

南黄海西部 2007 年 4 月的逆温跃层

苏 劼¹, 熊学军^{1,2*}, 刘 浩³, 卢德杰³

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 区域海洋动力学与数值模拟功能实验室, 山东 青岛 266237;

3. 中海石油深海开发有限公司, 广东 深圳 518067)

摘 要:利用南黄海西部 2007-04 的温盐实测资料,采用海洋层结谱表达法及自适应识别,得到逆温跃层的“五点三要素”,形成强度要素平面分布图。分析表明,逆温跃层的存在与黄海暖流水有直接的关系:1)4 月份,黄海暖流水受到的海面冷却仍是产生逆温跃层的普遍原因,在该海区黄海暖流向北延伸和向两侧拓展的区域都有该种类型的逆温跃层存在,位置相对较浅;2)但在偏南的黄海暖流主干区,海面冷却产生的效应被主流区的热量补充所抵消,逆温跃层很弱甚至消失,这是该月份逆温跃层分布区向北退缩并在南部中心附近呈现缺失区的主要原因;3)南下的鲁北沿岸流水的冷水叠加在黄海暖流水的暖水上方,使逆温跃层加强,使得冷暖水的作用区成为强逆温跃层区;4)黄海暖流左侧冷沿岸流水及右侧冷水的前端向黄海暖流楔入,其前端往往覆盖在底层高温高盐的黄海暖流水上方形成下逆温跃层,从而形成双逆温跃层。这些特点,较以前认知更加客观、全面、细致和准确。

关键字:海洋层结谱表达法及自适应识别;逆温跃层;黄海暖流;强逆温跃层;双逆温跃层

中图分类号:P722.7

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2017)01-0001-11

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2017.01.001

海水温度一般是自海面向下递减的,但在有些情况下,也会出现水温向下增加的逆温现象,可以形成逆温跃层^[1]。逆温跃层对环流、水团等水文特征有一定的指示、验证作用,与水中的溶解氧、叶绿素等生物化学要素的分布具有相关性,对鱼类资源的分布也有显著的影响。由于黄海特殊的地形和地理位置,其环流与其他海区也有所不同,主要表现在冬、夏两半年存在明显的差异:冬半年,黄海环流系由来自外海的黄海暖流及其余脉与东西两侧的沿岸流组成,暖流北上,沿岸流南下;夏半年,主要存在因黄海冷水团密度环流出现而产生的近似闭合的环流^[2]。春、秋两季的过渡性特征则比较明显。南黄海西部沿岸有青岛、烟台、威海、日照、东台、连云港、南通等重要的港口城市,是重要的水陆交通枢纽,还有吕泗、大沙等重要的渔场。研究逆温跃层对科学研究、渔业生产等都有应用价值。

在过去黄海温跃层研究中,对逆温跃层的研究相对较少。张勐宁等收集了 1900—2004 年的海洋调查资料,研究发现中国近海中,黄海逆温跃层最强,时间上多发生在冬、春季节,主要是受到南下冷空气的影响^[3]。

收稿日期:2016-12-14

资助项目:国家科技重大专项科研任务——南海北部内波流监测、预报、预警系统研究及应用(2016ZX 05057015);海洋工程装备科研项目——500 米水深油田生产装备 TLP 自主研发-内波流预警方案研究及内波流监测系统研制;国家自然科学基金项目——黄海暖流的多时相特征及其发生机制研究(41376038);国家自然科学基金委员会-山东省人民政府联合资助海洋科学研究中心项目——海洋环境动力学和数值模拟(U1606405);全球变化与海气相互作用专项子课题——黑潮结构时空变化特征对中国近海环流的影响分析(GASI-03-01-01-02);全球变化与海气相互作用专项子课题——黑潮不稳定性及多核结构(GASH-IPOVAI-01-05);国家重大科学研究计划——太平洋印度洋对全变暖的响应及其对气候变化的调控作用-热带太平洋印度洋海洋观测(2012CB955601);海洋公益性行业科研专项——常用海底声纳测量仪器计量检测关键技术与示范应用(200905024);国家自然科学基金青年基金项目——东海黑潮三维结构及季节变化研究(40406009);国家重大科学仪器设备开发专项——自容式声学多普勒流速剖面仪开发(2012YQ12003908)

作者简介:苏 劼(1992-),女,硕士研究生,主要从事区域海洋动力学及调查技术方面研究。E-mail:sujie@fio.org.cn

* 通讯作者:熊学军(1976-),男,研究员,博士,主要从事区域海洋动力学及调查技术方面研究。E-mail:xiongxi@fio.org.cn

(李 燕 编辑)

1992 年国家海洋局编著的《渤海、黄海、东海海洋图集——水文》分册^[4],搜集了 1907—1986 年间的调查资料,绘制了中国近海跃层分布图,该图集采用传统方法,定义水温要素在垂直方向上出现急剧变化,其垂直梯度达到临界值的水层,称为跃层,逆跃层强度临界值采用 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。《海洋调查规范:第七部分 海洋调查资料交换》规定:温度跃层强度标准临界值在 200 m 以浅海域为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$,200 m 以深海域为 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ^[1]。颜文彬在研究台湾海峡温度逆跃层时,结合该海域水温特征,规定强逆温跃层标准 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$,弱逆温跃层强度 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ^[5]。这些研究中逆温跃层的确定基本都是通过水温垂直剖面图人工直接选取的,不同作者、不同研究海域,采用的强度临界值标准通常不统一,而人为规定的最低标准,也具有一定的非客观性。

近来,本文通讯作者带领的团队在南海内波的研究中,建立了一套关于跃层的定义、表达、确定和识别的系统方法,使得绘制系统而完整的跃层各类特征全海区分布图成为可能,为跃层研究和应用奠定了必要的基础^[6]。该方法提出了海洋跃层的全水层剖面谱表达法,通过海洋要素的垂直变化梯度零线和分布曲线把跃层形态、垂直变化过程及特征全面、系统、完整、准确地凸显出来;分别利用曲率区域最值和小波变换自适应检测法,将跃层谱峰根部的转折特征提取出来,确定了跃层与上下层水体的分界,从而形成了全面表征跃层自然属性特征的“五点三要素”法,即跃层上界点、强跃层上界点、跃层最值点、强跃层下界点、跃层下界点这 5 个跃层属性特征点和跃层最大强度、强跃层平均强度、跃层平均强度这 3 个跃层强度要素^[6]。

