0577-6619/2012/70(2)-0222-35 *Acta Meteorologica Sinica* 气象学报

耦合模式对冬春季节南、北极涛动的季节气候预测能力研究*

钱卓蕾[1,2,3,4] 王会军[1,3] 孙建奇[1,3]

QIAN Zhuolei[1,2,3,4] WANG Huijun[1,3] SUN Jianqi[1,3]

1. 中国科学院大气物理研究所，北京，100029
2. 绍兴市气象局，浙江绍兴，312000
3. 中国科学院气候变化研究中心，北京，100029
4. 中国科学院研究生院，北京，100049

1. *Institute of Atmospheric Physics, Chinese Acadamy of Sciences, Beijing* 100029, *China*
2. *Shaoxing Meteorological Bureau, Shaoxing, Zhejiang Province* 312000, *China*
3. *Climalic Change Research Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029, *China*
4. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*

2010-04-09 收稿，2011-04-01 改回.

Qian Zhuolei, Wang Huijun, Sun Jianqi. 2012. The hindcast of winter and spring Arctic and Antarctic Oscillation with the coupled climate models. *Acta Meteorologica Sinica*, 70(2):222-235

Abstract This study evaluates the ability of the global coupled climate models in hindcasting the Arctic Oscillation (AO) and Antarctic Oscillation (AAO). The results show that the models can well simulate the spatial distribution of AO with better results in winter than in spring. In the troposphere in spring, the simulation of AO on the whole is still relatively good with a comparatively high correlation with the NCEP/NCAR reanalysis. The models can also well reproduce the spatial distribution of AAO throughout the year at all levels of the troposphere, and the spatial simulation is better at 850 hPa than at the surface. Although the simulation is better in winter than in other seasons, the seasonal variation is not so significant and the differences among different models are relatively small. In addition, the capability of the models for "predicting" the AO and the AAO index time series is limited, because only a few models can capture their observed interannual variability at the 95% significance level.

Key words Arctic Oscillation (AO), Antarctic Oscillation (AAO), EOF, Spatial mode, Time series

摘 要 研究评估了耦合气候模式对冬、春季北极涛动(AO)和南极涛动(AAO)的预测效能。结果表明，模式对于北极涛动和南极涛动的模拟能力都是比较强的，其中，对冬季的模拟能力要强于春季。冬季，几乎所有的模式都能很好地模拟出对流层内北极涛动的空间分布形态特点，空间相关系数很高。春季，大部分模式的模拟结果仍然是比较好，与再分析资料结果的空间相关性比较高。对于南极涛动，模式在全年对流层各个层次上都能比较好地刻画其空间分布，且模式在 850 hPa 等压面上的空间模拟效能要稍强于海平面。相对来说，冬季的模拟效果也稍强于其他季节，但是，差异不显著，模式与模式的差别也比较小。另外，模式对于北极涛动和南极涛动的时间序列模拟能力有限，时间序列相关系数只有少数几个模式达到显著性水平。

关键词 北极涛动(AO)，南极涛动(AAO)，经验正交函数(EOF)，空间模态，时间序列

中图法分类号 P46

* 资助课题：国家 973 项目(2009CB421406)、国家自然科学基金项目(40875048、40631005)和中国科学院重要方向性项目(KZCX2-YW-Q1-02)。

作者简介：钱卓蕾，主要从事东亚气候研究。E-mail：qianzl@mail.iap.ac.cn

1 引 言

20 世纪 80 年代末,Thompson 等(1998)在研究北半球中高纬度主要大气环流模式变动时,发现冬季海平面气压经验正交函数分解第 1 模态在空间上表现出中纬度和极区反位相变化的"跷跷板"异常变化,并将其命名为"北极涛动"(Arctic Oscillation,简称 AO),同时将此海平面气压距平场经验正交函数分解第 1 模态的时间序列定义为北极涛动指数。作为半球尺度的大气环流模态,北极涛动对于北半球气候有着重要影响。当北极涛动偏弱时,有利于阿拉斯加、北大西洋和俄罗斯等地的阻塞形势的发展和维持(Wallace,2000; Thompson, et al, 2000);冬季北极涛动还可以通过影响西伯利亚高压和东亚大槽,进而影响到东亚冬季风的变化(龚道溢,2001);在异常北极涛动的冬季,中国日气温方差的变化也存在很大不同(龚道溢等,2004);此外,北极涛动还可通过改变北半球中纬度海-气相互作用的方式,影响到太平洋年代际振荡的变化(孙建奇等,2005)。

近几来,一些研究发现在南半球中高纬度地区也存在类似北极涛动的一个大气涛动模态,即"南极涛动"(Antarctic Oscillation,简称 AAO),它表现为以南极大陆为中心的气压与 40°—50°S 中纬度地区反位相变化的特征。龚道溢等(1998)将南极涛动指数定义为 40°S 和 65°S 上标准化纬向平均海平面气压差。中国科学家对南极涛动进行了大量的研究,发现南极涛动和中国不同季节降水以及温度的紧密联系,并将其作为中国气候季节和年度预测的一个重要因子(高辉等,2003;Wang, 2006; Fan, 2007a, 2009a, 2009b; 王会军等,2007; Yue,et al, 2008)。研究还发现南极涛动与中国北方春季沙尘暴频次和北方气旋活动的关系也十分密切(Fan,et al,2004;范可等, 2007;Yue, et al,2008)。此外,对南极涛动空间结构的研究发现,南极涛动模态存在明显的空间不对称性(Fan,2007b)。南极涛动的这种空间不对称性对于东亚气候的变化存在一定程度的影响,相比而言,北极涛动的不对称性要弱很多(王会军等, 2008)。

除了同期影响,北极涛动和南极涛动对东亚气候的滞后影响也对该地气候的预测具有重要的指示意义。如晚春北极涛动为正位相时,夏季东亚急流位置偏北,中国长江流域到日本南部降水偏少,华南地区降水偏多(龚道溢等,2002)。春季南极涛动异常偏强,可以通过影响海洋性大陆地区的对流活动(Sun,et al,2009),从而最终导致中国长江流域夏季降水偏多(薛峰等,2003;Sun,et al,2009)。上述研究表明:北极涛动和南极涛动对中国气候有显著的影响,是非常重要的气候因子。祝亚丽等(2008)还针对两极涛动开展了预估研究,揭示了其未来的一些可能变化特征。但是,关于两极涛动在多大程度上可以由现今的耦合气候模式进行年际变化的预测尚是一个未知的问题。因此,本文将通过评估现有多个气候模式对于冬春季北极和南极涛动的预测能力来回答这个问题,并为下一步进行降尺度方法的相关研究奠定基础。

2 数据资料和方法

本文主要采用 DEMETER 计划的 7 个海-气耦合模式资料以及 ERA-40 全球再分析资料。7 个模式具体介绍见表 1,除了模式 MPI,其他模式有 9 个不同海洋初始场,实现方法是通过构建 3 个不同的海洋试验,其中一个控制试验由欧洲中心的 ERA-40 所提供的动量、热量和质量的传输数据来强迫,另两个扰动试验是通过在 ERA-40 资料的动量传输上加入日常风应力的扰动。扰动是从两个相对独立试验的月平均偏差数据里随机取值。另外,为了表示海表温度的不确定性,添加了 4 个海表温度的扰动,在回报试验中将其减去。和风应力的扰动一样,海表温度的扰动也是取值于两个相对独立海表温度试验的偏差。模式大气和海洋的初始条件直接由 ERA-40 提供。而对模式 MPI,采用的是一个不同的集合初始化过程。1987 年以后,在模式 Met Office 中,对海洋数据资料使用了同化过程,同时在 ECMWF 模式的敏感性试验中也采用了这种同化。

研究的时段为 1980—2001 年,12 月—次年 2 月代表冬季,3—5 月代表春季,研究对象分别为海平面气压场,850、500 和 200 hPa 位势高度场。主要方法是对 20°—90°N 和 20°—90°S 区域数据资料分别进行经验正交函数分解,分离出空间型和时间

