

杨莲梅, 张庆云. 北大西洋涛动对新疆夏季降水异常的影响. 大气科学, 2008, 32 (5): 1187~1196

Yang Lianmei, Zhang Qingyun. Effects of the North Atlantic Oscillation on the summer rainfall anomalies in Xinjiang. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2008, 32 (5): 1187~1196

# 北大西洋涛动对新疆夏季降水异常的影响

杨莲梅<sup>1, 2</sup> 张庆云<sup>1</sup>

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002

**摘 要** 利用 1961~2003 年 NCEP/NCAR 再分析和新疆 75 个气象站月降水资料, 分析新疆夏季降水与沿西亚副热带西风急流 Rossby 波和北大西洋涛动 (NAO) 的关系, 研究表明, 夏季斯堪的纳维亚半岛-中欧-西亚和中亚的准静止波传播是联系 NAO 与沿西亚副热带西风急流波活动和新疆夏季降水变化的纽带。通过波作用量的动力学诊断分析, 讨论了夏季 NAO 正、负位相异常年准静止波传播特征和差异, 夏季 NAO 强弱活动影响斯堪的纳维亚半岛 EP 通量散度强度和位置异常, 该区 EP 通量散度强度和位置异常导致强辐散中心在中高纬向东传播的准静止波和沿副热带西风急流准静止波活动变化, 从而影响新疆夏季降水。

**关键词** 新疆 夏季降水 西亚西风急流 准静止波 北大西洋涛动

**文章编号** 1006-9895 (2008) 05-1187-10

**中图分类号** P426

**文献标识码** A

## Effects of the North Atlantic Oscillation on the Summer Rainfall Anomalies in Xinjiang

YANG Lianmei<sup>1, 2</sup> and ZHANG Qingyun<sup>1</sup>

1 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002*

**Abstract** The relationships between summer rainfall in Xinjiang and Rossby wave activity (RWA) along West Asia subtropical westerly jet stream (WASWJS) and the North Atlantic Oscillation (NAO) are examined by using the NCEP/NCAR reanalysis dataset and 75 stations monthly precipitation data in Xinjiang from 1961 to 2003. The results show that Rossby wave train along Scandinavian Peninsula - middle Europe - WASWJS in summer connects NAO and RWA along WASWJS and summer rainfall variations in Xinjiang. Based on Eliasson-Palm flux (EPF) diagnoses, the characteristics and difference of stationary waves propagation in positive/negative NAO phase years are discussed. Not only does summer NAO impact current regions climate, but also WASWJS and Xinjiang climate in its lower areas. It is found that the strong divergence center of EPF over Scandinavian Peninsula is more westward (eastward) and stronger (weaker) than normal in positive (negative) NAO phase years. There are two horizontal wave activity propagation paths from the strong EPF divergence center over Scandinavian Peninsula in positive NAO phase years. First, the quasi-stationary wave from the EPF divergence center propagates eastward, turns southeastward near the Ural Mountains, enters subtropical westerly jet stream over the Caspian Sea - the Aral Sea, and con-

**收稿日期** 2007-02-27, 2007-09-28 收修定稿

**资助项目** 国家自然科学基金资助项目 40775056, 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-226, 新疆气象科学基金 200609

**作者简介** 杨莲梅, 女, 1969 年出生, 博士, 副研究员, 主要从事中高纬气候异常机理研究。E-mail: yanglm@idm.cn

tinues propagating eastward, this wave propagation is stronger than normal. Second, the quasi-stationary wave from the strong EPF divergence center directly propagates southeastward and enters subtropical westerly jet stream near eastern Mediterranean – the Black Sea, so this quasi-stationary wave propagation along WASWJS is stronger than normal in positive NAO phase years. While in negative NAO phase years the quasi-stationary wave from the strong EPF divergence center propagates eastward in high latitude areas, and the quasi-stationary wave from the second strong EPF divergence center propagates southeastward and enters WASWJS near eastern Mediterranean – the Black Sea, the quasi-stationary wave propagation along WASWJS is weaker than normal. As a result, summer NAO activity anomalies cause EPF divergence intensification and position variations over Scandinavian Peninsula, and variations of wave eastward propagation in mid-high latitudes and the quasi-stationary wave activity along WASWJS are induced by these divergence variations, so summer rainfall anomalies in Xinjiang are affected.

**Key words** Xinjiang, summer rainfall, West Asia westerly jet stream, quasi-stationary wave, the North Atlantic Oscillation

## 1 引言

新疆约占中国国土面积的六分之一,气候不受季风系统的直接影响<sup>[1,2]</sup>,为独特的干旱、半干旱沙漠气候,降水主要集中于夏季(6~8月),降水变率大。从大气环流系统上看,中高纬波动、伊朗高压、西太平洋副热带高压和南亚高压都能对新疆夏季降水产生影响,干旱背景下降水异常成因十分复杂,最近,张庆云等<sup>[3]</sup>研究指出中国东部地区、西北地区夏季降水型有各自不同的年代际变化趋势,中国东部夏季降水型及东亚夏季风环流年代际变化趋势与大气外强迫因子北太平洋中纬度海温年代际变化关系密切,而中国西北地区夏季降水年代际变化与大气内部动力过程中纬度西风带扰动动能年代际减弱有关,可见西北地区夏季降水机制与东部地区有很大差异。季节旱涝异常的年际预测能力是目前气候研究中的一项重要非常重要的内容,相对于中国东部地区而言,针对新疆夏季降水异常机理研究比较薄弱,而随着全球变暖气候极端事件增多,新疆夏季降水异常的影响随经济的发展日益加剧。

以往的研究认为,北大西洋涛动(NAO)有很强的区域性,它们对全球或半球天气、气候的影响较 El Niño 和南方涛动(ENSO)小,所以对它的研究较 ENSO 少。但近年来,NAO 的变化以及对区域气候乃至全球气候变化的影响受到广泛重视。例如,李崇银等<sup>[4]</sup>认为 1960 年代的气候跃变与 NAO 的异常有密切的关系;Hurrell 等<sup>[5,6]</sup>指出最近北大西洋海面温度(SST)变冷及欧亚大陆增温,几乎全可由 NAO 的变化解释,北半球中高纬地区年平均气温的年际变率近 1/3 也可由 NAO 的变化得到

