

渤海、黄海、东海水温垂直结构 统计特征分析*

蓝淑芳 顾传宸 傅秉照

(中国科学院海洋研究所)

渤海、黄海与东海水温垂直结构呈现陆架浅海特有的水文特征,其分布与变化甚为复杂。几十年来,虽然中外海洋学家曾对这些海区水文要素的分布及其变异作过大量研究^[3,4,5,6],但是,关于水温垂直结构各特征值较系统的分析研究则始于六十年代初期,毛汉礼等根据一年观测资料(1958—1959)作了较全面的阐述¹⁾。但是这些资料多数是用颠倒

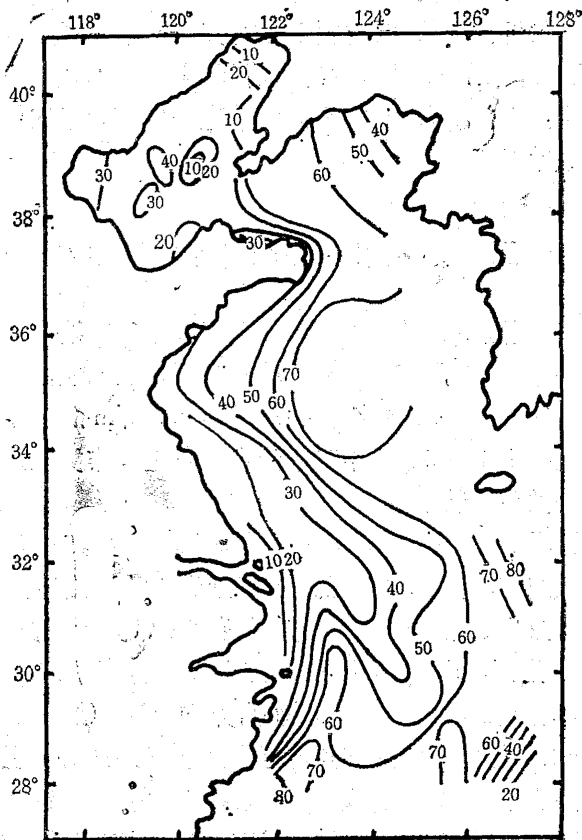


图 1 渤海、黄海、东海水温垂直梯度的相对频率分布

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1006 号。

收稿日期: 1983 年 7 月 16 日。

1) 毛汉礼等, 1964。中国近海温、盐、密度的跃层现象。

温度表观测,少数为深度温度计(BT)观测;并且研究海区限于 124°E 以西。本文试图分析研究近年来渤海、黄海与东海水温垂直结构各特征值的统计特性;研究海区有了较大的扩展:黄海至 $124^{\circ}30'\text{E}$;东海至 127°E 。

文中引用国家海洋局1975—1980年间BT观测资料,共计166个观测站,累积约七千余个BT片资料。

一、渤海、黄海、东海水温垂直梯度的相对频率分布

图1是根据研究海区各测站BT资料统计得出的渤海、黄海、东海1975—1980年间水温垂直梯度的相对频率(水温垂直梯度绝对值 $\geq 0.1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的出现次数对总观测次数的百分率)分布。由图可知,各海区以渤海相对频率最小,其值多数低于30%,渤海中央区和沿岸河口附近为10—20%。黄海、东海的相对频率明显地高于渤海。高频区分别出现在南、北黄海中部、济州岛以南广大海域和台湾暖流水主干海域(浙江外海),相对频率值为60—70%,最高可达80%。此外,南黄海等频率线分布呈“<”形,与海岸线大体平行。其数值自西向东递增,与等深线的分布趋势相一致,其中50%等频率线与60米等深线的地理位置接近。东海则以长江口以北 32°N 处为低频中心,等频率线呈舌状自西北向东南延伸,占据东海研究海区大部。黄海、东海的低频区出现在鸭绿江口、山东沿岸、苏北沿岸以及长江口外,相对频率低于40%。

二、水温垂直分布类型的分布

根据BT观测资料,渤海、黄海、东海水温垂直分布可归纳为四种基本类型:垂直均匀型(水温垂直梯度绝对值小于 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{m}$),单梯度型,双梯度或多梯度型(系指在同一水温垂直分布曲线上有一个、二个或多个绝对值 $\geq 0.1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的水温梯度出现)和逆转型(即正梯度型)。以下根据1976—1980年五年间水温垂直分布类型逐月分布,讨论渤海、黄海、东海水温垂直分布类型的特征。

冬季(12—2月),渤海、黄海、东海均以垂直均匀型为主,1—2月尤为明显。单梯度型和逆转型仅在黄海、东海小范围内出现。浙江近海或外海常年存在逆转型区。济州岛以南及以西海区在12月也时常出现逆转型。单梯度型常见于南黄海东侧、东海 126°E 以东海区以及 28°N 断面附近。冬季,单梯度型区以12月范围最广。

春季(3—5月),渤海、黄海、东海水温(垂直方向上)开始分层,且逐月加强。3月单梯度型开始在莱州湾口、渤海湾、山东高角附近海区和青岛外海出现。逆转型区常出现在浙江近海,但在南黄海北半部中央区、渤海海峡和济州岛以南及以西海区也偶有出现。4月,垂直均匀型区已退缩到渤海、黄海沿岸、长江口和杭州湾口外,逆转型范围扩大。1978年逆转型和双梯度型自北向南占据南黄海的中部。东海研究海区南边界常呈现垂直均匀型或单梯度型,间或有双梯度和逆转型出现;但是1977年较为特殊,均为逆转型和双梯度型所占据。5月,渤海、黄海和东海水温全面呈现垂直分层,垂直均匀型区接近全年最小范围,仅分布在沿岸海区(如图2)。渤海以单梯度型为主。黄海的一个重要特点是:北黄

