

青岛冷水团强度的变化特征^{*}

张启龙 侯一筠 程明华 刘兴泉 尹宝树

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

王相玉

(国家海洋局北海预报中心, 青岛 266033)

青岛冷水团盘踞于山东半岛东南部近海的深底层。它是南黄海西部海域中的一个突出而重要的水文现象。青岛冷水团的存在和变动不仅使南黄海西部的环流结构和水文状况趋于复杂, 而且还影响山东近海渔场春汛渔期的早晚和鱼群的集散程度(郑东等, 1983; 张元奎等, 1989)。

目前, 对青岛冷水团的温、盐特性及其成因早已有研究(郑东等, 1983; 张启龙等, 1996; Zhang *et al.*, 2002), 但有关青岛冷水团的长期变化特征尚未见报道。作者在已有研究结果基础上, 利用 1959~1995 年间的水温资料, 对青岛冷水团强度的变化特征进行分析, 以期加深对青岛冷水团的认识以及为该海域海洋水产资源的合理开发利用提供科学依据。

一、分 析 方 法

作者主要利用逐步回归、多元线性回归和最大熵谱等分析方法, 研究青岛冷水团强度的变化特征。此外, 还用相关分析等方法讨论青岛冷水团强度的年际变化及其可能原因。文中所用的资料主要是 1959~1995 年间在南黄海西部海域收集的水温资料。其中主要包括全国海洋综合调查资料(1959 年)、中国近海海洋水文标准断面观测资料(1960~1967 年、1975~1995 年)以及水产系统和科研单位的海洋专题调查资料(1960~1980 年、1970~1986 年、1992 年)三部分。气温数据取自国家气象局的台站网资料。

二、青岛冷水团强度的长期变化

青岛冷水团的最突出特征是水温低。张启龙等(1996, 2002)研究表明: 青岛冷水团

^{*} 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 4568 号。本研究得到中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-202)和国家海洋局海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室开放研究基金的共同资助
通信作者: 张启龙, 男, 研究员。现从事海洋环流与海气相互作用研究。E-mail: Qlzhang@ms. qdio. ac. cn
收稿日期: 2003 年 2 月 16 日

内部的温度大致呈中央低、边缘高的分布特征,与周围水体形成较强的水温梯度(图 1);青岛冷水团具有独自的长消过程,即它在 3 月下旬初现,4 月成型,5 月最盛,6 月减弱,7 月消失。根据青岛冷水团的上述特征,作者选用各年 5 月该水团内部底层的最低水温($T_{\min}$)值作为青岛冷水团的强度指标。具体地说,当 $T_{\min}$ 较大时,表示青岛冷水团的强度较弱;反之,当 $T_{\min}$ 较小时,表明冷水团的强度较强。据此,则得出了 1959~1995 年间长达 37 年的青岛冷水团强度指标序列。

