

巴伦支海海冰异常对初夏大气环流和 东亚天气影响的数值研究

郑庆林 王云恒

(中国气象科学研究院, 北京)

摘 要

本文利用在 NCAR 气候模式 CCM1(R15L12)基础上改变为用于长期数值预报的 CCM1(R15L7), 以 1991 年 5 月 2 日 12 时(GMT)国家气象中心客观分析资料为初始场, 分别以巴伦支海附近海域不同的海冰边界作为下垫面极冰条件, 进行了相应的月长期数值预报试验。以研究该海区海冰对大气环流特别是东亚天气的影响。试验<A>以接近于 91 年 5 月平均冰边界作为极冰边界条件, 试验和试验<C>分别对应于海冰异常偏多和异常偏少两种情况。

试验结果显示控制试验<A>的预报与实况有较好的相关, 表明 CCM1(R15L7)模式具有较可信的月预报能力。试验结果还表明, 试验海区海冰异常主要存在两个波列影响到中低纬度。对东亚初夏天气也有着不可忽视的重要作用, 影响着经由巴尔喀什湖和贝加尔湖之间通道南下的冷空气活动的强度。海冰偏多时, 东亚冷空气活动增多, 范围较大; 反之, 海冰偏少时, 冷空气较弱且活动位置较北, 使得冷暖气流交绥区位于黄河流域及以北, 雨带随之北移。因此在研究初夏东亚环流和天气异常时, 海冰也应作为一个重要的因子加以考虑。

关键词: 长期数值预报, 海冰异常, 大气环流数值试验。

一、引 言

冰雪、海洋和植被等共同组成大气活动的下垫面条件, 其热力状况的异常是造成大气环流和天气气候异常的重要原因之一。近年来, 对海洋特别是与 ENSO 相联系的热带海温异常对大气影响的研究取得了不少有意义的结果。如果作为赤道热源的海域能影响大气异常的话, 那么作为热汇的极地冰也必然在天气气候系统演变中有其不可忽视的作用。

多年来, 人们对于海冰在天气气候系统中所起的作用从统计分析和数值模拟两方面做了不少的研究工作^[1,2]。这些工作都表明极冰异常关系到全球气候变化, 是引起全球性气候灾难不可忽视的因子。Herman 和 Johnson^[3](1978)利用 Goddard GCM 模式对由观测资料给定的北半球极端最大和最小冰范围进行了两组试验, 指出北极冰异常不仅有能力引起

* 本文于 1996 年 4 月收到。

中高纬大气的响应,而且还可通过环流演变影响到副热带地区。杨修群等^[6](1995)研究了夏季北极冰异常对大气环流和亚洲季风的影响,发现北极冰偏多和赤道中东太平洋增暖对夏季北半球大气环流具有同等效应,在某些情况下海冰的影响还可超过海温的影响。

这些研究工作要么着眼于冬季整个北半球极冰异常对大气环流的影响,要么着重于夏季环流对冰区异常的响应。而对初夏环流转换季节极冰特别是对东亚有较大影响的北大西洋东部极冰异常对大气环流影响的研究尚缺乏。在全球大气环流从冬到夏的季节变化中,东亚初夏环流的季节转换是其中的重要过程。初夏环流的异常将导致东亚梅雨季节异常,对东亚季风区的旱涝有很大影响。对于东亚初夏环流异常,郑庆林等^[7,9,11,12]已就海温、青藏高原等原因做了许多有意义的研究工作。本文考虑到极冰在大气环流演变中不可忽视的作用,针对巴伦支海附近不同的海冰边界设计进行了相应的月长期数值预报试验,以探讨该海区极冰异常对初夏大气环流特别是东亚环流和天气的影响。从而有利于提高对我国初夏天气异常的预报能力。

