

北半球环流系统季节内及年际以上 振荡信号的信息传输*

冯爱霞¹⁾ 龚志强^{2)†} 王启光¹⁾²⁾ 孙树鹏¹⁾²⁾ 封国林²⁾³⁾

1) (兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

2) (国家气候中心, 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081)

3) (北京师范大学, 全球变化与地球系统科学研究院, 北京 100875)

(2010年6月28日收到; 2010年8月20日收到修改稿)

利用NCEP/NCAR月平均高度场再分析资料, 分别提取季节内和年际以上振荡的基本特征和形式, 运用信息传输理论分析这两种振荡信号的信息在低纬度与中高纬度间的传输。发现季节内振荡信号信息损失率较年际以上的偏大, 且在特定地区这两种振荡信号的信息具有反向传输的特征; 空间传输的水平分布上, 两种振荡信号均表现为纬向上低纬度信息损失率大且海陆分布差异显著; 空间传输的垂直分布上, 年际以上振荡信号的低纬度高空信息损失率较大, 中高纬度从对流层至平流层底信息损失率都较小, 而季节内振荡信号则是低空信息损失率大, 高空信息损失率小。这些信息传输分布特征为更好地理解环流系统不同时间尺度的内部相互作用以及气候预测, 提供了一种新的有效途径。

关键词: 滤波, 高度场, 信息损失率

PACS: 92.60. Wc

1. 引言

低纬度和中高纬度地区的相互作用及物理作用机理受到了许多气象学者的关注并取得了丰硕的成果。Wallace和Gutzler在上世纪80年代从观测事实研究中提出了大气遥相关型^[1], 其中部分典型的遥相关体现了低纬度和中高纬度的联系, 它们可能通过El Nino等信号建立起来^[2]。上世纪90年代复杂网络兴起, Yamasaki和Tsonis等^[3,4]应用这一新工具来研究El Nino现象并揭示了El Nino影响着全球许多地区且其预测具有一定的挑战性。封国林和龚志强等^[5-8]也应用复杂网络来研究500 hPa高度场资料, 发现低纬度和中高纬度的关联结构存在明显的界限, 预示着低纬度和中高纬度子系统可能遵循不同的动力学机理, 同时通过复杂网络中基本物理量的空间分布实现了气象上各种遥相关型宏观整体描述, 温度网络的相关研究则揭示了全球温度场的显著作用区域。同时封国林、周磊、龚志强

等^[9,10]以及Tsonis和王革丽^[11]也将复杂网络应用到我国台站的温度资料, 研究了我国气温网络的区域特征。廉毅等^[12,13]研究了El Nino对我国粮食主产区松辽平原夏季低温的影响以及北太平洋涛动对该地区降水的影响。此外当某地区大气环流发生异常时, 由于大气存在遥相关, 则可能发生大范围的持续性的大气环流异常, 从而导致规模大持续时间长的极端事件^[14-18]的发生, 危及人们的生产和生活安全。

环流系统不同时间尺度的变率同低纬度和中高纬度的相互作用及交换有关^[19], 它们的变化体现了低纬度和中高纬度的相互作用。大气季节内振荡(30—60 d)由于同天气变化和短期气候异常密切相关, 自20世纪70年代初被Madden和Julian^[20]发现以来一直受到气象学家的重视。国内外已有一系列研究主要从资料分析中揭示季节内振荡的结构特征和基本活动规律^[21-23], 从动力学理论上探讨季节内振荡产生的原因^[22,24,25]以及从气候模式上对其进行数值模拟^[22,26,27]。但已有的理论在解释季节

* 国家自然科学基金(批准号:40930952和40705031), 国家科技支撑计划(批准号:2007BAC29B01)资助的课题。

† 通讯联系人。E-mail: gzq0929@126.com

内振荡的结构和特征时都有一定的困难,而数值模式仅能反映季节内振荡变化信号但不能抓住其主要特征.大气和海洋年际以上的变化,在社会发展和科学进步中也被提上日程成为国际气候变化和可预报性研究(CLIVAR)计划的三大内容之一.年际以上变化的研究也大多集中于从资料中分析其时空结构特征规律^[28–30],以及从动力学角度探讨其形成机理^[19,31,32].

上述工作表明低纬度和中高纬度间存在相互作用,这种相互作用可以从不同时间的变率得以体现,并对我国及全球的气候变化具有重要的作用,是气象学领域非常重要的科学问题.因此早在1983年,Talley^[33]就研究了太平洋热量向极地传输的现象.Michaud 和 Derome^[34]也于1991年分析了海洋和大气能量的经向传输.Roemmich 和 Gilson 等^[35]研究了不同时间尺度热带和温带热量的经向传输.上述研究主要给出了传统物理量低纬度和中高纬度间的传输.此外,黄思训等研究了探测资料的信息容量^[36],Tsonis 和 Elsner^[2]从500 hPa 高度场上研究了低纬度和中高纬度间信息传输的可能通道.信息传输的信息源包含了各种气象信号,如 El Nino、热带地区的对流以及 NAO 等的涨落信息等.但值得指出的是上述研究都没有对不同时间尺度以及不同高度层上北半球的信息损耗等问题给出详细的描述,目前也还没有关于北半球低纬度与中高纬度间信息传输的清晰的空间分布图像.因此,本论文针对上述问题进行了初步的探究,试图对北半球季节内和年际以上这两种时间尺度振荡信号的信息在低纬度和中高纬度间的传输状况等给出更多的描述,从新的角度来理解低纬度和中高纬度的相互作用.

2. 资料和理论方法

2.1. 资料及处理

资料源于NCEP/NCAR月平均高度场再分析资料.选用1000 hPa, 925 hPa, 850 hPa, 700 hPa, 600 hPa, 500 hPa, 400 hPa, 300 hPa, 250 hPa, 200 hPa, 150 hPa 和 100 hPa 共12层位势高度场,涵盖了整个对流层和平流层底.研究地区为20°N—90°N, 资料分辨率为5°×5°,共计1080个格点.时间为1966年1月至2008年12月,格点数据长度为516.首先

对12层高度场资料分别进行1—2个月的巴特沃夫斯二阶带通滤波^[22]和12个月为界的低通滤波^[37],得到北半球大气季节内振荡和年际以上振荡信号的基本特征和形式,进而对滤波以后的数据运用信息传输理论进行分析,得到北半球在不同时间尺度上的信息传输分布特征.

2.2. 理论方法

由信息熵理论可知,单位时间内信息的平均损失率等于Kolmogorov 熵^[38],如下式所示:

$$\frac{dI}{dt} = \dot{I} = -K, (K > 0), \quad (1)$$

其中 $K > 0$, 为 Kolmogorov 熵, 表征了时间序列的平均信息损失率^[38],负号代表信息是衰减的.

根据 Wales 的信息的损失率同 Pearson 系数的衰减关系^[39],即

$$r(t) = 1 - Ce^{2Kt} = 1 - Ce^{-2\dot{I}t}, \quad (2)$$

其中 $r(t)$ 为观测值与预测值的相关系数,预测值可由非线性预测方法得到^[40,41]. Pearson 系数在一段时间的平均值为信息损失率的函数,即

$$\begin{aligned} \langle r \rangle &= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} (1 - Ce^{-2\dot{I}t}) dt \\ &= 1 + \frac{(e^{-2\dot{I}t_2} - e^{-2\dot{I}t_1})}{2\dot{I}(t_2 - t_1)} = f(\dot{I}). \end{aligned} \quad (3)$$

(3)式对纬度求导^[42]得

$$\frac{d\langle r \rangle}{d\lambda} = \frac{df(\dot{I})}{d\lambda} = \frac{df(\dot{I})}{d\dot{I}} \frac{d\dot{I}}{d\lambda}, \quad (4)$$

也就是平均 Pearson 系数随纬度的变化正比于信息损失率随纬度的变化, $\frac{d\langle r \rangle}{d\lambda}$ 绝对值越大则说明信息

随纬度(在单位经向长度上)损耗越快,在经向上信息就不易传输,反之则相反;由于从南向北求 Pearson 系数的梯度,同时信息在传输中会不断损耗(减少)不会增加,所以当 Pearson 系数的梯度大于0时(由(4)式知,信息从低纬度到高纬度是衰减的)代表信息从低纬度传向高纬度,小于0时(则表明信息从低纬度到高纬度是增加的,信息在传输中只会减少不会增加,说明信息传输与求梯度的方向相反)代表信息从高纬度传向低纬度.总而言之 Pearson 系数的梯度分布体现了信息损耗随纬度的分布,表征了信息的传输情况.这里的信息源是对物理实体的数学抽象模型^[2],物理实体能产生连续

信号,如 El Nino 等气候系统内部关键地区的要素的涨落等,被称为“输出”,含多种信号的样本空间称为“信息源符号集(alphabet of the source)”^[43]. 本论文的信息源符号集可能包含 El Nino、热带地区的对流活动、NAO 等各种气象现象和模态,这些信号可以在低纬度和中高纬度间进行交换及传输.

3. 北半球两种时间尺度振荡信号的信息传输

根据第二节的理论和方法,分析信息损失率的经向梯度特征,即信息在中高纬度和低纬度间的传输情况. 以正向代表信息从低纬度传向高纬度,即 Pearson 系数的梯度大于 0,负向代表信息从高纬度传向低纬度,即 Pearson 系数的梯度小于 0.

3.1. 信息传输的空间分布

本文以 1000 hPa 代表近地面状况,500 hPa 代

表高空形势来详细分析它们在空间上的信息传输. 图 1 给出了 1000 hPa 高度场年际以上振荡、季节内振荡信号的 Pearson 系数梯度空间分布以及它们的经向和纬向平均,间接展示了信息传输的空间分布以及经向和纬向平均的情况. 从图 1(a)可以看出年际以上振荡信号的信息正向传输且损失率较大的地区有东太平洋地区、北美洲的墨西哥湾地区和大西洋的中西部、非洲撒哈拉沙漠地区及欧亚大陆的中北部地区;信息负向传输的比较少,损失率较大的主要有西太平洋地区、北美洲的中北部、大西洋的中北部. 从图 1(b)可以看出季节内振荡信号的信息正向传输且损失率较大的有中太平洋、北美大陆北部、大西洋北部、西欧北部以及中东大西洋;其他地区除欧亚大陆南部和非洲北部地区信息损失率较小外,都是信息以负向传输为主且损失率较大的地区. 对比分析图 1(a)和(b)可知,两种不同时间尺度振荡信号的传输方向在特定地区具有反向特征,表 1 给出了这些地区的详细信息. 从图 1(c)知,

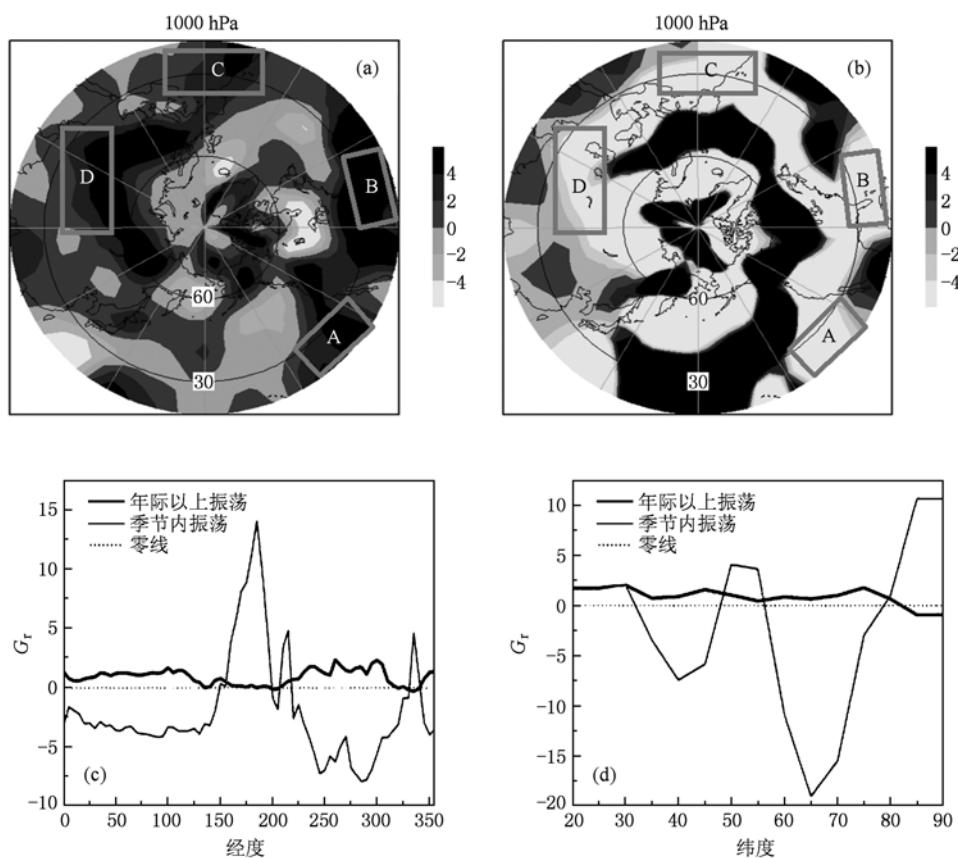


图 1 北半球 1000 hPa 高度场 Pearson 系数梯度分布图(间接展示了信息传输的空间分布特征) (a) 年际以上振荡信号的 Pearson 系数梯度分布图;(b) 季节内振荡信号的 Pearson 系数梯度分布图,以及几个典型传输地区示意图;(c),(d)两种时间尺度振荡信号的经向、纬向平均分布图

两种时间尺度振荡信号的信息传输方向在经向上有准对称的反向分布特征,即在 $0\text{--}150^\circ\text{E}$ 以及 $30^\circ\text{W}\text{--}140^\circ\text{W}$ 经度范围内年际以上振荡信号的信息为正向传输,季节内振荡信号的为负向传输; $150^\circ\text{E}\text{--}160^\circ\text{W}$ 经度范围内即中太平洋上季节内振荡信号的信息正向传输且损失率较大,损失率在 180° 达到峰值,但是年际以上振荡信号的信息损失率却几乎为零。由图1(d)可知,年际以上振荡信号在纬向上信息以正向传输为主但是信息损失率较小,季节内振荡信号的信息传输方向从低纬度到高纬度表现为正负交替的特征,体现了在该时间尺度上信息传输方向存在纬向特征,且在 $30^\circ\text{N}\text{--}60^\circ\text{N}$ 及 $55^\circ\text{N}\text{--}80^\circ\text{N}$ 的范围内分别以 40°N 和 65°N 为中心构成了信息负向传输的信息损耗大值带。综合分析两种时间尺度振荡信号传输的经向平均和纬向平均,可知年际以上振荡信号的信息损失率较小且平稳,传输方向以正向传输为主;季节内振荡信号则是信息损失率大但波动也大,传输方向在经向上

和纬向上均表现为正负交替的特征,纬向上正负交替的现象比经向上更为显著。

表1 1000 hPa 两种时间尺度振荡信号的信息
反向传输典型地区信息

地区	年际以上振荡		季节内振荡	
	大小	方向	大小	方向
东太平洋(A)	4	正	16	负
大西洋西部(B)	8	正	12.5	负
非洲北部及大西洋东部地区(C)	2.5	正	14	负
亚欧大陆中南部(D)	4	正	5.5	负

注:值代表了信息损失率的大小,正向代表从低纬度传向高纬度,负向代表从高纬度传向低纬度。

北半球两种时间尺度振荡信号的500 hPa Pearson系数梯度的空间、经向平均及纬向平均分布可由图2给出。从图2(a)可以看出,年际以上振荡信号的信息在副热带高压带上(东太平洋、红海及周边地区是正向传输除外)为负向传输且损失率较大,零星的还有东北太平洋的阿拉斯加湾地区以及欧洲的波罗的海地区;信息正向传输且损失率较大

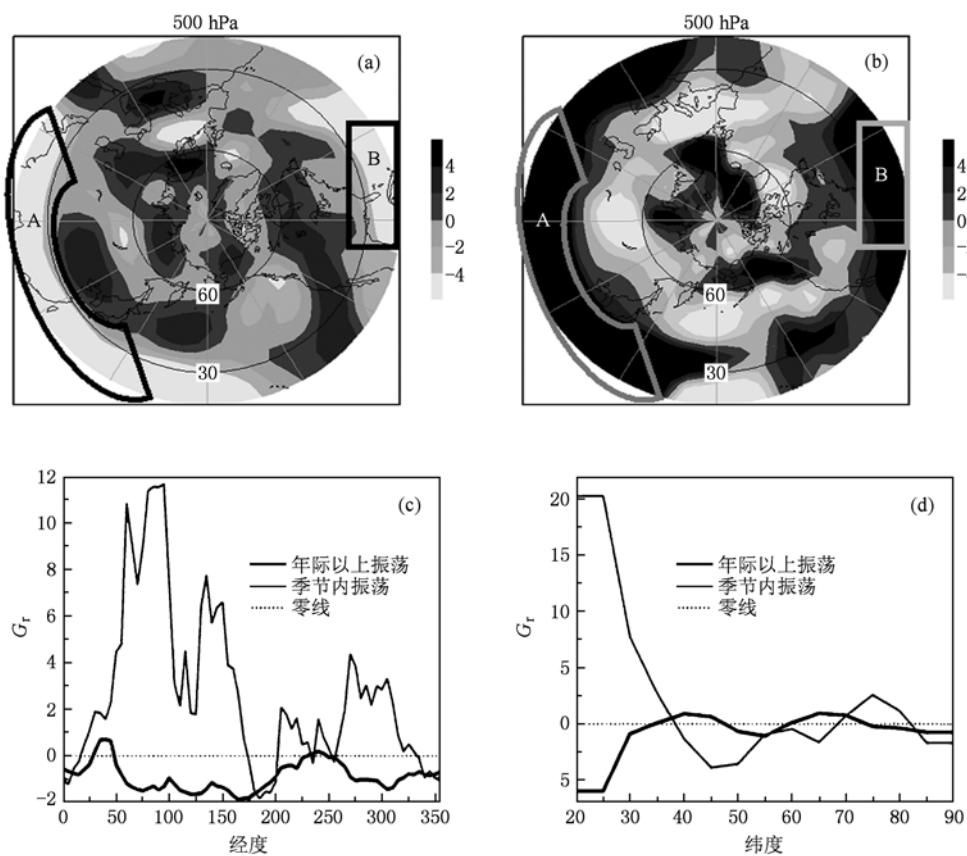


图2 北半球500 hPa高度场Pearson系数梯度分布图(间接展示了信息传输的空间分布特征) (a)年际以上振荡信号的Pearson系数梯度分布图;(b)季节内振荡信号的Pearson系数梯度分布图,以及几个典型传输地区示意
图;(c),(d)两种时间尺度振荡信号的经向、纬向平均分布图

的地区有红海及地中海地区、青藏高原、西北太平洋、东太平洋、欧洲西北部及北美洲的中北部地区。从图 2(b)可以看出,季节内振荡信号的信息在副热带高压带上(中太平洋和大西洋的部分地区除外)传输方向与年际以上相反,为正向传输且损失率较大,此外还有北美大陆西北部、格陵兰岛部分地区以及西欧的高纬度地区;欧洲大陆西北部地区、亚洲中纬度地区、太平洋北部以及大西洋中东部地区则是信息负向传输且损失率较大。500 hPa 两种时间尺度振荡信号的信息传输反向特征主要体现在副热带高压带上,具体见表 2。从图 2(c)知季节内振荡信号的信息传输在经向上为正向传输且损失率较大,其中 $40^{\circ}\text{E}-110^{\circ}\text{E}$, $140^{\circ}\text{E}-170^{\circ}\text{E}$ 以及 $50^{\circ}\text{W}-100^{\circ}\text{W}$ 三个地区的强度最大,这与李崇银^[21]的这些地区 15°N 的扰动动能最大结果相近,说明信息源可能在 15°N 产生,然后向中高纬度地区传播;而年际以上振荡信号则为负向传输且损失率较小。从图 2(d)知在副热带地区即 $20^{\circ}\text{N}-30^{\circ}\text{N}$,两种时间尺度振荡信号的信息损失率都较大,但传输方向相反,而在中高纬度两者的损失率都较小。其中季节内振荡信号在低纬度($20^{\circ}\text{N}-30^{\circ}\text{N}$)为正向传输,在中高纬度($40^{\circ}\text{N}-70^{\circ}\text{N}$)为负向传输。这也与李崇银关于扰动动能的结果相近,在中高纬度向南传播,在低纬度向北传播^[21],从侧面佐证了本文研究结果的可靠性。

表 2 500 hPa 两种时间尺度振荡信号的信息
反向传输典型地区信息

地区	年际以上振荡		季节内振荡	
	大小	方向	大小	方向
亚洲南部及太平洋西部(A)	7.5	负	27	正
墨西哥湾及大西洋西部(B)	6	负	13	正

注:值代表了信息损失率的大小,正向代表从低纬度传向高纬度,负向代表从高纬度传向低纬度

3.2. 信息传输的垂直分布

图 3 给出了年际以上振荡信号的信息在 7 个纬度上的 Pearson 系数梯度纬向-高度剖面图及其纬向平均随高度的变化,体现了信息传输随纬向-高度的变化以及其纬向平均随高度的变化。由图 3(a)–(e)可知, $20^{\circ}\text{N}-60^{\circ}\text{N}$ 的信息传输方向和信息损失率经向分布较明显,其中 20°N 和 30°N 信息以负向传输为主且损失率较大,尤其是 20°N 信息损失率大小在各个高度层的大部分地区都为 4 左右;

$40^{\circ}\text{N}-60^{\circ}\text{N}$ 信息传输在方向上正负交替但正向传输的地区稍多,大多数地区的信息损失率在 0–2 之间; 70°N 在 $30^{\circ}\text{W}-120^{\circ}\text{W}$ 的经度范围内信息是负向传输且在各个高度层上都很显著,信息损失率在 0–2 之间, $0-70^{\circ}\text{E}$ 的经度范围内 500 hPa 以下也是负向传输,信息损失率介于 0–4 之间的地区较多,另外 $40^{\circ}\text{E}-70^{\circ}\text{E}$ 地区可深入到 250 hPa; 80°N 整体上是 250 hPa 以上是正向传输,250 hPa 以下为负向传输,信息损失率在 0–2 之间。而从图 3(h)可知, $20^{\circ}\text{N}(30^{\circ}\text{N})$ 在 850 hPa 以上的对流层,信息为正向传输且损失率随高度增加而增大,到达 500 hPa (600 hPa) 后减小,到 300 hPa 后又增大;其他几个纬度的信息损失率在各个高度层上相对较小。总之年际以上振荡信号的信息正负交替传输,体现了低纬度和中高纬度间信息的交换,是两种子系统相互作用的表现形式。此外, $40^{\circ}\text{N}-60^{\circ}\text{N}$ 信息正负传输交替显著,在一定程度说明了信息交换主要发生在中纬度地区。

图 4 对应地给出了 7 个纬度上季节内振荡信号的 Pearson 系数梯度垂直分布及其纬向平均随高度的变化。由图 4(a), (b) 可见, 20°N 和 30°N 信息以正向传输为主,且损失率较大,大多数地区和高度层都在 4 以上;由图 4(c)–(e) 知 $40^{\circ}\text{N}-60^{\circ}\text{N}$ 信息正负交替传输并且经向分布明显, 50°N 和 60°N 信息负向传输的地区较多;图 4(f), (g) 显示了 70°N 和 80°N 信息是以正向传输为主且在低空损失率较大。由图 4(h) 可知,季节内振荡信号在高空($700-100$ hPa) 信息损失率较小(20°N 和 30°N 除外,它们从对流层到平流层底损失率都较大,平均在 10 左右),低空信息损失率较大,其中 20°N , 30°N , 50°N , 80°N 是正向传输,而 40°N , 60°N 和 70°N 则相反。对比分析图 3 和图 4,可以得出两种时间尺度振荡信号的信息传输在各个纬度-高度剖面上还存在准反向的特征,同时季节内振荡信号的信息损失率比年际以上的大。

总体而言,信息传输的垂直分布从不同的时间尺度和空间尺度间接清晰地展示了低纬度和中高纬度间的相互作用。同时季节内和年际以上振荡信号的信息传输在方向上和损失率大小上都存在显著的差异,说明了信息传输具有典型的时间尺度特征;不同纬度和不同高度层次上也存在差异,副热带高压带同中高纬度的传输方向以及低空同高空的损失率差异尤为显著,说明了信息传输的空间尺度特征也很显著。信

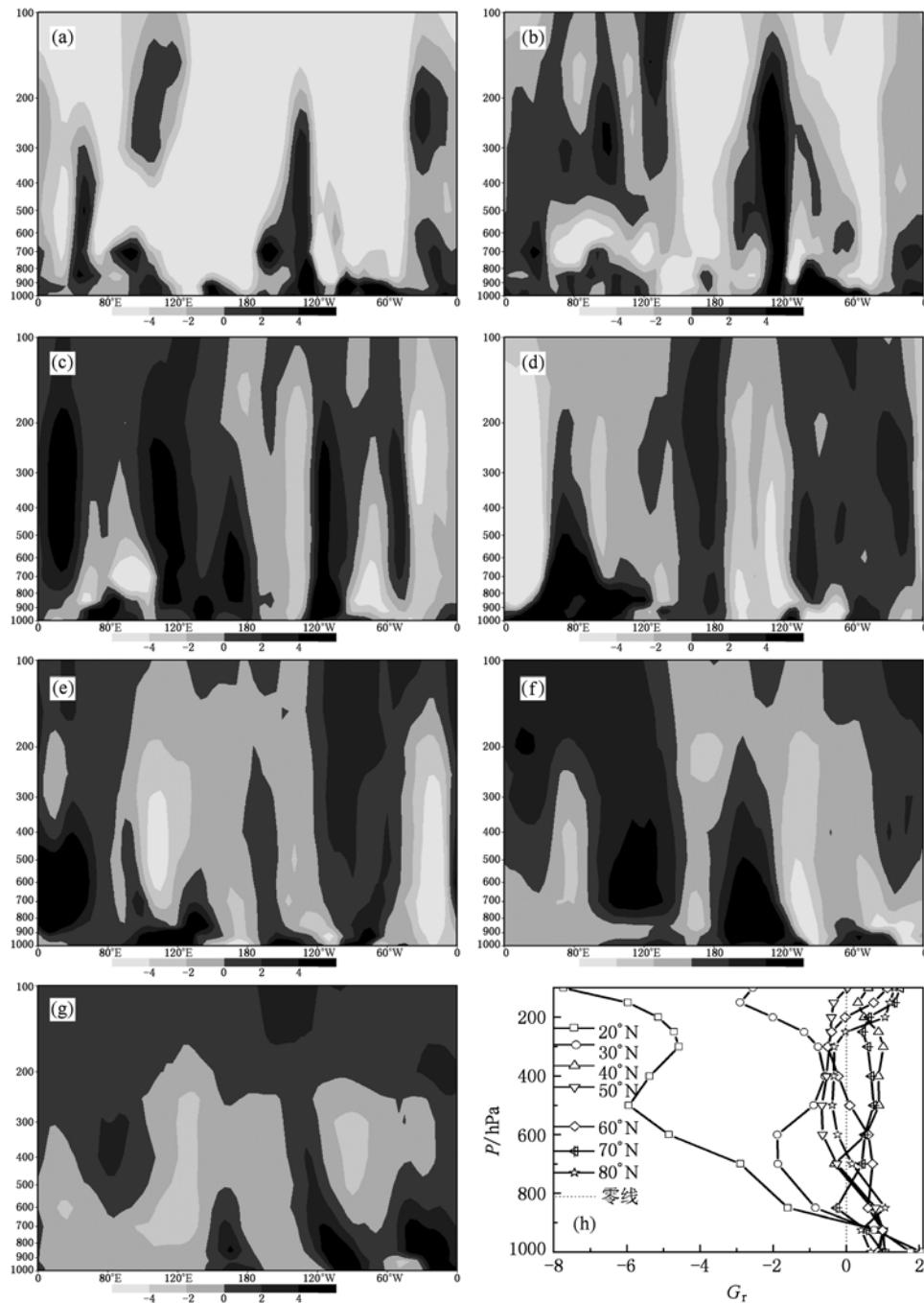


图3 年际以上振荡信号在给定纬度上的 Pearson 系数梯度垂直分布及其纬向平均随高度的变化,体现了信息传输在不同纬度随高度和经度的变化以及其纬向平均随高度的变化 (a) 为 20°N ; (b) 为 30°N ; (c) 为 40°N ; (d) 为 50°N , (e) 为 60°N ; (f) 为 70°N ; (g) 为 80°N ; (h) 为纬向平均

息传输的时间和空间特征也从侧面表明了低纬度和中高纬度相互作用的时空特点.

4. 结论和讨论

本文利用信息传输理论,研究了北半球高度场

季节内和年际以上两种时间尺度振荡信号的信息传输时空分布,得到以下结论:

1. 季节内振荡信号的信息损失率较大,而年际以上的则较小,同时两种时间尺度振荡信号都是在副热带地区信息损失率较大,中高纬度较小. 这可能与年际以上振荡信号主要受较大的环流系统影

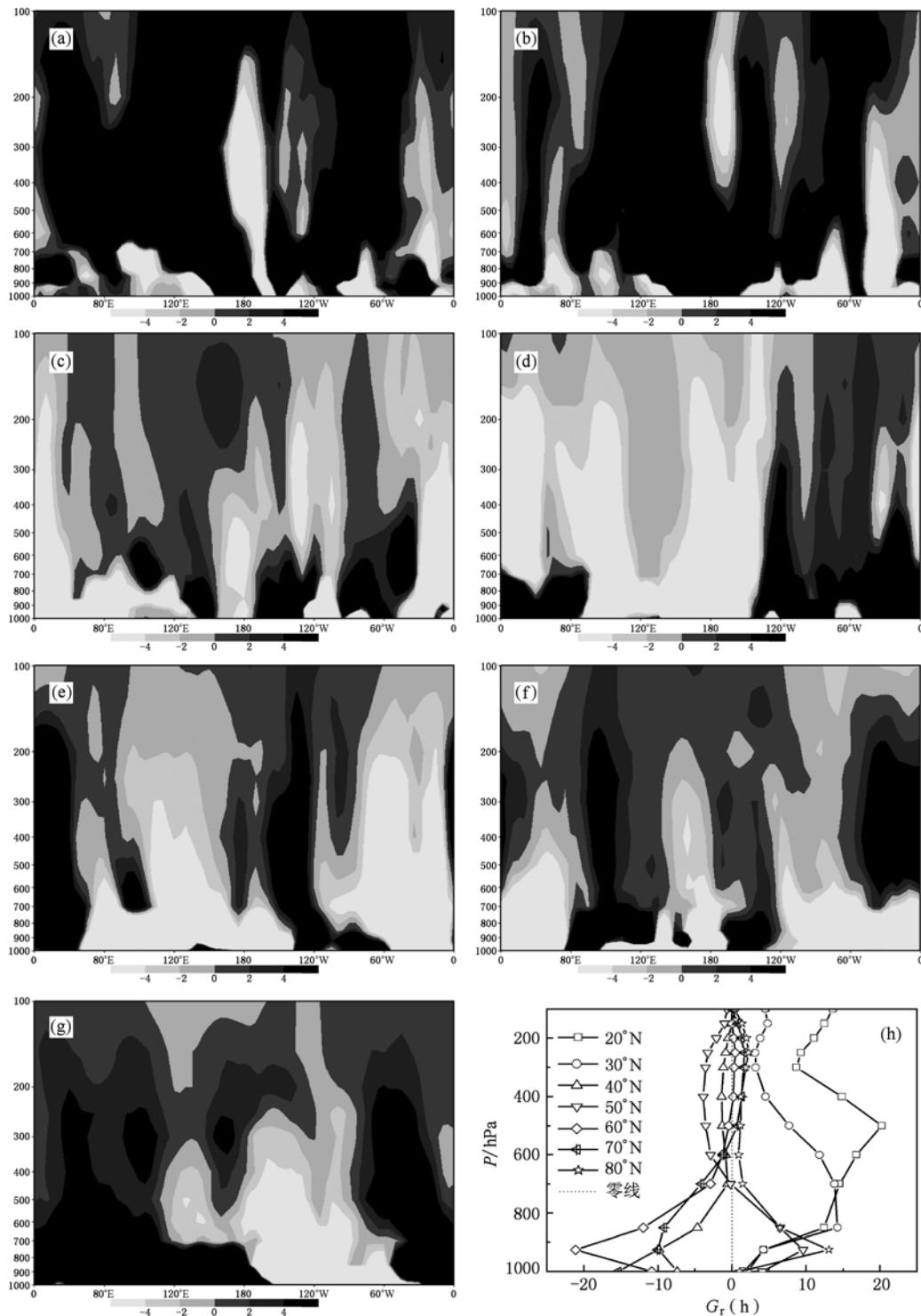


图 4 季节内振荡信号在给定纬度上的 Pearson 系数梯度垂直分布及其纬向平均随高度的变化,体现了信息传输在不同纬度随高度和经度的变化以及其纬向平均随高度的变化 (a) 为 20°N ; (b) 为 30°N ; (c) 为 40°N ; (d) 为 50°N ; (e) 为 60°N ; (f) 为 70°N ; (g) 为 80°N ; (h) 为纬向平均

响,而季节内振荡信号受到小尺度的天气系统的影响比较大,因此年际以上振荡信号较季节内振荡信号平稳从而信息损失率较小。副热带地区处于热带

地区和温带地区之间,大气内部相互作用比较复杂,同时处于低纬 Hadly 环流的下沉区,在一定程度上阻挡和减缓了低纬与中高纬间的信息交换,更容

易引起信息的损耗,因此两种时间尺度振荡信号在该地区的信息损失率都较大;而中高纬度则处于一个相对单一的子系统,因而较副热带地区的信息损失率小。

2. 在传输方向上,两种时间尺度振荡信号的信息传输具有准反向的特征,即在某一地区季节内振荡信号若从低纬度传向高纬度,则年际以上的则从高纬度传向低纬度。这种准反向特征在两种振荡信号的信息传输的空间水平分布、垂直分布以及纬向平均和经向平均中都得到了较好的体现。这可能反映了两种时间尺度振荡信号的变化机理不同,同时从中也可以得到:对于不同时间尺度不同地区以及不同高度信息的来源以及影响路径亦不相同,我们的研究结果可以给气象工作者或者研究者在这方面提供一定的参考。

3. 在传输的垂直分布上,年际以上振荡信号在副热带地区的850 hPa及以上信息是负向传输且损失率随高度增加而增大,由于副热带地区的复杂

性,这一结论需要做更多的工作来解释这一现象。另外年际以上振荡信号在其他纬度的信息损失率随高度而波动但振幅不大;季节内振荡信号在副热带地区外(20°N — 30°N 除外)则是低空信息损失率大,高空损失率小,这可能是季节内变化受小尺度的天气系统影响比较大,而在近地面天气系统受下垫面的影响较大,所以低空的信息损失率较高空大。

综上所述,季和年是度量大气环流的两个重要时间尺度,并且现代大气环流正深入到年以上的时间尺度,因此本文研究了季节内和年际以上振荡信号在北半球高度场的信息传输情况,发现其变化机理存在显著差异,主要体现在信息传输的准反向特征以及信息损失率的大小上。因此本文的研究将有助于更好地理解这两种时间尺度对应的外部强迫的差异以及内部相互作用的复杂性,同时也为进一步理解环流系统低纬度和中高纬度的相互作用以及气候预测提供了一种可能的有效途径。

- [1] Wallace J M, Gutzler D S 1981 *Mon. Wea. Rev.* **109** 784
- [2] Tsonis A A, Elser J B 1996 *Phys. D* **92** 237
- [3] Yamasaki K, Gozolchiani A, Havlin S 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 28501
- [4] Tsonis A A, Swanson K L 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 228502
- [5] Gong Z Q, Zhi R, Feng G L, Zhang Q 2010 *Acta Meteor. Sin.* **24** 307 (in Chinese) [龚志强、支蓉、封国林、张强 2010 气象学报 **24** 307]
- [6] Gong Z Q, Zhou L, Zhi R, Feng G L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 5351 (in Chinese) [龚志强、周磊、支蓉、封国林 2008 物理学报 **57** 5351]
- [7] Zhi R, Gong Z Q, Zheng Z H, Zhou L 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2113 (in Chinese) [支蓉、龚志强、郑志海、周磊 2009 物理学报 **58** 2113]
- [8] Zhi R, Gong Z Q, Feng G L, Zhou L 2010 *Acta Meteor. Sin.* **24** 150
- [9] Zhou L, Gong Z Q, Zhi R, Feng G L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 7380 (in Chinese) [周磊、龚志强、支蓉、封国林 2008 物理学报 **57** 7380]
- [10] Zhou L, Gong Z Q, Zhi R, Feng G L 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 7351 (in Chinese) [周磊、龚志强、支蓉、封国林 2009 物理学报 **58** 7351]
- [11] Wang G L, Tsonis A A 2009 *Chin. Phys. B* **18** 5091
- [12] Lian Y, An G 1998 *Acta Meteor. Sin.* **56** 724 (in Chinese) [廉毅、安刚 1998 气象学报 **56** 724]
- [13] Liu Z X, Lian Y, Shen B Z, Gao Z T, Tang X L 2003 *J. Appl. Meteor. Sci.* **14** 553 (in Chinese) [刘宗秀、廉毅、沈柏竹、高棕亭、唐晓玲 2003 应用气象学报 **14** 553]
- [14] Feng G L, Wang Q G, Hou W, Gong Z Q, Zhi R 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2853 (in Chinese) [封国林、王启光、侯威、龚志强、支蓉 2009 物理学报 **58** 2853]
- [15] Gong Z Q, Wang X J, Zhi R, Feng G L 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4342 (in Chinese) [龚志强、王晓娟、支蓉、封国林 2009 物理学报 **58** 4342]
- [16] Hou W, Yang P, Feng G L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 3932 (in Chinese) [侯威、杨萍、封国林 2008 物理学报 **57** 3932]
- [17] Zhang D Q, Feng G L, Hu J G 2008 *Chin. Phys. B* **17** 0736
- [18] Wang Q G, Hou W, Zheng Z H, Feng A X, Deng B S 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 7491 (in Chinese) [王启光、侯威、郑志海、冯爱霞、邓北胜 2010 物理学报 **59** 7491]
- [19] Gu D F, Philander S G H 1997 *Science* **275** 805
- [20] Madden R A, Julian P R 1971 *J. Atmos. Sci.* **28** 702
- [21] Li C Y 1990 *Chinese J. Atmos. Sci.* **14** 32 (in Chinese) [李崇银 1990 大气科学 **14** 32]
- [22] Li C Y 1991 *Atmospheric low-frequency oscillation* (in Chinese) (Beijing: China Meteorological Press) [李崇银 1991 大气低频振荡(北京:气象出版社)]
- [23] Murakami T 1984 *GARP Special Report* **44** 11
- [24] Chang C P 1977 *J. Atmos. Sci.* **34** 901
- [25] Anderson J R, Rosen D R 1983 *J. Atmos. Sci.* **40** 1584
- [26] Park C K, Straus D M, Lau K M 1990 *J. Meteor. Soc. Japan* **68** 403
- [27] Slingo J M, Madden R A 1991 *Quar. J. Royal Meteor. Soc.* **117** 1129

- [28] Wang S W, Zhu J H 1999 *Acta Meteor. Sin.* **57** 376 (in Chinese) [王绍武、朱锦红 1999 气象学报 **57** 376]
- [29] Xiao D, Li J P 2007 *J. Atmos. Sci.* **31** 839 (in Chinese) [肖栋、李建平 2007 大气科学 **31** 839]
- [30] Elser J B, Tsonis A A 1991 *Nature* **353** 551
- [31] Jiang Z H, Tu Q P 2001 *Advan. Earth Sci.* **16** 569 (in Chinese) [江志红、屠其璞 2001 地球科学进展 **16** 569]
- [32] Chang P L, Li H 1997 *Nature* **385** 516
- [33] Talley L D 1984 *J. Phys. Oceanogr.* **14** 231
- [34] Michaud R, Derome J 1991 *Tellus. Series A: Dyn. Meteor. Oceanogr.* **43** 1
- [35] Roemmich D, Gilson J 2001 *J. Geophys. Res.* **106** 8957
- [36] Du H D, Huang S X, Fang H X, Long Z Y, Wang Y Q 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 0683 (in Chinese) [杜华栋、黄思训、方涵先、龙智勇、王永琪 2010 物理学报 **59** 0683]
- [37] Zheng D W, Dong D N 1986 *Acta Astron. Sin.* **27** 368
- [38] Sugihara G, May R M 1990 *Nature* **344** 734
- [39] Wales D J 1991 *Nature* **350** 485
- [40] Farmer J D, Sidorowich J J 1987 *Phys. Rev. Lett.* **59** 845
- [41] Wang G L, Yang P C, Mao Y Q 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 0714 (in Chinese) [王革丽、杨培才、毛宇清 2008 物理学报 **57** 0714]
- [42] Wang Y G, Cai Q F, Huang S X 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 4359 (in Chinese) [王业桂、蔡其发、黄思训 2010 物理学报 **59** 4359]
- [43] Gray R M 2009 *Entropy and information theory* (New York: Springer-Verlag)

Information communication of the northern hemisphere on intra-seasonal and over inter-annual oscillation signals^{*}

Feng Ai-Xia¹⁾ Gong Zhi-Qiang^{2)†} Wang Qi-Guang¹⁾²⁾ Sun Shu-Peng¹⁾²⁾ Feng Guo-Lin²⁾³⁾

1) (Department of Atmospheric and Sciences Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

2) (Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

3) (Beijing Normal University, Institute of Global Change and Earth System Sciences, Beijing 100875, China)

(Received 28 June 2010; revised manuscript received 20 August 2010)

Abstract

Basic characteristics and form of intra-seasonal and over inter-annual variations were extracted through filtering using the reanalysis data of monthly geopotential height from NCEP/NCAR. Then information theory was applied to the filtered data to analyze the communication among the intra-systems between the low and mid-high latitudes. The results were found that the information loss rate of intra-seasonal oscillation signal is higher than that of over inter-annual signal, and the directions of two signals' communication are opposite in particular regions. The information loss rate at low latitudes is higher than that at mid-high latitudes for both time scale signals, and it is distinct between the lands and the oceans in meridional average. With respect to the altitudes, the information loss rate of over inter-annual oscillation signal at low latitudes is rather high, but it is low at mid-high latitudes over all troposphere and bottom of stratosphere. For the intra-seasonal oscillation signal, the information loss rate is high at low altitude but low at high altitude. The study of communication between the low latitude and mid-high latitude of the circulation system on the two time scales provides a new way to understand the predictability and interaction of different parts in the climate system.

Keywords: filtering, geopotential height field, information loss rate

PACS: 92.60. Wc

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 40930952 and 40705031) and the State Key Program of Science Technology of China (Grant No. 2007BAC29B01).

† Corresponding author. E-mail: gzq0929@126.com