解释。Wallace 等<sup>[7]</sup>认为,IPCC 所评估的最近全球加速增暖部分,几乎全部是由 ENSO 和 NAO 的年代际变化分量所造成。关于 NAO 对欧美地区气候异常影响的研究<sup>[8~11]</sup>就更多了。降水受局地因素影响很大,与大气环流的关系也颇为复杂,所以 NAO 对区域、半球和全球降水的影响不像对温度那么显著,但 Peng 和 Mysak<sup>[12]</sup>指出,NAO 对降水的影响可能不仅局限于北大西洋区域,因为北大西洋地区大气环流的改变可以影响气旋和反气旋强度、路径,从而可能对欧洲中部,西西伯利亚的降水产生影响。Jones 和 Conway<sup>[13]</sup>的研究指出,当 NAO 指数为高值时,北欧(45°N 以北)冬季比正常年暖和、潮湿;西风加强使英国西部、北部和挪威南部等地区降水较常年明显偏多。Watanabe<sup>[14]</sup>指出 2 月 NAO 影响通过亚洲急流可达东亚和北太平洋地区。符淙斌等<sup>[15]</sup>认为中国东部特别是北部地区平均旱涝指数在落后冬季 NAO 指数 1 至 3 年的情况下,两者有很好的正相关关系,我国北部地区及东部平均旱涝指数与 NAO 指数几乎有完全相同的年际、年代际乃至世纪尺度的振荡周期,NAO 的变化影响不仅仅局限于北大西洋及其周边地区,它可能与我国和全球气候变化都有一定的联系,但冬季 NAO 影响夏季东亚降水的机理还有待于深入研究。武炳义等<sup>[16]</sup>发现冬季 NAO 与西伯利亚高压异常存在密切的联系。沈学顺等<sup>[17]</sup>指出春季欧亚大陆地表气温年际变化呈现为大陆尺度的南北跷跷板式的空间分布特征,这种分布与前期冬季 NAO 有着显著的正相关,而与同期的 NAO 无关。周天军等<sup>[18]</sup>指出大西洋热盐环流年代际和年际振荡相对应的气候异常型反映了 NAO 活动中心的强度变

化。NAO 在一年的每个月都存在, 但有明显的季节、年际和年代际变化, 冬季最明显, 以往的研究多偏重于冬季, 夏季 NAO 对下游的影响能到达多远, 是否与新疆夏季旱涝有联系? 考虑到与 NAO 相联系的大气环流系统地处新疆上游, 夏季 NAO 变化引起的环流改变很有可能会对新疆气候变化产生重要影响, 了解 NAO 与新疆夏季降水异常的关系对新疆夏季降水的预测是有意义的。本文将分析 NAO 与新疆夏季降水异常的某些联系和途径。

## 2 资料和方法

应用 1961~2003 年夏季 (6~8 月) 新疆 75 个气象站月降水量资料, 美国国家环境预测中心和大气研究中心 NCEP/NCAR 提供的再分析资料 (2.5°×2.5°), 再分析资料空间层次为 1000 hPa ~ 30 hPa, 共 15 层。气候平均为 1971~2000 年平均。NOAA 气候预报中心 (Climate Prediction Center) [19] NAO 指数, 定义 6~8 月的 NAO 指数平均为夏季平均指数。

新疆夏季是一个相对独立的降水气候区[20], 与中国其他地区关系不密切。用 1961~2003 年新疆 75 个气象站夏季降水量标准化值进行经验正交函数 (EOF) 分析, 表明第一模态占总方差的 22.5%, 空间分布为全疆降水变化的一致性, 仅北疆东北部与其他区域存在弱的相反分布; 第二模态占总方差的 17.1%, 空间分布为南、北疆降水的相反变化, 第三模态占总方差的 7.2%, 表现为天山山区及其两侧与其他地区降水的反位相变化, 这三个分布型与多年的预报经验一致。由于 EOF 分析

对空间的变化很敏感, 旋转 EOF 分析最大特点是不依赖空间范围, 根据 Screen 准则、North 特征值误差范围[21], 对夏季降水量选用前 5 个载荷向量进行正交旋转, 第一空间模 (图 1a) 反映南疆、北疆西部和西北部、北疆沿天山一带等新疆大部分地区降水量呈一致的变化, 北疆北部和东部与其他区域呈弱反相分布, 该模态方差贡献率为 17%, 其对应的正规化时间序列 (RPC1) 见图 1b, 旋转经验正交分解 (REOF) 第一空间模在 1987 年以后为弱年代际降水增多时期。REOF 第二空间模表现为天山山区及其南北侧降水与其他地区相反分布, 方差贡献率为 11%。第一空间模变化与亚洲副热带西风急流联系密切[20], 而第二模态变化与急流联系不大, 因此, 这里着重讨论第一空间模降水与西亚西风急流和 NAO 的关系。

EP 通量是研究波流相互作用、波动传播和地转位涡输送的有效方法, 是行星波活动和异常的重要诊断工具, Takaya 和 Nakamura[22] 根据 Plumb[23] 的工作给出了沿变化基本气流的静止波的波活动通量的公式, 表述为

$$W = \frac{p}{2|U|} \left[ \frac{f_0^2}{S^2} [U(\Psi'_x \Psi'_p - \Psi'_y \Psi'_{yp}) + V(\Psi'_y \Psi'_p - \Psi'_x \Psi'_{xp})] \right]$$

用 6~8 月平均作为夏季, 则已滤去瞬变扰动, 这里的静止波为相对于基本气流的定常扰动。夏季沿亚洲副热带西风急流准静止 Rossby 波数为 3~7 波[24], 为了研究准静止 Rossby 波扰动强弱变化, 对 200 hPa 流函数进行傅里叶 (Fourier) 谐波分