以下根据这一序列分别讨论青岛冷水团强度的长期变化趋势、阶段性变化和年代际变化。

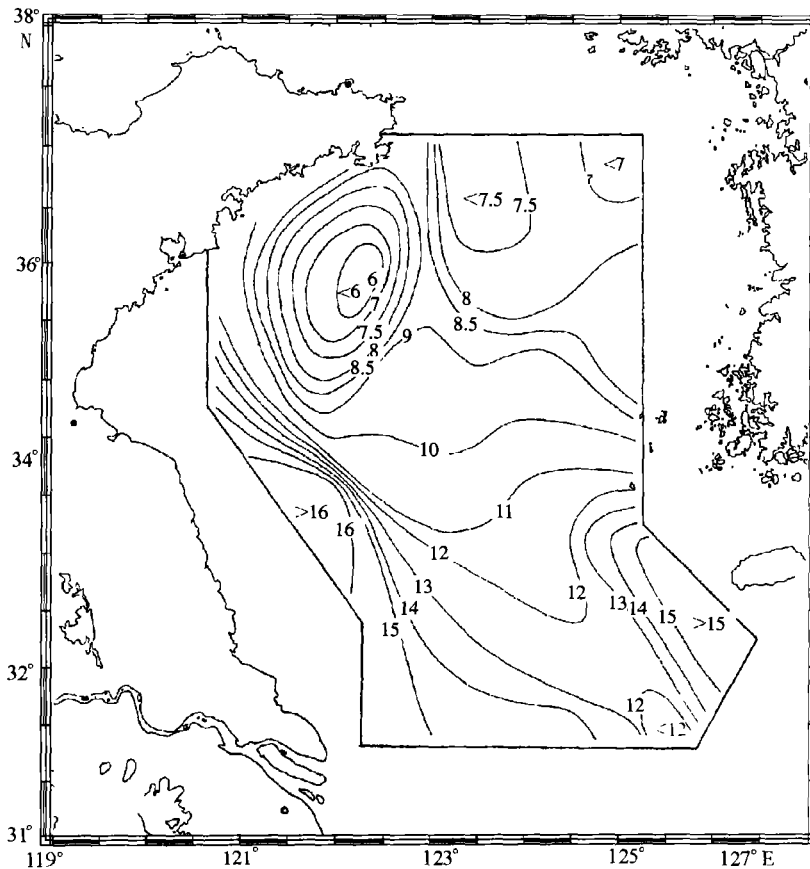


图 1 1992 年 5 月南黄海底层水温分布

1. 长期变化趋势

为了分析青岛冷水团强度的长期变化趋势,作者将 1959~1995 年间该水团的强度指标(即 $T_{\min}$)序列看成是由时间 t 为自变量构成的一些简单函数的线性组合 y_1 (丁裕国等, 1998), 即

$$y_1(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + c_4 t^4 + c_5 t^{1/2} + c_6 t^{-1} + c_7 t^{-1/2} + c_8 t^{-2} + c_9 e^{-t} + c_{10} \ln t \quad (1)$$

式中： t 为时间变量，以年为单位，1959 年为其起始点，即 $t=1,2,\dots,37$ ； $c_0\sim c_{10}$ 为回归系数。

利用逐步回归分析法很容易得出式(1)中的系数。经过逐步筛选，在 $f=4.3$ 的条件下，得到最佳回归方程为

$$y_1(t)=7.512\,487+1.517\,985\times 10^{-6}t^4-0.690\,549\,8\ln t \quad (2)$$

由式(2)可看出，青岛冷水团强度的长期变化趋势表达式是由两个简单函数组成的。图 2a 给出了由式(2)得到的该水团强度的长期变化趋势曲线(虚线)。由图中可明显看出，青岛冷水团强度的长期变化趋势大致经历了弱-强-弱的变化过程。具体地讲，在 20 世纪 70 年代中期(1975 年)以前，青岛冷水团的强度是由弱缓慢增强，即在 1959~1975 年

