

冬季北大西洋涛动极端异常变化 与东亚冬季风*

武炳义 黄荣辉

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘 要 依据资料分析发现, 冬季北大西洋涛动指数与冬季西伯利亚高压范围呈反向变化关系, 冬季北大西洋涛动指数异常偏高(低)时期, $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 的亚洲大陆中部气压显著偏低(高), 致使冬季西伯利亚高压和东亚冬季风减弱(增强)以及亚洲大陆北部气温显著偏高(低), 冬季西伯利亚高压范围异常变化对北大西洋涛动没有显著的影响, 其对北半球海平面气压、850 hPa 温度的影响也明显要弱于北大西洋涛动的影响。

关键词 北大西洋涛动 西伯利亚高压 极端变化 东亚冬季风

1 引言

早在 1923 年 Walker 就注意到^[1], 冰岛低压与亚速尔高压存在同时加强或减弱现象, 他首次将这种现象定义为北大西洋涛动 (NAO)。自此以后, 人们开始探索与 NAO 有关的研究, 尤其是近年来提出的 CLIVAR 研究计划, 把 NAO 作为一个重要的研究项目。该计划明确指出, NAO 是影响海洋变化的大气因素^[2], 因此, 有关 NAO 的研究再次受到人们的关注。

实际上, NAO 在海平面气压场上表现为遥相关型结构, 为了描述该遥相关型的强弱变化, 人们定义了 NAO 指数: 一般用标准化的海平面气压之差[亚速尔群岛的蓬塔德尔加达 (Ponta Delgada) 和冰岛的阿克雷里 (Akureyri)]来表示^[3]。该遥相关型终年存在, 尤其以冬季更为显著。研究表明^[4], 其变化可以解释北大西洋海平面气压场方差的 $1/3$ 以上。不仅如此, NAO 与许多气候信号有关, Hurrell 认为, 除南方涛动外, NAO 是气候年际变化的主要源地^[5], 它与跨越大西洋进入欧洲的表面风场变化有密切的关系^[6], 并且, 它对北半球气温变化有最大的贡献^[7]。研究还表明^[6], NAO 与气温以及湿度的“跷跷板”式变化有密切的关系。

冬季西伯利亚高压和东亚冬季风变化是密切相关的, 东亚冬季风强弱变化不仅对西太平洋以及南海海温有显著的跨季度影响^[8], 而且, 其变化与 ENSO 事件的发生有密切的关系。研究表明^[9], 强东亚冬季风可以激发 ENSO 事件的发生。作为北半球大气环流 6 个活动中心中的 3 个: 亚速尔高压、冰岛低压以及冬季西伯利亚高压变化必然存在相互影响关系。因此, 研究冬季 NAO 与冬季西伯利亚高压以及东亚冬季风变化之间

1998-07-07 收到, 1998-08-25 收到修改稿

* 本研究得到国家“九五”重中之重项目“96-908”资助

的联系, 对于了解大气环流以及东亚冬季风异常变化是大有益处的。

2 资料和方法

北半球 1946~1979 年月平均海平面气压资料是极射赤面投影的八边形网格点资料, 这里用 16 点贝塞尔插值方法将其内插到 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 的网格上, 1980~1996 年月平均海平面气压以及 1958~1996 年月平均 850 hPa 大气温度取自 NCEP 再分析资料集。

冬季 (12~2 月) NAO 指数定义为 (40°N , 10°W) 与 (65°N , 25°W) 的海平面气压之差。这种定义方法与 Hurrell 的定义非常相似^[6], 当时, 他用葡萄牙的里斯本 (Lisbon, 38.8°N , 9.1°W) 与冰岛的斯蒂基斯霍尔米 (Stykkisholmur, 65.1°N , 22.7°W) 海平面气压之差来表示。原来定义 NAO 多用亚速尔群岛的蓬塔德尔加达气压。正如后来 Hurrell 所指出的那样^[5]: 蓬塔德尔加达站气压对于描述春、夏季副热带高压的西移是个比较理想的站点, 但冬季用里斯本站气压更为合适。

3 结果分析

3.1 冬季西伯利亚高压范围、东亚冬季风强度以及 NAO 指数随时间演变

东亚冬季风变化主要取决于西伯利亚高压和阿留申低压变化, 一般用 110°E 和 160°E 海平面气压之差的代数来定义冬季风强度指数。实际上, 只用冬季西伯利亚高压变化也可以来表征东亚冬季风的变化, 这里, 我们定义一个冬季西伯利亚高压范围指数, 即用海平面气压大于 1032 hPa 的平面网格点数来表示。

