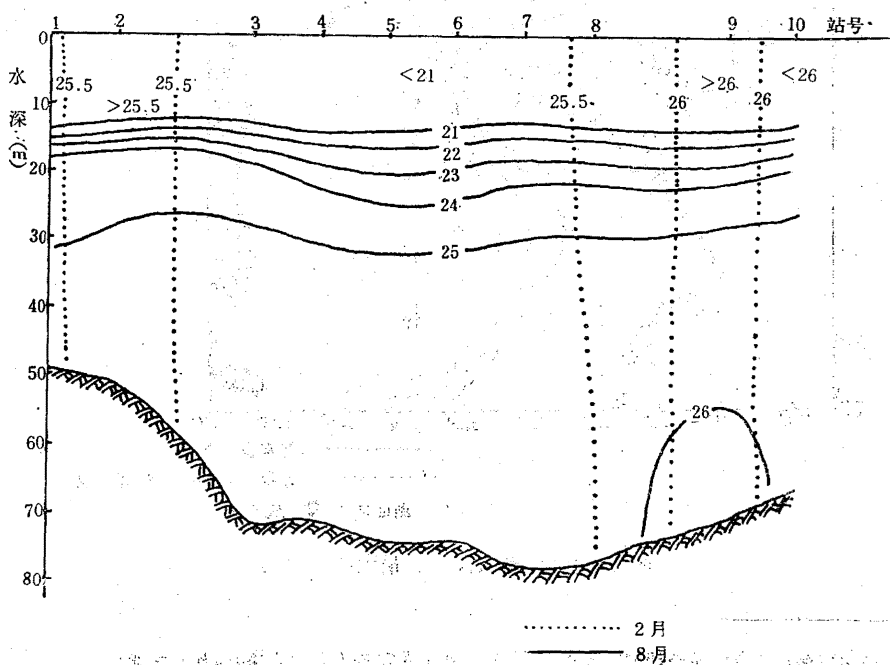


图 2b σ_t 垂直分布

水温—— t , 密度—— σ_t , 溶解氧—— O_2 , 磷酸盐—— PO_4-P , 硅酸盐—— SiO_3-Si , 酸碱度—— pH , 浮游植物—— PTP , 浮游动物—— ZPT , 底栖生物—— BBG 。

图 2 给出了 t , σ_t , O_2 , PO_4-P , SiO_3-Si 及 pH 的冬、夏季断面分布。

图 2a 表明, 冬季水体垂直交换良好, 水温分布均一, 其等值线大致呈垂线分布, 其量值由北向南逐渐增加, 大致变化范围为 $6-12^{\circ}C$ 。夏季太阳辐射普遍增强, 水体层化现象十分显著。15—35m 形成了稳定的跃层, 其下界温度约为 $12^{\circ}C$, 上界大致是 $20^{\circ}C$ 。上层水温高达 $26^{\circ}C$ 以上, 下层水温普遍低于 $12^{\circ}C$, 最低则小于 $8^{\circ}C$ 。冬、夏季水温等值线大致呈纵横相交状态。下面将讨论到, 本水域夏季上层水升温及其跃层下界附近以下对冬季低温的保守性, 是密度跃层和氧最大值形成及有关化学要素垂直分布特性的主导因子。

由图 2b 看出, 密度分布趋势主要受水温控制。冬季 σ_t 量值为 $25.5-26$, 垂直分布均一; 夏季大致是 $21-26$ 。与 t 相应, 其跃层大致亦是 15—35m 水层, 跃层上、下界 σ_t 为 22 和 25。上层水 σ_t 是 $22-21$, 下层水则为 $25-26$ 。与 t 一样, 跃层下界附近以下的 σ_t 亦具有冬季的保守性, 其等值线冬、夏季分布亦呈纵横相交状态。

夏季水温、密度稳定跃层的形成是该季化学参数垂直变化的水体物性基础, 它们的变化均直接或间接地与水温特性相关。

图 2c 指出, 冬季溶解氧的分布与水温完全相应并呈负相关关系。 O_2 的 7.2, 6.8, 6.4 等值线与 t 的 6, 8, 10 等值线基本上呼应。夏季 O_2 大致在 15—35m 呈现跃层, 其最大值基本上出现于温度跃层下界附近。夏季水温大体保持了冬季前后的量值, 溶解氧亦大致保留了同期的含量。若用 O_2 最大值是由浮游植物光合作用所致的观点^[5,6], 对此无法进行解释。表 1 指出该断面夏季 PTP 仅为 $(1-3) \times 10^4$ 个细胞/ m^3 , 光合作用强度太微弱, 显然生物活动不是形成 O_2 最大值的决定因素。顾宏堪研究指出^[2], 黄海冷水域中氧