本文利用南黄海 2007-04 的温盐实测数据,通过跃层谱表达法识别逆温跃层的存在及类型,利用自适应识别得到的“五点三要素”,据此完整地表达逆温跃层,给出研究海域 4 月逆温跃层的分布情况,同时结合温度、盐度平面分布和剖面分布,讨论逆温跃层形成原因,并与《渤海、黄海、东海海洋图集——水文》分册中的结果进行对比分析。

1 数据及处理方法

1.1 数据介绍

本文所用资料为南黄海西部海域的 CTD 观测资料,调查时间段为 2007-04-03—25,调查海域为南黄海西部 $32^{\circ}00'\sim 37^{\circ}30'\text{N}$, $119^{\circ}30'\sim 124^{\circ}00'\text{E}$,调查站位共计 272 个,站位分布如图 1 所示。CTD 观测数据垂直分辨率为 1 m,水平分辨率 $\leq 0.25^{\circ}$ 。

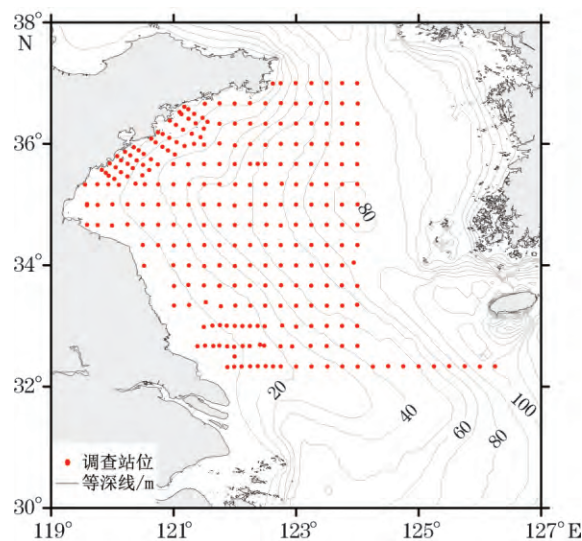


图 1 站位分布

Fig. 1 Location of the stations

1.2 处理方法

首先利用跃层谱表达法,判断有逆温跃层出现的站位。梯度零线作为谱表达法的基准参考线,有助于判别逆温跃层,使逆温跃层表达得更加直观。如图 2b,从谱形图中可以看到在梯度零线右侧有一个明显的谱峰,对应图 2a 温度垂直剖面中温度变化剧烈的位置,即逆温跃层位置,温度梯度最大达 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。全水层谱形图不仅把整个剖面的层结特征全面、系统、定量地表达出来,更是把跃层形态及变化特征以“谱峰”的形式全面、系统、定量的凸显出来^[6]。明确站位后,利用自适应识别,得到逆跃层的“五点”,再以“五点”为基础,得到“三要素”(图 3)。从图 3 中可以看出,自适应识别得到的逆温跃层区不仅包含了温度梯度变化显著的强逆温跃层,还包含了强度较弱,但温度梯度垂直变化依然显著的过渡部分,这使得跃层结构更加完整。

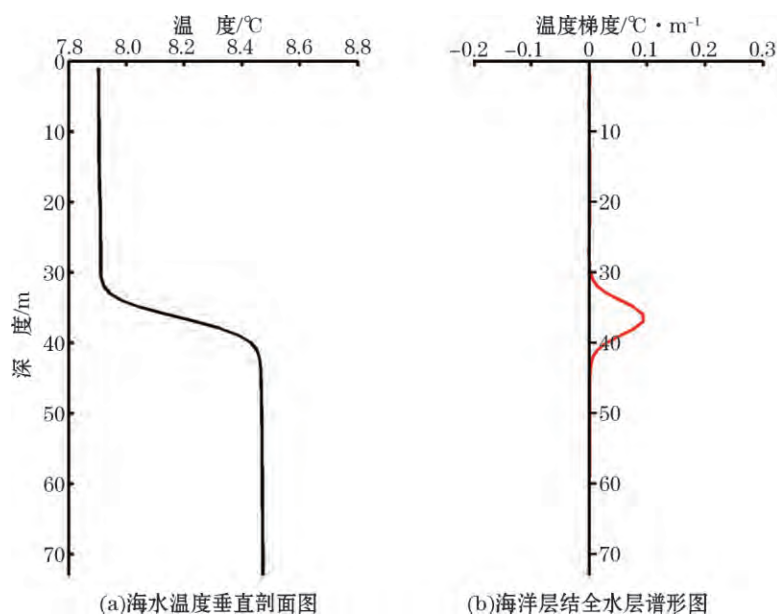


图 2 海水温度垂直剖面分布图与全水层海洋层结谱图

Vertical distribution of sea water temperature and marine stratification spectrum of the whole water layer

