

副热带高压带的三维结构特征*

刘平 吴国雄 李伟平 刘屹岷

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

摘要 先从纬向平均的角度出发, 以地转平衡关系为基础, 从纬向平均纬向风分布得到中、低纬度的位势高度场在赤道附近存在极小值, 将其他纬度上位势高度相对于此的差(仿纬向偏差而称其为经向偏差)不但可以表示副热带高压带脊线位置与用纬向风零线的表示一致, 还可以表示其范围及强度。结合纬向平均纬向风零线和经向偏差, 对气候平均的副热带高压带以及其季节变化和年际变化等三维特征进行了分析。结果表明, 对流层中, 随高度升高, 气候平均的副高带脊线向赤道靠拢, 强度减弱, 范围缩小。副高带脊线的季节变化和年际变化均很明显, 并且表现出对流层整层的同时的变化特征。对流层中上层副高带的强度, 夏半球强于冬半球, 北半球的变化较南半球大。尤其在北半球夏季, 副高带在对流层中、上层随高度升高而增大; 其脊线的移动也表现出一定的跳跃性。这些结果表明对副热带高压带的研究, 从整体上进行是必要的。

关键词: 经向偏差; 副热带高压带; 副高带脊线

1 引言

副热带高压单体是影响东亚天气、气候的重要因子, 对其形成、演变及作用已有很多研究^[1~5], 而对副热带高压带的研究相对较少。本文将对此进行观测资料分析。

在纬向平均的意义下, 南、北半球副热带地区(30°附近)存在高压带, 即副热带高压带(以下简称为副高带)。以往对副高带的研究基本上是定性的, 而对于其强度、范围以及在各种时间尺度上的变率研究很少, 个中原因主要在于没能找到使得各个层次上副高带之间可以相互比较的基准。张培群^[6]曾用纬向风零线的曲面表示副高的脊面, 并研究其演变的动力学方程。虽然用纬向风零线能描述副高带的脊线位置, 但不能表示其强度。为了分析副高带的三维结构特征, 需要用另外的方法或指标作为补充。

先从纬向平均的地转平衡关系出发, 得到赤道附近的纬向平均位势高度值为南、北半球副高带之间的极小值, 以此为基准的经向高度场差(仿纬向偏差而称其为经向偏差)的正最大值线与纬向平均纬向风零线一致。在此基础上, 结合纬向平均纬向风和经向偏差, 对多年平均年平均副高带的位置、强度以及相对于此的季节变化和年际变化进行分析。

第2节简要说明经向偏差及赤道上位势高度场的特征; 第3节用经向偏差对多年平均年平均副高带在各个等压面层次的位置、强度进行分析; 第4节分析副高带的季节变化特征; 副高带的年际变化特征在第5节给出; 第6节是结论和讨论。本文所用的资料

1999-07-09 收到, 1999-09-06 收到修改稿

* 国家自然科学基金重点资助项目 49635170、资助项目 49805003 和 49905002 联合资助

均来源于 NCEP / NCAR 1980~1997 年逐月 / 逐日再分析资料集。

2 经向偏差

对流层的任意等压面上, 纬向平均的位势高度和风场之间的地转平衡关系几乎存在于除赤道外的所有纬度, 如图 1 所示。

由于纬向风在 I、II 区域为东风带 ($u < 0$), 而 III、IV 区域为西风带 ($u > 0$), 在

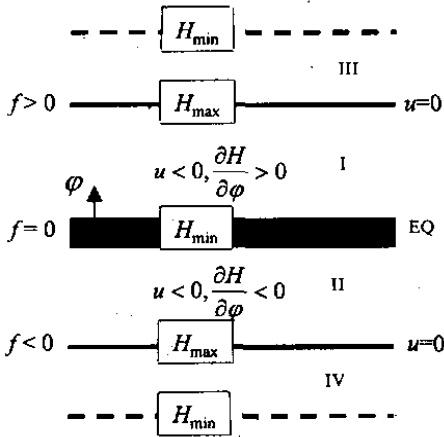


图 1 经向偏差示意图

f 、 u 、 φ 、 H 分别为科里奥利参数、纬向风、纬度和位势高度, 箭头指向北; EQ 为赤道

I、III 和 II、IV 之间有零线存在, 因此, 位势高度在 I、IV 区域随纬度增大, 而在 II、III 区域随纬度减小, 在 I、III、II、IV 交界上有极大值存在。由此可见, 位势高度极大值与 $u=0$ 线重合。同时可以得到, 靠近赤道的小范围内有位势高度极小值 (图 1 中黑方块)。

