

两次区域性暴雨过程副高三维结构对比分析

金荣花¹ 蒙嘉川¹ 裴海瑛²

(1. 国家气象中心,北京 100081; 2. 南京市气象局)

提 要: 为探讨夏季不同大气环流背景下区域性暴雨过程副高结构特征及其对降水的贡献,利用 2005 年 6—7 月降水量和 NCEP/NCAR 逐日再分析等资料,采用特征指数分析和物理量诊断方法,对比分析了 2005 年夏季两次区域性暴雨的副高三维结构特征。结果发现,夏季不同的大气环流背景下,两次区域性暴雨过程副高结构性质分别表现为热力性高压脊和动力性高压脊特征,从而导致两次暴雨过程的水汽供应条件和产生强烈上升运动的大尺度背景场存在差异。

关键词: 副高 三维结构 降水贡献 对比分析

A Comparison of Three Dimension Structure of Subtropical High for Two Regional Heavy Rainfall Events

Jin Ronghua¹ Meng Jiachuan¹ Pei Haiying²

(1. National Meteorological Center, Beijing 100081; 2. Nanjing Meteorological Bureau)

Abstract: Based on rainfall observation and daily NCEP/NCAR reanalysis dataset from June to July in 2005, a comparison of three dimension structures of subtropical high for two regional heavy rainfall events is carried out with characteristic index method and physical diagnosis analysis. The result shows that the subtropical high structure for the two events have different properties, i. e. thermal or dynamical. This has led to difference for these two events with respect to moisture transport condition and large scale background for vertical motion.

Key Words: subtropical high three dimension structure function on rainfall comparison analysis

引 言

副热带高压是较低纬度最重要的大型环

流系统,它的活动不但对中低纬度天气的发生、发展具有极其重要的作用,对中高纬度环流的演变也产生很大影响,是制约大气环境变化的重要成员。因此,副热带高压一直是

大气科学中的重要研究课题。迄今为止,对我国夏季大气环流形势和降水有直接影响的西北太平洋副热带高压的研究成果较多^[1-5],认识也比较成熟,但多数是针对副高强度、形状、位置的研究;也有对副高的垂直结构的分析^[2,6-7],大多局限在平均状况的气候尺度的研究。刘平等^[6]用经向偏差分析副热带高压带的结构时指出,对流层中上层副热带高压带的强度,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,副热带高压带在对流层中、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。毛江玉等^[6]在研究季节转换期间副热带高压结构的气候特征时指出,在亚、非季风区,冬季副热带高压带是相对对称的,具有脊线连续的带状结构,脊面随高度增加向南倾斜;夏季副热带高压带中低层是间断的,高层是连续的,脊面随高度增加向北倾斜。可见,副热带高压结构是呈季节性变化的,而且夏季副热带高压结构尤为复杂。

众所周知,夏季,副高发生季节性北跳前后,亚洲季风区大气环流发生了很大变化,副高三维结构变化更是复杂,从而导致引发降水的大尺度环流背景和动力环境场有很大差异,因此,有必要弄清楚不同时期的副高结构特征及其对降水的贡献。本文选取2005年夏季副高季节性北跳前后的两次区域性暴雨过程为典型个例,采用特征指数分析和物理量诊断方法,对比分析这两次区域性暴雨过程期间副高三维结构及其对降水的贡献,希望揭示不同环流背景下副高动力热力结构特征,以期对中国夏季降水预报有所帮助。

1 资料

分析所用资料为NCEP/NCAR全球逐

日日平均再分析资料,时间为1971—2000年和2005年6—7月,水平分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。降水量是来自国家气象中心逐日08:00(北京时间)24小时降水量加密观测资料。副高脊线位置由国家气象中心天气预报室中期科提供。