表 1 DEMETER 的 7 个耦合模式介绍、试验初始化原则和耦合机制

Table 1 Information on the seven coupled models in the DEMETER project

	CERFACS	ECMWF	INGV	LODYC	Météo-France	Met Office	MPI
atmosphere component	ARPEGE	IFS	ECHAM-4	IFS	ARPEGE	HadAM3	ECHAM-5
resolution	T63 31 Levels	T95 40 Level	T42 19 Levels	T95 40 Levels	T63 31 Levels	2.5°×3.75° 19 Levels	T42 19 Levels
atmosphere initial conditions	ERA-40	ERA-40	coupled AMIP-type experiment	ERA-40	ERA-40	ERA-40	coupled run relaxed to observed SSTs
reference	Déqué 2001	Gregory, et al, 2000	Roeckner 1996	Gregory, et al, 2000	Déqué 2001	Pope, et al, 2000	Roeckner 1996
ocean component	OPA 8.2	HOPE-E	OPA 8.1	OPA 8.2	OPA 8.0	GloSea OGCM, based on HadCM3	MPI-OM1
resolution	2.0°×2.0° 31 Levels	1.4°×0.3° —1.4° 29 Levels	2.0°×0.5° —1.5° 31 Levels	2.0°×2.0° 31 Levels	182 GP× 152 GP 31 Levels	1.25°×0.3° —1.25° 40 Levels	2.5°×0.5° —2.5° 23 Levels
ocean initial conditions	ocean analyses forced by ERA-40	ocean analyses forced by ERA-40	ocean analyses forced by ERA-40	ocean analyses forced by ERA-40	ocean analyses forced by ERA-40	ocean analyses forced by ERA-40	coupled run relaxed to observed SSTs
reference	Delecluse, Madec, 1999	Wolff, et al, 1997	Madec, et al, 1998	Delecluse, Madec, 1999	Madec, et al, 1997	Gordon, et al, 2000	Marsland, et al, 2002
ensemble generation	windstress, SST perturbation	windstress, SST perturbation	windstress, SST perturbation	windstress, SST perturbation	windstress, SST perturbation	windstress, SST perturbation	9 different atmospheric conditions from the coupled initialization run (lagged method)

系数,对比模式和观测资料分析结果,以评估模式对于大尺度对象的预测能力。

3 模式预测结果评估分析

从 1980—2001 年春季海平面气压场和位势高度场多年平均的空间相关系数(表 2)可以看到,在不同高度,耦合模式模拟结果与再分析资料结果都表现出很高的相关性,相关系数都在 0.87 以上,气候态空间分布显示(图略),几乎所有模式都能模拟出位于大洋上的高压系统以及南极高纬度地区的绕极低压带。可见,模式对于基本气候态的模拟效果是良好的。在此基础上来研究耦合模式对南北半球热带外气候变率的主要模态,即北极涛动和南极涛动的模拟预测效能。

表 2 模式与再分析资料海平面气压场和位势高度场多年平均空间相关系数

Table 2 Spatial correlation coefficients of SLP and geopotential height between ERA-40 and the models simulations

	CERFACS	ECMWF	INGV	LODYC	Météo-France	Met Office	MPI	MME
R(SLP)	0.870	0.899	0.909	0.896	0.881	0.920	0.905	0.920
R(850 hPa)	0.936	0.950	0.955	0.952	0.932	0.947	0.945	0.954
R(500 hPa)	0.914	0.920	0.939	0.923	0.909	0.922	0.912	0.922
R(200 hPa)	0.901	0.907	0.918	0.908	0.896	0.910	0.895	0.906

3.1 模式对于冬季北极涛动的回报

要判断第1模态是不是北极涛动模态,除了取决于模态是否表现为极地与中高纬度地区大气质量的反相变化,还取决于这个模态是否具有与观测一致的"环状模"结构。分析冬季海平面气压场经验正交函数分解第1模态(图1),可以看到,极涡很强,中高纬度的中心广泛分布在北太平洋、北大西洋、欧亚大陆和北美大陆上,接近连续的带状,极值区域很显著,这些都说明冬季北极涛动强度很强。比较7个模式和7个模式集合平均(MME)可以看到,模式

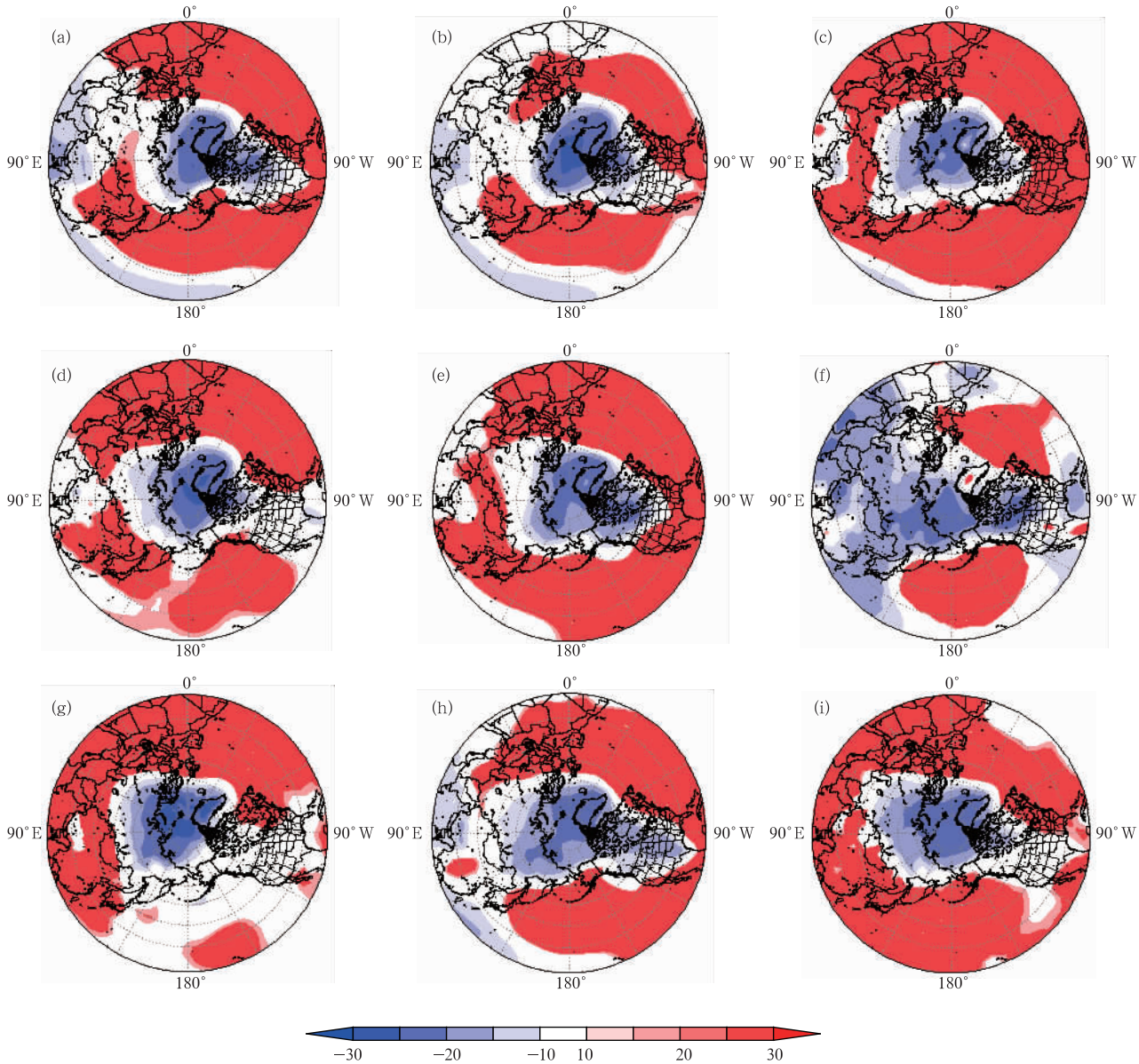

图1 由7个耦合气候模式资料、模式集合平均资料以及再分析资料得到的北半球(20°—90°N)冬季(12—2月)海平面气压场(标准化)的第1模态

(a. CERFACS, b. ECMWF, c. INGV, d. LODYC, e. Météo-France, f. Met Office, g. MPI, h. MME, i. ERA-40)

Fig. 1 The leading EOF mode of winter (September − February) SLP (standardized) over the Northern Hemisphere (20° − 90°N) in seven coupled climate models, MME, and ERA-40 reanalysis data

(a) CERFACS, (b) ECMWF, (c) INGV, (d) LODYC, (e) Météo-France, (f) Met Office, (g) MPI, (h) MME, and (i) the ERA-40 reanalysis data