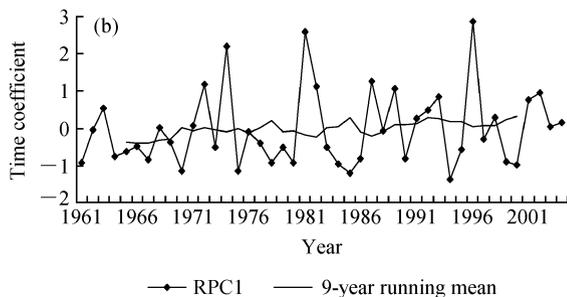
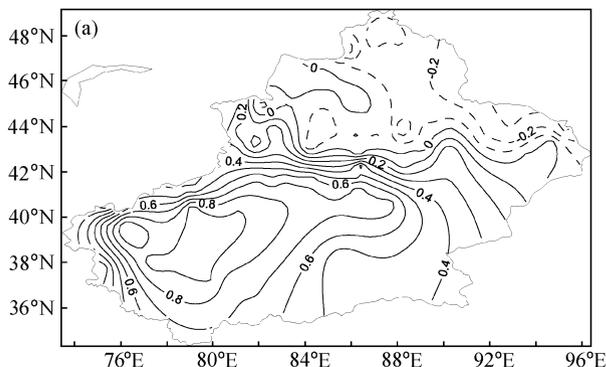


图 1 新疆 75 站夏季降水量标准化序列 REOF 方差最大的特征模态 (a) 及对应的正规化时间序列 RPC1 (b)

Fig. 1 The pattern of the eigenvectors of the first gravest rotated empirical orthogonal function (REOF) modes (a) and corresponding time series (b) for normalized summer rainfall at 75 stations of Xinjiang

析,并参考文献[25]对准静止 Rossby 波的定义,定义波数  $k < 3$  为基本气流场,  $k \geq 3$  为定常静止波扰动,因此上式中  $\Psi'$  为谐波分析滤去波数小于 3 后的扰动流函数,  $|U|$  为水平风速,  $p$  为气压,  $U$ 、 $V$  为基本气流的纬向和经向分量,  $S^2$  为静力稳定度参数。本研究应用上式讨论 Rossby 波波源和能量传播特征。

亚洲副热带西风急流是位于对流层高层的具有行星尺度的重要大气环流系统,是影响天气、气候异常的重要系统之一。同时,西风急流是一个波导,沿急流上 Rossby 波活动对夏季中纬度地区气候变化有重要影响。纬向波数  $k < 3$  代表基本流场,纬向波数  $k \geq 3$  被认为对基本气流的扰动。随着纬向变化基本流场和扰动的分离,基本气流变化被剔除。对夏季 200 hPa 风速进行傅里叶 (Fourier) 变换,波数  $k < 3$  为基本场 ( $u_b, v_b$ ),则扰动风速 ( $u', v'$ ) = ( $u, v$ ) - ( $u_b, v_b$ ),扰动动能  $E_k = (u' u' + v' v')/2$ 。夏季亚洲副热带西风急流恰好位于新疆上空,是影响新疆降水天气过程的重要大气环流系统之一<sup>[20]</sup>,西亚急流位于新疆上游,其位置、强弱对新疆夏季降水异常有重要影响。夏季西亚急流和东亚急流强度、南北位置和 Rossby 波活动变化显著<sup>[24]</sup>,急流风速最大值的纬度作为急流轴,西亚急流的 Rossby 波扰动动能取  $15^\circ\text{E} \sim 60^\circ\text{E}$  急流轴  $\pm 5^\circ$  的区域平均扰动动能作为度量,并进行标准化作为西亚急流 Rossby 波扰动动能指数 (West Asia Jet Rossby Index, 简称 WAJRI)。该指数较好地反应了西亚急流强度、位置和 Rossby 波扰动综合活动<sup>[24]</sup>。

### 3 新疆夏季降水异常与西亚副热带西风急流扰动和 NAO 的关系

图 2 为夏季 WAJRI 和新疆夏季降水 REOF 第一空间模时间序列 (XJSR) 年际及年代际变化,43 年中两者之间线性相关系数为  $-0.35$ ,通过 0.02 显著性  $t$  检验,表明夏季西亚急流 Rossby 波年际活动与新疆降水年际变化有密切联系。两者年代际变化序列之间相关系数为  $-0.68$ ,20 世纪 80 年代末新疆夏季降水年代际增多与 WAJRI 年代际减弱相对应。表明位于新疆上游的西亚急流 Rossby 波年际和年代际活动与新疆夏季降水年际和年代际变化紧密联系。关于夏季西亚急流的 Rossby 波活动如何引起新疆降水变化将另文讨论。

图 3 为夏季 NAO 与 WAJRI 年际变化,两者之间线性相关系数为 0.60,通过 0.001 显著性  $t$  检验,可见两者之间关系显著,NAO 为高指数则西亚急流 Rossby 波扰动动能强,反之则相反。两者年代际变化也呈同相变化,年代际变化序列之间相关系数为 0.75,表明 NAO 活动与西亚急流 Rossby 波活动年际和年代际变化紧密联系。由此,推测上游的 NAO 活动影响西亚急流 Rossby 波活动,而西亚急流 Rossby 波活动又影响下游新疆地区夏季降水变化,是否 NAO 与新疆夏季降水存在显著线性关系?

图 4 为夏季 NAO 与 XJSR 年际变化,两者之间线性相关系数为  $-0.19$ ,未通过 0.05 显著性  $t$  检验,可见两者之间线性关系不显著,这是由于降水与大气环流的关系颇为复杂,新疆夏季降水异常除了受北方来的冷空气活动影响外,还与中、低纬

