

热带西太平洋暖池域次表层水热含量 变化及其与我国东部汛期 降水和副高的相关关系*

翁学传 张启龙 颜廷壮
(中国科学院海洋研究所)

热带西太平洋暖池是太平洋中海气相互作用最活跃的海区之一,它在全球气候变化中起着极为重要的作用。

热带西太平洋暖池幅员广阔,占全球热带海洋面积的 35—45%。它是全球大洋表面水温 (SST) 最高的海域,其 SST 终年都高于 28℃。Andow (1987) 的研究表明,暖池域次表层(50—300m)海水温度的变化较表层明显,其年际变化的标准偏差可达 3—4℃。邹娥梅等(1991)指出,热带西太平洋海域次表层海水的状况具有较好的指标性。因此研究热带西太平洋暖池域次表层水热状况的变化,对于阐明热带西太平洋暖池与东亚气候异常,特别是对我国旱涝的影响具有重要意义。

一、暖池域次表层水热含量场的时空特征

1. 资料和分析方法 本文选用位于暖池西侧的 137°E 断面 3—17°N 范围 (即北赤道逆流和北赤道流域)内的 50—300m 层(观测层次分别为 50m, 75m, 100m, 125m, 150m, 200m, 250m, 300m)水温资料,建立了冬(1967—1991 年的 1 月)、夏(1972—1991 年的 7 月)两季次表层水的热含量场。其中,次表层水单位体积热含量是按下式计算的,即

$$Q_{ij} = C_p \cdot \rho \cdot T_{ij}$$

式中, Q_{ij} ——第 i 年第 j 站层海水单位体积热含量($i = 1, 2, 3 \cdots m, j = 1, 2, 3 \cdots n$), 其中,

$$m = 25 \text{ (冬季) 或 } 20 \text{ (夏季)}, n = 120。$$

C_p ——海水定压比热, ρ ——海水密度, T_{ij} ——第 i 年第 j 站层海水单位体积的平均温度。

为简便计,将 $C_p \cdot \rho$ 视为 1。本文采用自然正交函数 (EOF) 分析法,对热带西太平洋暖池域次表层水热含量距平场进行分解,探讨其时空变化特征。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2440 号。本课题为中国科学院 KYSS-10 项目
收稿日期: 1994 年 11 月 25 日。

2. 暖池域次表层水热含量场前 3 个特征向量场的时空特征 由表 1 可以看出,冬、夏两季前 5 个特征向量场的方差贡献累积百分比已超过 74%, 这表明其收敛速度较快, 其中夏季又比冬季略快。因此本文着重阐述前 3 个特征向量场的时空特征。

表 1 次表层水热含量场前 5 个特征向量场方差贡献累积百分比(%)

特征向量场	1	2	3	4	5
冬 季	45.9	57.8	64.6	70.2	74.3
夏 季	42.7	54.4	63.7	71.1	76.0

(1) 第一特征向量场的时空特征: 冬季第一特征向量场的空间特征(图 1a)主要是全域皆为正值。其中,高值区(>0.10)位于断面中部($6-14^{\circ}\text{N}$),而断面南、北两侧以及 10°N 附近的 200m 以深处特征值偏低。高值区内等值线呈封闭状分布,高值中心(>0.12)位于 9°N 附近的 100m 处。这种分布趋势表明,全域次表层水热含量的变化趋势一致,其中变化最显著的区域位于逆流槽区(9°N 附近的 75—125m 层)。这是由于北赤道逆流和北赤道流的相互作用,在该区经常形成暖水辐聚下沉或深层低温水涌升导致的。由于第一特征向量场的方差贡献较大(45.9%),因此该向量场是反映热带西太平洋暖池域次表层水热含量场的主要变化,即大尺度海气系统的异常,这可从该型时间系数的年际变化特征(图 1a)得到佐证。由图可见,该型时间系数的年际变化与大尺度海气系统异常有较好的对应,即其大的负值(1969,1973,1977,1980/1981,1983,1987,1991)大致与厄尔尼诺事件相对应;大的正值(1971,1974,1976,1984,1989)则对应于反厄尔尼诺事件。时间系数的最大熵谱分析结果表明,它具有明显的 3.6 年和 2.5 年变化周期(显著性周期检验水平 α 取为 0.05,下同)。

