

渤海、黄海、东海海面热量平衡的平均状况*

II. 季节变化特征

任允武 赵永平 张必成

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

收稿日期 1989年3月28日

关键词 热量平衡, 季节变化特征

提要 本文分析了渤海、黄海、东海海面热量平衡诸分量及其总和的季节变化, 结果表明, 进入海面的太阳总辐射是海洋从海面得到热量的主要来源; 海洋从海面失去热量的主要原因, 在黑潮海域是海面蒸发潜热耗失引起的, 在近海海域, 春、夏季海面有效回辐射耗热超过蒸发耗热, 秋冬季相反。海气之间的感热交换量较小, 冬季较明显。结果还指出, 在3—8月海洋升温期, 海洋从海面得到热量, 在9—翌年2月海洋降温期, 海洋从海面失去热量。

已有的研究^[2,5]表明, 通过海气界面的热量收支对其上空的天气、气候和其下方的海洋水文状况都有较大影响。为此, 我们计算并分析了渤海、黄海、东海海区各月海面热量收支各分量及其总和的分布状况, 讨论其季节变化特征, 估算了各分量的量级, 以期对大气和海洋有重要作用的气候背景有进一步的了解。

I. 计算方法

我们已在文献[1]中介绍了主要的计算公式, 这里仅作简要说明。

海洋表面上, 热量平衡方程为:

$$Q_L = Q_{sw} - Q_{Lw} - Q_e - Q_s \quad (1)$$

其中, $Q_{sw} = Q_0(1 - K_c)(1 - r)$

$$Q_{Lw} = S_0 \theta_a^4 (a - b \sqrt{e_a})(1 - K_c^2) + 4S_0 \theta_a^3 (T_w - T_a)$$

$$Q_e = K_e L(e_w - e_a)V$$

$$Q_s = K_s(T_w - T_a)V$$

式中, Q_{sw} 为进入海面的太阳总辐射, Q_{Lw} 为

海面有效回辐射, Q_e 和 Q_s 分别为海气之间的潜热和感热交换, Q_L 为海洋通过海面的净的热量收支, 正值表示海洋有热盈余, 负值表示海洋有热亏损。式中的其它变量和常数见文献[1]。

II. 热量收支各分量及其总和的季节变化

II.1. 太阳总辐射 (Q_{sw})

(1) 式中, Q_0 为晴空时到达地球表面的太阳总辐射, r 为海面平均反射率。图1为 Q_{sw} 1月和7月的平面分布。由图可见, 冬季太阳高度角较低, Q_{sw} 值为全年最低, 由于云量的影响, 在朝鲜西南海域形成一个小于 $710 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 的低值中心, 此低值向西南和西北方向伸展。春季(图略) Q_{sw} 值逐月增加, 低值区出现在闽、浙沿岸至日本九州, 呈 NE—SW 走向, 为宽约 3—4 个纬距的带状分布。这是由于这

* 参加工作的还有: 井立才、许秦、李丽云、陈永利、杨连素、顾伟浩等。

里进入雨季，静止锋常在此出现，云量增加所致。在渤海、黄海海域， Q_{sw} 值较大，达到 $1700J \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}$ 以上。入夏以后，虽然太阳高度角增加了，由于雨区北移，云遮作用加强， Q_{sw} 值反而不如春末时大。夏季南方海区 Q_{sw} 值达全年最大，春季出现的带状低值区被以琉球群岛为中心的同样走向的高值区所代替，最

大值在 $2000J \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}$ 以上。显然这是由于入夏以后，太阳赤纬升高，副热带高压北上，雨区北移造成的。秋季（图略） Q_{sw} 值逐月下降， $28^{\circ}N$ 以北海区， Q_{sw} 值均在 $1200J \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}$ 左右，唯南部稍高，同时在长江口以东海面，有一个小于 $1200J \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}$ 的低值区。