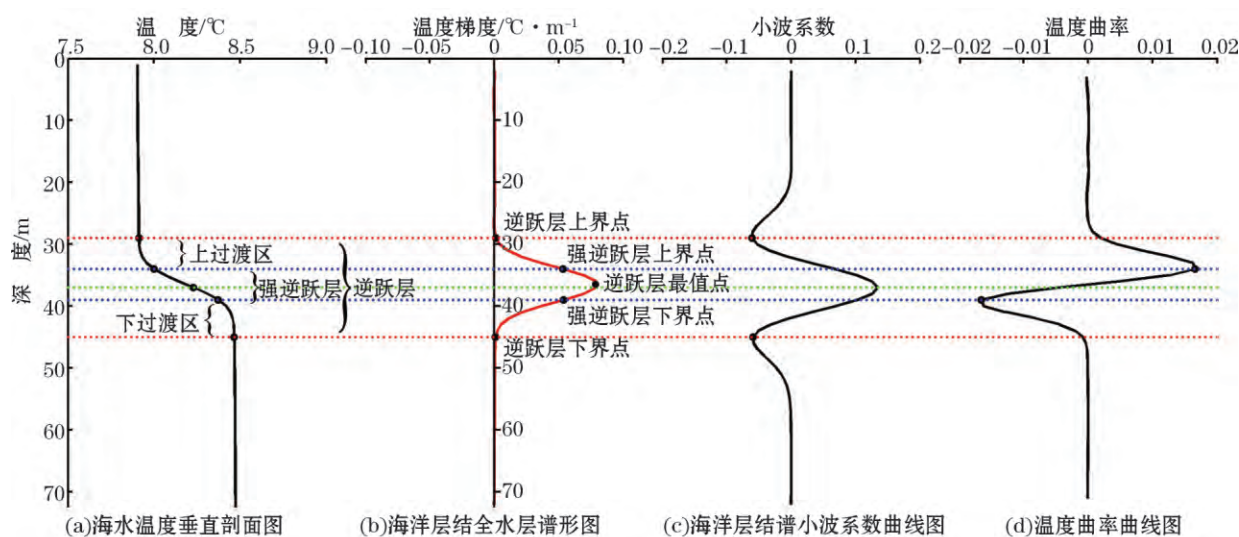


图 3 逆温跃层“五点三要素”图示例

Fig. 3 A demonstration of the 'five points and three elements' of the inversion thermocline

2 逆温跃层分布特征

通过自适应识别出逆温跃层的“五点三要素”,形成逆跃层平均值(图 4a)、强逆跃层平均值(图 4b)、逆跃层最强值(图 4c)三种强度要素的分布图。同时将识别出的温跃层以及无跃区范围绘制在“三要素”平面分布图中(彩色阴影部分)。图 4 中红色虚线为《渤海、黄海、东海海洋图集——水文》分册^[4]中,4 月份逆温跃层的范围。此外,为了便于观察每个站位逆温跃层的细部特征,按照站位间的相对位置,将所有表现出逆跃层的站位,及其周边部分站位的全海洋层结谱图拼接在一起(图 5),图中黑色实线所包围的为存在逆温跃层站位的全海洋层结谱图。