在某一等压面上, 如果以赤道上位势高度值为基准, 求取各个纬度与它的偏差 (仿纬向偏差称其为经向偏差), 很容易将副热带高压带范围确定下来, 并且两条极大值线与纬向风零线相重合, 同为副热带高压带的脊线。对流层中各个等压面上均存在图 1 所示的关系, 而且不同等压面上相应 I、II、III、IV 区域的纬向风并不相同, 于是各个层次上纬向风对应的位势高度的经向偏

差也不尽相同, 相互之间可以进行比较, 即副热带高压带在各个层次上的脊线位置、强度乃至范围有了可比性。

在用经向偏差分析副高带的三维结构特征前, 先对用作基准的赤道上的位势高度场分布及时间变化做些分析。

图 2a、b 为赤道上气候平均的高度分布及相对于此的季节变化。图 2a 为赤道 1980~1997 年年平均纬向平均位势高度值随对数压力坐标的分布 (纵坐标), 横坐标为对应于各等压面的高度值。其随高度的分布曲线近似为一条直线, 表示了赤道纬向平均位势高度随对数压力坐标增大而线性增大, 即静力平衡。图 2b 为 1~12 月相对于图 2a 的差, 反映了其季节变化。从图 2b 可以看出, 各个层次上均存在季节变化。但总的来说, 低层的变化较高层小, 如 400 hPa 以下的层次, 变化幅度在正、负 10 位势米之间。在对流层上层 (如 100 hPa) 的变化幅度虽然较中低层大, 但幅度仍然在 -20~35 位势米之间, 说明赤道上位势高度的季节变化幅度不大。

3 气候平均的年均副热带高压带的垂直结构

相对于图 2a 的经向偏差如图 3 所示, 其中粗黑线为纬向风零线。从图中明显可以看出, 副高带的脊线即纬向风零线和位势高度经向偏差的正最大值的连线相重合, 印证

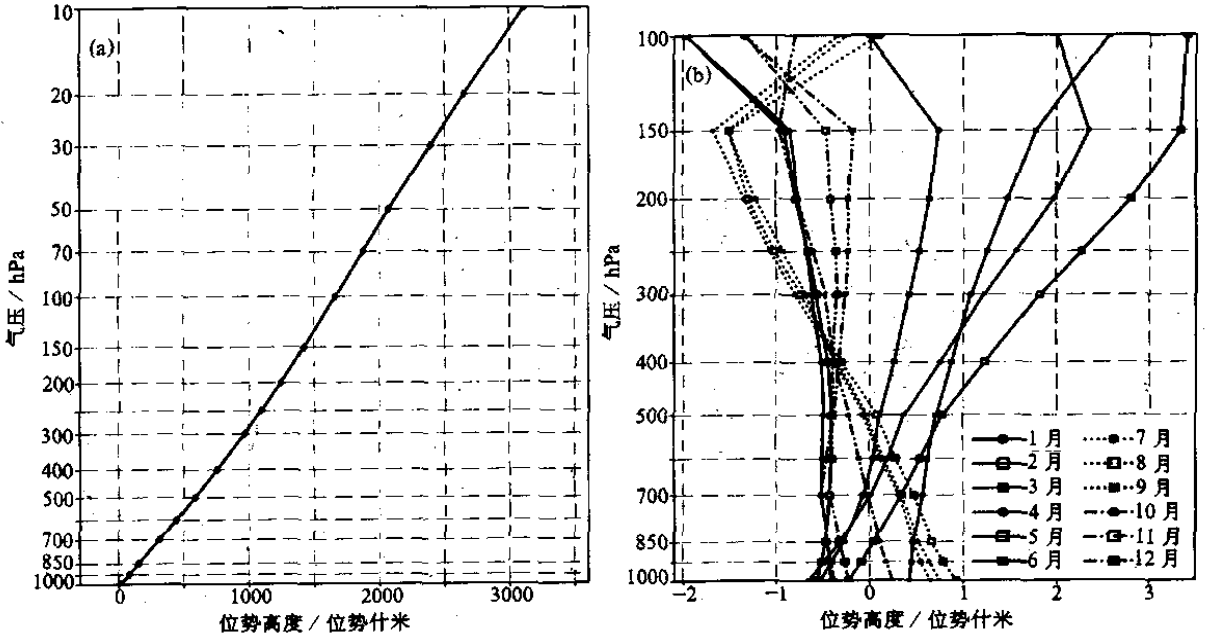


图 2 气候平均的年平均赤道高度场分布 (a) 及相对于此的季节循环 (b)

