

北半球夏季南极冰气候效应的数值试验

杨修群 黄士松

(南京大学大气科学系, 210008)

提 要

本文利用9层菱形截断15波的全球大气环流谱模式进行了7月份南极冰正常和无冰的对比试验, 进而研究了南极冰的短期气候效应. 结果表明: 南极冰的移去首先在局地区域加热了低层空气, 减弱了南极极涡, 然后使中高纬度超长波发生变异尤其是使纬向3波增幅. 超长波的异常引起东亚季风区低层越赤道气流加强, 从而增强东亚季风环流, 增大中南半岛到西太平洋的降雨量和相应的对流潜热释放, 结果在北半球激发了一支从东亚到北美的二维Rossby波列, 使北半球大气环流发生异常. 文中对这一气候效应的动力学机制进行了讨论, 并认为南极冰不仅是影响南半球环流异常而且也是影响亚洲季风甚至是北半球环流异常的重要因子.

关键词: 夏季; 南极冰; 气候效应.

一、引 言

极冰, 作为大气热机中的冷源, 其效应一直是气候研究中的一个古老而又新鲜的问题. 就其热力学性质而言, 极冰对大气的影晌主要通过二种途径: 一是大大减少海气间的热量和水汽交换; 二是极冰表层具有大的反照率, 改变了辐射平衡. 多年来人们对极冰气候效应已进行了较多的研究, Schell^[1]曾对上个世纪末到本世纪初有关极冰对气候影响的观测事实进行了详细的总结, 这个总结表明极冰的异常确与世界某些局地区域气候变化之间存在明显的关系, 但对这种关系的物理和动力学过程十分模糊. 随着探测资料的不断完善和计算机技术的不断发展, 人们不仅能对极冰变异及其与大气环流的关系进行大量统计分析^[2], 而且也能借助计算机对极冰气候效应的动力学过程进行专门的研究. 这些研究可以划分为观测分析和数值模拟两方面, 仅就数值模拟而言, Fletcher^[3]研究了模式大气中移去北极冰大气所产生的响应, 指出无冰的北极将引起北半球弱的温度梯度和弱的纬向环流. Williams^[4]用1月和7月NCAR GCM模拟了两万年前的冰河期和当今气候的差别. 之后Fletcher^[5]以及Warshaw和Rapp^[6]用GCM试验证实了海冰在高纬气候中的重要性, 但没有给出极冰对半球及全球气候的影响. 比较适当的工作则是Herman和Johnson^[7]用GLAS的GCM模拟了北极海冰边界范围的变化对月平均气候的影响, 结果表明极冰边缘的异常完全可能改变中高纬度某些地区的局地气候, 文中也提及了高纬度和副热带地区的可能相互作用. 关于

1990年7月9日收到, 10月2日收到修改稿.

南半球极冰的影响, Simmonds^[8,9] 进行了 GCM 试验, 得出与北半球较为类似的结果. 上述研究在确定极冰气候效应的事实方面具有重要意义, 但也存在一些问题: (1) 局限于对大气平均态或全球平均状况的考虑, (2) 极冰气候效应的水平以及三维结构不甚清楚, (3) 极冰效应的物理和动力学机制缺乏解释, (4) 较多地局限于极冰对半球的影响. 事实上, 正如 Walsh^[10] 指出的那样, 极冰在气候变化中的作用, 其效应可以从空间尺度的局地、区域到半球甚至全球尺度, 而相应的时间尺度可以从局地尺度的数日(或数周)到全球尺度的数百年.

针对上述存在的问题, 作者^[11] 曾对冬夏两季北极冰的气候效应进行了观测分析和数值试验研究, 结果表明: 北极冰异常作为一种大气外部强迫作用, 通过波列不仅可以影响北半球大气环流异常, 而且通过越赤道传播, 可以改变南半球环流, 和赤道 SST 相比大气的冷源在大气异常中同样占有明显的地位. 那么, 南极极冰在全球环流和短期气候变化中有怎样的作用呢?

近年来, 黄士松等^[12,13] 根据一系列研究提出了亚洲季风环流的体系结构, 指出北半球夏季季风环流的变动和南半球系统存在较好的滞后振荡关系, 并认为季风变异与南半球中高纬度超长波活动有联系, 从而强调了南半球对亚洲季风环流以及北半球环流异常的重要性. 因此有必要弄清引起南半球中高纬超长波变异的原因. 赤道 SST 异常当然是引起南半球环流异常的原因之一, 但南极极冰冷源效应也应加以重视.