冬季西伯利亚高压范围指数与东亚冬季风强度指数变化表明 (图 1) (东亚冬季风强度指数的计算方法参见文献[10]), 两者之间存在非常好的对应关系: 冬季风强 (弱) 对应冬季西伯利亚高压范围偏大 (小), 这两条曲线所代表的时间序列的相关系数高达 0.58, 远远超过了 1% 统计显著性水平。而冬季 NAO 指数与冬季西伯利亚高压范围指数呈现相反的变化关系 (图 2), 同时相关可达 -0.45 ($|R|_{0.01} = 0.34$)。说明 NAO 指数偏高 (低) 时期, 冬季西伯利亚高压偏弱 (强), 因而东亚冬季风也偏弱 (强)。为

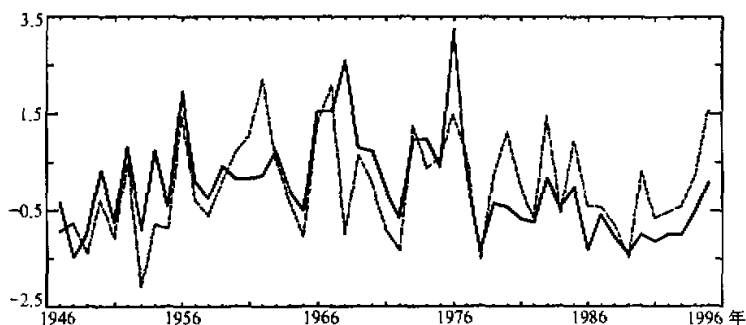


图 1 冬季西伯利亚高压范围指数 (实线) 与东亚冬季风强度指数 (虚线) 变化曲线
(所有数据均经过标准化处理)

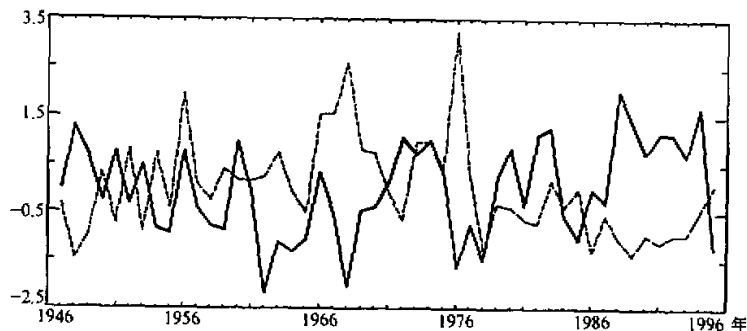


图2 冬季 NAO 指数 (实线) 与冬季西伯利亚高压范围指数 (虚线) 随时间变化曲线。
(所有数据均经过标准化处理)

了进一步分析 NAO 与东亚冬季风变化之间的联系, 本文还进行了以下分析。

3.2 冬季 NAO 异常变化与海平面气压、850 hPa 温度变化

为了清楚地展现冬季 NAO 异常变化对海平面气压以及 850 hPa 温度的影响, 这里采用合成分析方法。从冬季 NAO 指数随时间演变序列中分别选出 5 个最大和 5 个最小的冬季: NAO 指数为最大的冬季依次是 1988/1989, 1994/1995, 1989/1990, 1948/1949, 1983/1984 年; 指数为最小的冬季有 1962/1963, 1968/1969, 1976/1977, 1978/1979, 1964/1965 年。依据选出的个例, 分别对海平面气压以及 850 hPa 温度进行合成分析。冬季 NAO 指数异常偏高时期 (图 3a), 冰岛低压明显加深, 并且位置偏向东北, 最大降压中心位于冰岛和斯瓦尔巴德群岛之间, 环绕北极的高纬度地区以及欧洲东北部、亚洲大陆的大部分地区都是降压区, 在贝加尔湖的西南存在明显的降压中心。说明此时西伯利亚高压偏弱。而 50°N 以南的中纬度地区 (除亚洲大陆外) 都是正距平区, 并且形成 4 个正距平中心, 它们分别位于地中海、北美大陆西

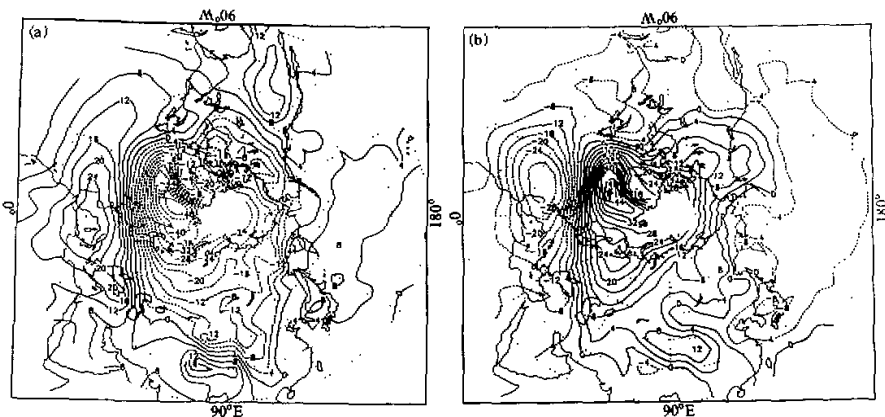


图3 冬季 NAO 指数异常偏高 (a) 和偏低 (b) 时期的海平面气压累积距平分布

部、青藏高原以及西北太平洋, 尤其以地中海区域气压升高最为明显。亚洲大陆与西北太平洋气压距平分布必然使东亚冬季风偏弱。而冬季 NAO 指数异常偏低时期(图 3b), 北半球海平面气压累积距平分布与图 3 中所示的近乎于完全相反, 东亚冬季风将偏强。