了第二节的分析。同时, 该脊线在 1000 hPa 位于南、北纬 30° 附近, 而在 100 hPa 附近已经在南、北纬 10° 以内, 明显的随高度向赤道靠拢。再者, 南、北半球的脊线在 1000~100 hPa 间几乎相对于赤道对称。

图 3 还反映出年平均副高带的强度分布, 最明显的特征是随高度增加强度减弱。在 1000 hPa, 经向偏差的最大值为 50 多位势米, 而在 500 hPa 附近只有 5 位势米左右, 100 hPa 附近已经接近于 0。由正的经向偏差所包围的区域在两半球也是随高度缩小的, 且关于赤道大致对称。

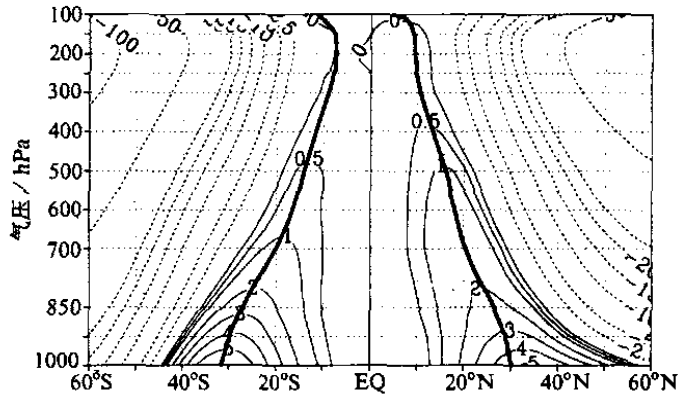


图 3 1980~1997 气候年平均位势高度场经向偏差的纬度-高度剖面图

粗实线为纬向平均纬向风的零线; 等值线为经向偏差, 间隔不均匀, 单位: 位势什米

以上说明, 年平均的副热带高压带大致相对于赤道对称, 低层强, 高层弱。图 3 中 750 hPa 以上的层次, 北半球的经向偏差强度略大于南半球, 这与北半球夏季副高带的强度有关。

4 副高带的季节变化

对于副高带的季节变化, 主要讨论其脊线在 1~12 月的位置以及冬、夏半球强度和

位置的差异。

副高带强度的季节变化中, 过渡季节如 4、9 月的分布与年平均的特征很接近 (图略), 这里只给出 1、7 月的分布, 如图 4a、b 所示。两图中的等值线仍然是相对于赤道纬向平均位势高度的经向偏差, 粗实线为纬向风零线。1 月的分布与年平均 (图 3) 比较接近, 两半球也是随高度增高, 强度减小, 范围缩小, 且向赤道靠拢。只是在 850 hPa 以上的层次, 南半球的强度略大于北半球, 如 400 hPa 的脊线上, 南半球的经向偏差为 5 位势米, 而北半球接近于 0。