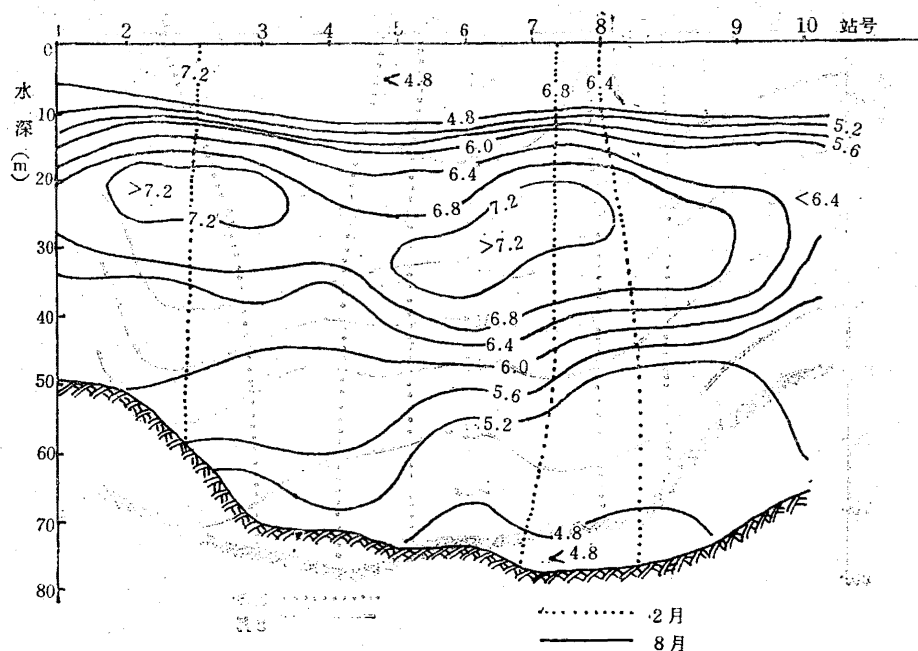


图 2c O_2 (ml/l) 垂直分布

最大值主要是由冬季保留下来的。该断面 15—35m 水层, O_2 有一个 6.4 等值线的封闭高值区, 其中量值高达 7.2ml/l 以上。上层水 O_2 含量主要受水温升高控制而明显下降, 其量值为 6—4.8ml/l。跃层以下水体的 O_2 含量明显下降, 这主要是因为水文学稳定跃层以下水体 O_2 缺乏补充源, 异养生物呼吸及有机质分解耗氧所致(生物量见表 1)。

表 1 冬、夏季黄海冷水域主断面生物量 (1959)

站 号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PTP	2 月	54	16	2	1	<1	<1	<1	<1	4	1
	8 月	1	2	3	/	<1	/	<1	<1	<1	1
ZPT	2 月	33	80	68	4	6	40	10	21	6	44
	8 月	61	175	40	46	71	63	84	164	160	230
BBG	1 月	28	23.8	/	25.7	60.2	23.5	17.2	30.7	7.3	25
	7 月	45	28.2	25.5	49.2	3.2	60.9	19.6	6.5	30	0.6

注: 生物量单位 PTP: $\times 10^4$ 个细胞/ m^3 ; ZPT: mg/m^3 ; BBG: g/m^2 。

溶解氧的分布主要受水温控制, 以生物为媒介, 它与营养盐亦出现量变关系 (夏季跃层以下水体), pH 垂直分布与 O_2 相似, 下面分别加以讨论。

由图 2d 看出, 冬季磷酸盐垂直分布均一, 等值线基本上呈垂线状, 其量值变化范围为 15—20 $mg-P/m^3$ 。夏季 PO_4-P 等值线转向水平方向。磷含量在 t , σ_t 跃层下界以上水体明显下降为 15—5 $mg-P/m^3$; 在以下水层中显著增加(约 20—25 $mg-P/m^3$), 这与浮游植物对其吸收利用及生物尸体有机质分解再生有关^[2]。

