

大气环流持续异常的研究进展

李双林^① 纪立人

(中国科学院大气物理研究所,北京 100029)

提 要

对大气环流持续异常观测事实及其形成理论研究进行了比较系统的总结,并着重总结了自 80 年代以来这一领域所取得的进展,最后简单地分析了尚存在的问题及不足。

关键词: 大气环流 持续异常 研究进展

引 言

“异常”是指大气变化偏离其基本状态(气候状态)的程度,偏离越大,异常越明显。“异常”的标准依人们研究的问题而定。“异常”发生后,可能很快消失,也可能稳定维持,因此有“持续性”问题。大气环流持续异常是指对固定地点而言其持续期超过天气尺度变化的异常现象。异常有正、负,Dole^[1]通过对北半球冬季热带外地区固定地点长持续、大异常个例的合成分析表明,正、负异常对应于符号相反的同一距平形势。在环流形势上,正、负异常分别对应于阻塞形势和纬向平直环流,阻塞形势是大气环流持续典型的例子。上述距平形势又表现为遥相关型。大范围的持续性异常天气往往同环流的持续异常有关。如 1954、1991 年夏季发生在江淮流域的特大洪水,鄂霍次克海上空维持稳定的阻塞形势^[2,3]。又如 1976/1977 年冬季,强阻塞高压控制阿拉斯加地区上空,导致美国西海岸和阿拉斯加地区出现异常的高温,东海岸出现了百年不遇的严寒。持续异常的研究不仅具有实际意义,而且在动力理论、数值预报和气候模拟上也具有重要的意义。研究表

明^[4~7],许多中期数值预报个例的失败往往是因为不能预报长于几天的阻高的演变。目前的中期预报至第 5 天能预报出阻高的只占 1/5,模式预报阻高失败构成模式系统性误差的重要组成部分。Lorenz^[8]从理论上证明了大气逐日预报存在约两周的预报上限。确定预报上限并不是可预报性研究的目的,任何预报对象都存在可预报的一面和不可预报的一面,强阻塞型的持续异常有时超过两周,如能弄清持续异常的形成机制对改善数值预报将有很大好处。阻塞主要发生在中高纬度西风带,除阻塞外大气中许多环流系统如高纬极涡、中纬的急流、副热带高压、季风环流系统等都容易出现持续异常。

阻塞形势的最早发现要追溯到 Rossby。Elliott 和 Smith^[9]首先对阻高开展了系统的经验的半统计工作。Rex^[10]也对阻高进行了系统的研究。叶笃正等^[11]第一次系统地研究了阻高与我国天气气候的关系。自 1976/1977 年冬季因阻高异常维持北美发生世纪罕见严寒后,国际上在 70 年代末掀起持续异常(阻高)研究热潮,各种理论纷纷提出,持续异常的天气气候研究取得了突破性进展。吴

^① 武汉中心气象台在职定向培养博士生

国雄、邹晓蕾^[12]对80年代及以前国外持续异常动力研究进行了总结。李崇银^[13]对持续异常的形成理论进行了归纳总结。本文试图总结国内外持续异常观测及理论研究取得的进展。

1 持续异常的观测事实研究

Dole^[1,14]系统地研究了冬季北半球热带外大气环流持续异常的地理分布、区域持续特征及其结构。认为有3个区域易于出现异常:①北太平洋到阿留申群岛南部(PAC);②北大西洋到格陵兰东南部(ATL);③原苏联北部到北冰洋(NSU)。并指出对于大异常而言,正异常比负异常更易于持续。合成分析表明:持续异常的距平中心具有相当正压结构。持续异常不仅表现在高度场上,而且在对流层温度场上也很清楚。相应地,大气活动中心的位置和强度及风暴轴位置也表现出明显变化。李金龙等^[15,16]研究了夏季北半球热带外持续异常,指出在下列地区最易发生:①北太平洋中东部到阿拉斯加南部(NEP);②北大西洋东部到欧洲大陆西海岸(EAT);③前苏联西北部新地岛附近(WNSU);④加拿大北部的哈得逊湾附近(NCA);⑤白令海峡以北的北冰洋地区(ARC)。对于低振幅的情况,除这5个地区外另外在副热带地区也有两个明显中心:①西太平洋与亚洲大陆东岸之间的副热带地区;②北大西洋中部的副热带区。并且认为:不同地区的持续异常极少可能同时发生,主要表现为单独发生;持续异常具有遥相关结构;在其建立过程中,主要异常中心具有很大的增长率,振幅加倍时间只有2天,整个发展过程在-2~2天之间的4天时间内完成。总之,主要特征与冬季相似。庄世宇、纪立人^[17]系统地研究了北半球夏季副热带地区环流的持续异常。