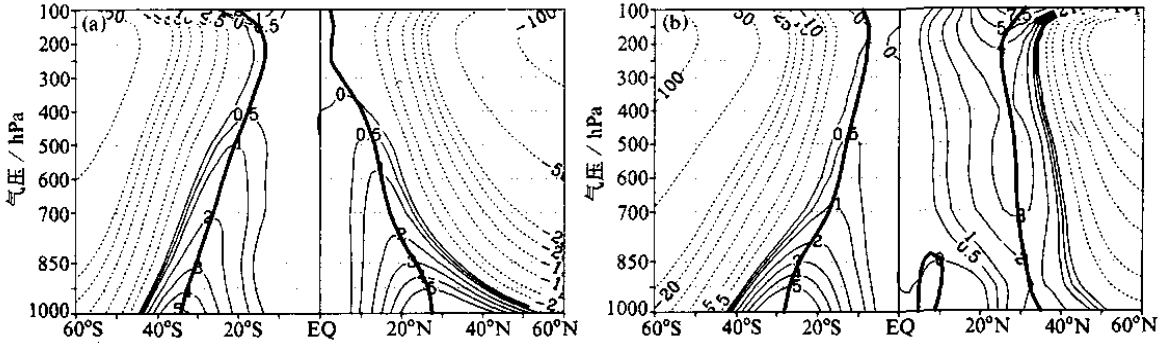


图 4 1980~1997 年气候 1 月 (a)、7 月 (b) 平均经向偏差的纬度-高度剖面图
粗实线为纬向平均纬向风零线

但是, 南、北两半球 1、7 月副高带的强度却有明显的不同, 尤其是北半球。先分析南半球, 即图 4a、b 的左半部分。在低层 (850 hPa 以下), 7 月 (图 4b) 略强于 1 月 (图 4a); 而在 850 hPa 以上的层次, 1 月明显较 7 月强, 如 500 hPa 在 1 月的经向偏差为 10 位势米, 而 7 月为 5 位势米。换言之, 1 月 (夏季) 南半球副热带高压带存在于较 7 月 (冬季) 更高的层次。

就北半球而言, 即图 4a、b 的右半部分。副热带高压带的强度在 1 月随高度是减弱的, 但 7 月却有明显的不同。除了在 800 hPa 以下的层次上有随高度减弱的特征外, 在 800 hPa 以上的层次随高度增大。在 800~300 hPa 的层次上增幅较弱, 而 300 hPa 以上增幅很明显。另外, 850 hPa 以下的层次, 1 月的经向偏差明显大于 7 月, 如 1000 hPa 上 1 月为 50 位势米以上, 而 7 月为 20 位势米左右; 但在 700 hPa 以上的层次, 7 月明显强于 1 月。

总之, 南、北半球的副高带在对流层中、高层总是夏半年强于冬半年; 而在低层 (850 hPa 以下) 相反, 冬半年略强于夏半年。

图 5 为多年平均月平均纬向风零线在每个月的纬度-气压曲线, 图 5a 为 3~8 月, 图 5b 为 9~2 月, 各条曲线上的数字即为所对应的月份。首先, 副高带的脊线位置在南、北半球均表现出明显的季节变化, 从 3 月到 8 月, 位置从南向北, 如图 5a 所示; 而从 9 月到 2 月, 位置从北向南, 如图 5b 所示。在整个过程中脊线位置基本平行, 说明副热带高压带的季节移动是整层次同时的。

不过, 副高脊线的位置移动快慢也存在一些差别。从 3~8 月的移动不均匀, 如南半球 5~8 月的脊线基本重合, 说明位置变化不大; 北半球 6、7 月整层副高带存在较大

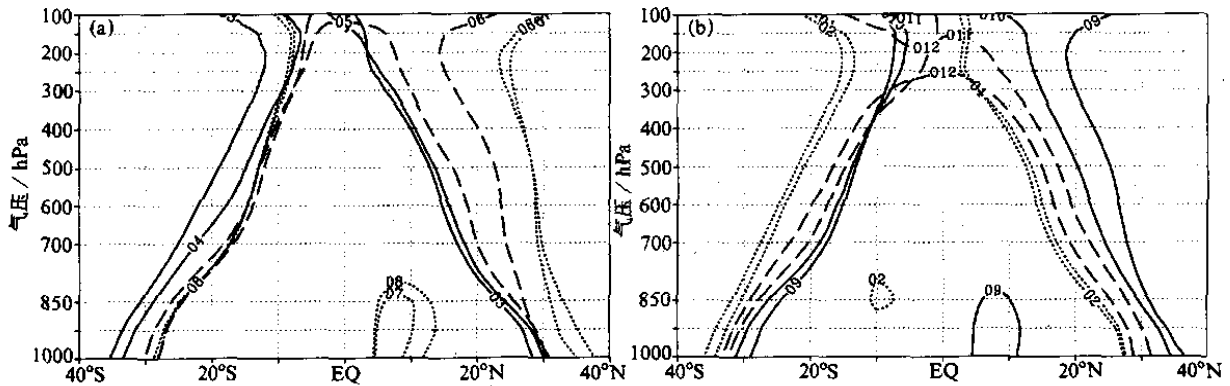


图5 1980~1997年气候月平均纬向平均纬向风零线的纬度-高度剖面图。线上数字为月份
(a) 3~8月; (b) 9~2月

距离的移动, 表现出一定的跳跃性, 在 850 hPa 以上的层次尤其强于低层, 与下文中副高带位置的年际变化相反。这种跳跃性与传统研究的 500 hPa 西太平洋副热带高压单体的北跳有相似的特征, 而这两种跳跃之间的关系是值得研究的问题。从 9 月到 2 月, 副高带脊线从最北向南移动, 两半球各条脊线之间的距离相当, 说明脊线的移动较均匀。

