

冬季南黄海热输送的初步探讨*

王佳 冯明

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

袁业立

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

提要 本文应用守恒法计算并讨论了冬季南黄海的环流热输送以及海-气界面的热收支, 同时提出了一个应用于边缘海的冬季热量输送的物理模型, 并将海流的平流热输送与垂直的海-气热交换结合起来, 计算结果表明了模型的正确性及其物理上的合理性。

海洋热状况的研究是大尺度海-气相互作用的一个课题。从计算方法上看, 可分为直接法和间接法^[7]。直接法是应用实测资料直接计算所需物理量, 而间接法则利用其它资料和经验公式进行计算。采用哪种方法为宜, 取决于资料的来源和类别。所得到的结果也可分别描述定常的海洋热状况^[3,4,6,7,10]和与时间有关的热输送^[8,9,12]。

目前对于边缘海热输送的研究还不多^[5,13], 主要原因是流场随时间变化的规律难以掌握, 而且所获实测资料也不如大洋中的稳定。南黄海属边缘海, 近年来对其海面热输送的研究^[1]和对黑潮热含量的研究^[2]取得一些成果。本文在此基础上应用守恒法对南黄海热输送及海与气热交换作了初步定量分析。

一、资料与模式

温、盐资料取自1986年1月中美联合调查的CTD资料。在以往的调查中, 我们从未得到朝鲜沿岸的资料。海流资料选自管秉贤等的东、黄海表层海流图¹⁾(见图1)、全国海洋普查资料²⁾以及近年来一些学者所作的定点海流观测。

从图1可见, 在断面S、N和E所包围的区域中, 流场并不复杂。冬季平均风场是北风。在中国沿岸有一支较强且较宽的陆架流, 或称中国沿岸流, 在黄海中部的黄海槽有一支逆流而上的黄海暖流, 平均流速约0.2—0.3 kn, 一般认为这支流动为风生^[8], 沿朝鲜海岸有一支自北向南的朝鲜沿岸流, 从E断面流出南黄海。

从图2和图3可以看出, 冬季黄海的温度呈垂直均匀分布。从黑潮分叉的海水具有较高的温度, 大于12°C(图2), 而中国沿岸流仅为8°C左右。这一现象在断面N上更明显(图3), 黄海暖流平均温度为7°C, 中国沿岸流仅为4.5°C, 朝鲜沿岸流为5°C。根据温

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1609号。国家自然科学基金资助课题。本文承毛汉礼教授指导, 乐肯堂和于振娟提供部分资料, 插图由陈晓红清绘, 在此一并致谢。