鉴于上述目的, 本文着重研究了 7 月份 GCM 中完全移去南极冰时全球大气产生的响应, 进而分析提出南极冰对全球短期气候影响的可能机制.

二、模式和试验介绍

本文使用的模式是由 Bourke(1977)和 McAvaney 等(1978)在澳大利亚数值气象研究中心(ANMRC)发展起来的, 后经 Simmonds 改进为一个菱形截断 15 波的全局九层全球大气环流谱模式. 其动力学框架建立在原始方程组基础上, 包括涡度方程、散度方程、连续性方程、静力学方程、热力学方程和水汽方程. 垂直方向分为九个 σ 层, 水平方向利用球谐函数展开, 菱形截断到 15 个波, 计算中采用 Eliassen 和 Makenhauer 的全变换法. 时间积分采用半隐式方案, 时步为 30 分钟. 模式的物理过程考虑了水平和铅直次网格扩散, 边界层采用了 Monin-Obuhov 理论参数化, 考虑了下垫面粗糙度、潮湿度、极冰和雪盖等因子, 也考虑了地形作用. 其中海表面温度、雪盖和极冰均取为气候月平均分布, 在陆地和冰面上使用热平衡方程确定表面温度. 辐射过程考虑了长波和太阳短波辐射, 吸收气体包括水汽、CO₂ 和 O₃, 云为低、中、高三层, 其中低云考虑其厚度. 对流参数化采用 Manabe 的对流调整方案.

本文利用 7 月模式进行了两个数值试验, 一是由初始场不改变任何参数进行积分的控制试验, 另一是由同一初始场开始积分但南极冰完全从模式中移去而以海水代之的异常试验. 初始场取 7 月模式运行若干天中的某一天, 每个试验均积分 60 天, 取后 30 天平均进行分析. 为了弄清南极冰从模式中移去后全球大气产生的响应, 本文将以异常试验减去控制试验的差值来表征南极冰移去后所产生的气候效应.

三、试验结果分析

本节将从五个方面论述南极冰移去在全球产生的气候效应以及这种气候效应的动力学机制。

1. 南极冰移去对南半球大气环流的影响

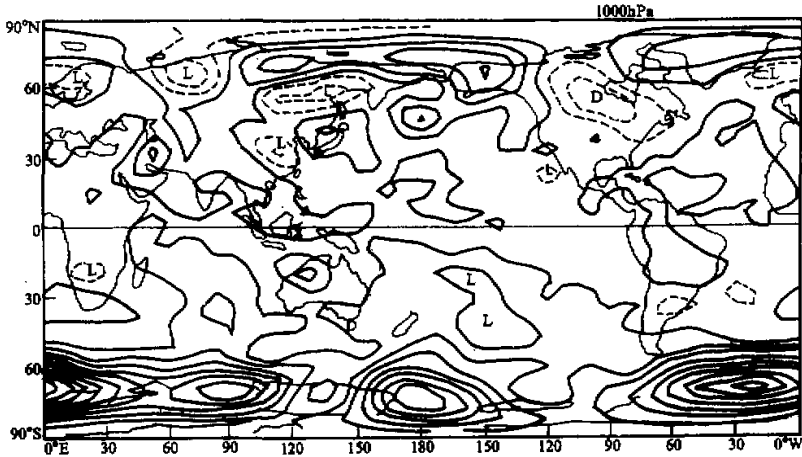


图1 无南极冰时1000hPa气温响应

图中虚线表示负值，等值线间隔为2℃。

一般认为极冰的效应首先是改变局地区域低层空气温度。图1给出了无南极冰时低层气温的响应，由图可见，围绕南极大陆沿海低层空气温度分别存在三个正温度差值中心，这表明这里低层气温明显增高，反映了无冰极区相对成为一热源区，从而加热了局地空气。图2a, b分别为500hPa和200hPa高度场的响应，可见南半球高纬地区主要为正的高度场差值中心，这反映了无南极冰时南半球极区附近中高层等压面高度显著增高，南极极涡强度减弱。但在南半球中纬度高度场的响应与高纬极区明显不同，表现为波列状分布特征，且纬向波数具有3波的特点，三个低值中心分别位于西南印度洋、澳洲南部洋面和南太平洋中部。高度场的这种响应特征在高低层位相相同，且振幅随高度增加，具有明显的相当正压结构。进一步分析南半球大气响应的高度场振幅随纬度变化的波谱特征，如图3所示，对纬向波数 $k=0$ 而言，由于南极冰的移去，0波振幅在高纬极区增强最大(图3a)，而1和2波在较高纬度明显减幅(图3b, c)，与此同时，3波却在中高纬度异常增幅(图3d)。另外1波在50°S附近也有所增幅。高度场的上述响应特征表明：南极冰的移去在临近极区的高纬主要减弱极涡，而在中高纬度主要是产生波列，且具有纬向3波特征。因此，南极冰移去使得南半球中高纬度超长波发生变异，从而使南半球大气环流发生异常。

