

顾清源, 师锐, 徐会明. 移出与未移出高原的两类低涡环流特征的对比分析[J]. 气象, 2010, 36(4): 7-15.

移出与未移出高原的两类 低涡环流特征的对比分析^{* 1}

顾清源¹ 师 锐¹ 徐会明²

1 四川省气象台, 成都 610072

2 成都市气象台, 成都 610072

提 要: 利用 NCEP 再分析资料, 采用对比分析方法, 对 2000—2004 年汛期(6—9 月)的高原低涡活动过程进行普查, 并对移出高原低涡与未移出高原低涡在其生成时刻的环流特征场, 以及移出高原低涡的移出高原时刻与未移出高原低涡的强盛时刻的环流特征场进行对比分析。分析表明: 500 hPa 上, 移出高原低涡背景环流中巴尔喀什湖低槽、东亚大槽比未移出高原低涡深, 蒙古高压脊更强, 背景环流经向度大, 而且副热带高压比未移出高原低涡西伸明显; 暖平流对高原低涡的生成很重要, 而涡后新疆冷平流有利于高原低涡移出高原主体; 青藏高原上的正涡度平流有利于高原低涡的生成和加深, 河套地区正涡度平流带的存在有利于高原低涡的移出。在 200 hPa 上, 南亚高压的存在有利于高原低涡的生成, 移出高原低涡上空的南亚高压强度要强于未移出高原低涡; 青藏高原东北部、四川盆地到陕西一带位于高空急流入口区南侧时有利于高原低涡东移。找出高原低涡移出与未移出高原主体的环流场、温度平流场、涡度平流场的异同特征, 为高原低涡能否东移出高原主体提供科学依据。

关键词: 高原低涡, 环流特征, 对比分析

Comparison Analysis of the Circulation Characteristics of Plateau Vortex Moving out of and not out of the Plateau

GU Qingyuan¹ SHI Rui¹ XU Huiming²

1 Sichuan Provincial Meteorological Observatory, Chengdu 610072

2 Chengdu Meteorological Observatory, Chengdu 610072

Abstract: Using the NCEP reanalysis data, based on the comparison analysis, the general circulation and impacting systems of plateau vortex moving out of the plateau or not in summer from 2000 to 2004 are analyzed. The research indicates that at 500 hPa level, the circulation background of the plateau vortex moving out of the plateau abbreviated as PV (out), including the trough in the Balkhash Lake, East Asian major trough and high pressure ridge at Mongolia is stronger compared to the circulation background of plateau vortex moving not out of the plateau abbreviated as PV (not out), that is, the circulation background of PV (out) has the meridional circulation increased. And the Pacific subtropical high westward extension is significant in the circulation background of PV (out) compared with PV (not out). In the middle troposphere the warm advection is very important to the generation of the plateau vortex and vortex is apt to move eastward when there is a cold advection in Xinjiang. On the Tibetan Plateau, the positive vorticity advection in the middle troposphere is very important to the generation of the plateau vortex. The positive vorticity advection of PV (out) is weaker compared with it of PV (not out), and the vortex is apt to move

* 国家自然科学基金项目“青藏高原低涡切变线形成维持机制研究”(40775032)、“青藏高原东北部强降水天气过程的演变特征及其机理研究”(40675059)和四川省气象局重点课题“西太平洋副热带高压对四川暴雨的影响研究”(2009—02)资助

2009 年 5 月 20 日收稿; 2009 年 11 月 19 日收修定稿

通讯作者: 师锐, 主要从事中短期预报. Email: sri-1998@163.com

eastward when there is a positive vorticity advection in Ordos Region. In the upper troposphere, the existence of South Asia high is beneficial to the generation of plateau vortex, and over PV (out), the strength of South Asia high is stronger than it of PV (not out). And when northeastern part of the Tibetan Plateau, the Sichuan Basin, Shanxi Province are located in the south side of the entrance of the upper jet stream, it is beneficial to plateau vortex to move eastward. Analysis of the similarities and differences between PV (out) and PV (not out) in the general circulation, the temperature advection and the vorticity advection could put forward the scientific basis to the prediction of PV(out) and PV (not out).