从低层大气温度场累积距平的空间分布来看, 冬季 NAO 异常偏高时期(图 4a), 增温最大的区域位于泰梅尔半岛与贝加尔湖之间, 其次是北欧地区; 而降温最大的区域位于格陵兰和加拿大的北极地区, 此外, 北非也存在降温中心。而冬季 NAO 异常偏低时期(图 4b), 温度累积距平分布完全相反, 表明冬季 NAO 异常变化对东亚中、高纬度气温有明显的影 响。冬季 NAO 指数与 850 hPa 温度的相关系数分布(图 5), 进一步证实了这种对应关系。

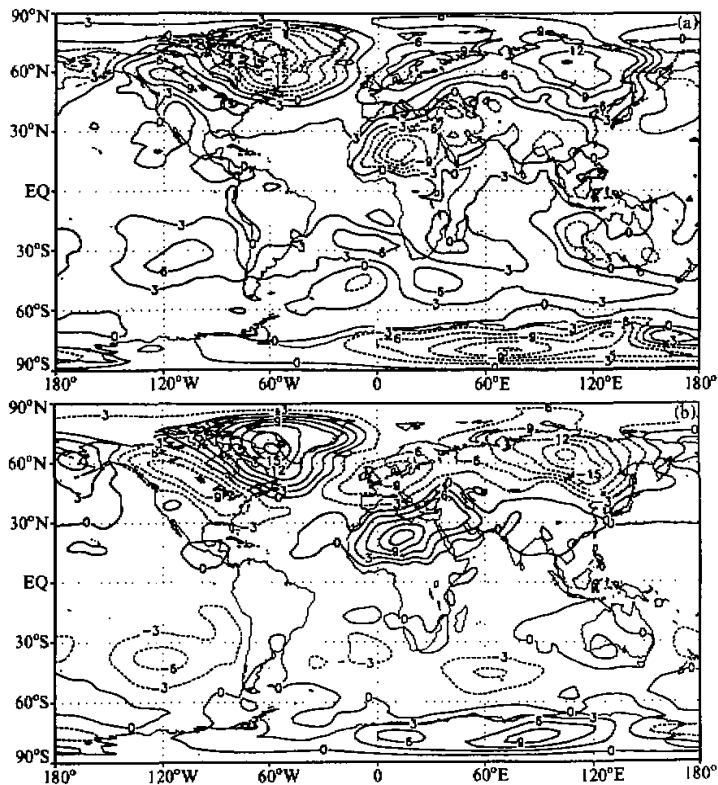


图 4 冬季 NAO 指数异常偏高 (a) 和偏低 (b) 时期的 850 hPa 温度累积距平分布

3.3 冬季西伯利亚高压异常变化与海平面气压、850 hPa 温度变化

采用与 3.2 节类似的分析方法, 从冬季西伯利亚高压范围指数时间序列中, 分别选出前 5 个西伯利亚高压范围是最大的冬季(1976/1977, 1968/1969, 1956/1957, 1967/1968, 1966/1967 年)和最小的冬季(1948/1949, 1989/1990, 1986/1987, 1978/1979, 1991/1992 年)。依据选出的个例, 分别对海平面气压和 850 hPa 温度进

行合成分析。当冬季西伯利亚高压范围异常偏大时(图 6a), 整个亚洲大陆海平面均为正的累积距平; 而北太平洋大部分海域以及北美洲西部海平面气压降低, 尤其是北太平洋中部气压降低更为明显, 这表明东亚冬季风偏强。而加拿大北部、格陵兰和冰岛附近区域海平面气压升高, 导致冰岛低涡减弱; 同时, 西欧大部分地区包括中纬度北大西洋是负的累积距平, 因此, NAO 处于低指数时期。这与 3.2 节的分析结果是一致的。我们还注意到, 在亚洲大陆上, 最大的正距平中心并不是位于西伯利亚高压经常出现的位置, 而是位于喀拉海及其以南地区。次大中心出现在(50°N, 90°E)以东, 并且范围很小, 这说明冬季西伯利亚高压变化幅度并不是很大, 下文将进一步说明这个问题。当冬季西伯利亚高压范围异常偏小时, 海平面气压累积距平分布正相反(图 6b): 亚洲大陆被气压负累积距平所覆盖, 冰岛低涡加深, 并且在地中海出现大范围正累积距平区, 致使 NAO 指数偏高。此外, 图中再次表明, 降压最明显的区域依然不在西伯利亚, 而是在喀拉海、巴伦支海南部。