为了更清楚地分析北半球夏季副高带脊线的移动, 图 6 给出气候平均 (1980~1997 年) 5 月 1 日~8 月 31 日 700、500、300 hPa 上副高带脊线的演变曲线。从图中也可以看出, 随着等压面减小 (高度升高), 副高带脊线更加靠近赤道, 这与图 3 的结果一致。另外, 在 700 和 500 hPa 上, 6 月下旬副高带脊线位置变化不大, 而在前后的变化都比较显著, 直到 8 月初达到最北。而 300 hPa 上, 在 6 月上旬副高带脊线几乎稳定在 14°N 附近, 前后的变化较明显, 尤其是 6 月中旬以后, 比其下面两个层次的变化显著。虽然这三条曲线的变化并非完全一致, 但均表现出两次明显的跳跃式的演变。

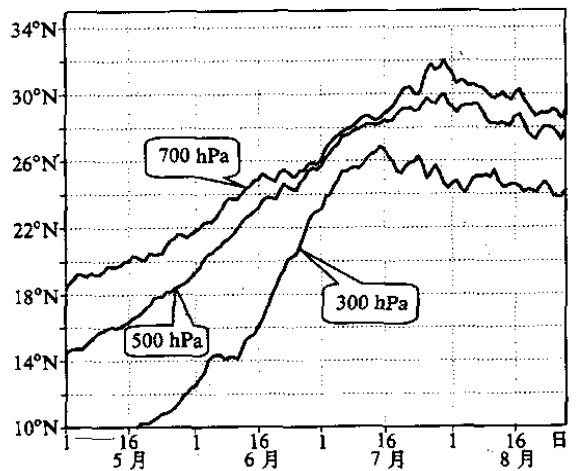


图6 1980~1997年平均副高带脊线 ($u=0$) 在三个等压面上的逐日演变

从以上分析可知, 副热带高压带在北半球夏季无论脊线位置还是强度均有独特的特征, 这些特征的形成及维持机理也是有待研究的问题。

5 副高带的年际变化

年平均副高带的年际变化较小 (图略), 下面对 1、7 月南、北半球副高带的强度 (即对应的经向偏差) 的年际变化以及 7 月北半球副高带脊线位置的年际变化进行分

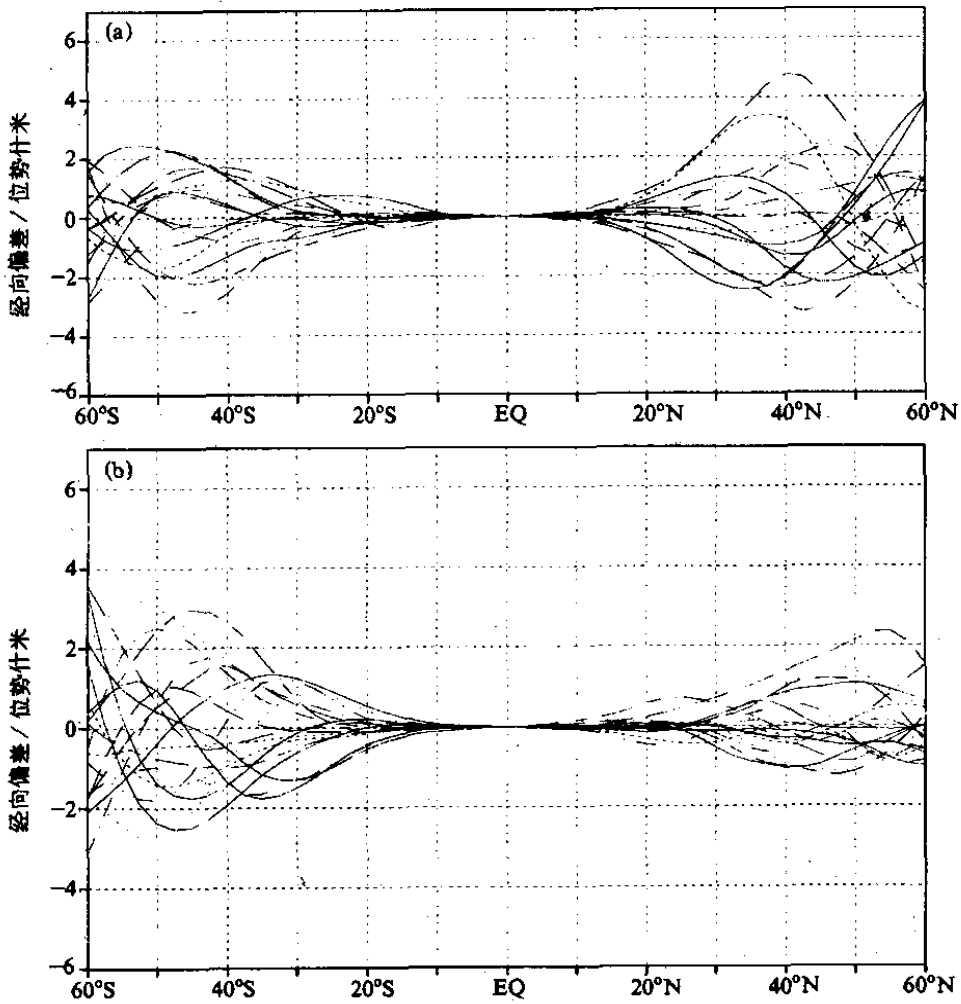


图 7 1980~1997 逐年 1 月 (a)、7 月 (b) 850 hPa 经向偏差随纬度的演变图

析。强度的变化主要选取 850 hPa 和 500 hPa 两个层次。

图 7a、b 分别为 850 hPa 上 1、7 月副高带强度的年际变化，即 1980~1997 年各年

经向偏差相对于 18 年平均的距平曲线。冬半球（北半球 1 月、南半球 7 月）副高带脊线（25°）附近的振幅在 15 位势米左右，稍大于夏半球脊线（32° 附近）的振幅（约 10 位势米）。越靠近赤道，年际变化的振幅越小；从脊线位置越靠近极区，振幅越大。500 hPa 副高带脊线上强度的振幅（图略）也有冬半球大于夏半球的相似特征，但是其值与 850 hPa 相当。只是越靠近极区，振幅增大比 850 hPa 更快。

副高带脊线位置的年际变化也是北半球夏季最明显。图 8 为各年 7 月副高带脊

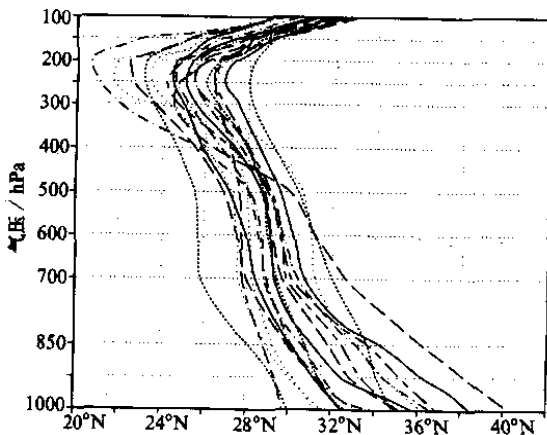


图 8 1980~1997 年 7 月北半球副高带脊线 ($[u]=0$) 的年际变化

线位置的实际曲线。从中可以看出, 各个层次上副高带脊线位置的年际变化都很明显。但大多数年的位置曲线相互平行的部分较多, 反映出副高带整体之间存在的差别, 即副高带的年际变化是整层次的。另外, 下层副高带脊线位置的变化幅度较对流层中、上层大, 这与季节变化中高层大于低层相反(如图 5)。

6 结论和讨论

从以上的分析可以得出, 在纬向平均的意义下, 由于地转平衡关系的存在, 南、北半球副热带高压带之间有极小值。该值存在于赤道附近, 将其作为基准, 其他纬度上位势高度与它的差称为经向偏差。经向偏差的正最大值连线与纬向风零线相重合, 同时表示了副高带的脊线位置。从副高带脊线向极区一侧, 有另外的经向偏差零线, 即为副高带的外界。