Key words: plateau vortex, circulation characteristics, comparative analysis

引 言

对流层中高层 500 hPa 层上在青藏高原上空生成的青藏高原低涡(简称高原低涡)是夏季影响我国大部分地区的重要天气系统之一,在其发生、发展和移动的活动过程中常常伴随有暴雨、洪涝等气象灾害^[1-5]。许多气象专家对高原低涡性质、结构和发生发展机理进行了分析研究,对其活动规律、影响高原低涡生成的因子、地形对高原低涡的影响等也进行了深入研究^[6-13]。早在 1979 年,叶笃正等就指出:高原边界层内浅薄系统遇有适宜的高空条件,它们也会发展移出高原^[14],吕君宁等的研究也表明,高原低涡是在青藏高原特定的动力和热力条件下产生的气旋性扰动,低涡一旦移出青藏高原特定的环境场则很快减弱消失,但也有少数低涡在一定的条件下可以东移出高原^[15]。李国平指出在一定的引导条件下可使低涡移出高原^[16]。孙国武等对发展东移出高原的低涡进行了动力学分析,指出副热带高压边缘的西南气流和 300 hPa 上的西风急流的引导作用对我国西北地区高原低涡东移很重要^[17-18]。宋敏红等指出高原中东部气柱平均厚度可指示高原涡的移动^[19]。高守亭等研究表明青藏高原东侧背风涡旋一旦形成,在旋转的配合下,涡旋会脱落或以波的形式向下游传播^[20]。Takahashi 指出冷空气直接影响高原北部低压发展^[21]。

东移出高原的低涡对我国东部地区的降水影响较大,因此对比分析高原低涡移出和未移出高原主体的环流特征差异对灾害性天气预报有较大的现实意义。而以往的研究重点大多放在东移出高原主体的高原低涡活动上,对未移出高原主体的高原低涡活动环流场特征研究较少,本文普查、分析 2000—2004 年汛期(6—9 月)移出和未移出高原主体的高原低涡个例,并对比分析了环流场、温度平流场、涡

度平流场的异同特征。

1 样本资料与分析方法

1.1 高原低涡移出定义

高原低涡指 500 hPa 等压面上反映的生成于青藏高原,有闭合等高线的低压或有三个站风向呈气旋式环流的低涡^[22]。

高原低涡移出高原是指低涡中心移出海拔高度在 3000 m 以上的青藏高原主体区域,以 102°E 为界限。对于一次高原低涡活动过程,当高原低涡从青藏高原主体上空东移到 102°E 以东时就定义为一次高原低涡移出(简称移出高原低涡),否则则定义为一次高原低涡未移出青藏高原主体(简称未移出高原低涡)。

1.2 资料样本

采用常规高空探测资料,按以上高原低涡定义对 2000—2004 年汛期(6—9 月)的高原低涡活动过程进行普查。在 2000—2004 年汛期期间,共有 74 次高原低涡活动过程(见表 1、表 2),其中移出高原主体的高原低涡有 24 次,占 32.4%,未移出高原主体的高原低涡 50 个,占 67.6%,将这 74 次高原低涡活动过程作为本文分析的样本个例。

由于本文是进行有关高原低涡活动过程的大尺度条件分析,因此采用美国 NCEP 每日 00、12 时(世界时)分辨率为 2.5°×2.5°的再分析数据资料进行分析。

1.3 分析方法

首先将 2000—2004 年汛期的 74 个高原低涡个例按以上高原低涡移出高原定义分为移出高原低涡和未移出高原低涡两类(见表 1、表 2),对两类高原低涡进行了两组对比分析,一组对比分析为移出高原低

涡与未移出高原低涡在其生成时刻的气象要素场对比分析,另一组对比分析为移出高原低涡的移出高原时刻与未移出高原低涡的强盛时刻的气象要素场对比分析。对比分析的气象要素场有 500 hPa 和 200 hPa 位势高度场和温度场、500 hPa 的温度平流场和涡度平流场,主要对西风带天气系统、西太平洋副热

带高压和南亚高压的异同特征进行对比分析。

对比分析是在气象要素合成分析基础上进行的,每一组对比分析的气象要素场合成方法是分别对移出或未移出高原的高原低涡个例的气象要素场作算术平均,高原低涡合成的位置是所选个例的高原低涡经纬度的几何中心平均位置。

表 1 移出高原低涡样本

Table 1 The cases of the plateau vortices moving out the Tibetan Plateau in 2000—2004

