

北大西洋涛动指数的比较 及其年代际变率*

龚道溢 王绍武

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

摘 要 首先对各种北大西洋涛动 (NAO) 指数的定义进行了比较。发现冬季和夏季 NAO 的涛动中心有显著的差异, 所以分别进行定义, 定义时的中心由 EOF 分析及相关分析确定, 新的定义能解释更多的海平面气压方差。在此基础上建立了 1873 年以来的冬、夏 NAO 指数序列。近百年来的 NAO 指数最突出的年代际变化是, 夏季在 1910~1920 年期间的突变性质的增强, 以及冬季近 20 多年来的持续加强。最后还对 NAO 年代际变化产生的可能原因进行了分析。

关键词: 北大西洋涛动; 指数; 年代际变率

1 前言

北大西洋涛动 (NAO) 不仅直接影响北大西洋及附近地区的气候, 甚至对整个北半球温度都有重要影响, 可以解释最近北半球冬季平均气温方差的 31%^[1,2]。因此, 气候变率及可预报性研究计划 (CLIVAR) 中, 将专门对 NAO 的研究列为年代—世纪尺度变率 5 个研究重点的第一个 (即 D1)^[3], NAO 的研究也是今后至少 15 年内国际气候学研究的主要课题之一。

NAO 的定量表征指标就是 NAO 指数, 目前 NAO 指数的定义有很多种。30 年代初 Walker 和 Bliss^[4]最早定义的 NAO 指数很复杂, 包括 5 个站的气温和 4 个站的气压, 这个定义过于繁琐, 而且定义中同时使用气温和气压, 混淆了二者间的因果关系, 所以后来逐渐被一些简洁的定义所代替 (见表 1)。

表 1 基于观测资料的各种 NAO 指数的定义与序列

编号	NAO 指数定义	开始时间	季节	文献
1	Ponta Delgada-Akureyri, 气压	1879 年	冬季	[5,6]
2	Ponta Delgada-Stykkisholmur, 气压	1867 年	1 月	[7]
3	Lisbon-Stykkisholmur, 气压	1864 年	12~3 月	[8]
4	Gibraltar-Reykjavik, 气压	1825 年	1~12 月	[9]
5	700 hPa, RPCA	1950 年	1~12 月	[10]

第 5 种用 700 hPa 高度场旋转主分量分析的时间系数来代表 NAO 的变化, 从物理

概念上看不如其他 4 种直截了当, 即 NAO 反应的是亚速尔高压和冰岛低压间气压的“翘翘板”(seesaw) 关系。但是, 这些定义最主要的问题在于其季节性, 因为前 4 种定义都是使用固定站的气压, 而实际上大气活动中心不仅强度在变化, 冬季和夏季其位置更是有极大的差异^[2], 所以前 4 种定义只是反映了冬季 NAO 的状况。第 4 种定义给出了全年各月的 NAO 指数, 但随后 Jones 等^[9]在其网页上声明这个序列只适用于冬半年。一些研究表明, NAO 在夏季也是存在的^[10,11], 需要单独对其定义。本文首先对夏季和冬季 NAO 的定义进行比较和确认, 进而分析其年代际变率的特点及可能形成原因。

2 冬季与夏季 NAO 指数的不同定义

利用经验正交函数 (EOF) 分析和相关分析可以对冬季和夏季 NAO 的强度及形态

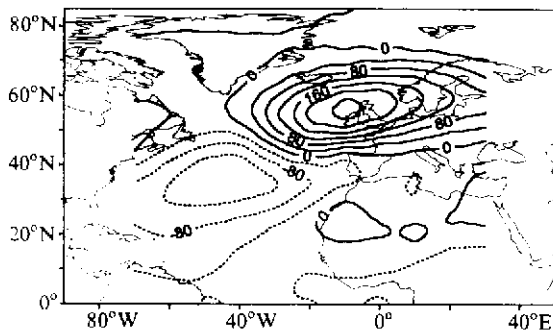


图1 夏季北大西洋地区海平面气压 EOF 分析
第 2 特征向量分布

进行确认。对北大西洋地区 ($70^{\circ}\text{W} \sim 30^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ} \sim 90^{\circ}\text{N}$) 冬季和夏季海平面气压分别进行 EOF 分析, 资料为美国环境预测中心/国家大气研究中心 (NCEP/NCAR) 再分析气压 (1958 年 1 月~1998 年 2 月), 分析前进行了面积加权处理 ($\times \cos\phi$) 及对 1961~1990 年求距平。与所有工作的结论一样, 冬季 NAO 是最主要的模态, EOF1 能解释总方差的 48.1%。不过夏季气压的 EOF1 并不是 NAO, 第一模

态反映的是大陆与海洋的热力差别, 但 EOF2 的 NAO 特征非常明显, EOF2 解释的方差也能达到 17.1%, 因此, 在夏季虽然 NAO 并非最突出的模态, 但也是存在的, 而且非常重要和显著。气压变率最大的地方, 并不一定位于大气活动中心的中心位置, 通常是在大气活动中心的边缘地区气压的变化最为显著。所以如果选择亚速尔群岛, 则夏季位置太偏东了。

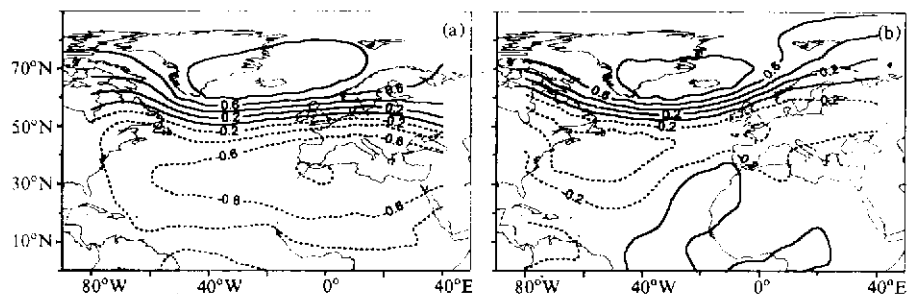


图2 北大西洋地区海平面气压的相关系数分布

(a) 冬季; (b) 夏季。都是与 65°N , $10^{\circ} \sim 30^{\circ}\text{W}$ 三个格点平均气压间的相关

根据以上分析, 对夏季和冬季分别定义 NAO 指数 (I_{NAO}):

夏季: $I_{\text{NAO}} = p(45^{\circ}\text{N}, 40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{W}) - p(65^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{W})$;

冬季: $I_{\text{NAO}} = p(35^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\text{W}\sim 10^{\circ}\text{E}) - p(65^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{W})$,

其中 p 表示海平面气压, * 表示标准化, 即高压区和低压区各取 3 个点的平均, 用它们标准化的差来代表 NAO。这种定义代表性如何呢, 可以做一些比较。见表 2, 表中 1~5 分别表示表 1 中的 5 种定义, 6 为新的定义。第 1 和第 3 种定义因缺夏季资料未计算。很显然, 对北大西洋地区的海平面气压场来说, 在冬季新的定义能解释的方差平均为 39.9%, 比其他 5 种都要高。在夏季, 基于海平面气压的 3 种定义之中, 新定义对海平面气压方差的解释率也是最高的, 是第 2、第 4 种定义的 3 倍多。这说明, 上述分夏季和冬季的不同而定义的 NAO 指数, 代表性有更好的提高。

表 2 不同 NAO 指数对北大西洋地区 SLP 的解释率

	1	2	3	4	5	6
冬季	37.3%	37.0%	35.3%	36.8%	27.8%	39.9%
夏季	—	3.8%	—	6.8%	22.3%	18.7%

3 NAO 指数的年代际变率

使用东英吉利大学(UEA/CRU)提供的北半球 5° 纬度 $\times 10^{\circ}$ 经度海平面气压资料, 计算了 1873 年以来冬、夏季的 NAO 指数, 原始资料到 1995 年, 以后由再分析资料补充 (见图 3)。

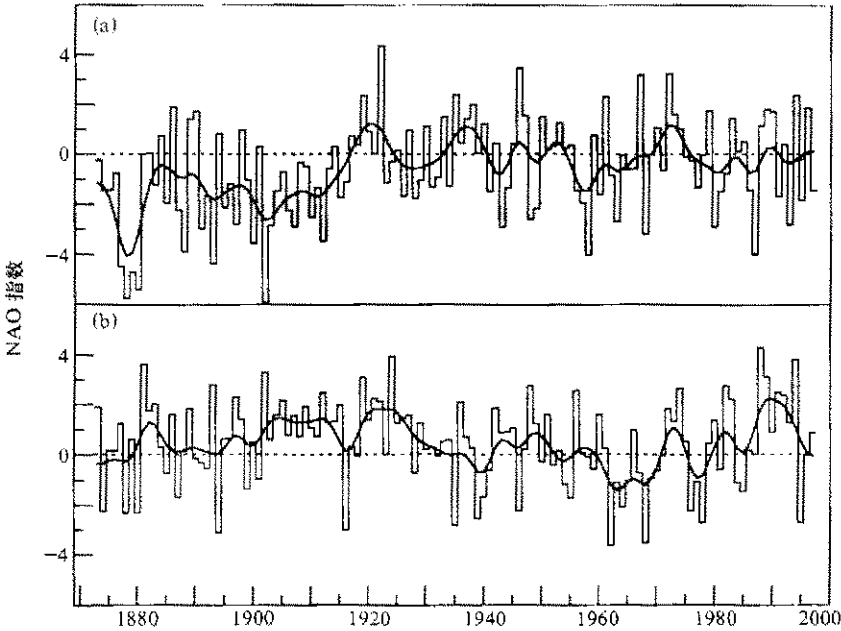


图 3 夏季 (a) 与冬季 (b) 的 NAO 指数 (1873~1997 年)

为检测在年代之间的可能的显著变化,应用了滑动 t 检验。即对任意一年,取其前和后相邻的 10 年的指数值,计算 t 值。超过 95% 信度的显著变化发生的时间,冬季: 1901、1927、1961、1971 和 1985 年前后;夏季: 1912、1932、1965 和 1979 年。

从上述前后 10 年的 NAO 指数的差值变化看,冬季 1985 年 t 值是 -3.1,在所有年代之间的 t 值中最突出,说明 20 世纪 80 年代中期到 90 年代初期比相邻的前 10 年有最显著的增强,而且,这种增强从 60 年代中期就开始了,一直持续了近 20 多年。这在近百年的记录中是前所未有的。对于夏季,则是以 20 世纪 10 年代到 20 年代的突变性质的增强最为显著,1912 年的 t 值高达 -3.9,是所有计算值中绝对值最高的,这在图 3 中非常清楚。

4 年代际变率的可能机制

很多研究认为 NAO 年代际变率的产生可能与北大西洋地区的海气相互作用有关。Deser 和 Blackmon^[12]曾发现在年代际尺度上大气的变率与海表温度有较好的一致性。一些耦合模式的模拟结果也显示,当温盐环流(THC)加强时,造成北大西洋正 SST 距平,增加的感热及水汽通量可使大气环流发生相应变化^[13]。不过最近 Osborn 等利用 HADCM2 耦合模式 1400 年控制积分的结果,发现虽然温盐环流有明显的年代际变化,但 NAO 并未表现出相应的显著变化^[14]。目前,温盐环流在年代际尺度上的变率有多大,以及又在多大程度上影响着 NAO,仍未有定论。



图 4 高指数年与低指数年冬季海平面气压的合成图

(高指数年为 1940 年以来最强的 5 年,依次为

1989、1988、1945、1982 和 1991 年;

低指数年为最弱的 5 年,依次为

1968、1962、1955、1946 和 1967 年)

负值用虚线表示(单位: hPa),

阴影区为 t 检验 95% 信度水平显著区

另外,近百年来全球温度变暖在两个时期非常突出,一个是 10 年代到 20 年代,另外就是 80 年代以来的这次。而这两次全球温度的显著增加,分别与夏季 NAO 指数在 10 年代的突然加强及冬季 NAO 指数最近 20 多年来的持续增加相吻合。一种观点认为,全球变暖可加强高纬与赤道地区高度场之间的梯度,以此来解释最近冬季 NAO 的持续增强。不过全球温度的变化与大气环流之间是相互影响、相互作用互为因果的关系,而且上述解释也不能很好说明夏季 NAO 的显著年代际变化。因此,全球变暖与 NAO 年代际变率的可能联系也还有待进一步研究。

有证据表明,NAO 的年代际变率也可能与大尺度大气环流系统的变化有关。从形式上看,NAO 是一个区域大气环流现象,NAO 指数反映

的是北大西洋地区的纬向风强弱,但同时还是北半球西风环流的一部分,只是后者是行星尺度系统,而 NAO 受海陆分布特征、海洋的热力和动力变化等的影响,更多地表现出区域特征。根据最近的 57 年资料计算,冬季 NAO 指数和北半球西风指数间相关系数达 0.61。从高低西风指数海平面气压合成图来看,高、低指数的循环的确在北大西洋表现为 NAO,同时,在北太平洋则表现为北太平洋涛动(NPO,见图 4)。这也为许多研究所证实^[15,16]。Thompson 和 Wallace^[17]提出的北极涛动实际上反应的也是北半球中纬冬季的西风强度,根据 1900~1995 年 11 月到 4 月资料计算,北极涛动指数与表 1 中第二种 NAO 指数相关系数达 0.69。因此,区域尺度的 NAO 也必然受行星尺度西风环流变化的影响,尤其是在年代际时间尺度上。而西风指数从 70 年代开始以来,也一直呈强烈的增强趋势,因此,冬季 NAO 指数近 20 多年来的加强,其中可能有很大一部分是由北半球西风环流系统的年代际变化造成的。

5 结论

由于大气活动中心的强度和位置在不同季节都有显著的变化,所以 NAO 指数在冬季和夏季必须分别进行定义。而且在定义时使用多个格点的平均气压,可以较好地克服使用单站资料可能受到小尺度扰动的影响和资料误差。

近百年来冬季和夏季的 NAO 指数序列都表现出显著的年代际尺度的变率,其中最突出的年代际变化是夏季在 20 世纪 10 到 20 年代的突变性质的加强以及冬季近 20 多年来的持续增强。

NAO 的年代际变率的产生可能与多种因素有关,这些因素包括北大西洋地区的温盐环流、海温变化、全球变暖及北半球的西风环流等。具体形成机制还需要进行更深入的研究。

参 考 文 献

- 1 Hurrell, J. W., Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 1996, 655~668.
- 2 Hurrell, J. W. and van Loon H., Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation, *Climatic Change*, 1997, **36**, 301~326.
- 3 WMO, CLIVAR: A research program on climate variability and predictability for the 21st century. WCRP No. 101, WMO / TD No 853, ICPO No. 10, UNESCO, 1997, 1~48.
- 4 Montgomery, R. B., Report on the work of G. T. Walker, *Mon. Wea. Rev.*, 1940, Supp. No. 39, 1~22.
- 5 Rogers, J. C., The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, 1984, **112**, 1999~2015.
- 6 Koslowski, G. and Locwe P., The western Baltic sea ice season in terms of a mass-related severity index 1879~1992, Part I: temporal variability and association with the North Atlantic Oscillation, *Tellus*, 1994, **46A**, 66~74.
- 7 Moses, T., Kiladis G. N., Diaz H. F. and Barry R. G., Characteristic and frequency of reversals in mean sea level pressure in the north Atlantic sector and their relationship to long-term temperature trends, *J. Climatol.*, 1987, **7**, 13~30.
- 8 Hurrell, J. W., Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation, *Science*, 1995, **269**, 676~679.

- 9 Jones, P. D., Jonsson T. and Wheeler D., Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland, *Int. J. Climatol.*, 1997, **17**, 1433~1450.
- 10 Barnston, A. G. and Livezey R. E., Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns, *Mon. Wea. Rev.*, 1987, **105**, 1083~1126.
- 11 Baelow, L. K., White J. W. C., Barry R. G., Rogers J. C. and Grootes P. M., The North Atlantic Oscillation signature in Deuterium and Deuterium excess signals in the Greenland Ice Sheet Project 2 ice core, *Geophys. Res. Lett.*, 1993, **20**, 2901~2904.
- 12 Deser, Blackmon, Surface climate variations over the north Atlantic ocean during winter: 1900~1989, *J. Climate*, 1993, **6**, 1743~1753.
- 13 Delworth, T. L., Manabe S., Stouffer R. J., Interdecadal variations of the thermohaline circulation in a coupled ocean-atmosphere model, *J. Climate*, 1993, **6**, 1993~2011.
- 14 Osborn, T. J., Briffa K. R., Jones P. D., Tett S. F. B., Relationships between European climate and the North Atlantic Oscillation: observations, models and paleodata. CRU / UEA GR9 / 02522, 1998, 1~8.
- 15 Wallace, J. M., Hsu H-H., Another look at index cycle, *Tellus*, 1985, **37A**, 478~486.
- 16 Lorenz, E. N., Seasonal and irregular variations of the Northern Hemisphere sea-level pressure profile, *J. Meteor.*, 1951, **8**, 52~59.
- 17 Thompson, D. W. and Wallace J. M., The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **25**, 1297~1300.

The North Atlantic Oscillation Index and Its Interdecadal Variability

Gong Daoyi and Wang Shaowu

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Abstract The different definitions of North Atlantic Oscillation indices are compared. Because the locations and intensities of the centers of atmospheric action change significantly with seasons. So it must be differently defined in summer and winter. The summer index of North Atlantic Oscillation is defined as $\hat{p}_{(45^{\circ}\text{N}, 40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{W})} - \hat{p}_{(65^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{W})}$, and winter index as $\hat{p}_{(35^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\text{W}\sim 10^{\circ}\text{E})} - \hat{p}_{(65^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{W})}$, where $\hat{p}$ is the sea level pressure, * means standardization. Following this definition, the summer and winter NAO indices from 1873 through 1997 are established. During the past century, NAO showed significant interdecadal variability. In summer NAO has an abrupt change during the mid 1910s, and in winter the continuous increasing during the last 2 decades is most striking. Three possible mechanisms associated with the interdecadal variability are also discussed. First one is the thermal and dynamic interaction between the North Atlantic Ocean and the overlaying atmosphere, the second one is the global warming, and the third one is the variation of planetary-scale atmospheric circulation affecting (or controlling to some degree) the NAO.

Key words: North Atlantic Oscillation (NAO) index; interdecadal; variability