从 850 hPa 温度累积距平分布来看, 当冬季西伯利亚高压范围异常偏大时(图 7a), 在 30~60°N 的亚洲大陆上, 存在以贝加尔湖为中心的降温区, 而在喀拉海、巴

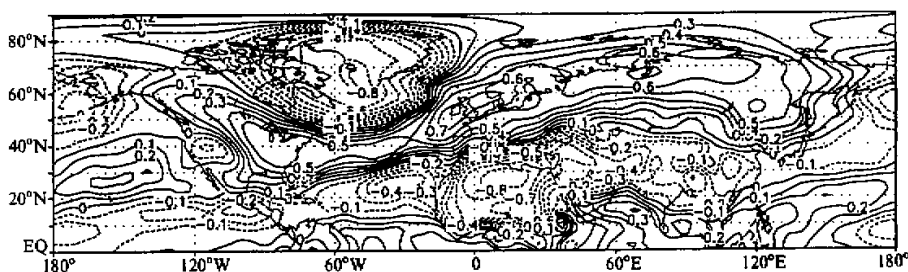


图 5 冬季 NAO 指数与同时期 850 hPa 温度的相关系数分布 ($|R|_{0.05} = 0.27$, $|R|_{0.01} = 0.38$)

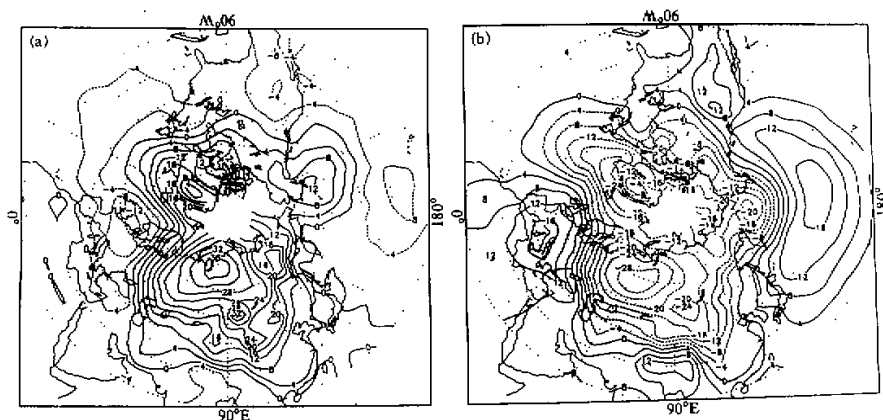


图 6 冬季西伯利亚高压范围指数异常偏高 (a) 和偏低 (b) 时期的海平面气压累积距平分布

伦支海附近以北则是正的温度累积距平。在文献[11]中,我们分析了冬季喀拉海、巴伦支海海冰变化对东亚冬季风的影响,研究发现,冬季喀拉海、巴伦支海海冰偏少(多)时,东亚冬季风偏强(弱)。而冬季喀拉海、巴伦支海海冰多少与气温变化必然存在密切的关系,海冰偏多,则 850 hPa 气温偏低;反之,则气温偏高,与本文得到的结论是一致的。当冬季西伯利亚高压范围异常偏小时(图 7b),气温累积距平分布与图 7a 相反。与 NAO 异常对气温的影响相比,冬季西伯利亚高压异常影响温度的幅度、范围均明显偏弱、偏小,并且更具有“局地”特色。