生成(移出)时刻 /年.月.日(月.日)	生成(移出)时低涡中心位置 /°N,°E(°N,°E)	生成(移出)时刻 /年.月.日(月.日)	生成(移出)时低涡中心位置 /°N,°E(°N,°E)
2000.6.17(6.18)	36.3,102.0(37.0,104.0)	2002.8.12(8.13)	38.7,98.4(39.8,104.5)
2000.7.1(7.2)	33.7,102.0(33.4,108.0)	2003.6.5(6.7)	33.0,94.0(32.2,105.8)
2000.7.8(7.11)	30.0,93.0(33.5,103.0)	2003.6.6(6.7)	31.4,89.5(32.2,105.5)
2001.6.1(6.2)	31.8,98.5(32.4,105.2)	2003.6.27(6.29)	33.0,86.0(37.0,103.2)
2001.6.19	37.5,100.4	2003.7.12(7.13)	38.3,99.0(39.5,109.5)
2001.7.12	32.1,97.7	2003.8.19	34.3,98.0
2001.8.6(8.7)	35.0,95.5(34.7,104.0)	2003.8.20	36.8,92.4
2001.8.21(8.22)	31.5,102.0(31.7,109.0)	2004.6.8(6.9)	34.5,95.5(34.5,104.0)
2001.8.29(8.30)	34.0,95.0(37.5,106.0)	2004.7.11(7.13)	34.5,96.0(31.6,102.5)
2002.7.1(7.2)	33.1,101.4(37.0,106.0)	2004.7.24(7.26)	33.0,94.2(33.6,103.0)
2002.7.19(7.20)	29.3,100.5(27.0,103.0)	2004.8.3(8.4)	32.5,97.5(24.0,105.0)
2002.8.10(8.11)	28.0,92.7(36.4,103.4)	2004.8.14(8.15)	32.8,98.8(32.2,105.3)

表 2 未移出高原低涡样本

Table 2 The cases of the plateau vortices not out of the Tibetan Plateau in 2000—2004

生成(强盛)时刻 /年.月.日	生成(强盛)时低涡中心位置 /°N,°E	生成(强盛)时刻 /年.月.日	生成(强盛)时低涡中心位置 /°N,°E
2000.6.26	34.0,95.4	2002.8.8(8.9)	33.5,101.3(30.0,101.4)
2000.7.2(7.3)	32.5,92.3(30.0,105.0)	2002.8.19(8.21)	31.5,93.5(32.0,96.5)
2000.7.3	37.2,93.4	2003.6.3(6.4)	36.5,92.6(35.7,101.2)
2000.7.4	35.0,98.0	2003.6.7	30.0,93.0
2000.7.4	32.3,98.8	2003.6.9	36.0,100.5
2000.7.6	32.2,98.0	2003.6.11	34.2,95.5
2000.8.1	33.0,95.0	2003.6.25	30.4,97.5
2000.8.5	32.6,98.5	2003.7.7	30.5,93.0
2000.8.19	35.2,96.0	2003.7.9	34.0,90.0
2000.8.21	30.4,92.8	2003.7.10	37.0,92.5
2001.6.6(6.7)	36.7,90.5(35.0,100.5)	2003.7.19(7.20)	33.6,94.5(33.4,102.0)
2001.6.19(6.20)	34.7,98.7(31.5,102.0)	2003.7.28	30.0,102.0
2001.6.26	30.0,102.0	2003.8.1	33.5,101.2
2001.6.27	34.0,95.3	2003.8.9	32.7,98.5
2001.7.14(7.15)	30.2,97.0(32.5,101.0)	2003.8.26	32.3,98.0
2001.7.18	34.0,95.0	2004.6.11(6.12)	37.0,92.5(40.5,99.0)
2001.7.19(7.20)	31.2,94.0(30.3,93.0)	2004.6.13	32.5,95.3
2001.7.27	33.0,95.4	2004.6.16	32.3,99.8
2001.8.15(8.16)	33.8,95.5(32.5,98.5)	2004.6.27	32.8,101.0
2002.6.3	35.0,99.2	2004.6.30	28.5,92.5
2002.6.4	32.7,92.7	2004.7.22(7.23)	32.0,99.4(35.4,98.6)
2002.6.6(6.7)	37.6,94.0(42.0,95.0)	2004.7.26	30.7,93.0
2002.6.11(6.12)	32.5,95.0(30.5,101.5)	2004.8.19	32.8,94.0
2002.7.7(7.8)	32.2,99.3(32.5,98.5)	2004.8.20	33.5,94.7
2002.7.30	32.1,98.8	2004.8.21	32.6,94.5

2 移出与未移出高原低涡环流特征对比分析

2.1 移出与未移出高原低涡环流形势对比分析

图 1 显示了两类高原低涡、两组对比分析时刻的 500 hPa 平均环流场以及 500 hPa 平均环流差值场,差值场为移出高原低涡平均环流场减去未移出高原低涡平均环流场。由图 1a、b、d、e 可见,无论是移出高原主体的高原低涡,还是未移出高原主体的高原低涡,在高原低涡生成时刻和东移出高原主体或在高原主体发展加深时刻,高原低涡的西风带背