收稿日期: 1987年12月10日。

1) 管秉贤等, 1977。渤、黄、东海表层海流图。中国科学院海洋研究所。

2) 中华人民共和国科学技术委员会海洋组综合调查办公室, 1961。全国海洋综合调查资料, 第三册。

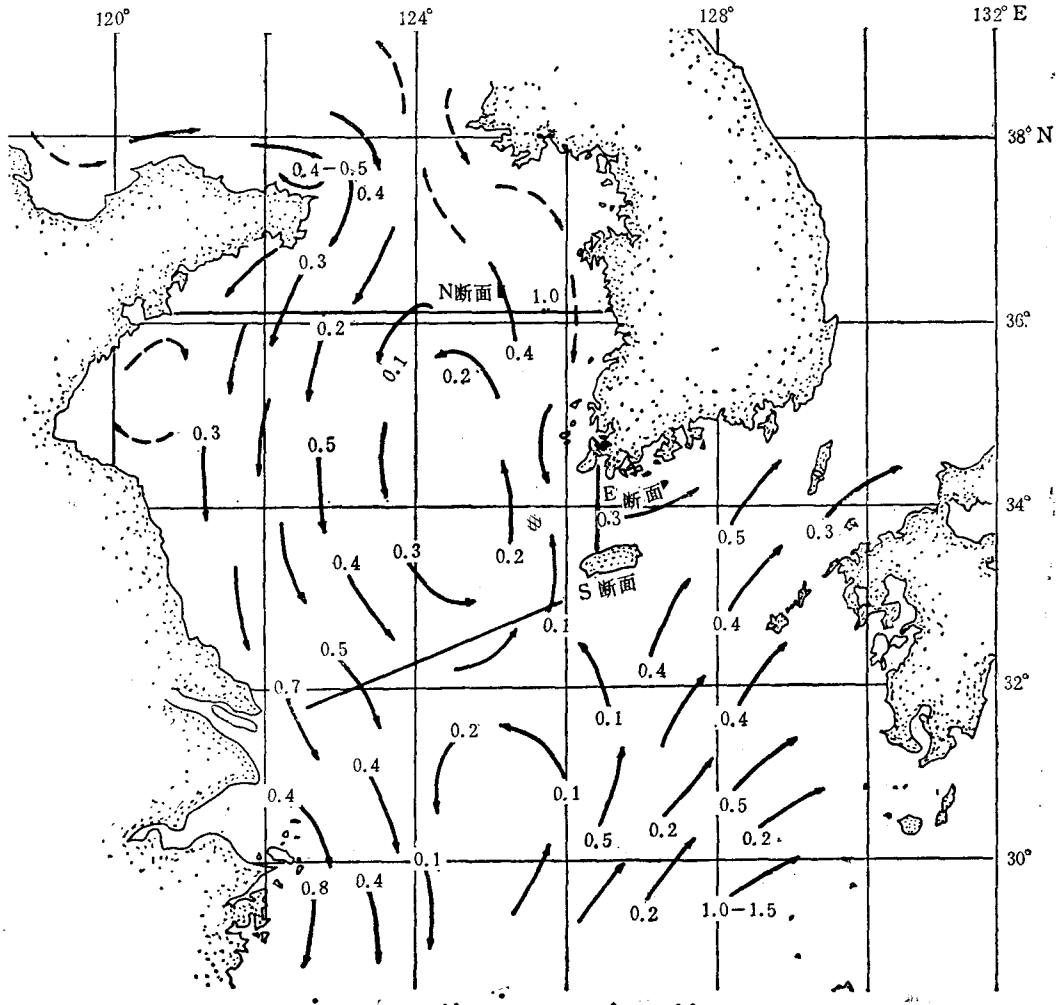


图 1 1 月份表层海流速度 (kn) 以及观测断面 S, N 和 E

Fig. 1 February surface current velocity (kn) and observation sections S, N and E

度的分布特征,可建立一个单层的盒子模式(图 4),即在 N , S 和 E 包围的盒子内,体积和热量应守恒。

$$\text{体积守恒: } V_{WS} - V_{CS} - V_{KS} = V_{WN} - V_{CN} - V_{KN} \quad (1)$$

$$\text{热量守恒: } [(TV)_{WS} - (TV)_{CS} - (TV)_{KS}] - [(TV)_{WN} - (TV)_{CN} - (TV)_{KN}] = Q_{YS}/\rho c + Q_t \quad (2)$$

式中, V 为体积输运流量 (cm^3/s); 下标 WS, WN, CS, CN, KS, KN 分别表示黄海暖流、中国沿岸流、朝鲜沿岸流的 S 和 N 断面的通量; T 为海水温度 ($^{\circ}\text{C}$); (TV) 表示加热率 (J/s); ρ 和 c 分别为海水的密度和定压比热,通常取 $\rho c = 4.18\text{J}/(\text{cm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; Q_t 为海区热量的辐合辐散; Q_{YS} 表示黄海海-气热通量,其表达式为:

$$Q_{YS} = Q_i - Q_B - Q_L - Q_s \quad (3)$$

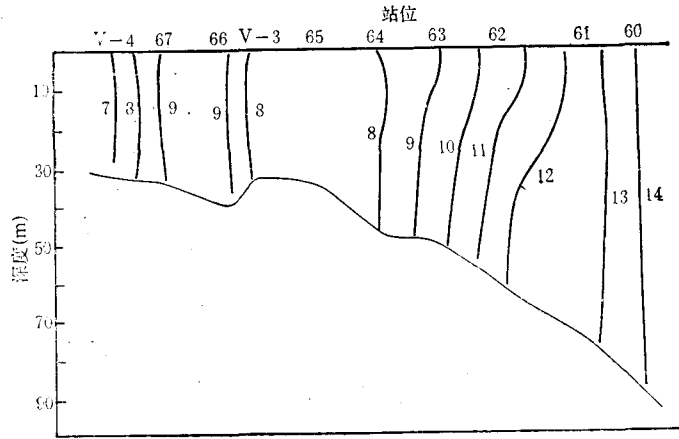


图 2 S 断面上的温度(°C)剖面图(1986年1月24—25日)
 Fig. 2 Temperature (°C) profile of section S (1986. 1. 24—25)

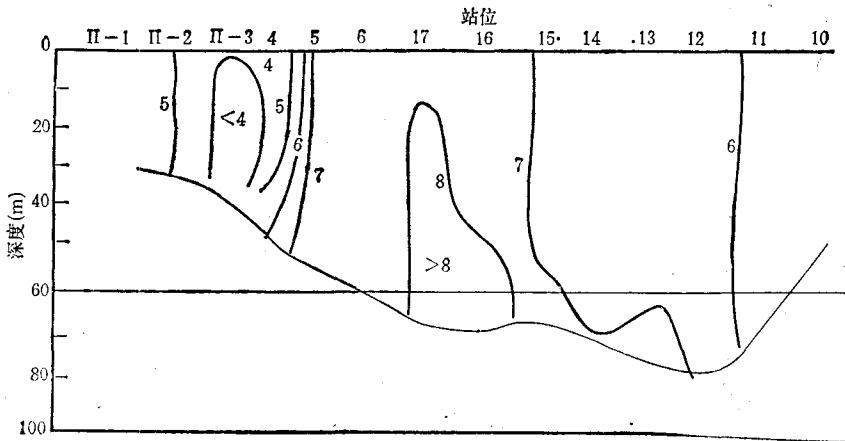


图 3 N 断面温度(°C)剖面图(1986年1月24日)
 Fig. 3 Temperature (°C) profile of section N (1986. 1. 24)

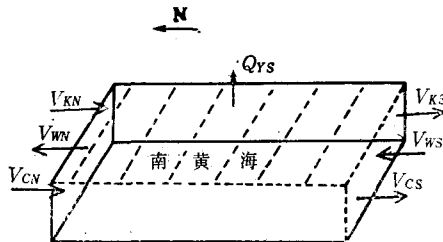


图 4 南黄海盒子模型示意图
 Fig. 4 Box model sketch of southern Huanghai Sea

式中,下标 I, B, L, S , 分别表示到达海面的太阳净辐射、海面有效回辐射、潜热交换和感热交换。 Talley 曾对此公式作了系统总结^[15]。

二、分析与计算

从断面资料(图 2, 3) 和 2 m, 20 m 和底层的大面温度分布(图 5—7), 我们分析得到各股流动的平均温度。S 断面, 黄海暖流为 12°C, 中国沿岸流为 8°C; N 断面, 黄海暖流为 7°C, 中国沿岸流为 4.5°C, 朝鲜沿岸流为 5°C; 在 E 断面平均温度为 8°C。

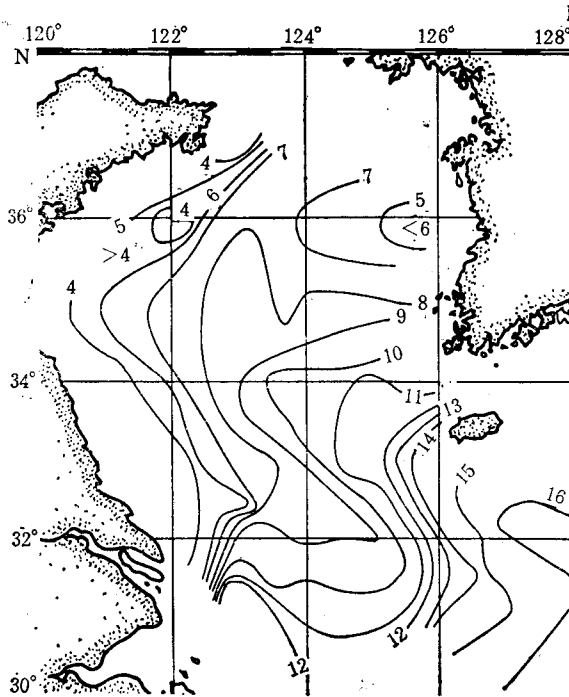


图 5 2 m 层温度(°C)大面图(1986 年 1 月)
Fig. 5 Temperature (°C) at 2m layer (1986. 1)