对于冬季北极涛动环状模的模拟效果是很理想的，所有模式都能清楚地模拟出两大洋上的极值区域，极涡强度也模拟得比较准确，只是对于陆地上的极值区域，模拟结果有差异，比如模式 Met Office，只在两大洋上模拟出了两个极值区，陆地上没有明显的极值带分布。为了定量地分析模式模拟能力，借助泰勒图来做进一步研究，图中每个字母代表一个模式，空心圆代表观测值，字母到坐标原点的距离表示模式与观测的标准差比率，字母与坐标原点连线与纵坐标轴的角度表示相关系数的反余弦值。简单而言，即代表模式的字母离观测的空心圆点位置越近则表示模式模拟的北极涛动模态越接近于再分析资料的结果。从图 2a 可以看出，冬季，模式对于北极涛动的空间模拟得比较好，空间相关系数都在

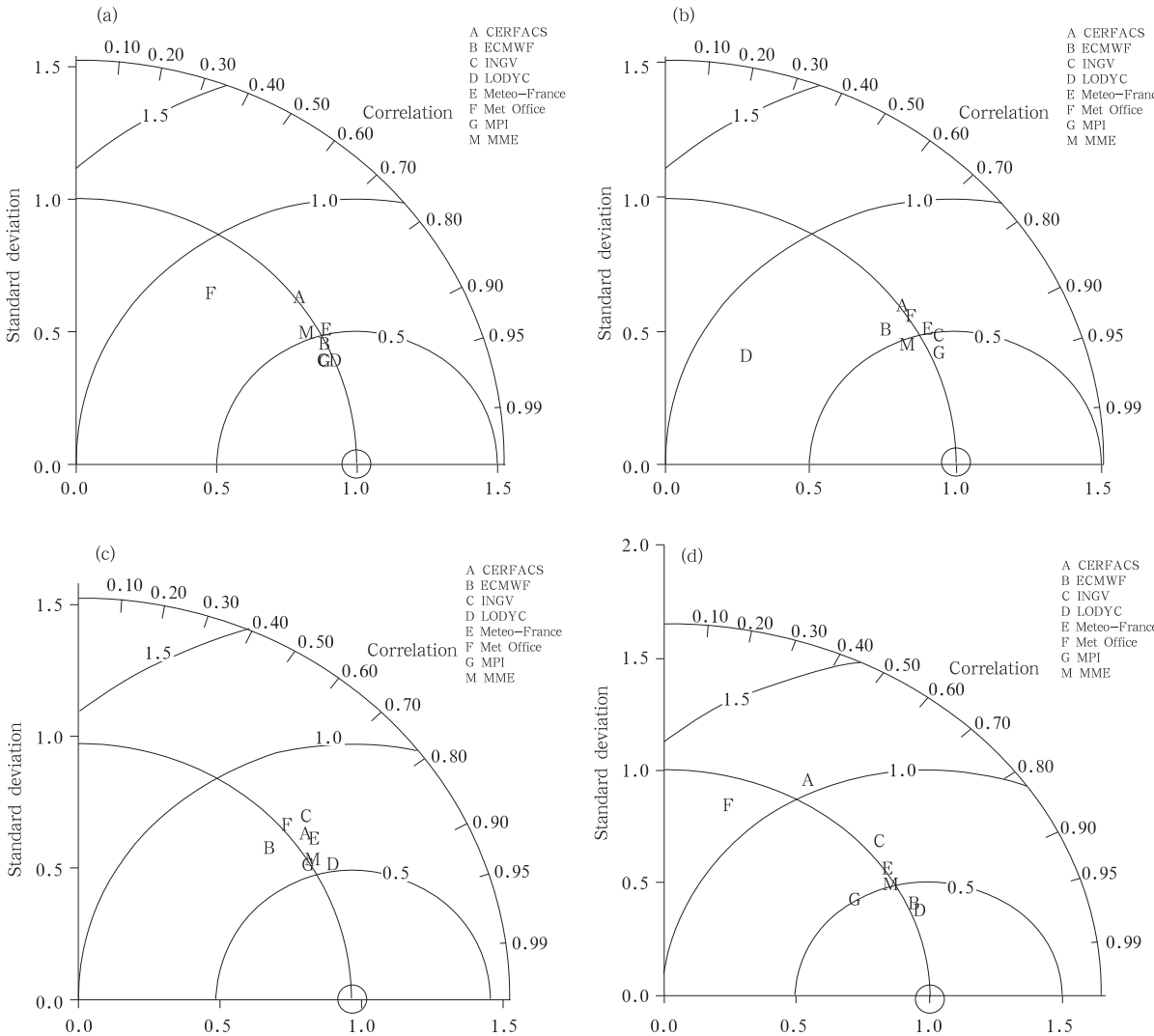

图 2 泰勒图：字母所在位置代表各模式模拟的冬季北极涛动模态与再分析资料的相似度，半径表示模式北极涛动模态的标准差与观测的比率，与纵坐标轴的角度代表模式北极涛动模态与观测的空间相关系数的反余弦值

(a. 海平面气压场，b. 850 hPa，c. 500 hPa，d. 200 hPa)

Fig. 2 The Taylor diagram with each number marking the resemblance between the winter AO mode from a particular model and the reanalysis data. Radial distance from the origin indicates the standard deviation of the spatial variations of the AO mode normalized by the reanalysis. The angle from the vertical axis represents the inverse cosine of the spatial correlation between the simulated AO mode and the reanalysis data. (a) Sea level, (b) 850 hPa, (c) 500 hPa, and (d) 200 hPa

0.75 以上(除模式 Met Office 外),模式的标准差都在再分析资料结果附近,说明大部分模式对于北极涛动变化幅度的模拟比较理想。模式 ECMWF、INGV、LODYC 和 MPI 的均方根误差均小于 0.5。模式集合平均的均方根误差也在 0.5 左右,并不是模拟效果最好的,这主要是由于模式 Met Office 和 CERFACS 对北极涛动模态的模拟相对偏差较大,从而拉大了集合模拟结果的均方根误差,使其结果比其他 4 个模式差。但总体而言,在冬季海平面气压场上,模式对于北极涛动的空间模拟能力尚比较理想,可以比较好地再现北极涛动的空间特征。

850 hPa 的模拟结果和海平面结果非常相似(图略),异常环流的中心位置也与海平面气压场基本一致,只是强度稍有变化。泰勒图(图 2b)的结果也显示,模式对 850 hPa 的模拟效果较为理想。有 3 个模式的均方根误差小于 0.5,分别是 MPI、INGV 和 MME,其中模拟效果最好的模式是 MPI,比 MME 的均方根误差要小。模式 LODYC 与其他模式偏离很远,若不考虑这个模式,其余模式的相关系数都在 0.75 以上,标准差也与再分析资料的标准差相近。表明在该层模式对于北极涛动的空间变化幅度也模拟得较好。

500 hPa(图略),再分析资料显示的北极涛动在两大洋上的中心很清晰,在欧亚大陆和北美大陆上的中心开始缩小,向海洋收缩。总体来说,500 hPa 上的北极涛动比在对流层中下层的北极涛动强度弱,模拟结果比较好。观察该层次的泰勒图(图 2c),可以看到模式所对应的字母分布比较集中,表明模式与模式的差异比较小。所有模式的均方根误差均大于 0.5,相关系数为 0.72—0.88,标准差接近再分析资料的标准差。所以,对于冬季的 500 hPa 高度场,模式仍然可以模拟出再分析资料所显示的北极涛动的空间模态。

200 hPa(图略),北极涛动强度和 500 hPa 类似,环状模态清晰。模式模拟结果显示,对于这一层的冬季北极涛动,模拟效果也较好。从泰勒图(图 2d)可以看到,除了模式 CERFACS 和 Met Office 的空间相关比较差外,其他模式相关系数都在0.5 以上,其中模式 ECMWF 和 LODYC 的均方根误差小于 0.5。

表 3 是北极涛动指数的相关系数表,可以看到,虽然冬季北极涛动的空间模拟效果很好,但是对于时间变化,模式的模拟能力仍然很弱。

表 3 模式模拟与再分析资料的冬季北极涛动指数的时间序列相关系数

Table 3 Temporal correlation coefficients of the winter AO index between ERA-40 and the simulations from the seven coupled climate models and MME