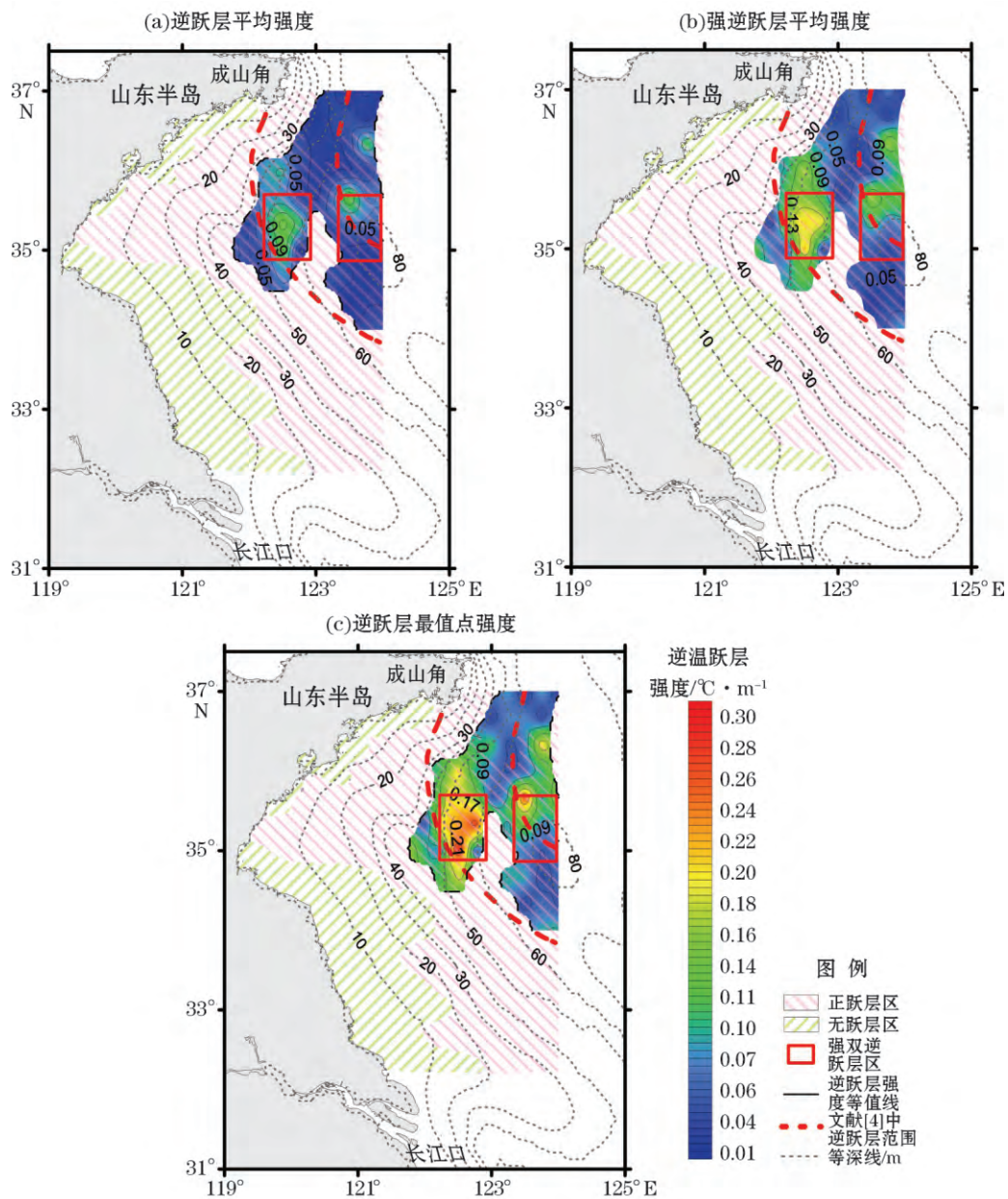


图 4 强度“三要素”图

Fig4. Three strength factors of the thermocline

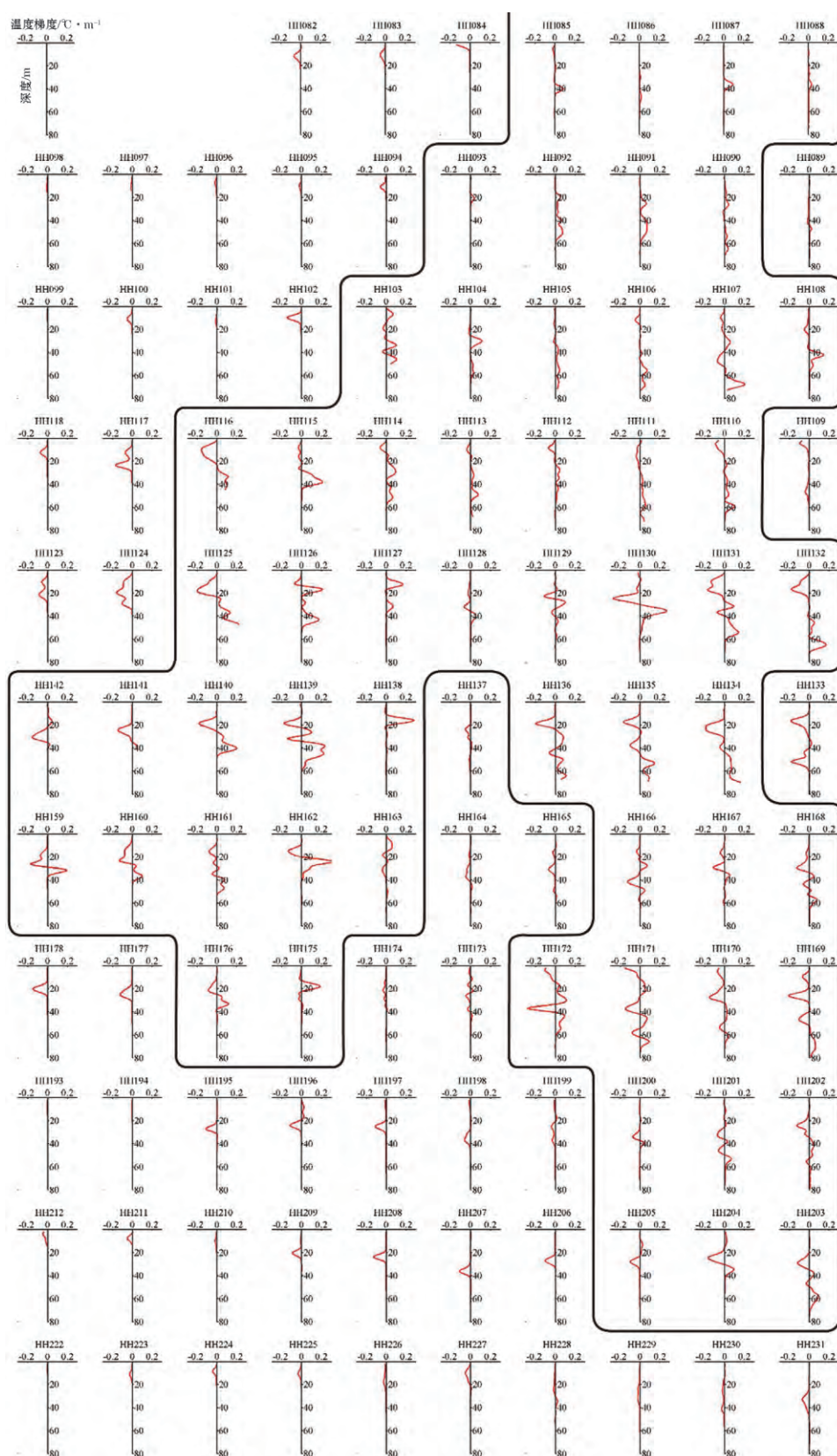


图 5 全水层海洋层结谱图

Fig. 5 The marine stratification spectrum of the whole water layer

2.1 逆温跃层分布特征

从图 4 中可以看出,在 20 m 等深线以浅既没有正跃层又没有逆跃层存在。在近 35°N 以北的山东半岛以南海域,与西伸的海槽地形有较好的一致性,正跃层范围也有向岸伸展的趋势,并一直延伸到近岸。20 m 以深水域中,除了成山角西南外海以及 $33^{\circ}48'\sim 34^{\circ}48'\text{N}$ 之间的海州湾西南部外海直至 40 m 等深线外,其余区域都存在正跃层。

逆温跃层区分布在黄海暖流向北延伸和向两侧扩展的区域($34^{\circ}\sim 37^{\circ}\text{N}$, $121^{\circ}30'\sim 124^{\circ}00'\text{E}$),但在偏南部的黄海暖流主干区,逆温跃层很弱,在逆温跃层分布范围南部中心附近呈现出一个自南向北的缺失区,呈舌状自南黄海西南部 34°N 向北延伸至 $35^{\circ}30'\text{N}$,从图 6 中可以看到,缺失区中站位的逆温跃层都非常弱,甚至消失。

2.2 逆温跃层强度分布特征

从图 4 可以看出,“三要素”分布趋势大致相同,但在强弱上有所差别。“三要素”中:逆温跃层最值点强度最大,范围为 $0.02\sim 0.29\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$;强跃层平均强度次之,为 $0.02\sim 0.19\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$;跃层平均强度最小,为 $0.01\sim 0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。