景环流都为典型的两槽一脊型,两槽分别为巴尔喀什湖低槽(以下简称巴湖低槽)和东亚大槽,一脊则为蒙古高脊,这表明两槽一脊型的环流形势有利于高原低涡的生成发展。

图 1c、f 分别为移出高原低涡与未移出高原低涡在其生成时刻和移出高原低涡移出高原时刻与未移出高原低涡强盛时刻的 500 hPa 平均环流差值场,由图可见,500 hPa 平均环流差值场均呈现为“— + —”分布。在高原低涡生成时刻(见图 1c),在巴湖低槽区和东亚大槽区都有一个负值带存在,在(52°N、60°E)和(52°N、125°E)还分别有一个 -45 gpm、-15 gpm 的负值中心,而在蒙古高压脊区有

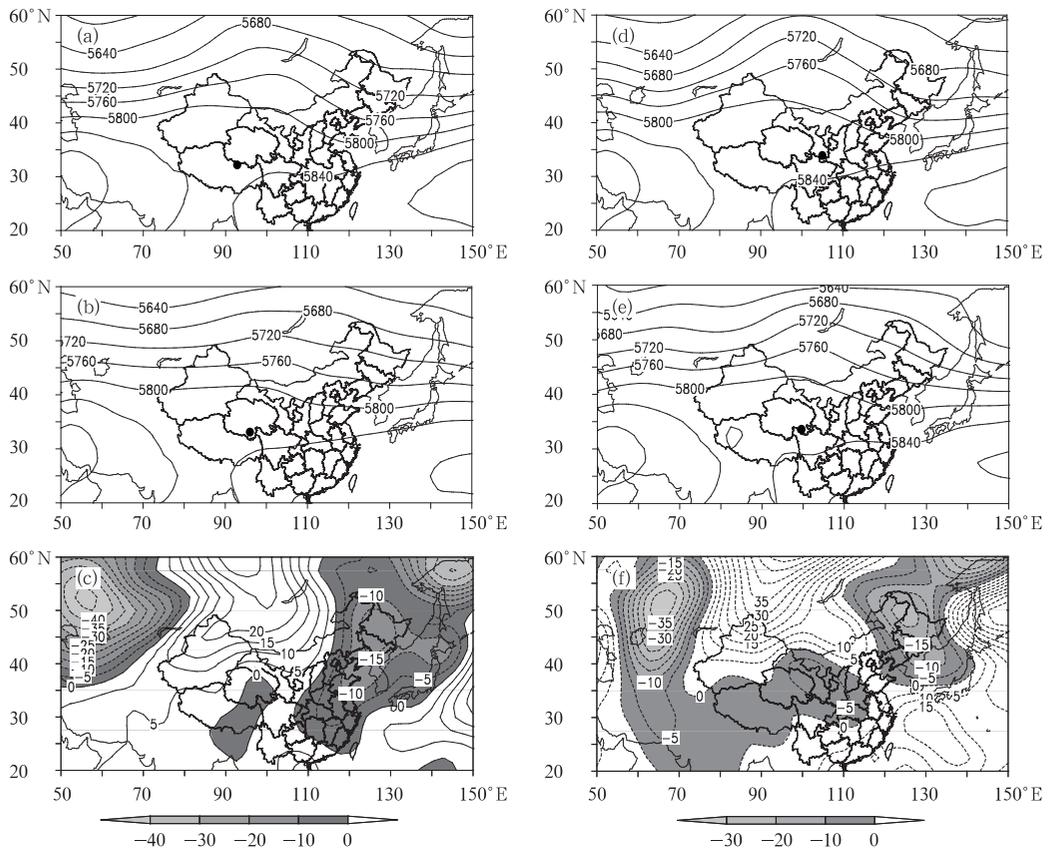


图 1 500 hPa 平均环流场(单位:gpm)

(图中黑色实心圆点表示高原低涡的平均中心位置)

- (a) 移出生成时刻; (b) 未移出生成时刻; (c) 生成时刻移出与未移出差值;
(d) 移出时刻; (e) 未移出强盛时刻; (f) 移出时刻与未移出强盛时刻的差值

Fig. 1 The average geopotential height field at 500 hPa (unit:gpm)

(The average position of the vortex is marked with black dot)

- (a) formation time of PV (out); (b) formation time of PV (not out); (c) difference of formation time between PV (out) and PV (not out); (d) moving out time of PV (out); (e) strongest time of PV (not out);
(f) difference between the moving out time of PV (out) and the strongest time of PV (not out)