Lupo和Smith^[18]利用ECMWF分析资料研究了阻高位置、频率、持续时间、强度、大小、季节及区域分布、与低层气旋及高空急流

的关系等一些特征。Lejan^[19]利用共94年序列研究了北半球阻高出现频数的长期变化特征。

2 持续异常的形成理论

持续异常是持续期超过天气尺度的异常现象,大气中的低频过程对异常的形成和维持有贡献。阻塞高压、大气季节内振荡及遥相关型等的形成与持续异常的形成密不可分,持续异常的形成理论总结起来大致有如下几种。

2.1 大气基本态的不稳定激发

Frederiksen^[20]基于三维基本气流的准地转斜压不稳定得到了同大气中的风暴轴相联系的气旋不稳定模以及阻塞模,三维基本气流的不稳定为阻塞环流和局地气旋的生成提供了很好的动力学解释。Simmons等^[21]用纬向变化气候基本态的正压不稳定,对大气中的主要遥相关型给出了一定的解释。Frederiksen and Bell^[22]利用一正压、半球、5层准地转模式,分析了1979年1月欧洲大西洋持续阻塞期间斜压、正压、地形及混合正规模不稳定各自所起的作用,发现大尺度相当正压的偶极模的演变与实际阻塞发展的动力过程很相似,因此正压不稳定可能是“成熟”阻塞形成的最重要机制。Frederiksen和Frederiksen^[23]用一个包括线性波动-CISK的两层全球初始方程模式,对阻塞强烈发展的1979年1月的平均状况(基本气候态)进行了分析,发现在最不稳定的本征模态中既有时间尺度为3~7天的气旋模,又有10~20天的阻塞形态模和30~60天的季节内振荡模。罗德海、李崇银^[24]从包含地形作用的 β 平面通道正压涡度方程出发,发现在一定条件下地形强迫Rossby波可以出现不稳定。在中纬地区,地形强迫的纬向3波扰动容易形成24~33天的低频振荡,在高纬地区地形强迫扰动容易形成周期稍长的低频振荡。因此,地形强迫Rossby波不稳定是持续异常的机理之

一。杨大升、曹文忠^[25]从考虑基本气流的局地正压不稳定的理论模式出发,发现在中高纬都出现西风急流时,正压不稳定容易激发5~10天的最不稳定模态。

正压过程在阻高的形成和维持中起着很重要的作用已为观测事实和理论分析所证实^[26]。李志锦、纪立人^[27]提出了正压大气有利强迫模的概念,发现有利强迫模产生的大气响应与实际观测到的遥相关型相对应。杨燕等^[28]对江淮大水1991年夏季东亚环流持续异常进行了共轭敏感性分析,分别得到了对乌拉尔阻高、鄂霍次克海偶极型阻高、副热带高压影响最大的初始扰动。Frederiksen^[29]提出了有限时间正规模和有限时间共轭模的概念,研究了随时间变化的基态的正规模及其初始扰动问题。