3 种强度要素平面分布中,在黄海暖流主轴两侧都分别有两个大值区。左侧大值区从 $34^{\circ}30'\text{N}$ 向北延伸至 $36^{\circ}12'\text{N}$,右侧大值区范围在 $35^{\circ}18'\sim 36^{\circ}30'\text{N}$,整体来看,右侧大值区相对较弱,不太成体系,存在分散的闭合区。左、右两个强中心逆温跃层平均值最大值分别为 0.14 和 $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$;强逆温跃层平均值中心值分别为 0.19 和 $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$;最值点强度中心值分别为 0.29 和 $0.24\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。在 3 种强度要素平面分布中,左侧大值区均强于右侧,且左侧大值区的范围也较大。

2.3 多逆温跃层分布特征

自适应识别法识别得到共有 58 个站位存在逆温跃层,其中有 50% 的站位存在双逆温跃层,因此双逆温跃层是一种不能忽视的重要现象。强度强的双逆温跃层主要集中在南黄海中西部、逆温跃层分布范围南部中心附近缺失区两侧,如图 4~图 6 中红色矩形框所示范围内。左侧强双逆跃层的分布区域与左侧强度大值区的位置基本相同,右侧强双逆跃层的分布区域则较右侧强度大值区的位置略偏南。除此之外在其它位置也存在零星的双逆温跃层,但强度都较弱,甚至有些站位表现出了 3 个逆温跃层,如 HH171 站($123^{\circ}30'\text{E}$, $34^{\circ}36'\text{N}$)。

2.4 与历史结果的对比分析

过去通常将海洋要素垂直分布曲线上曲率最大的点分别确定为跃层的顶界和底界,将顶界和底界之间的厚度确定为跃层厚度,将跃层厚度内的平均强度确定为跃层强度^[1]。其实,这样规定得到的跃层强度只是跃层中最显著部分的强度,也就是三要素中的强跃层平均强度。

选取《渤海、黄海、东海海洋图集——水文》分册^[4]中 4 月水温跃层分布图(图 6)与本文研究区域相同位置、范围的部分(图 4)进行比较分析。

从图 6 可见,在调查区南部,无跃区的范围从苏北浅滩向东延伸至 124°E 、60 m 以浅的水域;而本文结果中无跃区主要存在于 20 m 等深线以浅海区,成山角西南外海存在一片无正

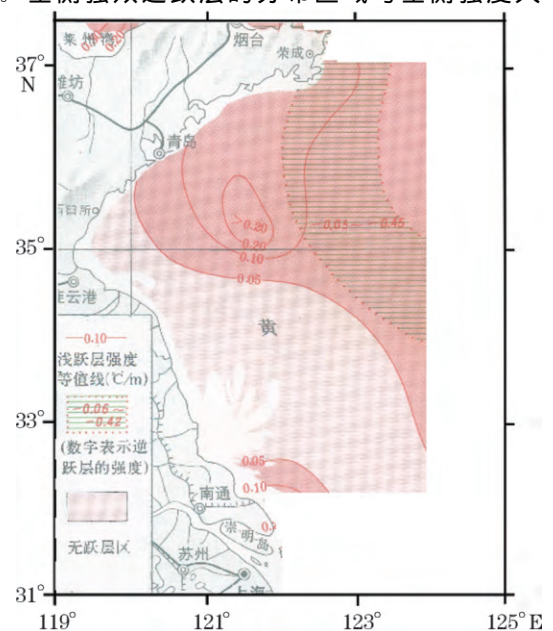


图 6 4 月水温跃层分布^[4]

Fig. 6 Distribution of the thermocline in April^[4]

跃层区。图 6 中除无跃区,其他位置均存在正跃层,包括成山角西南外海;本文结果中,调查区中北部 $35^{\circ}18'N$ 附近正跃层区范围较图 6 中的范围远远偏西、甚至直达岸边,调查区南部正跃层区范围要远大于图 6 中的范围。

逆温跃层在南黄海西北部($34^{\circ}\sim 37^{\circ}N, 122^{\circ}00'\sim 123^{\circ}30'E$)为一个整体,呈带状分布,从正跃层区的东南部开始,由 NW—SE 向转为北向延伸,其分布范围并非黄海暖流向北延伸和扩散的位置。此外,逆温跃层强度是通过传统方法计算得出的,仅给出了强度范围($-0.05\sim -0.45\text{ }^{\circ}C/m$),丢失了很多重要的强度特征。

3 逆温跃层成因分析

3.1 逆温跃层形成的普遍原因

逆温跃层是由于水温向下升高产生的,春季在南黄海西部突出的水文现象是黄海暖流。汤毓祥等根据 1966 年调查资料,由温、盐场的结构揭示出春季在南黄海两侧是两支由北向南的沿岸流,而中部则是向北运移的黄海暖流^[8]。从 1988-04-04 黄海海面温度场看出,在 $32^{\circ}N, 127\sim 128^{\circ}E$ 附近,出现一向西北的舌形,随着舌形向西北伸展进入南黄海后逐渐转向北,等温线温度逐渐降低,黄海暖流水的特征清晰地显示出来^[9]。

为了分析逆温跃层的成因,根据本文所用调查资料绘制温度平面分布(图 7),在表层、20 m 层、30 m 层、底层,最明显的特征是在 $123^{\circ}E$ 附近存在一个自南向北伸展的暖水舌。暖舌西侧,有低温冷水呈舌状向南伸展,中心等温线基本呈封闭状^[7]。表层至底层温度分布在结构和总体趋势上是一致的,不同的是,从表层至底层,暖水向北以及向两侧扩展区域逐渐变大。在表层, $9\text{ }^{\circ}C$ 等温线到达 $36^{\circ}N$ 附近,至底层, $9\text{ }^{\circ}C$ 等温线延伸至 $37^{\circ}N$ 。同时东西方向暖舌范围也明显增大,占据整个南黄海西部的大部分海域。图 8 的盐度平面分布图中,随着深度增加,高盐水逐渐向北延伸,中心盐度逐渐增加,至底层高盐水中心盐度超过 34.33 等盐线延伸到了 $37^{\circ}N$ 。该暖舌为黄海暖流伸入南黄海西侧的部分。