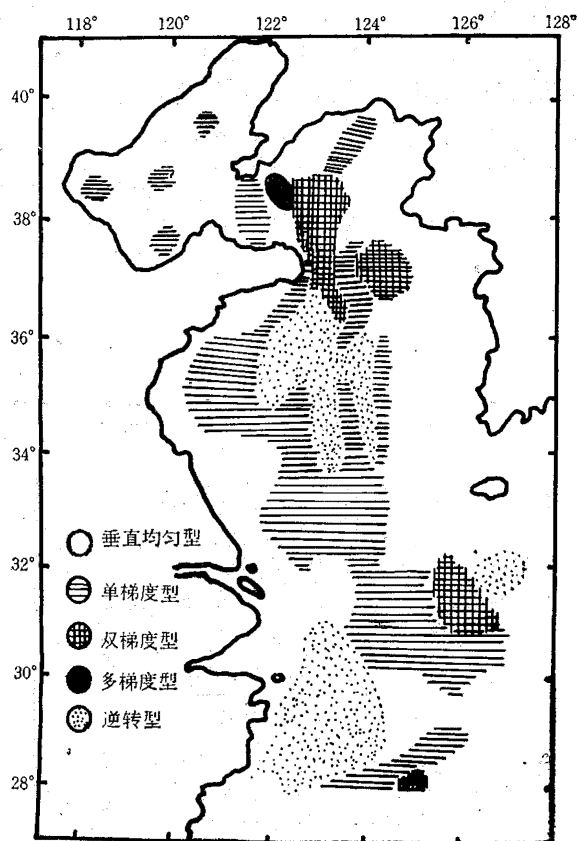


图2 1978年5月渤海、黄海、东海水温垂直分布类型分布

海中部至渤海海峡中部为双梯度型区,其范围各年不尽相同;南黄海中部广大海区为逆转型和双梯度型的混合型区(但以逆转型为主),向南可达 34°N 。南、北黄海的这两个区有时连在一起(例如1976, 1978年),有时分离(例如1979, 1980年);分离时,北黄海的双梯度型区范围较小,南黄海的混合型区以双梯度型为主。在东海,浙江近海或外海年年出现逆转型区,其范围逐月稍有增大。济州岛以南也常有小范围的逆转型区出现。由于逆转型和双梯度型出现的海区经常是具有不同温、盐度特征的两个或两个以上水团交汇的区域,因此,根据春季水温垂直分布类型的大面分布,可以从一个方面,有时是重要的方面,初步推断夏季黄海冷水团、东海北部底层冷水^[2]的大致范围以及黑潮及台湾暖流水^[1]对东海水文状况的影响等等。

夏季(6—8月),渤海、黄海、东海水温垂直分层最为发达,且均以单梯度型为主要分布形式。6月,南、北黄海的上述两个垂直分布类型区各自分离,但范围已缩小。南黄海混合型区中,双、三梯度型增多,逆转型相对减少。但时有例外,例如1980年,北黄海中部的双梯度型区延伸到南黄海的东北角,而在青岛东南海区,也出现双梯度型区。在东海,浙江近海仍出现逆转型,济州岛以南海区有范围较小的逆转型或双梯度型;东海南部也经常出现双梯度型区。1976年,这三个区域连在一起,形成了范围很广的逆转型和双梯度型的混合区(双梯度型较少)。7月,北黄海双梯度型区范围仍然很小,年间差异较小;南

黄海混合型区年间差异较大,以 1976 和 1979 年范围最大,且以双梯度型为主要形式(图 3)。东海最明显的一个特征是浙江近海和外海的逆转型区消失,代之以范围较大的双梯度型区。例如 1980 年,整个东海南半部成为双梯度型和逆转型的混合型区。济州岛以南的逆转型区时有出现,范围很小。8 月,渤海、黄海、东海均以单梯度型占绝对优势。南、北黄海的混合型区和双梯度型区范围显著减小,1977—1978 年,南黄海双梯度型只在个别观测站上出现。东海,除济州岛以南的逆转、双梯度型混合区继续存在外,双梯度型区有时出现在东南,有时出现在西南,唯有 1979 年,双梯度型几乎占据 30°N 以南全部海区。浙江近海和外海则仍无逆转型出现。

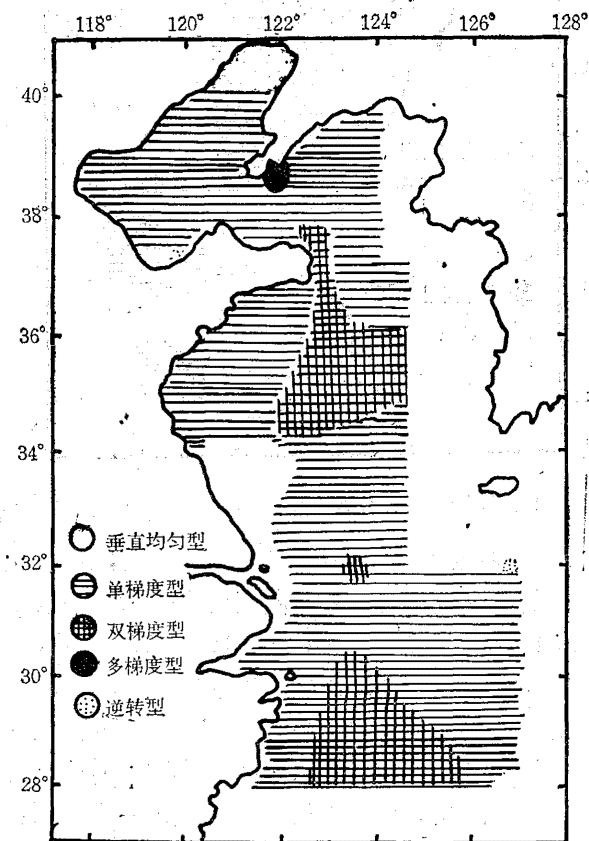


图 3 1979 年 7 月渤海、黄海、东海水温垂直分布类型分布

秋季(9—11 月),渤海、黄海、东海水温垂直分层现象开始减弱,其中以渤海衰减最显著。垂直均匀型范围逐月扩大。9 月,小范围的双梯度型有时出现于渤海海峡或北黄海中央区。南黄海双梯度型几乎消失。在东海,济州岛以南有双梯度型或逆转型出现。浙江外海又开始出现逆转型区或逆转和双梯度型混合区,但分布范围年间差异较大,其中以 1980 年范围最广,济州岛以南和浙江近海及外海的逆转型和双梯度型连成一片,占据东海研究海区的一半(图 4)。10—11 月,垂直均匀型的水温分布控制整个渤海海区。黄海、