一个 10~20 gpm 正值区域存在。分析移出高原低涡移出时刻与未移出高原低涡强盛时刻的高原低涡背景环流 500 hPa 平均环流差值场发现(见图 1f), 平均环流差值场同高原低涡生成时刻 500 hPa 平均环流差值场类似,在巴湖低槽区和东亚大槽区也都有一个负值带存在,在(52°N、65°E)和(52°N、125°E)的负值中心值分别达到了-35 gpm、-20 gpm,同时在蒙古高压脊区也有明显的正值区域存在。以上分析表明,移出高原低涡背景环流的巴湖低槽和东亚大槽比未移出高原低涡背景环流的巴湖低槽和东亚大槽要深,而蒙古高压脊更强,也就是说,移出高原低涡背景环流比未移出高原低涡背景环流的环流经向度大。

另外,移出高原低涡在生成时刻(图 1a)及移出时刻(图 1d),高原低涡背景环流中的西太平洋副热带高压 588 线西伸脊点分别位于 135°E 和 130°E,而未移出高原低涡在生成时刻(图 1c)和强盛时刻(图 1e)的背景环流中的西太平洋副热带高压西伸脊点分别在 140°E 和 145°E。说明移出高原低涡背景环流中的西太平洋副热带高压要比未移出高原低涡背景环流中的西伸明显。

2.2 温度平流对比分析

有研究表明^[23],低涡有冷性和暖性之分,而占夏季高原低涡绝大多数的是高原暖性涡。暖性涡尽管是一种浅薄系统,但往往具有深厚的上升运动和强烈降水,有深厚的暖湿中心配合,暖性涡一旦移出高原东部便迅速消失^[10,12],这说明它对高原特殊条件的依赖性。天气学分析表明,只有斜压涡或暖性涡转变为斜压涡才能移出高原。

图 2 为两类高原低涡,两组对比分析时刻的 500 hPa 温度平流,由图 2a、b 可见,无论是移出高原低涡,还是未移出高原低涡,在高原低涡生成时刻在青藏高原主体上空的 500 hPa 层上的温度平流均为暖平流,而且暖平流带的分布和暖平流中心强度在高原主体上空差别不明显,这说明青藏高原上空 500 hPa 层上的暖平流对高原低涡的生成有重要作用。

分析图 2c、d 不难发现,移出高原低涡在移出时刻与未移出高原低涡在强盛时刻的温度平流分布差别比较明显,移出高原低涡在移出时刻高原主体上空的 500 hPa 暖平流带中心值为 $40 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$,而未移出高原低涡在强盛时刻高原主体上空的

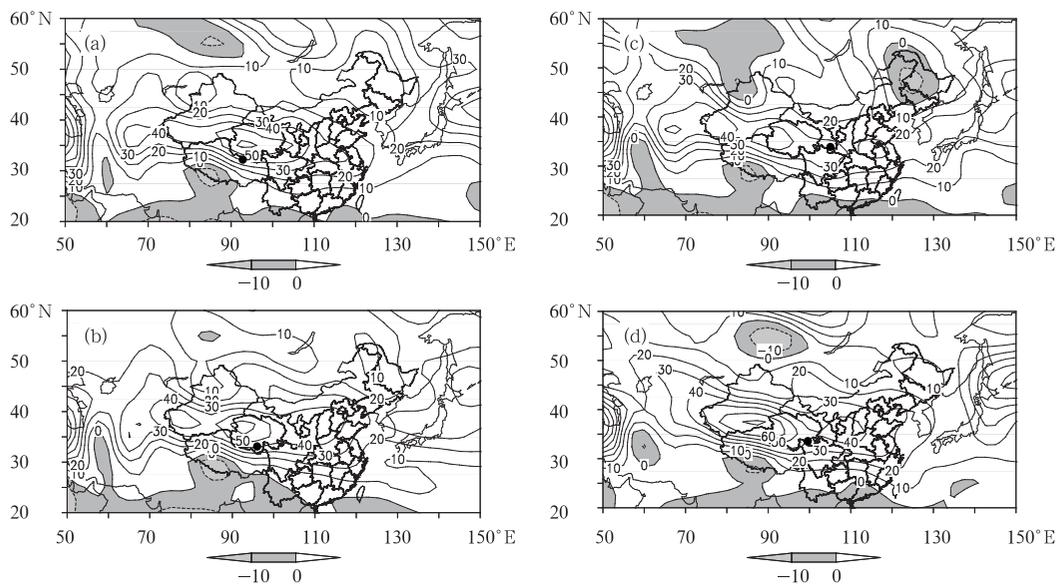


图 2 500 hPa 温度平流(单位: $1 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$)

(图中黑色实心圆点表示高原低涡的平均中心位置)