2 两次区域性暴雨过程概述

2005年,我国南方地区分别于6月17—24日和7月6—10日发生了两次区域性暴雨过程。从2005年6—7月 $110^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 平均降水量的时间-纬度分布图清楚可见,这两次区域性暴雨过程是2005年6—7月仅有的持续3天以上的较大范围的强降水天气过程。2005年6月17—24日,降水主要出现在江南南部和华南地区,雨带位置稳定,为华南前汛期降水。此次降水过程累计雨量一般有160~320mm,其中福建北部、广东东部和广西东北部的部分地区降雨量达400~600mm,广东河源降雨量最大,为1339mm,持续性强降雨导致江南中南部和华南地区江河、水库水位迅猛上涨,广西西江部分河段洪峰水位出现1900年以来的第二大洪水位,闽江干流部分江段出现超过警戒水位6.04m大洪水。7月6—10日降水过程,是2005年夏季继6月17—24日过程之后的第二次区域性暴雨过程,也是江淮流域入汛以来最强的降水过程。此次降水过程累计雨量一般有100~300mm,其中,河南东部、安徽北部的部分地区降雨量达360~480mm,安徽太和513mm,为过程累计降水量极大值。由于该时段的降水强度、持续时间以及副高脊线位置符合国家气候中心的长江中下游梅雨标准,此期间的降水为2005年长江中下游梅雨期降水。

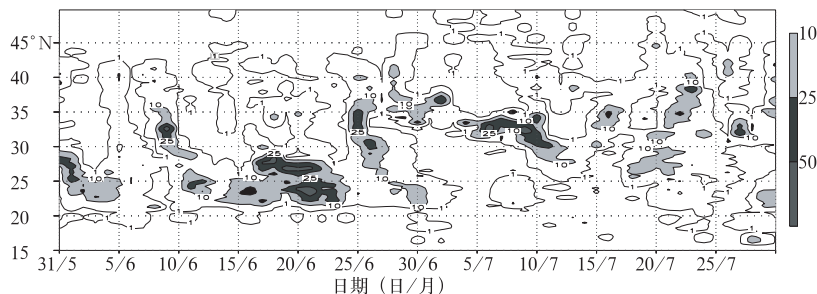


图 1 2005 年 6—7 月沿 110~120°E 平均降水量时间-纬度图
(单位:mm)

3 两次区域性暴雨过程的 500hPa 副高特征指数

3.1 副高脊线

据统计,我国夏季降水与副高各特征指数的关系,以与副高脊线位置的关系为最好^[1]。图 2a 是 2005 年 6—7 月 500hPa 副高脊线 110~130°E 平均、5 天滑动平均、多年平均位置及 2005 年雨带位置(用降水中心位

置表示)演变图,就两次区域性暴雨过程来看,6 月 17—24 日副高脊线位置稳定在 15~17°N 之间;7 月 6—8 日副高脊线位置稳定在 25°N 附近,7 月 9—10 日副高脊线南落至 20°N。从整个副高脊线位置演变来看,这两次暴雨过程是 2005 年副高脊线第一次季节性北跳(120°E 脊线位置稳定跳过 20°N)前后的背景下发生的,这两次区域性暴雨过程的副高脊线位置,分别符合华南前汛期和长江中下游梅雨期降水对应的副高脊线统计标准。

