

文章编号: 2096-1618(2021)02-0185-05

与南亚高压相联的欧亚大陆-印度洋经向环流

李琳琳¹, 南素兰², 赵平², 巩远发¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要:目前南亚高压与全球大气环流和气候的联系主要集中于北半球,很少研究与南半球气候系统之间的联系。因此主要应用相关、合成方法,利用1979–2014年ERA-Interim逐月再分析资料,选取南亚高压中心区域平均的位势高度来指示南亚高压强度,探讨对流层中高层欧亚大陆与南半球印度洋中、低纬地区大气环流特征及其成因。结果表明,在年际尺度上,该区域在高度场和温度场上呈现以热带为轴的对称结构,这与南亚高压密切相关,并且与异常的纬向-垂直环流密切相关。该环流圈减弱了北半球欧亚大陆区域Hadley环流的下沉支,加强了南半球印度洋区域Hadley环流的下沉支。因此,该环流圈可能是南北半球相互作用的一个重要“通道”,可以在欧亚大陆与南印度洋地区热量、能量等传输过程中起着重要作用。

关键词:气象学;青藏高原气候学;南亚高压;青藏高原;对称结构;经向环流;欧亚大陆-南印度洋中低纬度

中图分类号:P466

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2021.02.010

0 引言

青藏高原(以下简称高原)东西长2000多公里,南北宽1000多公里,平均海拔高度约4000 m,约占对流层的1/3。夏季南亚高压是北半球夏季对流层上层主要的大尺度环流系统,夏季南亚高压长期活动于青藏高原上空,南亚高压受青藏高原热力作用影响明显,国内外多位学者对其进行深入研究。Krishnamurti等^[1]提出夏季青藏高原作为大气热源可以激发南亚高压的形成,郭准等^[2]提出青藏高原附近热源强弱配置的差异是造成南亚高压路径差异的可能原因,叶笃正等^[3]的研究得出南亚高压的形成和维持是由于高原的加热作用造成的。

南亚高压对亚洲乃至北半球气候都有广泛的影响。陶诗言等^[4]指出南亚高压强度和中心位置,高压脊线位置和走向,以及南亚高压南北两侧东西风急流的强弱变化都直接影响到亚洲地区的天气。钱永甫等^[5]发现当200 hPa南亚高压中心跳到20 °N,南海夏季风爆发;跳到25 °N印度夏季风在其南部爆发。Krishnamurti等^[6]提出南亚高压作为印度夏季风的一员,与印度夏季降水有很好的相关性。刘新等^[7-8]表示青藏高原非绝热加热变化与东亚地区夏季降水的分布形势有很好的相关关系。此外,青藏高原加热强迫能够激发产生一支沿亚欧大陆东部海岸向东北方向传

播的Rossby波列,其频散效应可影响到更远的东太平洋以至北美地区的大气环流。

虽然关于南亚高压与全球大气环流和气候的研究已经取得了显著的进展,但是关于南亚高压与南半球气候系统之间的联系探究较少^[9-12]。在夏季南亚高压和青藏高原与南半球环流系统之间的联系方面,周晓霞等^[13]指出北半球夏季,印度季风区具有较强的水汽辐合中心,大部分水汽集中在对流层中下层,季风爆发后,水汽通道迅速建立,大量水汽从南半球输送到亚洲季风区。Rosen等^[12]计算了5年平均水汽输送通量场的变化,发现在年平均尺度上,南半球是北半球的水汽源和潜热源。徐祥德等^[14]表明青藏高原南侧有来自印度洋、南海等地区的暖湿气流和水汽输送,并在高原南侧构成水汽辐合特征。可见,学者们对夏季南亚高压和青藏高原与南半球环流系统之间的研究多集中于对流层中低层南半球向北半球水汽、能量的输送。近年来,周秀骥等^[15]提出青藏高原加热产生的上升气流可以越过赤道地区影响到南半球大气环流,那么,南亚高压或青藏高原加热在欧亚大陆-南印度洋的大气环流中扮演什么角色?将从南亚高压出发,初步探讨对流层中高层欧亚大陆与南半球印度洋之间的大气环流特征及其成因。