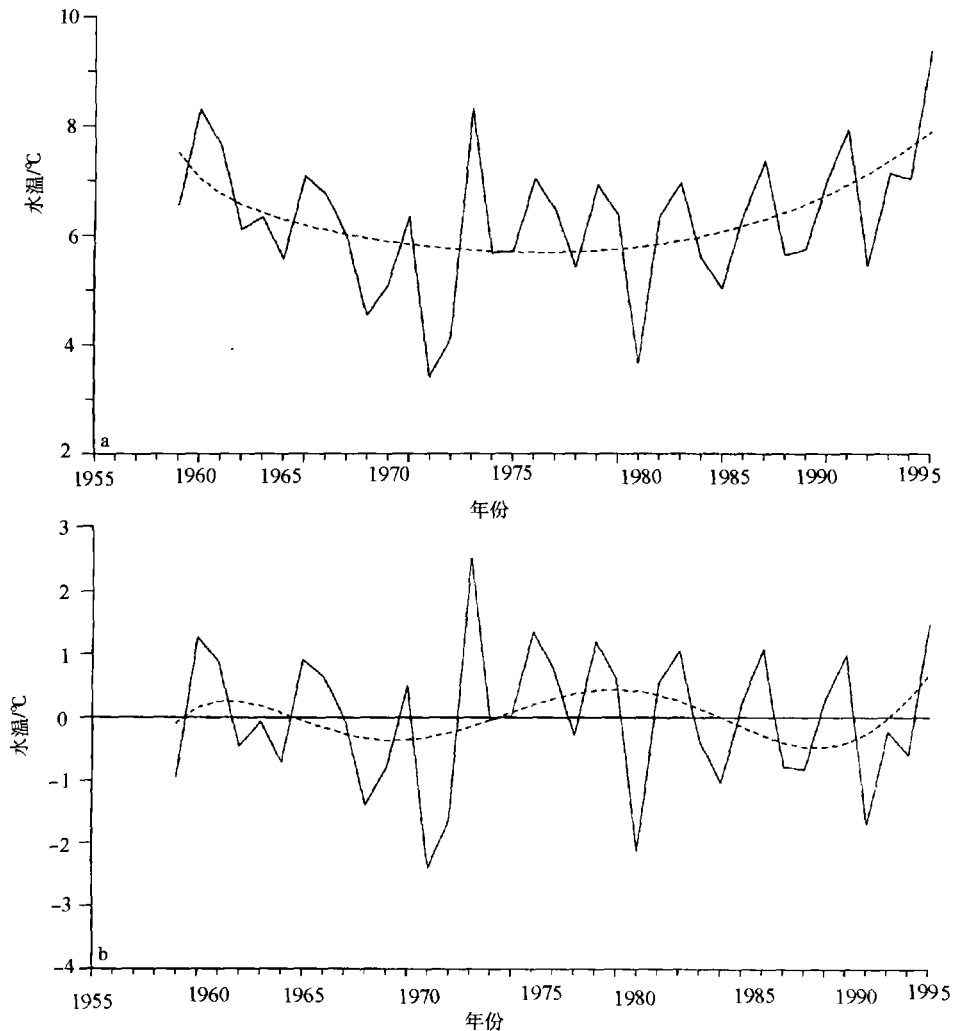


图 2 青岛冷水团强度的长期变化趋势 a 和阶段性变化 b

间,青岛冷水团的 $T_{\min}$ 降低了 1.84°C ,而在 70 年代中期(1976 年)以后,青岛冷水团的强度则由强逐渐减弱,即在 1976~1995 年间 $T_{\min}$ 上升了 2.19°C 。

2. 阶段性变化

作者根据去掉长期变化趋势后的青岛冷水团强度指标序列

$$y'(t)=y(t)-y_1(t) \quad (t=1,2,\cdots,37),$$

用高阶多项式来研究冷水团强度变化的阶段性。这里采用多元线性回归分析法求取 $y'(t)$ 的最佳表达式。经过多次对比分析发现,用八阶多项式能很好地反映青岛冷水团强度变化的阶段性。其表达式为

$$\begin{aligned} y'(t)= & -0.519\,070\,7+0.536\,479\,5t-0.116\,585\,4t^2+8.354\,398\times 10^{-3}t^3 \\ & -1.630\,57\times 10^{-4}t^4-3.597\,403\times 10^{-6}t^5+1.062\,148\times 10^{-7}t^6 \\ & +1.302\,268\times 10^{-9}t^7-3.511\,029\times 10^{-11}t^8 \end{aligned} \quad (3)$$

根据式(3)可得出青岛冷水团强度的阶段性变化(图 2b 中虚线)。由图 2b 可见,青岛冷水团强度的长期变化存在着明显的阶段性,即呈现一种较规则的低频振荡。在 20 世纪 60 年代前期和 70 年代后期至 80 年代前期,青岛冷水团处于偏弱($T_{\min}$ 偏大)阶段,而在 60 年代后期至 70 年代前期和 80 年代后期至 90 年代前期,青岛冷水团处于偏强($T_{\min}$ 偏小)阶段。由此可见,青岛冷水团由弱(强)到强(弱)的转换期约为 10a,其周期约为 20a。

3. 年代际变化

图 3 给出了青岛冷水团强度的年代际变化(10a 滑动平均)曲线。由图可看出,在 20 世纪 60 年代中期以前,青岛冷水团的强度稍弱(即 $T_{\min}$ 略高于其多年平均值),而在 60 年代后期至 80 年代后期之间,青岛冷水团的强度较强(即 $T_{\min}$ 均低于其多年平均值),尤其在 60 年代后期,青岛冷水团的强度达到最强($T_{\min}$ 最低)。60 年代后期以后,青岛冷水