图 2e 指出, 冬季 SiO_3-Si 垂直分布均一, 其含量范围为 300—400 $mg-Si/m^3$ 。夏季量

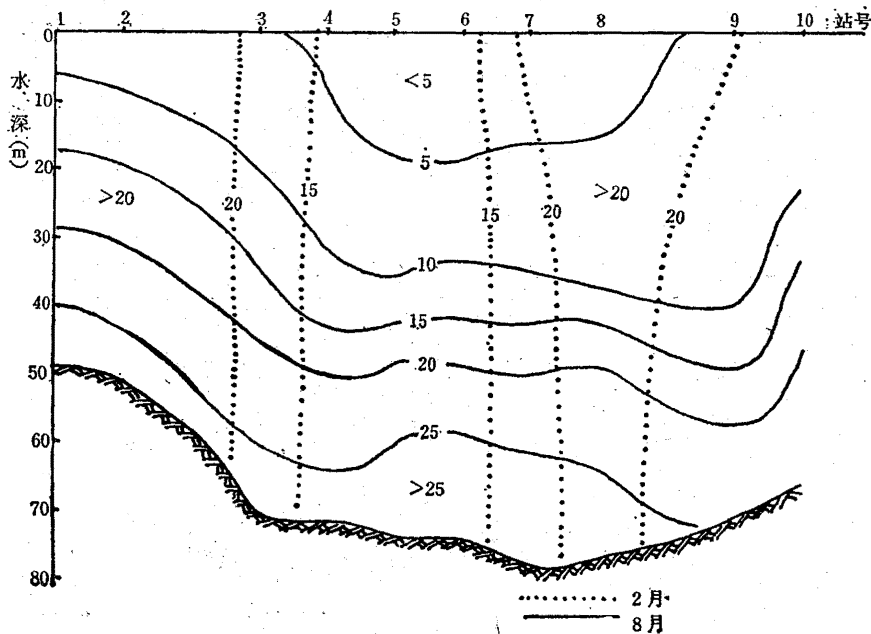


图 2d PO_4-P ($mg-P/m^3$) 垂直分布

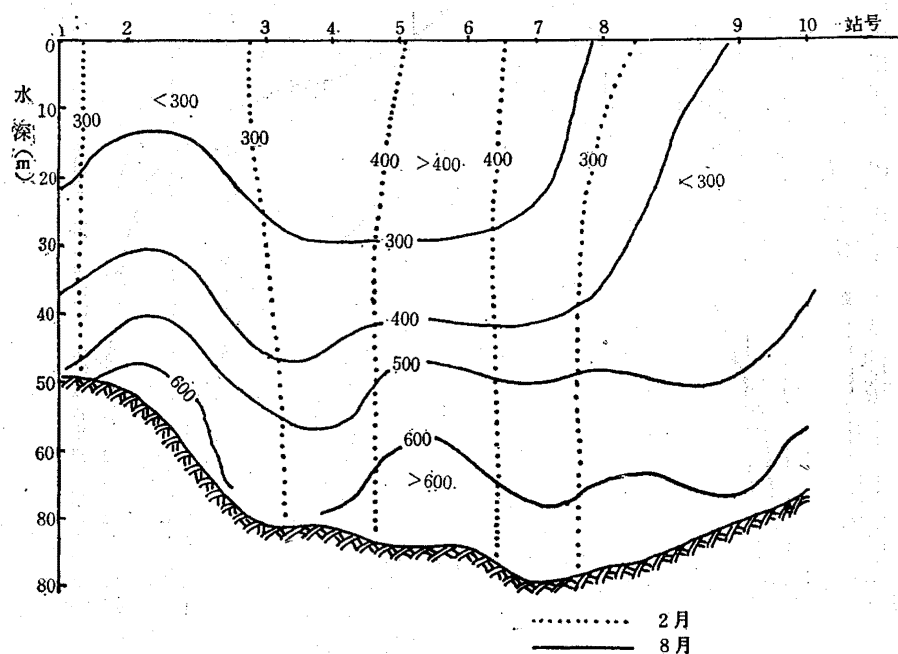
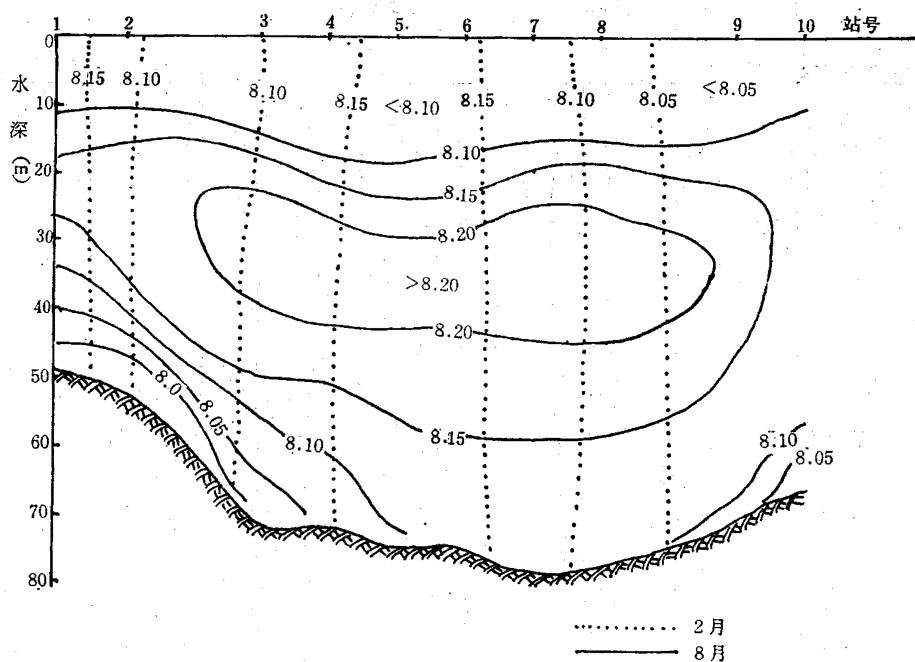
图 2c $\text{SiO}_3\text{-Si}$ (mg-Si/m^3) 垂直分布

图 2f pH 垂直分布

值呈上低下高趋势,在 t , σ_t 跃层下界以上及以下水层中,其含量分别为 <300 及 $500\text{—}600 \text{ mg-Si/m}^3$ 。跃层以上水体由于受大陆径流影响小,补充源缺乏,浮游植物吸收利用是其减少的主要原因。跃层以下水体浮游植物量少,生物尸体及有机质分解是使其增加的

