第13卷 第6期 海 洋 学 报 Vol.13, No.6
1991年11月 ACTA OCEANOLOGICA SINICA November, 1991

黄海冷水团对海洋变动的响应

李 坤 平

（国家海洋局第一海洋研究所，青岛）

摘 要

本文利用历史资料，分析了黄海夏季底层冷水团水温的冷暖变化与海洋变动之间的关系。结果发现，黑潮大弯曲的第二年为黄海冷水团的暖年，埃尔尼诺事件出现的当年为黄海冷水团的冷年。最后讨论了冷暖年黄海冷水团环流特征。

黄海冷水团系指在整个暖半年，季节性温跃层下面“黄海槽”内存在的一个范围广阔的冷水块。这一冷水块温度的高低变化因与海洋变动及大气变动都有密切关系，所以早已引起海洋学者的重视。早在1934和1948年，日本学者宇田道隆[1]就提出了黄海冷水团的存在，并讨论了它与渔业的关系。其后，我国学者对黄海冷水团的基本特征、成因以及环流特征等方面进行了大量研究[2—7],1)，取得了一系列重要成果。但是，有关黄海冷水团与海洋变动（这里指埃尔尼诺事件和黑潮弯曲）之间的关系很少涉及。这是因为埃尔尼诺事件和黑潮变异研究，只是近几年才取得了巨大进展。近几年，海气相互作用和黑潮变异的许多研究结果中已经指出，黑潮大弯曲和埃尔尼诺事件的发生，必然影响渤、黄、东海海洋环境以及天气变化，黄海冷水团又是黄海水文特征中的一个重要组成部分，所以，海洋变动必然影响黄海冷水团基本特征的变化。本文根据历史资料以及前人的成果，分析探讨黄海冷水团与海洋变动的基本关系，这对进一步认识黄海冷水团的成因和渤、黄、东海海洋环境变化以及对未来气候预测都有现实意义。

一、黄海冷水团的年际变化

潜居于黄海深层的黄海冷水团，是一个相对稳定、范围较大的水体。但是，由于黄海冷水团形成于水文状况复杂多变的浅海，外界条件的影响，使水团内部的温盐分布，特别是温度分布，在水平方向和垂直方向都有变化，且有明显的年际变异。为反映这些变化，需要划定冷水团的边界，人们一般是把10℃或8℃等温线包围的区域作为黄海冷水团的范围，管秉贤[3]通过对比分析认为，8℃作为冷水团范围多年变化的指标较10℃为宜。为此，我们基本上是采用8℃等温线来说明黄海冷水团的变化。

从1933—1940年8年期间，夏季大连—成山角断面底层8℃等温线与海底所包围的相

本文于1990年5月13日收到，修改稿于1991年2月28日收到。

1) 林金祥等，黄海冷水团的基本特征，海洋研究，1981年，4期。

对面积和1960、1963—1966、1977—1979年的8年期间，夏季底层8℃等温线包围的相对面积来看（图1），1933、1936年和1963、1977年包围的相对面积大．这说明，这些年北黄海底层水温低，冷水分布范围广．而1935年和1960年，夏季底层水温高，水温为8℃或近8℃．所以，8℃等温线包围的面积为0或近于0．

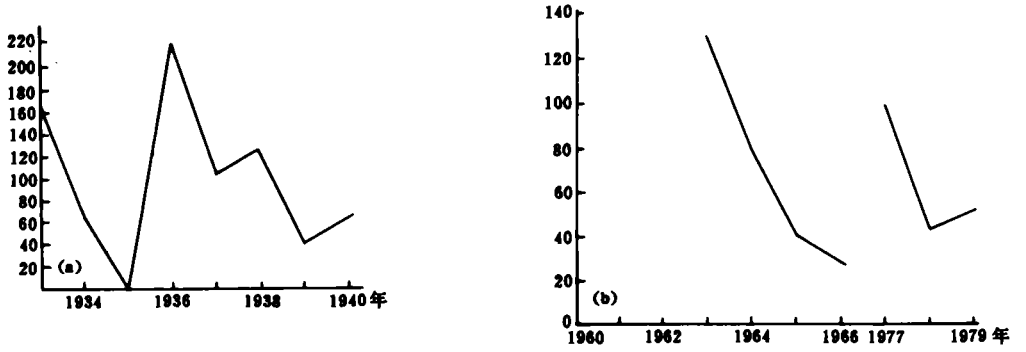

图1 大连—成山角断面8℃线包围的相对面积

（a）引自文献〔3〕的资料，（b）引自脚注1）的资料

从夏季底层8℃等温线的分布来看（图2），1935年夏季，黄海冷水团的最低水温为8℃，划不出8℃等温线，而1960年夏季，黄海底层最低观测水温为7.36℃，接近8℃，故8℃等温线包围的是一个小范围（图中未划出），水温的水平梯度变化很小．而1936、1963、1977年，夏季8℃等温线包围的面积很大．北边界可达39°N以北，向南可达36°N以南，有时可达34°N，水温的水平梯度加大．

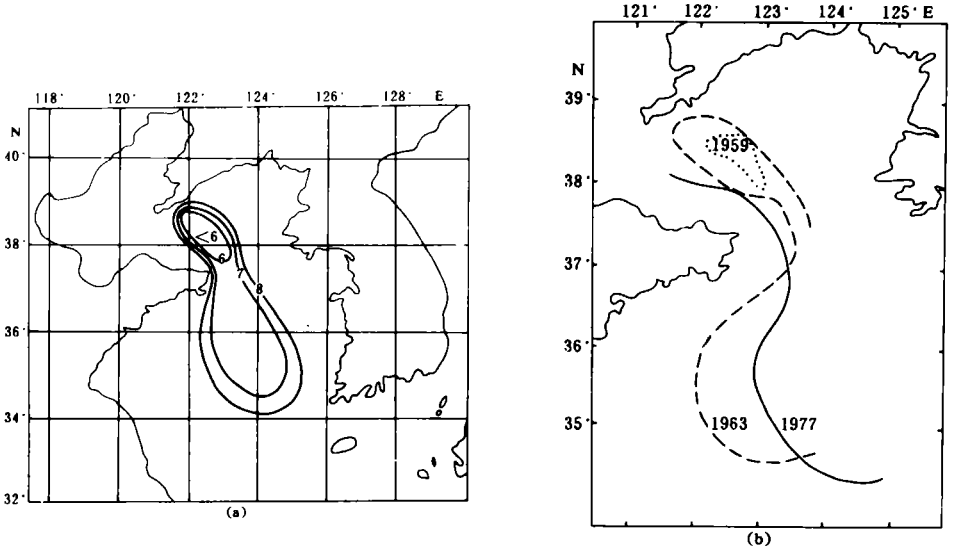

图2 黄海底层8℃等温线的分布

（a）1936年8月，引自文献〔3〕，（b）引自脚注1）

图 3 给出了北黄海冷水团最低水温变化，1933—1940年的 8 年期间，大连—成山角断面 8 月份底层的最低水温出现在1936年，其值为4.8℃，最高水温出现在1935年，其值为 8 ℃，底层最低和最高水温相差达 3 ℃以上．在1957—1976、1975—1985年的22年中，北黄海冷水团夏季底层的最低水温出现在1957年，最高水温出现在1960年，最低与最高水温相差也达 3 ℃以上．在1960年、1963—1966和1977—1979年的 8 年中[1]，南黄海底层最高水温出现在1960年，其值为 9 ℃，最低水温出现在1963和1969年，其值分别为 6.01 ℃ 和 6.12℃，底层最高与最低水温相差也近 3 ℃．我们把黄海冷水团夏季底层出现低水温年称为“冷水年”，把冷水团夏季底层出现高水温年称为“暖水年”．冷水团的这种冷暖变化与两大海洋过程的出现有对应关系，笔者发现，暖水年恰是黑潮形成大弯曲的第二年，而冷水年一般恰是埃尔尼诺事件发生的当年．