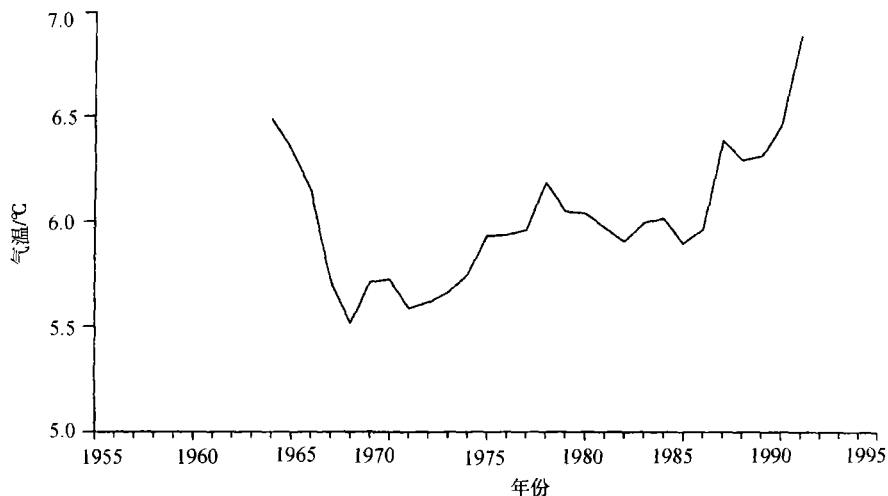


图 3 青岛冷水团强度的年代际变化

团的强度虽然开始逐渐减弱,但仍处于较强状态,即其 $T_{\min}$ 仍低于其多年平均值。80年代末至90年代初,冷水团的强度明显变弱, $T_{\min}$ 已高于其多年平均值。

为了进一步了解青岛冷水团强度的年代际变化特征,作者分别计算了20世纪60年代(1961~1970年)、70年代(1971~1980年)和80年代(1981~1990年)的 $T_{\min}$ 平均值。结果表明, $T_{\min}$ 平均值在60年代最大(6.14°C)、80年代次之(5.96°C),而70年代最小(5.93°C)。这说明青岛冷水团的强度在60年代偏弱,70年代偏强,而80年代则略强。

