

南海上层热含量的年代际变化及影响因子分析*

宋伟¹ 王玉² 崔凤娟³ 谢强⁴

(1. 中国海洋大学 海洋与大气学院 青岛 266100; 2. 国家海洋环境监测中心 大连 116023; 3. 国家海洋局北海信息中心 青岛 266061; 4. 中国科学院深海科学与工程研究所 三亚 572000)

摘要 南海上层海洋热力结构年代际变化的研究,是海气相互作用与变化研究的热点之一,对南海区域及更大范围的气候异常的研究和南海海洋环流年际变化的研究都具有重要意义。本文采用多套海温、流场和海气界面通量资料,基于热平衡方程和统计分析方法,分析了南海上层热含量的年代际变化,研究了南海上层热含量影响因子的变化特征,比较了混合层及混合层以下热含量变化的异同,进而探讨了影响因子在混合层及混合层以下的不同作用;利用区域积分海温方程后得到的热量收支方程,诊断南海内区不同海域的热收支方程中的各项,发现了不同海域在影响热收支的物理过程方面存在差异。结果表明:南海混合层的热含量的变化主要受海气界面热通量的影响,夹卷效应在热含量的变化中也有接近 1/3 的贡献。在整个上层 400m 的热含量变化中,平流效应占据了主导地位。

关键词 热含量;年代际变化;混合层;热收支;南海

中图分类号 P733 **doi:** 10.11693/hyh20181100263

南海是西太平洋最大的边缘海,处于印度洋与太平洋的接合部,是连接亚洲季风和澳洲季风的桥梁,是世界上最大的海洋热库-热带西太平洋暖池的一个组成部分,能够影响整个亚洲东部和南部的天气/气候变化,甚至通过“遥相关”过程能够对北美大陆的气候产生影响(Diaz *et al.*, 2001; Lau *et al.*, 2002; Linsley *et al.*, 2015)。南海环流的变化与南海上层海洋的热力学结构变化密不可分,南海上层海洋热力结构年际和年代际变化的研究,是海气相互作用与变化研究的热点之一。因此,南海上层海洋热力结构变异的研究不仅对南海区域及更大范围的气候异常的研究,而且对南海海洋环流年际变化的研究都具有重要意义。Chao 等(1996)利用资料分析结合数值模拟手段研究 1982—1983 年的南海环流时,发现 1982 年末—1983 年末期间,南海上层热含量明显高于平常年份,造成热含量偏高的主要原因是并不是潜热通量(持续减少),而是同期比正常年偏弱的表层环流。

具体原因是,在 1982 年 8—11 月最强的暖异常阶段,海盆中部的上升运动和周边海域的下降运动都明显减弱,导致热量的垂向对流减弱,从而造成表层水的增温。何有海等(1997)根据 1961—1973 年投弃式温深计(expendable bathythermograph, XBT)资料研究南海 100m 以浅的平均温度(vertically averaged temperature, TAV)变化时发现,南海的 TAV 具有显著的年际变化,存在 2—4a 左右的振荡周期,与 ENSO 事件密切相关;Wang 等(1999)根据 29a 的 XBT 温度资料,利用小波分析方法获得了南海海洋年际信号特征,这种年际变化主要是由南海内部局地产生的,并且受到年代际信号的调制。王东晓等(2002)通过对 1997/1998 年 El Niño 事件和 1998 年 La Niña 事件期间南海海表面温度(sea surface temperature, SST)、风应力、海面高度和温跃层的定性分析和定量诊断,发现在 1997/1998 年南海强暖事件期间 SST 距平(sea surface temperature anomaly, SSTA)与经向风异常的

* 中国科学院先导 A 类专项, XDA13030302 号; 三亚市院地科技合作项目, 2015YD28 号; 国家自然科学基金, 41776025 号, 41776026 号, 41676018 号; 广州珠江新星(王强), 201906010051 号。宋伟, 博士研究生, E-mail: wsong@scsio.ac.cn