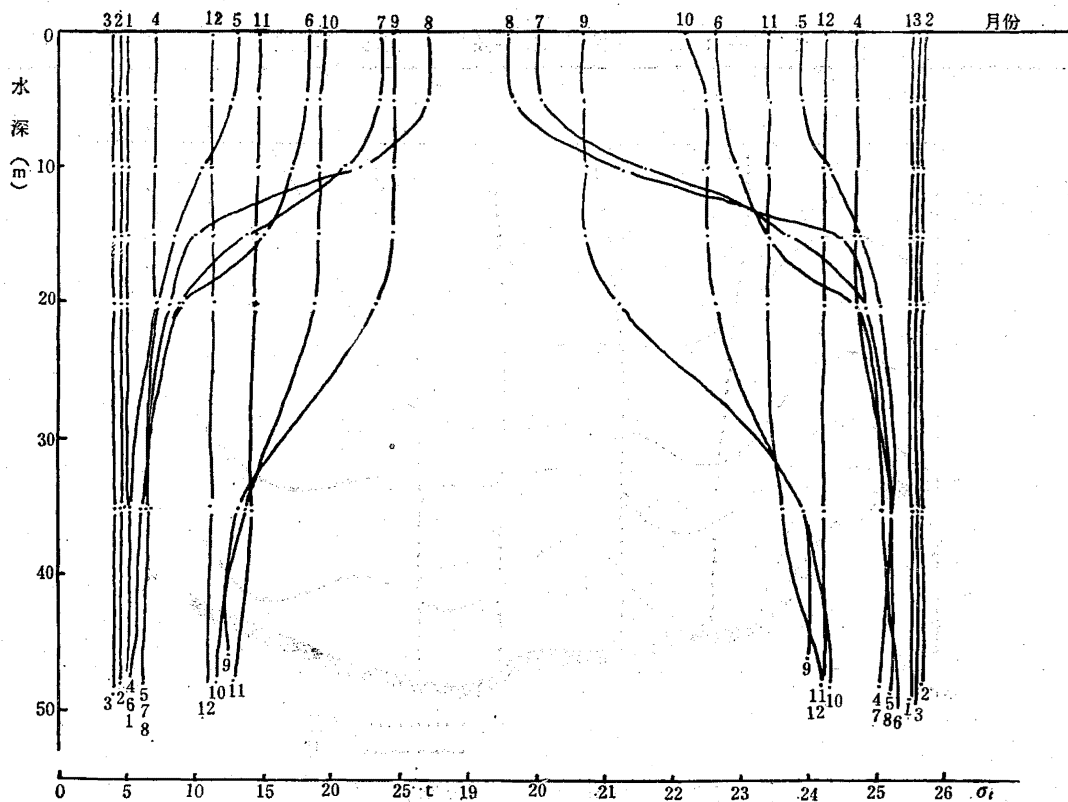


图 3a 2 站 $t(^{\circ}\text{C})$, σ_t 垂直分布季节变化

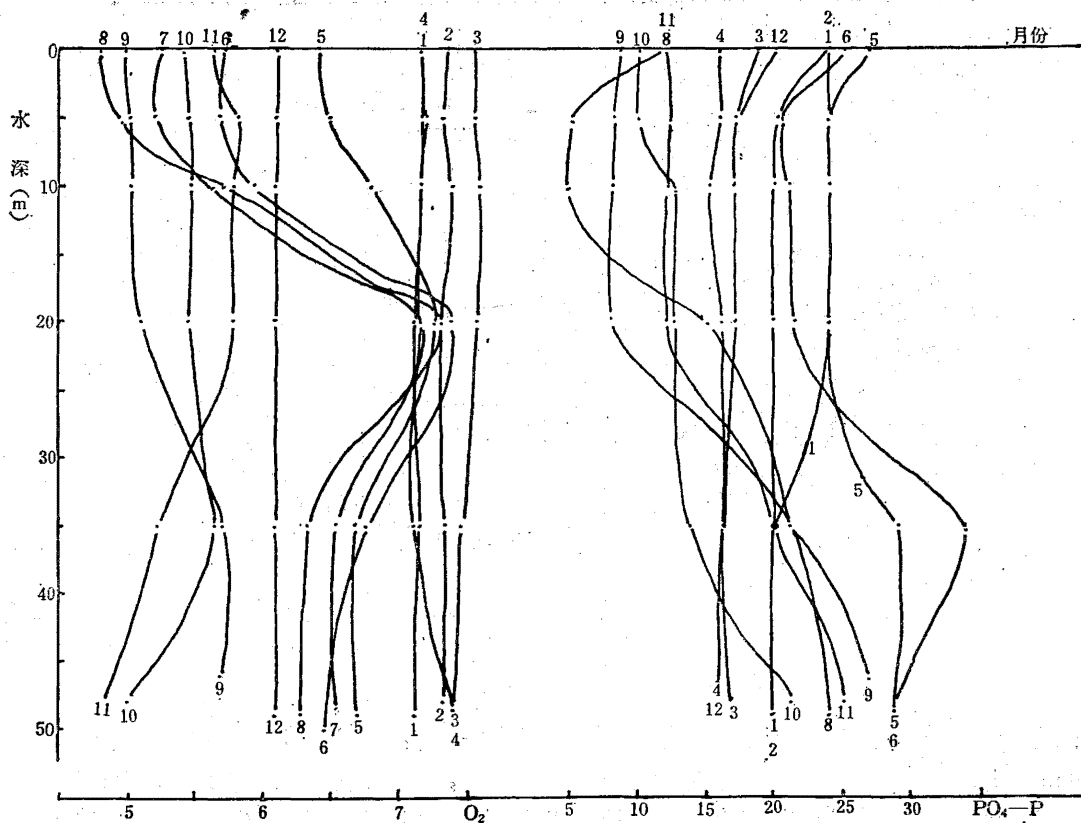