2.2 瞬变涡动强迫

Green^[30]首先从理论上研究了天气尺度涡旋对大尺度环流维持所起的作用。Shutts^[31]利用E矢量对大西洋阻塞期间的涡动强迫作了个例诊断分析,说明了涡动强迫对于阻高的建立和维持是非常重要的。Egger et al^[32]利用数值试验的方法,证明天气尺度涡旋强迫在线性和非线性的行星尺度流场中都能产生与实况一致的阻塞流型。Hoskins and Sardesmuks^[33]诊断了瞬变涡旋在1985/1986冬季环流中所起的作用。他们的工作说明了天气尺度涡旋对阻塞的产生和维持是十分重要的,尤其是维持。刘辉、吴国雄^[34]研究了瞬变扰动对太平洋阻高和大西洋阻高维持作用的差异,并指出这种差异主要与源自阻高上游地形、热源的强迫扰动的差异及瞬变扰动性质的差异有关。Nakamura等(1997)利用近27年冬季30个强阻高的合成分析比较了北太平洋和欧洲阻塞形成过程中低频波动和瞬变所起的作用,发现与准静止Rossby波列有关的入射波活动通量对欧洲阻塞的形成是最重要的,而就北太平洋阻

塞的形成来说,天气尺度瞬变涡动强迫最为重要。

2.3 波—波共振

Fjortoft^[35]首先研究了大气中3波共振的能量变化规律。Tung和Lindzen^[36]从包含地形强迫的 β -平面扰动位涡方程出发,发现地形强迫波将与自由传播的行波发生线性共振,而产生阻塞形势的异常增幅现象。伍荣生^[37]证明大气中非线性3波共振将产生低频振荡,包括阻塞环流及季节内振荡。陆维松^[38]将3波共振条件放宽为准共振条件,并从正压大气导得 $\Delta\omega$ 频率偏离是中纬低频振荡产生的重要机制。陆维松^[39]将3波共振推广到4波,研究了强迫耗散的4波共振问题,得到:Ekman摩擦使得周期具有滞后和突变返回两个基本特征,中高纬准双周振荡与非绝热加热作用有关,季节内振荡则与自由Rossby波准共振有关。并指出4波共振产生的爆发性不稳定可能是阻高迅速建立的重要原因。Christensen(1997)利用包含牛顿冷却和边界层摩擦耗散的相当正压模式,研究了基于3波非线性相互作用的准静止态,发现波波共振是阻塞高压形成的一种可能机制。

2.4 多平衡态及正压准静止态

Charney and Devore^[40]最先研究了大气环流的多平衡态问题,并把这种多平衡态作为大气运动中阻塞型环流和纬向型环流存在和转换的理论基础。他们从刚体边界的 β -平面通道内、包括地形作用、非绝热加热和摩擦耗散的准地转正压涡度方程出发,证明了方程存在3个准定常解(或称准平衡态),其中2个解分别与实际大气中的阻塞流型及纬向环流型相对应。他们的结果是在低谱模式中得到的,夸大了地形的作用,后来人们提出了不少疑问。Tung and Rosenthal^[41]证明了当模式中含有更多的模且耗散较强时,对于任意的强迫都只有1个平衡态存在。Legas and Ghil^[42]对准地转涡度取球谐函数展开,

发现当截取的模态数增加时,低谱模式中出现多平衡态的可能性将大为减小。秦建春和朱抱真^[43]运用奇异摄动法证明了只有当摩擦系数非常大时才会出现多平衡态。但是,Anderson^[44]通过求解球面上无辐散、非粘性、无外强迫的正压涡度方程的准静止解,发现了与阻塞及强纬向气流相对应的两类正压准静止态。多平衡态理论还是一个有争议的问题。

2.5 孤立波和偶极子

Long^[45]最早研究了在有水平切变的基本气流中存在 Rossby 孤立波。Malguzzi and Malanotte—Rizzoli^[46]考虑在定常情况下无粘准地转位势涡度守恒方程中,流函数可写成纬向平均及其偏差部分,在弱非线性的条件下,存在偶极子流型的孤立波。其水平和垂直结构都同实际大气中观测到的阻塞形势有相当好的一致性。因此,Rossby 孤立波理论是大气中阻塞形势的重要动力学依据。Haines and Marshall^[47]从正压大气 β -平面准地转位势涡度方程出发(方程含有源汇项),证明了在一定条件下,位势涡度源的强迫(如瞬变涡旋的作用)可以激发产生类似大气中偶极子型阻塞的环流形势。罗德海、纪立人^[48]证明当 Rossby 波数满足一定条件时,可以产生调制不稳定,形成包络 Rossby 孤立波。这样的偶极子能维持 25 天左右,最后通过能量频散而消失。