夏季第一特征向量场的主要特征(图略,下同)与冬季相似,全域亦皆为正值。高值区(>0.12)位于 $5-11^{\circ}\text{N}$ 间的 75—200m 层,区内等值线呈封闭状分布;高值中心(>0.13)位于 7°N 附近的 100—125m 处,较冬季偏南约 2 个纬度。高值区两侧($3-5^{\circ}\text{N}$ 和 $11-17^{\circ}\text{N}$)特征值偏低,等值线大致呈垂直分布,且梯度略大。这种分布特征表明,夏季暖池域次表层水热含量的变化趋势与冬季相似,其变化最显著的区域也在逆流槽附近。从该型的方差贡献(42.7%)来看,它大致反映了夏季次表层水热含量的主要变化,即大尺度海气系统的异常。该型时间系数的年际变化与厄尔尼诺和反厄尔尼诺事件也有较好的呼应,时间系数大都在厄尔尼诺事件期间出现大的负值,而大的正值大致与反厄尔尼诺事件相对应。利用最大熵谱分析该型时间系数发现,它存在十分明显的 4.9 年和 2.1 年的周期变化。

综合分析第一特征向量场的时空特征不难看出,冬、夏季暖池域次表层水热含量场随大尺度海气系统异常变化而波动。在厄尔尼诺事件期间,热带西太平洋暖水向东输送增强,深层低温水涌升,导致暖池两侧(137°E 断面,下同)海域次表层水热含量减少,热含量距平场为负。反之,在反厄尔尼诺事件期间,暖水在热带西太平洋堆积,使暖池西侧海域次表层水热含量增大,热含量距平场为正。就研究海域来说,热含量变化最显著的区域位于逆流槽,所以该区是研究热带西太平洋次表层水热状况的关键区,也是热带西太平洋反

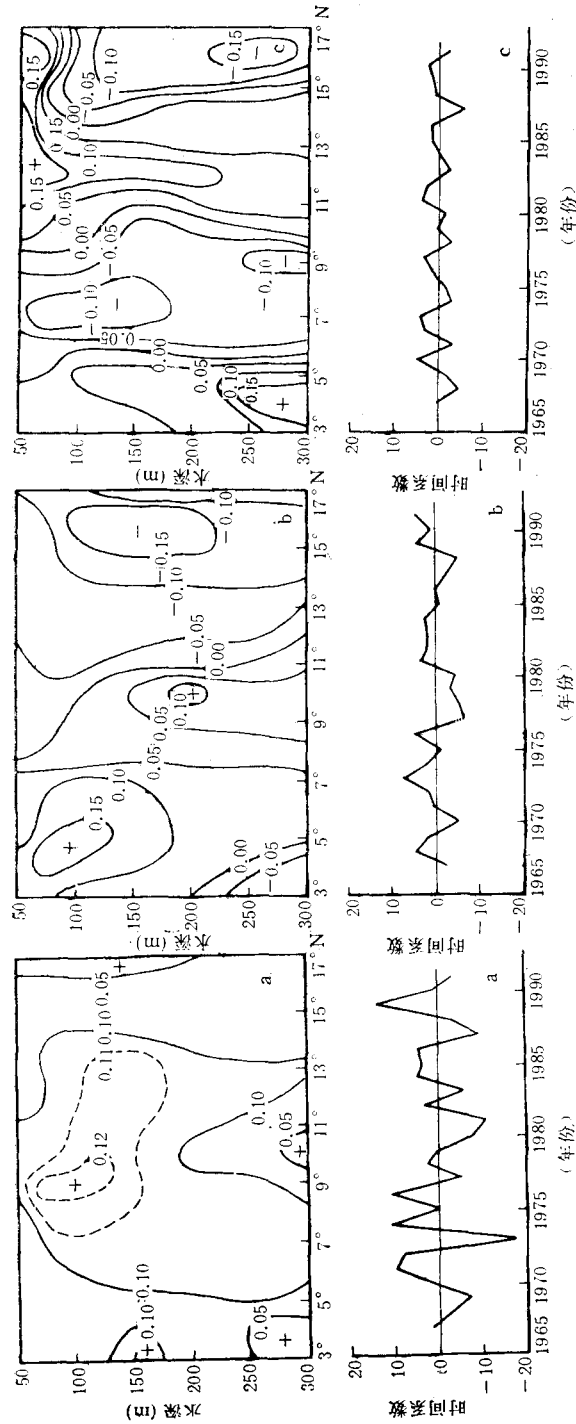


图 1 冬季暖池域次表层水热含量场前 3 个特征向量场及其相应的时间系数

a. 第一特征向量场和时间系数； b. 第二特征向量场和时间系数； c. 第三特征向量场和时间系数

映大尺度海气系统异常的敏感区。值得指出的是,冬季第一特征向量场时间系数准2年和3.6年变化周期的揭示是很有意义的。因为前者与我国东部降水的准2年周期相合(赵汉光,1986),而后者又与副高的3.5年主振荡周期相近(符淙斌等,1977)。这为本文后半部分探讨冬季暖池域次表层水热含量场主要型与我国东部汛期降水和副高的关系提供了依据。