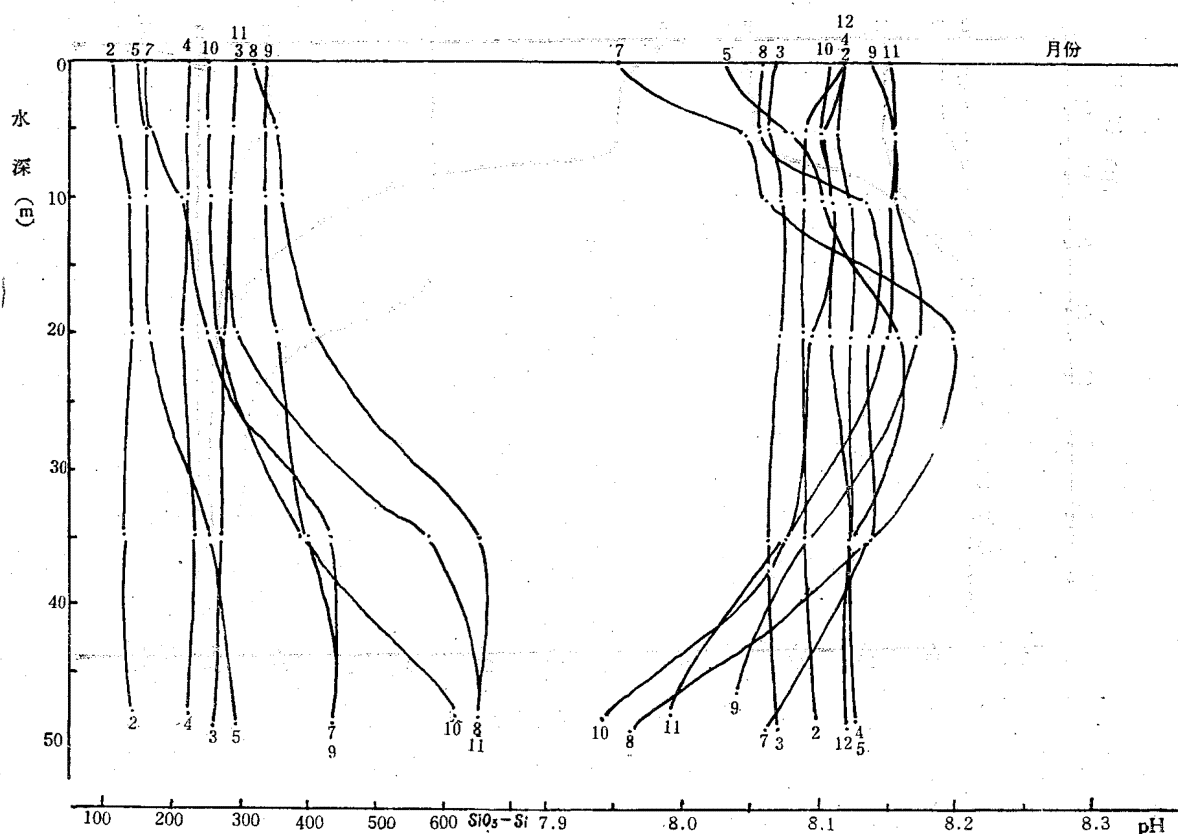


图 3b 2 站 O_2 (ml/l), $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg-P/m³) 垂直分布季节变化