二、数值试验设计和模式预报结果检验

1. 数值预报试验设计

本文使用的模式是在 NCAR 的 CCM1(R15L12)气候模式^[8]基础上经改变用于长期数值预报的 CCM1(R15L7)^[9],模式的主要改变有:模式层由原来的 12 层改变为 7 层,并对云、辐射、对流调整及水平扩散过程等垂直结构方面做了相应的精细改变;模式的初值由原来用 NCAR 固定个例资料改变为能用任意的日常的客观分析资料,采用非线性平衡方程初值化方法^[10]以滤掉初值中的重力惯性振荡,用 $P-\sigma$ 面的迭代插值方法^[11]以提高初值精度;用实际地形替代了原模式中的地形,提高了模式的地形高度,建立了逐月更新的下垫面资料。由于减少了计算量,使它能在 486(或 586)微机上及时做出月、季预报,被成功地用于长期数值预报业务和各种研究工作。

本文设计和进行了试验<A>、、<C>,分别对应于三种海冰边界(如图 1 所示),本文中海冰及海冰异常均是指巴伦支海附近海域即 $0^{\circ}-70^{\circ}\text{E}$ 之间海域,实际上包括挪威海、巴伦支海和喀拉海等海区的海冰。图 1 中海冰边界线 a 是根据 NCAR 气候海冰资料考虑 91 年 5 月月平均海温和模式结冰温度而得到的,因而接近于 91 年 5 月实际海冰边界,它对应于试验<A>作为控制试验。试验和试验<C>则分别对应于海冰边界线 b 和 c,是对应于该海区海冰常偏多和异常偏少两种情况的异常试验。三个数值预报试验<A>、、<C>中海表温度都取 5 月份气候平均海温,以排除海温对模拟结果的影响。各试验均以国家气象中心 1991 年 5 月 2 日 12 时(GMT)客观分析资料为初始场,各积分 30 天。并分别以试验和试验<C>与试验<A>结果之差值作为大气对极冰异常偏多和异常偏少的响应,通过对比试验和试验<C>的预报结果可以发现巴伦支海海冰异常时大气的显著差异之所在。

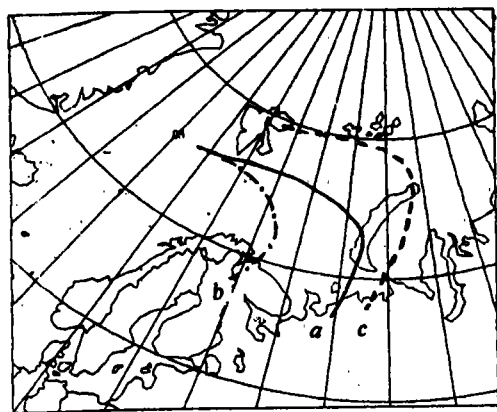


图 1 数值试验所取冰区范围

(a、b、c 三条曲线分别对应于试验
<A>、试验及试验<C>)

表 1 试验<A>在亚洲 500hPa
要素场的 r 、 ϵ_F 、 ϵ_{PERS}

要素场	r	ϵ_F	ϵ_{PERS}
H	81	20	42
T	30	17	26
U	52	32	33
V	60	27	28

2. 数值试验<A>的预报结果及其检验

为了考查 CCM1(R15L7)模式的长期预报能力,下面给出了数值预报试验<A>的部分预报结果。本文中 r 代表模式预报距平(高度、温度或风速距平)场与所对应的实际距平(高度、温度或风速距平)场之间的相关系数,分别以 ϵ_F 和 ϵ_{PERS} 表示模式预报和持续性预报与实况场之间的均方根误差。表 1 给出了试验<A>的预报结果在亚洲范围内(本文指 $17.5^\circ \sim 60^\circ \text{N}$, $60^\circ \sim 140^\circ \text{E}$)各要素场的 r 、 ϵ_F 、 ϵ_{PERS} 值。

由表可见试验<A>的月预报结果达到了较高的水平,位势高度场和风场的 r 都超过了 50%,位势高度场甚至达到 81%,且 ϵ_F 都小于 ϵ_{PERS} ,高度场 H 的 ϵ_F 不到 ϵ_{PERS} 的 1/2。