通信作者: 谢强, 博士生导师, 研究员, E-mail: gordonxie@idsse.ac.cn

收稿日期: 2018-11-06, 收修改稿日期: 2019-01-01

正相关关系只在暖事件建立和发展的阶段成立, 暖事件的长久维持由下降流模态控制, 即异常的下沉运动使南海的温跃层加深, 从而使正 SSTA 在南海长久维持。Xie 等(2003)对越南上升流的研究表明, 越南上升流具有明显的年际变化特征, 1998 年夏季的冷舌和仲夏的冷却都没有出现, 取而代之的是整个海盆的升温; SST 的年际变化信号在冷舌区域具有极大值, 并且强于西太平洋和印度洋的邻近海域的变化。

鉴于前人的工作, 本文进一步分析南海上层热含量的年代际变化, 以达到验证和深化前人成果的目的。本文在分析南海上层热含量的同时, 也会给出混合层和整个上层的深度特征变化, 以此来更好的来分析南海上层热含量的年代际变化特征。

1 数据预处理和和分析方法

1.1 数据介绍和预处理

本文中使用的数据包括 WOD(World Ocean Database)09 提供的 XBT 资料, SODA(Simple Ocean Data Assimilation)资料同化产品, OFES(OGCM for the Earth Simulator)模拟产品, NCEP(National Centers for Environmental Prediction)1 再分析资料(主要用到海气界面通量数据), OAflux(Objectively Analyzed air-sea Fluxes)海气界面通量数据。时间范围选取为 1958 年 1 月—2007 年 12 月共 50a 的时间。

WOD09 是美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)提供的一套全球实测海洋资料数据集, 其中包括温盐深(conductivity, temperature, depth recorder, CTD), XBT, 潜标, 浮标的现场观测数据, 时间范围从 20 世纪 50 年代至今, 数据量非常丰富, 其中我们用到的 XBT 资料是其中数据量较大的一种温度剖面观测资料。图 1 是 XBT 数据的空间分布, 图中每个点代表一个 XBT 剖面, 点位比较密集的区域形成一个五角星, 这是途经南海商船的路线。从总体上来看, XBT 的站位能够覆盖整个南海海域, 可以用来对南海的热含量进行计算和分析。

SODA 是由美国马里兰大学 Carton 等制作的简易海洋同化资料。它在海洋动力学理论的基础上, 同化了大量的观测数据, 较真实地反映物理海洋的基本热力、动力特征, 可以用来对大尺度物理海洋学的重要事件进行研究, 具有较高的可信度和精确性

(Carton *et al.*, 2008)。

OFES 是基于 MOM(Modular Ocean Model)3 和 GFDL(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)模式模拟的一套全球数值模拟产品, 水平分辨率为 0.1° , 模拟范围在 75°S — 75°N , 除了北冰洋, 覆盖其他全部海域, 垂向分为 54 层, 利用 NCEP/NCAR(National Center for Atmospheric Research)的大气强迫场和 WOA(World Ocean Atlas)98 的温盐初始场启动, 模拟 50a 后加入真实的驱动场后得到全球的温、盐、流场, 时间范围为 1950—2009 年(Masumoto *et al.*, 2004)。

XBT 资料为实测资料, 在进行数据分析之前要进行质量控制和预处理(Cheng *et al.*, 2011), 经过质量控制和预处理后的 XBT 数据在南海的空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, 50a 的逐月资料。

1.2 分析方法

本文中用到的定义和分析方法主要包括热含量和混合层的定义, 热平衡收支方程。

热含量的定义为:

$$Q = S \int_{-h}^0 \rho c_p T dz, \quad (1)$$

其中 S 为单位网格的面积, ρ 为海水密度, c_p 是海水的定压比容, h 为选取的水深, T 为海水温度, 本文中的水深根据分析要求选择为混合层的深度或 400m(Cheng *et al.*, 2017)。

混合层深度定义为比海面温度低 0.8°C 的深度, 这里的表层温度指的是海洋上 10m 层的平均温度。南海混合层最大深度出现在南海的西北, 大约 80m 左右。

混合层热收支方程:

$$\frac{\partial T_m}{\partial t} = \frac{Q - q(-h_m)}{\rho_0 c_p h_m} - u_m \nabla T_m + k \nabla^2 T_m - \frac{w_e \Delta T}{h_m}, \quad (2)$$