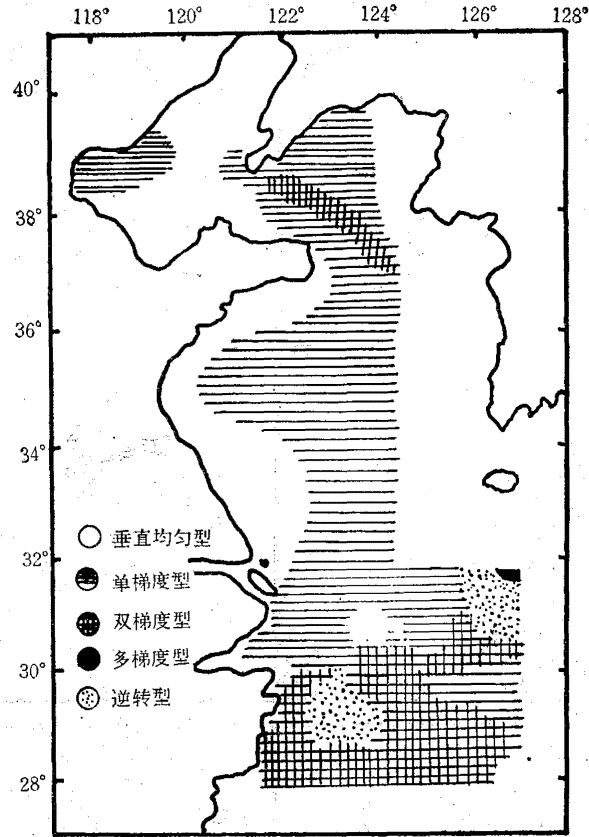


图4 1980年9月渤海、黄海、东海水温垂直分布类型分布

东海在10月份以单梯度型为主。南、北黄海双梯度型和逆转型区接近消失。长江口外广大海区为垂直均匀型海区。浙江近海逆转型和双梯度型虽有时出现,但不显著。1979年,东海127°E断面上多为双梯度型。1980年,东海南半部的中央区为逆转型区。11月,渤海全海区均为垂直均匀型;在黄海、东海则垂直均匀型区与其他型区范围大致相等。浙江近海和外海的逆转型区以1979年范围最广,自长江口外向南直至研究海区南边界,东西宽度接近一个经度。

综上所述,我们认为:1—2月,黄海、东海水温垂直分布普遍呈现均匀,渤海则从11月开始延续到翌年2月。3月,研究海区海水开始分层。4月和11月黄海、东海水温垂直均匀型和其他型所占范围大体相当。5月,渤海、黄海、东海垂直均匀型趋向夏季最小范围。6—8月是水温垂直分层强化的季节。9—11月,垂直均匀型范围逐月增加,单梯度型范围则逐月减小。12月,垂直均匀型又成为渤海、黄海、东海的主要分布类型。5月,双梯度型出现在北黄海中部和渤海海峡中部,南黄海出现范围较广的双梯度和逆转型的混合型区,这两个区至10月接近消失。东海浙江近海及外海和济州岛以南是逆转型出现最多的海区,前者范围较大。6—7月,浙江近海和外海不出现逆转型,多为双梯度型占据。