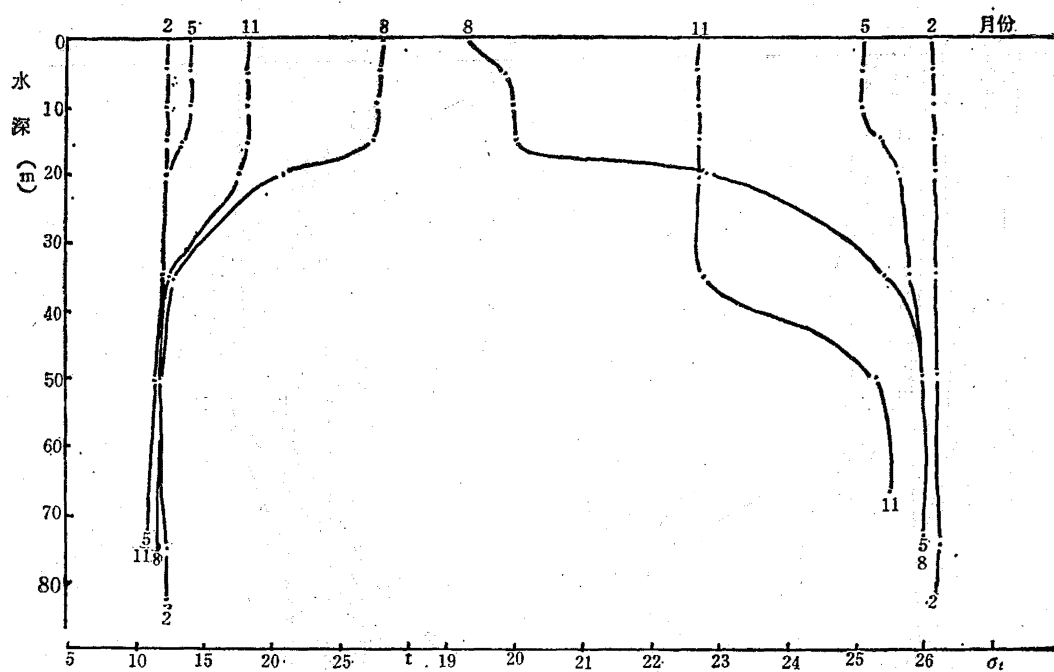
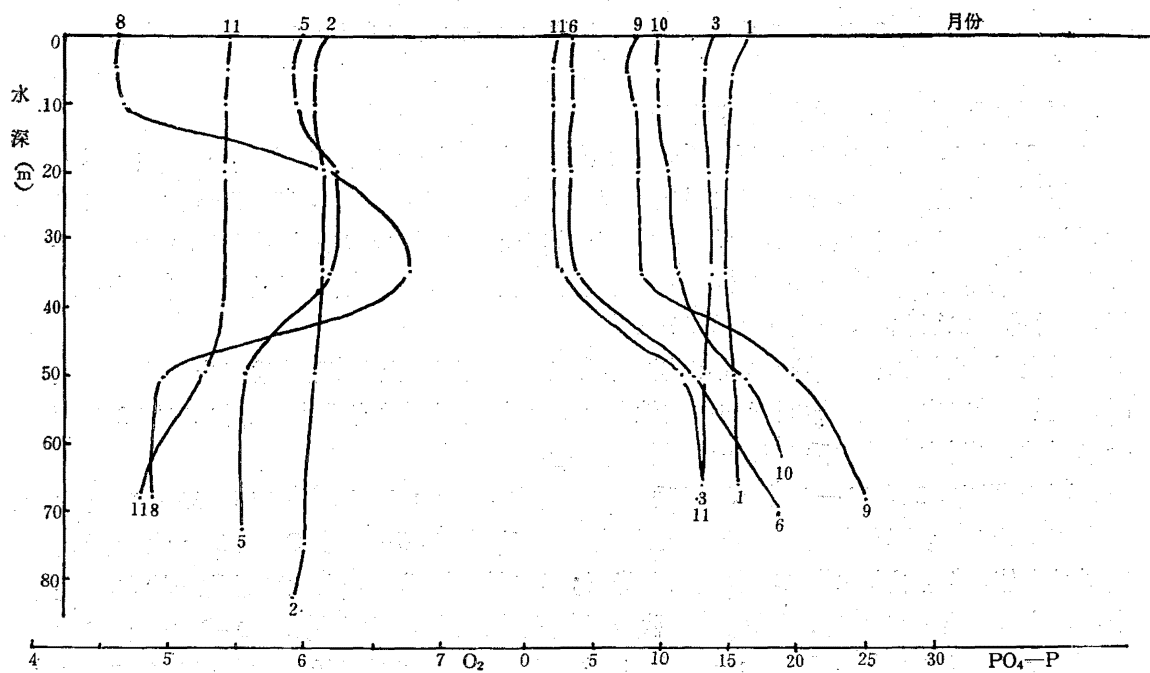
图 3c. 2 站 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ (mg-i/Sm^3), pH 垂直分布季节变化

