

文章编号: 1000-2022(2005)04-0477-06

东中国海海温的一维模式研究

秦正坤, 孙照渤

(南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘要: 根据近海深度浅、热容量小的特点, 建立了一个一维能量平衡模式, 对东中国海年平均海温进行了模拟。模式较好地模拟出了平均海温的经向分布与纬向分布情况, 结果与观测基本相符。同时还检验了模式对海温年际变化的模拟能力, 得到了较好的结果。最后简要分析了能量平衡模式应用在近海上的优缺点。

关键词: 能量平衡; 黑潮; 近海; 海表温度

中图分类号: P732 **文献标识码:** A

海洋是全球气候系统的主要成员, 由于海洋(包括海冰)占地球表面 2/3 以上, 海水热容量大, 海水较大气和陆地对气候变化有更长的记忆能力, 因此海洋对季以上时间尺度的气候变化尤其重要。近海海温对沿海地区乃至内陆的气温、降水等天气特征和现象都有很大的影响, 因此在研究区域气候问题时, 近海影响十分重要。在已有的近海模拟研究中, 有海气耦合模式^[1-2], 也有单纯的海洋模式。其中海洋模式有复杂的三维大洋模式, 可用来详细研究近海的表面风吹流, 深层温盐环流以及海温等的月、季、年的变化^[3]。但此类大洋模式复杂, 所要的观测资料繁多, 计算要求较高, 不便于应用。因此简单的海洋模式就成了海洋气候研究中的一个重要工具, 王宗山等^[4-5]就曾经用简单的参数模式来研究近海的盐度和温跃层。

一维能量平衡模式早在 1927 年就已经被用于气象研究, 主要用于构造海气耦合模式^[6-8], 研究太阳常数, CO₂ 温室效应, 微量气体及气溶胶等方面^[9]。一维能量平衡模式用于模拟海洋时, 不存在气候漂移的缺陷, 这对控制海气耦合模式中的气候漂移有很大的作用。同时该模式构造简单, 物理概念明确, 便于用来进行在复杂三维模式中难以进行的各种敏感性试验和研究。

海洋的表面温度取决于它的热量变化。阎俊岳^[10]经过详细的计算发现东中国海的黄渤海海区的得失热量各分量差异很小, 而在东海区, 除了黑潮的影响外差异也不是很大。利用近海这种海水浅、热容量小的特点, 这里建立了一个一维海洋模式来研究近海海温变化特征。模式在 Saltman 等^[11]的一维能量平衡模式基础上, 针对近海作了适当的修改, 主要是在感热与潜热通量计算上改用了适用于近海的公式, 并根据不同的海区温度分别计算了 Bowen 率和海面拖曳系数, 引进了观测云量值, 提高了准确性, 从而通过大气温度强迫来预报海表温度。模

收稿日期: 2003-05-19 改回日期: 2003-11-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40175023)

作者简介: 秦正坤(1979-), 男, 江苏盐城人, 博士生, 研究方向: 海气相互作用. E-mail qzk_0@mail.ip.ac.cn

式简单, 便于应用, 在构造混合海气耦合模式, 控制气候漂移方面有一定的应用前景。

1 模式的原理

模式的基本原理是将海洋表面看成是一个快速反应的沼泽表面, 利用太阳辐射通量、海面有效回辐射通量、海面感热通量和潜热通量之间的平衡来确定海表面温度。其能量平衡方程是

$$H_s + H_l + H_{se} + H_{sl} = Q \quad (1)$$

其中, H_s 是海面吸收的太阳辐射通量, H_l 是海面有效长波辐射, H_{se} 与 H_{sl} 分别是海表面与大气之间的感热与潜热通量。

海洋在夏季存储热量, 而在冬季放出热量, 因而考虑年际变化时, 热容量产生的影响相对较小。这里研究的是较浅的近海, 海洋的热容量相对较小, 而且关注的是年平均的海表温度, 因此在近海应用热量平衡条件存在其合理性。