	CERFACS	ECMWF	INGV	LODYC	Météo-France	Met Office	MPI	MME
R(SLP)	0.085	0.300	0.001	−0.088	0.025	−0.120	0.120	−0.083
R(850 hPa)	0.102	−0.051	0.146	0.010	−0.122	0.084	0.037	0.147
R(500 hPa)	0.200	0.104	0.058	−0.115	−0.130	−0.099	−0.091	0.078
R(200 hPa)	0.180	0.071	0.070	0.249	0.193	−0.169	0.150	−0.018

3.2 模式对于春季北极涛动的回报

春季,ERA-40 的经验正交函数分解第 1 模态(图 3)表现出明显的以极涡为中心的环状分布特征,中高纬度的中心在两大洋,北大西洋极值区域范围广、强度大,东西延伸覆盖了欧洲和美洲大陆。对比耦合模式模拟结果,可以看到模式对于空间整体分布的模拟比较好,但是,对于中心位置和强度的再现能力有限,模式模拟的极涡与再分析资料结果基本类似,但是,对中高纬度中心带的模拟各模式差异较大,模式 CERFACS、INGV、LODYC、Météo-France 和 Met Office 都能模拟出中高纬度地区存在极值区,但是,只有 Met Office 模拟出了欧亚大陆大面积极值区,其他模式模拟的欧亚大陆极值区的范围都比较小,仅限于东亚地区。模式 ECMWF 的模拟效果相对较差,模拟的极值区域只在两大洋。MPI 模拟的极值带在北大西洋比较明显,北太平洋上的中心强度比较小。由泰勒图(图 4a)可以看到,模式对应字母比较分散,同样说明模式对于极值区域的模拟差异比较大。标准化的均方根误差为 0.5—0.8,模式相关系数为 0.6—0.9。模式 INGV 的模拟效果最好,相关系数在 0.9 左右,均方根误差小于 0.5。模式 ECMWF、MPI 和 MME 的标准差明显小于再分析资料结果,同样说明这些模式模拟的变率偏小。

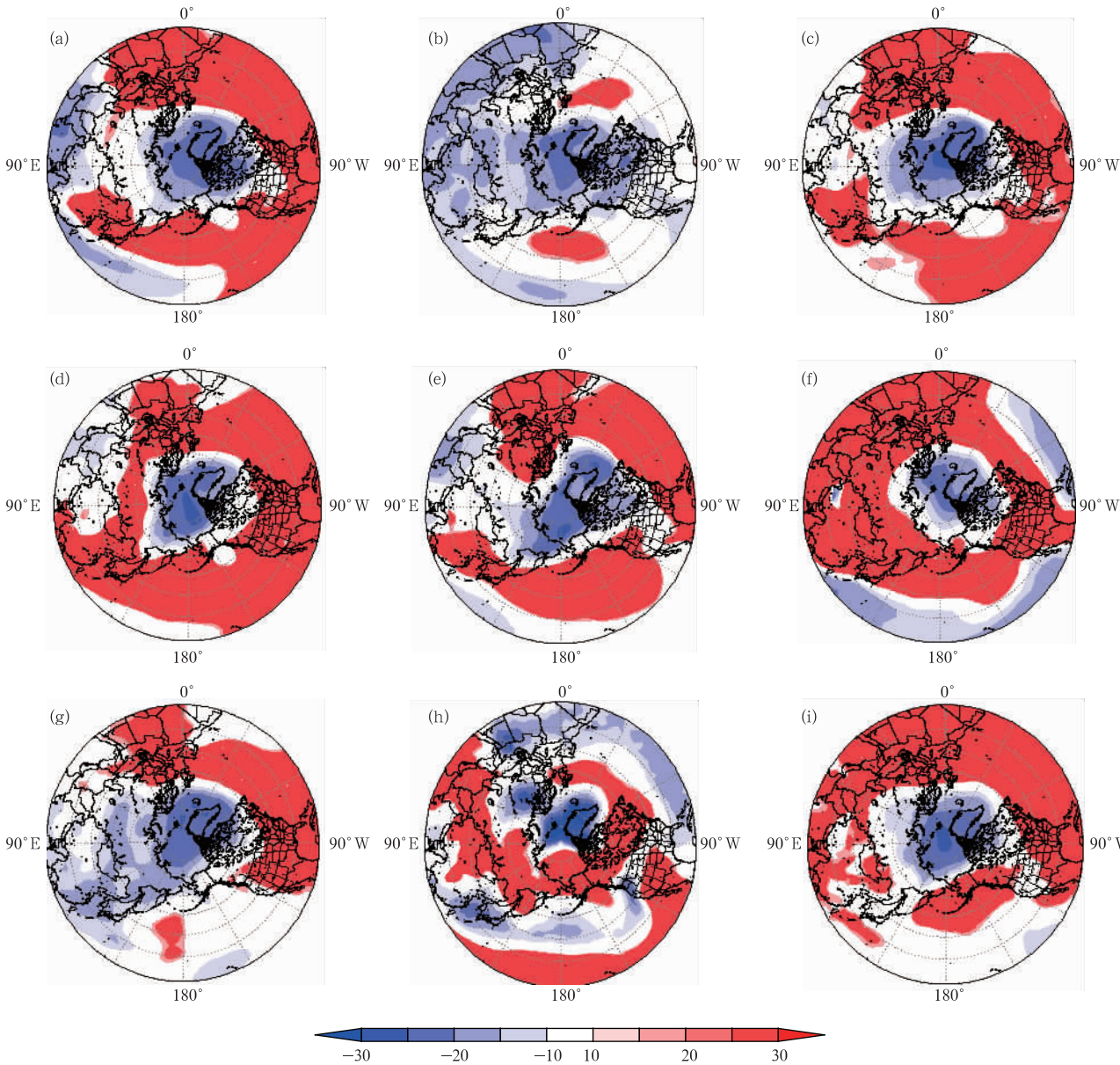

图 3 同图 1,但为春季

Fig. 3 As in Fig. 1, but for spring

850 hPa 上(图略),ERA-40 经验正交分解第 1 模态显示的空间型和低层类似。但是,模式的模拟效能相对于低层略有降低:对于中高纬度的中心位置和强度,大部分模式都没有很好地再现出再分析资料的结果,只有模式 INGV 和 LODYC 模拟的中高纬度中心强度和再分析资料结果比较类似。模式 ECMWF 和 MPI 模拟的中心仍然只限于海洋,没有模拟出中高纬度地区大范围的极值区域。由泰勒图(图 4b)定量分析结果可以看到,在春季 850 hPa 高度上,所有模式的均方根误差都大于 0.5。CERFACS、INGV 和 Météo-France 的模拟效果相对好一些,模式 ECMWF、MPI 和 MME 与其他模式的差异变大,标准差变得更小。模式相关系数除了 MME 外,都为 0.5—0.85,因此,与海平面气压场相比较,该层次北极涛动的空间模拟能力有所减弱。

500 hPa(图略),ERA-40 的经验正交分解第 1 模态环状特征明显,极涡中心和中高纬度的环状带极值区比较明显。模式模拟结果显示,除了模式 ECMWF 和 Met Office 外,其他都能模拟出明显的环状极值带。模式ECMWF模拟的中心主要在北