2. 南极冰移去对亚洲季风环流的影响

北半球夏季亚洲季风环流是联系南北半球环流相互作用的重要系统，其变异也是影

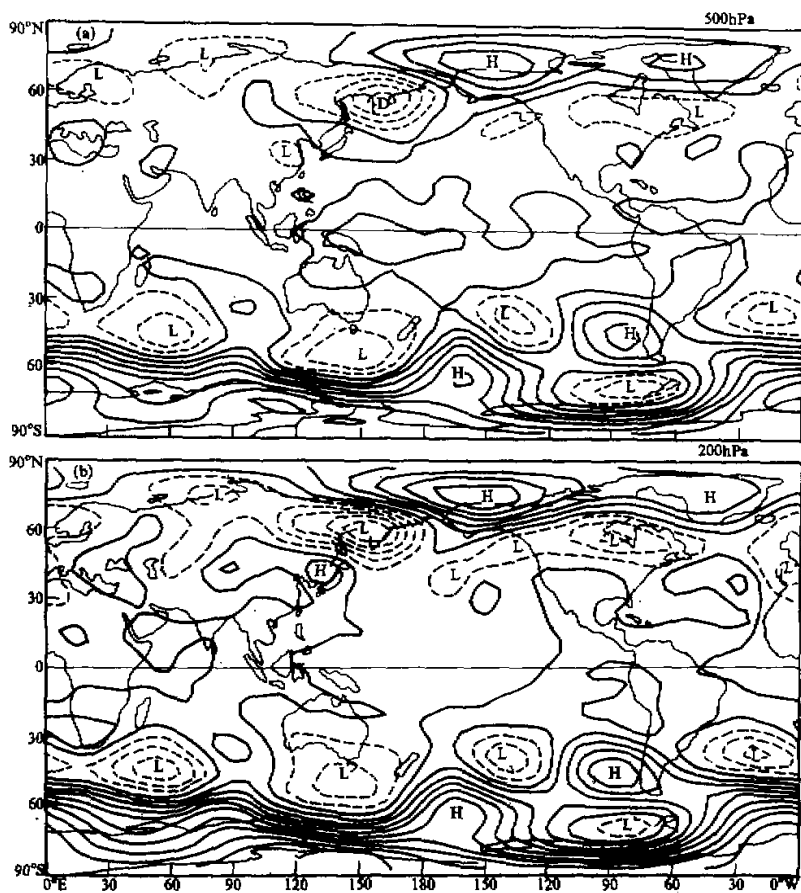


图2 无南极冰时全球高度场响应

(a) 500hPa, (b) 200hPa. 虚线为负值, 等值线间隔为40位势米

响东亚及我国夏季气候异常的重要原因之一。那么南极冰的移去是否对亚洲季风环流有影响呢?

图4给出了高低层全球范围的水平风场响应, 由850hPa可见, 在亚洲季风区从澳洲西侧的反气旋环流开始, 有一股东南气流指向赤道, 然后在 75°E — 105°E 附近越过赤道转为偏西风一直影响到东亚地区, 使得中南半岛、西太平洋和我国东部地区为明显的气旋性差值环流控制, 而此时 45°E 附近有自北向南的越赤道气流, 低层季风区水平风场的这种响应特征, 正好反映了 75°E — 105°E 处低层自南向北的越赤道气流加强, 使得东亚低纬地区低层季风低压环流增强, 在200hPa上, 东亚和西太平洋地区为一明显的反气旋性差值环流, 这种形势十分有利于低层辐合上升和高层气流的辐散, 季风区上述响应特征表明: 无南极冰东亚季风环流将增强, 而印度季风环流变化不明显甚至有所减弱。