2.6 外源强迫

关于热带热源强迫对持续异常的影响人们已经进行了较多的研究。Hoskins and Karoly^[49]指出,纬向不对称的热带热源分布是中纬准静止环流的重要强迫之一。Horel and Wallace^[50]首先把 PNA 型同赤道东太平洋的 SST 异常(ENSO)联系起来,认为 PNA 型遥相关的出现是大气对赤道东太平洋的 SST 异常的响应。Shukla and Wallace^[51]用数值试验证明了这一点。Renwick and Wal-

lace(1996)研究了 ENSO、PNA 型与北太平洋阻高之间的气候关系。陆日宇、黄荣辉(1996)用数值试验研究指出,热带西太平洋 SST 异常极大地影响东北亚阻高的形成和维持,冷的 SSTA 有利于其形成和维持。Jacqmin and Lindzen^[52]由一个高分辨率的线性模式分别计算了地形强迫和定常热源强迫所产生的行星波形势,并认为地形强迫对于气候定常波的形成是极其重要的,而热源强迫作用相对较小。外源强迫是产生各种遥相关型的原因之一。

关于热带热源影响大气环流持续异常的机制,过去人们认为,热带的热源可以改变 Hadley 环流的强度,它转而改变中纬度的纬向气流,改变了的纬向气流与原来的准静止热源和地形相互作用可造成准静止的环流异常。Hoskins and Karoly 用 2 维球面大气行星波的能量频散理论较好地解释了异常型的波列路径,但难以解释振幅的空间分布。Lau K—M^[53]指出,热源强迫可以激发大气内部不稳定模态发展产生异常环流型,但正压和斜压不稳定模态的关系不清楚。

中纬热源强迫对持续异常的影响比热带要复杂得多。李崇银、龙振夏^[54]用数值试验得到,冬季黑潮地区的 SST 正异常可以强迫大气产生类似 PNA 型的遥响应。丁敏芳等^[55]研究了冬季东北大西洋 SSTA 对大气的强迫作用,发现对相同的正 SSTA,11 月和 1 月大气 500hPa 的响应完全不一样,并指出这与 11 月和 1 月大气基本气流的差异有关。Kung 等^[56]研究了冬季北半球太平洋阻高和大西洋阻高与其相应的 SST 之间的关系,发现太平洋(大西洋)负的 SSTA 与太平洋(大西洋)阻高有很好的对应关系,而太平洋和大西洋同时都为正的 SSTA 则与太平洋和大西洋同时为阻高控制相对应,说明了双阻塞的斜压性。关于中纬度热源强迫对持续异常的影响了解还相当有限。

2.7 海气耦合流型域

纪立人、布和朝鲁^[57,58]提出了海气耦合流型域的概念,用以解释他们发现的一定的大气流型和一定的海温分布相对应的现象,强调了海气耦合在大气环流持续异常维持中所起的作用。