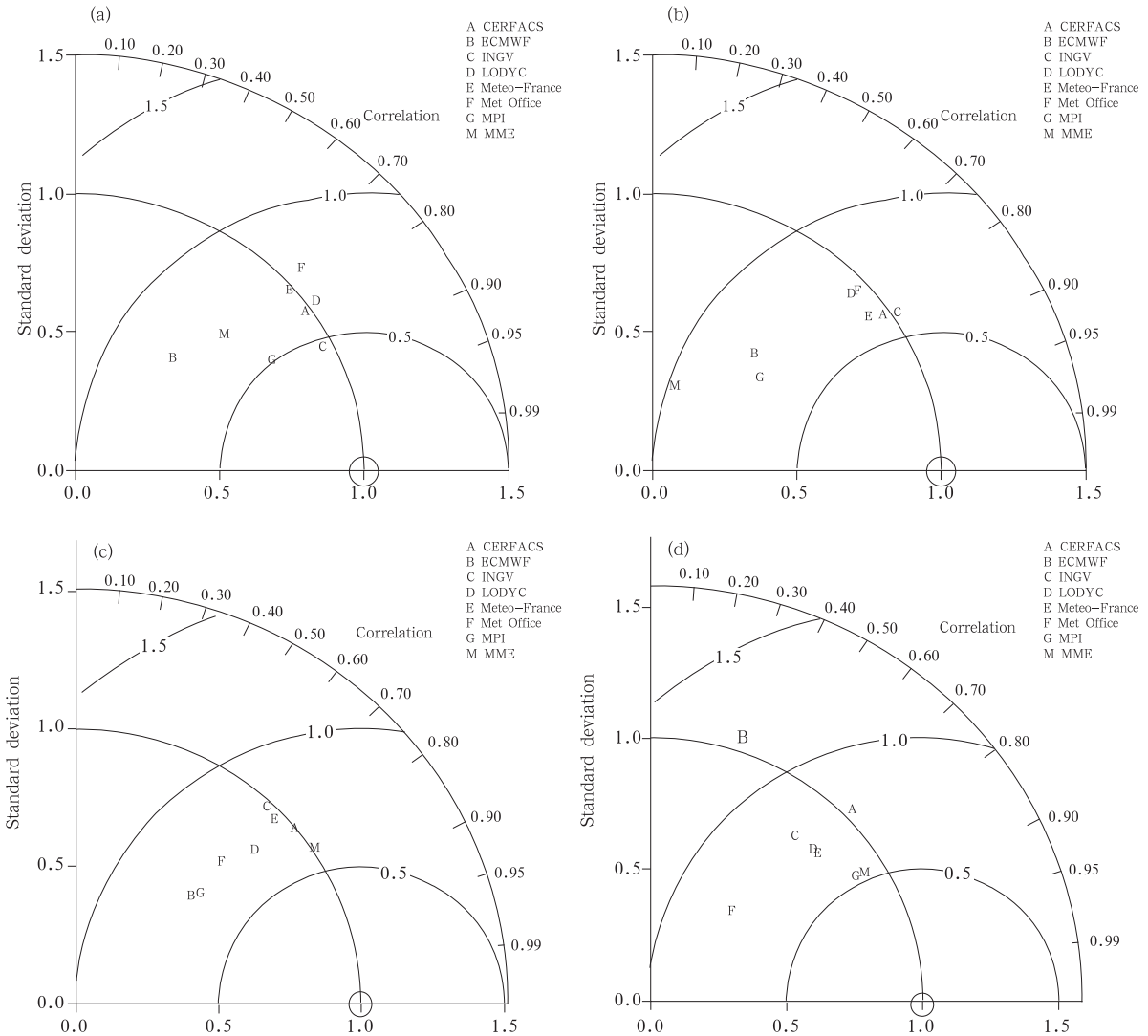

图 4 同图 2,但为春季

Fig. 4 As in Fig. 2, but for spring

表 4 模式模拟和再分析资料的春季北极涛动指数时间序列相关系数

Table 4 Temporal correlation coefficients of the spring AO index between ERA-40 and the simulations from the seven coupled climate models and MME

	CERFACS	ECMWF	INGV	LODYC	Météo-France	Met Office	MPI	MME
R(SLP)	0.145	0.044	−0.086	0.340	0.062	0.210	0.152	0.097
R(850 hPa)	0.180	0.096	0.290	0.180	−0.200	0.230	0.033	0.163
R(500 hPa)	0.179	0.085	0.066	−0.028	0.030	0.030	0.100	−0.128
R(200 hPa)	0.377	−0.096	0.182	0.165	−0.155	−0.114	−0.097	−0.173

太平洋,而模式 MPI 模拟的中心主要在北大西洋。由泰勒图(图 4c)可以看到,相关系数为 0.6—0.85,均方根误差大于 0.5,大部分模式的标准差小于再分析资料的标准差,说明对于北极涛动空间变化幅度的模拟偏小。MME 的模拟效能相对好一些,但是均方根误差也偏大。

200 hPa(图略),ERA-40 经验正交分解第 1 模态的空间分布基本和 500 hPa 类似,环状特征清晰。模式第 1 模态除了 ECMWF 和 Met Office 外,都能很好地模拟出环状极值带,ECMWF 和 Met Office

只在北太平洋上模拟出了明显的中心,中高纬度其他地区空间振幅很小,中心不明显。分析泰勒图(图4d),除 ECMWF 和 Met Office 外,模式之间差异比较小,相关系数在 0.6—0.85,标准差除 CERFACS 外,都略小于再分析资料。模式 MPI 和模式集合平均 MME 的模拟效能相比其他模式稍强。

在空间分布比较合理的前提下,分析了春季北极涛动时间序列的模拟情况。从春季北极涛动时间序列相关系数(表 4)可见时间系数相关性并不理想,基本上都没有达到 90%的信度检验。

3.3 模式对于冬季南极涛动的回报

在海平面气压场上(图 5),冬季南极涛动的环状模态显著:正值区呈环状覆盖几乎所有的中纬度地区,负值区覆盖整个南极大陆。相比北半球海平面气压场,南半球等值线要平滑和规则得多,这主要与下垫面有关。北半球海陆分布不均匀,地形复杂,南半球大部分是海洋,有比较均一的下垫面。模式模拟结果显示,模式都能很好地模拟出环状结构,但是,对于中高纬度极值区范围的模拟,模式与模式以及模式与再分析资料存在差异。由对应的泰勒图