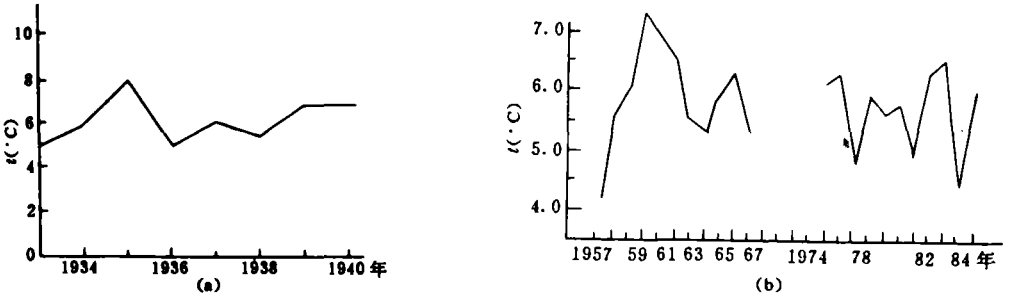

图 3　北黄海冷水团夏季底层水温的多年变化

（a）引自文献〔3〕，（b）引自文献〔4〕

二、黄海冷水团冷暖变化与海洋变动的关系

近年来许多研究指出，黑潮大弯曲形成时，黑潮源地水温升高，黑潮携带大量高温水流经东海，使其影响的水域水温升高．当埃尔尼诺事件出现时，黑潮源地水温降低，使黑潮影响的水域水温下降．正如李坤平[2]指出的，黑潮大弯曲形成时，黄、东海水温出现高值，T 等级（气温冷暖程度分 5 级：2，1，0，－1，－2．2 最冷，－2 最暖，0 为正常）出现负值，说明气温升高明显，称为“暖年”．相反，埃尔尼诺事件出现时，水温变化一般出现低值，T 等级变化出现正值，气温下降明显，称为“冷年”．这种冷暖的变化恰好对应于黄海冷水团的冷水年和暖水年．从而说明，黄海冷水团的冷暖变化和气温的冷暖变化一样，它们都与海洋变动有着密切关系．李崇银〔8〕在研究埃尔尼诺事件发生的一个重要原因时指出，埃尔尼诺事件发生同东亚寒潮活动有着密切关系，在埃尔尼诺事件发生前的冬半年里，东亚地区有频繁的强寒潮活动，而每次强寒潮活动，都会引起该地区大面积的温度剧烈下降，出现明显的温度负距平值．如日本学者菊池繁雄〔9〕在讨论寒潮引起本海区异常低水温时所指出的，1962年12月底至1963年 2 月初发生的强寒潮，使黄海附近海域的

2）李坤平等，海平面与气温对海洋变动的响应，黑潮论文集，第三期（出版中）．

气温迅速下降，最大的降温率达到每十天下降6℃，此时，黄、东海海水出现异常低温，这种异常低温不仅出现在表层，还深达整个垂直均匀层．从李崇银[8]给出的埃尔尼诺事件发生前的冬半年（10—4月）几个站的温度距平（表1）和1951—1980年1—2月份平均气温的年际变化来看（图4），在埃尔尼诺事件出现前的冬半年里，由于东亚频繁出现强寒潮，气温都下降，温度负距平增大，其中以1957年最为明显，负距平值达13—14℃．赫崇本[2]在讨论黄海冷水团形成原因时曾指出，在冬季，由于强劲而干燥的季风影响，使表层的大量海水向南移动，而部分海水以补偿的形式从底层进入黄海，这样在严寒的冬季，在频繁强劲的大风搅拌下，形成上下一致的冷水．再者，在埃尔尼诺发生前的冬季，东亚及西北太平洋的大气环流已先期有明显的异常发生，这种环流异常极其明显的向东南方向传到中西太平洋地区，导致该区域信风明显减弱，加强那里的对流活动，致使埃尔尼诺形成过程中，海水温度下降，流量减小（表2），这说明，在埃尔尼诺事件形成的冬季是