3 结语

有关持续异常的观测研究,就季节而言,对于冬季研究较多,夏季次之,但春、秋季的异常现象研究的较少;就地区而言,中高纬的持续异常研究较多,低纬及副热带的研究较少。任何有关持续异常的理论应该能解释几个问题(Dole, 1986):①异常的持续;②持续异常距平型的相当正压结构;③异常发生的强烈地理偏爱性;④正、负异常的非对称性即正异常比负异常更易于持续;⑤发生在太平洋的异常型具有明显的年际变化及所有异常型都具有季节内振荡特征。现有的持续异常的形成理论不少,人们从不同角度进行了解释,但仍有下列问题不清楚。①持续异常属于全球现象还是局地现象。Pierrehumbert and Malguzzi^[59]指出,持续异常理论可分为“全球”观点和“局地”观点。多平衡态理论和共振理论属于“全球”观点,其它理论属于“局地”观点。Lupo^[60]通过对同时发生的北半球的两个中纬度阻塞的诊断分析后发现,两个阻塞事件之间没有动力学联系,认为持续异常(阻塞)是局地现象。近年来人们更多地认为是局地现象。但是,在有些年份,持续异常维持一段时间后消失,但不久又在原地出现,这种在原地长维持、反复出现的异常很难用局地的观点来解释。②瞬变对持续异常维持的重要作用为人们所认同,但事实上,瞬变扰动是受基流控制的,瞬变与基流如何相互作用的还不清楚。③有的形成理论强调外源强迫作用,有的强调大气内部过程的作用,事实上外源强迫必须内部动力过程来影响,但对其中的机制还缺乏了解;④高、低纬持续异常是否存

在相互作用以及如何相互作用。⑤中高纬的热源强迫如何影响持续异常。⑥已有的理论大多只能解释持续异常的某一方面,而且大多只解释异常的维持,对持续异常的形成、维持及崩溃全过程的解释还远远不够。总之,持续异常还是今后大气环流研究的中心课题之一。

参考文献

- 1 Dole, R. M. and N. D. Gordon. Persistent anomalies of the extratropical northern hemisphere wintertime circulation: geographical distribution and regional persistent Characteristics, *Mon. Wea. Rev.* 1983, 111, 1567~1586.
- 2 陈汉耀. 1954年长江淮河流域洪水时期的环流特征. *气象学报*, 1957, 28, (1).
- 3 丁一汇主编. 1991年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 1993.
- 4 Tracton, M. S., Predictability and its relationship to scale interaction processes in blocking. *Mon. Wea. Rev.*, 1990, 118: 1666~1695.
- 5 Tibaldi, S., and F. Molteni. On the operational predictability of blocking. *Tellus*, 1990, 42A, 343~365.
- 6 Miyakota, K., and J. Sirutis. Subgrid scale physics in one-month forecasts. Part II: Systemic error and blocking forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, 1990, 118, 1065~1081.
- 7 Tibaldi, S., et al. Operational predictability of winter blocking at ECMWF: an update, *Annals Geophysics*, 1995, 13(3): 305~317.
- 8 Lorenz, E. N. Atmospheric predictability as revealed by naturally occurring analogues. *J. A. S.*, 1969, 26: 636~646.
- 9 Elliott, R. D., and T. B. Smith. A study of the effects of large blocking highs on the general circulation in the Northern hemisphere westerlies. *J. Meteor.*, 1949, 6: 27~85.
- 10 Rex, D. R. Blocking action in the middle tropause and its effect upon regional climate. Part II: The climatology of blocking action. *Tellus*, 1950, 110: 1105~1145.
- 11 叶笃正等. 北半球冬季阻塞形势的研究. 北京: 科学出版社, 1962.
- 12 吴国雄、邹晓蕾. 国外持续异常天气动力研究的进展.