1 资料与方法

使用的资料为1979–2014年ERA-Interim再分析数

收稿日期:2020-04-23

基金项目:中科院先导专项资助项目(XDA20100300);国家自然科学基金资助项目(41775084);气科院基本科研业务资助项目(2019Z008)

据的月平均风场、位势高度场、温度场资料,水平分辨率为 $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$,垂直层次为37层。以6-8月的平均值代表夏季平均状况,文中所指季节均以北半球为标准。采用气候统计中常用的合成分析法、相关分析法统计方法,相关系数图的显著性检验方法为 t 检验。

2 南亚高压强度的年际变化

图1是1979-2014年夏季北半球100 hPa位势高度气候场,可以看到:在欧亚大陆中低纬地区以青藏高原和伊朗高原为中心存在一高压系统,中心值超过16800 gpm,这就是通常所说的南亚高压。南亚高压横跨阿拉伯半岛、伊朗高原、青藏高原、印度半岛、中南半岛北部以及中国长江以南地区。用100 hPa南亚高压高度场的大值区($25^{\circ} \text{N} \sim 40^{\circ} \text{N}$ 、 $40^{\circ} \text{E} \sim 110^{\circ} \text{E}$)的区域平均的位势高度来指示南亚高压强度。

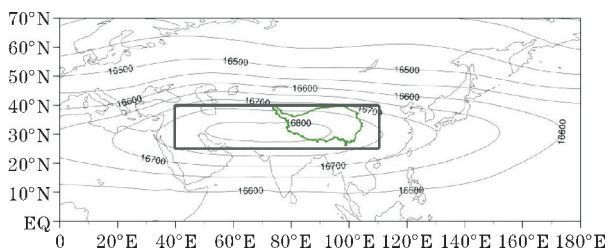


图1 1979-2014年夏季北半球100 hPa位势高度气候场

图2为夏季南亚高压强度指数的时间序列。南亚高压强度在1979-2014年均值为16776.22 gpm,标准差为17.38 gpm,无明显的线性变化趋势。南亚高压强度指数具有明显的年际变化,最高值出现在1998年,其值为16824.38 gpm。最低出现在1992年,其值为16738.29 gpm。为用合成方法分析强、弱南亚高压年对应的大气环流,根据图2选取6个南亚高压最强年(1980、1994、1998、2006、2010、2013年)和6个南亚高压最弱年(1985、1986、1989、1992、1997、2004年)。

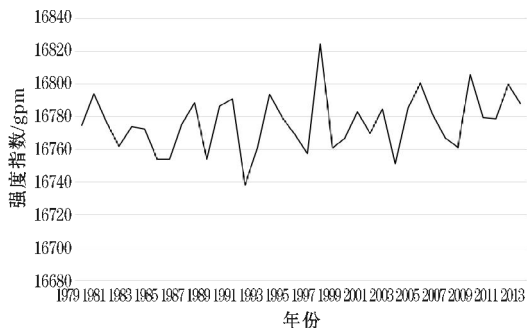


图2 1979-2014年夏季100 hPa南亚高压强度指数的时间序列

3 与南亚高压相关联的欧亚大陆与南印度洋中低纬高度场及温度场上的对称结构

从南亚高压角度来探究欧亚大陆与南半球印度洋地区气候系统的联系。图3为1979-2014年夏季南亚高压与200 hPa位势高度场的相关分布,可以看到:北半球欧亚-非洲大陆和北大西洋中、低纬度地区为显著正相关,南半球非洲-南印度洋中、低纬地区也呈现显著正相关,南半球的正相关以热带为轴呈现出对称结构。这说明当南亚高压偏强时,不仅北半球欧亚大陆中低纬度位势高度升高,南半球非洲-南印度洋中、低纬位势高度也升高;反之亦然。因此,在年际尺度上欧亚大陆和南印度洋中、低纬地区的对流层高层位势高度变化呈现对称结构。