将出现逆温跃层的站位叠加在温度图上,发现逆温跃层均分布在黄海暖流向北和向两侧扩展的区域,在黄海暖流舌从谱形图中也可以看到,深度较浅的逆温跃层普遍存在,这是由于,4 月份海面冷却仍然存在,这种类型的逆温跃层是黄海暖流在向北挺进过程中,受到海面冷却作用影响形成的,因此深度较浅,强度较弱。

3.2 逆温跃层缺失区的形成原因

在图 7 中,黄海暖流伸入南黄海西侧的暖舌,在 4 月份其主体位于 $33^{\circ}\sim 37^{\circ}N$,中心温度为 $12.5\text{ }^{\circ}C$ 。在黄海暖流偏南的主干区,热量供应充足,海面冷却产生的效应被主流区的热量补充所抵消,因此不足以形成逆温跃层,造成在 $11.5\text{ }^{\circ}C$ 等温线范围内,逆温跃层很弱,甚至消失,因而在图 4 中逆温跃层范围南部中心附近呈现出一个缺失区。

3.3 强跃区的形成原因

除了暖水的分布区外,冷水区的分布也同样显著。在图 7b,7c 中暖舌两侧有冷水向中部挤压。从暖舌左侧冷水的位置、性状和延伸区看,该冷水为南黄海西岸的沿岸流,从沿岸流的性质分析,左侧冷水北端的源头就是自上而下的鲁北沿岸流。20 m、30 m 层 $35^{\circ}18'N$ (红线)附近尤为明显,冷水积聚下沉,暖舌范围有所收缩,在该处呈现一颈状。正是由于此处冷水的叠加,使逆温跃层强度进一步加强,在图 4 中缺失区两侧呈现出 2 个强逆温跃层区。而由于左侧冷水比右侧冷水势力更强,且温度明显低于右侧,有一 $7\text{ }^{\circ}C$ 冷中心,因此,左侧强逆温跃层区的强度与范围均强于右侧。

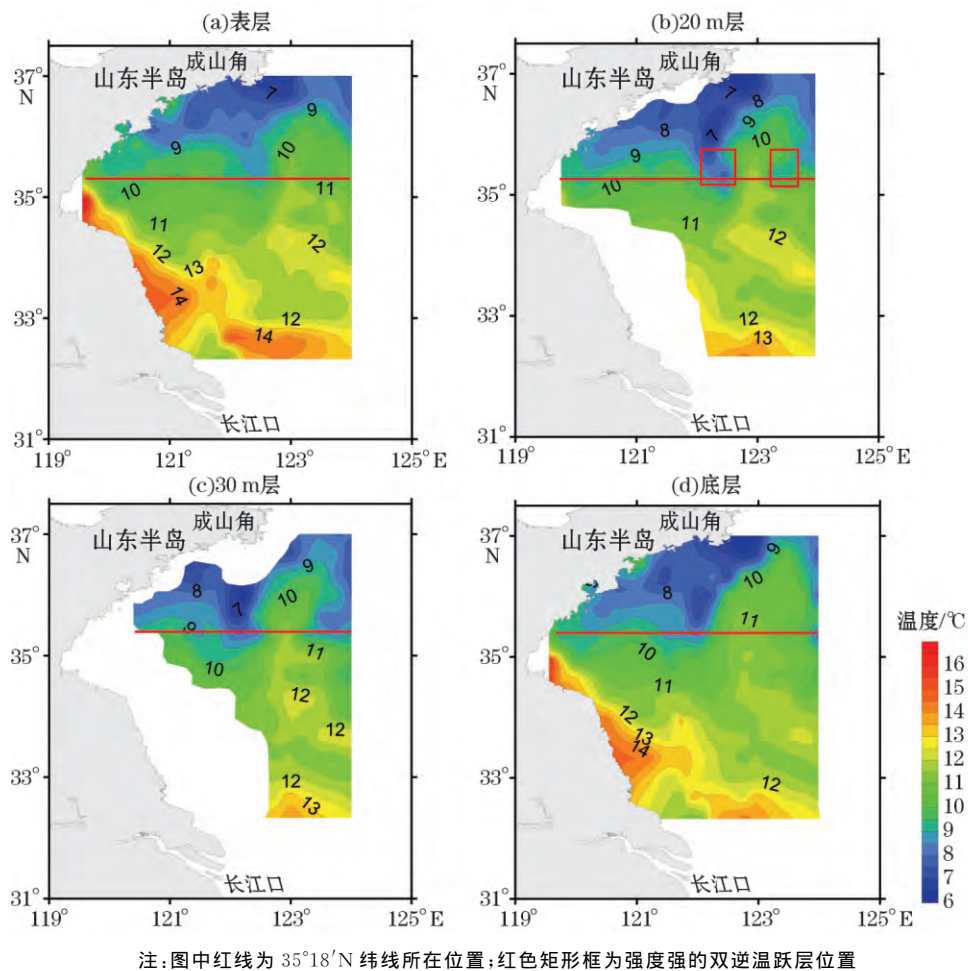


图7 温度平面分布

Fig. 7 The horizontal distributions of sea temperature in the study area

3.4 双跃层的形成原因

为了进一步分析冷水和暖水对逆温跃层的影响,绘制 $35^{\circ}18'N$ 断面的温度剖面图,如图9所示, $122^{\circ}42' \sim 123^{\circ}18'E$ 范围内有一明显暖水区域,核心温度达 $11.5^{\circ}C$,即黄海暖流,垂直范围从表层到 $68m$ 。冷水在暖水两侧积聚下沉。左侧冷水垂直范围从表层到 $40m$ 处,在 $20 \sim 30m$ 和 $35m$ 各有一个冷中心,核心温度 $8.0^{\circ}C$;右侧冷水垂直范围从 $20m$ 附近到 $71m$,在 $40 \sim 50m$ 有一个冷中心,核心温度 $8.5^{\circ}C$ 。