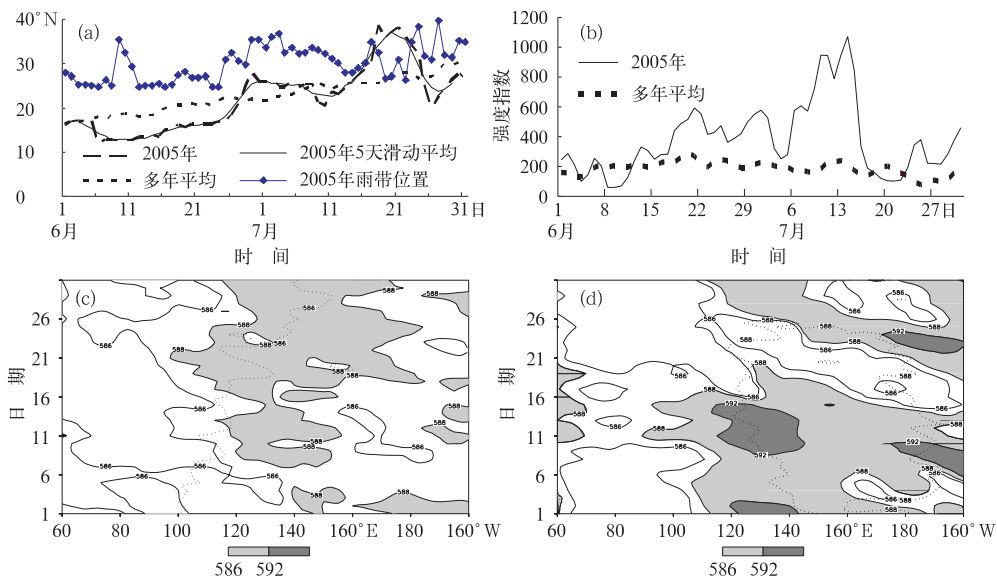


图 2 2005 年 6—7 月 500hPa 副高演变

(a) 500hPa 110~130°E 平均副高脊线及主要雨带位置演变图(主要雨带位置用强降水中心的纬度位置表示);(b) 副高强度指数变化曲线;(c) 2005 年 6 月沿 15°N、
(d) 7 月沿 25°N 500hPa 位势高度(单位: dgpm)经度-时间剖面图

3.2 副高强度指数

采用文献[1]中介绍的计算副高强度指数的方法,计算了2005年6—7月和相应的多年平均西北太平洋区域($10^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $100^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$)的副高强度指数(见图2b)。对比分析发现,副高强度在2005年6月12日至7月17日期间持续偏强,6月17—24日和7月6—10日两次区域性暴雨过程都发生在此时段内,而且均在副高强度由平均值附近显著加强的背景下。

3.3 副高西伸脊点

由于两次暴雨过程副高脊线位置分别稳定位于 15°N 和 25°N 附近,因此分别绘制了沿 15°N 和 25°N 的500hPa位势高度经度-时间剖面(图2c和2d),可以看到,2005年夏季副高有两次明显西伸且西脊点(指588dgpm等值线西脊点)越过 100°E 的活动过程,分别出现在6月15—21日和7月8—15日,恰好与两次区域性暴雨发生时段相对应,有研究表明,副高的加强西伸使得副高西侧引导季风涌北上的动力条件加强,有利于强降水的发生。

4 两次区域性暴雨过程副高结构对比分析

副高强度和位置随季节而变,其结构变化更为复杂,各种类型和不同季节副高的结构很不相同。下面,针对上述两次区域性暴雨过程,对比分析深入我国内陆($110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$)的副高的三维结构特征。

4.1 副高内垂直运动分布

从两次暴雨过程的副高内的垂直运动和云区分布来看(图3),与经典的副高脊区内为晴空和下沉运动控制有较大差异。

2005年6月17—24日,副高呈带状分

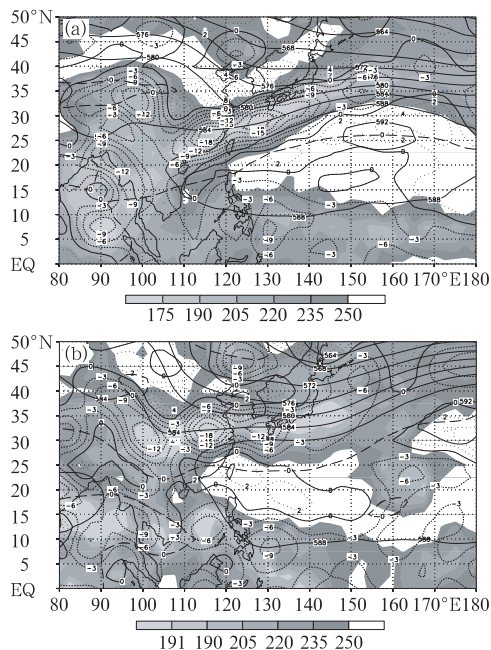


图3 2005年6月17—24日(a)和7月6—10日(b)平均OLR(单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$;阴影区)、500hPa副高形态(588dgpm等值线;粗实线)、垂直运动(单位: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$;细实虚线)和 $U=0$ 线(穿过副高的 $U=0$ 线代表副高脊线;粗断线)分布

布,副高脊区内, 160°E 以西区域,除脊线附近为下沉运动外,副高北缘和南部均为上升运动, 160°E 以东区域完全为下沉运动;副高脊内晴空区($\text{OLR} > 250 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)大于下沉运动区。 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 副高脊内则完全为云区($\text{OLR} < 235 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)覆盖,且多上升运动。