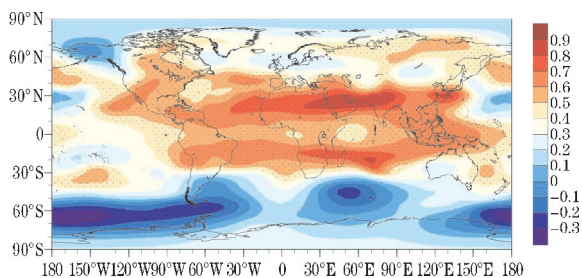


图3 1979-2014年夏季200 hPa南亚高压与位势高度场的相关(打点区为显著相关区,通过 $\alpha=0.01$ 显著水平的信度 t 检验)

下面进一步研究南北半球中低纬度对称结构在整个对流层的特征,从图3可见,在南、北半球中低纬度正相关中心位于 $20^{\circ} \text{W} \sim 90^{\circ} \text{E}$ 。根据南亚高压强度指数与 $20^{\circ} \text{W} \sim 90^{\circ} \text{E}$ 位势高度场的相关系数垂直剖面图(图4a)可以看到:在 $20^{\circ} \text{S} \sim 30^{\circ} \text{S}$ 和 $25^{\circ} \text{N} \sim 35^{\circ} \text{N}$ 的对流层中上层均为显著正相关,南半球的中心大致位于200 hPa附近,北半球的中心位于对流层上层,在对流层低层为弱的负相关。这些特征说明这种南、北半球的对称结构在对流层中上层均有体现。

这种对称结构不仅存在于高度场上,温度场上也有所表现。如南亚高压指数与 $20^{\circ} \text{W} \sim 90^{\circ} \text{E}$ 温度场的相关系数垂直剖面图(图4b)。在700~200 hPa南北半球中低纬度为显著正相关,其中心以热带为轴中低纬呈对称结构,分别位于 20°S ,300 hPa(南半球)和 20°N ,200 hPa(北半球)。因此欧亚大陆-南印度洋中、低纬位势高度场的对称结构可能是温度场对称结构的结果。

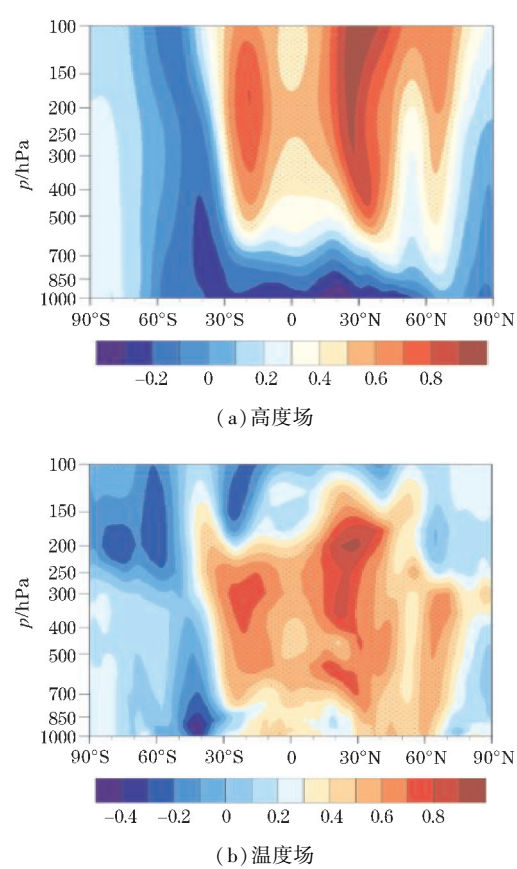


图 4 1979-2014 年夏季南亚高压指数与 20°W ~ 90°E 高度场、温度场相关的垂直剖面图(打点区为显著相关区,通过 $\alpha=0.01$ 显著水平的 t 检验)