1.1 太阳短波辐射 H_s

它主要决定与到达大气顶水平面上的太阳辐射、大气吸收和散射、云和海面的反射。假设到达海面的太阳辐射可分为两部分^[11],

$$H_s = (1 - n)H_{\text{clear}} + nH_{\text{cloudy}} \quad (2)$$

其中, n 为云覆盖率, 有云天空与无云天空的太阳辐射分别表示为

$$H_{\text{clear}} = [1 - (x + r)]R_0 \quad (3)$$

$$H_{\text{cloudy}} = [1 - (x + x_n + r_1 + r_n)]R_0 \quad (4)$$

这里, $R = (1 - r_s)R_0$ 是晴空下到达地面的太阳辐射, R_0 是随纬度变化的太阳辐射量, r_s 为海面反射率, $x = x_d + x_v$, x_d 是大气中除水气外的其它气体和气溶胶对太阳辐射的吸收, x_v 是水汽对太阳辐射的吸收, x_n 是水滴的吸收率, r_1 , r_n 分别是无云大气、云顶大气和云顶对太阳辐射的反射率。

在 Saltzman 等^[11]模式中, 云量是采用参数化的方法。这用在近海小区域就会出现明显误差。这里引进了观测云量, 以增加模拟的准确性。

1.2 海面有效长波辐射 H_l

长波辐射可分为海面向上的长波辐射和云底的黑体辐射^[11]:

$$H_{\text{sea}} = \varepsilon_s \sigma T_s^4 (1 - \varepsilon), \quad H_{\text{cloudy}} = \varepsilon_n \sigma T_b^4 (1 - \varepsilon) \quad (5)$$

式中, ε_s 是海表放射, ε_n 为云放射, T_s 为海表温度, T_b 是云底温度, ε 为有效大气长波吸收率。

假定 $T_b^4 = \beta_1 T_s^4$, 由经验可知 $\beta_1 = 0.5 \sim 0.8$

这里取 $\varepsilon_n = \varepsilon_s = 1$, β_1 取为 0.65, 则 H_l 为

$$H_l = \sigma T_s^4 (1 - \varepsilon) - n[\sigma T_s^4 \beta_1 (1 - \varepsilon)] = T_s^4 (1 - \varepsilon) (1 - \beta_1 n) \quad (6)$$

其中, $\varepsilon = \varepsilon_v + \varepsilon_c + \varepsilon_z - \varepsilon^*$, ε_v 为水汽放射率, ε_c 为 CO_2 放射率, ε_z 为臭氧放射率, ε^* 为水汽与 CO_2 带重合部分放射率。

1.3 感热通量 H_{se}

由于 Saltzman 等^[11]的模式是用于全球区域, 因此在近海小区域上, 感热通量与潜热通量的计算就出现了变化过于剧烈, 精确度较低的缺陷, 使得模拟海表温度比观测值平均要高出许多。图 1 是 Saltzman 等^[11]模式在采用观测云量和考虑黑潮影响的条件下模拟的多年平均的 SST 的纬向分布曲线, 从图中可以看出, 模拟温度比观测值平均要高出 3°C 左右。因此改用钱

永甫^[12]用于研究南海的计算方法。它主要决定于海表的海水与大气温度差和风速。根据钱永甫的结果, 海气间的感热通量可表示为

$$H_{se} = \rho_a c_{pa} C_{HD} |V_a| (T_s - T_a) \quad (7)$$

其中, ρ_a , c_{pa} , $|V_a|$ 为空气的密度、定压比热容和风速值, C_{HD} 为海表拖曳系数。

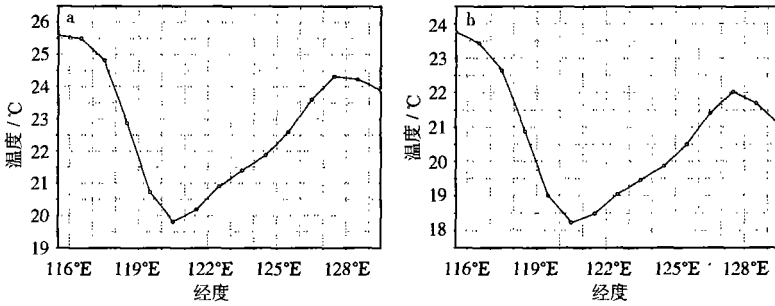


图 1 模拟 (a) 和观测 (b) 的近海纬向平均 SST (单位: °C)

Fig 1 Simulation (a) and observation (b) of the shelf sea zonal average SST (units °C)