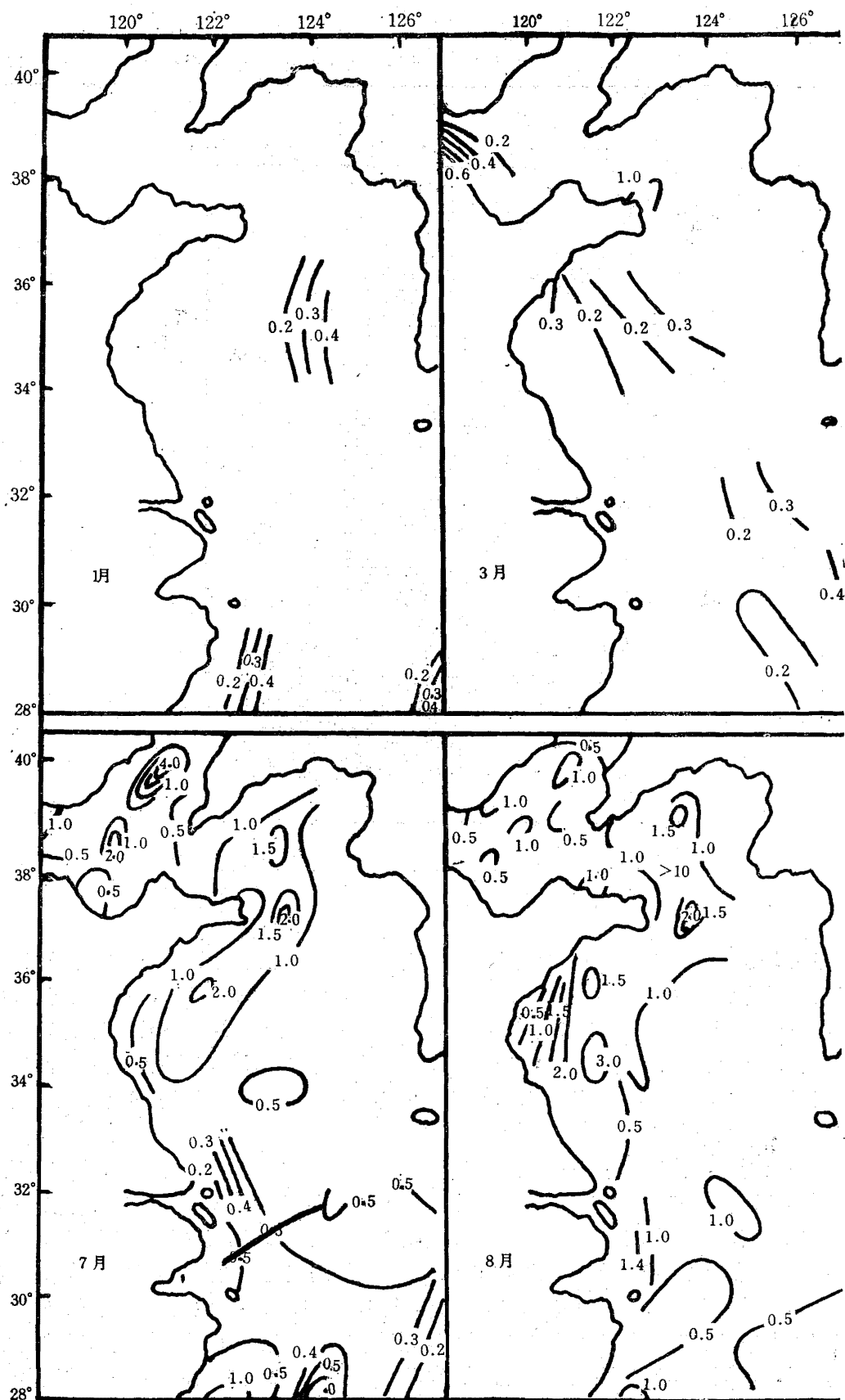


图5. 渤海、黄海、东海温



跃层强度的平均分布