其中, 公式左侧为热含量时间倾势项(HCC), 右侧依次为海气界面热通量(QNET), 混合层底的辐射通量, 侧向平流项应(ADV), 扩散项和夹卷效应(ENT), T_m 是混合层的温度, h_m 是混合层的深度, w_e 是夹卷速度, ΔT 是混合层和下方温跃层的温度差, k 是涡扩散率(一般取为 $500\text{m}^2/\text{s}$), ρ_0 是参考海水密度($1027\text{kg}/\text{m}^3$), c_p 是定压比热容($4000\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$), Q 是海气界面净热通量, 进入海洋为正, $q(-h_m)$ 是混合层底的辐射通量, u_m 是混合层的流速, 这里我们用模式的流场代替。夹卷速度和混合层底的辐射通量的计算是一个经验公式(Dong *et al.*, 2004), 这里我们不再赘述公式。

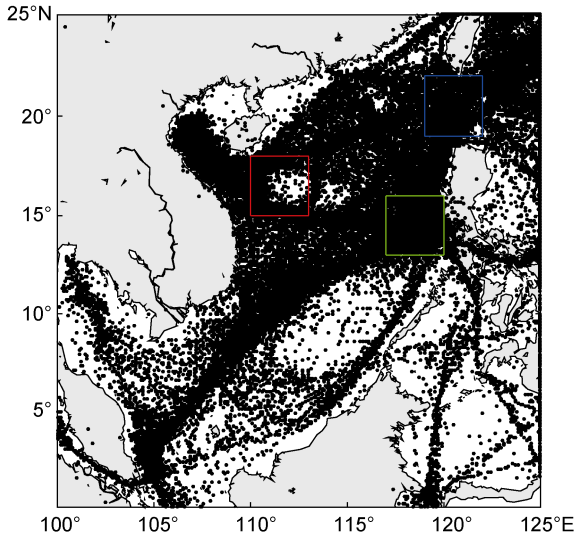


图1 投弃式温深计(expendable bathythermograph, XBT)数据空间分布情况

Fig.1 Geographical distribution (the dots) of the XBT (expendable bathythermograph) data used in this study

注: 每一个黑色圆点代表一个 XBT 观测; 蓝色方框: 吕宋海峡; 绿色方框: 吕宋岛西侧; 红色方框: 西沙区域

2 结果与讨论

2.1 南海上层热含量的年代际变化特征

首先利用 XBT 数据(实测资料), SODA(同化资料), OFES(模式模拟资料)给出南海上层热含量的年代际变化的时间序列(图 2), 南海选择的范围是 0° — 25° N, 100° — 125° E, 热含量积分深度为上层 400m, 可以看出三种资料给出的南海上层热含量都有明显的年代际变化, 变化规律也基本相似(Xiao *et al.*, 2018)。1958—2007 年, 整个南海的热含量变化有接近 2.5 个周期。

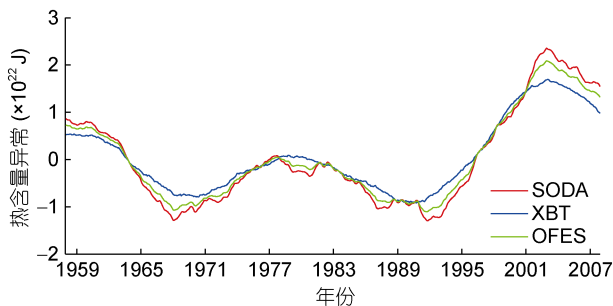


图2 三种资料计算得到的南海上层热含量变化的时间序列

Fig.2 The heat-content time series of XBT, OGCM for the Earth Simulator (OFES) and Simple Ocean Data Assimilation (SODA)