1.4 潜热通量 H_{sl}

它主要决定于海面大气的水汽饱和程度与风速, 数值上一般比感热大的多, 可表示为^[12]

$$H_{sl} = \rho_a L c_{pa} C_{HD} |V_a| [q_s(T_s) - q_s(T_a)] \quad (8)$$

其中, L 为水汽凝结潜热, $q_s(T)$ 为温度 T 下的饱和比湿。为简化计算, 已假定海面大气为饱和的。在钱永甫^[12]的研究中, C_{HD} 取为经验常数。这里是由 Hellem an 等^[13] 给出的公式来计算的, 其值基本与 Bunker^[14] 给出的 C_{HD} 作为风速与稳定度函数的差算表相拟合。

2 数据与方法

文中大气温度资料来自 NCEP 的 1958—1994 年的 1 000 hPa 月平均的 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 气温资料; 海温资料取自 GSST 的 1958—1994 年东中国海区域月平均的 $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ 的海温资料; 模式用到的云量与风速资料来自 COADS 的 1958—1994 年 $2^\circ \times 2^\circ$ 月平均资料。将月平均资料每 12 月平均得出年平均数据, 并将气温、云量和风速资料插值到模式格点上。模式模拟的区域为东中国海区域, 即 $116.0 \sim 129.0^\circ E$, $22.0 \sim 42.0^\circ N$ 。

东中国海海温受黑潮暖流的影响较大。方国洪等^[15] 的研究结果表明, 黑潮携带巨大的热量进入东海, 年平均输送的热量为 2.32 PW, 大部分热量是通过吐葛喇海峡和冲绳至奄美大岛水道回到太平洋。由海表温度图 (图略) 可以发现, 黑潮的影响是随纬度增加而逐渐减少, 随经度的增加而逐渐增大的。所以黑潮通过东海东部向近海的热量输送在纬度上与太阳短波辐射的分布相似, 在经度上分布经过数据拟合可发现近似于指数分布。因此为了考虑黑潮暖流对东海区输送的热量的影响, 在太阳辐射项的基础上增加了关于经度变化的项 $a \sin(x-100) / b$, b 为经验常数, x 是格点经度。在钱永甫^[12] 的研究中, 由于南海表面温差不大, 因此 Bowen 率可近似取为 5。但在东中国海, 随纬度不同表面温差较大。因此根据各地区温度, 分别计算了 Bowen 率, 这也大大改善了模拟的结果。

3 结果分析

3.1 年平均海温的模拟

图 2 是观测与模拟的东中国海海表平均温度的经向分布和纬向分布, 可以看出模拟的平

均海表温度的经向和纬向分布与观测值相符得很好。

经向平均图很好地体现了温度随经度的双峰变化,左侧的峰值主要是由东中国海的地形引起,平均值主要来自低纬度海温,所以较高。在右侧 120°E 以东,在同一纬度,温度是随经度增长逐渐上升的,尤其是在东部的黑潮影响区,温度梯度更为明显,而在 127.5°E 以东温度呈下降趋势,可能是由于黑潮的高温海水对这里影响较弱,且该经度近海与大洋较冷的海水相连,从而海温下降。但是模拟值在纬度起始阶段比观测值要高,这可能是由于模式未考虑沿岸流引起的冷平流的影响以及对黑潮影响的考虑不是很完善。纬向平均图上,模式也很好地模拟出了海表温度随纬度下降的趋势,而且趋势基本一致,海表温度基本上是随纬度增高呈现出以同一斜率下降的趋势。但是在曲线的两端模拟与观测略有差异,这与分辨率较低而未能很好地考虑地形的影响有一定关系,同时也是由于沿岸流和黑潮的影响。

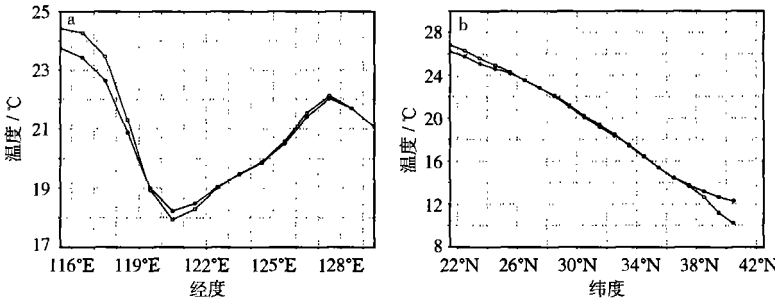


图 2 观测(实心点)与模拟(空心点)的东中国海海温的经向平均(a)和纬向平均(b)(单位: °C)

Fig 2 Observation(solid point) and simulation(hollow point) of meridional(a) and zonal(b) mean SST of the East China Sea(units °C)