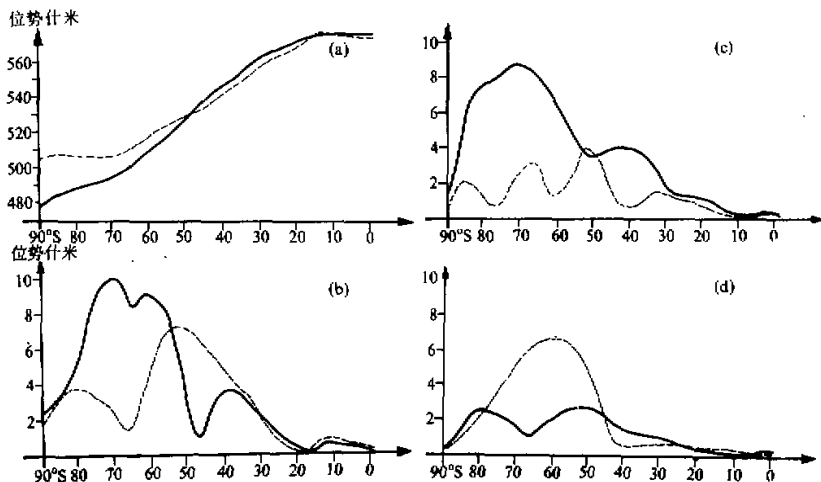


图3 南半球 500 hPa 高度场振幅随纬度变化的波谱特征

(a) $k=0$, (b) $k=1$, (c) $k=2$, (d) $k=3$. 图中实线表示正常试验, 虚线为无冰试验

3. 南极冰移去对全球降雨量的影响

图 5 给出了南极冰移去时全球降雨量的异常分布, 由图可见, 最大正降雨量异常中心分别位于中南半岛、我国东南部以及西太平洋地区, 其次位于赤道中太平洋、西非沿海和墨西哥湾南部附近区域, 负中心位于印度尼西亚、阿拉伯海和印度半岛西部地区. 降雨量的异常分布是和亚洲季风环流变异紧密联系的, 即中南半岛到西太平洋地区的降雨量偏大是和东亚季风环流增强相对应的. 南极冰移去增强了东亚季风和季风降雨量.

4. 南极冰移去对北半球大气环流的影响

这一半球环流异常如何影响另一半球环流是近年来南北半球相互作用问题中令人十分注重的课题. 南极冰作为一半球的极地下垫面外强迫作用, 其移去使南半球大气环流以及亚洲季风环流发生异常, 则势必会影响北半球大气环流. 事实上, 由图 2a, b 可以明显地看出无论是 500hPa 还是 200 hPa 自东亚到北美均存在一支十分清楚的二维 Rossby 波列, 即表现为从我国的低中心、日本的高中心、东西伯利亚的低中心、阿拉斯加的高中心到美国中南部的低中心. 其最大低中心位于鄂霍次克海北侧附近, 最大正中心位于阿拉斯加. 事实上这支波列和 Nitta^[14] 及黄荣辉^[15] 等揭示的夏季遥相关型完全一致, 作者^[16] 也曾用 GCM 模拟加以证实, 并提出它与季风区越赤道气流引起的西太平洋对流加热异常有重要联系. 上述响应特征表明: 南极冰移去不仅可以使南半球超长波发生异常, 而且这种异常可以通过季风区影响到北半球, 使北半球夏季大气环流发生异常.

5. 南极冰气候效应的动力学机制讨论

从极冰的热力学特性可知, 极冰的存在主要起着冷源的热汇作用, 当不考虑南极冰时, 围绕南极大陆的原先海冰区则相对成为一个热源区. 对于这样一个处于北半球夏季南极高纬地区的热源外强迫作用, 大气的响应主要通过两种途径: 一是对外强迫