(2) 第二特征向量场的时空特征:冬季第二特征向量场的空间特征与第一特征向量场迥然不同,全域大体可以位于 8°N — 11°N 间、且随深度呈自南向北下倾之势的零值线为界划分为南、北两部分(图1b)。南侧部分除 3°N — 4°N 的200m以深存有一范围极小的负值区外,均为正值;北侧部分全为负值。正高值中心(>0.15)位于 5°N 的100m层附近,负高值中心(<-0.15)位于 16°N 的150m处。对照热带太平洋流系分布表明,第二特征向量场的空间特征实际上反映了冬季热带太平洋北赤道逆流和北赤道流这两大流系对次表层水热含量场的影响是相反的。该型时间系数年际变化的主周期为8.1年,此外2.6年的变化周期也较明显。

夏季第二特征向量场的主要特征是断面南($<8^{\circ}\text{N}$)、北($>15^{\circ}\text{N}$)两侧为正值区;中部除 10°N 附近的100m层以浅存有小范围正值外,全为负值区;零值线分别分布于 6°N 和 14°N — 15°N 间。南、北两侧正高值中心的特征值都大于0.15,分别位于 3°N 的300m和 15°N 的150m处。这种分布趋势与冬季一样也大致反映了夏季北赤道逆流和北赤道流对热含量场变化所起的作用是相反的。至于断面北侧的正值区,则是北赤道流北界摆动引起的热含量的变化。该型时间系数的最大熵谱分析表明,第二特征向量场的年际变化以12.1年周期为主。此外2.4年的周期变化也较显著。

(3) 第三特征向量场的时空特征:冬季第三特征向量场的空间特征较特殊,全域出现两个正值区和两个负值区,而且自南向北正、负值区相间排列(图1c)。这表明冬季热带太平洋北赤道逆流和北赤道流流系内部热含量场变化不一致,也就是说,冬季这两大流系的主轴区与其边缘处次表层水热含量的变化是不同的。由于该型的方差贡献较小(7%),所以它所反映的冬季两流系内部的变化对热含量场的影响是较小的。由图1c可见,该型时间系数的年际变幅较小,其主要变化周期为2.2年和3.1年。

夏季第三特征向量场的主要空间特征是断面南侧为负值区,北侧除存在2个范围极小的负值区外,都为正值区;其间的分界线(零值线)自 4°N 的50m处向北下倾扩伸至 11°N 的300m处。这一分布特征大体上反映了夏季北赤道逆流和北赤道流这两大流系内部热含量变化的一致性,这与冬季的情况不同。该型时间系数的年际变幅偏小,最大熵谱分析表明,它具有2.3年和4.1年周期变化。

二、冬季暖池域次表层水热含量场主要型 与我国东部汛期降水关系

许多研究表明,热带太平洋的热状况,特别是SST与我国汛期(6—8月)降水关系密切(陈烈庭,1977;黄荣辉等,1994),那么热带西太平洋暖池域次表层水热含量变异与我国汛期降水的关系又是如何呢?为探讨这个问题,作者用冬季热带西太平洋暖池域次表层