计算逐月各纬度 $122^{\circ}-126^{\circ}E$ 范围内的

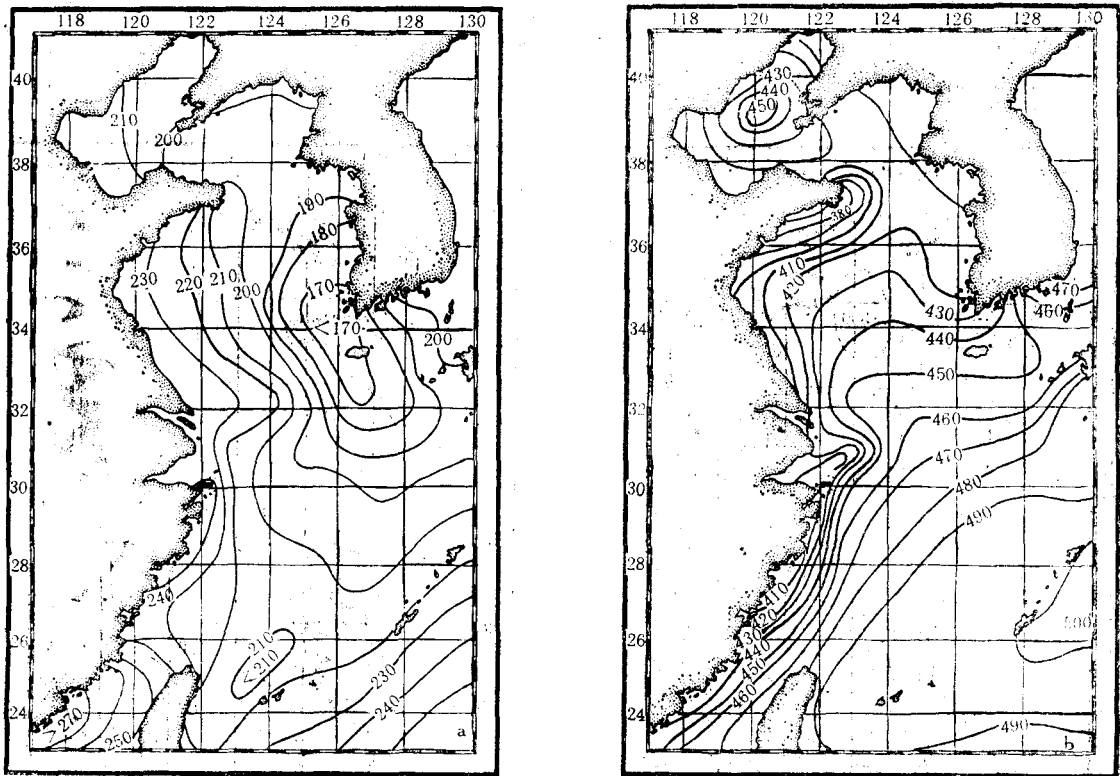


图 1 进入海面的太阳总辐射平面分布 ($4.18J \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}$)

1月(a); 7月(b)

Fig. 1 The distribution of the incoming radiation at the sea surface in January (a) and July (b)

($4.18J \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}$)

Q_{sw} 平均值，可以得到该值经向分布的年变化，其主要特征为： $32^{\circ}N$ 以北海域， Q_{sw} 的大值出现在 4—8 月，其中以 5—6 月为最大； $32^{\circ}N$ 以南海区最大值出现在 7—8 月，其中 $23^{\circ}N$ 以南海区出现在 6—7 月。这些最大值均超过 $1880 J \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}$ 。 Q_{sw} 的小值出现在 9—翌年 3 月。不论是海区南部还是海区北部，最小值均出现在 12 月，其值小于 $800J \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}$ 。各季 Q_{sw}

的分配率以夏季为最高，占全年的 32%，冬季最低，为全年的 17%，春秋两季 Q_{sw} 分别占全年的 28% 和 23%。

II.2. 海面有效回辐射 (Q_{Lw})

由 (1) 式可知，海面有效回辐射是海上气温、水温、空气湿度和云量的函数，它们之间呈现复杂的关系。 Q_{Lw} 值经向分布年变化的主要特点是：冬季量值较大，北高南低，北部的最大

值为 $710\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 南部为 $500\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。夏季量值较小, 南部稍高于北部, 全区平均约 $290\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 春秋季为过渡季节, 平均约 $420\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。各季 Q_{LW} 的年分配率与 Q_{sw} 相反, 冬季最高, 占全年的 34%, 夏季最低, 占全年的 16%, 春季低于秋季, 分别占全年的 27% 和 23%。