7月6—10日,副高呈带状分布,副高脊线附近不完全是下沉运动,脊区内多上升运动,而且上升运动强于下沉运动;副高脊内晴空($\text{OLR} > 250 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)区大于下沉运动区,副高脊线以北几乎完全为云区($\text{OLR} < 235 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)覆盖。与6月17—24日相反, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 副高脊内基本为晴空和下沉运动。

4.2 高压脊轴随高度变化及其热力结构

通常,用东西风速分量的零等值线作为

副热带高压的脊线,利用地转关系或热成风关系 $\frac{\partial u}{\partial p} = \frac{R}{f p} \frac{\partial T}{\partial y}$ 得到,当温度梯度向极减小 ($\frac{1}{f} \frac{\partial T}{\partial y} < 0$) 时,脊线随高度向赤道方向倾斜;反之则向极地方向倾斜^[2]。也就是说,副高脊线随着高度的增加向暖区方向倾斜。

6月17—24日(图4a)平均温度脊轴(即 $\frac{\partial T}{\partial y} = 0$ 线)伸展到280hPa高度附近,280~150hPa之间为温度梯度逆转的过渡带,150hPa以上温度梯度逆转,即低纬度地区为冷源,中高纬度地区为热源。高压脊轴在低层远离温度脊轴,280hPa高度以下向温度脊轴靠近,这种热力“吸引”作用使得高压脊轴在800~280hPa之间向北倾斜了13个纬度,两轴之间的距离由低层的近10个纬距变化到高层3个纬距,表现出明显的热力性高压脊特征;在温度梯度逆转的过渡带中,副高脊轴接近垂直;进入150hPa高度以上区域,高压脊轴向极折入热源区。

与6月17—24日比较,7月6—10日的高压热力垂直结构有很大不同。7月6—10日(图4b)平均温度脊轴伸展的高度更高,到达200hPa附近。高压脊轴与温度脊轴在低层比较靠近,两轴之间最大距离仅为5个纬距,随高度增加两轴在200hPa附近相交,因此,高压脊轴在800~200hPa之间向北倾斜

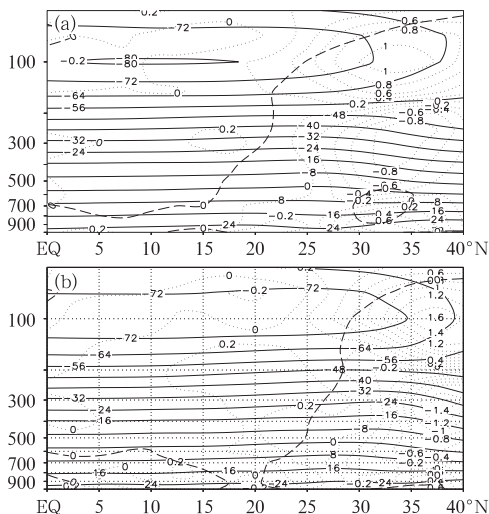


图4 2005年6月18—24日(a)和7月6—10日(b)沿110~120°E平均南北垂直剖面上温度(单位:°C;实线)、温度经向梯度 $\frac{\partial T}{\partial y}$ (单位: $10^5 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$;点线)和 $U=0$ 线(粗断线)