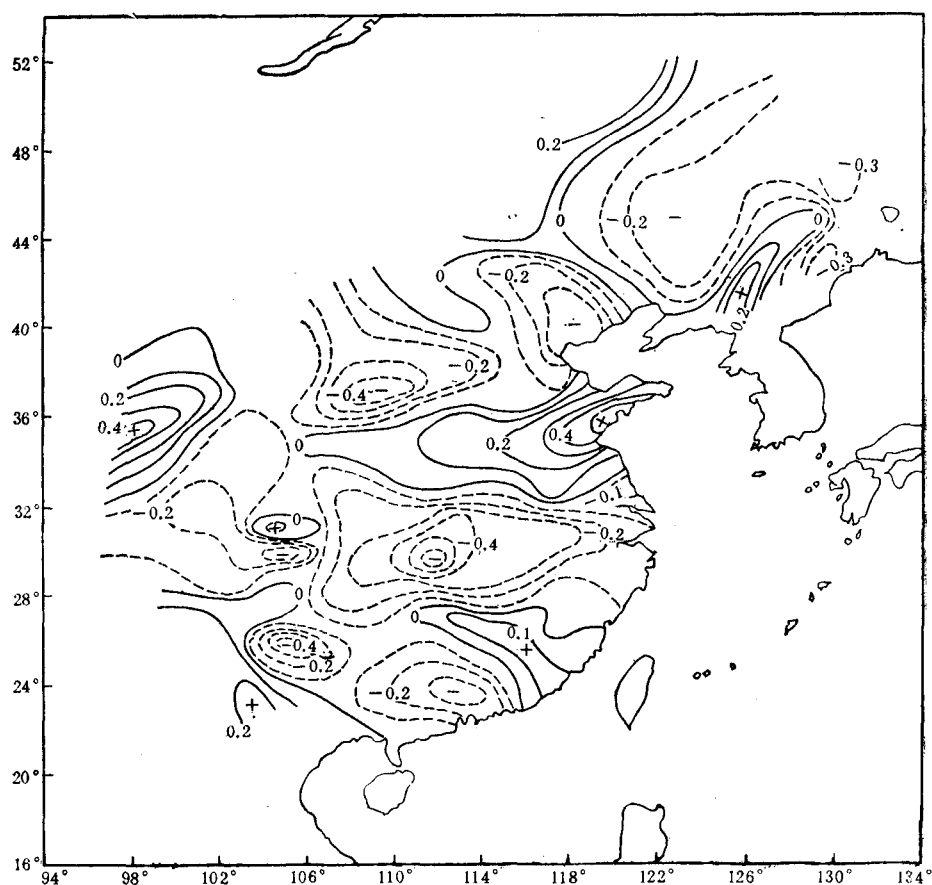


图2 冬季暖池域次表层水热含量场 EOF1 型时间系数与
我国汛期降水的相关系数分布

水热含量场 EOF1 型时间系数与同期(1967—1991)我国 160 个台站汛期降水距平百分率进行了相关分析。从两者的相关系数分布(图 2)可清楚地看出,我国东部有两个相关系数较高的区域,即长江中下游负相关区和黄淮正相关区,这两个区的相关系数绝对值都大于 0.5,最大值分别为 -0.60 和 0.56 ,信度都超过 0.01;此外,尚存在着两个相关系数绝对值大于 0.4 的次高值区,即华北负相关区和华南负相关区,其最大相关系数分别为 -0.42 和 -0.41 ,信度都超过 0.05。如此大范围的高相关区的存在充分说明了两者的相关程度是可信赖的,也就是说,热带西太平洋暖池域次表层水热含量与我国汛期降水确实存在着较密切的关系。

1. 长江中下游区 长江中下游地区降水年际变化较大,尤其是季节性降水变化更大,属多旱涝地区。从 1967—1991 年长江中下游区(恩施、常德、宜昌、岳阳、武汉、屯溪、安庆、南京和东台 9 个台站)汛期降水的年际变化趋势(图 3a)看,该区降水大致可分为两个阶段:1980 年以前负距平占优势,1980 年及其以后正距平明显偏多。从图 3 长江中下游汛期降水(a)与冬季暖池域次表层水热含量主要型(c)的年际变化对比中可以看出,极大多数年份两者具有明显的反向对应关系,特别是 1969 年、1980 年、1983 年和 1991 年的洪涝及 1972 年、1978 年和 1985 年的干旱都有较好的对应,只有 1981 年和 1989 年对应

关系略差。最大熵谱分析表明,长江中下游区汛期降水有多个变化周期,其中达到显著性周期检验水平 ($\alpha = 0.05$) 的有 11 年和 2.7 年两个变化周期。后者与冬季暖池域次表层水热含量主要型的主周期(2.5 年)是一致的。这表明了两者关系的密切性。

