

渤、黄、东海年平均海面热量平衡 状况及其与海洋环流的关系*

赵永平 张必成 任允武

(中国科学院海洋研究所, 青岛, 266071)

提要 用1958—1967年海上调查和船舶报水文气象资料, 计算了渤、黄、东海海面热量平衡各分量及其总和的年平均状况; 分析了各热量分量的平面分布; 估算了各分量的量级; 讨论了海面热量平衡与水团分布和海洋环流的关系。结果表明, 在海、气界面上, 海洋获得的热量主要来自太阳辐射; 失去的热量主要是由于海水的蒸发; 暖流区海洋失热最多, 尤其在黑潮主干区明显。同时还指出, 年平均各热量分量的总和基本上反映了海洋环流的形势, 而海洋内部的平流热输送为本海区带来大量的热量, 从而弥补了通过海、气界面海洋释放给大气的热量。

海面热量平衡的年平均状况, 反映了海、气界面上海洋热量收支的气候背景。研究这一气候背景, 对制作本海区的气候和海洋环境预报, 对了解本海区的水团分布和环境特征都有重要意义。本文用海上调查和船舶报资料, 计算了渤、黄、东海海面热量平衡各分量的年平均分布^[1], 分析了各分量的平面分布和量级, 讨论了其与海洋环流和水团分布的关系。

一、海面热量平衡诸分量及其总和的年平均状况

在海、气界面上, 热量平衡方程为:

$$Q_i = Q_s - Q_b - Q_e \mp Q_c$$

式中, Q_s 为进入海面的太阳总辐射; Q_b 为海面长波回辐射, Q_e 为海面蒸发耗热; Q_c 为海、气之间的可感热通量; Q_i 为海面热量收支诸分量的代数和。 Q_i 为正值, 表示海洋为热盈余; Q_i 为负值, 表示海洋为热亏损。各分量的计算公式, 详见文献[1]—[3]。

1. 年平均值的平面分布

(1) 太阳总辐射(Q_s) 图1a可见, 研究海区年平均 Q_s 的变化为160—190W/m²。在碧空条件下, Q_s 随纬度增高而减小, 由于本海区中部年平均总云量较多, 因而, 形成了以闽、浙沿海为中心且向东北方向伸展的低值区。最高值出现在研究海区东南方的太平洋上, 因为这里不仅纬度低而且总云量少, 其值近190W/m²。

(2) 海面有效回辐射(Q_b) 本海区 Q_b 的分布范围(图略)为42—72W/m², 变幅不大, 量值亦较小, 仅为年平均太阳总辐射值的1/3左右。由于海上湿度和总云量的影响

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第2038号。本文为“七·五”攻关项目“海表温度数值预报研究(75-76-01-04)”中一部分。

收稿日期: 1989年3月28日。

超过了海水本身的作用,因而其分布形成了与海面温度基本上相反的北高南低的局势。渤海与山东半岛南岸近海,因湿度小、云量少而形成了 Q_e 的高值区,整个东海因湿度大、云量多而为低值区。但黑潮流域因水温高于其两侧,故仍显示为相对的高值区,使我们能够通过它看到黑潮的迹象。

(3) 蒸发潜热消耗(Q_e) 图 1b 可见,全海区 Q_e 值的变幅很大,为 $76-260\text{W/m}^2$,其平面分布的主要特征是,沿黑潮主干区为高值,最大值为 262W/m^2 ,在黄海暖流和山东半岛北部及渤海入口处为相对大值区,而在朝鲜两岸海域、江苏沿海和台湾海峡沿大陆侧为相对小值区。蒸发耗热的分布主要取决于水、气湿度差(Δe)和风速, Δe 值和风速水平分布十分雷同蒸发耗热的分布,除去江苏沿海有小于 7m/s 的风速外,近岸海区 Δe 的年平均值较小,风速也小, Q_e 为低值区,黑潮流域 Δe 的年平均值较大,风速也大,故为 Q_e 的高值区。