观察图5中 $35^{\circ}18'N$ 断面上站位的谱图。HH137在图9中所在位置为黄海暖流的区域,从图5中可以看到该站谱图在梯度零线右侧有微弱的温度梯度正值,图4中的缺失区的站位均属于此情况。HH138站跃层很浅,在 $10 \sim 20m$,强度较强。HH139、HH138站有明显的双逆跃层。HH141、HH134站逆温跃层深度达到底层,在 $45 \sim 70m$ 。

可以看到,表层冷却与黄海暖流相互作用,形成了浅层的逆温跃层,而其强度在沿岸冷水的作用下进一步加强。同时黄海暖流两侧浅层冷水南下突进,楔入黄海暖流,冷水前锋覆盖在底层高温高盐的暖流水之上,形成了较深的逆跃层。下层逆温跃层与表层冷却形成的浅逆温跃层一起,构成了双逆温跃层。如图7b中红色矩形框中位置,由于有冷水楔入和冷却的双重作用,强度较强的双逆温跃层多产生于此。

综上所述,《渤、黄、东海海洋图集——水文分册》中的4月逆温跃层分布图,采用传统跃层确定方法,利用人为规定的临界值确定跃层,具有主观性,且丢失了很多细节。自适应识别法得出的逆跃层强度平面分布更加细致,更加准确,更加全面,更加客观地反映出了黄海逆温跃层的实际情况。

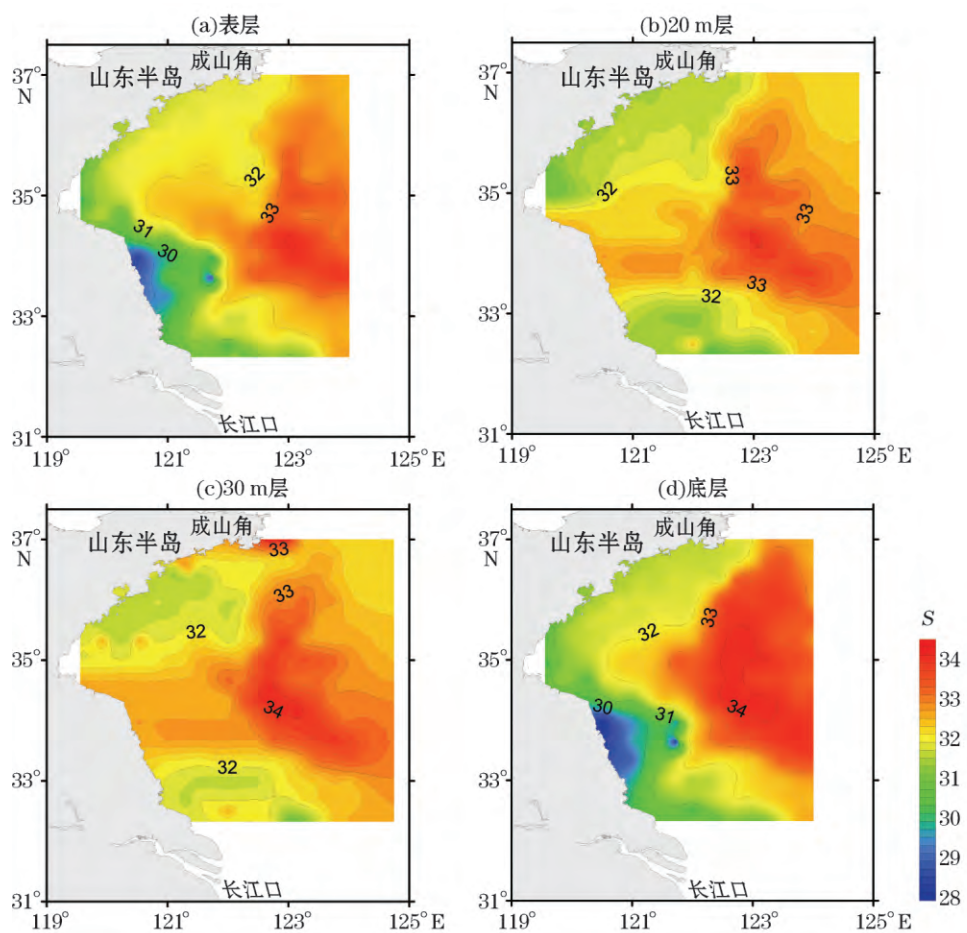


图 8 盐度平面分布

Fig. 8 The horizontal distributions of salinity in the study area

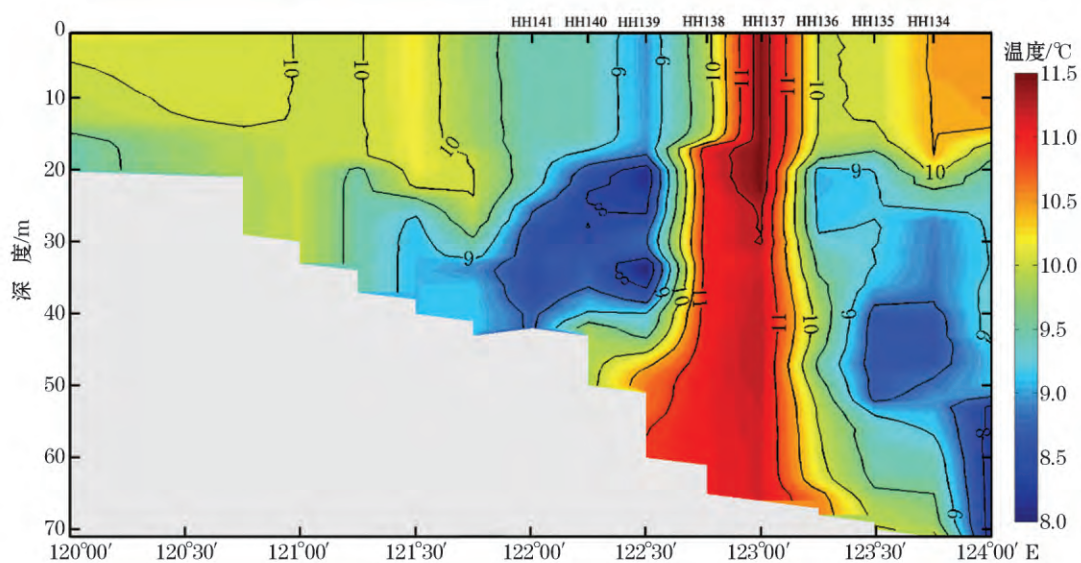


图 9 35°18'N, 120°~124°E 剖面温度分布

Fig. 9 The vertical distribution of sea temperature along the 35°18'N, 120°~124°E section