(a) 移出生成时刻; (b) 未移出生成时刻; (c) 移出移出时刻; (d) 未移出强盛时刻

Fig. 2 The average temperature advection at 500 hPa (unit: $1 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$)

(The average position of the vortex is marked with black point)

(a) formation time of PV (out); (b) formation time of PV (not out);

(c) moving out time of PV (out); (d) strongest time of PV (not out)

500 hPa 暖平流带中心值达到了 $70 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$, 表明移出高原低涡在移出时刻高原主体上空的 500 hPa 层暖平流比未移出高原低涡在强盛时刻的 500 hPa 层暖平流弱。更大差异出现在高原低涡后部的新疆地区, 移出高原低涡移出时刻, 在高原低涡后部的新疆地区有明显的冷平流区存在, 冷平流中心值达到了 $-10 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$, 同时在我国东北部也有中心值为 $-10 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ 的冷平流区存在, 而未移出高原低涡强盛时刻在后的新疆地区没有冷平流区存在, 在我国东北地区也没有冷平流区的存在, 相反的为中心值是 $+10 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ 的暖平流区。以上分析表明, 高原低涡后部的新疆地区涡后冷平流以及高原低涡前部的东北地区涡前冷平流的存在有利于高原低涡移出高原主体。

2.3 涡度平流对比分析

图 3 给出的是 500 hPa 涡度平流, 由图可见, 无论是移出高原低涡, 还是未移出高原低涡, 在高原低涡生成时刻在青藏高原主体上空的 500 hPa 层上均为正涡度平流带, 移出高原低涡的正涡度平流中心值为 $1 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$, 未移出高原低涡的正涡度平流中

心值也为 $1 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$, 移出高原低涡与未移出高原低涡在高原低涡生成时刻的正涡度平流分布和正涡度平流中心强度在高原主体上空基本没有差别, 表明青藏高原上空 500 hPa 层上的正涡度平流有利于高原低涡的生成。

对比分析移出高原低涡的移出时刻和未移出高原低涡的强盛时刻(图 3c、d)在高原主体上空的涡度平流场发现, 移出高原低涡在移出时刻的 500 hPa 层正涡度平流小于未移出高原低涡在强盛时刻的 500 hPa 层涡度平流, 移出高原低涡在移出时刻高原主体上空的正涡度平流中心值为 $2 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$, 而未移出高原低涡在强盛时刻的 500 hPa 层涡度平流中心值达到了 $3 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$; 另外我们还注意到, 在河套地区, 移出高原低涡在移出时刻有 $1 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$ 的正涡度平流区存在, 而未移出高原低涡在强盛时刻河套地区相反的为负涡度平流带。表明河套地区 500 hPa 层正涡度平流带的存在有利于高原低涡的移出, 涡前河套地区, 即高原低涡东部正涡度平流带的存在, 使此地区的气旋性涡度增加, 为高原低涡的东移提供动力条件。

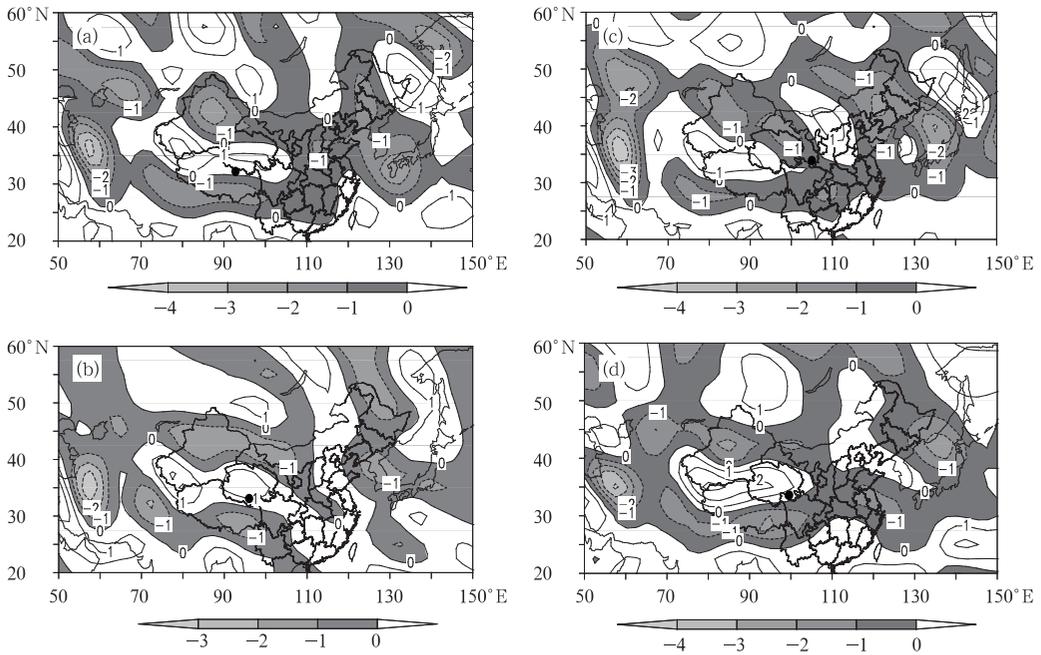


图 3 500 hPa 涡度平流(单位: $1 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$)

