

副热带高压脊线移动的三维结构特征*

宋振鑫

张培群

(国家气象中心, 北京, 100081) (国家气候中心, 北京, 100081)

丑纪范

徐明

(兰州大学大气科学系, 兰州, 730000)

(上海市气象局, 上海, 200030)

摘要

文中定义了东西风交界面作为表征副热带高压脊线位置的动力学参量, 并利用 NCEP/NCAR 再分析月平均资料在三维空间中考察了东西风交界面的空间、时间变化特征。分析结果表明: 副热带高压位置移动以季节变化为主, 季节变化由南北移动和斜率变化两类运动组成; 副热带高压位置移动的年际变化和 ENSO 事件关系密切; 南半球副热带高压具有纬向对称的垂直结构, 北半球副热带高压垂直结构较为复杂, 尤其是西太平洋副热带高压表现出在全球副热带高压系统中的独特性。

关键词: 副热带高压脊线, 三维结构, 季节变化, 年际变化。

1 引言

中国的大部分天气、气候灾害的发生都和西太平洋副热带高压(以下简称副高)的变异有关, 因此从20世纪60年代起, 中国的气象学家就对副高进行了较系统的研究^[1~6], 发现西太平洋副高的季节变化中存在跳跃现象, 西太平洋副高和中国东部雨带的位置关系密切等规律。在预报实践中也总结出—批指标来表征500 hPa 上西太平洋副高的特征^[7](如面积指数、脊线位置、西伸脊点等)。然而副高活动的规律仍是一个远未解决的难题, 即便在近年来发展较快的数值模拟领域, 对副高的模拟仍不理想, 因此迫切需要从动力学角度研究副高的变异机理。副高动力学研究的基础就是全面、整体了解副高的变化特征, 要做到这点, 仅仅诊断500 hPa 层上西太平洋副高的特征是不够的, 必须将研究范围拓展到全球和对流层整层。文中利用 NCEP/NCAR 再分析资料(1982~1996年), 研究了三维空间中副高脊线的气候特征, 为从动力学上深入研究副高变异机理提供事实依据。

2 副高脊线的动力学描述

大气环流最基本的状态为盛行纬向气流, 总体上看, 中、高纬度地区盛行西风, 低纬度

* 初稿时间: 1999年8月16日; 修改稿时间: 1999年12月10日。
资助课题: 国家自然科学基金“九五”重点项目“副热带高压的变异机理(49635170)”。

地区盛行东风,在东西风带之间存在一个东西风交界面。因为大气运动最基本的特点是满足气压梯度力与科氏力相平衡的地转关系,东西风交界面处,正好是气压极大值的位置,关于这一点可以很容易从地转关系得到。

纬向风的地转关系为

$$f u = - \frac{\partial \Phi}{\partial y} \quad (1)$$

由式(1)可得:

$$f \frac{\partial u}{\partial y} + \beta u = - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \quad (2)$$

因为在东西风交界面处, $u = 0$ 且 $\frac{\partial u}{\partial y} > 0$, 因此 $\frac{\partial \Phi}{\partial y} = 0$, $\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} < 0$, 正是 Φ 的极大值点。因此东西风交界面的位置变化正反映了副高脊线位置的移动特征。将副高脊线的位置扩展到三维空间时,这一特性仍然保持,得到的是一个二维曲面,文中称其为副高脊面或东西风交界面。

在实际考察副高脊面的时、空变化特征时,考虑到副热带地区会出现西风通道,文中将东西风交界面的位置定义为纬向风动能极小值处,这样得到的是一个统一、连续的副高脊面。在某一时刻 t , 东西风交界面可用经度- P 平面上的等纬度线直观地加以描述。用东西风交界面代替传统的副高脊线指标具有明显的优越性,除了能客观、定量地描述副高脊线的三维空间分布特征,从而避免了以往形态学描述的主观性和不确定性,而且具有明确的动力学含义。东西风交界面是连接中高纬大气和热带大气的活动边界,研究它的变化可以将热带、副热带地区和中、高纬大气的相互作用抽象为活动面移动的数学问题,便于开展进一步的动力学研究。