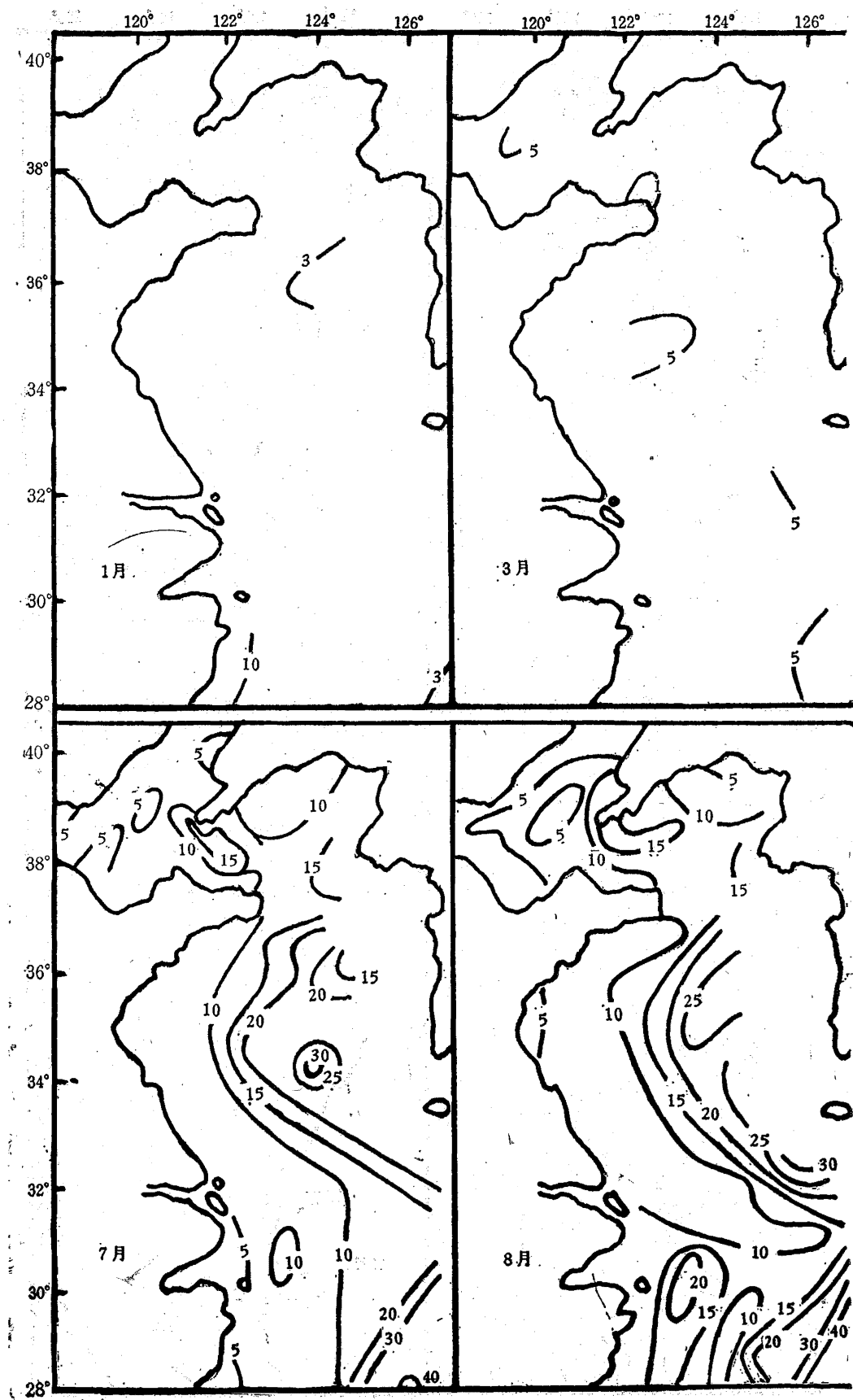
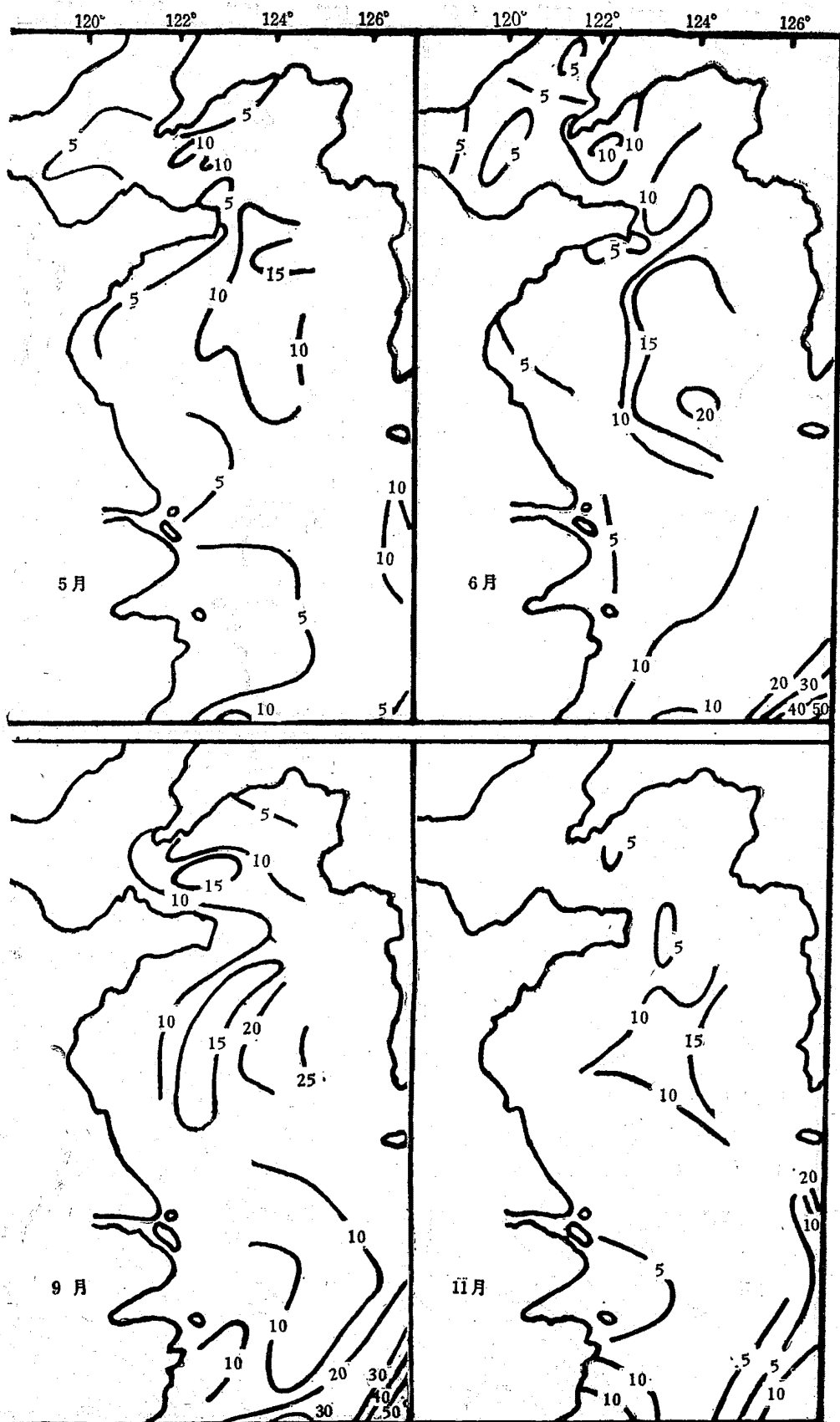