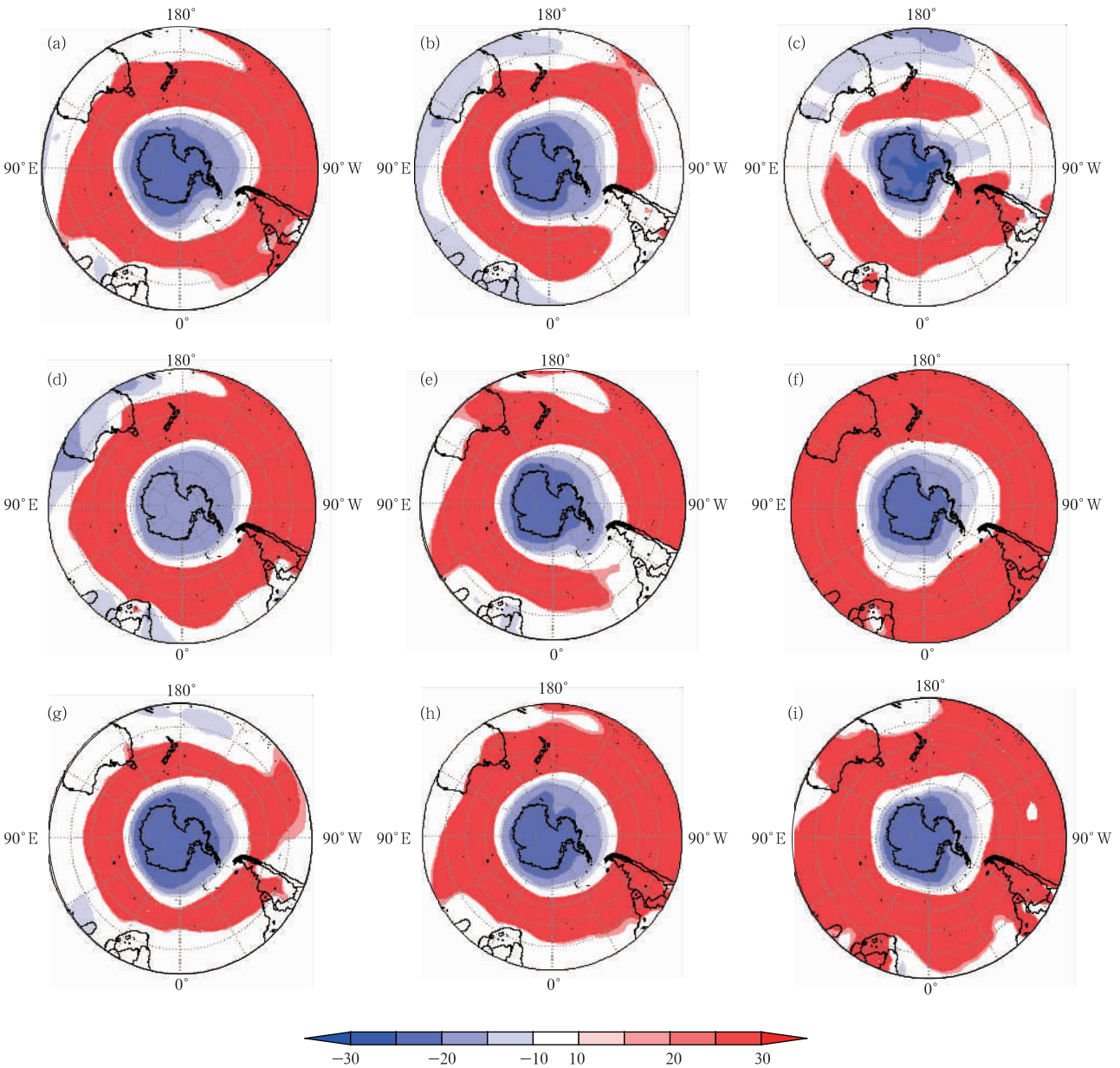

图 5 同图 1,但为南半球

Fig. 5 As in Fig. 1, but for the Southern Hemisphere

(图 6a)可以看到,偏离最大的模式是 ECMWF,相关系数为 0.68,标准差略小于再分析资料,均方根误差为 0.8 左右。除了 ECMWF 和 INGV,其余模式的相关系数均在 0.85 以上,标准差略小于再分析资料结果,均方根误差都小于 0.5。模拟效能最强的是 7 个模式集合平均 MME。总体来说,模式对于冬季海平面气压场的南极涛动模拟效果比较好。

850 hPa(图略),模式对于该层的南极涛动空间分布模拟也比较理想,几乎所有模式的均方根误差都小于 0.5(图 6b)(模式 INGV 偏离其他模式比较远),标准差比较接近于再分析资料结果。类似于海平面,MME 提高了模式的模拟效能。因此,在该层上模式对于南极涛动的模拟效果较为理想,且相比在海平面气压场上对于南极涛动的模拟能力略有增强。

500 hPa 层上(图 6c),除了模式 INGV 和 Météo-France 外,其余模式的均方根误差都小于 0.5,相关系数基本在 0.85—0.93,标准差也基本与再分析资料结果相近,模拟的效果很好。MME 的模拟能力仍然是最强的。

200 hPa (图 6d),模式与再分析资料结果的相关系数仍然比较高。除了模式 INGV 外,其余所有模式相关系数都在 0.7 以上,其中,模式 Météo-France 和 Met Office 模拟的标准差偏小,其余模式标准差都接近再分析资料结果,均方根误差为 0.5 左右,相关系数为0.8—0.9。类似于对流层中下层

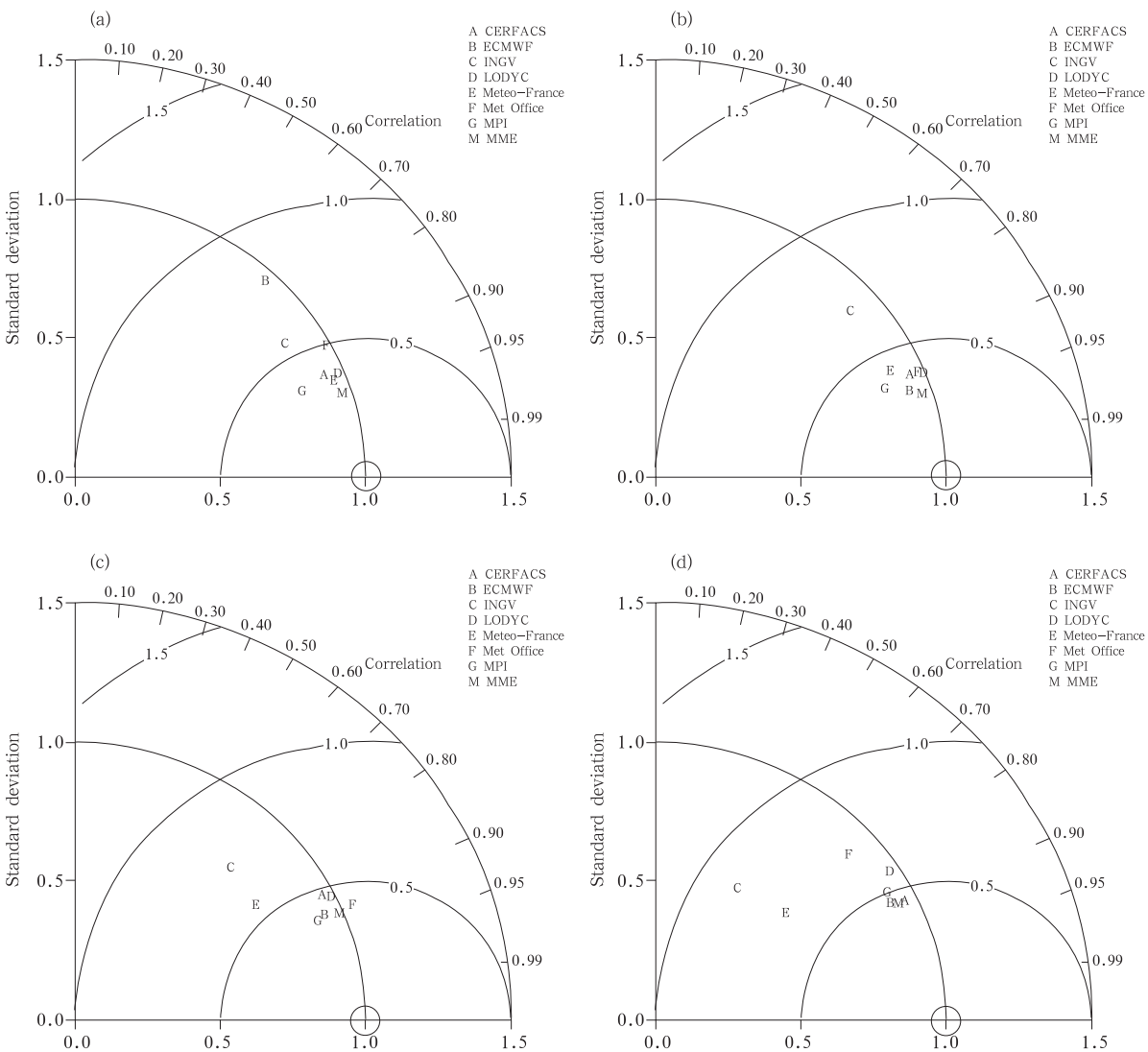

图 6 同图 2,但为南半球

Fig. 6 As in Fig. 2, but for the Southern Hemisphere

的分析,MME 的模拟效果最好。

时间序列的相关系数显示(表 5),只有模式 CERFACS 的模拟效果比较好,各层的相关系数都在 0.65 以上,其他模式都没达到显著性检验标准。

表 5 模式模拟与再分析资料的冬季南极涛动指数的时间序列相关系数

Table 5 Temporal correlation coefficients of the winter AAO index between ERA-40 and the simulations from the seven coupled climate models and MME

	CERFACS	ECMWF	INGV	LODYC	Météo-France	Met Office	MPI	MME
R(SLP)	0.670	0.110	0.010	0.074	0.006	0.057	0.110	0.255
R(850 hPa)	0.685	0.007	0.200	0.103	0.084	0.170	0.114	0.144
R(500 hPa)	0.656	0.097	0.170	0.082	0.270	0.139	0.253	0.017
R(200 hPa)	0.708	0.063	0.170	0.009	0.250	0.123	0.250	0.046