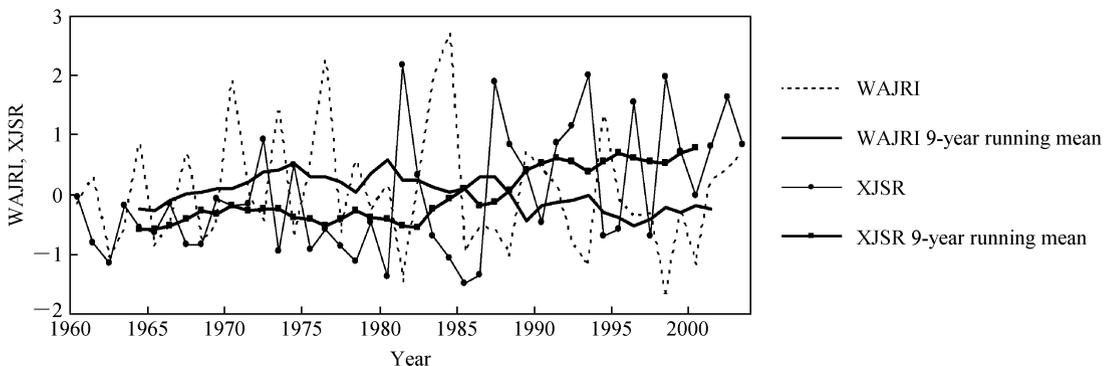


图 2 夏季 WAJRI 和新疆夏季降水第一主分量时间序列 (XJSR) 年际及年代际变化

Fig. 2 Interannual and interdecadal variations for summer WAJRI and the time series of the first principal component of Xinjiang summer rainfall REOF (XJSR)

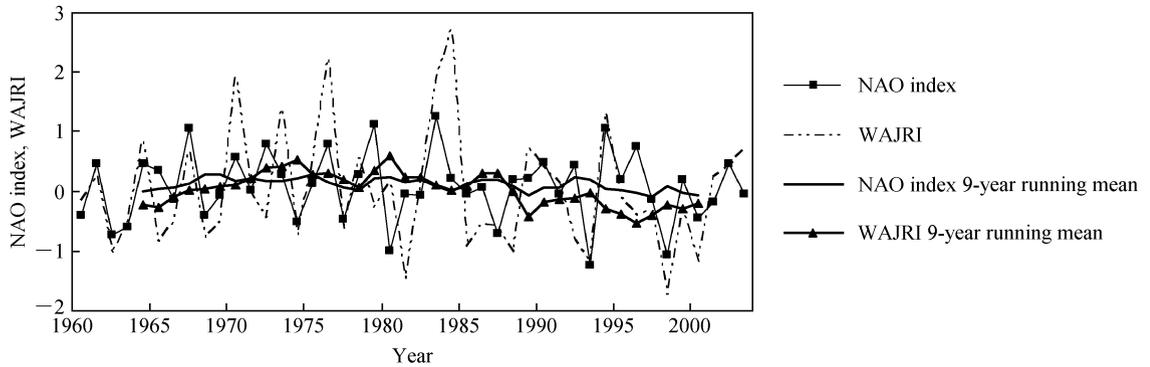


图 3 夏季 NAO 和 WAJRI 年际及年代际变化

Fig. 3 Interannual and interdecadal variations for the summer North Atlantic Oscillation (NAO) and WAJRI

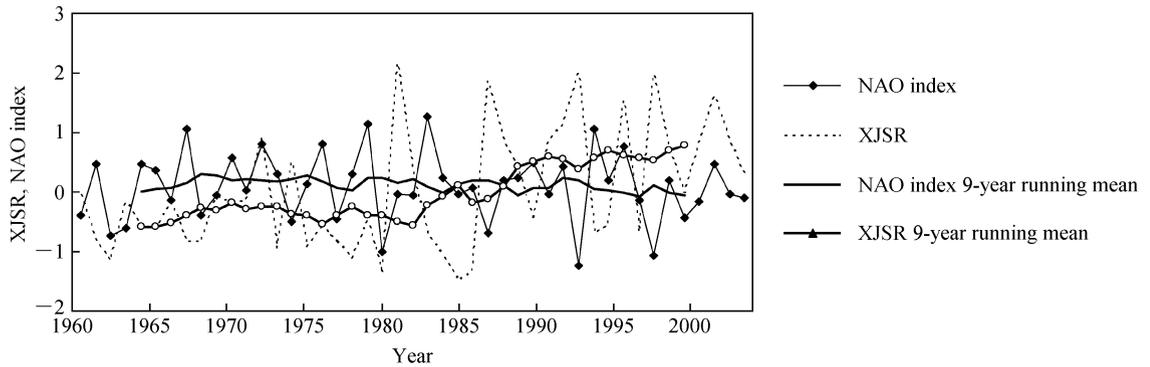


图 4 夏季 NAO 和 XJSR 年际变化

Fig. 4 Interannual and interdecadal variations for summer NAO and XJSR

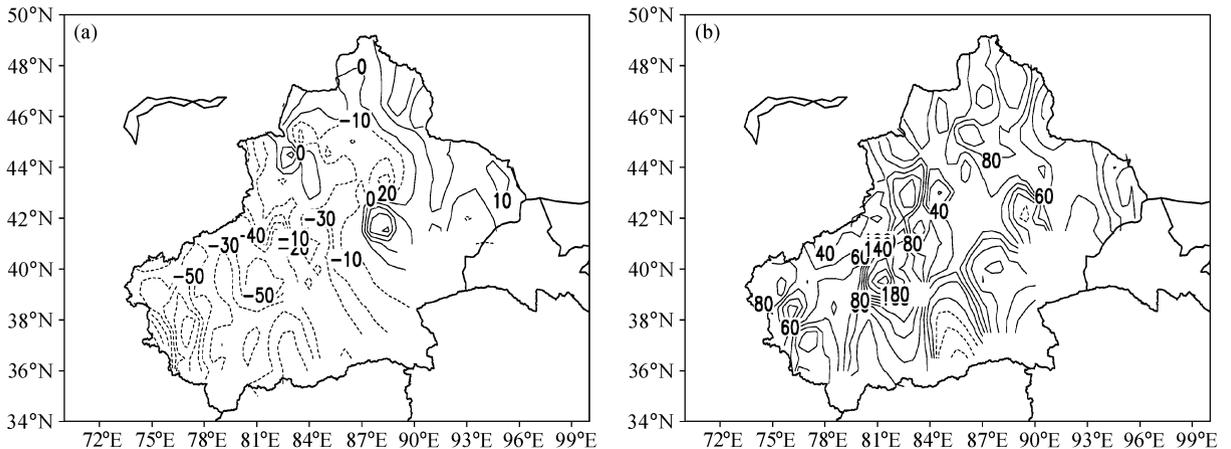


图 5 新疆夏季降水距平百分率(%)：(a) NAO 正位相异常年；(b) NAO 负位相异常年

Fig. 5 Percentages (%) of summer rainfall anomalies in Xinjiang for (a) positive NAO phase years and (b) negative NAO phase years

偏南路径水汽输送密切联系<sup>[20]</sup>，对新疆这样的干旱、半干旱区水汽是产生降水的关键条件之一，NAO 通过西亚急流间接影响新疆夏季降水，主要影响中纬度波动影响新疆，而与影响新疆降水的

中、低纬水汽输送联系不密切。图 5 给出 NAO 正位相 (NAO 指数大于 1 个标准差年，为 1967、1979、1983、1994 年) 和负位相 (NAO 指数小于 1 个标准差年，为 1980、1987、1993、1998 年) 异常

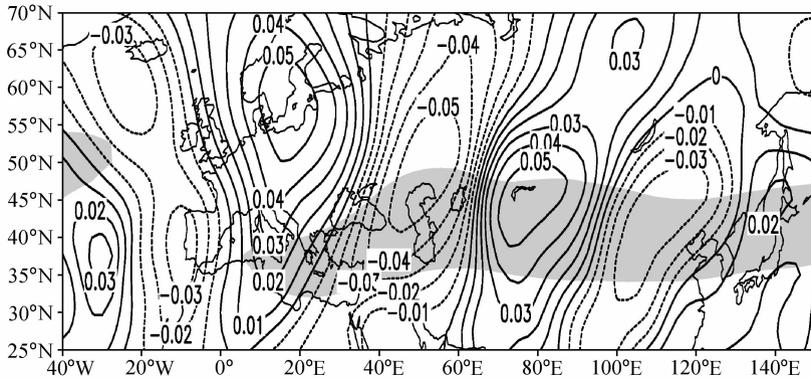


图 6 夏季 200 hPa 经向风标准化 EOF 分解方差最大的特征模态。阴影表示纬向风大于 20 m/s 的西风急流区

Fig. 6 The pattern of the eigenvectors of the first gravest EOF modes of 200-hPa meridional wind in summer. Shadings indicate jet areas with zonal wind larger than 20 m/s

年新疆夏季降水距平百分率分布, 由图可见, NAO 正位相异常年新疆大部地区降水偏少 20%~70%, 仅北疆北部和东部偏多 10%左右, 与新疆夏季降水 REOF 第一模态空间分布一致, 而负位相异常年新疆夏季降水偏多 40%~120%, 可见 NAO 异常年新疆夏季降水表现为显著异常。

NAO 与 XJSR 之间通过何种途径联系? 图 6 给出夏季 200 hPa 标准化经向风的经验正交函数 (EOF) 分析所占方差最大的特征模, 计算区域为 (25°N~70°N, 40°W~150°E), 可以看到, 第一模态占总方差的 16.5%, 反映的是从冰岛-斯堪的纳维亚半岛-亚洲中纬度地区的西北-东南向波列 (VEOF-1) 活动, 其中心位置分别位于 (60°N, 25°W)、(57.5°N, 20°E)、(45°N, 50°E)、(45°N, 75°E)、(42.5°N, 110°E), 波列从冰岛南部向东南方向传播, 在亚洲里海、咸海上空进入副热带西风急流, 然后沿急流主体传播, 该模态为欧亚中高纬地区波列主要模态, 由此可见, 沿亚洲西风急流 Rossby 波列与冰岛地区-斯堪的纳维亚半岛波活动密切联系。

44 年中 NAO 与 VEOF-1 线性相关系数为 -0.33, 表明 NAO 变化明显地影响 VEOF-1 活动, 而 VEOF-1 与 WAJRI 线性相关系数为 -0.69, 表明沿西亚西风急流 Rossby 波活动显著受 VEOF-1 波列活动影响, VEOF-1 与 XJSR 线性相关系数为 0.38, 表明新疆夏季降水变化也明显受 VEOF-1 波列活动影响。XJSR 时间序列与 200 hPa 经向风相关分布见图 7。图 7 与图 6 非常相似, 且通过 0.05 显著性  $t$  检验区域与波列中心一致, 表明新疆夏季

降水量变化与冰岛-斯堪的纳维亚半岛-亚洲中纬度地区的波列活动相联系, 新疆夏季降水不仅与沿副热带西风急流波动联系, 而且与更上游的冰岛和北欧高纬地区波动联系。NAO 的原始定义是指海平面气压场上冰岛低压与亚速尔高压之间气压的反相关现象, 这里使用的 NAO 指数是根据 700 hPa 高度场进行 EOF 分析计算获得, 因而 NAO 低指数对应于冰岛附近的气压偏高, 而北大西洋中纬地区气压偏低, 高指数正好相反, 分析表明这种关系在整个对流层均存在, 因此 NAO 异常也表现在对流层顶, 由此可见, 冰岛-斯堪的纳维亚半岛-西亚和中亚地区的波列活动是联系 NAO 与沿西亚副热带西风急流波动和新疆夏季降水变化的纽带。

#### 4 NAO 活动影响新疆夏季降水异常的水平波活动通量差异

图 8a 为 NAO 正位相异常年 200 hPa 水平波活动通量和散度分布, 冰岛南部大西洋-斯堪的纳维亚半岛为 EP 通量强辐散区, EP 通量强辐散中心位于 (57.5°N, 15°E) 附近, 该强辐散区的水平波作用量矢量存在 2 条水平波活动通量传播路径, 一条向东传播在乌拉尔山附近转向东南方向传播, 在里海、咸海-中亚上空进入副热带西风急流并继续向东传播, 一条直接向东南方向传播, 在地中海东部和黑海附近进入副热带西风急流并沿急流向东传播, 表明高纬斯堪的纳维亚半岛水平波活动通过二条路径影响沿西风急流波活动。距平 (图略) 分布表明冰岛及其南部大西洋-斯堪的纳维亚半岛 EP 通量辐散增强, 强辐散中心直接向东南向传播, 进