只有7个纬度;高压脊轴在很窄(200~150hPa)的温度梯度逆转的过渡带接近垂直;尔后,在高层向极折入热源区。

4.3 副高的动力结构

6月17—24日(图5a),500hPa副高脊区散度场垂直分布为中低层辐合(400hPa以下)、高层(300~200hPa)主要为弱辐散;垂直

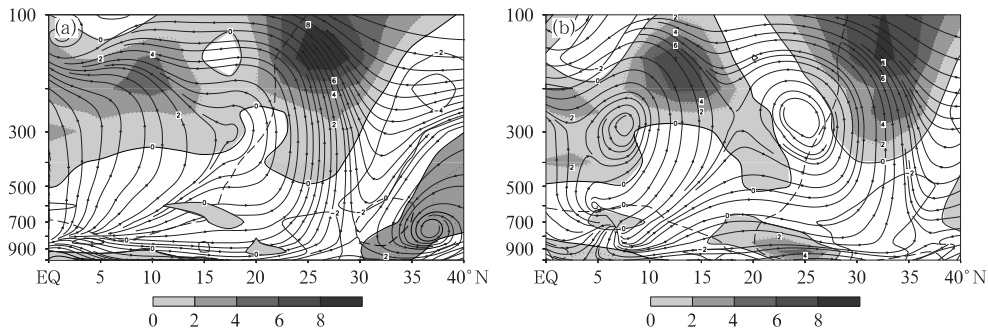


图5 2005年6月18—24日(a)和7月6—10日(b)沿110~120°E平均南北垂直剖面上垂直环流(流线)和散度(单位: 10^{-6} s^{-1} ;实线:辐合;阴影:辐散)

运动分布是对流层中下层(800~300hPa)为弱上升运动或0值附近,仅在近地面层存在下沉运动。高压脊轴随高度向强辐散中心靠近,从低层到高层高压脊轴几乎都出现在上升运动区内,表现出明显的热力性高压脊特征。

7月7—11日(图5b),500hPa副高脊区散度垂直分布为中高层辐合、低层辐散;500hPa副高脊区内,从低层900hPa到高层200hPa均为下沉运动,表现出明显的动力性高压的特征。脊轴南侧下沉运动显著增强,进而在中高层高压脊轴附近形成明显的反环流,反映具有反气旋结构的副高强度较前一过程明显偏强。但是200hPa及以上脊轴附近为辐散上升,又具有一定的热力性高压脊特征,高压脊的性质变得复杂,既非纯粹热力性也非完全动力性。

5 副高不同性质的三维结构对降水贡献的对比分析

由上述分析可见,两次区域性暴雨过程副高三维结构有显著差异,特征鲜明。众所周知,产生持续性暴雨天气的3个条件^[8]是充分的水汽供应,强烈的上升运动和较长的持续时间。2005年两次区域性暴雨过程中,副高脊线位置的稳定和加强西伸活动为区域

性暴雨过程充分的水汽供应和降水的持续性提供了良好的大尺度环流背景条件。这是两次区域性暴雨过程副高对降水贡献的共性方面,也是很多研究工作中常见的结果,这里不再做详尽分析。

值得探讨的是,两次过程的水汽供应强度和产生强烈上升运动的大尺度背景条件因副高结构不同存在差异。

5.1 水汽供应

6月17—24日的热力性高压,因中低层高压脊区内盛行辐合上升运动(图5a),副高可将水汽由低纬向北输到达较高层次,华南北部和江南南部的强降水地区(23~27°N之间)上空,80%以上的相对湿度可达到600hPa高度附近(图略),也使得副高脊区内为云覆盖。而7月6—10日的动力性高压,在中低层高压脊区内盛行下沉辐散气流(图5b),因此副高输送的水汽到达江淮流域(28~34°N)强降水区上空时,湿度层厚度和强度都不及前一次过程,80%以上的相对湿度仅分布在850hPa以下(图略)。

5.2 垂直运动

2005年7月6—10日的副高脊轴北侧高层东亚副热带急流强度季节性加强(图6b),急流中心与脊轴较6月17—24日过程

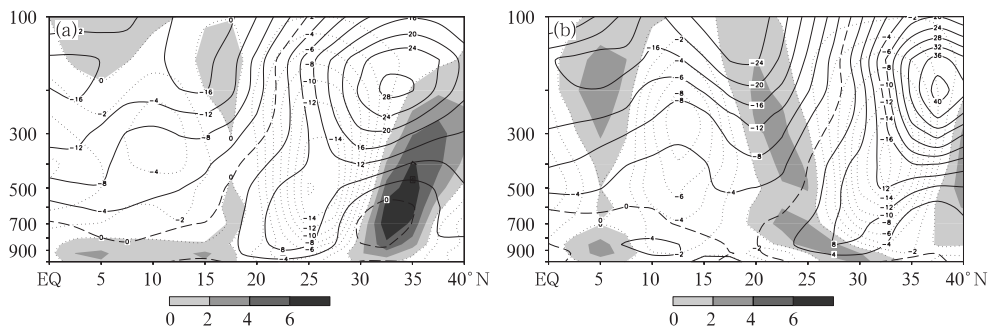


图6 2005年6月18—24日(a)和7月6—10日(b)纬向风速

(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,实线)和垂直运动(单位: $10^{-2} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;点线:上升运动;阴影:下沉)