- 旱涝气候研究进展,气象出版社,1990.
- 13 李崇银.气候动力学引论.气象出版社,1995.
 - 14 Dole, R. M.. Persistent anomalies of the extratropical northern hemisphere wintertime Circulation; Structure. *Mon. Wea. Rev.*, 1986, 114: 178~206.
 - 15 李金龙、纪立人. 夏季北半球 500hPa 位势高度场持续性异常的地理分布及区域特征. *大气科学*, 1994, 18: 163~172.
 - 16 李金龙、李志锦、纪立人. 北半球夏季环流持续性异常及其发展特征. *大气科学*, 1998, 22: 58~67.
 - 17 庄世宇、纪立人. 夏季副热带西太平洋大气环流持续异常. *科学通报*, 1997, 42: 2196~2199.
 - 18 Lupo, A. R. and P. J. Smith. Climatological features of blocking anticyclones in the Northern hemisphere. *Tellus(A)*, 1995, 47A(4): 439~456.
 - 19 Lejan, H. Long term variations of atmospheric blocking in the Northern Hemisphere. *J. Meteor. Soc. of Japan*, 1995, 73(1): 79~89.
 - 20 Frederiksen, J. S.. A unified three-dimensional instability theory of the onset of blocking and cyclogenesis. *J. A. S.*, 1982, 39: 969~982.
 - 21 Simmons, A. J., J. M. Wallace, and G. W. Branstor. Barotropic wave propagation and instability and atmospheric teleconnection patterns, *J. A. S.*, 1983, 40: 1363~1392.
 - 22 Frederiksen, J. S. and R. C. Bell. North-Atlantic blocking during January 1979; linear theory. *Quart. J. Met. Soc.*, 1990, 116: 1289~1313.
 - 23 Frederiksen, J. S. and C. S. Frederiksen. Monsoon disturbance, intraseasonal oscillations, teleconnection patterns, blocking and storm tracks of global atmosphere during January 1979; linear theory. *J. A. S.*, 1993, 50: 1349~1372.
 - 24 罗德海、李崇银. 地形 Rossby 波的不稳定和中高纬 30~60 天低频振荡. 气候变化若干问题研究. 北京: 科学出版社, 1992: 82~85.
 - 25 杨大升、曹文忠. 中高纬大气 30~60 天低频振荡的一种可能动力学机制. *大气科学*, 1995, 19: 207~218.
 - 26 Buizza, R. and F. Molteni. The role of finite-time barotropic instability during transition to blocking. *J. A. S.*, 1996, 53: 1675~1697.
 - 27 李志锦、纪立人. 正压大气有利强迫模及其响应与遥相关型. *中国科学(B)*, 1995, 25: 532~539.
 - 28 杨燕、李志锦、纪立人. 1991 年夏季持续性异常环流的共轭敏感性分析. *大气科学*, 1998, 22: 69~81.
 - 29 Frederiksen, J. F.. Adjoint sensitivity and finite-time normal mode disturbances during blocking. *J. A. S.*, 1997, 54: 1144~1165.
 - 30 Green, J. S. A.. the weather during July 1976; some dynamical consideration of the drought, *Weather*, 1977, 32: 120~126.
 - 31 Shutts, G. T.. A case study of eddy forcing during an Atlantic blocking episode, *Advances in Geophysics*, 1986, 29: 135~162.
 - 32 Egger, J. W., and G. Muller. Forcing of planetary-scale blocking anticyclones by synoptic-scale eddies, *Advance in Geophysics*, 1986, 29: 183~198.
 - 33 Hoskins, B. J., and P. D. Sardeshmukh. A diagnostic study of the dynamics of the northern hemisphere winter of 1985-1986. *Quart. J. Met. Soc.*, 1987, 113: 759~778.
 - 34 刘辉、吴国雄. 北半球阻塞反气旋的维持, Part I: 准地转位涡分析. *气象学报*, 1996, 10: 142~147.
 - 35 Fjortoft, R.. On the changes in spectral distribution of kinetic energy for two-dimensional, nondivergent flow, *Tellus*, 1953, 5: 225~237.
 - 36 Tung, K. K. and R. S. Lindzen. A theory of stationary long waves, A simple theory of blocking, *Mon. Wea. Rev.*, 1979, 107: 714~734.
 - 37 伍荣生. 正压大气中波动共振与能量变化. *中国科学*, 1979, (2): 195~203.
 - 38 陆维松. 正压大气波动准共振与中纬低频振荡. *中国科学(B)*, 1991, (1): 102~112.
 - 39 陆维松. 强迫耗散正压大气中四波共振. *大气科学*, 1994, 18: 43~53.
 - 40 Charney, J. G., J. G. Devore. Multiple flow equilibria in the atmosphere and blocking. *J. A. S.*, 1979, 36: 1205~1216.
 - 41 Tung, K. K., and A. T. Rosenthal. Theories of multiple equilibria—A critical reexamination, Part I; Barotropic models, *J. A. S.*, 1985, 42: 2804~2819.
 - 42 Legas, B., and M. Ghil. Persistent anomalies, blocking and variations in atmospheric predictability. *J. A. S.*, 1985, 44: 433~471.
 - 43 Qin Jianchun and Zhu Baozhen. A study on the excitation, establishment and transition of multiple equilibrium states produced by nearly resonant thermal forcing, Part I: Asymptotic solutions of multiple equilibrium states. *Adv. in Atmos. Sci.* 1986, 3: 277~288.
 - 44 Anderson J. L.. Barotropic stationary states and per-