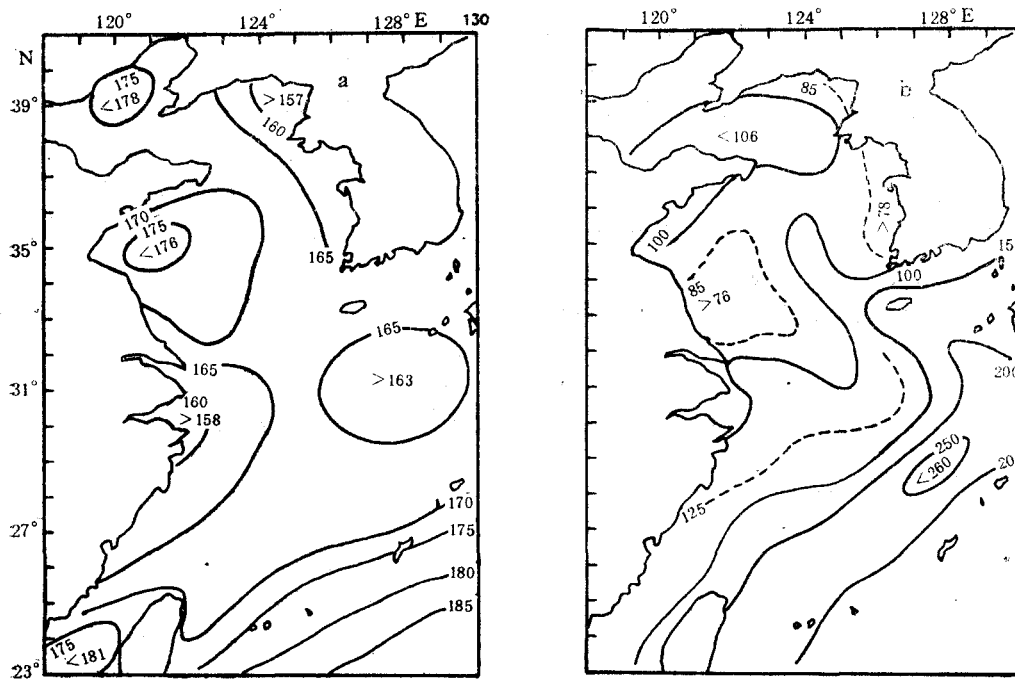


图 1 年平均太阳总辐射 (a) 和蒸发耗热 (b) 的平面分布 (W/m^2)

Fig. 1 The distribution of the average annual incoming solar radiation and amount heat used for evaporation at the sea surface (W/m^2)

将图中的蒸发耗热除以汽化潜热乘上全年天数,即可获得本海区海面年蒸发量(图略)。年蒸发量的最大值出现在黑潮主干区, 3m/a 的等值线描绘出黑潮主流的位置。年蒸发量的极大值为 3.33m/a , 位于 $29^\circ\text{N}, 128^\circ\text{E}$ 附近, 这里是北太平洋最大蒸发区之一。年蒸发量最小的区域位于黄海暖流两侧, 即在朝鲜半岛西岸南部和长江口以北海面, 量值不到 1m/a 。对比研究海区南北两部分年蒸发量的巨大差别, 可以看出, 黑潮暖流不仅为研究海区带来巨大的热量, 而且也给其上空大气输送巨量的水汽。

(4) 海、气之间的可感热输送 (Q_s) 该项分布与其它项的分布不同(图略), 其量

值有正、负。可感热输送项是四个分量中最小的一个，它只有蒸发耗热的 1/5 左右，其值变化的范围为 $(-20) \sim 53 \text{W/m}^2$ 。该项的量值大小主要取决于海、气温度差 (ΔT) ，在大陆和黑潮的影响下，近岸海区海、气温差较小，且间有逆温区 $(\Delta T < 0)$ 出现，故可感热通量在海面失热量的低值区中间有得热区存在，最大得热区位于朝鲜西部沿海。黑潮及邻近的大片海区，水温高于气温，故为可感热交换海面失热的高值区，最大失热出现在黑潮主干，其值可达 53W/m^2 。

(5) 海面热量收支诸分量的总和 (Q_t)
 Q_t 为进入海面的太阳总辐射，海面长波回辐射，海、气间的蒸发潜热和可感热交换的代数和。正值表示海洋有热盈余，负值表示海洋有热亏损。由图 2 可知，渤、黄海区，除山东半岛和辽东半岛东岸附近及黄海暖流伸入的小部分海区外，皆为正区，其中朝鲜西岸南部量值最大，极值为 53W/m^2 。东海除西北部大陆沿岸水向东伸展的一个小区和台湾海峡靠近大陆一侧的一个小区外，皆为负值，极值出现在黑潮主干，为 -204W/m^2 。