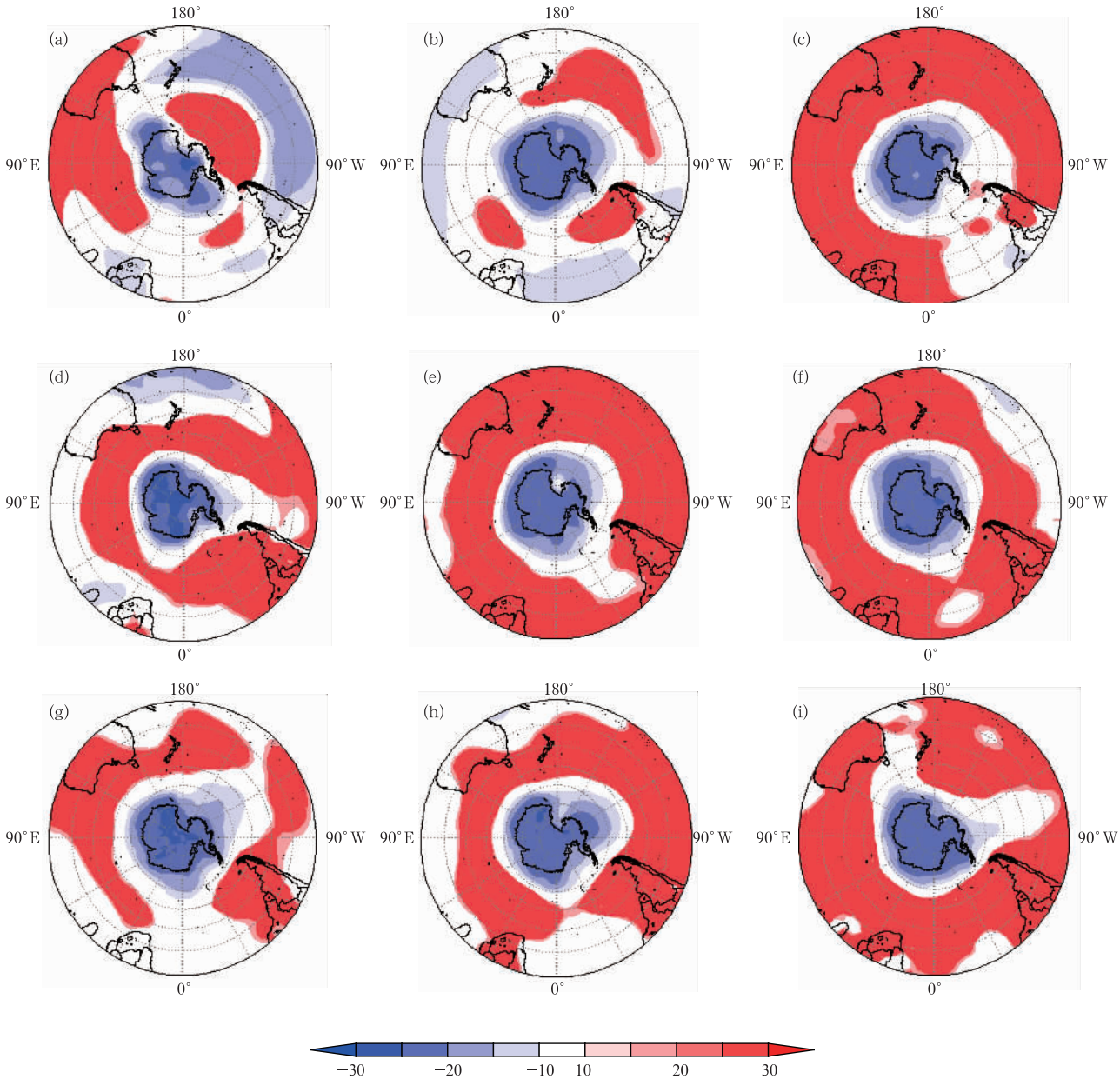

图 7 同图 3,但为南半球

Fig. 7 As in Fig. 3, but for the Southern Hemisphere

3.4 模式对于春季南极涛动的回报

春季南半球热带外海平面气压场经验正交函数分解结果也表现出清晰的环状模分布特征(图 7):极地与中高纬度呈显著的反位相变化关系。所有模式第 1 模态也表现出类似的分布特征,表明耦合模式能较好地模拟出春季南极涛动的空间基本特征。但是,模式模拟的中高纬度的中心强度和位置与再分析资料结果的差异却比较大,模式 INGV、LODYC、Météo-France、Met Office 和 MME 模拟出了南半球中高纬度大范围的绕极正异常区,其他模式对于正异常区的模拟都明显偏小。由泰勒图(图 8a)可以看到,春季南极涛动的空间模态模拟效果比较理想,模式标准差都在 1.0 附近,略小于再分析资料的标准差,相关系数都为 0.75—0.92,均方根误差除了 CERFACS,都在 0.5 附近分布,其中,模式 INGV、LODYC、Météo-France 和 Met Office 均方根误差小于 0.5,其余都大于 0.5,但偏离并不明显。受 CERFACS 的影响,MME 的模拟效能不如大部分模式的模拟效能。

850 hPa(图略),ERA-40 经验正交函数分解第 1 模态的中心强度仍然比较强,南半球中高纬度地区是一个宽广的绕极正异常区。模式模拟结果也是比较理想的,正异常区模拟的范围大小上存在差异。泰勒图(图 8b)结果显示,大部分模式的标准差大于 1.0(除模式 CERFACS 外),但是,偏离不大,且这些模式的均方根误差均小于0.5(除模式ECMWF

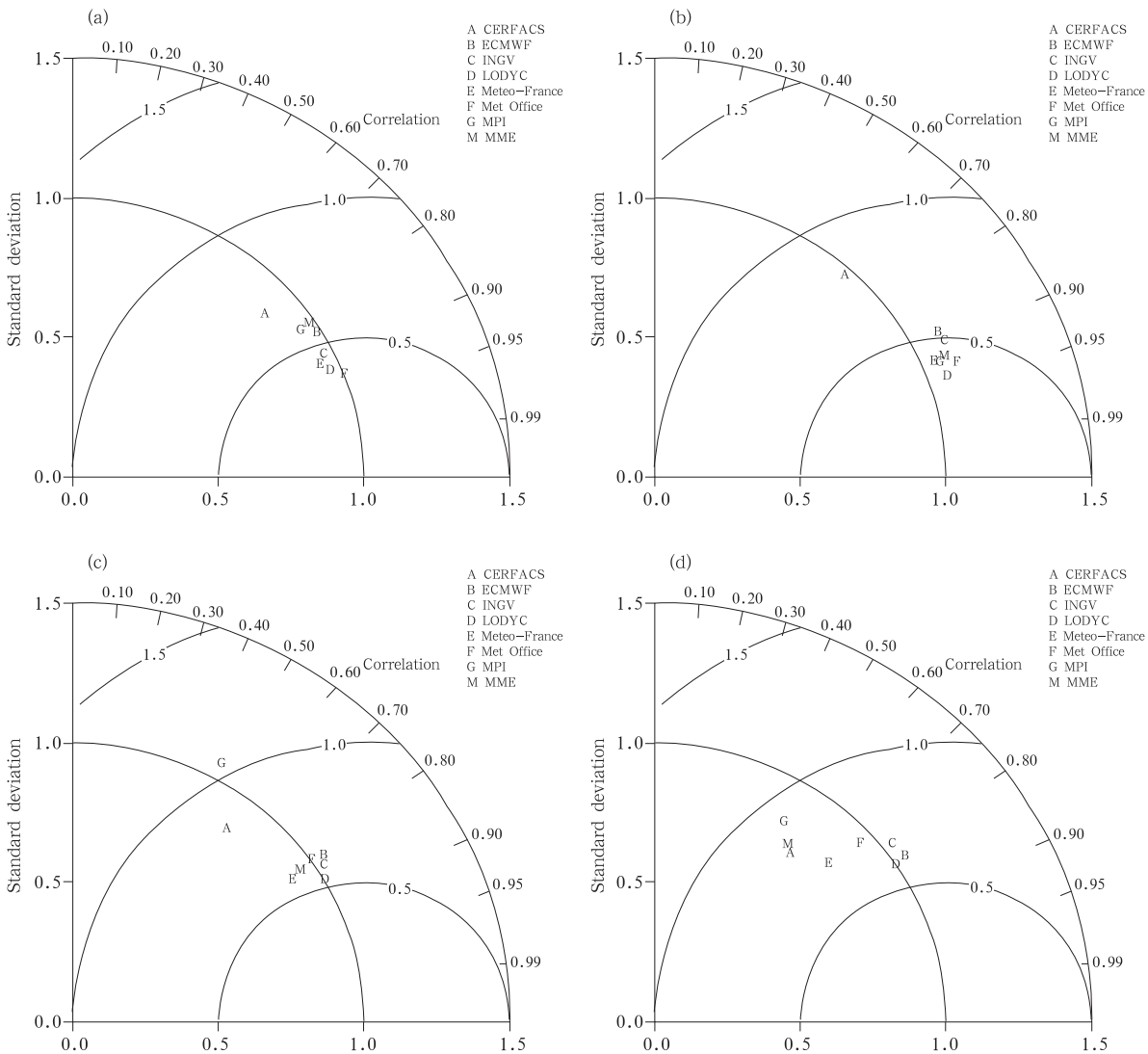

图 8 同图 4,但为南半球

Fig. 8 As in Fig. 4, but for the Southern Hemisphere

略大于0.5),相关系数都在0.85以上。可以看到模式对于850 hPa的春季南极涛动空间模拟能力也是比较强的,且模拟效果也略强于海平面上南极涛动的模拟效果。MME的模拟能力相比海平面上有所提高,但是仍受CERFACS的影响,并不是模拟能力最好的结果。