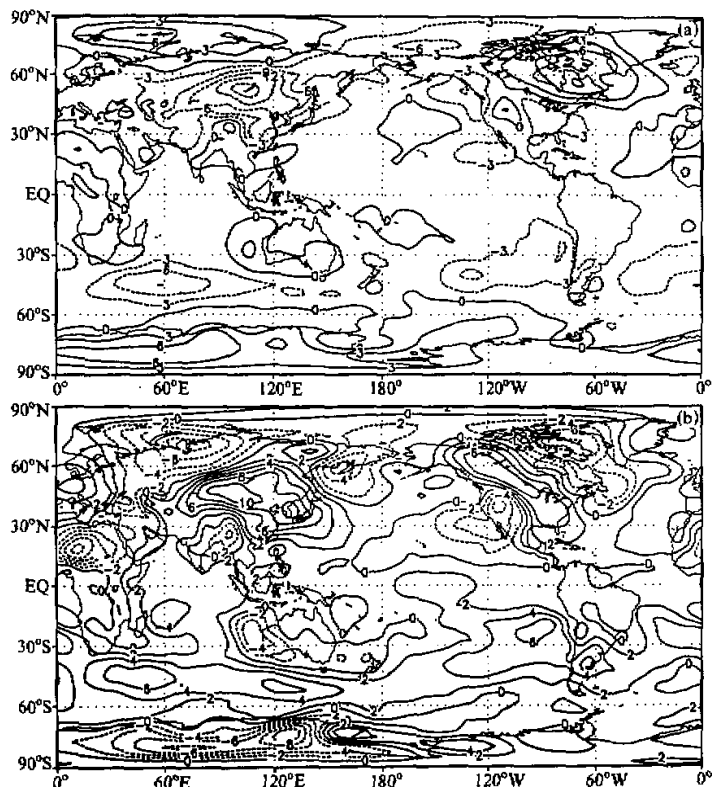


图 7 冬季西伯利亚高压范围指数异常偏高(a)和偏低(b)时期的 850 hPa 温度累积距平分布

3.4 北大西洋涛动异常变化对东亚冬季风的影响

通过 3.2、3.3 节的合成分析,似乎可以得出这样的结论:冬季 NAO 和冬季西伯利亚高压的异常变化存在相互影响关系,尤其在海平面气压场的异常变化上。然而,仅凭以上分析,我们还不能得出两者之中哪个影响更为显著。对应某一特征指数的极端变化(异常偏高和偏低),相应的气象要素场也存在两种状态,这两种状态之间是否存在显著的差异?在没有从物理机制上揭示清楚影响关系之前,对这两种状态的差异进行统计显著性检验就成为判断其是否具有显著影响的途径之一。

图 8 是 NAO 指数的两种极端状态的海平面气压之差(异常偏高减异常偏低)的统

计显著性分布。图中表明, 两种状态的海平面气压之差确实存在显著的差异: 在高纬度地区 (60°N 以北), 从格陵兰到喀拉海、巴伦支海, 从泰梅尔半岛经加拿大北部到巴芬湾都是差异显著的地区; 在中纬度地区, 以北非、欧洲南部以及北大西洋海域 (50°N 以南) 差异最为显著。此外, 在亚洲大陆的中部以及东部部分地区, 海平面气压差异也是显著的。不难看出, NAO 异常变化对北美洲大陆的影响明显强于对亚洲大陆的影响, 在亚洲大陆, 主要影响西伯利亚高压。与图 8 相比, 冬季西伯利亚高压异常变化的影响区域明显偏小 (图 9), 主要影响区域位于 35°N 以北的亚洲大陆, 另外一个受影响区域是位

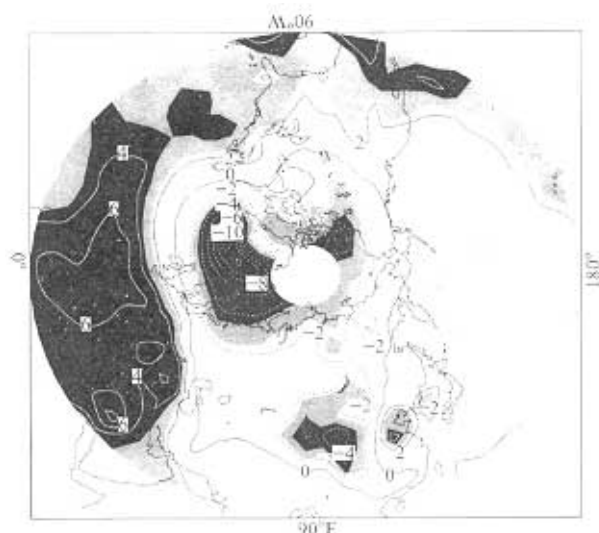


图 8 对应冬季 NAO 指数两种极端状态的海平面气压之差(异常偏高减异常偏低)的统计显著性空间分布 (灰: $\geq 95\%$ 统计显著性; 黑: $\geq 99\%$ 统计显著性)

于其下游的 40°N 以南的中、西太平洋。从图中看到, 冬季西伯利亚高压的异常变化对 NAO 的影响远没有达到统计显著性水平, 这也表明, 冬季西伯利亚高压变化主要受 NAO 异常变化的影响。关于这一点, 从冬季海平面气压年际变化的方差分布图上也可以得到验证, 如图 10 所示。从图中看到, 冬季海平面气压的方差大值区主要在北大西洋、北太平洋以及北欧和亚洲大陆北部, 60°N 以南亚洲大陆的方差大值区主要是西伯利亚高压所在区域。与图 8 对照可以看到, 冬季 NAO 异常变化显著影响西伯利亚高压的区域与西伯利亚高压年际变化的方差大值区近乎于重合。NAO 异常变化显著影响 850 hPa 温度的区域如图 11 所示, 加拿大北部以及格