II.3. 蒸发潜热输送 (Q_e)

由(1)式可知, 在确定了湍流交换系数的情
况下, 局地海面蒸发潜热耗失完全取决于水气

湿度差和风速。图 2 为 1 月和 7 月研究海区
 Q_e 分布图。由图可见, 冬季沿整个黑潮流域为
大值 ($>3000\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) 沿黄海暖流和对马
暖流为次大值区。沿岸海区为小值区, 这一分
布形势与暖流区大值水气湿度差和高风速密切
相关。春季(图略) Q_e 的分布形势类似冬季, 但
其值明显减小, 黑潮暖流区为 $1600\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
左右, 其它海区多小于 $400\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。夏季
 Q_e 值进一步减小, 黑潮暖流区约为 $800\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。
由于黄海海区 7 月多雾, 近海面空气湿度

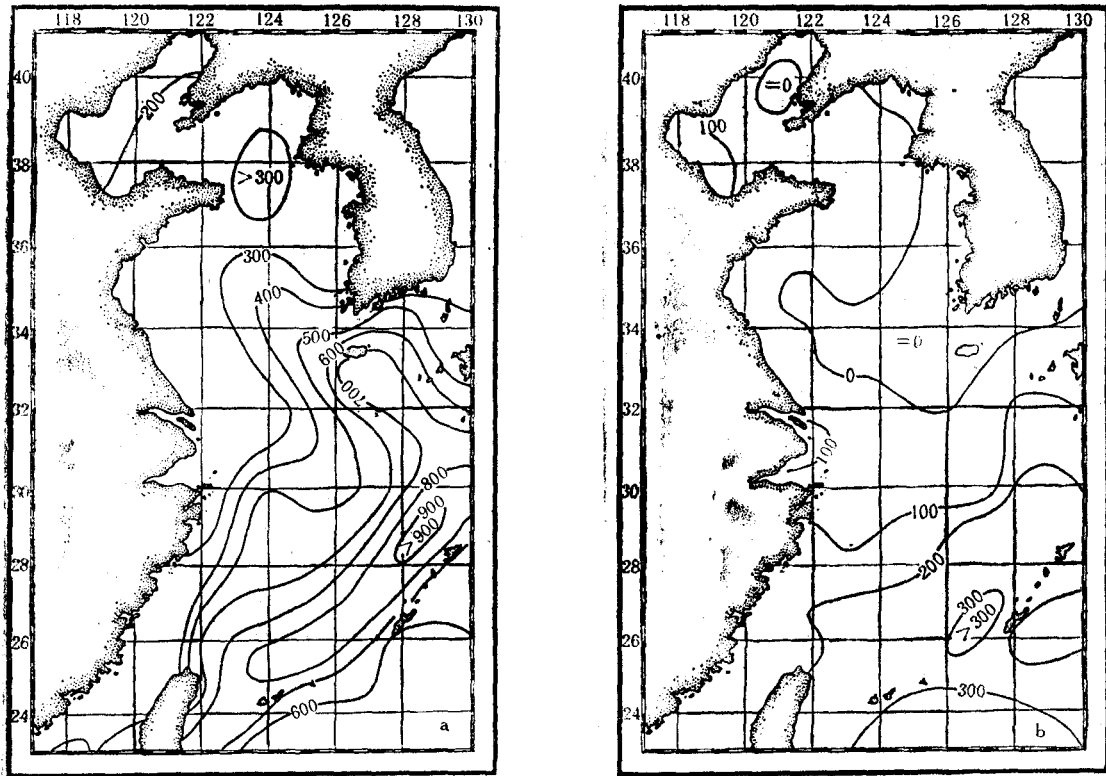


图 2 海面蒸发潜热的平面分布 ($4.18\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)
1 月(a), 7 月(b)

Fig. 2 The distribution of the latent heat flux used for evaporation at the sea surface
in January (a) and July (b)
($4.18\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)

较大, 因此在这一海区出现接近于零的蒸发耗
热区。秋季(图略), Q_e 的分布比较均匀, 黑
潮暖流区为大于 $2000\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 的相对大值
区。北黄海和渤海及青岛外海也有大于 1600
 $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 的较大值区, 朝鲜南部沿海及台湾