下面分别给出了月平均 500hPa 位势高度场和西风 U 场在欧亚大陆上试验<A>的预报结果及实况图,作为代表以考查模式的预报能力。

由图 2-1 可见 500hPa 上极涡平均位置在 73°N 、 75°E 附近,高度在 240gpm 以下,欧亚大陆高低纬为不同的系统控制,高纬度主要是里海、咸海附近及以北的脊和由极涡南伸至贝加尔湖附近的槽,低纬度系统较明显的是青藏高原附近及以东的宽广槽区。这与当月实况(图

2-2)较一致。实际上预报温度场对当月实际温度锋区也有较准确的反应(图略)。

模式对 500hPa 风场也有满意的预报结果,这可由图 2-3 与图 2-4 的对比中发现。图 2-3 为月平均预报西风场,可见由中国东部沿海经日本南部海域到白令海为一较强的急流轴,其次就是中心位于乌拉尔山以西的急流轴,里海、咸海上空为弱西风区,这些系统都是当月实况图(图 2-4)上实际存在的并且位置和强度都与实况值较一致,只有出现在中国西南和中南半岛北部的急流中心是一个虚假的西风加强区。

从经向风 V 场可以考察当月冷空气的活动路径和水汽输送,91 年 5 月实况经向风 V 场上,从中西伯利亚经巴尔喀什湖和贝加尔湖之间一直到长江以北地区都是北风区,南北风交绥于长江流域,使得当年南北降水少,江淮部分地区出现涝渍。试验<A>的预报结果(图略)显示,虽然华北北部部分地区北风偏弱,南海有一个虚假北风区出现,但是长江中下游的冷暖气流交绥区和日本上空的交绥区都较好地预报了出来。