4 与南亚高压相关联的欧亚大陆-南印度洋中低纬经向环流

综上,当南亚高压异常变化时,欧亚大陆与南印度洋中低纬地区之间在温度场上以热带为轴呈现出对称结构。那么为什么会存在这种对称结构呢?下面利用合成分析方法进一步研究与之对应的欧亚大陆与南印度洋中、低纬地区之间的大气环流特征。

图 5 为在夏季南亚高压强度强年和弱年合成的同期水平风场差值图,可以看到,在对流层低层(850 hPa),南印度洋中、低纬地区有异常的南风越过赤道,在科氏力作用转变为西南风流向欧亚大陆;在对流层高层(200 hPa),欧亚大陆中低纬为异常的反气旋性环流,中心位于东亚和西亚,异常反气旋环流南侧为异常的东南风,一直到南印度洋的中低纬度。这样的环流与通常所说的亚洲夏季风环流一致。这说明当南亚高压加强时,在对流层低层有从南印度洋向欧亚大陆的异常气流,而在对流层高层有从欧亚大陆向南印度洋的异常气流。

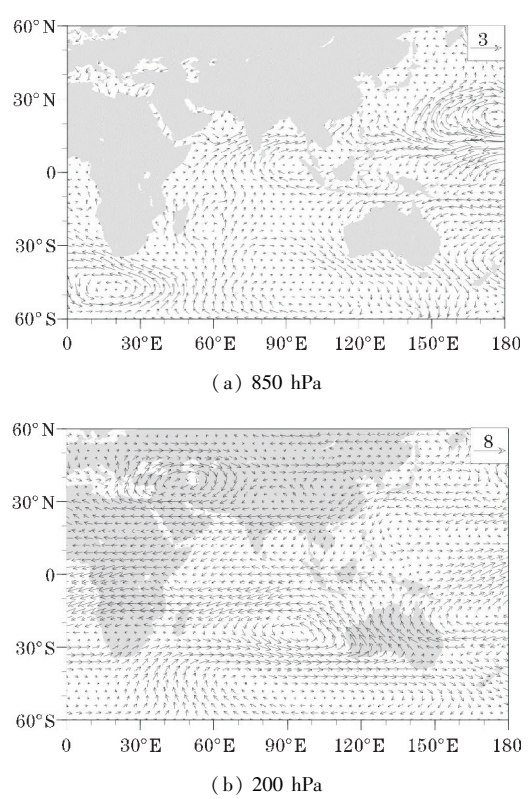
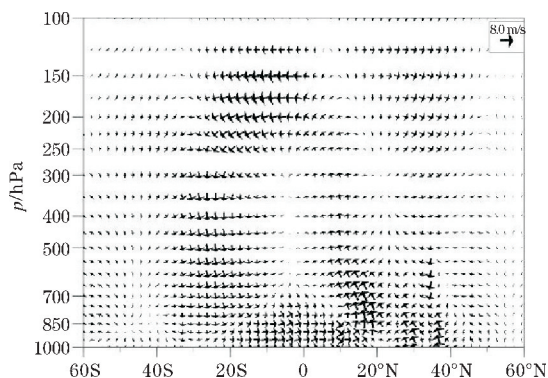
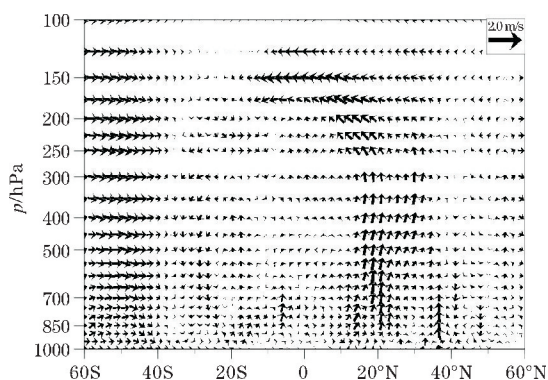