海峡为相对小值区。

Q_e 值经向分布的年变化的主要特征是: 小
值出现在 3—8 月, 最小值出现在 6—7 月; 大值
出现在 9—翌年 2 月; 32°N 以北最小值出现在
11 月; 32°N 以南, 最小值出现在 12 月和翌年

1月。由此可见,本海区不同海域,蒸发最大的季节是不一样的,北方海域,最大蒸发发生在深秋,而南方海域发生在隆冬。各季 Q_e 值的分配率为:北方海区,春季6%,夏季4%,秋季54%,冬季36%;南方海区,春季13%,夏季12%,秋季34%,冬季41%。

II.4. 海气之间的感热输送 (Q_s)

由于本海区在春、夏季常常出现逆温($T_w < T_a$),由(1)式, Q_s 可以出现负值,即海洋得到来自大气的热输送。在其它季节, $T_w > T_a$, Q_s 为正值,海洋输送热量给大气。由 Q_s 的平面分布(图略)可知,冬季全区均为正值,它表明海洋失热,大气得热,大值出现在黑潮暖流和黄海暖流区,大范围内超过 $1200\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,朝鲜西部和江苏沿海为相对小值区。春季海洋失热区局限在黑潮主干区,其它流域均为海洋得热,大值出现在渤海和朝鲜西部沿海,约 $400\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。夏季几乎整个海区均为海洋得热,大值出现在黄海,约 $200\text{—}400\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。秋季,全海区为海洋失热,黑潮主干区最大,约 $200\text{—}400\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。 Q_s 经向分布的年变化为:3—9月,整个海区(除 24°N 以南的小部海区)均为海洋从大气获得热量,但量值较小,平均约 $200\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。北方海区,5月最大,南方海区,7月最大。10—翌年2月全海区为海洋失热,北方海区最大值出现在12月,南方海区出现在1月。全海区平均海洋得热的季节分配为:春季37%,夏季51%,秋季8%,冬季4%;海洋失热的季节分配为春季6%,夏季0,秋季28%,冬季66%。

II.5. 海面热量收支诸分量总和 (Q_L)

由(1)式可知, Q_L 为进入海面太阳总辐射、海面有效回辐射、海气之间潜热和感热输送的代数和, $Q_L > 0$,表示通过海面海洋有热盈余, $Q_L < 0$,表示通过海面海洋有热亏损。这些海洋热量收支与海洋内部的热量输送引起了海水温度的变化。图3为1月和7月 Q_L 值的平面分布,它非常类同 Q_e 的分布形势,冬季均为海洋失热,在全年海洋失热中为最大;夏季均

为海洋得热,在全年海洋得热中为最大;春秋季节则为过渡季节。冬季海面失热最大值出现在黑潮流域,大范围内超过 $3600\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,最大价值达 $5000\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 以上。海洋失热小的海区分别在黄海暖流两侧(即朝鲜西岸和江苏沿岸)和台湾海峡南部,失热量均小于 $800\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。夏季海洋得热量最大值出现在北方海区,极值达到 $2100\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,南方海区较少。春季,海洋由失热转变为得热。由于上述4个分量的季节变化,这种转变从2月由北方海区开始,逐步向南方推移,6月遍及全海区。北方海区春季海洋得热量上升很快,春末达到了全年最大值($2000\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$),此时黑潮流域仍为失热区,因此北高南低形势十分明显。秋季是由海洋得热转变为海洋失热的过渡季节,这种转变也是由北向南推进的,但其转变速度比春季快,在9月份已全部完成。北方海区在秋末达到了全年失热的最大值($2000\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$),此时黑潮流域的失热量继续迅速增加,秋末达 $3000\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 左右,形成与春季相反的南高北低的形势。

Q_L 经向分布的年变化为3—8月,绝大部分海区海洋有热盈余,大值出现在5—7月,达 $1600\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 以上;9—翌年2月全海区有热亏损,南方海区失热最多,其值可达 $3300\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 以上。全海区平均而言,海洋通过海面净得热的季节分配为:春季29%,夏季33%,秋季22%,冬季16%;海洋失热的季节分配为:春季14%,夏季10%,秋季36%,冬季40%。总之,春、夏季海洋得热最多,秋、冬季海洋失热最多。