上面分别讨论了试验<A>的 500hPa 位势高度场、温度场和风速场月平均预报结果及

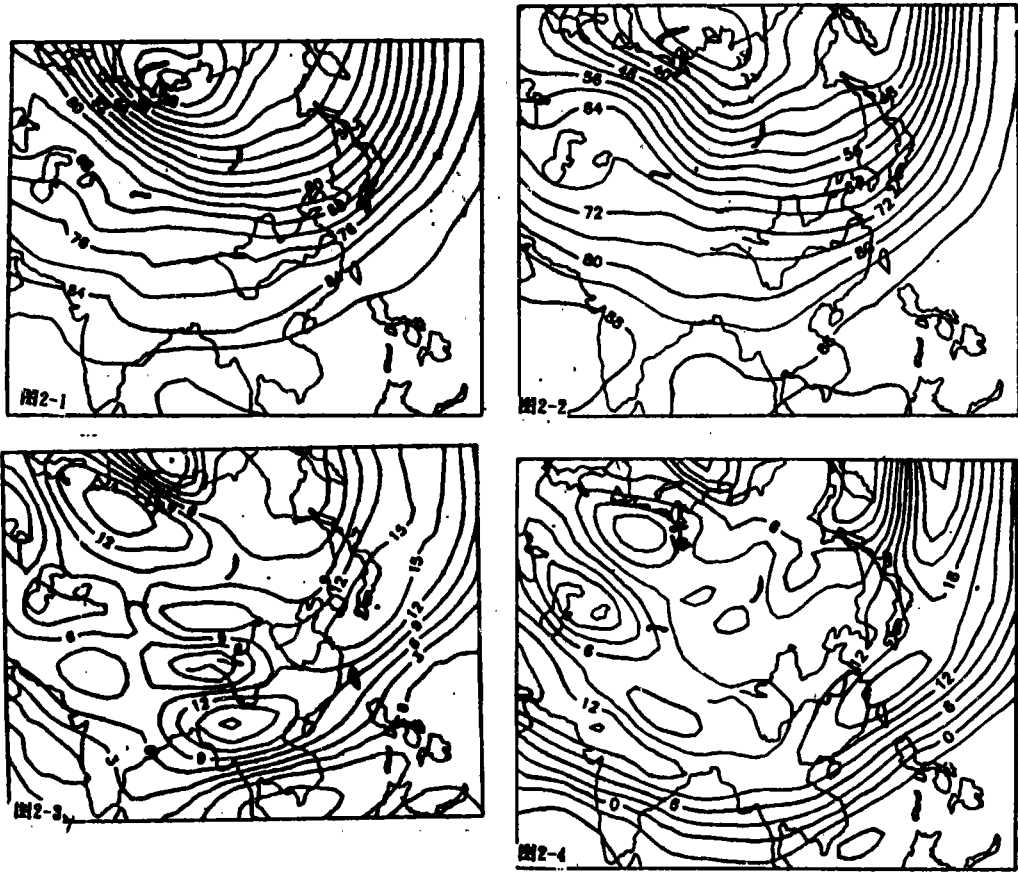


图 2 试验<A>500hPa 预报场和 1991 年 5 月实况场对比

(图 2-1 位势高度(H)预报场,图 2-2 位势高度(G)实况场,

图 2-3 西风(U)预报场, 图 2-4 西风(U)实况场)

与实况的对比分析,实际上从逐旬演变图(图略)上也可以看到试验<A>的预报结果确实较好地模拟出了欧亚大陆上大气环流的演变和调整过程,可以较准确地预报出各旬气流的变化和雨带的南北移动。从而可以确信本文所用模式 CCM1(R15L7)在试验海区海冰取正常情况下确实有较好的月预报效果,这正是另外两个试验和<C>用来探讨该海区海冰异常对初夏东亚大气环流影响的基础。

三、海冰异常对大气环流的影响

1. 极冰偏少时对大气环流的影响

(1)位势高度场上的响应

图 3-1 为海冰异常偏少时北半球位势高度场的响应。由图可见最大影响是海冰异常区的局地效应,由局地主要可通过两个波列影响到中低纬度地区,一个是经东西伯利亚和白令海上空向北太平洋方向的波列,一个是经新地岛附近海域向北大西洋方向的波列。另外在欧亚大陆上由新地岛和黑海、地中海方向也有一个较明显的传播波列。

在东亚范围内大气的响应则有东西向正负相间分布的特征,较高纬度引起的高度差异要大于低纬度的差异且符号相反。高纬度最大差异正中心(中心值大于 9gpm)位于新地岛以南的喀拉海海面上,其两侧由于补偿作用是负差异中心,以其东侧西伯利亚地区的位势高度降低较多,这使得原贝加尔湖附近槽(图 2-1)向东偏北方向偏转,最终将影响冷空气路径也偏向东北方向;低纬度孟加拉湾以北大陆上有一负值中心,中国东部大陆及南海一带是正值区,这种形势有利于形成东高西低的环流场从而有利于南支槽前暖湿气流的更向北的输送。

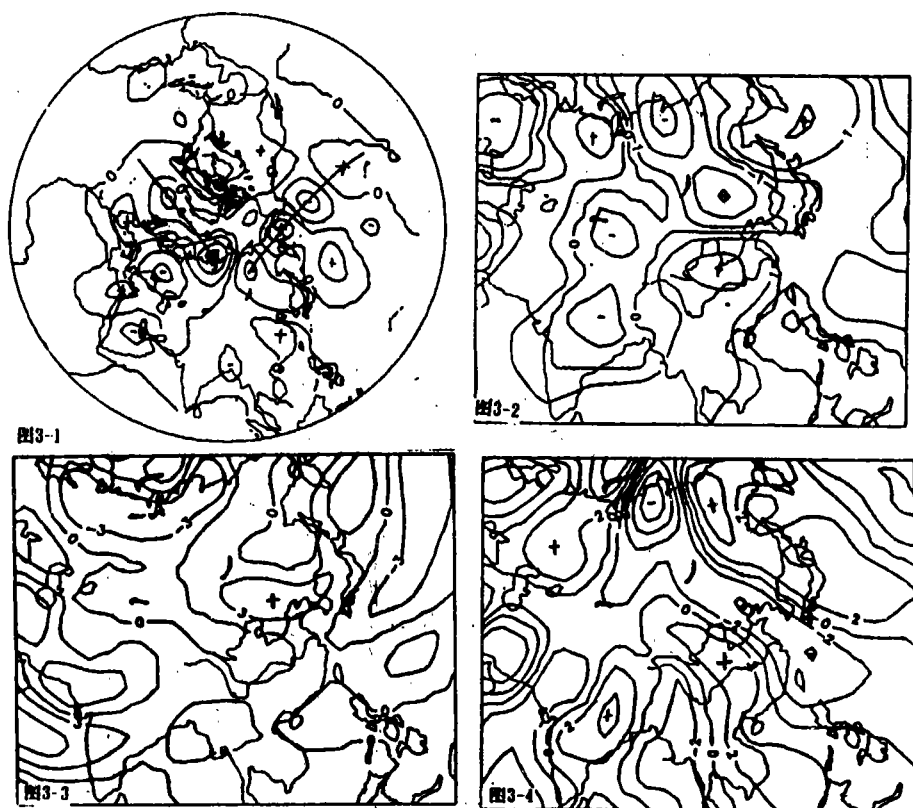


图 3 数值试验<C>与试验<A>的 500hPa 预报差异场

(图 3-1 位势高度场在北半球的响应,图 3-2 温度(T)差异场,

图 3-3 西风(U)差异场,

图 3-4 经向风(V)差异场)

从逐旬差异图(图略)上还可以发现,新地岛以南的正差异中心逐旬加强且不断北移接近于海冰异常区,表明海冰异常局地效应逐旬增加。另外两个负差异中心,一个位于欧洲大

陆,发现第三旬的值小于第二旬的值且有逐旬南移的趋势,这正是欧亚大陆上向南传播波列的结果;另一个东西伯利亚到中国东北的负值区逐旬增强,表明海冰异常的影响向北太平洋方向传播的增强。

(2)对东亚温度场的影响

月平均温度场差异图(图3-2)上,最大的减温区在东西伯利亚到中国东北地区,与高度场的负异常区相对应。其两侧差异正负相间分布。中国大陆上大部分地区与高度异常一致,为东正西负的差异分布,但增温的范围要大于增高的范围,最大增温位于黄河与长江流域之间,中心最大值在 $+2^{\circ}\text{C}$ 以上,使得在黄河以北到黄渤海上空温度梯度有增大的趋势。

从逐旬预报差异场可以看到温度异常的变化趋势为:泰梅尔半岛至中国东北的减温逐旬增加,表明冷空气活动的增多,而华中地区的增温区范围逐旬扩大。由此可见,海冰减少在东亚可以导致中国东北初夏低温和华中的温度升高。

(3)对西风急流的影响

由图3-3可见,欧洲大陆北部和中亚北部沿海岸地区西风急流减弱,中国华北北部和东北大部西风增强,长江、黄河之间和中国西北都有西风的减弱,可见海冰的减少使东亚初夏西风急流轴线北抬。

几个逐旬减弱的西风带表明当地冷空气活动的减少,它们是中国长江、黄河流域中上游、西北和江南大部分地区以及中心位于泰梅尔半岛附近、西风减弱达 12m/s 以上的亚洲大陆北部沿海岸狭长的西风减弱区。另外贝加尔湖到中国东北有较明显的急流加强。

(4)对经向风的影响

由图3-4可清楚地看到,海冰异常使由泰梅尔半岛经贝加尔湖到黄、渤海及中国东部沿海北风增强,而由巴尔喀什湖和贝加尔湖之间南下的北风范围缩小、强度减弱,中南半岛一直到河套地区是南风加强区,从而使南北气流交绥区有北移的趋势。表明冷空气南下的路径偏向了北边。

2. 海冰异常增多时对大气环流的影响

(1)对位势高度场的影响

北半球位势高度对海冰偏多的响应(图略)也表现为由局地向北太平洋和北大西洋两条传播波列。在欧亚大陆上则由图4-1可见,高度差异近于南北向分布,新地岛及其周围海域是较大的位势高度升高区,往南的欧亚大陆上是大片的负差异区,在乌拉尔山两侧分别有两个负值中心,再往南中亚大陆南部为弱的正差异区,在中国大陆一直到华南的广大区域内位势高度都降低。