三、青岛冷水团强度的年际变化及其可能原因

1. 年际变化的主要特征

青岛冷水团强度的年际变化如图4a所示。由图可清晰看出,该水团强度的年际变

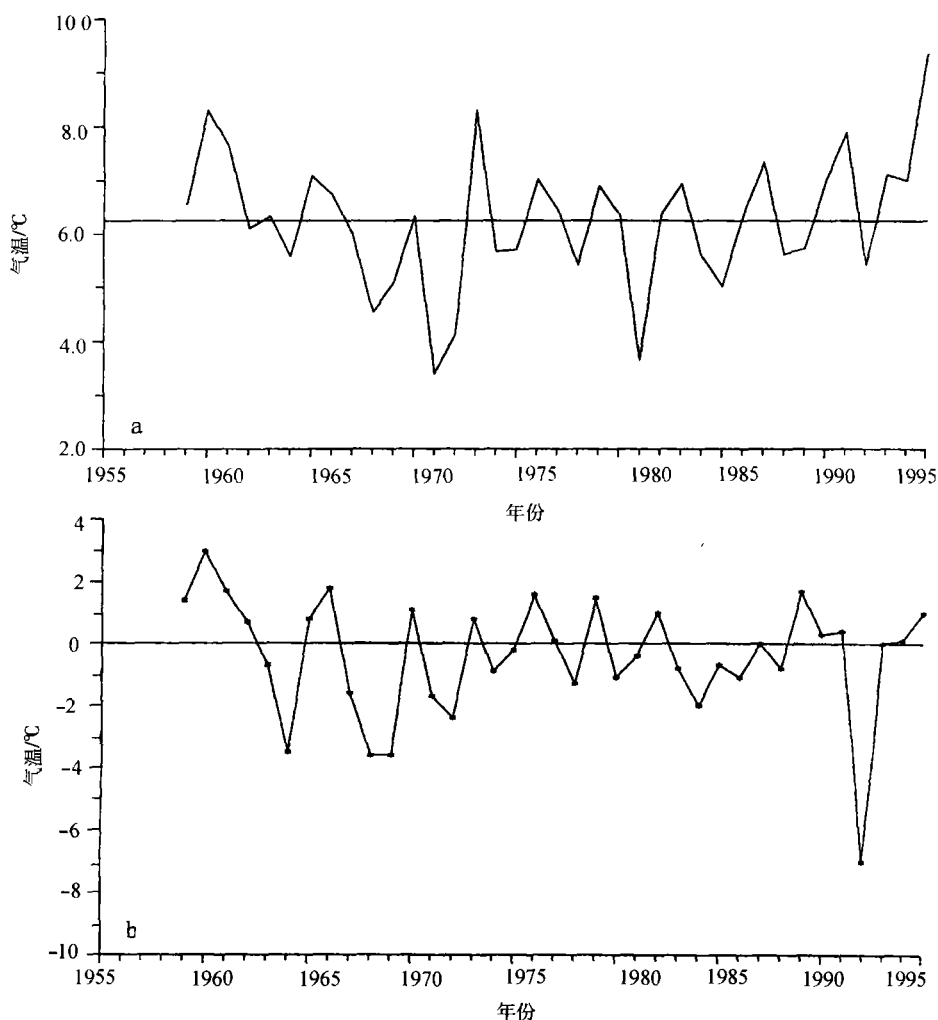


图4 青岛冷水团强度a和烟台2月平均气温b的年际变化

化十分明显。在 1959~1995 年间的 37 年中,青岛冷水团的强度以 1995 年最弱($T_{\min}$ 高达 9.34°C),而 1971 年最强($T_{\min}$ 为 3.40°C)。进一步分析还可发现,冷水团强度的年际变化与 ENSO 循环有较好的对应关系。在 1959~1995 年间的 37 年中,共发生 10 次 El Niño 事件(1963 年、1965 年、1969 年、1972 年、1976 年、1982 年、1987 年、1991 年、1993 年和 1994 年)和 7 次 La Niña 事件(1964 年、1968 年、1971 年、1974 年、1975 年、1985 年和 1988 年)。在大多数 El Niño 事件期间(1969 年除外),青岛冷水团的强度均偏弱,即 $T_{\min}$ 均高于其多年平均值,而在 La Niña 事件期间,冷水团的强度均偏强,即 $T_{\min}$ 均低于其多年平均值。这与李崇银等(1989)所指出的中国东部地区(沈阳、北京、青岛、上海等)在 El Niño 年冬季气温比常年偏高,在 La Niña 年冬季气温比常年偏低的结论是一致的。

为了进一步了解青岛冷水团强度的变化周期,作者利用黄嘉佑等(1984)介绍的谱分析方法,对青岛冷水团强度指标序列进行了最大熵谱分析(图 5)。由图 5 不难看出,青岛冷水团强度具有多个变化周期,其中较突出的周期依次为 4.3a、3.4a 和 21.0a(按谱值大小)。可见,青岛冷水团强度的年际变化是比较明显的,而且其主要变化周期与 ENSO 的周期相近。