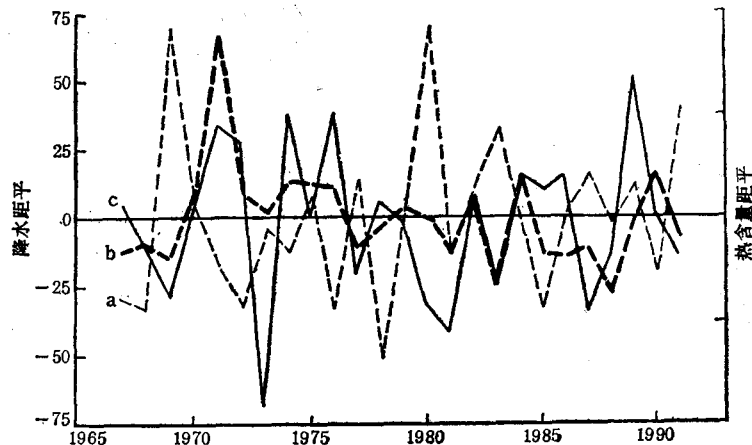


图3 长江中下游(a)和黄淮区(b)汛期降水及冬季暖池域次表层水热含量场 EOF1 型时间系数(c)年际变化

2. 黄淮区 黄淮区的降水既不属于华北雨带,也不属于江淮雨带,是类似于两者之间的过渡带。黄淮区(南阳、蚌埠、徐州、赣榆、菏泽、临沂、潍坊、青岛和烟台 9 个台站) 1967—1991 年汛期降水的年际变化曲线(图 3b)表明,该区汛期降水的年际变幅较长江中下游区为小,其变化的总趋势是 1980 年及其以前以正距平占主导,1980 年以后负距平明显偏多,这与长江中下游区降水年际变化趋势恰好相反。从图 3 中还可以看出,黄淮区降水与冬季暖池域次表层水热含量场主要型(c)间存在着较好的相关关系,两者除 1986 年以后出现约 1 年的位相差以外,其余各年都呈同向的对应变化。由最大熵谱分析得出,黄淮区汛期降水的变化周期以 2.7 年最显著,其次为 4.9 年,前者与冬季暖池域次表层水热含量场主要型的变化周期(2.5 年)是相近的,这进一步表明了两者关系的可靠性。

综上所述可见,冬季热带西太平洋暖池域次表层水热含量与长江中下游和黄淮区汛期降水之间确实存在着较好的相关关系,即冬季次表层水热含量较常年偏多,则长江中下游汛期降水有减少趋势,而黄淮区则有增多趋势;反之亦然。

三、冬季暖池域次表层水热含量场主要型与副高关系

副高是夏半年影响我国天气气候的重要系统,它的位置、强度和持续性与我国东部地区大范围旱涝有着十分密切的关系,已有的研究表明,热带东太平洋的 SST 和黑潮海域的热交换对副高的变动有很重要的影响(符淙斌等,1977;黄荣辉等,1994)。为了探索热带西太平洋暖池域次表层水热含量与副高的关系,作者分析了冬季暖池域次表层水热含量场 EOF1 型时间系数与同期(1967—1991)副高各特征量间的相关关系。

1. 同期关系 分析表明,1967—1991 年间冬季暖池域次表层水热含量与副高各特

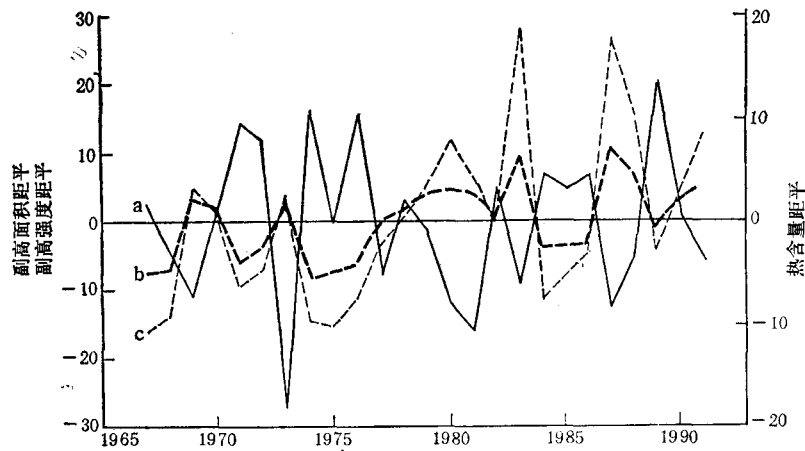


图4 冬季暖池域次表层水热含量场 EOF1 型时间系数 (a)、
副高面积(b)和强度(c)的年际变化

征量的年际变动具有很好的相关关系,其中与副高的面积和强度指数的关系尤为密切(图4)。由图4可以看出,25年间它们的年际变化具有相反趋势,特别是次表层水热含量较高(低)年与副高面积较小(大)和强度较弱(强)年都有很好对应。两者的相关系数分别为 -0.61 和 -0.59 ,信度都超过 0.002 。最大熵谱分析得出,1967—1991年间副高面积和强度年际变化的主要周期分别为3.6年、4.6年和4.6年、3.6年,与冬季暖池域次表层水热含量的3.6年主要变化周期极为相近,这进一步表明了两者关系的密切性,即当热带西太平洋暖池域次表层水热含量增大时,副高将变弱;而当次表层水热含量减小时,副高将加强。