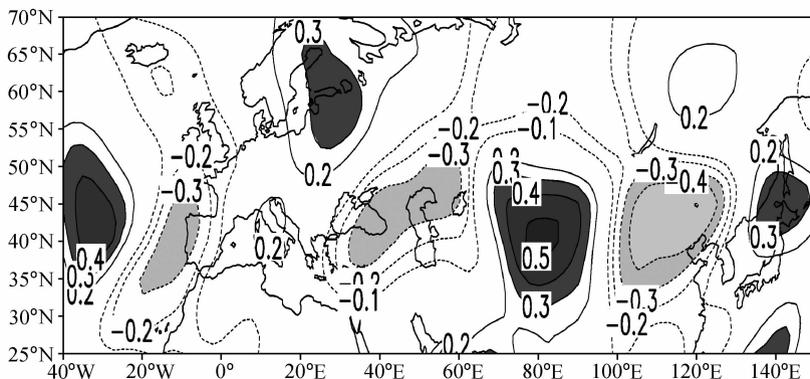


图 7 新疆夏季降水第一空间模时间序列与 200 hPa 经向风相关分布。阴影表示通过 0.05 统计信度检验

Fig. 7 Linear correlation between time series of the first mode of Xinjiang summer rainfall REOF and 200-hPa meridional winds in summer. Shadings indicate areas at 0.05 statistical significance level

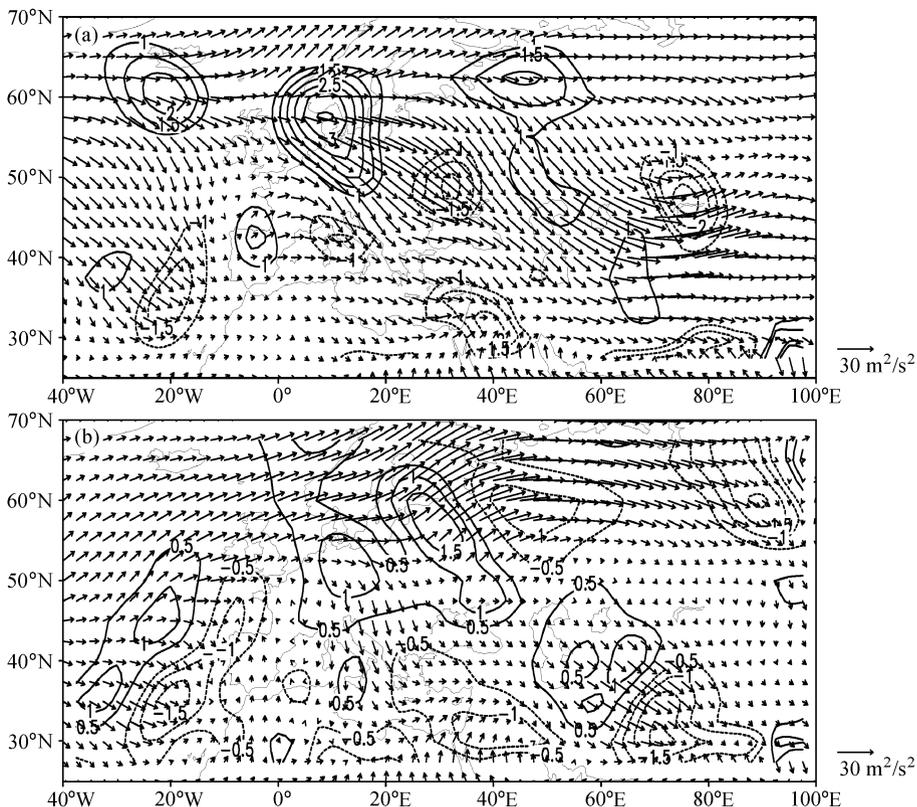


图 8 夏季 200 hPa 水平波活动通量 (箭头) 和散度 (等值线, 单位:  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$ ): (a) NAO 正位相异常年; (b) NAO 负位相异常年

Fig. 8 The horizontal wave activity flux (vectors) and its divergence (contours,  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$ ) at 200 hPa in summer for (a) positive NAO phase years and (b) negative NAO phase years

入西风急流入口处波传播增强, 向东传播波在乌拉尔山转向东南进入西亚急流传播波通量也增强, 沿西亚急流波通量传播增强, 表明 NAO 异常偏强年向西亚急流传播波通量增强, 200 hPa 纬向风及其距平分布 (图略) 表明亚洲西风急流存在两个急流中心, 一个位于里海-咸海上空, 西亚急流轴约位于

42.5°N, 西亚急流偏强、偏北; 另一个位于 80°E~110°E, 急流轴位于 40°N 附近。NAO 正位相异常年 200 hPa 经向风分布 (图 9a) 表明, 冰岛-斯堪的纳维亚半岛-西亚和中亚地区为西北-东南向、北风交替波列, 亚洲急流入口处南风达 12 m/s, 比气候平均偏强 2 m/s, 新疆恰好处于北风控制下, 不

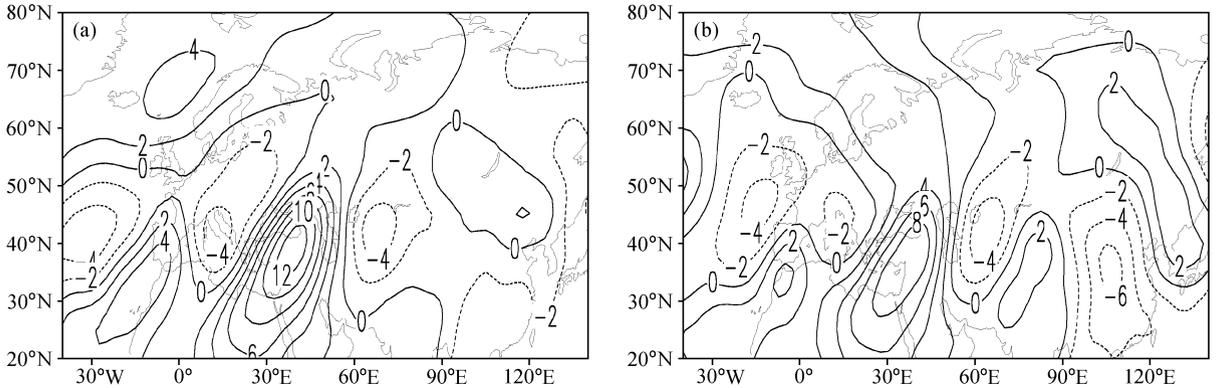


图9 夏季 200 hPa 经向风(单位: m/s): (a) NAO 正位相异常年; (b) NAO 负位相异常年

Fig. 9 200-hPa meridional winds in summer for (a) positive NAO phase years and (b) negative NAO phase years