3 资料及其处理

资料是由 NCEP/NCAR 提供的1982~1996年月平均再分析资料,等压面资料的分辨率为 $2.5 \times 2.5^\circ$ 。选取风场 U 的15 a月平均再分析资料作为研究对象,根据上述东西风交界面的定义计算出180个月的東西风交界面位置 $\theta(\lambda, p, t)$, 其中 λ, p, t 分别为经度、气压、时间,进而研究其时、空分布和演变特征。

4 副高脊面的气候特征

4.1 东西风交界面位置多年平均的气候特征

图1为全球东西风交界面多年平均的气候位置。从图1可见,在北半球,主要由于海陆分布的原因,副高分裂成3个单体,即太平洋副高、大西洋副高和中东-北非副高,主要位于海洋上,因此下文的讨论着重于副高脊线位置在海洋上的变化。从图1a中可以看出,在北半球随着高度增加,副高脊面在大部分地区由北向南倾斜。值得注意的是在 $90 \sim 160^\circ \text{E}$ 区域的400 hPa以上,副高脊面随高度增加又由南向北倾斜,显示出这一区域副高脊面垂直结构的特殊性。在南半球,副高脊面随高度增加表现出较为一致的由南向北倾斜的特性。大气环流有明显的季节性差异,副高脊线的气候分布也有同样特征,总的来说,冬季副高脊面的位置比夏季更靠近赤道,除此之外,南、北半球副高脊面在冬、夏季节各有其特点,

从图1b可以看出,北半球冬季1月,副高脊面保持较为一致的随高度增加由北向南倾斜的特点,而在北半球夏季7月(图1c),以0和180经线圈为边界的東西两半球副高脊面表现出完全不同的空间结构特征,180以东,副高脊面随高度增加仍保持由北向南倾斜的特征,但在180以西,副高脊面随高度增加由南向北倾斜,完全不同于年平均、冬季平均和夏季180以东的状况。对南半球状态而言,副高脊面的垂直分布结构表现出较强的一致性(图2),即随高度增加由南向北倾斜,其冬夏差别,除了位置不同外,还表现在纬向对称性上,和南半球冬季7月(图2c)相比,南半球夏季1月(图2b)的副高脊面的垂直结构有更强的纬向非对称特点。

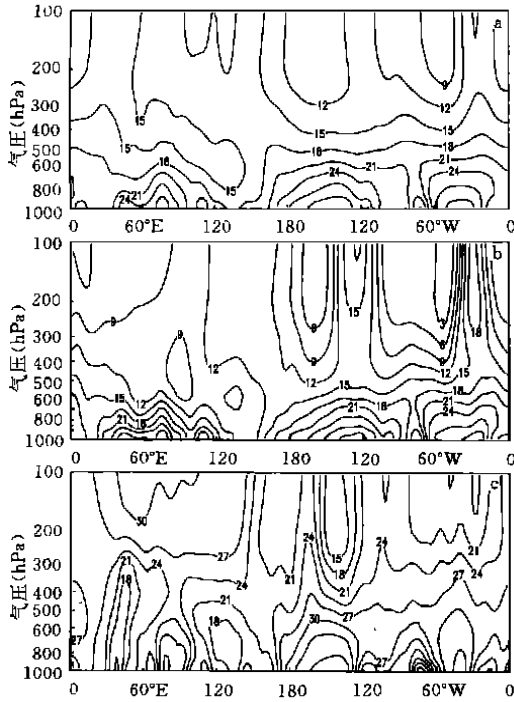


图1 北半球东西风交界面纬度位置多年平均的气候特征

(a. 全年, b. 1月, c. 7月; 图中数值表示纬度)

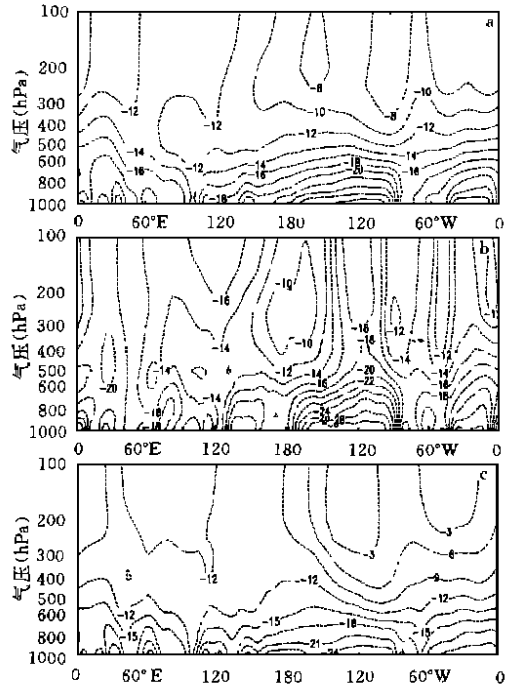


图2 南半球东西风交界面纬度位置多年平均的气候特征

(a. 全年, b. 1月, c. 7月; 图中数值表示纬度)

综上所述,副高脊面的气候分布有如下特点:总的来说,副高脊面随高度增加由极地一侧向赤道一侧倾斜,夏季的位置比冬季位置远离赤道。但北半球的一些区域在全年尤其在夏季表现出与其它区域不一致的特征,即副高脊面随高度增加由赤道一侧向极地一侧倾斜,表现出这些区域独特的动力学、热力学特征,值得注意的是这些区域恰好是亚洲季风和北非季风区,这也提醒人们在研究副高动力学时必须关注季风的作用。

4.2 东西风交界面位置多年平均的方差分布特征

从图1已经看到副高脊面分布的季节差异,这种差异正是副高脊面季节变化的反映。为了更清楚地观察副高脊面在不同时间尺度上的变异特征,分析一下其方差分布特征。图3和图4的方差分布同样也显示出北半球副高的单体特征,在太平洋副高,大西洋副高以及中东-北非副高所在区域,有较为显著的方差分布。图3a和图4a分别为北、南半球东西风

交界面多年平均的总方差, 在方差的分布特征上, 南、北半球有较大的不同。北半球的总方差分布, 表现出180°以东区域和180°以西区域的不一致性。180°以东, 方差随高度增加而增大, 而180°以西, 方差随高度增加而减小。在南半球总方差基本上随高度增加而减小, 但在130°~100°W的东南太平洋上空总方差随高度增加而增大。在年际变化的方差分布中, 北半球有明显的纬向非对称性图(3b), 在西太平洋低层、东太平洋500 hPa以上和东大西洋高层出现3个方差大值中心, 显示出这些区域副高脊面有较强的年际变化, 尤其是太平洋区域, 西太平洋地区副高脊面年际变化方差垂直分布与东太平洋地区有显著不同, 显示出了太平洋副高变异的独特复杂性。比较图4a~c可见, 南半球年际变化的方差与总方差、季节变化的方差有相似的空间分布结构。和北半球年际变化的方差比较, 南半球年际变化的方差具有纬向对称的分布特征。从图3和图4还可以看出季节变化的方差(图3c, 4c)相对于年际变化的方差占总方差的绝大部分。

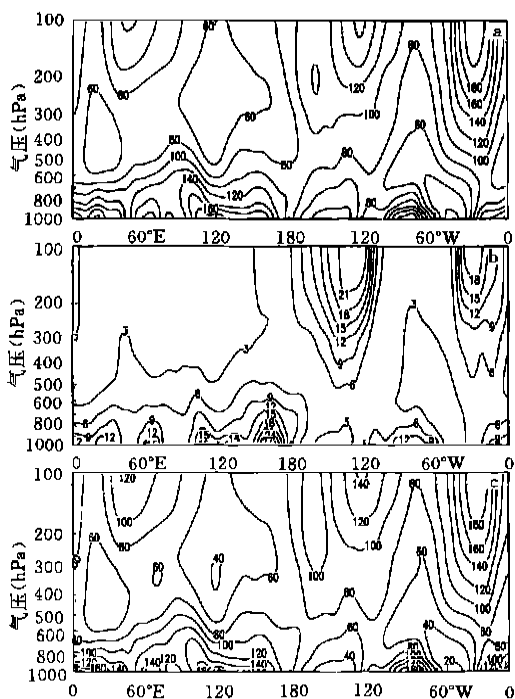


图3 北半球东西风交界面纬度位置多年平均的方差分布

(a. 北半球东西风交界面纬度位置多年平均的总方差, b. 北半球东西风交界面纬度位置多年平均的年际变化的方差, c. 北半球东西风交界面纬度位置多年平均的季节变化的方差)

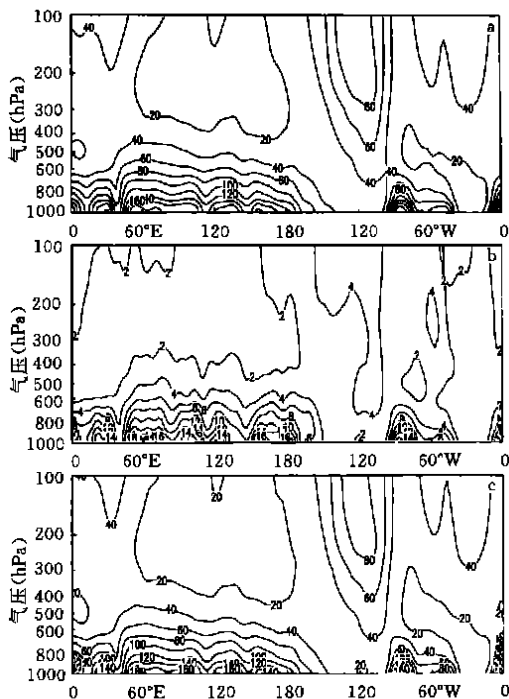


图4 南半球东西风交界面纬度位置多年平均的方差分布

(a. 南半球东西风交界面纬度位置多年平均的总方差, b. 南半球东西风交界面纬度位置多年平均的年际变化的方差, c. 南半球东西风交界面纬度位置多年平均的季节变化的方差)

4.3 多年平均的东西风交界面位置纬向平均的季节变化特征

从方差分布图中, 已经知道了副高脊面季节变化、年际变化的概况。从图5可以更清楚地看到副高脊面季节变化的具体特征。从纬向平均的副高脊线时间-高度分布图上, 可清楚地看到副高脊面的夏季型和冬季型之间的季节循环, 除了明显的南北移动外, 副高脊面

的季节变化中还有一类明显的运动特征,即副高脊面倾斜度的变化。从冬季到夏季的转换过程中,除副高脊面迅速向两极移动外,副高脊面的斜率也迅速减小,使得副高脊面在500 hPa 以上几乎不再倾斜,这一点在北半球表现得尤为明显,从图5a 中不难看到,在大气环流的季节循环中,除大气环流的季节性南北移动外,大气环流的动力、热力性质也发生着改变。因此,可以将副高脊面的季节变化分为两类活动的综合,第一类是南北移动,这一般和太阳辐射的季节性变化相一致;另一类是副高脊面斜率的变化,这类活动的原因有待进一步深入的研究。