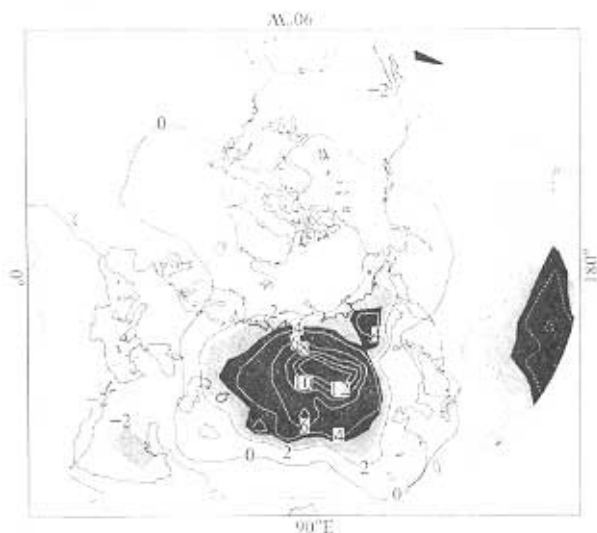


图 9 对应冬季西伯利亚高压范围指数两种极端状态的海平面气压之差(异常偏高减异常偏低)的统计显著性空间分布 (灰: $\geq 95\%$ 统计显著性; 黑: $\geq 99\%$ 统计显著性)

陵兰、北美洲东部、中纬度北大西洋、西欧和北欧以及亚洲大陆北部 (尤其东北亚)、北非, 这些区域 850 hPa 温度存在显著的差异。图 12 显示, 除北美洲西北部的方差大值区外, 亚洲大陆北部以及格陵兰西部的方差大值中心与图 11 中的影响显著区域近乎

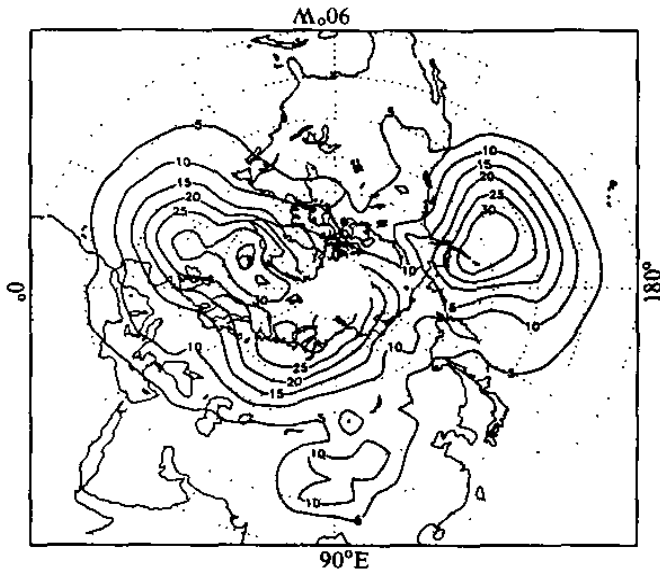


图 10 冬季海平面气压年际变化的方差分布

于重合。

与 NAO 异常变化对温度的影响相比, 冬季西伯利亚高压异常变化的影响更具有区域特征 (图 13), 在北半球中、高纬度地区, 受其显著影响的区域位于 ($30 \sim 60^{\circ}\text{N}$, $60 \sim 180^{\circ}\text{E}$) 范围内。此外, 它对热带以及南半球气温的影响比 NAO 的影响更为显著。这些区域包括南、北印度洋以及澳大利亚北部和菲律宾以西区域。从以上分析不难看出, 冬季 NAO 异常变化对北半球海平面气压以及 850 hPa 温度的影响明显强于西伯利亚高压异常变化的影响。

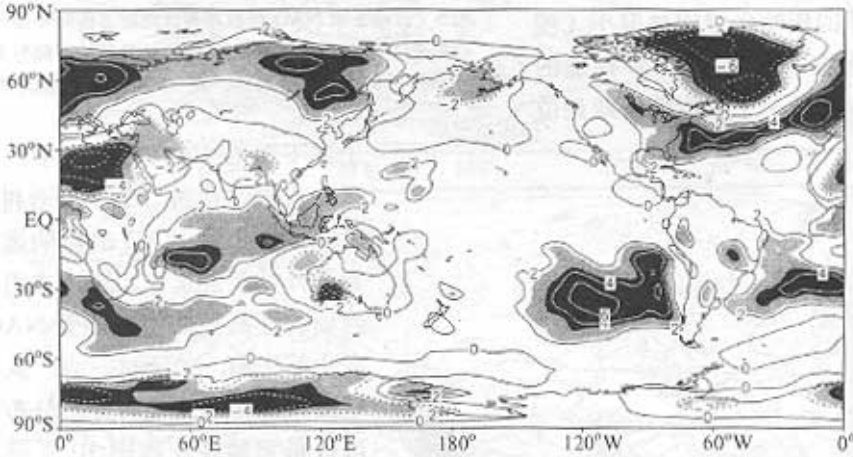


图 11 对应冬季 NAO 指数两种极端状态的 850 hPa 温度之差(异常偏高减异常偏低)的统计显著性空间分布
(灰: $\geq 95\%$ 统计显著性; 黑: $\geq 99\%$ 统计显著性)

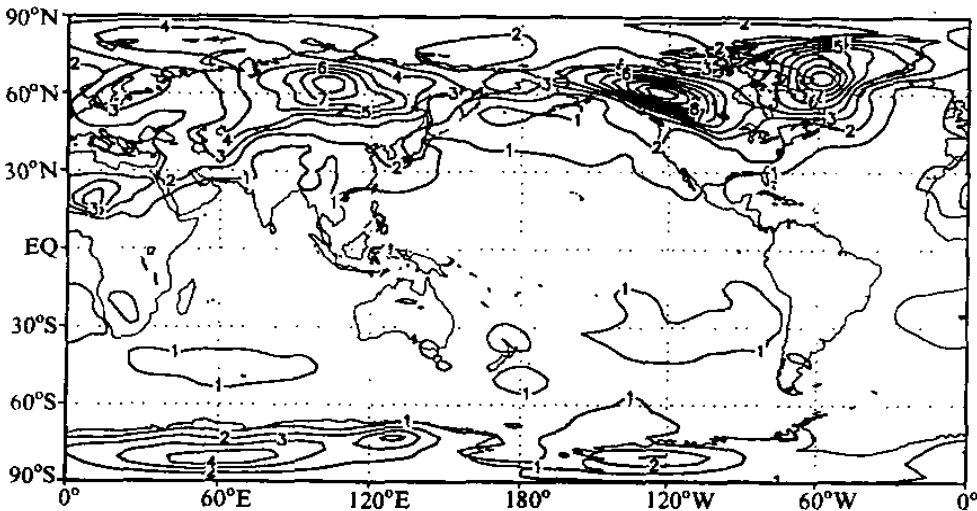


图 12 冬季 850 hPa 温度年际变化的方差分布

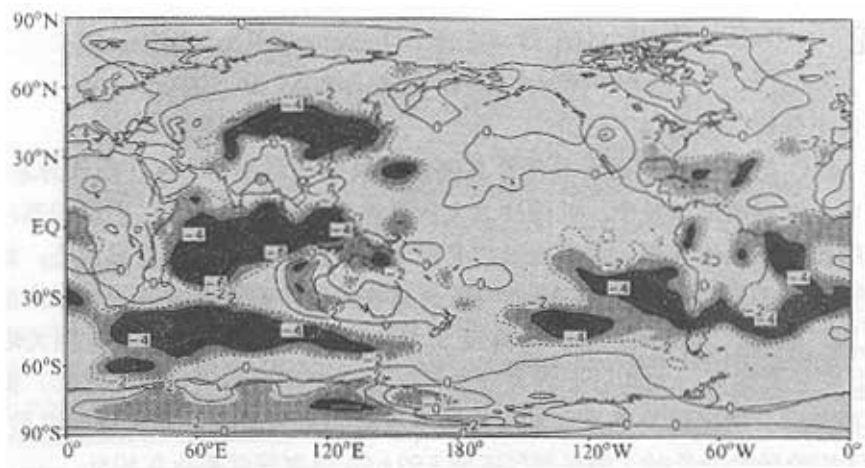


图 13 对应冬季西伯利亚高压范围指数两种极端状态的 850 hPa 温度之差
(异常偏高减异常偏低) 的统计显著性空间分布
(灰: $\geq 95\%$ 统计显著性; 黑: $\geq 99\%$ 统计显著性)

4 讨论

从以上分析不难看到, 冬季 NAO 与西伯利亚高压以及东亚冬季风变化存在较为密切的联系, 冬季 NAO 异常变化对北半球海平面气压以及 850 hPa 温度都有显著的影响, 它通过对西伯利亚高压的影响而影响东亚冬季风; 通过对 850 hPa 温度的影响进而影响冬季亚洲大陆中、高纬度的气温。关于冬季 NAO 异常变化如何影响西伯利亚高压的, 我们推测很可能是通过大气遥相关来实现的。在文献[11]中, 我们发现冬季喀拉海、巴伦支海海冰变化通过影响 EU 遥相关型而进一步影响东亚冬季风。而冬季 NAO 指数与 EU 遥相关型时间系数相关达 0.57 ($|R|_{0.01} = 0.34$)。因此, 很可能通过 NAO 影响 EU 遥相关型从而影响西伯利亚高压。

从温度场分析不难看到, 加拿大北部和格陵兰以西的气温与贝加尔湖及其以东的中、高纬度亚洲大陆气温呈反向变化关系。冬季 NAO 对西北欧 850 hPa 温度的影响主要是把中纬度暖湿空气向北输送的结果, 正如 Hurrell^[9]所指出的那样。但仅靠暖空气平流输送还无法解释其对亚洲大陆中、高纬度气温的显著影响。

此外, 我们还注意到, 冬季西伯利亚高压异常变化对 850 hPa 温度影响的合成图中, 在 30°N 以北的中、高纬度地区, 存在若干个正负相间的气温累积距平中心, 但是, 除了位于亚洲大陆 30~60°N 的温度变化是显著的外, 北半球 30°N 以北多数地区的温度变化都属于不显著变化。而在热带地区, 尤其是在赤道印度洋以及澳大利亚北部和菲律宾以西区域, 从合成图上看, 温度变化并不大, 但是, 这些区域的气温随冬季西伯利亚高压异常变化确实存在显著的差异。这些都表明, 在研究某种因素异常变化时, 必须进行统计显著性检验, 否则, 许多并不显著的变化可能被认为是受影响的结果, 而另外一些变化幅度小, 但确实存在显著差异的区域将被遗漏掉。

5 结论

通过以上分析, 得出以下结论:

冬季 NAO 与西伯利亚高压异常存在密切的联系, 当冬季 NAO 指数异常偏高时, 西亚、北非、欧洲南部以及中、低纬度北大西洋和北美洲海平面气压明显偏高; 而格陵兰以东至喀拉海、巴伦支海, 亚洲大陆和北美洲的极区海平面气压明显偏低, 此外, 贝加尔湖西南 $30\sim 50^{\circ}\text{N}$ 的亚洲大陆中部气压也显著偏低, 致使冬季西伯利亚高压和东亚冬季风减弱。此时, 北美洲东部、中纬度北大西洋、西欧和北欧以及亚洲大陆北部的 850 hPa 温度显著偏高, 尤其以亚洲大陆北部(泰梅尔半岛与贝加尔湖之间)偏高最为明显; 而西亚部分地区以及北部非洲、格陵兰以西加拿大东北部和北部气温显著偏低。冬季 NAO 指数异常偏低时, 海平面气压和 850 hPa 温度异常变化正相反。

当冬季西伯利亚高压范围异常偏大时, 30°N 以北亚洲大陆海平面气压显著偏高, 同时, 北太平洋中部以及西太平洋海平面气压显著偏低。 $30\sim 60^{\circ}\text{N}$ 之间的亚洲大陆中部和东部以及西北太平洋部分海域、澳大利亚北部和菲律宾以西的赤道印度洋 850 hPa 温度显著偏低。当冬季西伯利亚高压范围异常偏小时, 海平面气压和 850 hPa 温度异常变化正相反。

冬季西伯利亚高压范围异常变化对 NAO 没有显著的影响, 其对北半球海平面气压、850 hPa 温度的影响也明显要弱于 NAO 的影响。

参 考 文 献

- 1 Walker, G. T., 1923, Correlation in seasonal variations of weather, VIII: A preliminary study of world weather, *Mem. Ind. Meteor. Dept. (Poona)*, **24**, 275~310.
- 2 CLIVAR, A Research Programme on Climate Variability and Predictability for the 21st Century, 32~33.
- 3 Serreze, M. C., F. C. Carse, R. G. Barry and J. C. Roger, 1997, Icelandic low cyclone activity: climatological features, linkages with the NAO, and relationships with recent changes in the Northern Hemisphere circulation, **10**, 453~464.
- 4 Barnston, A. G. and R. E. Livezey, 1987, Classification, seasonality, and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns, *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1083~1126.
- 5 Hurrell, J. W. and H. Van Loon, 1997, Decadal variations in climate association with the North Atlantic Oscillation, *Climatic Change*, **36**, 301~326.
- 6 Hurrell, J. W., 1995, Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation, *Science*, **269**, 676~679.
- 7 Hurrell, J. W., 1996, Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 665~668.
- 8 黄荣辉等主编, 1996, 灾害性气候的过程及诊断, 北京: 气象出版社, 46~53.
- 9 李崇银, 1988, 频繁的强东亚大槽活动与 El Niño 的发生, *中国科学 (B辑)*, **6**, 667~674.
- 10 施能等, 1996, 东亚冬、夏季风百年强度指数及其气候变化, *南京气象学院学报*, **19**(2), 168~176.
- 11 武炳义, 黄荣辉, 高登义, 1999, 冬季北极喀拉海、巴伦支海冰面积变化对东亚冬季风的影响, *大气科学*, **23**(3), 267~275.

Effects of the Extremes in the North Atlantic Oscillation on East Asia Winter Monsoon

Wu Bingyi and Huang Ronghui

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract By using data analyses, we examined the effects of the extremes in the North Atlantic Oscillation (NAO) in winter on East Asia Winter Monsoon (EAWM). The results indicate that changes in winter NAO index are in anti-phase with that in the winter Siberia high extent; when winter NAO index exhibits extremely high (low) in phase, sea level pressure in the central Asian continent from 30°N to 50°N is pronounced lower (higher) than normal, which leads to both the winter Siberia high and EAWM are weakened (strengthened), and accompanied by the obvious higher (lower) temperature than normal over the north of the Asian continent; the extremes in winter Siberia high extent have no distinguished influences on NAO, and its effects on sea level pressure and temperature at 850 hPa over the Northern Hemisphere also are weaker than the effects of NAO.

Key words North Atlantic oscillation Siberia high extremes East Asia winter monsoon