利于偏南水汽向新疆输送。

NAO 负位相异常年(图 8b) EP 通量强辐散中心约位于(57.5°N, 30°E)附近,比正位相异常年偏东 15°E,冰岛南部大西洋-斯堪的纳维亚半岛 EP 通量辐散强度明显偏弱,强辐散中心传播水平波作用量在 55°N 以北的高纬向东传播,另一位位于东欧的次辐散中心向南直接向地中海传播,沿西亚急流波通量较 NAO 强年明显偏弱。其距平分布(图略)表明冰岛南部大西洋-斯堪的纳维亚半岛 EP 通量辐散减弱,斯堪的纳维亚半岛以东 EP 通量辐散增强,斯堪的纳维亚半岛向东南传播到地中海和向东在乌拉尔山附近转向东南在里海、咸海-中亚上空进入副热带西风急流的波通量减弱,沿西亚急流波通量传播也减弱,200 hPa 纬向风及其距平分布(图略)表明亚洲西风急流存在 1 个急流中心,位于 80°E~120°E,急流轴位于 40°N 附近,而西亚急流偏弱、偏南。NAO 负位相异常年 200 hPa 经向风分布(图 9b)表明,高纬冰岛-斯堪的纳维亚半岛-地中海的南、北风波列不明显,亚洲急流入口处南风为 8 m/s,比气候平均偏弱 2 m/s,沿西亚急流 Rossby 波长比 NAO 正位相异常年短,新疆恰好处于南风控制下,利于偏南水汽向新疆的输送。

可见,NAO 强弱变化导致冰岛-斯堪的纳维亚半岛水平波活动通量散度位置和强度异常,进而引起斯堪的纳维亚半岛水平波活动传播路径和强弱异常,使得西亚西风急流强度、位置和 Rossby 波活动发生变化,从而影响新疆夏季降水变化。

## 5 讨论

新疆地处欧亚大陆腹地的中纬西风带,为大陆

性干旱、半干旱气候,水汽是决定新疆降水的关键条件,夏季中、低纬偏南和偏东路径向新疆水汽输送对新疆降水的年代际变化和年际异常有重要影响<sup>[20, 26, 27]</sup>,水汽与高、中纬冷空气共同影响新疆夏季降水。本文讨论 NAO 异常通过 Rossby 波传播影响西亚急流位置、强度和沿其 Rossby 波活动,从而间接影响新疆夏季降水,主要是影响中高纬环流系统和冷空气的活动,与低纬水汽输送联系并不密切,此外,中高纬环流物理过程主要受到大气内部动力的强迫,时间尺度主要为季节内变化。因此,NAO 与新疆夏季降水年际和年代际变化之间线性关系不显著,但 NAO 活动年际异常时新疆降水表现为显著异常,下一步将着眼于季节内 NAO 活动并结合水汽输送研究新疆夏季降水异常物理机制。

## 6 小结

新疆夏季降水变化受多种时间尺度气候系统相互作用、相互影响,其中水汽问题是关键因素之一,使得其预测极为困难和复杂,但对新疆这样约占中国六分之一面积的干旱区夏季降水异常机理的研究却相对薄弱。本文仅从中高纬环流系统之一的 NAO 异常角度讨论与新疆夏季降水的关系和联系途径,研究表明:

(1) 夏季 NAO 正(负)位相年新疆夏季降水异常偏少(偏多),冰岛-斯堪的纳维亚半岛-亚洲副热带地区的波列是联系 NAO 与沿西亚副热带西风急流波活动和新疆夏季降水变化的纽带。

(2) NAO 正(负)位相年斯堪的纳维亚半岛

EP 通量强辐散中心偏西(偏东)、强度偏强(偏弱), NAO 正位相年斯堪的纳维亚半岛强辐散中心传播水平波通量一条向东传播在乌拉尔山附近转向东南方向传播, 在里海、咸海-中亚上空进入副热带西风急流并继续向东传播, 一条直接向东南方向传播, 在地中海东部和黑海附近进入副热带西风急流并沿急流向东传播, 西亚急流位置偏北、强度偏强、Rossby 波活动增强; NAO 负位相年斯堪的纳维亚半岛以东强辐散中心传播水平波通量在  $55^{\circ}\text{N}$  以北的高纬向东传播, 另一位于东欧次强辐散中心向南直接向地中海传播波, 西亚急流位置偏南、强度偏弱、Rossby 波活动减弱。夏季 NAO 活动变化通过中高纬静止波传播变化影响沿西亚-新疆急流 Rossby 波活动异常, 从而影响其下游新疆地区的气候。

夏季 NAO 活动异常不仅影响本区域气候变化, 而且可以进一步影响下游西亚副热带西风急流和新疆地区气候。进一步从能量转换和涡源角度研究 NAO 和沿亚洲西风急流静止波活动之间的关系, 是下一步要做的工作。

### 参考文献 (References)

[1] 张存杰, 谢金南, 李栋梁, 等. 东亚季风对西北地区干旱气候的影响. 高原气象, 2002, **21** (2): 193~198  
Zhang Cunjie, Xie Jinnan, Li Dongliang, et al. Effect of East-Asian monsoon on drought climate of Northwest China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2002, **21** (2): 193~198

[2] 王宝鉴, 黄玉霞, 何金海, 等. 东亚夏季风期间水汽输送与西北干旱的关系. 高原气象, 2004, **23** (6): 912~918  
Wang Baojian, Huang Yuxia, He Jinhai, et al. Relation between vapor transportation in the period of East Asian summer monsoon and drought in Northwest China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2004, **23** (6): 912~918