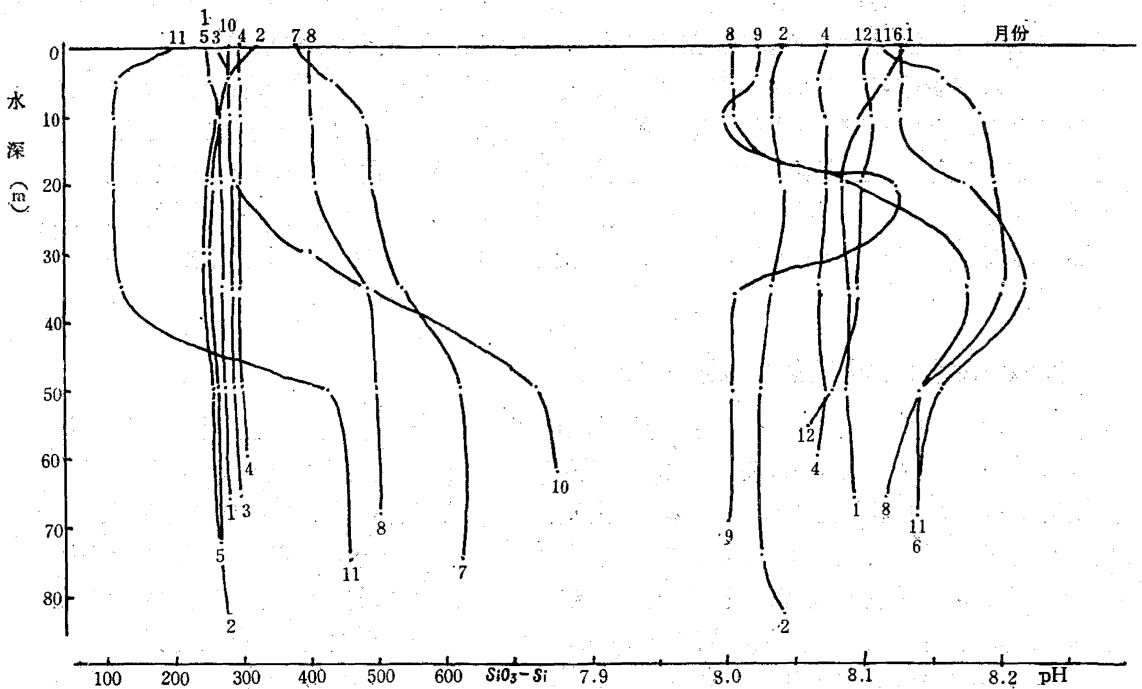
主要原因, O_2 含量明显降低是其证据之一。

图 2f 指出, pH 与 O_2 的垂直分布很相似。冬季酸碱度垂直分布均一,这主要是水体上下层交换良好所致, pH 值水平变化范围为 8.05—8.15。夏季, 15—50m 水层 pH 值大, 封闭线为 8.15, 其中心量值高达 8.20 以上。其上、下水层的 pH 值分别为 8.10 和 8.10—8.00。跃层以下水体中 pH 与 O_2 存在间接的量变关系, 由于生物呼吸、有机质分解耗氧, 同时排出二氧化碳, 致使 pH 值降低。

以上讨论了水文、化学诸参数在黄海冷水域南北主断面上冬、夏季垂直分布的变化状况, 明显地看出水温是主导因素与决定性条件。为大致了解过渡季节的变化, 选取 2, 9 两个典型站, 主要代表月的垂直分布作为相应讨论。

图 3a 指出, 2 站 11—4 月 t , σ_t 垂直分布呈均一状态; 5—10 月在 15—35m 以上水层中有 t 升高 σ_t 降低趋势, 6—9 月最为明显。图 3b 指出, 5—8 月 O_2 在 20m 水层附近出现最大值, 其上下水体中 O_2 含量明显降低; 其它月份氧垂直分布大致呈均一状态。整个水体中 O_2 含量冬季高、夏季低, 春、秋居于其间(氧最大值层例外)。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量在 5—11 月 20m 以下水层中明显增加; 以上水层在 8—11 月量值有所下降。图 3c 指出, 7—11 月在 20m 以下水层中 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 含量明显增加, 其它月份垂直分布均一。7—11 月 20m 水层附近, 与 O_2 相似, pH 亦有最大值出现; 在跃层以下水体中其量值明显下降; 5, 7, 8

图 4a 9 站 $t(^{\circ}\text{C})$, σ_t 垂直分布季节变化图 4b 9 站 $\text{O}_2(\text{ml/m})$, $\text{PO}_4\text{-P}(\text{mg-P/m}^3)$ 垂直分布季节变化

图 4c 9 站 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ (mg-Si/m^3), pH 垂直分布季节变化

月上层水中的 pH 值显著降低。

图 4 给出了与上述参数相同的 9 站垂直分布季节变化状态,其趋势大体与 2 站相同。图 4a 指出,5, 8, 11 月 t 、 σ_t 互呈镜影,20—45m 出现跃层;冬季两者均为垂直均一分布。图 4b 指出,5, 8 月 O_2 出现最大值, t 、 σ_t 跃层上下水体中的含量均降低,2 月呈垂直分布均一状态,11 月深水层中的含量低。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量在 1, 3 月垂直分布均一;6, 9, 10, 11 月在 35m 以下水层中其量值明显升高,在以上水层中则降低。图 4c 指出,1—5 月 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 含量垂直分布均一;7, 8, 10 月在 35m 以下水层中其量值明显增加;11 月其含量上层降低下层升高趋势亦很明显。6, 8, 9, 11 月 pH 与 O_2 最大值相应,中层水中 pH 量值高;2, 4, 12 月 pH 值垂直分布均一。

2, 9 站诸参数垂直分布季节变化图指出,冬、夏季是水体混合与层化现象的代表季节,而春、秋季则是过渡季节。各要素的变化规律及其原因已在前面阐明。在此应着重指出,本文讨论的是位于水深大于 40m 的黄海冷水域的表征断面,它受大陆径流影响微弱,生物量小(特别是浮游植物),各参数的变化主要受水温直接或间接控制。

二、讨 论

1. 黄海冷水的形成原因

毛汉礼、任允武等研究指出^[1],夏季黄海冷水与地形有密切关系,它主要是贮存在海底下凹的海盆地带。赫崇本等认为^[4],冬季表层海水受干寒气流影响产生蒸发与降温,造