500 hPa(图略),所有模式的第1模态仍然显示出了环状结构,但是中心的差异更加明显。具体通过泰勒图(图8c)定量分析也可以发现,模式的均方根误差均大于0.5,大部分模式相关系数在0.8左右(除CERFACS和MPI外)。因此,模式在500 hPa高度上的空间模拟结果比近地面要差一些,但是,基本还能用模式的第1模态模拟出南极涛动的空间特征。模式LODYC是模拟能力相对比较好的模式。

200 hPa,模式的模拟能力要相对弱一些(图8d),模式的均方根误差都大于0.5,且模式结果比较分散,模式ECMWF、INGV、LODYC和Met Office的标准差在再分析资料的标准差附近,这些模式空间相关系数为0.7—0.85,其余模式标准差偏离再分析资料结果,包括模式集合平均MME的结果。

南极涛动指数时间序列相关系数如表6所示,可以看到,海平面气压场上只有模式ECMWF和MME达到90%的信度检验,在对流层内,相关性比较好的是ECMWF、MPI和MME,模式ECMWF在200 hPa的相关系数很低,但是在200 hPa以下相关系数都达到了99%信度检验。模式MPI的相关系数也比较大,都在0.25以上,7个模式集合平均对于时间的模拟效能在各层都比较理想,达到90%信度检验。但是,个别模式的模拟效果好并不具有普遍意义,所以对于时间序列变化的模拟有待进一步研究。

表6 模式模拟与再分析资料的春季南极涛动指数的时间序列相关系数

Table 6 Temporal correlation coefficients of the spring AAO index between ERA-40 and the simulations from the seven coupled climate models and MME

	CERFACS	ECMWF	INGV	LODYC	Météo-France	Met Office	MPI	MME
R(SLP)	0.156	0.513	0.083	0.040	0.163	0.172	0.253	0.376
R(850 hPa)	0.030	0.600	0.098	0.237	0.179	0.158	0.325	0.428
R(500 hPa)	0.078	0.700	0.052	0.152	0.196	0.140	0.343	0.423
R(200 hPa)	0.073	0.085	−0.030	0.232	0.291	0.153	0.303	0.436

4 结 论

利用DEMETER耦合模式预测结果与ERA-40再分析资料比较,对冬春季的北极涛动和南极涛动进行了回报研究,得出以下结论:

(1) 模式对于冬季北极涛动的模拟效果比较理想。观测中冬季北极涛动强度较强,随着高度的升高,其强度略有减弱。耦合模式能够较好地模拟出北极涛动模态的空间变化特征。从对流层低层到高层,模式模拟效能没有明显的减弱。虽然模式对于冬季北极涛动的空间模拟能力很强,但是,对于其指数序列的变化仍然难以捕捉到。

(2) 模式在对流层内经验正交函数分解第1模态都能较好地刻画春季北极涛动的空间特征,大部分模式的相关性是比较好的,个别模式模拟的振幅偏小。到了高层,模式的模拟性能稍有降低。模式对于春季北极涛动的模拟能力要稍低于冬季。模式对春季北极涛动指数的模拟能力仍然较低。

(3) 模式对冬季南极涛动的模拟能力在低层要好于高层,尤其是在850 hPa上,其模拟能力最佳。在高层,有个别模式的标准差与再分析资料结果相比要小。说明个别模式没有能够很好地模拟出冬季南极涛动的变率。模拟与再分析资料的指数序列的相关性在冬季也是较低的。

(4) 模式对春季南极涛动的模拟能力也是在850 hPa上稍强于别的层次。在对流层低层,模式结果没有明显差异,与再分析资料结果的相关都很高。到了高层,模式之间差异变大,相关系数变小。分析时间相关,个别模式能够模拟出时间序列的变化,相关系数比较大。

模式对于两极涛动的空间模拟能力是随着季节和高度变化的。对于北极涛动而言,模拟能力随季节变化比较明显,冬季强于春季,且模拟效能随高度升高略有减弱。对于南极涛动,虽然模拟能力也是冬季强于春季,但是,这种差异并不显著,模拟效能在850 hPa达到最强。所有模式集合平均的结果只

在对冬季南极涛动的研究上模拟效能有所提高,对于北极涛动和春季南极涛动,并没有明显的优于单个模式结果,这主要是由于个别模拟能力较差的模式严重地影响了集合平均的结果。因此,在模式个数比较多的情况下,可以考虑舍去模拟效能相对比较差的几个模式再进行集合平均更为合理,就本文而言,由于模式个数比较少,未考虑取舍。

参考文献

高辉,薛峰, 王会军. 2003. 南极涛动年际变化对江淮梅雨的影响及预测意义. 科学通报, 48(增刊Ⅱ): 87-92

范可,王会军. 2007. 异常弱的南极涛动和2006年我国春季沙尘气候形势. 气候与环境研究, 12(4): 475-480

龚道溢,王绍武. 1998. 南极涛动. 科学通报,43(3):296-301

龚道溢. 2001. 大气环流的长期变化//王绍武. 现代气候学研究进展. 北京:气象出版社,329-342

龚道溢,朱锦红,王绍武. 2002. 长江流域夏季降水与前期北极涛动的显著相关. 科学通报,47(7):546-549

龚道溢,王绍武,朱锦红. 2004. 北极涛动显著影响我国日气温方差. 科学通报,49(5): 487-492

孙建奇, 王会军. 2005. 北极涛动与太平洋年代际振荡的关系. 科学通报, 50(15): 1648-1653

王会军,孙建奇,范可. 2007. 北太平洋涛动与台风和飓风频次的关系研究. 中国科学(D),37(7):966-973

王会军, 孙建奇, 苏京志. 2008. 北极涛动比南极涛动纬向对称性更好. 科学通报, 53(2): 247-250

薛峰,王会军,何金海. 2003. 马斯克林高压和澳大利亚高压的年际变化及其对东亚夏季风降水的影响. 科学通报, 48(3):287-291

祝亚丽, 王会军. 2008. 基于IPCC AR4耦合模式的南极涛动和北极涛动的模拟及未来变化预估. 气象学报,66(6): 993-1004

Fan Ke, Wang Huijun. 2004. Antarctic oscillation and the dust weather frequency in North China. Geophys Res Lett, 31: L10201, doi:10.1029/2004GL019465

Fan Ke. 2007a. New predictors and a new prediction model for the typhoon frequency over western North Pacific. Sci China(D), 50: 1417-1423

Fan Ke. 2007b. Zonal asymmetry of the Antarctic Oscillation. Geophys Res Lett, 34, L02706

Fan Ke. 2009a. Predicting winter surface air temperature in Northeast China. Atmos Ocean Sci Lett, 2(1):14-17

Fan Ke. 2009b. Linkage between the Atlantic tropical hurricane frequency and the Antarctic Oscillation in the Western Hemisphere. Atmos Ocean Sci Lett, 2(2):159-164

Sun Jianqi, Wang Huijun, Yuan Wei. 2009. A possible mechanism for the co-variability of the boreal spring Antarctic Oscillation and the Yangtze River valley summer rainfall. Inte J Climatol, 29: 1276-1284, doi:10.1002/joc.1773

Thompson D W J, Wallace J M. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. Geophys Res Lett,25(9): 1297-1300

Thompson D W J, Wallace J M. 2000. Annular modes in the extratropical circulation. part I: Month to month variability. J Climate,13(5):1000-1007

Wallace J M. 2000. On the Arctic and Antarctic Oscillations//Proceedings of the 23rd Annual Climate. Diagnostics and Prediction workshop, NOAA, NWS, Departmet of Commerce, Florida, USA

Wang Huijun. 2006. Linkage between the Northeast Mongolia precipitation and the Northern Hemisphere zonal circulation. Adv Atmos Sci, 23(5): 659-664

Yue Xu, Wang Huijun. 2008. The springtime North Asia cyclone activity index and the southern annular mode. Adv Atmos Sci, 25(4):673-679