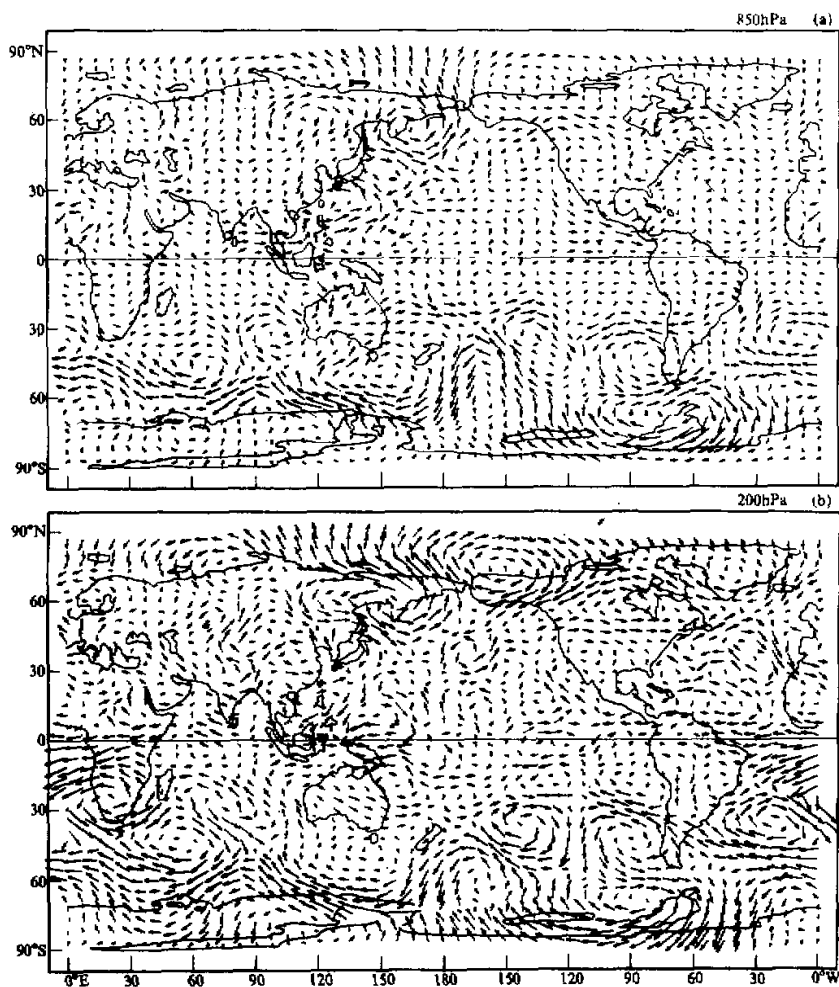


图 4 无南极冰时水平风场响应

(a) 850 hPa, (b) 200 hPa.

的局地响应,使得低层气温升高,南极极涡减弱,同时由于热成风效应,使得高纬西风气流减弱;二是通过二维Rossby波列能量频散影响整个南半球环流异常.由于南半球大气环流本身的特征决定了这种波列主要呈纬向3波的特点,事实上这个特点和Mo^[17]分析的南半球冬季高度场遥相关型中的纬向3波特征是完全一致的.南半球超长波的变异尤其是中高纬纬向3波的明显增幅,使得亚洲季风系统中的南半球成员发生异常,如图4a中850 hPa 澳洲西侧反气旋环流加强,使东亚季风环流增强,季风降雨量增大,而对流潜热释放也随之增强,异常的潜热释放激发了北半球夏季从东亚到北美的二维 Rossby 波列,从而使北半球大气环流发生异常.这就是本文提出的夏季南极冰气候效应的动力学机制.

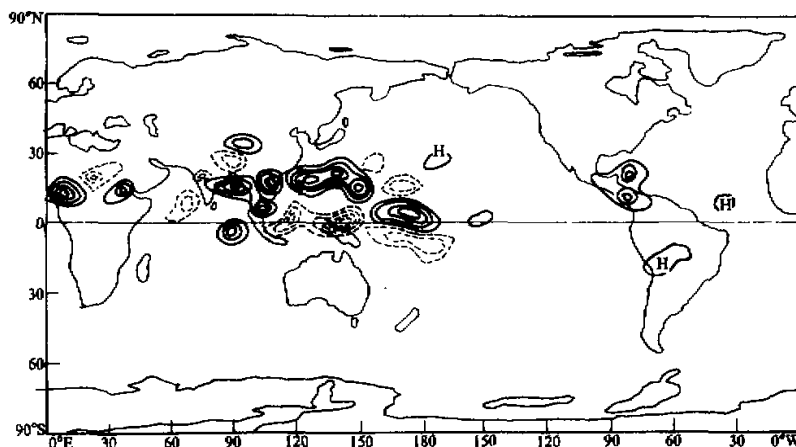


图5 无南极冰时全球30天降雨量的异常分布

虚线表示负值, 等值线间隔为 100mm.

四、结 论

通过上述对比试验, 分析了北半球夏季南极冰移去所产生的全球短期气候效应, 得到以下主要结论:

(1) 南极冰移去时, 南半球高纬地区低层空气温度升高, 南极极涡减弱, 西风气流随之减弱. 在中高纬主要是使超长波发生变异, 尤其是使纬向 3 波增幅, 从而使南半球大气环流发生异常.

(2) 南极冰移去, 东亚季风环流明显增强, 相应的季风降雨量增大.

(3) 南极冰移去可以在北半球激发一支从东亚指向北美的二维 Rossby 波列, 从而使北半球大气环流发生异常.

因此, 可以认为夏季南极冰是影响南半球环流、亚洲季风环流甚至是北半球大气环流异常的重要因子.

参 考 文 献

- [1] Schell, I. I., 1939, Polar ice as a factor in seasonal weather: In reports on critical studies of methods of long-range weather forecasting, *Mon. Wea. Rev. Suppl.*, No. 39, 27—51.
- [2] Walsh, J. E. et al., 1979, Interannual atmospheric variability and associated fluctuations in arctic sea-ice extent, *J. Geophys. Res.*, 84, 6915—6928.
- [3] Fletcher, J. O., 1968, The influence of Arctic pack ice on climate, *Meteor. Monogr.*, No. 30, 93—99.
- [4] Williams, J. et al., 1974, Simulation of the atmosphere using the NCAR global circulation model with ice age boundary conditions, *J. Appl. Meteor.*, 13, 305—317.
- [5] Fletcher, J. O. et al., 1971, Numerical simulation of the influence of Arctic sea ice on climate, WMO Tech. Note, No. 129, Proc. IAMAP/IAPSO/WMO, Symp. energy fluxes over polar surfaces, Moscow.

- [6] Warshaw, M. and R. R. Rapp, 1973, An experiment on the sensitivity of a global circulation model, *J. Appl. Meteor.*, **12**, 43—49.
- [7] Herman, G.F. and W.T. Johnson, 1978, The sensitivity of the general circulation to Arctic sea ice boundaries: A numerical experiment, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1649—1664.
- [8] Simmonds, I., 1981, The effect of sea-ice on a general circulation model of the Southern Hemisphere, in: *Sea Level, Ice and Climatic Change*, I. Allison (Ed.), IAHS Publ. No. 131, Int. Assoc. Hydrol. Sci., 191—206.
- [9] Simmonds, I. et al., 1986, The circulation changes induced by the removal of Antarctic sea ice in a July general circulation model, *Proceedings of the second international conference on Southern Hemisphere Meteorology*, Wellington, Newzealand, American Meteor. Soc., 107—110.
- [10] Walsh, J. E., 1983, The role of sea ice in climatic variability: Theories and Evidence, *Atmosphere-Ocean*, **21**, 229—242.
- [11] 杨修群、谢 倩、黄士松, 1990, 极冰短期气候效应的数值试验研究, 待发表.
- [12] 黄士松、汤明敏, 1987, 论东亚季风体系结构, *气象科学*, **7**, 1—16.
- [13] 黄士松、汤明敏, 1988, 西北太平洋和南印度洋上环流系统的中期振荡和遥相关, *气象科学*, **8**, 1—13.
- [14] Nitta, T., 1987, Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 373—390.
- [15] Huang, R. et al., 1987, Influence of the heat source anomaly over the western tropical Pacific for the subtropical high over east Asia. *Proceedings of the international conference on the general circulation of east Asia*, Chendu, China, 40—45.
- [16] 杨修群、黄士松, 1989, 马斯克林高压的强度变化对大气环流影响的数值试验, *气象科学*, **9**, 125—138.
- [17] Mo, K.C. et al., 1985, Teleconnection in the Southern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 22—37.

Climatic Effect of Antarctic Sea Ice in the Northern Hemisphere Summer — A Numerical Experiment

Yang Xiuqun Huang Shisong

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, 210008)

Abstract

The short-term climatic effect induced by the removal of Antarctic sea ice is studied with a perpetual July general circulation model. Results show that the removal of Antarctic sea ice appears to weaken the polar vortex through heating the local atmosphere, and then to make the ultralong waves anomalous, especially to amplify the amplitude of the zonal wavenumber 3 in middle and high latitudes of the Southern Hemisphere. Anomalies of the Southern Hemispheric circulation intensify the east Asian monsoon and rainfall, which excite a wavetrain from the East Asia to the North America and cause anomalies of the Northern Hemispheric circulation.

An interpretation of dynamical mechanism of the Antarctic sea ice climatic effect is also proposed.

Key words: The Northern summer; Antarctic sea ice; Climatic effect.