2. 几个特定断面上热量收支分布特征及其与水团分布的联系

为进一步了解海面热量收支的空间分布，分别绘出它们在几条经纬线上的分布情况(图 3)。

由图 3a 可以看到， 39°N 线横贯渤海和北黄海，除海峡地区受地形影响，热量平衡总和呈现微弱负值外，余皆正值，反映了大陆沿岸水的特点。 34°N 线位于黄海南部，这里是

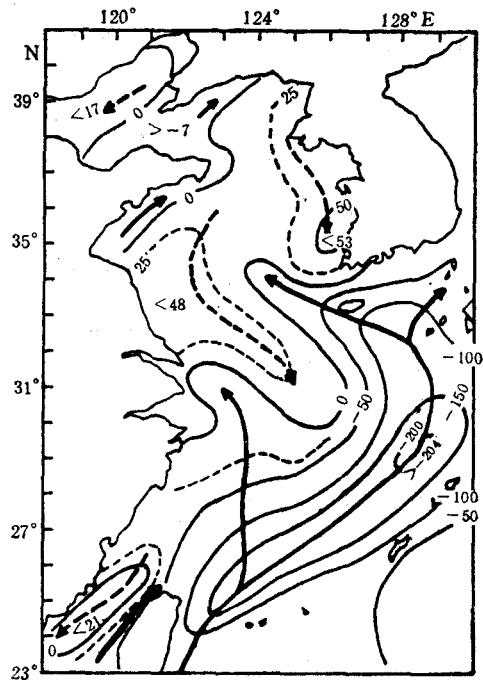


图 2 年平均海面热量平衡诸分量总和的平面分布 (W/m^2)

Fig. 2 The distribution of the average annual total heat flux at the sea surface (the line arrows show the ocean current)
 ---冷平流；——暖平流。

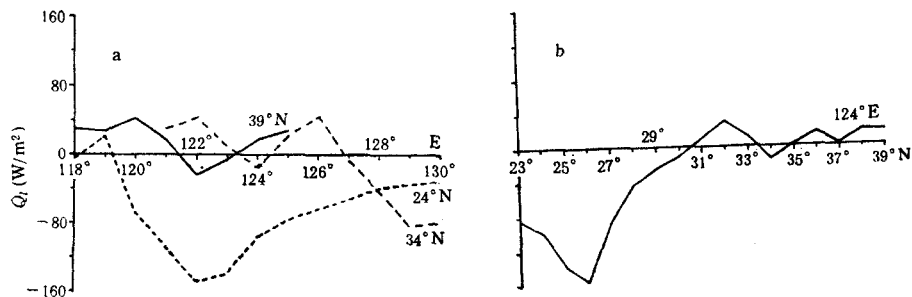


图 3 年平均海面热量平衡诸分量总和纬向 (a) 和经向 (b) 分布

Fig. 3 The latitudinal (a) and longitudinal (b) distribution of the total heat flux at the sea surface

沿岸和外海两种水团的交汇区, Q_i 在 124°E 附近的较弱负区为黄海暖流; 在 127°E 以东的较强负区为对马暖流, 其余各正区皆为大陆沿岸水的范围。 24°N 线穿过台湾海峡及其两侧, 可以看到, 台湾海峡靠近大陆一侧, Q_i 有一个正区, 这表明此处有南向海流(由低温区向高温区的海流)存在; 在靠近台湾省一侧, Q_i 为微负区, 表明该处有北向海流; 台湾省以东, Q_i 负区的极值附近, 就是黑潮暖流的主干区。由图 3b, 在大陆沿岸和冷水区, Q_i 为正值; 而在黑潮暖流区, Q_i 为负值。参考渤、黄、东海水团分布, 可以知道, Q_i 的正值和负值区的分布与海洋水团的分布有密切联系。如 $33.5-34.5^\circ\text{N}$ 为负值, 该区属于黄海暖流区域; $30.5-33.5^\circ\text{N}$ 为正值, 这里是沿岸水向东南伸展的区域; 30.5°N 以南为负值, 是由于该区又进入了黄海暖流的范围; 负值最大的海区 ($25-26^\circ\text{N}$) 则是黑潮主干所在。

二、年平均海面热量收支各分量的量级估算

由表 1 可知, 在海洋得热方面, 北方海区太阳总辐射约占 90%, 可感热交换约占 10%, 这是临近大陆海区的一个重要特点。一般在大洋中, 海洋并不能通过可感热的交换从大气获得热量, 因此感热交换所占的百分比多少, 可以作为该区受陆地影响程度的一个判据。以本文研究海区为例, 随着地理位置向东南外海推移, 可感热交换所占的成分越来越少, 到了黑潮主干及其以东的太平洋上, 只占 1% 左右。在海面失热方面, 海面有效回辐射所占的成分由渤、黄海的 40% 左右递减到黑潮主干区的 15% 左右, 而蒸发耗热量所占的成分则由渤、黄海的 50% 左右递增到黑潮主干区的 70% 以上, 这也是研究海区受陆地和暖流影响的一个重要判据。一般在大洋中, 有效回辐射所占的成分比蒸发耗热量略低, 其平均比值为 4:5。但本文研究海区只有渤、黄海的比值与大洋的比值较接近, 黑潮流域蒸发耗热量所占的成分过大, 黑潮主干部分的比值为 1:5, 成为强暖流区的重要特

表 1 年平均海面热量平衡诸分量所占成分(%)

Tab. 1 The rate of each component of the average annual heat flux at the sea surface (%)

海 区	海 洋 得 热		海 洋 失 热		
	Q_s	Q_c	Q_e	Q_b	Q_r
渤 海	90	10	8	40	52
黄海北部	89	11	3	35	62
黄海南部	94	6	4	30	66
东海北部	94	6	9	26	65
东海南部	98	2	10	20	70
对马暖流	98	2	15	19	66
黑潮主干	99	1	12	15	73
台湾海峡东部	99	1	11	19	70
台湾海峡西部	95	5	4	28	68

点。此外, 一般在大洋中, 通过可感热交换使海洋失热所占的成分很小, 仅为蒸发耗热的 1/10 左右, 而本文研究海区则多半超过了此数, 这也反映了大陆和强暖流影响下本海区所具有的特色。

三、年平均海流热量输送的基本状况

据 Adem^[5], 月平均水温变化方程为:

$$\frac{\partial \bar{T}_s}{\partial t} = -\bar{v}_s \cdot \nabla \bar{T}_s + K_{s,h} \nabla^2 \bar{T}_s - \frac{\bar{W}}{h} + Q_s / \rho_s C_s$$

式中, \bar{T}_s 为平均水温; \bar{v}_s 为平均海流流速; h 为平均混合水深; $\bar{W} = \omega(\bar{T}_s - \bar{T}_b)$; ω 为平均垂直流速; \bar{T}_b 为混合层底平均水温; $K_{s,h}$ 为水平涡动扩散系数。

据 Hsiung^[7], 用海面能量平衡的方法来间接估算海洋热平流输送。假定年平均水温无长周期变化, 上式中左边水温局地变化近似为 0, 同时略去相对小的水平扩散热输送(右边第二项)和与下层水的垂直热输送(右边第三项), 令 $Q_v = -\rho_s C_s \bar{v}_s \cdot \nabla \bar{T}_s$, 则上式变为:

$$Q_v = -Q_s$$

这就是说, 对局部海区年平均状况, 海面失去或得到的热量可以近似地由海洋平流输送来平衡。因此, 只要把 Q_s 年平均分布图中的符号改变一下, 便可得到海洋平流热输送的平面分布。图 2 中的正值海区, 表示有低温水流入; 负值海区, 表示有高温水流入。由水温变化方程可知, 平流热输送的大小与平流速度的大小成正比; 与温度在流向上的梯度也成正比。参考平均水温分布, 便可定性地描绘出研究海区海洋环流的年平均状况(见图 2 中中线)。

图 2 中所示的海洋流系分布与一般调查的结果是一致的。由图 2 可见, 台湾暖流和黄海暖流的北界分别达到了 31°N 和 35°N 附近; 大陆沿岸流向南伸展的南界达到了 30°N 。关于这些界线问题, 迄今尚未定论。本文的结果与根据暖流带来的浮游动物及沉积于海底的浮游有孔虫的分布确定的台湾暖流与黄海暖流的北界基本上是一致的^[4]。Kondo^[6] 用 1974 年 AMTEX 期间的资料, 分析了东海的热量平衡, 也得到了类似的结果。

值得注意的是, 台湾海峡靠近大陆一侧, 有一个 Q_v 值的正值区, 这表明此处有一股向南的海流存在。按一般规律, 东海沿岸流有冬季向南、夏季向北的季节变化, 据 Q_v 值年平均分布, 似乎可以推断, 这里冬季向南的热平流大于夏季向北里的热平流输送。

从本文的结果来看, 黑潮暖流有一支通过台湾海峡北上, 其位置紧靠台湾省西岸, 但它不是台湾暖流的主要成分。台湾暖流主要似从台湾东北的黑潮主干分出来的。

整个研究海区全年通过海面热收支是入不敷出的。按本文的资料计算, 全部有热盈余海区的年热盈余总量为 $2.93 \times 10^{20}\text{J}$; 全部有热亏损的海区年热亏损总量为 $30.12 \times 10^{20}\text{J}$; 全年整个海区净热损耗为 $27.19 \times 10^{20}\text{J}$ 。

四、结 语

研究海区的海面热量收支与一般大洋的情况有显著区别, 它反映了中纬度受陆地影响较大的半封闭内海(以渤、北黄海为代表)和强暖流区(以黑潮主干为代表)海面热量交换的基本特性, 同时也反映了两者相互过渡的基本状况, 其主要差别见表 2。

根据本海区水文特征和水团、海流的研究结果知道, 上述海面热量平衡完全不同的两个海区正是两个不同性质的水团(大陆沿岸水和黑潮暖流水)所在, 这两种水团混合变性

的区域,也正是上述两种不同类型海面热量平衡相互转换过渡的海区,因此我们能够通过海面热量交换的某些分量或其总和的分布,定性地看出本海区环流系统的分布状况。

表 2 渤、北黄海和黑潮主干海区海面热量交换的主要区别

Tab. 2 The main difference of the air-sea heat exchange across the sea surface between the Baohai, Northern Yellow seas and Kuroshio area

项 目	渤海、北黄海	黑潮主干区
太阳总辐射 (Q_s)	占全年海面得热总量的 90% 左右	占全年海面得热总量的 99%
海面有效回辐射 (Q_b)	量值较大,占全年海面失热总量的 40%	量值较小,占全年海面失热总量的 15%
蒸发潜热耗热 (Q_e)	量值较小,占全年失热总量的 50—60%	量值较大,占全年海面失热总量的 70% 以上
可感热交换 (Q_c)	海面得热占全年总得热的 10%,海面失热占全年总失热的 6%	海面得热接近于 0,海面失热占全年总失热的 12%
诸分量总和 (Q_i)	全年海面得热略大于失热总量	全年海面得热总量远小于失热总量

参 考 文 献

- [1] 中国科学院海洋研究所、地理研究所,1977。渤黄东海热量平衡图集。科学出版社,1—158页。
- [2] 任允武、赵永平、张必成,1990。渤黄东海海面热量平衡的平均状况 II. 季节变化特征。海洋科学 5:18—24。
- [3] 张必成、任允武、赵永平,1990。渤黄东海海面热量平衡的平均状况 I. 资料处理和计算方法海洋科学 3:26—30。
- [4] 郑执中、郑守仪,1962。黄海和东海浮游有孔虫生态的研究。海洋与湖沼 4(1—2):60—85。
- [5] Adem, J., 1970. On the prediction of mean monthly ocean temperature. *Tellus* 22(4): 410—430.
- [6] Kondo, Junsel, 1976. Heat balance of the East China Sea during the Air Mass Transformation Experiment. *J. Met. Soc. Japan* 54(6): 382—398.
- [7] Hsiung J., 1985. Estimate of global oceanic meridional heat transport. *J. Phys. Oceanol.* 15: 1405—1413

THE AVERAGE SEA SURFACE HEAT BALANCE OF BOHAI SEA, YELLOW SEA AND EAST CHINA SEA AND ITS RELATION TO THE OCEAN CIRCULATION*

Zhao Yongping, Zhang Bicheng and Ren Yunwu

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao, 266071*)

ABSTRACT

Using the data of hydrology and meteorology obtained from 1958 to 1967, the sea surface heat balance of the Bohai, Yellow and East China Seas were calculated, the distribution and magnitudes of each component were analyzed, and the relation to the ocean circulation were discussed. The results show that, most of the heat gain of the ocean across the sea surface mainly comes from solar radiation and most of the heat loss was mainly caused by water evaporation. The maximum heat loss occurs in warm ocean current area, especially around the Kuroshio region. The results also show that, the average annual net heat flux at the sea surface can reflect the general distribution of ocean circulation; the heat loss from the sea surface to the atmosphere was compensated by the heat advection transportation of the Kuroshio warm current.

* Contribution No. 2038 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.