2. 时滞关系 对1967—1991年冬季(1月)次表层水热含量分别与同期逐年各月副高面积和强度进行时滞相关分析发现,两者的良好相关期(信度超过 0.01)分别出现在热含量超前副高面积和强度1—3个月和7—8个月,最佳相关期出现在热含量超前3个月,其相关系数分别达 -0.76 和 -0.73 ,信度都超过 0.001 。由此可见,副高面积和强度的变化与3个月前次表层水热含量的关系最密切。也就是说,副高对冬季热带西太平洋暖池域次表层水热含量的变动存在3个月的滞后响应,这一结果与符淙斌等(1977)和臧恒范等(1984)得出的结论是一致的。

四、结 语

根据以上分析,可以得出以下结论:

(1) 冬、夏季暖池域次表层水热含量场主要型随大尺度海气系统异常而波动。在厄尔尼诺事件期间,热含量场为负距平;在反厄尔尼诺事件期间,热含量场为正距平。热含量变化最显著的区域位于逆流槽。热含量场主要型的变化主周期为准2年、3.6年和4.9年。

(2) 冬季暖池域次表层水热含量与我国东部汛期降水存在较好的相关关系。其中,与长江中下游区为负相关,与黄淮区为正相关。

(3) 冬季暖池域次表层水热含量与副高面积和强度具有相反的年际变化趋势,且有相近的变化周期。两者的相关系数相应为 -0.61 和 -0.59 ,信度都超过 0.002 。副高对冬季暖池域次表层水热含量的变化存在3个月的滞后效应。

本文仅分析了冬季暖池域次表层水热含量与我国东部汛期降水和副高的相关关系,至于其物理过程,尚有待进一步研究。

参 考 文 献

- 陈烈庭,1977,东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响,大气科学,1(1):1—12。
- 邹娥梅、王宗山、徐伯昌,1991,沿 137°E 断面(1967—1987)海洋热状况的变化及其与埃尔尼诺事件的关系,海洋学报,13(6):753—766。
- 赵汉光,1986,我国降水振荡周期特征的初步分析,大气科学,10(4):426—430。
- 赵永平、陈永利,1984,黑潮区域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—33。
- 黄荣辉、孙风英,1994,热带西太平洋暖池热状况及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响,大气科学,18(2):141—151。
- 符淙斌、李克让、陈永申等,1977,热带海洋对副热带高压长期变化的影响,科学通报,22(7):313—317。
- 臧恒范、王绍武,1984,赤道东太平洋水温对低纬大气环流的影响,海洋学报,6(1):16—24。
- Andow, T., 1987, Year-to-year variation of oceanographic subsurface section along the meridian of 137°E , *Oceanographical Magazine*, 37(1-2): 47—73.

VARIATION OF THE SUBSURFACE WATER HEAT CONTENT IN THE TROPICAL WESTERN PACIFIC WARM POOL AREA AND ITS RELATION TO PRECIPITATION IN EASTERN CHINA AND TO THE WESTERN PACIFIC SUBTROPICAL HIGH*

Weng Xuechuan, Zhang Qilong and Yan Tingzhuang
(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences*)

ABSTRACT

The study on the space-time characteristics of the subsurface water heat content fields in the Tropical Western Pacific Warm Pool area showed that the subsurface water heat content fields fluctuate with a large scale abnormal air-sea system. In the study area, the heat content anomaly fields are negative during El Nino events, but positive during La Nina events.

There are relatively close relations between the subsurface water heat content in winter and the precipitation in the middle and lower reaches of the Changjiang River or the precipitation in the Huanghe River-Huaihe River area. When the subsurface water heat contents are higher than normal, the precipitation decreases in the middle and lower reaches of the Changjiang River but increases in the Huanghe River-Huaihe River area, and vice versa.

The subsurface water heat content in winter is of a contrary interannual variation trend to both indexes of area and intensity of the Western Pacific Subtropical High and its variation period is nearly equal to those of both indexes of Subtropical High.

* Contribution No. 2440 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.