图 3 是模拟的多年平均的海表温度场,体现了东中国海海温东高西低、南高北低的基本特征。在黑潮影响区温度梯度比较大,随经度出现较明显的增长,这主要是黑潮流经东海区,带来了大量的高温高盐海水,通过热量交换使得东海东侧的海表温度普遍升高。这与平均海温纬向分布的结论一致。图 4 是模拟值与观测值绝对误差的分布情况,情况基本令人满意。

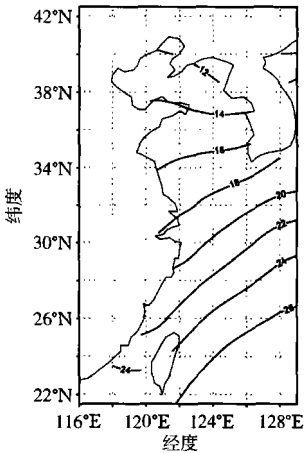


图 3 东中国海海表温度气候模拟值(单位: °C)

Fig 3 Simulation of the mean annual SST of the East China Sea(units °C)

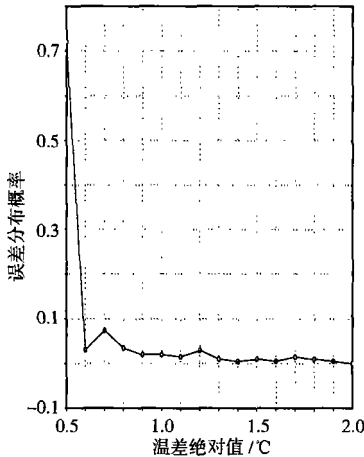


图 4 模拟与观测绝对误差分布曲线

Fig 4 The absolute difference between simulation and observation

3.2 年际振荡的模拟

为了检验模式对海温年际变化的模拟能力, 这里选取 1958—1994 年共 37 a 进行了试验, 比较了给定经度与纬度情况下的海表温度平均值的变化特征 (图 5)。

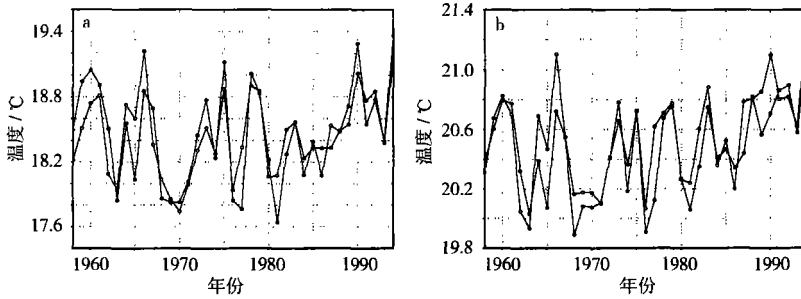


图 5 SST 模拟值 (空心点) 与观测值 (实心点) 的比较 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

a 32.5°N ; b 125.5°E

Fig 5 The comparison between simulated (hollow point) and observed (solid point) interannual variations of SST (units $^{\circ}\text{C}$)

a 32.5°N ; b 125.5°E

我国近海海温在这 37 a 中有明显的年际和年代际振荡现象, 在 70 年代以前海温存在一个逐渐下降的趋势, 70 年代以后海温又逐渐上升, 但是都不是十分明显。从图 5 中可以看出, 近海年平均海温的年际和年代际振荡都能在一定程度上得到再现, 而且平均海温的总体趋势也能得到较好的模拟, 只是在一些极值的幅度上还存在一定的误差。这可能是由于模式比较简单, 未能完善考虑洋流的影响及海水的热容量的影响, 在模拟多年海温时, 导致结果与观测值有一定差异, 同时也是因为资料分辨率不够。在时间—纬度剖面图和时间—经度剖面图 (图略) 上也可以得出相同的结论。

图 6 是模拟的 37 a 海表温度和观测值的相关系数分布, 模拟与观测的相关系数都在

0.6 以上, 尤其是在黄海和东海的南部海区, 相关达到了 0.8 以上。整个模拟海域观测与模拟的相关都远超过了 0.05 的显著性检验。这也进一步验证了模式的性能。