图6 渤海、黄海、东海温



跃层厚度的平均分布

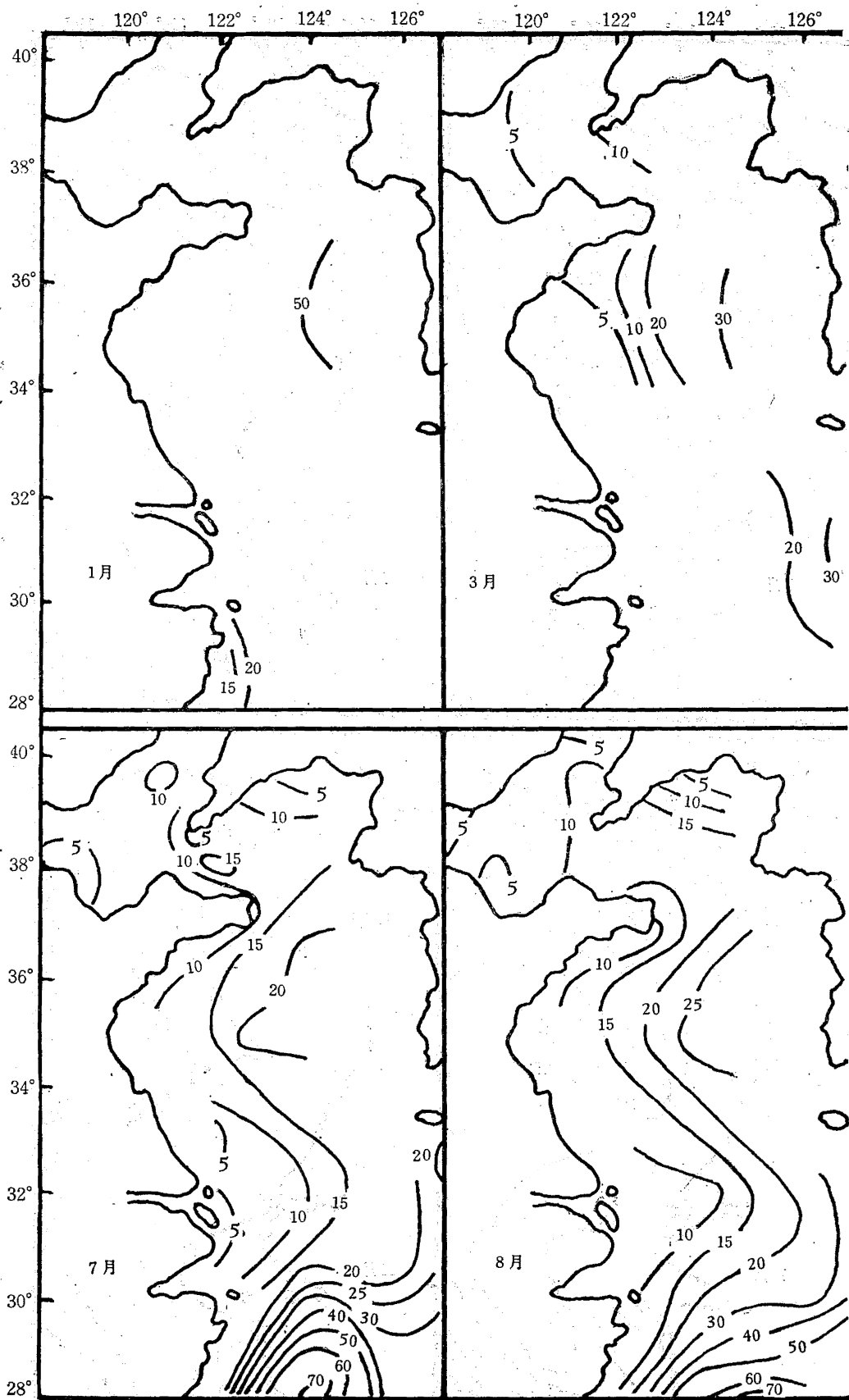
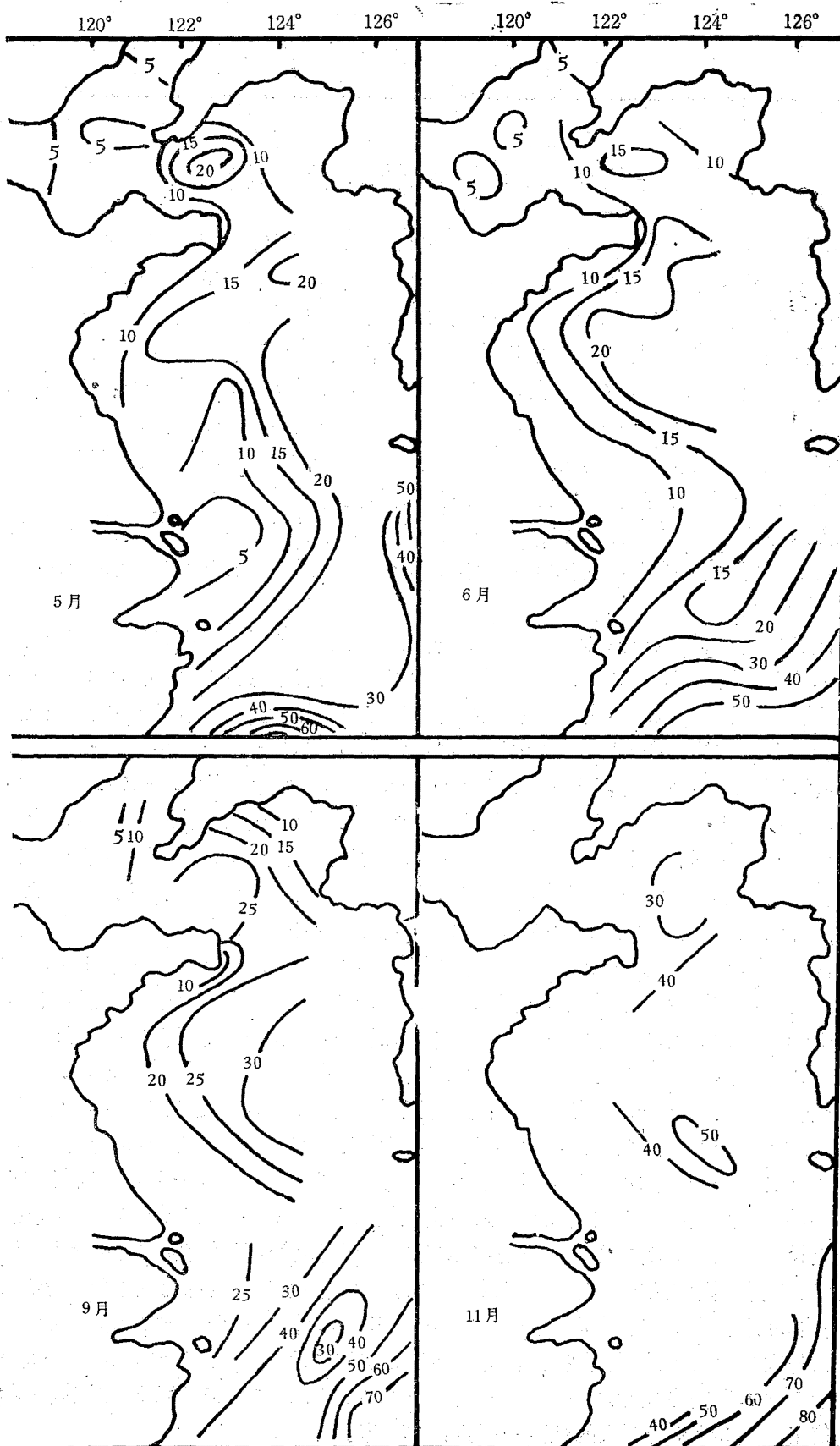


图7 渤海、黄海、东海温



跃层深度的平均分布

三、温跃层各特征值的分布特征

温跃层的三项示性特征是指温跃层的强度、厚度和深度。本节着重讨论 1976—1980 年间这三项示性特征值的平均分布(图 5, 6, 7) 及其年变化。以下根据渤海、黄海、东海温跃层成长、消衰的四个阶段——无跃期、成长期、强盛期和消衰期进行讨论。