表1 埃尔尼诺事件发生前的冬半年（10—4月）北京、上海和青岛的温度距平（℃）

	1917.10—1918.4	1929.10—1930.4	1950.10—1951.4	1956.10—1957.4	1968.10—1969.4	1971.10—1972.4	1981.10—1982.4	19个埃尔尼诺事件的平均
北 京	0.0	-1.0	-3.6	-14.0	-7.7	0.4	-2.4*	-1.90
上 海	-8.2	-5.5	-3.0	-8.4	0.5	-3.6	-5.6	-2.41
青 岛	-5.7	-1.2	-3.6	-13.3	-5.6	-2.2	-2.1	-2.33

* 此值为北京和太原两地的平均值．

一个寒冬，黄海则为低温冷水．相反，在黑潮大弯曲期间，东海黑潮流路上的PN断面的流量增大，就冬季来说，大约比埃尔尼诺事件发生时冬季增加近一倍，至少增加了1/3左右（表2），这说明，黑潮大弯曲时，黑潮流速大大增强，而这时的水温也较埃尔尼诺期间的水温平均增高0.5℃左右，黑潮携带大量的高温高盐水进入东海，致使黄海暖流及其延伸部分在冬季更加明显．管秉贤[10]在研究这一问题时认为，这支北向的暖流平均速度约为5 cm/s．从黑潮弯曲和埃尔尼诺两大过程流量的巨大差异来看，显然黑潮弯曲时，北上暖流的速度大于5 cm/s，而埃尔尼诺时速度小于5 cm/s．这就构成了该海区在两大过程期间的巨大差异．在黑潮大弯曲期间的冬季，黄海暖流增强，使黄海水温升高．海洋作为一个巨大的热源对气候和天气过程产生重要影响，因为海洋的一个重要作用是能够从一个热量地区向传给大气热量的地区输送热量，特别在冬季，由于海水增温，加大了水气温差，这更有利于海洋这个热源向大气施放巨额的热量，使得大气增温，出现暖冬（图4），这时，

表2 冬季PN断面黑潮流量（单位：$10^6 m^3 s^{-1}$）

年 份	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
流 量	16.0	17.5	22.5	33.0	25.0	28.0	26.2	17.0	19.0	21.0	19.5	16.5	23.0
年 份	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	
流 量	21.0	17.0	15.0	25.0	26.0	5.0	18.0	33.0	16.4	26.1	24.4	26.9	

东亚寒潮活动减少和变弱。管秉贤[3]在论述黄海暖流时指出，在冬季风力较弱时期，这支向北流动的暖流，不仅出现在深层，也可显现在表层。这时冬季黄海上下形成均匀的较高水温，很显然，由于冬季黄海水温的冷暖差异，就制约了夏季黄海冷水团水温冷暖的年际变化。

在春季，随着太阳辐射增强，气温升高，表层海水升温，中层生成温跃层，跃层之下便形成黄海冷水团。张元奎[5]给出了这期间黄海冷水团最低水温和相对面积距平及强度，它们的变化可从图5中看出，较大的温度正距平值，除1973年为反埃尔尼诺年之外，其余均是黑潮弯曲之年，这些年份冷水团的相对面积小，属于弱年，其中最弱的是黑潮大弯曲的第二年1960年，该年4、5月份温度距平值最大，而相对面积最小。相反，较大的温度负距平值，除1971和1971年之外（将另文讨论），其余均是埃尔尼诺事件发生年，其中最强的是1968—1969年，4、5月份温度负距平值都在1℃以上，相对面积大。考虑到夏季黄海冷水团是冬季遗留下来的海水形成的，其温盐性质仍较好地保持着冬季的特征，通过上述讨论，黄海冷水团与海洋变动之间的密切关系就不言而喻了。