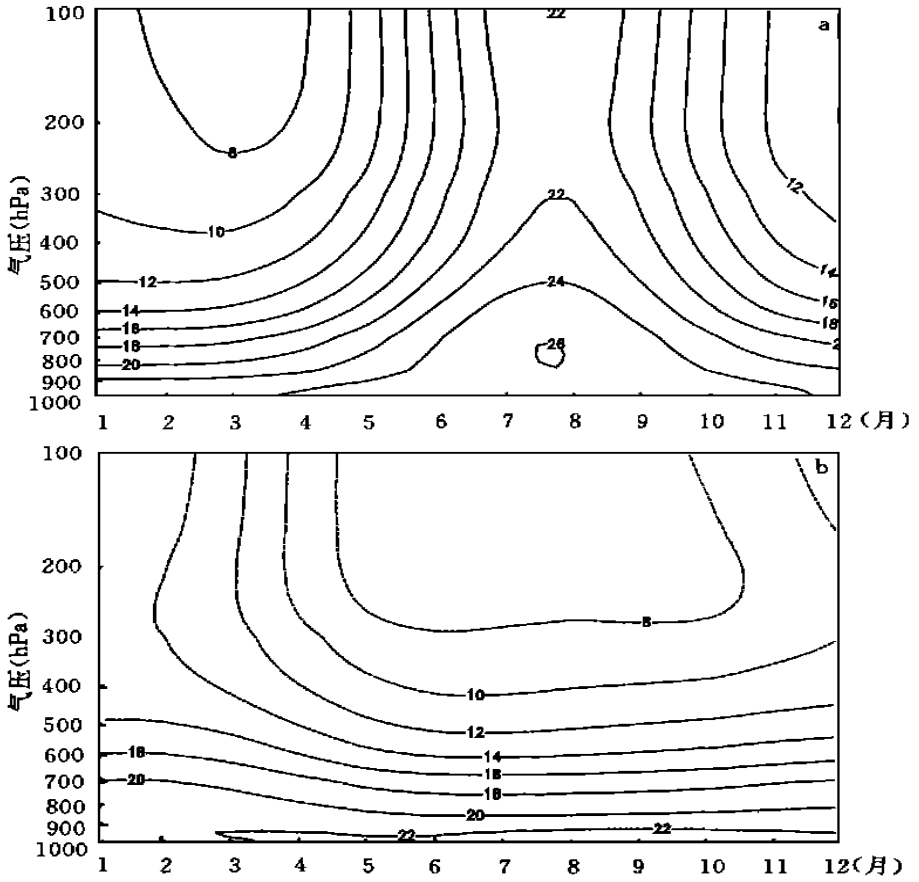


图5 多年平均的东西风交界面位置纬向平均的时间-气压剖面图
(a. 北半球, b. 南半球)

从各副高单体的季节变化特征来看也表现为两类运动综合的结果,它们的差别在于,西太平洋副高和北非副高在季节变化中表现出更强的斜率变化的特点,西太平洋副高的季节突变中就有较大的斜率变化的贡献。

4.4 东西风交界面年际变化的气候特征

虽然季节变化的方差占了总方差的绝大部分,副高脊面的年际变化仍是一个不可忽视的问题,对预报来说,年际变化特征显得尤为重要。图6是副高脊面的纬向平均的气候逐年的演变,为明显的正、负距平相间分布,而且这种正、负距平相间出现表现出较强的

上下层一致性。从这里也可以看到副高脊面的年际变化不同于其季节变化的特征, 即其年际变化表现为上下层一致的南北移动, 而在移动过程中斜率没有明显的变化。具体分析正、负距平出现的状况, 可以发现它和 El Niño 和 La Nina 的出现有相当程度的一致性。如 1988 年 4 月至 1989 年 5 月是一次强的 La Nina 事件, 在北半球的副高脊面位置有很大的正距平, 在南半球的副高脊面位置有较强的负距平。而在 1982 年 5 月至 1983 年 9 月和 1986 年 9 月至 1988 年 1 月的两次强 El Niño 事件过程中, 北半球副高脊面位置表现出负距平, 而南半球副高脊面位置又表现出强的正距平。其它几次的 ENSO 事件和副高脊面位置距平也有较好的对应关系。从中发现一个有趣的现象, 副高脊面位置的年际变化和 ENSO 事件的发生关系密切, 当 El Niño 事件发生时, 北半球副高脊面位置偏南, 南半球副高脊面位置偏北, 表现为东风带面积的收缩; La Nina 事件发生时, 北半球副高脊面位置偏北, 南半球副高脊面位置偏南, 表现为东风带面积的扩张。这种关系对了解年际尺度上的海气相互作用很有意义, 值得对其动力学特点进行进一步深入研究。