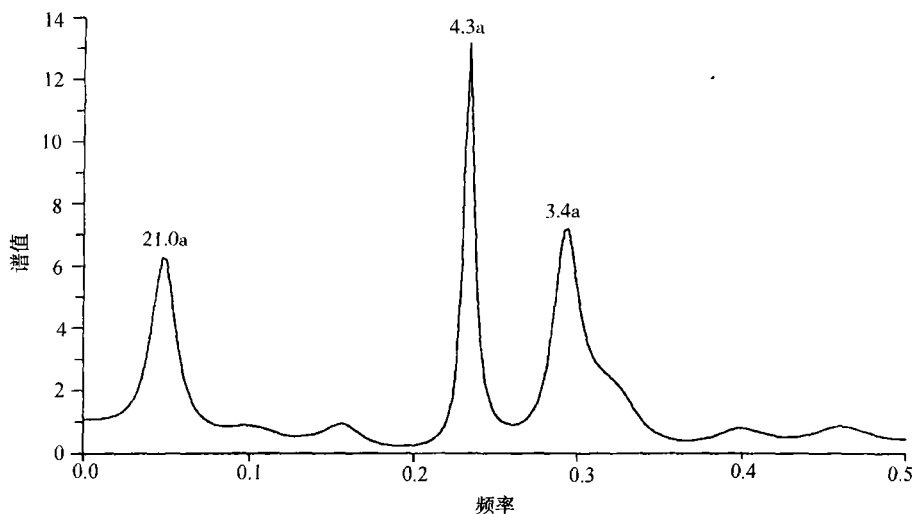


图 5 青岛冷水团强度的最大熵谱

2. 年际变化的可能原因

为了探讨青岛冷水团强度年际变化的原因,作者分析了青岛冷水团的强度指标与山东半岛北部沿海地区同年冬季各月平均气温间的关系。结果发现,青岛冷水团每年 5 月的强度与同年 2 月山东半岛北部沿海地区的月平均气温有着较好的相关关系,其中与同年 2 月烟台月平均气温的关系尤为密切。图 4b 绘制了烟台 2 月平均气温的年际变化,与图 4a 对比可看出,青岛冷水团强度的变化趋势与烟台 2 月平均气温的年际变化趋势基本一致,即在冷水团强度较弱($T_{\min}$ 较高)的年份(如 1960 年、1973 年、1995 年),烟台 2 月的平均气温相对偏高,而在冷水团强度较强($T_{\min}$ 较低)的年份(如 1968 年、1971 年、

1981年),烟台2月的平均气温则相对偏低。对两序列进行相关分析得出,在这37年间,5月青岛冷水团强度与同年2月烟台月平均气温的相关系数高达0.59(超过信度 $\alpha=0.001$ 的临界值)。此外,为了更直观地得出两者间关系的密切程度,图6给出了5月青岛冷水团强度与同年2月烟台月平均气温的关系。图中直线是根据两者的线性回归方程得出的。其回归方程式为

$$y=6.415\ 92+0.383\ 256x$$

式中: x 为气温。

张启龙等(2002)的研究表明:青岛冷水团源于山东半岛北部沿岸水(渤南沿岸水);冬季(2月),渤南沿岸水在强劲偏北风的驱动下,自山东半岛北部沿岸经成山角南下可扩展至石岛东南方的 $36^{\circ}30'N$ 附近(翁学传等,1989)。可见,青岛冷水团强度的变化(即 $T_{\min}$ 的变化)与冬季渤南沿岸水的冷暖有关。而渤南沿岸水的冷暖与山东半岛北部沿海地区(如烟台)冬季的气温密切相关。因此,青岛冷水团强度与山东半岛北部沿海地区冬季(2月)气温之间存在着密切关系是不难理解的。