成了水体上下对流,逐渐形成高盐低温水团。夏季太阳辐射加强和陆地径流量增大,使表层海水温度增高而盐度降低,因而在黄海的底部就留下了一个稳定的水团。

作者研究表明,黄海水域冬季严寒的气温直接导致了上层海水的大幅度降温,密度相应明显增大,密度对流致使水体上下交换。夏季太阳辐射强度大,上层海水温度急增、密度下降,跃层下界附近以下水体大致保持了冬季前后的水文学要素特征,其中主导因素是水温。因此,深水温度的保守性是夏季黄海冷水得以保留的原因。夏季降水对黄海冷水上层的盐度、密度也有一定影响,它能加强水文学跃层的稳定性,但不是该水团形成的主要原因。

2. 黄海冷水域化学要素的垂直分布特性

冬季,氧的垂直分布均一,主要受水温控制,两者呈负相关关系。夏季,温密跃层下界附近 O_2 含量出现最大值,主要是冬季保留下来的^[2];跃层以上水体 O_2 含量明显降低,主要是升温所致;跃层以下水体 O_2 含量亦下降,则是由缺乏补充源、异养生物呼吸及有机质分解对其消耗所致^[2]。基于本水域浮游植物量很小,以光合作用产生的氧自上而下渗入跃层而形成夏季氧最大值的观点^[5,6],对此难以解释。本文研究认为,浮游植物只能影响 O_2 最大值具体数据一定范围的变化,而不能决定最大值分布特性的存在与否。

海水中磷酸盐与硅酸盐是浮游植物的基本营养物质。它们的垂直分布既受水文要素制约的水体结构特性控制,又受生物消耗及其尸体分解的影响。冬季,水体垂直交换良好,与上述诸参数一样,磷、硅在表层至底层的含量均一,当然水平分布尚有一定差异。夏季,基于水文学稳定层化现象出现,其垂直分布相应呈上低下高趋势。上层水中磷、硅含量低主要是由于浮游植物的吸收利用,下层水中含量升高主要是生物尸体及有机质分解再生所致。35m至底层生原要素量值普遍增加,氧含量相应减少,它们之间较好的负相关关系进一步说明这种解释的正确性。春、秋季营养盐的垂直分布特性与其它参数相似,介于冬、夏季之间。

在黄海冷水主断面中,pH值的垂直分布季节变化趋势大体上与 O_2 一致:冬季垂直分布均一;夏季温度跃层下界附近 pH 出现最大值,跃层上下水体中量值相应降低,原因已于上述。

3. 结语

夏季黄海冷水是由冬季保持而来,这与稳定的温跃层有关。当然,后者又与水深较大、地形下凹及海流较小等有关。

溶解氧及 pH 值的垂直分布趋势相似,并与水温变化直接或间接相关。冬季表层至底层量值相似,垂直分布呈均一状态。夏季跃层下界附近出现最大值,由于水温大致保持了冬季前后的量值,氧亦大体保留同期的含量;跃层以上及以下水体中氧含量明显降低。夏季 pH 垂直分布趋势大致与氧相同。

磷酸盐与硅酸盐含量冬季垂直分布均一;夏季,上层水中含量低,下层水中量值明显增加。

黄海冷水域水文、化学要素垂直分布特性的主导因素是水温,其它参数的变化均直接

或间接地与温度有关。生物因素在一定程度上也影响着化学参数的变化。

参 考 文 献

- [1] 毛汉礼、任允武、万国铭, 1964。应用 T-S 关系定量地分析浅海水团的初步研究。海洋与湖沼 6(1): 19—20。
- [2] 顾宏堪, 1980。黄海溶解氧垂直分布的最大值。海洋学报 2(2): 70—78。
- [3] 管秉贤, 1963。黄海冷水团的水温变化以及环流特征的初步分析。海洋与湖沼 5(4): 268—272。
- [4] 赫崇本、汪园祥、雷宗友、徐斯, 1959。黄海冷水团的形成及其性质的初步探讨。海洋与湖沼 2(1): 11—15。
- [5] Бруевич, С. В., А. Н. Богоявленский и В. В. Мокиевская, 1960. Гидрохимическая характеристика Охотского моря. Тр. Ин-та океанол. АН СССР. Т. 42: 125.
- [6] Сметанин, Д.А., 1959. Гидрохимия района Курило-Камчатской глубоководной впадины. Тр. Ин-та океанол. АН СССР. Т. 33: 43—86.

THE VERTICAL DISTRIBUTION OF THE CHEMICAL FACTORS IN THE YELLOW SEA COLD WATER*

Diao Huanxiang and Shen Zhiliang

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

This paper shows that the Yellow Sea (summer) Cold Water is formed from winter by the conservative property of the temperature in the deep water. The vertical distribution of various physico-chemical parameters in winter are in uniform condition. In summer, the vertical distribution of σ_t , $\text{PO}_4\text{-P}$ and $\text{SiO}_3\text{-Si}$ increases with the depth and the maximum value of O_2 and pH appears near the lower limit of thermocline. Causes of variation of various parameters are also discussed.

* Contribution No. 1008 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.