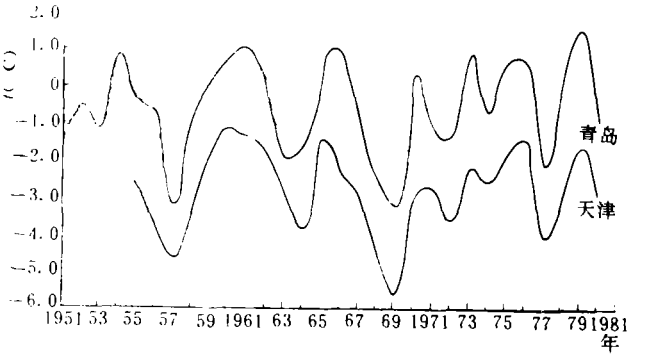

图4　1—2月份平均气温的年际变化

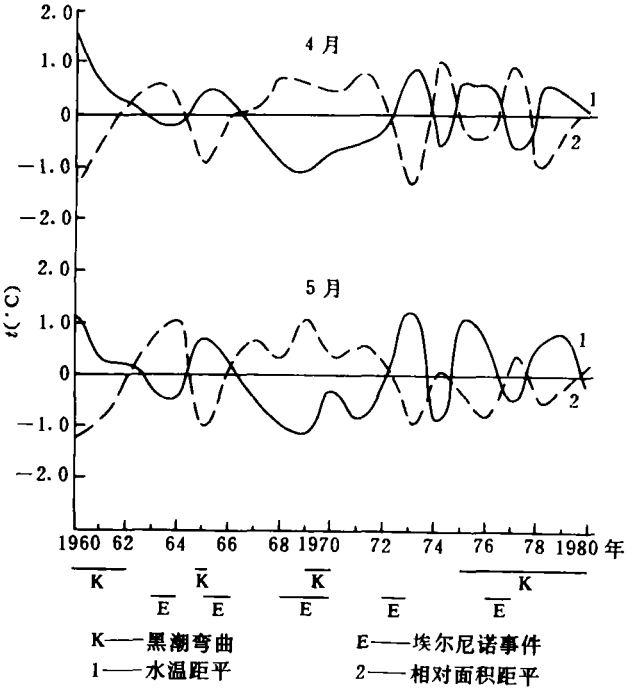

图5　冷水团最低水温和相对面积距平年际变化

应该指出，埃尔尼诺事件一般发生在春季，黑潮弯曲一般发生在夏季，但有时其他季节也可以发生。再者，两大过程本身也有强弱变化，两者时而交替发生，也可能近乎同时发生，两大海洋过程之间又相互影响，彼此制约，加上本海区的自然环境和前期条件的差异，这就形成了黄海冷水团水温的复杂变化。

3）管秉贤，中国近海的海洋系统，全国海洋综合调查报告，第五册第六章，1961，1—80。

三、冷水团环流特征的讨论

关于黄海冷水团的环流特征，管秉贤[3]和袁业立[5]已经进行了讨论，我们只是根据文献[3]的结果，讨论我们所关心的环流特征。

由于黄海冷水团的冷暖变化与海洋变动有着密切关系，所以，在两大海洋过程期间，黄海冷水团的温盐结构存在明显差异，这就决定了冷水团环流特征的不同，这可从管秉贤建立的流速近似计算公式中看出。

管秉贤根据北黄海冷水团中心区域等温线的分布形式，采用圆柱坐标，并做了若干假定，在不考虑风的情况下，得到了如下流速计算公式：

$$V_r = k_1 \frac{\partial F(r \cdot z)}{\partial r}, \qquad V_\theta = k_2 \frac{\partial F(r \cdot z)}{\partial r}.$$

其中，

$$k_1 = \frac{k\alpha g}{f^2 + k^2}, \qquad k_2 = \frac{k\alpha g}{f^2 + k^2}, \qquad F(r \cdot z) = \int_0^z T \mathrm{d}z.$$

式中，T 为水温，α 为海水热膨胀系数，g 为重力加速度，k 为摩擦系数，f 为科氏力。因此，周向速度V_θ和径向速度V_r均随水温的垂直积分F（$=\int_0^z T\mathrm{d}z$）的水平变化而定。由于在两大海洋过程期间，冷水团有明显的冷暖变化，在暖水年，水温梯度小，冷水年，水温梯度大(图6)，所以，在埃尔尼诺事件形成的冷水年较黑潮弯曲形成的暖水年速度要大。