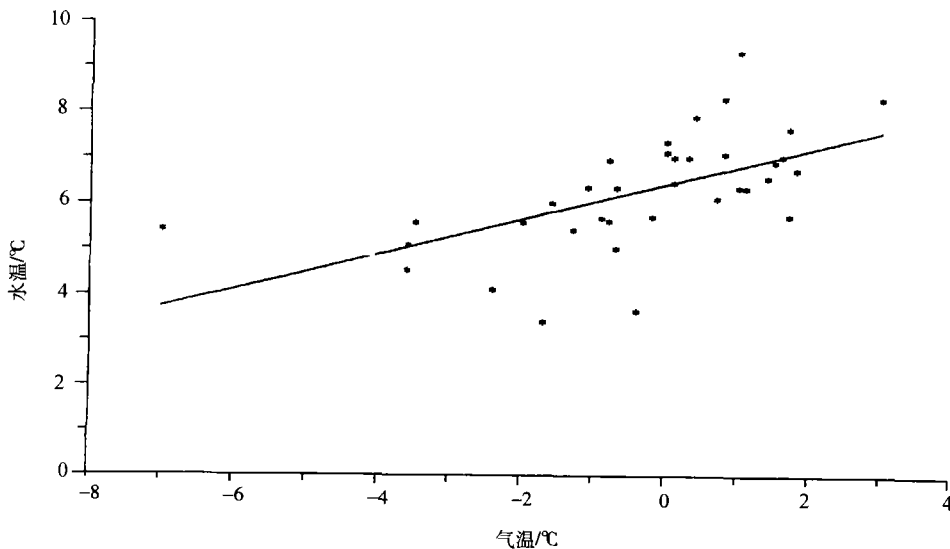


图6 青岛冷水团强度和烟台2月平均气温的关系

综上所述,作者认为青岛冷水团强度的年际变化主要是由冬季(2月)山东半岛北部沿海地区(如烟台)气温的异常变化引起的。

值得指出的是,5月青岛冷水团强度的年际变化与当年2月山东半岛北部沿海地区(如烟台)的气温有关,这项结果无论从理论上或是从实践上来说均具有一定意义。

首先,这一结果佐证了作者以前提出的青岛冷水团源于山东半岛北部沿岸水(渤南沿岸水)的看法(张启龙等,2002),从而对阐明青岛冷水团的成因提供了一项合理依据。其次,上述关系也为我们今后研究青岛冷水团的预报方法提供了一些线索,亦可根据山东半岛北部沿海地区气温变化的趋势来预报青岛冷水团强度的变化趋势。而这种趋势预

报, 对于该海域海洋水产资源的合理开发利用显然有实践意义。

四、结 语

1) 青岛冷水团强度的长期变化趋势是: 在 20 世纪 70 年代中期以前, 冷水团强度由弱缓慢增强, 而在 70 年代中期以后, 冷水团强度则由强逐渐减弱。在 1959~1995 年间的 37 年中, 青岛冷水团经历了弱-强-弱的变化过程。

2) 青岛冷水团强度的长期变化具有明显的阶段性。在 20 世纪 60 年代前期和 70 年代后期至 80 年代前期, 冷水团处于偏弱阶段, 而在 60 年代后期至 70 年代前期和 80 年代后期至 90 年代前期, 冷水团则处于偏强阶段。

3) 青岛冷水团强度年代际变化的主要特点是: 在 20 世纪 60 年代中期以前, 冷水团强度稍弱, 但在 60 年代后期至 80 年代后期间, 冷水团强度较强, 而在 80 年代末期, 冷水团强度明显变弱。

4) 青岛冷水团强度的年际变化与 ENSO 循环有较好的对应。在 El Niño 事件期间, 冷水团的强度偏弱, 而在 La Niña 事件期间, 冷水团的强度偏强。青岛冷水团强度的年际变化主要是由冬季(2 月)山东半岛北部沿海地区气温的变化引起的。

参 考 文 献

- 丁裕国, 江志红, 1998. 气象数据时间序列信号处理. 北京: 气象出版社. 46~49
- 李崇银, 1989. El Niño 事件与中国东部气温异常. 热带气象, 5(3): 211~219
- 郑东, 张瑞安, 1983. 烟威及石岛近海春季水团分析. 海洋通报, 2(1): 61~68
- 张元奎, 耿孝同, 1989. 渔业与水文状况的关系. 见: 山东近海水文状况. 济南: 山东地图出版社. 71~87
- 张启龙, 翁学传, 杨玉玲, 1996. 南黄海春季水团分析. 海洋与湖沼, 27(4): 421~428
- 翁学传, 张启龙, 1989. 山东近海水团和海洋锋. 见: 山东近海水文状况. 济南: 山东地图出版社. 55~70
- 黄嘉佑, 李黄, 1984. 气象中的谱分析. 北京: 气象出版社. 79~96
- Zhang Qilong, Liu Xingquan, Cheng Minghua *et al.*, 2002. Characteristics and formation cause of Qingdao cold water mass. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 20(4): 303~308

Variation Features in Qingdao Cold Water Mass Strength*

ZHANG Qilong HOU Yijun CHENG Minghua LIU Xingquan YIN Baoshu

(Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266033)

WANG Xiangyu

(North China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administration, Qingdao 266071)

Abstract

In this work, using the sea temperature data on the western Yellow Sea during 1959~1995, the main features of long-term, stage and interdecadal variations in Qingdao Cold Water Mass (QCWM) strength were studied by using regression analysis and maximum entropy method. The QCWM's interannual change and possible causes were discussed using the air temperature data in North China. The results showed that the QCWM strengthened during 1959~1975 and weakened during 1976~1995; and that the stage change in the QCWM's strength displayed regular low-frequency oscillation. The interannual changes in the water mass strength were associated with the ENSO cycle, and were affected by winter (February) air-temperature changes in the coastal area of the northern Shandong Peninsula.

* Contribution No.4568 from the Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences