

# 季节因素对气候网络影响研究\*

杨锦辉<sup>†</sup> 宋君强 曹小群

(国防科学技术大学计算机学院, 长沙 410073)

(2012年7月16日收到; 2012年8月30日收到修改稿)

气候网络在地球科学领域研究中是一个新的热点, 对于分析和揭示气候场的特征及关联结构具有较强优势. 已有气候网络的构建一般选取冬季月份的样本数据, 而且在研究中忽略了其他季节月份对气候网络的影响. 本文研究了季节因素对气候网络的影响, 研究发现: 气候网络在不同季节的整体特征参数基本保持稳定, 但是网络社团结构以及局部节点拓扑连接随季节变化显著. 可以利用这一结论来研究不同季节全球遥相关模态变化情况以及局部地区气候特征随季节变化情况.

**关键词:** 气候网络, 气候数据, 遥相关, 季节因素

**PACS:** 92.10.am, 05.40.-a, 89.60.-k, 89.75.-k

**DOI:** 10.7498/aps.62.029203

## 1 引言

复杂网络具有同时将数据表达形式、数据分析框架、数据可视化工具三者融为一体的能力<sup>[1-3]</sup>, 所以在不同领域都引起了广泛的兴趣. 本文主要集中在复杂网络在地球科学领域中的一个应用——气候网络<sup>[4]</sup>的研究上. 现阶段, 全球气候在科学界越来越引起关注的一个重要问题是: 如何识别和分析气候中的不同模式, 并由此来更好地解释观察到的气候现象背后所蕴含的深层次的复杂过程, 而气候网络在这一问题的研究中展现了令人振奋的前景<sup>[5]</sup>.

Tsonis 等在 2004 年<sup>[6]</sup>最早提出了气候网络的概念及构建方法, 并用复杂网络的方法<sup>[7,8]</sup>研究了气候网络的特性. 但是该文章仅局限于气候网络的物理特性, 并没有给出气候网络在气候领域的具体应用. 文献 [9] 中给出了利用气候网络来研究厄尔尼诺和拉尼娜现象的应用, 并得出有关气候网络稳定性的结论. 文献 [10] 提出了建立以复杂网络为统一研究框架的气候分析预报模型. 在国内研究中, 封国林、龚志强等<sup>[11-13]</sup>从空间和时间的角度分析气候要素的关联性并构建不同气候要素关联网

络, 并比较了网络演化特征. 王晓娟等<sup>[14]</sup>提出了利用温度关联网络的稳定性分析来研究极端的气候事件.

在上述文献中构建气候网络时一般选取冬季月份样本数据, 而且在研究过程中基本忽略了季节因素对气候网络的影响. 文献 [9] 给出的理由是冬季时月份距平数据 (见第 2 节) 振幅比夏季要大, 为了避免错误的高关联度, 所以选择冬季 12—2 月份. 但事实上, 12—2 月份只在北半球中高纬度地区才是冬季, 南半球则恰恰相反为夏季, 且热带低纬度地区没有明显的冬夏之分. 所以这个经验性的季节选取对气候网络的建立并没有必然关系. 本文主要研究季节因素对气候网络特性的影响. 首先, 以全球温度数据集作为研究对象, 选取不同的季节月份数据构建气候网络, 发现气候网络整体特征参数保持稳定. 其次, 分别构建 500 hPa 位势高度、海平面气压以及全球表面温度网络来研究不同季节气候网络社团结构变化情况, 并分析了冬夏气候网络社团结构的变化以及所对应的气象物理过程. 这表明不同季节数据也含有重要的气象信息, 可以由此来研究全球遥相关随季节变化情况. 最终, 研究了气候网络局部节点的拓扑结构随季节变化情况. 以中国南方地区作为局部节点的研究对象, 发现在

\* 国家自然科学基金 (批准号: 41105063) 资助的课题.

<sup>†</sup> 通讯作者. E-mail: yangjinhui@nudt.edu.cn

该区域冬季主要同亚洲中南部陆地地区相关联,而在夏季则主要同印度洋、太平洋地区相关联.不同季节气候网络局部节点拓扑结构变化显著.可以利用这一结论来研究全球局部地区不同季节气候变化情况.

## 2 季节因素对整体网络特性影响

网络整体特性主要包括两个方面:一个是网络特征参数、二是网络的整体结构.在研究季节因素对网络整体结构影响时,主要考虑气候网络的社团结构的改变.