从经向偏差出发对副高带脊线位置、强度的气候平均状态、季节变化和年际变化分析发现, 平均而言, 副高带的强度随高度升高而减弱, 范围缩小, 脊线位置向赤道靠拢。其季节变化中, 一般是夏半球强于冬半球; 北半球强于南半球, 尤其北半球夏季副高带的强度在对流层中、上层随高度升高而增大。另外, 副高带脊线位置的季节性移动与太阳日历的季节更替一致, 而且整个对流层是同时的, 高层的变化幅度较低层大。这种整体性和同时性在副高带的年际变化中也有所体现, 但与季节变化所不同的是低层的变化较高层大, 表明副高带位置的季节变化和年际变化的不同, 同时对于副高带的研究, 从整体上入手是很必要的。

总之, 本文从观测资料的角度对副高带的三维特征进行了研究, 得到了一些新的结果, 但对于副高带季节变化、年际变化的机理以及与其上副高单体之间的关系仍然有待研究。

致谢: 本文是第一作者博士论文的一部分, 在成文过程中, 与丑纪范教授、徐明博士等的讨论受益匪浅, 在此致谢。不知名的审稿者提出诸多很好的意见, 一并致谢。

参 考 文 献

- 1 陈秋士、林本达, 北半球冬季副热带高压维持的涡度机制, 气象学报, 1965, 35(3), 364~376.
- 2 董步文、丑纪范, 西太平洋副热带高压脊线位置季节变化的实况分析和理论模拟, 气象学报, 1988, 46(3), 361~363.
- 3 黄荣辉、李维京, 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制, 大气科学(特刊), 1988, 107~116.
- 4 黄士松, 有关副热带活动及其预报问题的研究, 大气科学, 1978, 2, 159~168.
- 5 刘屹岷、吴国雄、刘辉、刘平, 空间非均匀加热对副热带高压带形成和变异的影响. III. 凝结潜热加热与南亚高压及西太平洋副高, 气象学报, 1999, 57(5), 525~538.
- 6 张培群, 副热带高压脊线位置移动的动力学方程及其诊断研究, 兰州大学大气科学系博士学位论文, 1997.

The Three-Dimensional Structure of Subtropical High Belt

Liu Ping, Wu Guoxiong, Li Weiping and Liu Yimin

*(State Key Laboratory of Numerical Modeling Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)*

Abstract The zero line of zonal wind can depict the ridge of subtropical high belt, but it cannot reveal the strength of the belt. In order to analyze the three-dimensional structure of the high belt, other methods or indices are necessary. In this paper, from the viewpoint of zonal mean and based on geostrophic balance, it is deduced that there is a minimum value of geopotential height near the equator along east-west wind distribution. With the zonal mean of geopotential height along the equator on each isobaric tropospheric layer as a criterion, the difference between the geopotential heights along other latitudes and the criterion are defined as the meridional deviation. The maximum of the meridional deviation cannot only show the ridge of the high belt which is also represented by the zero line of zonal wind, but also show the strength of the belt. With both the zero line of zonal mean of zonal wind and meridional deviation, the three-dimensional structure of climatological subtropical high belt, the seasonal and inter-annual variation of subtropical high belt are analyzed. Results show that the zero line of zonal mean of zonal wind and the connected line of meridional deviation maximum are covered and both of them are the ridge of subtropical high belt. With the increment of height, the ridge of subtropical high belt comes closer to the equator, and the strength is weaker and the range is narrower. There is apparently seasonal and inter-annual variabilities of subtropical high belt ridge and the whole layer exhibits concurrent variations. As for the strength of subtropical high belt, over the lower troposphere, the summer hemisphere is stronger than the winter hemisphere, and the fluctuation is much stronger in the Northern Hemisphere than that in the Southern Hemisphere. Especially in the summer of the Northern Hemisphere, the strength of subtropical high belt strengthens with height increase in the middle and higher troposphere and the movement of the ridge jumps to some extent. The above analysis discloses a fact that it is necessary to study the subtropical high belt with a view of the troposphere as a whole.

Key words: meridional deviation; subtropical high belt; subtropical high belt ridge