距离靠近(图 6a),使得副热带急流的次级环流在右侧引起的垂直上升运动与动力性高压的中高层反环流的上升运动支叠加,进而江淮流域强降水区上升运动加强,为产生暴雨的强烈垂直运动提供了良好的大尺度动力环境场,由图 6 显示的两次过程的强降水区上空的上升运动比较来看,7 月 6 日—10 日上升运动偏强。但是,由于此次过程的垂直运动诱发机制主要发生在高层,使得上升运动分布在 900hPa 以上,相反,边界层仍然受副高脊区内下沉运动向北下传影响,为下沉运动。

而 6 月 17—24 日的热力性高压产生暴雨的大尺度动力过程与前者差异较大,热力性高压的高压脊轴向北倾斜,到达高层深入强辐散区(图 5a),对应高层南亚高压脊线,强辐散中心正好位于华南至江南南部的强降水区上空;同时,热力性的高压脊轴北侧暖区内自低层到高层盛行一致的上升气流,到达高层流向低纬地区,为使气柱空气质量守恒,低层产生辐合流场;上述两种因素的共同作用构成了有利于强降水的高层辐散低层辐合的配置,两次强降水区上空最大辐合辐散区的散度差值($D_{\text{上}} - D_{\text{下}}$),分别为 $12.99 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ 和 $9.82 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$,前一次过程明显大于后一次过程。

6 结 论

通过对比分析 2005 年夏季两次区域性暴雨过程的副高三维结构及其对降水贡献,得到以下结论和有待进一步讨论的问题:

(1) 文中选取的两次区域性暴雨过程,发生在副高季节性北跳前后的环流背景下,分别属于华南前汛期和江淮梅雨期降水。分析这两个时段的副高三维结构特征,具有一定的代表性。

(2) 本文有意义的分析结果是,华南前

汛期暴雨过程中的副高结构表现为热力性高压脊特征,江淮梅雨期暴雨过程中副高动力性结构特征鲜明。热力性高压脊对强降水区上空提供充沛的水汽和构成高低空强辐散辐合配置有利;动力性副高结构对强降水区上空形成强烈上升运动的大尺度动力环境场有利,而且配合有季节性加强的东亚副热带急流次级环流的上升运动的共同作用,表现更为突出。

(3) 在实际预报业务中,一般单纯考虑副高位置对于水汽输送的重要贡献,通过本文工作可以进一步认识到,不同大气环流背景下的不同性质的副高,影响到产生降水的动力或水汽输送的环境场。然而,本文工作仅是 2005 年的两次区域性暴雨过程副高结构的典型个例分析,下一步将通过分析 30 年以上的不同季节性环流背景下区域性暴雨过程的副高结构特征,进一步研究其普适性或特殊性。

参考文献

- [1] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场[M]. 北京:气象出版社,1999:49-50.
- [2] 吴国雄,丑纪范,刘屹岷,等. 副热带高压形成和变异的动力学问题[M]. 北京:科学出版社,2002:30-35.
- [3] 金荣花,矫梅燕,徐晶,等. 2003 年淮河多雨期西太平洋副高活动特征及其成因分析[J]. 热带气象学报,2006,22(1):60-66.
- [4] 冷春香,陈菊英. 西太平洋副高在 1998 年和 2001 年梅汛期长江大涝大旱中的作用[J]. 气象,2003,29(6):7-11.
- [5] 康志明,鲍媛媛,陈晓红. 2005 年 6 月我国雨带异常偏南的分析[J]. 气象,2006,32(4):91-96.
- [6] 刘平,吴国雄,李伟平,等. 副热带高压的三维结构特征[J]. 大气科学,2000,24(5):577-584.
- [7] 毛江玉,吴国雄,刘屹岷,等. 季节转换期间副热带高压带形态变异及其机制的研究 I:副热带高压结构的气候学特征[J]. 气象学报,2002,60(4):400-408.
- [8] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法(第三版)[M]. 北京:气象出版社,2000:320-322.