为了进一步验证南海上层热含量年代际变化的

规律是否正确, 我们比较了热含量的变化和火山爆发的关系, 火山爆发和热含量的低谷在时间上有很好的匹配(Church *et al.*, 2005), 南海的热含量在 1968 年和 1992 年附近达到最低值, 而在此附近时间发生的大型火山爆发阿贡火山(Agung)和皮纳图博火山(Pinatubo)都位于南海附近: 阿贡火山位于菲律宾群岛, 皮纳图博火山位于吕宋岛上。较大的火山爆发会将火山灰送到大气的平流层, 由于平流层比较稳定, 火山灰在其中能够存在较长的时间, 能够有效的阻挡太阳的短波辐射, 造成海洋吸收到的热量降低, 热含量下降(Church *et al.*, 2005)。

同样的, QNET 和 ADV 同样具有明显的年代际变化(图略), 其时间变化规律与热含量相似。ADV 的计算主要包括吕宋海峡、台湾海峡、民都洛海峡、巴拉巴克海峡以及南部的巽他海峡五个海峡通道。

气候态年平均的 HCC、QNET、ADV 的定量估算如下: HCC 为 3.6×10^{12} W, QNET 为 48.6×10^{12} W, ADV 为 -51.1×10^{12} W, R 为 6.1×10^{12} W, 定量估算与 Qu 等的模式模拟的给出的结果基本相似(Qu *et al.*, 2004)。从上述数据看出, 热含量的趋势项相对于海气界面通量和侧向平流项来说小一个量级, 但是其变化对于整个南海的气候变化具有重要的意义。 R 代表热平衡方程中的余项, 主要包括垂向平流, 扩散和混合等过程。

2.2 南海混合层及上层热收支估算

通过公式(2)中的各项进行计算, 我们发现其中的扩散项和混合层底的辐射通量项相对于其他项量级较小, 我们将二者归在剩余项(R)中, 因此, 热平衡方程可以简单写为:

$$HCC = QNET + ADV + ENT + R, \quad (3)$$

图 3 给出了公式(3)中各项在混合层中变化的时间序列, 从图中可以看出, 在年代际时间尺度上, 对热含量影响比较重要的是海表的海气界面热通量和混合层底的夹卷效应, 平流效应和热含量变化的相关性最低, 说明在年代际时间尺度上, 平流对混合层热含量的变化影响较小。

根据图 2, 我们选取了 4 个时间段分别对热收支平衡方程进行积分计算, 时间段的选取根据热含量变化最大的原则, 选取的时间段分别为 P1: 1958—1968 年; P2: 1969—1981 年; P3: 1982—1992 年; P4: 1993—2003 年, 表 1 给出了计算结果。从表中的合成分析我们计算可以得到: 在混合层热含量的年代际变化中, QNET 的贡献率为 39%, 是影响热含量变化

的第一因素, 混合层底的夹卷效应的比重为 31%, 对热含量变化的贡献率接近 1/3, 二者的贡献率之和达到 70%, 基本上决定了混合层热含量的变化。

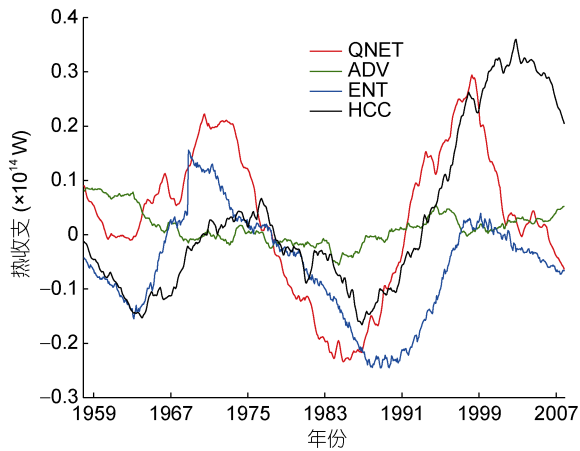


图 3 混合层中各项变化的时间序列

Fig.3 The time series of terms in the mixed layer

注: QNET: 海气界面热通量; ADV: 侧向平流项; ENT: 扩散项和夹卷效应; HCC: 热含量时间倾势项

表 1 混合层内 4 个时间段热收支计算(单位: $\times 10^{14}W$)
Tab.1 The terms of heat budget for the four periods in the mixed layer (unit: $\times 10^{14}W$)

时间段	HCC	QNET	ADV	ENT	R
P1	6.38	2.69	0.96	1.90	0.83
P2	5.29	1.96	0.86	1.78	0.69
P3	4.24	1.71	0.59	1.55	0.39
P4	7.37	2.75	1.42	2.10	1.10
SYN	23.28	9.11	3.83	7.33	3.01

注: P1: 1958—1968 年, P2: 1969—1981 年, P3: 1982—1992 年, P4: 1993—2003 年; SYN: 四个时间段的合成; HCC: 热含量时间倾势项; QNET: 海气界面热通量; ADV: 侧向平流项; ENT: 扩散项和夹卷效应

南海是连接太平洋和印度洋的主要通道, 更是通过南海贯穿流在两大洋之间进行水体交换, 显而易见, 平流效应对南海的热收支有重要的作用, 如果, 平流效应的贡献不在混合层, 那就一定在混合层以下的水体起了重要作用(Taguchi *et al*, 2017), 下面我们将分析南海上层 400m 热收支过程, 比较混合层和上层 400m 热收支平衡的差异。

基于早期 XBT 资料所能达到的深度, 我们选取上层 400m 作为研究南海上层热收支平衡度深度, 南海的温跃层深度普遍都在 400 以浅(Qu *et al*, 2004; Cheng *et al*, 2016), 因此我们选取上层 400m 能够分析包括温跃层在内的整个南海上层动力过程。由于夹卷

效应发生在温跃层和混合层的交界处, 上层 400m 已经将这一深度包括在内, 因此, 上层 400m 的热收支平衡方程可以改写为:

$$HCC=QNET+ADV+R. \quad (4)$$

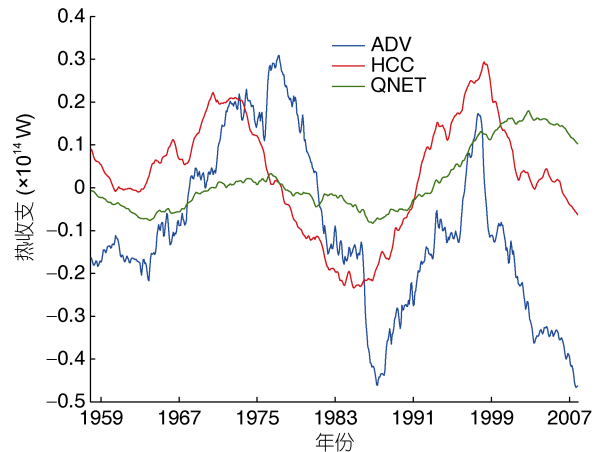


图 4 上层 400m 中各项变化的时间序列

Fig.4 The time series of each term in the upper 400m

从图 4 中可以看出, 在年代际时间尺度上, 对热含量影响比较重要的是平流效应, 平流效应和热含量的变化瞬时相关比较高, 说明平流效应能够迅速影响热含量的变化, 海洋内部过程的响应是非常快的; 而在整个时间范围内, 海气界面净热通量的影响趋于一条直线, 对热含量的变化影响比较小, 表 2 给出了温跃层(上层 400m 扣除混合层)在四个时间段内的热收支平衡计算, 夹卷效应对温跃层有一定的影响, 但是对温跃层影响更大的是平流效应, 通过合成分析的结果可得, 平流效应的贡献率达到 56.5%。

表 2 温跃层 4 个时间段热收支计算(单位: $\times 10^{14}W$)
Tab.2 The term of heat budget for the four periods in the thermocline (unit: $\times 10^{14}W$)

时间段	HCC	RAD	ADV	ENT	R
P1	14.21	0.02	9.36	1.50	3.33
P2	13.35	0.03	7.86	0.68	4.78
P3	8.07	0.01	3.39	0.87	3.80
P4	15.19	0.01	8.12	1.60	5.46
SYN	50.82	0.07	28.73	4.65	17.37

注: SYN 代表四个时间段的合成, RAD 代表海气界面通量穿过混合层进入温跃层的部分

2.3 南海上层热含量年代际变化的区域差异

南海上层热含量的年代际变化在南海内部不同区域的便显出不同的特征, 南海内部有很多重要的物理海洋过程, 这些过程在某些区域表现的十分明

显, 其中包括: 吕宋海峡太平洋对南海的入侵过程, 南海西边界流流轴区域, 吕宋冷涡, 越南离岸射流, 陆坡上流区等等。图 1 的方形区域给出选取的南海关键性区域, 在南海内部有很多物理海洋现象发生的关键区域, 结合我们所要研究的年代际变化, 有些物

理过程只是季节和年际变化特征相对明显, 我们选取 3 个典型区域作为代表来进行分析: 吕宋海峡 (19° — 22° N, 119° — 122° E)、吕宋岛西侧 (13° — 16° N, 117° — 120° E) 以及西沙区域 (15° — 18° N, 110° — 113° E)。

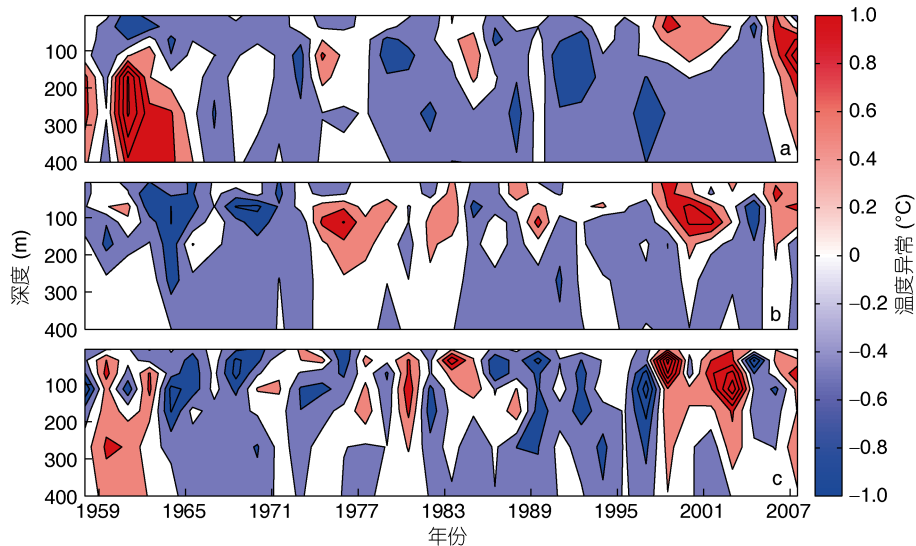


图 5 3 个不同的关键区域 XBT 资料的温度异常分布

Fig.5 Temperature anomalies distribution of XBT data in three different key regions
注: a: 西沙区域; b: 吕宋海峡; c: 吕宋岛西侧

从图 5 可以看出, 在不同区域南海上层的热含量都表现出明显的年代际变化, 但是各自的变化特征有所不同, 发生冷暖异常极值出现的年份有所差异, 强度也有所差异。越接近太平洋的区域, 异常的强度也就偏大, 吕宋岛西侧异常最为强烈(He *et al.*, 2016)。另外, 在 0—400m 深度的范围内, 上混合层(0—100m)和混合层以下的温跃层, 它们的位相变化也不完全是同步的, 这也说明单独分析混合层和温跃层热含量年代际变化的必要性。南海热含量年代际变化最强的信号出现在温跃层, 根据我们上一节的结论可以知道, 温跃层的收支平衡最大的影响因子是平流项, 也就是说, 南海上层热含量的年代际变化主要受到外部大洋的影响, 尤其是太平洋的影响。

2.4 南海上层热含量年代际变化与太平洋信号的联系

南海与东侧太平洋连接的水道主要包括吕宋海峡和民都洛海峡(图 1), 尽管民都洛海峡最深的地方只有 300m 左右, 但是并不能阻止太平洋的信号通过其进入南海(Kumar *et al.*, 2016)。我们另外选取了太平洋西侧靠近吕宋岛的区域(13° — 16° N, 125° — 128° E)和南海内部的吕宋海峡区域、吕宋岛西侧区域进行分

析, 图 6 给出了新选定的 3 个区域热含量时间序列(年代际), 在超过置信度检验的前提下, 太平洋区域的热含量和吕宋岛西侧的热含量变化相关系数达到 57.5%, 和吕宋海峡的相关系数只有 19.3%, 太平洋

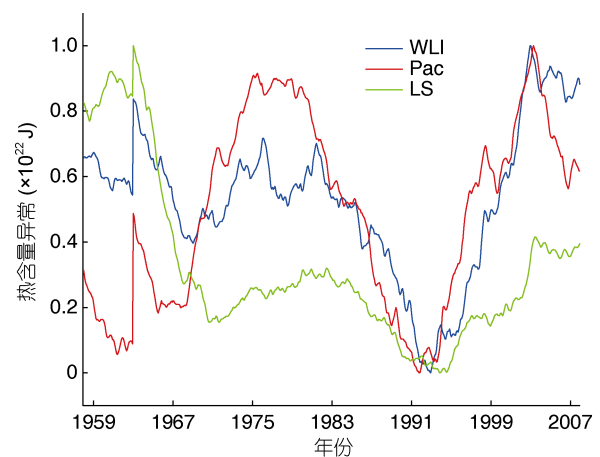


图 6 包括太平洋在内的 3 个区域热含量变化的时间序列
Fig.6 Heat content time series of the three chosen boxes in the South China Sea

注: WLI: West of Luzon Island, 吕宋岛西侧; Pac: Pacific, 太平洋区域; LS: Luzon Strait, 吕宋海峡

区域和吕宋岛西侧在热含量变化和平流项应的高相关性说明民都洛海峡在年代际时间尺度上对南海影响的重要性(Zhuang *et al.*, 2013)。

3 结论

本文利用实测数据同化数据模式数据分析了南海上层热含量的年代际变化, 及其热收支的估算, 主要特征如下:

(1) 南海上层热含量存在明显的年代际变化, 对应的海气界面热通量, 平流效应都有年代际变化, 热含量的变化在南海内部不同区域表现出不同的特征, 原因主要是影响热含量变化的因子表现出不同的特征。

(2) 南海混合层的热含量的变化主要受海气界面热通量的影响, 夹卷效应在其中也有接近 1/3 的贡献。在整个上层 400m 的热含量变化中, 平流效应占据了主导地位。

(3) 南海热含量的年代际变化在南海内部呈现出区域差异, 不同区域的影响其变化的主要因子不同, 越接近太平洋的区域平流项应对热含量的影响越大, 平流效应的影响在吕宋岛西侧达到最大, 这也表明民都洛海峡在南海年代际尺度变化上不可忽略的重要作用。

本文详细讨论了南海上层海洋热含量的年代际变化以及在年代际时间尺度上影响热含量变化的因素, 并且给出了南海上层热含量与太平洋年代际变化的相关关系, 但是由于观测资料的限制, 没有办法定量的给出明确的结论, 希望在以后的工作中通过模式的控制实验在这方面进行进一步的研究, 进一步明确太平洋在年代际尺度上对南海的影响机制。

参 考 文 献

何有海, 关翠华, 1997. 南海上层海洋热含量的年际和年代际变化. *热带海洋*, 16(1): 23—29

王东晓, 谢强, 杜岩等, 2002. 1997—1998年南海暖事件. *科学通报*, 47(9): 711—716

Carton J A, Giese B S, 2008. A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). *Monthly Weather Review*, 136(8): 2999—3017

Chao S Y, Shaw P T, Wu S Y, 1996. El Niño modulation of the South China Sea circulation. *Progress in Oceanography*, 38(1): 51—93

Cheng L J, Trenberth K E, Fasullo J *et al.*, 2017. Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015. *Science Advances*, 3(3): e1601545

Cheng L J, Zhu J, Reseghetti F *et al.*, 2011. A new method to

estimate the systematical biases of expendable bathythermograph. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 28(2): 244—265

Cheng X H, Xie S P, Du Y *et al.*, 2016. Interannual-to-decadal variability and trends of sea level in the South China Sea. *Climate Dynamics*, 46(9—10): 3113—3126

Church J A, White N J, Arblaster J M, 2005. Significant decadal—scale impact of volcanic eruptions on sea level and ocean heat content. *Nature*, 438(7064): 74—77

Diaz H F, Hoerling M P, Eischeid J K, 2011. ENSO variability, teleconnections and climate change. *International Journal of Climatology*, 21(15): 1845—1862

Dong S F, Kelly K A, 2004. Heat budget in the Gulf Stream region: the importance of heat storage and advection. *Journal of Physical Oceanography*, 34(5): 1214—1231

He Y H, Xie J S, Cai S Q, 2016. Interannual variability of winter eddy patterns in the eastern South China Sea. *Geophysical Research Letters*, 43(10): 5185—5193

Kumar A, Wen C H, 2016. An oceanic heat content—based definition for the Pacific decadal oscillation. *Monthly Weather Review*, 144(10): 3977—3984

Lau K M, Weng H Y, 2002. Recurrent teleconnection patterns linking summertime precipitation variability over East Asia and North America. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 80(6): 1309—1324

Linsley B K, Wu H C, Dassié E P *et al.*, 2015. Decadal changes in South Pacific sea surface temperatures and the relationship to the Pacific decadal oscillation and upper ocean heat content. *Geophysical Research Letters*, 42(7): 2358—2366

Masumoto Y, Sasaki H, Kagimoto T *et al.*, 2004. A fifty-year eddy-resolving simulation of the world ocean: preliminary outcomes of OFES (OGCM for the Earth Simulator). *Journal of the Earth Simulator*, 1: 35—56

Qu T D, Kim Y Y, Yaremchuk M *et al.*, 2004. Can Luzon Strait transport play a role in conveying the impact of ENSO to the South China Sea? *Journal of Climate*, 17(18): 3644—3657

Taguchi B, Schneider N, Nonaka M *et al.*, 2017. Decadal variability of upper-ocean heat content associated with Meridional shifts of western boundary current extensions in the North Pacific. *Journal of Climate*, 30(16): 6247—6264

Wang L P, Koblinsky C, Howden S *et al.*, 1999. Interannual variability in the South China Sea from expendable bathythermograph data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(C10): 23509—23523

Xiao F A, Zeng L L, Liu Q Y *et al.*, 2018. Extreme subsurface warm events in the South China Sea during 1998/99 and 2006/07: observations and mechanisms. *Climate Dynamics*, 50(1—2): 115—128

Xie S P, Xie Q, Wang D X *et al.*, 2003. Summer upwelling in the South China Sea and its role in regional climate variations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(C8): 3261

Zhuang W, Qiu B, Du Y, 2013. Low-frequency western Pacific Ocean sea level and circulation changes due to the connectivity of the Philippine Archipelago. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(12): 6759—6773

DECADAL VARIABILITY OF UPPER LAYER HEAT CONTENT AND INFLUENCING FACTORS IN THE SOUTH CHINA SEA

SONG Wei¹, WANG Yu², CUI Feng-Juan³, XIE Qiang⁴

(1. College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China; 3. North China Sea Data & Information Service of SOA, Qingdao 266061, China; 4. Institute of Deep-sea Science and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Sanya 572000, China)

Abstract The study of Interdecadal Variation of oceanic thermal structure in the upper South China Sea is one of the hotspots in the study of air-sea interaction. It is of great significance to the study of climate anomalies and circulation in the South China Sea. To understand the decadal variability of the heat content in the South China Sea (SCS), we studied the difference in heat content between the mixed layer and the layer beneath, the influencing factors, and their roles of play in the two layers, for which multiple datasets were applied and heat balance equation and statistical methods were used. The heat budget in the interior region of the SCS is given, based on which the heat transport and the mechanisms are focused. The results show that the heat content of the upper layer of the SCS has significant decadal variations, so do the air-sea interface net heat flux and advection effects. Moreover, the heat content varies in region as the heat content factors vary in space. The heat content in the mixed layer is affected mainly by the air-sea interface heat flux, of which the entrainment effect contributes nearly one-third. In the layer of entire upper 400 m, the advection effects dominate. Therefore, the decadal variability of heat content in the upper layer of the South China Sea features regional characteristics, and the closer to the Pacific Ocean is, the bigger impact of advection would show.

Key words heat content; decadal variability; mixed layer; heat budget; the South China Sea