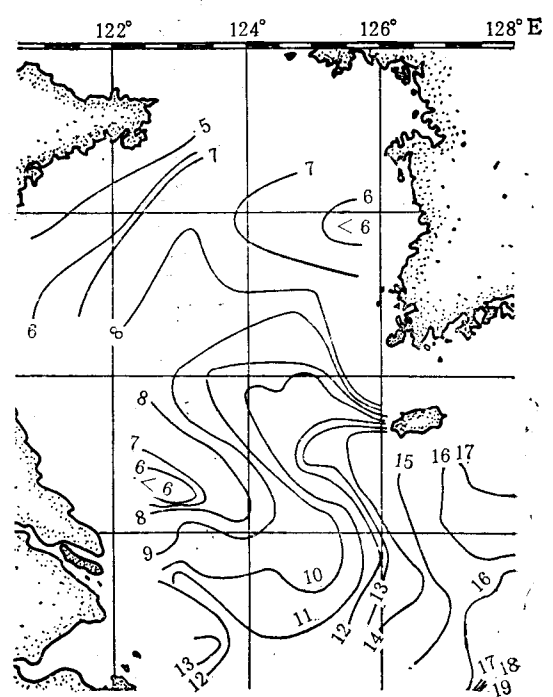


图 6 20 m 层温度(°C)大面图(1986 年 1 月)
Fig. 6 Temperature (°C) at 20m layer (1986. 1)

我们根据实测的 1 月份平均表层海流资料(图 1)、海洋普查余流资料和最近几年黄海海槽的定点浮标资料^[9]进行估算, 得 N 断面上各支海流的体积输运为:

$$V_{CN} = 1.068S_V, V_{WN} = 1.101S_V, V_{KN} = 0.240S_V;$$

在 S 断面上, $V_{CS} = 1.011S_V, V_{WS} = 1.121S_V$ 。根据体积守恒原理可得 $V_{KS} = 0.316S_V$, 这与 Miita 在 E 断面上夏季体积输运估算的量值 ($0.5S_V$) 接近^[11]。一般认为, 冬季对马暖流约为 $3S_V$, 而黄海暖流为其 $1/3$ 。因此, 我们的估算在正确范围之内。

根据公式 (2) 计算得:

$$Q_{CT} = Q_{YS} + Q_r = 4.712 \times 10^{12} \text{ J/s}$$

而我们估算的本海区 1 月海-气热通量为:

$$Q_{YS} = 9.427 \times 10^{12} \text{ J/s}$$

即向大气释放热量, 故热量辐散为:

$$Q_r = -4.715 \times 10^{12} \text{ J/s}$$

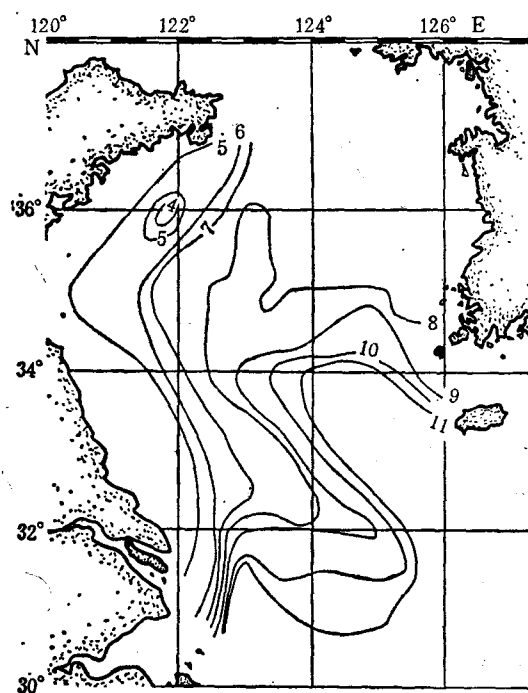


图7 底层温度(°C)大面图(1986年1月)