(2)对东亚温度场的影响

月平均 500hPa 温度场差异图(图4-2)上,在乌拉尔山所在经度范围内温度场异常也是南北向分布,这三个正负相间的异常区分别是:新地岛附近的正增温区,欧亚大陆北部的降温区和里海、威海到巴尔喀什湖及以南的增温区。降温区在乌拉尔山两侧分别有两个位于欧洲大陆上和西伯利亚地区的负中心。中国东部有 1°C 的增温区,中国西部和印度北部地区是 -1°C 的降温。巴尔喀什湖和贝加尔湖之间南扩的减温区范围具有逐旬扩大的趋势,

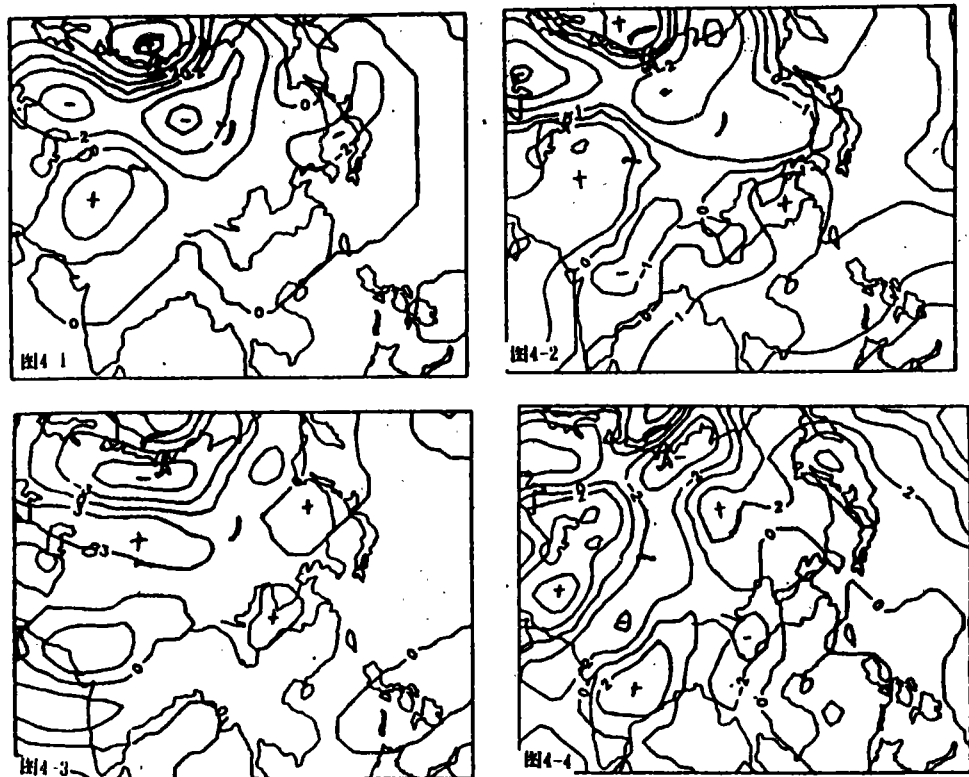


图 4 数值试验与试验<A>的 500hPa 预报差异场

(图 4-1 位势高度(H)差异场, 图 4-2 温度(T)差异场,

图 4-3 西风(U)差异场, 图 4-4 经向风(V)差异场)

而原在第二旬出现的华中的增温区则逐旬南压, 到第三旬已南移至华南和中南半岛一带。

(3) 对西风急流和经向风场的影响

由图 4-3 可见, 除欧亚大陆北部有急流的减弱外, 巴尔喀什湖和威海北部地区和中国大陆上都有西风的增强, 表明冷空气在这些地区活动的增多。图 4-4 经向风差异场上最明显的就是由泰梅尔半岛附近经巴尔喀什湖和贝加尔湖之间一直到中国除华东和华南部分地区以外的大范围的北风加强, 其位置与图 4-2 所示的降温区范围较一致。

3. 两种异常试验的对比分析

上面分别给出了试验<C>和试验与试验<A>的差异场从而发现了巴伦支海海冰偏少和偏多对东亚初夏大气环流的影响, 为了进一步认识海冰异常的显著影响, 下面给出了试验和试验<C>的预报差异场, 从中可以看到该海区海冰异常对大气环流的显著影响之所在。

由图 5-1 可见海冰异常的影响最大出现在欧亚大陆的北部并由此主要通过两条波列



图 5 数值试验与试验<C>的 500hPa 预报差异场

(图 5-1 位势高度(H)在北半球的差异场,图 5-2 温度(T)差异场,

图 5-3 西风(U)差异场,

图 5-4 经向风(V)差异场)

而影响到中低纬度地区,一条经东西伯利亚到北太平洋,另一条传向北大西洋。在东亚则表现为出现在由欧亚大陆中部沿贝加尔湖和巴尔喀什湖之间到中国东部沿海的大片负差异区,而这正是影响中国的冷空气南下路径,可见试验海区内海冰异常与中国大陆春末夏初的冷空气活动密切相关。

试验与<C>的温度场差异图(图 5-2)上也清楚地显示出较大温度差异出现在乌拉尔山附近经巴尔喀什湖和贝加尔湖之间一直到中国大部,且与高度场差异符号一致,进一步反映了海冰异常主要影响东亚的冷空气活动。从逐旬演变图(图略)上可以看到从第二旬开始在中西伯利亚就有 -4°C 的负中心出现,第三旬长江流域及以北大部分地区都出现了负值,中心最大值已达 -8°C 。

西风 U 场差异图(图 5-3)显示,海冰异常偏多时,威海和巴尔喀什湖以北的大陆到中国长江、黄河之间和华南地区到西北太平洋上的西风轴线加强,换句话说,也就是海冰偏少时不利于这些地区的西风维持。而在华北北部和东北一直到鄂霍次克海南端西风的变化趋

势则相反,即海冰增多时西风减弱,反之西风增强。V场差异图(图5-4)表明,影响东亚的有两个明显的经向风异常带,它们是:巴尔喀什湖与贝加尔湖之间到中国长江、黄河之间流域甚至到华南大部分地区,和由泰梅尔半岛经贝加尔湖到中国黄渤海甚至东海。这两个异常带变化趋势正相反,表明海冰增多则经由巴湖与贝湖之间南下影响东亚的冷空气活动增多,海冰减少则冷空气更多地是影响东亚北部地区。

四、结论及讨论

以上的分析表明,本文中的CCM1(R15L7)模式能较好地作出月长期数值预报,文中试验<A>就比较好地预报出了91年5月份的各要素场。正是以此为基础本文设计了反映巴伦支海海冰异常的两个试验(试验和<C>),用以探讨该海域海冰变化对大气环流尤其是东亚天气的影响。通过对三个试验预报结果的对比分析,可以总结得出以下结论:

1. 巴伦支海海冰异常不但可以在局地引起较大的环流改变,还可通过两条明显的波列影响到北太平洋和北大西洋大气环流。

2. 巴伦支海海冰异常偏少时,对东亚各要素场有重要影响,使得中国的冷空气活动的减少和位置的偏北,华中温度升高、东北和华北出现低温。另外使中国东部沿海位势高度上升,西南内陆位势高度下降,有利于形成东高西低的环流场,从而使暖湿气流可以推进到较北的位置,雨带也随之北移。

3. 试验海区内海冰异常偏多时,在东亚使大部分地区北风增强,尤其明显地显示出经由巴尔喀什湖和贝加尔湖之间到中国大陆的北风加强区与温度场上的降温区范围较一致;西风急流增强区在中西伯利亚经巴尔喀什湖与贝加尔湖之间到中国北方大陆和华南南部沿海到西北太平洋上,同时这些地区位势高度都有下降。表明这些区域冷空气活动的增多。

4. 比较海冰异常偏多和异常偏少两种极端情况,可以发现在东亚无论高度场、温度场还是风速场都清楚地显示出较大的差异,主要出现在由中西伯利亚经巴尔喀什湖和贝加尔湖之间通道南下到中国北方大陆,而这正是影响东亚的冷空气主要路径。可见试验区内海冰异常对东亚初夏天气的影响主要是对冷空气活动的影响。海冰减少时冷空气活动较弱且偏北;反之,中国大陆受冷空气影响的范围增大,温度降低。