(图中黑色实心圆点表示高原低涡的平均中心位置)

(a) 移出生成时刻; (b) 未移出生成时刻; (c) 移出时刻; (d) 未移出强盛时刻

Fig. 3 Same as Fig. 2 but for vorticity advection at 500 hPa (unit: $1 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$)

2.4 南亚高压对比分析

由图 4 两组分析时刻,移出与未移出高原主体的高原低涡的 200 hPa 平均高度场可见无论是移出高原低涡,还是未移出高原低涡,无论是高原低涡的生成时刻,还是移出高原低涡的移出时刻以及未移出高原低涡的强盛时刻,200 hPa 平均高度场上在高原低涡上空均存在着较强的南亚高压,表明南亚高压的存在有利于高原低涡的生成。

对比分析移出高原低涡与未移出高原低涡在低涡生成时刻高原低涡上空的南亚高压时发现,移出高原低涡上空南亚高压中心值达到了 12560 gpm, 12520 gpm 等值线东伸脊点位于 98°E,而未移出高原低涡上空的南亚高压中心值要低一些,为 12520 gpm,12520 gpm 等值线东伸脊点位于 100°E,表明在高原低涡生成时刻,移出高原低涡上空的南亚高压比未移出高原低涡上空的南亚高压强,但东伸不如未移出高原低涡上空的南亚高压明显。

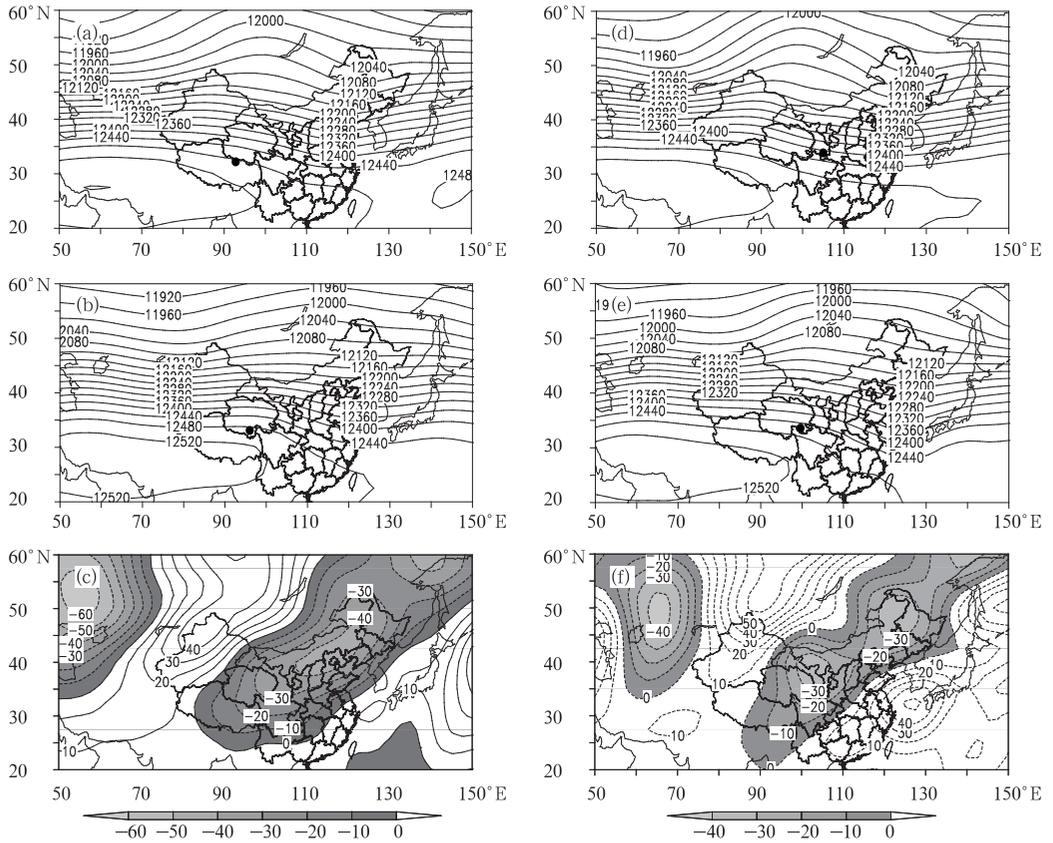


图 4 200 hPa 平均高度场(单位:gpm)