[3] 张庆云, 吕俊梅, 杨莲梅, 等. 夏季中国降水型的年代际变化与大气内部动力过程及外强迫因子关系. 大气科学, 2007, **31** (6): 1290~1300  
Zhang Qingyun, Lü Junmei, Yang Lianmei, et al. The interdecadal variation of precipitation pattern over China during summer and its relationship with the atmospheric internal dynamic processes and extra-forcing factors. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2007, **31** (6): 1290~1300

[4] 李崇银, 李桂龙. 北大西洋涛动和北太平洋涛动的演变与 20 世纪 60 年代的气候突变. 科学通报, 1999, **44** (16): 1765~1769  
Li Chongyin, Li Guilong. Variation of the NAO and NPO as-

sociated with climate jump in the 1960s. *Chinese Science Bulletin*, 1999, **44** (21): 1983~1986

[5] Hurrell J W, Van Loon H. Decadal changes in the circulation of the Northern Hemisphere: Relation to surface temperature. Proceedings of the 20th Annual Climate Diagnostics Workshop Seattle Washington USA, 1995. 292~295

[6] Hurrell J W. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 1996, **23** (6): 665~668

[7] Wallace J M, Zhang Y, Renwick J A. Dynamical contribution to hemispheric mean temperature trends. *Science*, 1995, **270**: 780~783

[8] Moses T, Kiladis G N, Diaz H F, et al. Characteristics and frequency of reversals in mean sea level pressure in the North Atlantic sector and their relationship to long-term temperature trends. *Int. J. Climatol.*, 1987, **7**: 13~30

[9] Barnston A G, He Y. Impacts of the NAO on U. S. and Canadian surface climate, implications for seasonal prediction. Proceedings of the 21st Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop, Alabama USA, 1996. 34~37

[10] Wallace J M, Zhang Y, Bajuk L. Interpretation of interdecadal trends in Northern Hemisphere surface air temperature. *J. Climate*, 1996, **9**: 249~259

[11] Viles H A, Goudie A S. Interannual, decadal and multidecadal scale climatic variability and geomorphology. *Earth-Science Reviews*, 2003, **61** (1): 105~131

[12] Peng S L, Mysak L A. A teleconnection study of interannual sea surface temperature fluctuations in the Northern Atlantic and precipitation and runoff over western Siberia. *J. Climate*, 1993, **6**: 876~885

[13] Jones P D, Conway D. Precipitation in the British Isles: An analysis of area-average data updated to 1995. *Int. J. Climatol.*, 1997, **17**: 427~438

[14] Watanabe M. Asian jet waveguide and a downstream extension of the North Atlantic Oscillation. *J. Climate*, 2004, **17**: 4674~4691

[15] 符淙斌, 曾昭美. 最近 530 年冬季北大西洋涛动指数与中国东部夏季旱涝指数之联系. 科学通报, 2005, **50** (14): 1512~1522  
Fu Congbin, Zeng Zhaomei. Correlations between North Atlantic Oscillation Index in winter and eastern China Flood/Drought Index in summer in the last 530 years. *Chinese Science Bulletin*, 2005, **50** (21): 2505~2516

[16] 武炳义, 黄荣辉. 冬季北大西洋涛动极端异常变化与东亚冬季风. 大气科学, 1999, **23** (6): 641~651  
Wu Bingyi, Huang Ronghui. Effects of the extremes in the North Atlantic Oscillation on East Asia winter monsoon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23** (6): 641~651

[17] 沈学顺, 木本昌秀. 春季欧亚大陆地表气温变化特征的气候

- 意义. 大气科学, 2007, **31** (1): 19~27
- Shen Xueshun, Masahide Kimoto. Studies of the interannual variability of springtime Eurasian surface air temperature. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2007, **31** (1): 19~27
- [18] 周天军, Drange Helge. 卑尔根气候模式中大西洋热盐环流年代际与年际变率的气候影响. 大气科学, 2005, **29** (2): 167~177
- Zhou Tianjun, Drange Helge. Climate impacts of the decadal and interannual variability of the Atlantic thermohaline circulation in Bergen climate model. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29** (2): 167~177
- [19] <http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/List/>
- [20] 张家宝, 苏起元, 孙沈清, 等. 新疆短期天气预报指导手册. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986
- Zhang Jiabao, Su Qiyuan, Sun Shenqing, et al. *Handbook of Short-Term Weather Forecast in Xinjiang* (in Chinese). Urumqi: Xinjiang People Press, 1986
- [21] North G R, Bell T L, Cahalan R F. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. *Mon. Wea. Rev.*, 1982, **110**: 699~706
- [22] Takaya K, Nakamura H. A formulation of a wave-activity flux for stationary Rossby waves on a zonally varying basic flow. *Geophys. Res. Lett.*, 1997, **24**: 2985~2988
- [23] Plumb R A. On the three-dimensional propagation of stationary waves. *J. Atmos. Sci.*, 1985, **42**: 217~229
- [24] 杨莲梅. 夏季亚洲西风急流 Rossby 波活动年际变化研究. 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 2007. 139pp
- Yang Lianmei. Research on interannual variation of Rossby waves activities along Asia westerly jet stream in summer. Ph. D. dissertation (in Chinese). Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2007. 139pp
- [25] Enomoto T. Interannual variability of the Bonin high associated with the propagation of Rossby waves along the Asian jet. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 2004, **82**: 1019~1034
- [26] 杨莲梅. 南亚高压突变引起的一次新疆暴雨天气研究. 气象, 2003, **29** (8): 21~25
- Yang L M. Research on a case of heavy rain in Xinjiang from South Asia high abnormality. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 2003, **29** (8): 21~25
- [27] 杨莲梅, 张庆云. 新疆北部汛期降水年际和年代际异常的环境特征. 地球物理学报, 2007, **50** (2): 412~419
- Yang Lianmei, Zhang Qingyun. Circulation characteristics of interannual and interdecadal anomalies of summer rainfall in north Xinjiang. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 2007, **50** (2): 412~419