III. 海面热量收支诸分量所占成分的季节变化

这里所指的“成分”是指各分量在海洋净得热或净失热中所占的百分比。目的是了解各热量分量在海面热量平衡中的贡献。我们分别统计了8个海区的情况,其结果列为表1。

由表1可知,海洋得到热量的主要来源是到达海面的太阳总辐射和海气之间感热的向下

表 1 各季诸分量所占的百分比(%)
 Tab. 1 The rate of different heat flux components for four seasons

海区	春				夏				秋				冬			
	$+ Q_{sw}$	$+/- Q_s$	$- Q_{LW}$	$- Q_c$	$+ Q_{sw}$	$+/- Q_s$	$- Q_{LW}$	$- Q_c$	$+ Q_{sw}$	$+/- Q_s$	$- Q_{LW}$	$- Q_c$	$+ Q_{sw}$	$+/- Q_s$	$- Q_{LW}$	$- Q_c$
渤海	82	18/0	82	18	89	11/0	79	21	100	0/11	25	64	93	7/7	43	50
黄海北部	81	19/9	62	39	91	9/0	56	44	100	0/3	23	74	89	11/5	34	61
黄海西部	87	13/0	64	16	92	8/0	66	34	99	1/9	26	65	96	4/14	33	53
黄海南部	92	8/0	62	38	91	9/0	81	19	99	1/10	22	68	100	0/23	22	55
东海西部	88	12/0	72	28	89	11/0	47	53	96	4/8	20	72	100	0/19	49	32
东海东部	88	12/0	70	30	92	8/0	45	55	98	2/5	19	76	100	0/16	20	64
东海南部	99	1/3	31	66	96	4/0	26	74	100	0/5	17	78	100	0/18	15	67
对马暖流	98	2/8	25	67	98	2/1	29	70	97	3/10	16	74	100	0/26	15	59
黑潮主干	100	0/10	18	72	99	1/0	22	78	100	0/7	15	78	100	0/19	13	68
台湾海峡东部	100	0/10	70	20	98	2/0	28	72	100	0/7	16	77	100	0/16	17	67
台湾海峡西部	90	10/0	45	55	97	3/0	34	66	98	2/3	20	77	97	3/10	22	68