渤海是内陆海,水浅,受陆地的影响最大,因而其温跃层成长、消衰的四个阶段与黄海、东海不尽相同。根据水温垂直分布类型和跃层强度值的平均分布得出:渤海的无跃期是 11 月至翌年 2 月,3—5 月为成长期,6—8 月为强盛期,9—10 月为消衰期。故渤海的特点是无跃期较长,消衰期较短。黄海、东海则是 1—2 月为无跃期,成长期和强盛期与渤海相同,9—12 月为消衰期;其特点是无跃期短,消衰期长。

无跃期 该期间渤海全区水温垂直分布均呈垂直均匀状态。东海则有零星温跃层出现,但跃层强度值较小,它们出现在南黄海北半部的东侧、浙江近海以及东海研究海区之东、南角上。

成长期 渤海、黄海、东海温跃层的成长期都是 3—5 月。3 月,温跃层零星地出现在渤海湾及其湾口、莱州湾口附近、山东高角北侧、南黄海中部及东海外陆架上,跃层强度值较小,大都在 $0.4^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以内。4 月,温跃层在研究海区迅速涌现,温跃层区接近无跃区范围。无跃区收缩至渤海四周、北黄海的中部和东部、山东沿岸、苏北沿岸、长江口以东和济州岛以南海区。在渤海,跃层强度值为 $0.2\text{—}0.4^{\circ}\text{C}/\text{m}$,北黄海为 $0.2\text{—}0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。南黄海出现两个高值区:一个在青岛以东外海和海州湾内,跃层强度值最高可达 $0.8^{\circ}\text{C}/\text{m}$;另一个位于南黄海南部、长江口大沙滩以北,中心跃层强度值为 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。东海温跃层主要分布在杭州湾以南,浙江近海一带,强度值为 $0.2\text{—}0.4^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。零星分布在东海中部及研究海区南边界的温跃层,强度为 $0.2\text{—}0.3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。5 月,温跃层进一步扩展和强化,分布范围趋向稳定,强度值普遍增高。渤海湾和莱州湾口强度值达 $0.5\text{—}1.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$;辽东湾口为 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 左右。鸭绿江口的西南海区、南、北黄海交界附近、南黄海西北部,跃层强度值较高,为 $0.7\text{—}1.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。但是,东海除温州外海个别测站强度值较高外,全海区的强度值大都在 $0.2\text{—}0.4^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 范围内。因此,东海在整个研究海区中是跃层成长最缓慢的海区。

成长期内跃层厚度的分布特征是:渤海跃层厚度值很小,大都在 5 米以内;黄海、东海则有逐月增长趋势。至 5 月,北黄海跃层厚度值大都在 5—10 米之间,渤海海峡中央较高,达 15 米。南黄海 10 米等跃层厚度线与 60 米等深线的位置很一致,将南黄海分成东、西两部分,厚度值由西向东递增。东海也呈现东高(约 10 米)西低(约 5 米)的分布。

成长期内跃层深度的分布特征是,跃层深度值逐月增长,同时有随水深的增加而递增的趋势。5 月,渤海跃层深度值大都低于 5 米。北黄海中部至渤海海峡中部区域为高值区,高达 20 米。南黄海和东海的分布特征是,在长江口外,有一个 5—20 米的舌状分布自长江口外向东北方向伸展,占据南黄海的南部和东海西北部。山东沿岸海区跃层深度值均低于 10 米,渐向东递增,东侧可达 20 米以上。东海跃层深度值自西北向东南递增;但最高值出现在 28°N 断面上的偏西一侧,可达 70 米。

强盛期 6—8 月是温跃层的强盛期,温跃层分布范围在此期间达到最大,跃层强

度值也达到最高。6—7月是温跃层不断强化的时期,7—8月是温跃层进入稳定的时期。6月,整个研究海区仅南黄海的苏北沿岸和东海研究海区之东南角为无跃区。渤海出现两个强跃区,一个位于辽东湾口,中心跃层强度值达 $2.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$;另一个位于渤海湾口外,中心强度值为 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。在北黄海,跃层强度值为 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的等值线包围了北黄海中部广大海区,中心最高值达 $1.6^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。南黄海西北部为一强跃区,中心强度值接近 $1.7^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。东海则出现两个高值区:一个位于济州岛西南,最高强度值接近 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$;另一个位于温州外海,中心强度值为 $1.4^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。7月,渤海的两个强跃区中心跃层强度值显著增高,辽东湾口最高值达 $4.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$,渤海湾口强跃区的中心移到渤海中央,它们均位于水温 $20\text{—}40$ 米范围以内。北黄海中部广大海区和南黄海西半部山东近海,强度值为 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以上,共出现三个强跃区:北黄海中央($1.6^{\circ}\text{C}/\text{m}$)、山东高角以东($2.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$)和青岛外海($2.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$)。东海的跃层强度值普遍较小,仅在温州外海和研究海区南边界中央出现强度大于 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的高值区。8月,温跃层的范围和强度与7月接近;但是渤海两个强跃区的中心强度值明显下降,减至 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以下。

强盛期内跃层厚度值较成长期大,但渤海不显著。6—8月,渤海跃层厚度值大都在5米以下,小龙山岛以南海区较高,在10米以上。黄海、东海在6—7月跃层厚度值不断增大,7—8月相对稳定。6月,北黄海的北部和山东近海,跃层厚度值较小(10米以内),渤海海峡北部和北黄海南部较大(大于10米)。7月,黄海跃层厚度值略有增高,渤海海峡中央、水深大于60米处,厚度值为15米左右。6月,南黄海跃层厚度10—15米等值线沿海岸线自北向南贯穿南黄海中央,将其分成东、西两部分,西半部跃层厚度值低于10米,东半部高于15米,最大值可达35米。南黄海7月的分布趋势与6月相似,但厚度值普遍高出5米。跃层厚度等值线向西推移,10米等值线的位置与40米等深线位置接近,20米等值线则与60米等深线位置接近。6月,东海以10米等跃层厚度线为界,分为西北、东南两部分,西北海区厚度值(小于10米)低于东南海区(大于10米)。7月,10米等值线呈南北走向,贯穿东海中部,西半部低,东半部济州岛以南和东南海区,跃层厚度值达20米以上,最高接近40米。8月,除浙江外海自北向南出现厚度值大于15米的海区外,整个研究海区的跃层厚度分布近似7月。