Fig. 7 Temperature (°C) at bottom layer (1986.1)

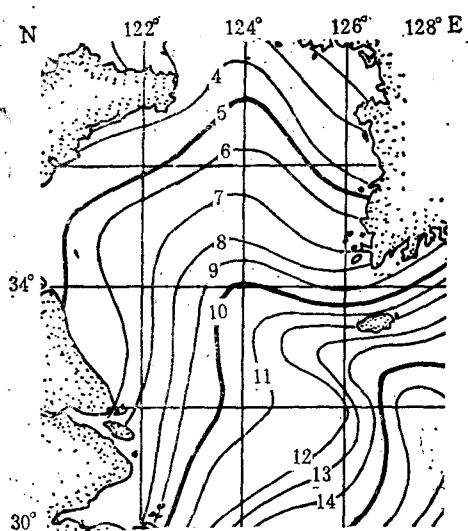


图8 1月份海面水温(°C)

Fig. 8 Surface temperature (°C) in Jan.

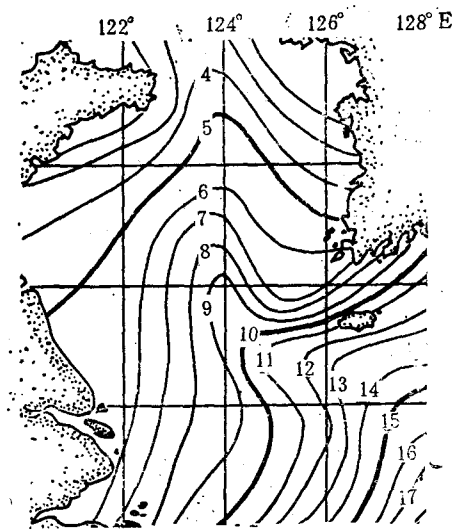


图9 2月份海面水温(°C)

Fig. 9 Surface temperature (°C) in Feb.

从整体来说,本海区海水温度在1月份是持续下降。

从以上讨论可见,海流的平均输送热量为本海区向大气释放热量的一半。我们用忽略了平流与扩散作用的二维垂直积分的温度扩散方程:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{Q_{ys}}{\rho c} \cdot \frac{1}{h + \zeta} \quad (4)$$

取 $O(h + \zeta) = 40\text{m}$, $\Delta t = 1\text{d}$, 计算得到 1 天内水温下降 0.1°C 。若考虑进平流, 则下降 0.05°C , 即整个 1 月份下降约 1.5°C 。比较图 8 和图 9 可知, 这个量值与实际情况相符。

三、结 论

本文应用守恒法计算了冬季南黄海的热量输运, 得出如下结论。

1. 单层盒子模型与冬季南黄海的平流和海-气界面热输送状况相符合。
2. 根据实测资料, 估算出冬季黄海暖流在 S 断面的流量为 $1.121S_V$, 在 N 断面为 $1.101S_V$, 本海区的热平流的加热率为 $4.712 \times 10^{12}\text{J/s}$ 。