### 2.1 季节因素对网络特征参数的影响

标准的复杂网络特征参数包括:节点数 ( $N$ )、边数 ( $E$ )、集聚系数 ( $C$ )、平均最短路径长度 ( $L$ ) 等.以全球表面月平均气温数据场为研究对象构建气候网络,网络构建过程详见文献 [4],数据网格经纬度分辨率为  $5^\circ \times 5^\circ$ .表 1 给出了采用不同月份时所构建温度网络的特征参数.采样月份长度为 3,月份开始时间分别 12, 3, 6, 9 月份对应季节可粗略地分为冬春夏秋.从表 1 中可以看出,随着季节的变化,网络的边数、集聚系数和平均最短路径长度都能较好的保持一致.冬季气候网络的各个参数达到最大,而夏季则最小,但是波动范围较小.这表明气候网络的整体特性随季节变化具有稳定性.

表 1 温度网络特征参数.  $N$  表示网络节点数,  $E$  表示网络边数,  $C$  表示网络集聚系数,  $L$  表示网络平均最短路径长度

月份	$N$	$E$	$C$	$L$
12—2	2664	114398	0.6337	4.170
3—5	2664	101111	0.6200	4.3512
6—8	2664	98771	0.6177	4.1568
9—11	2664	100288	0.6290	4.3548

### 2.2 季节因素对气候网络社团结构的影响

气候网络的社团结构能反映出多种全球气候特征 [17],包括一些重要遥相关模式 (teleconnection patterns) 如 PNA, NAO 等、南北半球的交互通信、以及低高纬度的正压斜压特征等.在研究气候网络社团结构中,我们以全球 500 hPa 位势高度、全球海平面气压、全球表面温度三种气象数据场作为

研究对象.这些数据数据组织成  $10^\circ \times 10^\circ$  经纬度分辨率的网格,于是在东西方向有 36 个点,南北方向有 19 个点,一共组成气候网络有  $n = 680$  个节点.节点采用 1948—2012 年的月平均数据.对每一个数据集分别构建冬季 (12—2) 和夏季 (6—8) 月份气候网络.计算社团结构如图 1 所示.

文献 [17] 分析了冬季气候网络社团结构所对应的遥相关模式等重要的全球气象特征.从图 2 中可知,夏季网络社团结构同冬季网络的有较大区别.在 500 hPa 位势高度网络中,冬季网络社团结构能反映出 PNA, NAO 遥相关模态,而在夏季网络中这些模态的典型特征已经不复存在.导致这种现象的原因有二:一是夏季水汽能量对流更加活跃,破坏了典型遥相关模态之间的关联;二是夏季网络社团结构数量增多,在可视化社团结构过程中会导致一些社团的合并.在海平面气压网络中,可以看出 PNA 遥相关模态在冬季关联地区主要分布在北美洲西部和太平洋东北部,而在夏季关联地区则主要分布在北美南部、大西洋西部,这种改变是同实际气候过程一致的.在全球表面温度网络中,北半球社团结构冬夏变化更加显著,可以看出赤道太平洋印度洋所在社团从冬季到夏季有较明显的向北扩张的趋势,这表明在夏季,赤道太平洋印度洋地区对欧亚大陆中部有较强的水汽和能量输送.此外在气候网络冬夏季社团结构在数量上和南北半球分布上的一个大致趋势是:气候网络夏季社团结构数量要多于冬季;6—8 月份气候网络北半球拥有较多数量的社团结构,而 12—2 月份气候网络则相反.对这种现象的一个解释是,大多气候遥相关模态只有在冬季才比较显著,12—2 月份对北半球是冬季、6—8 月份对南半球是冬季.

综上所述,在不同季节气候网络的社团结构变化较大,这是同气象季节性因素本身的物理特征相关的.除冬季数据外,其他季节数据也包含有重要气候信息,在研究不同季节气候特征时,可以构建不同季节的气候网络.

## 3 季节因素对局部网络特性影响

本节主要研究季节因素对局部节点关联地区的具体影响.构建气候网络采用的气候数据集为全球表面月平均温度,数据网格经纬度分辨率为  $5^\circ \times 5^\circ$ .以中国南方的两种典型季风气候区域为研究的局部区域:经纬度范围:  $107.5^\circ \text{E}—117.5^\circ \text{E}$

$^{\circ}\text{E}$ ,  $22.5^{\circ}\text{N}$ — $32.5^{\circ}\text{N}$  (如图 2(a) 所示) 的亚热带大陆季风气候区和经纬度范围:  $105.5^{\circ}\text{E}$ — $115.5^{\circ}\text{E}$ ,  $15.5^{\circ}\text{N}$ — $20.5^{\circ}\text{N}$  (如图 2(b) 所示) 的热带海洋季风气候区.

图 2(a) 所示亚热带大陆季风区在冬季 12—2 月份多受从西伯利亚和蒙古高原南下的冷空气团控制, 气候干冷有一定的雨雪冰霜天气. 在夏季 6—8 月份则多受低纬度太平洋印度洋海洋暖湿气团

控制, 气候高温多雨. 其在温度气候网络中的关联地区分布如图 3 所示, 在 12—2 月份关联地区多分布在中国大陆, 蒙古以及西伯利亚地区, 而在 6—8 月份关联地区则主要分布在西南太平洋以及北印度洋, 且存在同大西洋和非洲部分地区遥相关现象. 由图可知, 冬季影响该地气候来源主要分布在北方大陆, 夏季影响该地区气候来源主要分布在低纬度海洋, 这同实际气候经验是相符的.

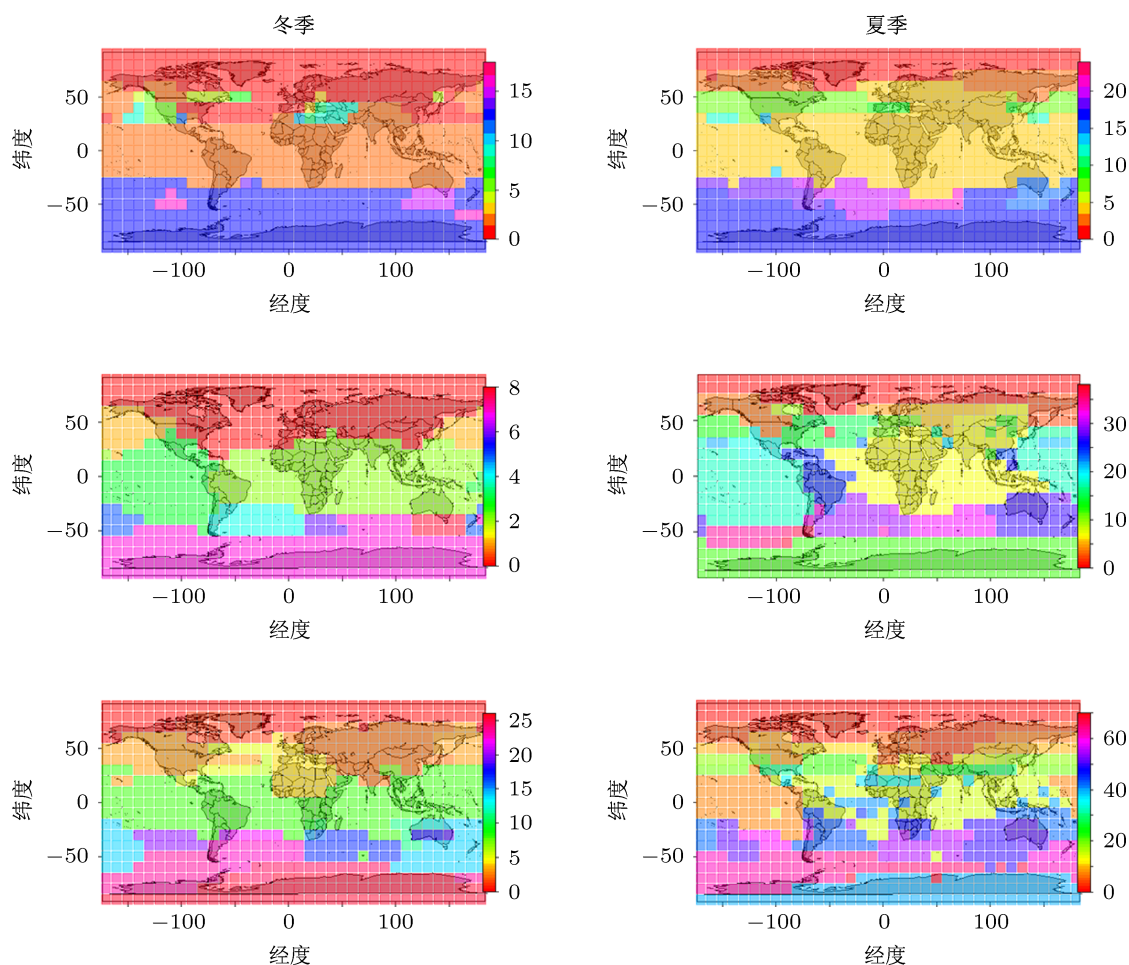


图 1 气候网络社区结构. 左边为夏季网络, 右边为冬季网络. 从上到下对应数据集分别为 500 hPa 位势高度、海平面气压、全球表面温度月平均数据

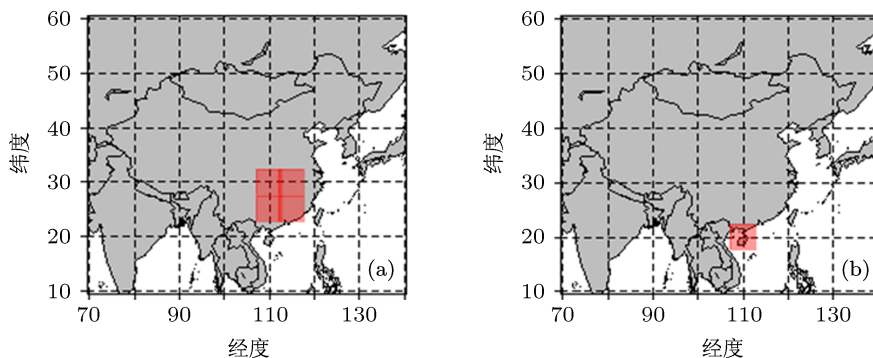


图 2 两种中国南方典型的季风气候区 (a) 亚热带大陆季风区; (b) 热带海洋季风区

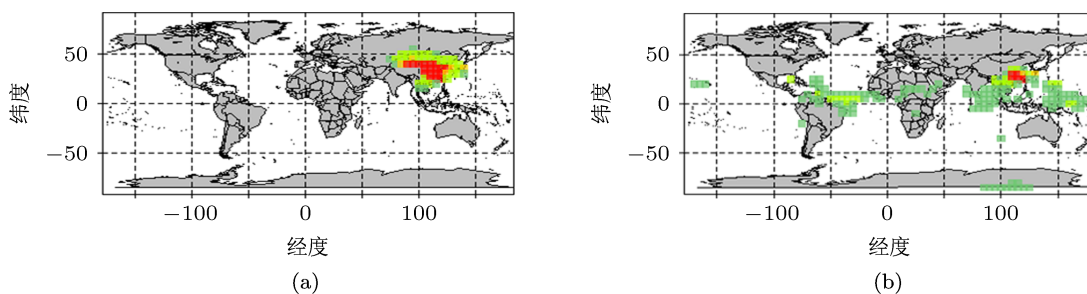


图3 亚热带大陆季风区在气候网络中的关联地区 (a) 12—2 月份关联地区; (b) 6—8 月份关联地区

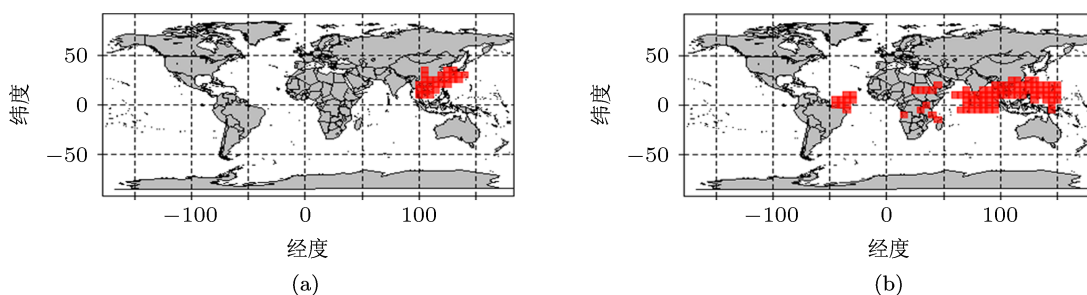


图4 热带海洋季风区在气候网络的关联地区 (a) 12—2 月份关联地区; (b) 6—8 月份关联地区

图 2(b) 所示的热带海洋季风区在 12—2 月份受东北季风的影响, 气候凉爽降雨偏少, 在 6—8 月份受南方海洋季风的影响, 气候炎热降水量大. 它在温度网络中的关联地区如图 (4) 所示. 图中 12—2 月份气候关联地区主要分布在其东北方向的大陆近海而 6—8 月份气候关联地区主要分布在太平洋与印度洋.

由上可知, 气候网络中局部节点的关联区域随季节变化显著, 且这种变化是同实际物理经验相符的. 可以由此来研究主导局部地区的季风气候随季节变化情况以及, 局部地区的遥相关现象.

#### 4 结论

气候网络的研究给地球气候领域带来了新的研究方式, 它可以把地球大气中错综复杂的关系用较精确地数学模型来描述, 并用可视化的方式形象的展示出来. 在以往的气候网络构建过程中没有考

虑气候网络月份季节性因素, 而直接研究气候网络的特性及应用. 本文研究了季节性因素对气候网络构建的影响, 结果表明: 选择不同季节月份数据构建气候网络, 对于网络的整体特征参数影响不大; 但是气候网络社团结构以及局部节点的拓扑连接季节性因素影响显著. 不同季节所建网络, 社团结构特征改变明显, 可以用来研究不同季节全球遥相关模态变化情况; 网络局部节点的拓扑结构变化明显. 可以利用这一特性来研究局部地区在不同季节气候变化情况, 如文中给出的两个局部季风区域的研究. 这对地区气候特征研究具有重要意义.

气候网络在地球大气科学研究领域属于较新发展方向. 在现有的阶段已经取得了很多成果, 但是其发展也面临很大挑战. 气候领域变量多、数据量大, 在未来为建立高分辨率的气候网络需要巨大计算量. 同超级计算机并行计算相结合是解决计算困境的一个较好方法.

- [1] Wasserman S, Faust K 1994 *Social Network Analysis*. (Cambridge University Press)
- [2] Uetz P, Giot L, Cagny G 1999 *Nature* **403** 623
- [3] Onnela J P, Saramaki J, Kaski K 2006 *Practical Fruits of Econophysics*

p302–306

- [4] Tsonis A A, Swanson K L, Roebber P J 2006 *Bulletin of American Meteorological Society* **87** 585
- [5] Steinhäuser K, Chawla N V, Ganguly A R 2010 *NASA Conf. on Intel-*

- ligent Data Understanding*
- [6] Tsonis A A, Roebber P 2004 *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **333** 497
- [7] Watts D J, Strogatz S H 1999 *Nature* **393** 440
- [8] Faloutsos M, Faloutsos P, Faloutsos C 1999 *Comp. Comm. Rev.* **28** 251
- [9] Tsonis A A, Swanson K L 2008 *Phy. Rev. Lett.* **100** 228502
- [10] Steinhäuser K, Chawla N V, Ganguly A R 2010 *Technical Report TR-2010-07*
- [11] Feng G L, Gong Z Q, Zhou L, Zhi R 2009 *Acta Meteo. Sin.* **67** 890 (in Chinese) [封国林, 龚志强, 周磊, 支蓉 2009 气象学报 **67** 809]
- [12] 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]
- [13] 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** 7380]
- [14] Wang X J, Gong Z Q, Zhou L, Zhi R 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 6651 (in Chinese) [王晓娟, 龚志强, 周磊, 支蓉 2010 物理学报 **59** 6651]
- [15] Kalnay E 1996 *BAMS* **77** 437
- [16] <http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/>
- [17] Tsonis A A, Wang G, Swanson K L, Rondrigues F A, Costa L F 2011 *Climate Dynamics* **37** 933

# A study of seasonal factors impact on climate networks\*

Yang Jin-Hui<sup>†</sup> Song Jun-Qiang Cao Xiao-Qun

(School of computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

(Received 16 July 2012; revised manuscript received 30 August 2012)

## Abstract

Climate network is a new interesting field in the earth sciences. It has advantage in exploring the properties and associated structures of climate fields. In the past researches, only climate dataset for winter month of the years were used to construct climate networks, and the effect of other seasons was ignored. In this paper, how seasonal factors impact on climate networks is investigated. It is found that some of the global properties of climate networks keep stable regardless of season, on the contrary, the community structures of network and local topologies change significantly in different seasons. With this conclusion, the variation of global teleconnection patterns and local area climate in different seasons can be investigated on climate network.

**Keywords:** climate networks, climate dataset, teleconnection pattern, seasonal factor

**PACS:** 92.10.am, 05.40.-a, 89.60.-k, 89.75.-k

**DOI:** 10.7498/aps.62.029203

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 41105063).

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: yangjinhui@nudt.edu.cn