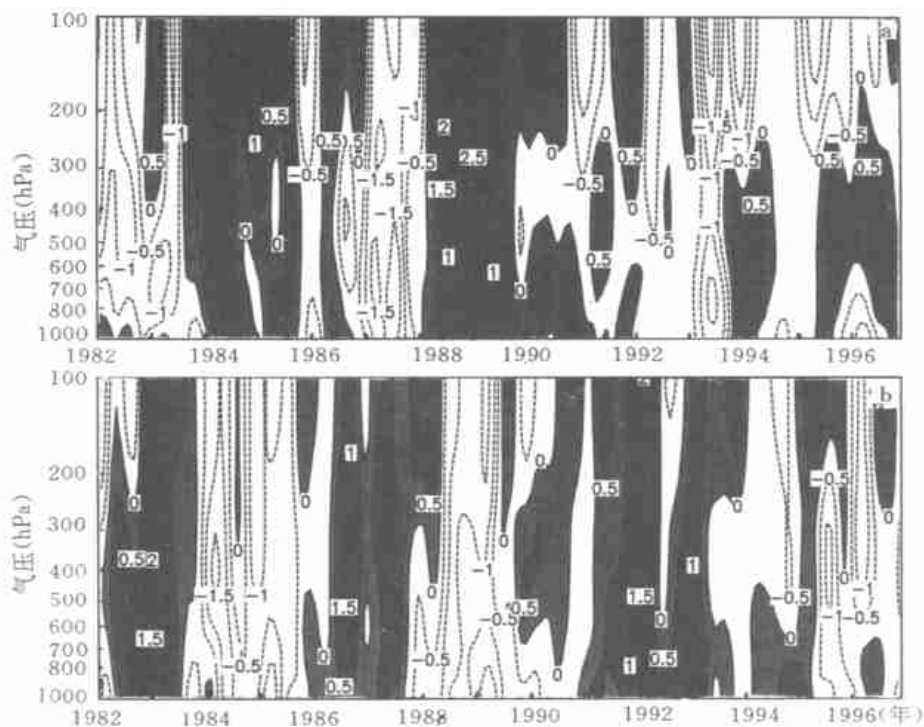


图6 纬向平均的东西风交界面位置距平的逐年演变

(a. 北半球, b. 南半球)

5 结论

综合以上分析结果, 可得到以下几点结论:

(1) 副高脊面的垂直结构表现为随高度增加由极地一侧向赤道一侧倾斜, 但亚洲季风区和北非季风区的副高在夏季随高度升高由赤道一侧向极地一侧倾斜, 表现出独特的动力学、热力学特征。

(2) 副高脊面位置的变化以季节变化为主。南半球副高脊面变化在年、季尺度上有较强的纬向对称性,其变化主要在低层。北半球副高脊面的变化有较强的纬向非对称性,其季节变化主要表现在西太平洋低层、东太平洋高层、东大西洋高层为方差极大值中心。北半球太平洋副高,尤其是西太平洋副高在年、季尺度上都有其独特的变化特征。

(3) 副高脊面的季节变化是两类活动的综合,其一是南北移动,其二是副高脊面斜率的变化,副高位置的季节突变中,副高脊面的斜率变化有很大的贡献。

(4) 副高脊面位置年际变化表现为上下层一致的南北移动,而且其变化和 ENSO 循环有较强的联系。El Niño 事件发生时东风带面积收缩,副高脊面靠近赤道;La Niña 事件发生时,东风带面积扩张,副高脊面远离赤道。

参考文献

- 1 陶诗言,徐淑英.夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征.气象学报,1962,32(1):1~18
- 2 陶诗言,徐淑英,郭其蕴.夏季东亚热带和副热带地区经向和纬向流行的特征.气象学报,1962,32(1):91~102
- 3 陶诗言,朱福康.夏季亚洲南部100毫巴流行的变化及其域西太平洋副热带高压进退的关系.气象学报,1964,34(4):385~390
- 4 黄土松.决定大气环流的基本因子.气象学报,1955,26(1-2):35~64
- 5 黄土松.副热带高压东西移动及其预报的研究.气象学报,1963,33(3),339~359
- 6 黄土松.有关副高活动及其预报问题的研究.大气科学,1978,2,159~168
- 7 杨义文,陈兴芳.北半球副高脊线变化的若干规律.见:“长期天气预报理论、方法和资料库建立”研究项目总课题组编.长期天气预报论文集.北京:气象出版社,1990,334pp

THREE-DIMENSIONAL STRUCTURAL CHARACTERISTICS ON THE MOVEMENT OF SUBTROPICAL RIDGE LINE

Song Zhenxin

(National Meteorological Centre, Beijing 100081)

Zhang Peiqun

(National Climate Centre, Beijing 100081)

Chou Jifan

(Atmospheric Science Department, Lanzhou University, Lanzhou 73000)

Xu Ming

(Shanghai Meteorological Bureau, Shanghai 200030)

Abstract

The boundary between east wind and west wind (WEB) was defined as the dynamical parameter of describing subtropical high ridge location. Based on NCEP/NCAR reanalysis monthly mean data the spatial and temporal variation characteristics of WEB were investigated. The results show that the seasonal variation of WEB, consisting of the movement of latitude location from south to north or from north to south and its slope change, is the main part in the movement of the subtropical high ridge. The annual variation of subtropical high ridge is associated with ENSO intimately. The subtropical high in the Southern Hemisphere is longitudinally symmetric vertical structure, but in the Northern Hemisphere, its vertical structure is more complex. The west Pacific subtropical high ridge presents unique feature in the global subtropical high ridge system.

Key words: Subtropical high ridge. Three-dimensional structure, Seasonal variation, Interannual variation.