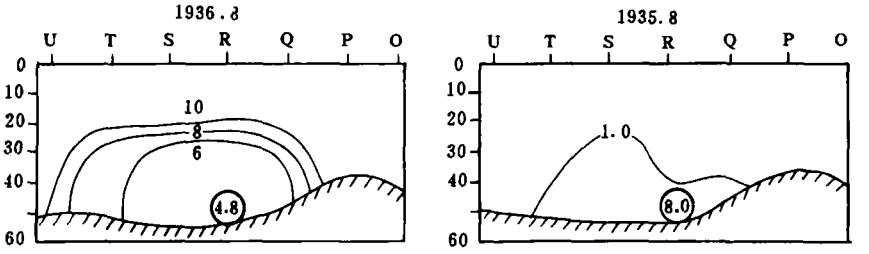

图6 大连—成山角断面夏季等温线分布
（取自文献[3]）

垂直流速w视ϕ（$=\int_0^z \mathrm{d}z\int_0^z T\mathrm{d}z$）对$r$的一次及二次导数而定，即$w = k_1\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2}\phi + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\phi\right)$。$\phi$为水温的垂直二次积分，表征自海底到$z$处单位截面水柱内的热结构。故$\omega$亦视这一热结构的水平变化而定，$\omega$还与摩擦系数$k$有关。由上述分析可知，暖水年，水温水平梯度小，则$\phi$变化亦小，流速也小。而与速度成比例的摩擦力也小，这样上升流就弱。相反，冷水年，由于水平温度梯度大，ϕ的变化大，流速大，则摩擦力也大，这样，垂直上升流就强。

为加以比较，我们采用Wyrtki[11]给出的垂直流速公式：

$$w = K_z \frac{\partial}{\partial Z} \ln (T - T_D),$$

式中，T_D为海水上升运动的开始处的水温．K_z近似取为1，从公式看出，水温差愈大，上升流愈强，水温差愈小，上升流愈弱，这和上述结果一致，冷水年上升流强，暖水年上升流弱．

综合上述讨论可见，黑潮大弯曲时PN断面流速增大，而次年夏季冷水团环流减弱，呈明显的负相关关系．

四、结　束　语

夏季底层黄海冷水团水温具有明显的年际变化，冷年，8℃等温线占据黄海广阔的海域，而暖年，8℃等温线只占据黄海一个小区域或者消失，黄海冷水团底层水温的这种冷暖变化与黑潮弯曲和厄尔尼诺事件有着密切关系，一般说来，黑潮大弯曲第二年为黄海冷水团的暖年，温度梯度小，垂直上升流弱，埃尔尼诺事件出现的当年为黄海冷水团的冷年，温度梯度大，垂直上升流强．

本文承青岛海洋大学李凤岐副教授审阅，并提出宝贵意见，王春英绘图，一并致谢．

参　考　文　献

〔1〕 宇田道隆，日本海、黄海、オ寸、ーツフ海の平年各月海况，水产试验场报告，1934，5：191—236．
〔2〕 赫崇本等，黄海冷水团的形成及其性质的初步探讨，海洋与湖沼，**2**（1959），1：11—15．
〔3〕 管秉贤，黄海冷水团的水温变化及其环流特征的初步分析，海洋与湖沼，**5**（1963），4：255—284．
〔4〕 翁学传等，黄海冷水团的变化特征，青岛海洋大学学报，**19**（1987），1：117—131．
〔5〕 袁业立，黄海冷水团环流，海洋与湖沼，**10**（1979），3：187—197．
〔6〕 张元奎等，春季北黄海冷水团强度的年际变异及其预报，海洋湖沼通报，1981，1：19—25．
〔7〕 孙湘平，气候异常引起的黄海冷水团及渤海冰情变异的若干例证，海洋湖沼通报，1980，1：1—8．
〔8〕 李崇银等，El Nino事件发生一个重要原因——东亚寒潮的频繁活动，大气科学，1988，特刊，128—132．
〔9〕 菊池繁雄，寒波による东シナ海の异常低水温につムじ，研究时报，**16**（1964），2：84—95．
〔10〕 管秉贤，黄东海浅海水文学的主要特征，黄渤海海洋，**4**（1985），3：1—9．
〔11〕 Wyrtki，K.，The thermohaline circulation in relation to the general circulation in the oceans，*Deep-Sea Res.*，**8**（1961），1：39—64．