图 5 南亚高压强度强弱年合成的水平风场差值图

夏季沿 20°E ~ 90°E 经向风-垂直速度剖面的气候场(图 6a)上,可以看到两个区域的经向环流圈,即南哈德莱环流和北哈德莱环流;一支气流在 5°N ~ 15°N 上升,一直到对流层上层,然后向南到 20°S ~ 30°S 下沉,环流中心位于 10°S 左右,指示着南 Hadley 环流圈;在 5°N ~ 15°N 的上升气流在对流层上层向北到 30°N ~ 40°N 下沉,形成北 Hadley 环流圈。图 6(b)为根据南亚高压强度指数合成的沿夏季 20°E ~ 90°E 经向风-垂直速度剖面差值图,可以看到:在 20°N ~ 30°N 整个对流层为异常上升气流,在对流层上层 20°S ~ 20°N 为异常北风,在 30°S 附近为异常下沉气流,在对流层下层 20°S ~ 20°N 为异常弱南风,这样就形成一自北半球中低纬度地区上升经南北半球对流层上层至南半球中低纬度下沉的异常经向垂直环流圈。当南亚高压加强时,这一异常经向-垂直环流圈减弱了北 Hadley 环流的下沉支,也就是说南亚高压的存在减弱了区域的北 Hadley,而加强了南 Hadley 环流的下沉支。周秀骥等^[15]指出,青藏高原与南印度洋之间存在一类似的经向-垂直环流。欧亚大陆-南印度洋中、低纬度在高度场和温度场上的对称现象正是这一异常经向-垂直环流的结果,这一环流也是南北半球相互作用的一个重要“通道”,在南北半球的热量传输中起着重要作用。



(a) 气候场



(b) 合成差值场

图6 夏季沿20°W~90°E经向风-垂直速度矢量图

5 结论

分析了南亚高压强度在年际上的变化特征,并分析了与南亚高压相关联的欧亚大陆-南印度洋中低纬地区高度场及温度场上的对称结构和南北半球中低纬度之间的经向-垂直环流圈特征,得到以下结论。

(1) 用100 hPa南亚高压中心区域(25°N~40°N、40°E~110°E)区域平均的位势高度来代表南亚高压强度,1979-2014年南亚高度强度均值为16776.22 gpm,标准差为17.38 gpm。南亚高压强度指数表现出明显的年际变率,而没有呈现出明显的线性趋势。

(2) 在年际尺度上,欧亚大陆-南印度洋中低纬高度场和温度场在对流层中高层呈现以热带为轴的对称结构,该对称结构与南亚高压密切相关。当南亚高压加强时,欧亚大陆和南印度洋中低纬位势高度增加,温度升高;反之,情况相反。

(3) 欧亚大陆-南印度洋中低纬高度场和温度场对流层中高层的纬向对称结构与该区域一异常的纬向-垂直环流密切相关。当南亚高压加强时,欧亚大陆中低纬为异常的上升运动,欧亚大陆-南印度洋的对

流层为异常的北风,南印度洋30°S附近为异常下沉运动,欧亚大陆-南印度洋的对流层低层为异常的南风,这样在欧亚大陆-南印度洋形成了一异常的经向-垂直环流圈。该环流圈减弱了北半球欧亚大陆区域Hadley环流的下沉支,加强了南半球印度洋区域Hadley环流的下沉支。该环流圈可能在欧亚大陆与南印度洋地区热量、能量等传输过程中发挥有重要作用,可能是南北半球相互作用的一个重要“通道”。

参考文献:

- [1] Krishnamurti T N, Daggupati S M, Jay F, et al. Tibetan high and upper tropospheric tropical circulations during northern summer[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1973, 54(12): 1234-1250.
- [2] 郭准, 郭品文, 茅懋. 南亚高压在高原建立的路径类型及其分析[J]. 大气科学学报, 2009, 32(6): 815-823.
- [3] 叶笃正, 张捷迁. 青藏高原加热作用对夏季东亚大气环流影响的初步模拟实验[J]. 中国科学, 1974, 3(3): 301-326.
- [4] 陶诗言, 徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征[J]. 气象学报, 1962, 32(1): 1-10.
- [5] 钱永甫, 江静, 张艳, 等. 亚洲热带夏季风的首发地区和机理研究[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 129-139.
- [6] Krishnamurti T N, Bhalme H N. Oscillations of a Monsoon System. Part I. Observational Aspects[J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1976, 33(10): 1937-1954.
- [7] 刘新, 李伟平, 许晔雄, 等. 青藏高原加热对东亚地区夏季降水的影响[J]. 高原气象, 2007, 26(6): 1287-1292.
- [8] 刘新, 李伟平, 吴国雄. 夏季青藏高原加热和北半球环流年际变化的相关分析[J]. 气象学报, 2002, 60(3): 267-277.
- [9] Zhao P, Xu X, Chen F, et al. The Third Atmospheric Scientific Experiment for Understanding the Earth-Atmosphere Coupled System over the Tibetan Plateau and Its Effects[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2018, 99(4): 756-776.
- [10] 赵平, 陈军明, 肖栋, 等. 夏季亚洲-太平洋涛动

- 与大气环流和季风降水[J]. 气象学报, 2008, 66(5): 716-729.
- [11] 刘舸, 赵平, 南素兰, 等. 夏季青藏高原上空热力异常与其上下游大气环流联系的研究进展[J]. 气象学报, 2018, 76(6): 861-869.
- [12] Rosen R D, Salstein D A, Peixoto, et al. Variability in the Annual Fields of Large-Scale Atmospheric Water Vapor Transport[J]. Monthly Weather Review, 1979, 107(1): 26-37.
- [13] 周晓霞, 丁一汇, 王盘兴. 夏季亚洲季风区的水汽输送及其对中国降水的影响[J]. 气象学报, 2008, 66(1): 59-70.
- [14] 徐祥德, 陶诗言, 王继志, 等. 青藏高原—季风水汽输送“大三角扇型”影响域特征与中国区域旱涝异常的关系[J]. 气象学报, 2002, 60(3): 257-266.
- [15] 周秀骥, 赵平, 陈军明, 等. 青藏高原热力作用对北半球气候影响的研究[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2009, 39(11): 1473-1486.

The Meridional Circulation Associated with South Asian High over Eurasia and Indian Ocean

LI Linlin¹, NAN Sulan², ZHAO Ping², GONG Yuanfa¹

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: At present, the connection between the South Asia High (SAH) and global atmospheric circulation and climate is mainly concentrated in the Northern hemisphere. However, there are few studies on the relationship between the SAH and the southern hemisphere climate system. Therefore, relevant and synthesis methods are mainly used. Then employing monthly reanalysis data from 1979–2014 ERA-Interim, and selecting average geopotential height of SAH center area to represent the high pressure intensity of South Asia High, meanwhile, discussing the atmospheric circulation characteristics in Eurasia located in the middle and upper troposphere and in the middle and low latitude area in the south hemisphere. The results show that, on the interannual scale, this area shows a symmetrical structure with tropics as axis, which is closely related to the South Asian High and anomalous zonal vertical circulation in the region. The circulation weakens the sinking branch of the Hadley circulation in the Eurasian region of the northern hemisphere and strengthens the sinking branch of the Hadley circulation in the Indian Ocean region of the southern hemisphere. This circulation may be an important “channel” for the interaction between the northern and southern hemispheres, and plays an important role in the heat and energy transfer process between Eurasia and southern Indian ocean.

Keywords: meteorology; Tibetan Plateau climatology; South Asian high; Tibetan Plateau; symmetrical structure; meridional circulation; Eurasia-low and middle latitudes of the southern Indian Ocean