本文模型基本上描述了冬季黄海热量输运机制, 为研究本海区海水热量变化过程和海温预报提供了可靠的基础。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院海洋研究所、中国科学院地理研究所, 1977. 渤、黄、东海海面热平衡图集. 科学出版社, 第 50, 70, 71 页。
- [2] 陈永利, 1985. 东海黑潮热含量的计算和分析. 海洋科学 9(5): 6—10。
- [3] De Szoeke, R. A. and M. D. Levine, 1980. The advective flux of heat by mean geostrophic motions in the Southern Ocean. *Deep Sea Res.* 28A(10): 1057—1085.
- [4] Enfield, D. B., 1986. Zonal and seasonal variations of the near surface heat balance of the Equatorial Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 16: 1038—1054.
- [5] Etter, P. C., W. F. Ulm, and J. D. Cochrane, 1985. The relationship of wind stress to heat flux divergence of Texas-Louisiana shelfwater. *Continental Shelf Res.* 4(5): 547—552.
- [6] Fu Lee-Lueng, 1986. Mass, heat and freshwater fluxes in the South Indian Ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 16: 1683—1693.
- [7] Hall, M. M. and L. B. Harry, 1982. Direct estimates and mechanisms of ocean heat transport. *Deep Sea Res.* 29(3A): 339—359.
- [8] Hsueh, Y., 1986. A Wind-Driven Yellow Sea warm current. *Oceanol. Limnol. Sin.* 5(4): 289—298.
- [9] Lothor, S. and C. Peter, 1986. Large diurnal sea surface temperature variability: Satellite and in situ measurements. *J. Phys. Oceanogr.* 16: 827—837.
- [10] Mc Cactney, M. S. and L. D. Talley, 1984. Warm-to-cold water convection in the Northern North Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 14: 922—935.
- [11] Miita, T. and Y. Ogawa, 1984. Tsushima Currents measured with current meters and drifters, Ocean Hydrodynamics of Japan and East China Sea. *Oceanogr. Phys. Series* 39: 67—76.
- [12] Paduan, J. D. and R. A. Reszoeke, 1986. Heat and energy balances in the upper ocean at 55°N , 140°W during November 1980 (STREX). *J. Phys. Oceanogr.* 16: 25—38.
- [13] Prinsenberg, S. T., 1984. Freshwater content and heat budgets of James Bays and Hudson Bay. *Continental Shelf Res.* 3(2): 191—208.
- [14] Stefan, H. and M. Jacques, 1986. Annual march of heat storage and export in the Tropical Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 16: 692—708.
- [15] Talley, L. D., 1984. Meridional heat transport in the Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 14(2): 231—241.

PRELIMINARY STUDY OF HEAT TRANSPORTATION IN SOUTHERN HUANGHAI SEA*

Wang Jia, Feng Ming

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)

and

Yuan Yeli

(First institute of oceanography, SOA, Qingdao)

ABSTRACT

In this paper, we apply the direct method to heat transportation problem in Southern Huanghai Sea in winter.

Fig. 1 shows that in the area surrounded by section S, N and E, velocity field is not very intricate. In winter the average wind field is northerly. Near China coast is the strong and wide China Coast Current (CCC). In the center is the Huanghai Sea Warm Current (HSWC) with an average velocity of 0.2—0.3 kn. The wind causing mechanism of this current is widely accepted. In Korea coast it is the Korea Coastal Current (KCC) from north to south. Fig. 2 and Fig. 3 are temperature profiles of section S and N. They show that in this area sea water has vertically mixed. Average temperature of CCC is 8°C and that of HSWC is 12°C at S section, while those of CCC, HSWC and KCC are 4.5°C, 7°C and 5°C at N section. At E section, where KCC flow out of this area, the temperature is 8°C. From the data of the temperature we can establish an one-storey box model (see Fig. 4), then we solve the volume conservation and heat conversation equations by using the EK method (see Talley, 1984). Then the heat horizontal circulation transport into this area is $Q_{CT}=4.712 \times 10^{12} \text{J/s}$, the sea-atmosphere heat budget in Jan. (heat set out into atmosphere) is $Q_{YS}=9.427 \times 10^{12} \text{J/s}$. So the convergence of the heat is

$$Q_t = -4.715 \times 10^{12} \text{J/s}.$$

It can be seen that $Q_t < 0$, this is to say, the temperature of sea water is continually inclining. Neglecting the horizontal circulation and disperse action, from the two-dimensional vertical integrated temperature disperse equation we come to that in a month the average temperature of the sea water decreases by 1.5°C, as shown by the actual data in Fig. 8 and Fig. 9.

In further analysis the relationship between salinity and evaporation minus precipitation should be taken into account, and more current meter data would make the result more accurate.

* Contribution No. 1069 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.