- sistent anomalies in the atmosphere. *J. A. S.* 1992, 49:1709~1722.
- 45 Long, R. R. Solitary waves in westerlies. *J. A. S.*, 1964, 21:197~200.
- 46 Malguzzi, P. and P. Malanott-Rizzoli. Nonlinear stationary Rossby waves on moniform zonal winds and atmospheric blocking, Part I: The analytical theory. *J. A. S.*, 1984, 41:2620~2628.
- 47 Haines, K., and J. Marshall. Eddy-forced coherent structures as a prototype of atmospheric blocking, *Quart. J. Met. Soc.*, 1987, 113:681~704.
- 48 罗德海、纪立人. 大气中阻塞形成的一个理论, *中国科学(B)*, 1989, (1):103~112.
- 49 Hoskins, B. J. and D. J. Karoly. The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing, *J. A. S.*, 1981, 50:1661~1676.
- 50 Horel, J. D. and J. M. Wallace. Planetary scale atmospheric phenomenon associated with the southern oscillation, *Mon. Wea. Rea.*, 1981, 109:813~829.
- 51 Shukla, J. and J. M. Wallace. Numerical simulation of the atmospheric response to equatorial Pacific sea surface temperature anomalies. *J. A. S.*, 1983, 40:1613~1630.
- 52 Jacqmin, D., and R. S. Lindzen. The causation and sensitivity of the northern winter planetary waves. *J. A. S.* 1985, 42:724~745.
- 53 Lau, K.-M., et al. Dynamics of atmospheric teleconnection during the northern summer. *J. Climate*, 1992, 5:142~158.
- 54 李崇银、龙振夏. 冬季黑潮增暖对我国东部汛期降水影响的数值模拟研究. *气候变化若干问题研究*, 北京: 科学出版社, 1992:145~156.
- 55 Ding, M and S. Peng. Dynamics of the early and middle winter atmospheric responses to the northwest Atlantic SST anomalies. *J. Climate*, 1995, 8: 2239 ~ 2254.
- 56 Kung, E. C., J. Susskind and C. S. Dacamura. Prominent Northern hemisphere winter blocking episodes and associated anomaly fields of sea surface temperature. *TAO*, 1993, 4(3):273~291.
- 57 纪立人, 布和朝鲁, 孙淑清. EAWM 流型域——一种与东亚冬季风异常相联的海气耦合流型域. *大气科学*, 1998, 22(4):491~502.
- 58 Bueh Cholaw and Ji liren. The Ocean-Atmospheric Coupled Regimes and East Asian Winter Monsoon (EAWM) Activity, *Advances in Atmospheric Sciences*, 1999, 16(1):91~106.
- 59 Pierrehumbert, R. T., and P. Malguzzi. Forced coherent structure and local multiple equilibria in a barotropic atmosphere. *J. A. S.* 1984, 41:246~257.
- 60 Lupo, A. R. A diagnosis of two blocking events that occurred simultaneously in the midlatitude Northern hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, 1997, 125: 1801 ~ 1823.

Summary on Research Advances of Persistent Anomaly of Atmospheric Circulation

Li Shuanglin Ji Liren

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

The systematical summary upon the observational facts and formation theories of persistent anomaly of atmospheric circulation is made. The research progresses of this field made since 1980s are also summed up specially. The unresolved problems and theoretical defect of persistent anomaly are analyzed simply.

Key Words: advance of research atmospheric circulation persistent anomaly