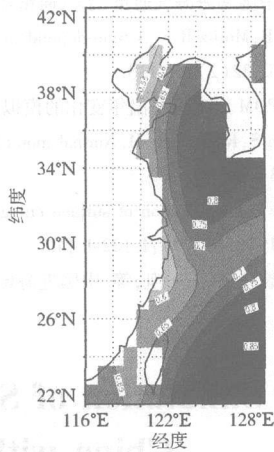


图 6 模拟与观测相关系数分布

Fig 6 The correlation efficient between simulation and observation

4 结论与讨论

本文针对近海深度浅、热容量小的特殊情况, 出于研究近海海温长期气候变化特征和建立近海耦合模式的目的, 建立了简单一维能量平衡模式, 通过大气温度、风场和云量的强迫, 通过迭代能量平衡方程, 最终模拟出海表温度。模拟值和观测值基本相符, 尤其是平均温度的经向、纬向分布的变化结构得到了很好的再现, 对海表温度的年际变化也有一定的模拟能力。

但是由于模式是一个简单热量平衡模式, 未能充分考虑海流、海洋热容量以及海洋各层海

水的热量交换的影响,使得模拟结果存在一定的缺陷,而且模式是建立在能量平衡的基础上的,所以对月、季等短期气候不能适用,同时模式是一个参数化模式,较多地依赖经验参数。因此进一步完善参数化过程,尽可能多地考虑海洋中的物理过程是今后努力的方向。

参考文献:

- [1] 吕世华,陈玉春,朱伯承.南海海域海—气耦合模式及其数值模拟试验 [J].高原气象, 2000 19(4): 415-427
- [2] 蔡树群,王文质,麦波强.南海东北部及台湾海峡附近环流的一个耦合模式:模式的建立及背景 [J].热带海洋, 1998, 17(3): 18-27
- [3] 魏皓,武建平, FOHLMAN Thomas.渤海环流与输运季节变化的数值模拟 [J].黄渤海海洋, 2001, 19(2): 1-9.
- [4] 王宗山,邹娥梅.海洋上层温度结构特征的参数模式 [J].黄渤海海洋, 1996, 14(3): 8-12
- [5] 王宗山.黄渤海底层温度数值预报方法的研究 [J].黄渤海海洋, 1996, 14(3): 23-27
- [6] Sellers W D. A global climatic model based on the energy balance of the earth-atmosphere system [J]. J Appl Meteor, 1969 8(3): 392-400
- [7] Washington W M, Mehl G A. General circulation model experiments on the climatic effects due to a doubling quadrupling of carbon dioxide concentration [J]. J Geophys Res, 1983 88(C11): 6 600-6 610.
- [8] Salzman B. On the theory of the mean temperature of the earth's surface [J]. Tellus, 1967, 19(2): 219-229
- [9] Shi G Y, Fan X B. Past present and future climate forcing due to greenhouse gases [J]. Adv Atmos Sci, 1991, 8(3): 279-286.
- [10] 阎俊岳.中国邻海海气通量、水汽通量计算与分析 [J].应用气象学报, 1999 10(1): 9-19.
- [11] Salzman B, Moritz R E. A time-dependent climatic feedback system involving sea-ice extent ocean temperature and CO₂ [J]. Tellus, 1980 32(2): 93-118
- [12] 钱永甫. POM 对南海海温年变化的模拟 [J].大气科学, 2000 24(3): 97-104.
- [13] Hellemans S, Rosenstein M. Normal monthly wind stress over the world ocean with error estimates [J]. J Phys Ocean, 1983, 13(7): 1 093-1 104.
- [14] Bunker A F. Computation of surface energy flux and annual air-sea interaction cycles of the North Atlantic Ocean [J]. Mon Wea Rev, 1976, 104(9): 1 122-1 140
- [15] 万国洪,魏泽勋,王凯,等.中国近海区域水、热、盐输送:全球变网格的结果 [J].中国科学 D 辑, 2002 32(12): 969-977

Simulation of SST in the Offshore Sea of East China with a One-Dimension Model

QIN Zheng-kun SUN Zhao-bo

(Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NUST, Nanjing 210044, China)

Abstract According to features that the offshore sea has a smaller thermal capacity and shallow depth, a one-dimension model based on the balance of energy was used in the simulation of the mean annual SST of the East China Sea. The simulated results are consistent with the observation, and the feature of SST's variation as a function of latitude (longitude) is well reproduced. At the same time, the ability of simulating the SST's interannual variability of the model was examined. At last, the advantages and disadvantages of the simple model used on the shelf sea is analyzed.

Key words balance of energy, Kuroshio, shelf sea, sea surface temperature