参 考 文 献

- [1] Walsh, J. E., (1983), The role of sea ice in climatic variability: Theories and Evidence. *Atmosphere - Ocean* 21, 229 ~ 242.
- [2] Gooby, R., (1980), Polar process and world climate (A brief overview). *Mon. Wea. Rev.* 108, 1939 ~ 1942.
- [3] Herman, G. F., and W. T. Johnson, (1978), The Sensitivity of the general circulation to Arctic sea - ice boundaries: A numerical experiment. *Mon. Weather Rev.* 106, 1649 ~ 1664.
- [4] Warshaw, M., and R. R. Rapp, (1973), An experiment on the sensitivity of a global circulation model. *J. Appl. Meteorol.* 12: 43 ~ 49.
- [5] Newson, R. L., (1973), Response of a general circulation model of the atmosphere to removal of the Arctic ice cap.

Nature, 241:39-40.

- [6] 杨修群、谢倩、黄士松, 夏季赤道中东太平洋海温和北极海冰异常对大气环流影响的数值模拟,《海洋学报》, 1995, 第 17 卷, 第 1 期, P24-31。
- [7] 郑庆林、郝英博、宋青丽、古瑜, 北半球海温对中期天气影响的数值研究,《海洋学报》, 1993, 第 15 卷, 第 4 期, P28-36。
- [8] D. L. Williamson, J. T. Kiehl, V. Ramanathan, R. E. Dickison and J. J. Hack, (1987): Description of the NCAR Community Climate model(CCM1), TCAR/TN-285+STR, NCAR Thechnical Note.
- [9] Zheng, Q. L., and Q. L. Song., Numerical experiments on the influence of the Surface Drag Effect of the Qinghai-Xizang plateau on the late spring. The first session of international workshop on TIPEX (IWTE-I).
- [10] 郑庆林, 非线性平衡方程初值化方法及其在中期数值天气预报试验中的应用,《气象科学研究院院刊》, 1987, 第 2 卷, P113-122。
- [11] Zheng, Q. L., and Liou, K. N., (1986), Dynamic and thermodynamic influence of the Tibetan Plateau on the atmosphere in ageneral circulation model, J. Atmos. Sci., 43:1340-1354.
- [12] 郑庆林、燕启民、青藏高原对其东北侧初夏干旱天气影响的数值研究,《气象学报》, 第 52 卷, 第 1 期, 1994, P25-31。

NUMERICAL STUDY ON THE INFLUENCE OF THE ANOMALY OF SEA ICE IN BARENTS SEA ON THE GENERAL CIRCULATION AND THE WEATHER IN EAST ASIA DURING THE EARLY SUMMER

Zheng Qinglin Wang Yunheng

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing*)

Abstract

To investigate the influence of various sea ice boundaries in Barents Sea on the general circulation and the weather in east Asia during the early summer, three experiments for the monthly numerical weather prediction were performed by employing the CCM1(R15L7) Model which was formed from NCAR'S CCM1(R15L12) Model by making some changes for being more suitable to the long-range numerical weather prediction, and the objective analysis data of 2 May 1991 were used as initial field. Three runs are corresponding to three different ice boundaries in Barents Sea which are as follows: (1) an approximate monthly mean ice boundary of May in 1991, (2) the maximum extent of ice, (3) the minimum extent of ice.

The results of experiments show that the anomaly of ice boundary in the Barents Sea affects the intensity of the activities of the cold air which moves through the channel between the Lake Bajkal and the Lake Balkhash. When the ice boundary is at its minimum extent in Barents Sea, the activities of the cold air weaken and accompany with a northward withdraw and the interface of the cold air and the warm-damp flow will occur over the basin of the Yellow River or more northward of it. On the contrary, when the ice boundary extends to its maximum extent, the intensity of the activities of the cold air strengthens and its influence reaches to the south of china.

Key Words: Long-range numerical prediction, Sea ice anomaly, General circulation.