*“+”表示海洋得到热量，“-”表示海洋失去热量。

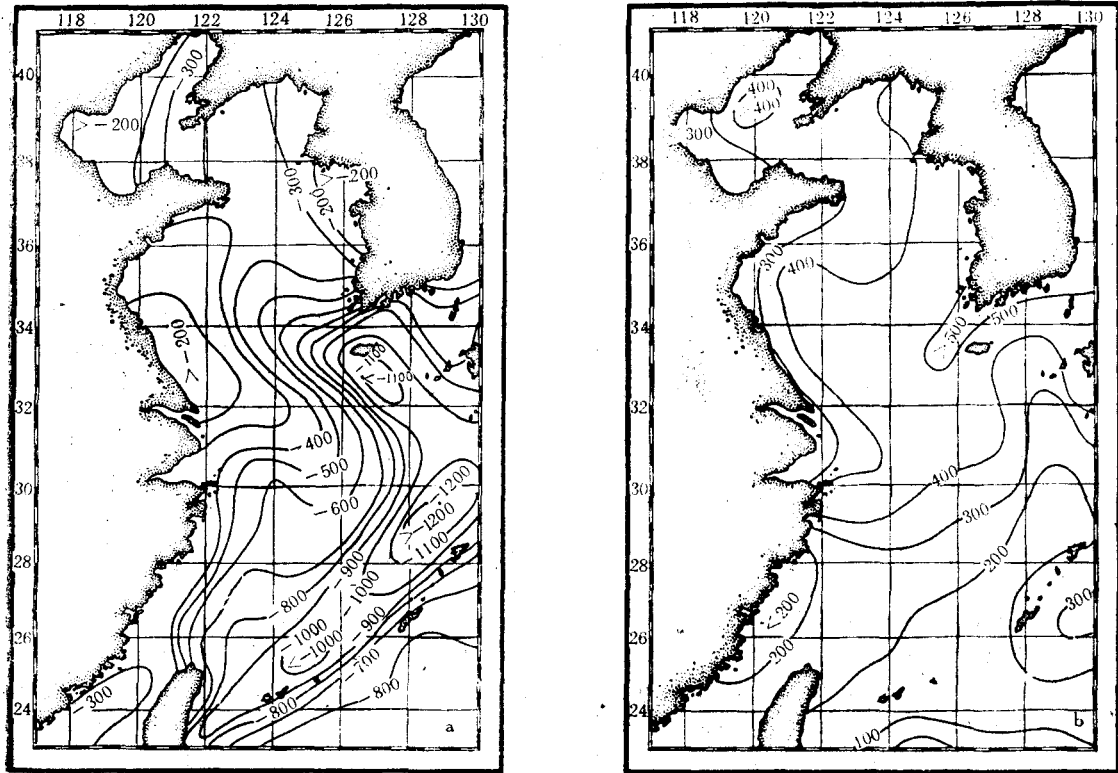


图3 海面热量平衡诸分量总和的平面分布

1月(a), 7月(b)

Fig. 3 The distribution of the net heat gain (+) and the net heat loss (-) of the ocean across the sea surface in January (a) and July (b)

($4.18\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)

输送。在渤海和北黄海, Q_{sw} 占海洋总得热量的比重为: 春季 82%, 夏季 90%, 秋季 100%, 冬季 92%; 在黑潮主干区, 海洋得热几乎全部来自 Q_{sw} 。海洋通过海面失去热量的主要原因有三, 其一是海面蒸发潜热耗失, 其二是海面有效回辐射, 其三是海气之间感热的向上输送。在渤海和北黄海, 春、夏季以海面有效回辐射为主, 秋季以蒸发潜热为主。 Q_{Lw} 在各季海洋失热中的比重为: 春季 72%, 夏季 68%, 秋季 24%, 冬季 38%; Q_e 在各季海洋失热中的比重为: 春季 28%, 夏季 32%, 秋季 69%, 冬季 56%; 感热耗热在三项中最小, 它主要发生在秋、冬季, 占总失热量的 6—7%。在黑潮主干区, 无论冬夏, 蒸发潜热耗失最为重要, 海面

回辐射次之。各季蒸发潜热占总失热量的比重为: 春季 72%, 夏季 78%, 秋季 78%, 冬季 68%; 海面回辐射为: 春季 18%, 夏季 22%, 秋季 15%, 冬季 13%; 海气之间的感热输送最小, 主要发生在冬季 (19%) 及春季 (10%)、秋季 (7%)。其它海区的情况则为上述两者之间的过渡。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院海洋研究所、地理研究所, 1977. 渤黄东海海面热量平衡图集. 科学出版社, 第158页.
- [2] 赵永平、张必成、井立才, 1983. 冬季东海黑潮海气热量交换对长江中下游汛期降水的影响. 海洋与湖沼 14(3): 256—262.
- [3] 赵永平、陈永利、井立才, 1984. 黑潮热量收支及其与副热带高压关系的初步分析. 海洋湖沼通报 1: 26—

- 23。
[4] 赵永平、张必成, 1984。东海黑潮的热状况及其与东海气候的某些联系。海洋湖沼通报 4: 1—7。
- [5] Kondo J., 1976. Heat balance of the East China Sea during the air mass transformation experiment. *J. Met. Soc. Japan* 54(6):382—398.

HEAT BALANCE AT THE BOHAI SEA, HUANGHAI SEA AND EAST CHINA SEA SURFACES

II. CHARACTERISTICS OF THE SEASONAL VARIATION

Ren Yunwu, Zhao Yongping and Zhang Bicheng

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

Received: Mar. 28, 1989

Key Words: Heat balance, Seasonal variation

Abstract

Analyses of the seasonal variation of heat balance and its components at the Bohai Sea, Huanghai Sea and East China Sea surfaces show that the main heat gain of the ocean from the sea surface is the incoming radiation, especially in the Kuroshio region, the main heat loss from the sea surface is the latent heat flux in the Kuroshio region in the whole year and near coastal region in fall and winter, the back radiation in the coastal region in spring and summer, the smallest heat flux is the sensible heat exchange. The results also show that the net heat gain of the ocean from the sea surface occurs in seasons from March to August and the net heat loss occurs from September to next February.