4 结 论

本文利用南黄海 2007-04 的温盐实测数据,采用海洋层结谱表达法及自适应识别,得到逆温跃层的“五点三要素”,形成强度要素平面分布图。同时结合温度、盐度平面分布和剖面分布,讨论逆温跃层形成原因,并与《渤海、黄海、东海海洋图集——水文》^[4]分册中的结果进行对比分析,得到以下主要结论:

1)逆温跃层的特征就是上面水冷、下面水暖,它的形成与黄海暖流有直接关系:(1)逆温跃层产生的普遍原因仍然是黄海暖流水受到海面冷却,由冷却产生的逆温跃层位置相对较浅,分布在黄海暖流向北延伸和向两侧扩张的区域。(2)黄海暖流在向北挺进过程中,黄海暖流偏南的主干区热量供应充足,海面冷却产生的效应被抵消,因此逆温跃层减弱甚至消失,使得 4 月逆温跃层分布区向北退缩并在南部中心附近呈现缺失区。(3)鲁北沿岸流冷水在黄海暖流左侧南下突进,叠加在黄海暖流水的暖水上方,使逆温跃层强度进一步加强,在冷、暖水的作用区形成强逆温跃层区。(4)沿岸冷水具有低温低盐的特性,其前端向黄海暖流楔入,冷水前锋覆盖在底层高温高盐的暖流水之上,形成下层逆温跃层,从而产生双逆温跃层。

2)海洋跃层谱表达法及自适应识别在跃层识别及表达中有很好的应用。跃层谱表达法有助于识别跃层的存在及类型,跃层自适应检测获得的是曲线转折点,为曲线自身的属性特征,没有人为规定临界值,避免了主观性,具有自适应的特点且识别得到的跃层上界、下界包含跃层过渡部分,使得跃层更加完整。“五点三要素”能够更加完整的表达跃层特征,从逆温跃层强度要素平面分布所得的关于逆温跃层的认识,较以前认知更加客观、全面、细致和准确。

参考文献:

- [1] 毛汉礼,邱道立. 全国海洋综合调查报告:第三册 中国近海温、盐、密度的跃层现象[M]. 北京: 科学出版社, 1964: 7-11.
- [2] 孙湘平. 中国近海及毗邻海域水温概况[M]. 北京: 海洋出版社, 2016.
- [3] 张勐宁,刘金芳,毛可修,等. 中国海温度跃层分布特征概况[J]. 海洋预报, 2006, 23(4): 51-58.
- [4] 海洋图集编委会. 渤海、黄海、东海海洋图集——水文分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [5] 颜文彬. 台湾海峡的温度逆跃层[J]. 台湾海峡, 1991, 10(4): 334-337.
- [6] 陈亮,熊学军,李小龙,等. 海洋跃层的谱表达法及自适应识别[J]. 海洋科学进展, 2016, 34(3): 328-336.
- [7] 鞠霞,熊学军. 渤、黄、东海水温季节变化特征分析[J]. 海洋科学进展, 2013, 31(1): 55-68.
- [8] 汤毓祥,邹娥梅,李兴宰,等. 初春黄海水文特征及环流状况的分析[J]. 海洋学报, 1999, 21(5): 1-11.
- [9] 蓝淑芳. 黄海暖流水的调查研究[J]. 海洋科学, 1993, 17(1): 38-40.

The Inversion Thermocline in the Western South Yellow Sea in April 2007

SU Jie¹, XIONG Xue-jun^{1,2}, LIU Hao³, LU De-jie³

(1. *The first institute of oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

2. *Laboratory for Regional Oceanography and Numerical Modeling, Qingdao National*

Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China;

3. *CNOOC Deepwater Exploitation Co. Ltd., Shenzhen 518067, China)*

Abstract: The ‘five points and three elements’ of inversion thermocline are obtained and the horizontal distribution of strength factors is plotted by using the temperature and salinity data measured in the western South Yellow Sea in April, 2007 and by means of the marine stratification spectrum representation and the adaptive recognition. The analysis indicates that the occurrence of the inversion thermocline in the western South Yellow Sea is directly related to the water of the Yellow Sea Warm Current; 1) The surface cooling that the water of the Yellow Sea Warm Current was subjected to in April is still the universal reason that causes the formation of the inversion thermocline. In the study area, such kind of inversion thermocline occurs in the areas where the Yellow Sea Warm Current extends to the north and expands both sides and the position of the thermocline is shallow; 2) In the main area of the Yellow Sea Warm Current further to the south, however, the effect caused by the sea surface cooling is offset by the heat supplement and the inversion thermocline becomes very weak and even disappears. This is the reason why the area of the inversion thermocline retreats northward and becomes absent near the southern central region in the month of April; 3) The overlying of the southward cold water of the Lubei Coastal Current over the warm water of the Yellow Sea Warm Current makes the inversion thermocline strengthen, thus making the area of cold and warm water action become a strong inversion thermocline area; 4) The front ends of both the cold coastal current water and the cold water located respectively at the left side and the right side of the Yellow Sea Warm Current wedge to the Yellow Sea Warm Current and often overlay above the high temperature and high salt water of the Yellow Sea Warm Current, forming a lower inversion thermocline. Thereby, a kind of double inversion thermocline forms. All these characteristics are more objective, comprehensive, detailed and accurate than what we have known before.

Key words: marine stratification spectrum representation and adaptive recognition; inversion thermocline; the Yellow Sea Warm Current; strong inversion thermocline; double inversion thermocline

Received: December 14, 2016