强盛期内跃层深度值变化不显著。渤海一般在10米以内。6—7月,大于10米的跃层深度值仅在个别观测站上出现,至8月,范围扩大,分布在辽东浅滩南、北海域。6—8月,黄海除鸭绿江口外海域及山东沿岸附近跃层深度值较低外,其他海区均高于10米。北黄海中部至渤海海峡中央存在大于15米的高值区,以8月范围最广。南黄海各月等值线的分布趋势与海岸线走向大体平行。东海跃层深度的分布特点是,以 30°N 为界,将东海分成南、北两部分。6—7月,北半部跃层深度值自西向东递增,长江冲淡水区低于10米,向东递增可达20米;南半部则自北向南递增,由20米增至50米。7月,在南半部,等跃层深度线较密集地自西南向东北然后再向北呈舌状分布,跃层深度值递减。8月,东海南半部的分布与6月类似。

消衰期 整个研究海区温跃层在9月进入消衰期,跃层范围开始缩小,跃层强度减弱,以渤海最为明显。一进入9月,渤海温跃层大片地消失,仅存在于贯穿渤海中部的横断面上,至10月已所剩无几,且跃层强度值低于 $0.40^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。故渤海的消衰期是9—10

月。9月,黄海、东海温跃层开始消衰。北黄海消衰的标志是跃层强度值普遍减小。北黄海中中部强度值大于 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的高值区范围显著减小。山东沿岸和苏北沿岸无跃区开始扩大,南黄海青岛以东的强跃区开始衰减。但是,有意义的是在南黄海南部、长江口大沙滩以北出现一个强跃区,中心强度值高达 $2.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以上。在东海,长江口、杭州湾口外以及研究海区之东南角为无跃区,整个东海跃层强度值从东南($0.4^{\circ}\text{C}/\text{m}$)向西北($0.2^{\circ}\text{C}/\text{m}$)递减。10月,黄海、东海温跃层进一步衰减,北黄海东北部、山东和苏北沿岸以及长江口、杭州湾口外的无跃区继续扩大,其中长江口外的无跃区可达 125°E 。但跃层强度值的衰减普遍较小。11月,黄海、东海无跃区进一步扩展,其范围大小接近跃层区。但强度值大于 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的高值区继续存在于渤海海峡中央、山东高角以东和东南海域。东海的强度值一般低于 $0.4^{\circ}\text{C}/\text{m}$,但在其东南部有一自南向东北跃层强度值大于 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的区域。12月,南黄海东半侧仍存在范围较大的跃层区,东海东部和南部边界区也有零星跃层区出现,但整个研究海区绝大部分为无跃区。

消衰期内黄海、东海的跃层厚度值有逐月递减的趋势。9月,渤海海峡中央至北黄海中中部存在跃层深度值大于15米的高值区。南黄海跃层厚度等值线的分布趋势与8月类似,但10—20米的等值线位置略向东移。10月,10—15米的等值线继续东移至南黄海的东半部。12月,跃层厚度值最小,均在10米以内。东海,按跃层厚度值的分布可分成西北、东南两部分。9月,西北部跃层厚度值大都在10米以内,东南部在10米以上,由西北向东南递增,最高值达60米。11月,东海大部海区跃层厚度值低于10米。

消衰期内黄海跃层深度与跃层厚度值的分布趋势恰好相反,逐月递增。9月,北黄海高值区出现在北黄海中中部和渤海海峡,跃层深度值在20—30米范围以内。在南黄海,20—30米等值线与海岸大体平行,且自西向东递增。10月,黄海大部海区跃层深度在30米以上;11月达40米以上。东海等跃层深度线在9月呈东北—西南走向,且自西北向东南递增。整个消衰期内,东海跃层深度值的逐月递增不显著。

参 考 文 献

- 【1】 翁学传、王从敏,1983。台湾暖流水(团)夏季 T-S 特征和来源的初步分析。海洋科学集刊 21:114—133。
- 【2】 蓝淑芳、顾传成、傅秉照,1983。东海北部陆架区底层冷水的初步分析。海洋科学集刊 21:75—86。
- 【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):255—283。
- 【4】 赫崇本、汪圆祥、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】 Toru Nakao, 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Technol., Tokai Univ. Spec.* (Nov. 1977): 199—367.
- 【6】 Tsutomu Sawara, 1974. On the sea surface temperature in the East China Sea for the years 1953—1972. *The Oceanographical Magazine* 26(1):17—36.

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF VERTICAL STRUCTURE OF WATER TEMPERATURE IN THE BOHAI SEA, YELLOW SEA AND EAST CHINA SEA*

Lan Shufang Gu Chuancheng and Fu Bingzhao

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

The vertical structure of the water temperature in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea shows some hydro-physical characteristics which can only be found over the continental shelves in shallow sea. Its distribution and variation appear to be more complicated. We have made the descriptive statistic analysis based on observational data (1975—1980) offered by National Bureau of Oceanography.

This paper consists of three aspects: (1) the distribution of the relative frequency of the value of the thermal gradient (divided by absolute value equals to or greater than $0.1^{\circ}\text{C}/\text{m}$); and (2) the horizontal plane distribution of the water temperature as distinguished from its type; and (3) the discussion of three characteristic values of thermocline under its generation, development, powerful and prosperous, and decline processes.

* Contribution No. 1006 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.