(图中黑色实心圆点表示高原低涡的平均中心位置)

- (a) 移出生成时刻; (b) 未移出生成时刻; (c) 生成时刻移出与未移出差值;
- (d) 移出时刻; (e) 未移出强盛时刻; (f) 移出时刻与未移出强盛时刻的差值

Fig. 4 Same as Fig. 1 but for 200 hPa average geopotential height field (unit:gpm)

对比分析移出高原低涡移出高原时刻与未移出高原低涡强盛时刻在高原低涡上空的南亚高压时发现(图 4c、d),南亚高压中心强度是相同的,都为 12520 gpm,但东伸脊点位置不同,移出高原低涡移出高原时刻南亚高压的 12520 gpm 等值线东伸脊点位于 91°E,而未移出高原低涡强盛时刻南亚高压的 12520 gpm 等值线东伸脊点位于 96°E。以上分

析表明,同高原低涡生成时刻一样,移出高原低涡在移出高原时刻,其上空的南亚高压还是不如未移出高原低涡在高原低涡强盛时刻其上空的南亚高压东伸明显。图 4c、f 分别为移出高原低涡与未移出高原低涡在其生成时刻和移出高原低涡移出高原时刻与未移出高原低涡强盛时刻的 200 hPa 平均高度场的差值场,由图可见,在整个 95°E 以东,长江流域以

北存在着一一条东北—西南向的中心值分别为 -40 gpm 、 -30 gpm 的负值带,充分表明,无论是移出高原低涡,还是未移出高原低涡,无论是高原低涡的生成时刻,还是移出高原低涡的移出时刻以及未移出高原低涡的强盛时刻,移出高原低涡上空的南亚高压不如未移出高原低涡上空的南亚高压东伸明显,也就是说移出高原主体的高原低涡,对流层高层的辐散条件相对较弱,使高原低涡得不到在高原继续发展加深的动力条件。

2.5 高空急流对比分析

图 5 为 200 hPa 平均风速场。分析发现,移出高原低涡和未移出高原低涡在其生成时刻(图 5a, b),在 200 hPa 层上的 $34^\circ \sim 46^\circ \text{N}$ 间都存在着一个高空急流带,并有三个高空急流中心存在,移出高原低涡的三个急流中心分别位于伊朗上空(42°N 、 60°E)、我国河套上空(38°N 、 105°E)和日本(42°N 、 145°E),急流中心值分别达到 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而未移出高原低涡的三个急流中心分别位于伊朗上空(40°N 、 55°E)、我国新疆上空(40°N 、 90°E)和日本(38°N 、 141°E),急流中心值分别达到 $27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在移出高原低涡的移出时刻和未移出高原低涡的强盛时刻

(图 5c, d),在 200 hPa 层上的 $34^\circ \sim 46^\circ \text{N}$ 间也存在着一个高空急流带,但只有两个高空急流中心存在,移出高原低涡的两个急流中心分别位于伊朗上空(42°N 、 60°E)和韩国上空(38°N 、 126°E),急流中心值分别达到 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而未移出高原低涡的两个急流中心分别位于伊朗上空(40°N 、 55°E)和日本(40°N 、 141°E),急流中心值分别达到 $33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。进一步分析我们还发现,对于移出高原低涡,无论是在其生成时刻,还是在其移出高原主体时刻,在高原低涡移出高原主体上游的青藏高原东北部、四川盆地到陕西一带,都位于高空急流入口区的南侧(生成时刻为河套上空高空急流中心、移出时刻为韩国上空高空急流中心),这种位于高空急流入口区南侧的高原低涡,急流南侧所产生的高空辐散有利于 500 hPa 层上的高原低涡发展和移出^[24],而未移出高原低涡在其生成时刻和强盛时刻,高原低涡东部的青藏高原东北部、四川盆地到陕西一带都始终位于高空急流出口区南侧(生成时刻为新疆上空高空急流中心、强盛时刻为伊朗上空高空急流中心),不利于 500 hPa 层上的低涡在该地区发展加深。以上分析表明,青藏高原东北部、四川盆地到陕西一带位于高空急流入口区南侧时有利于高原低涡东移。

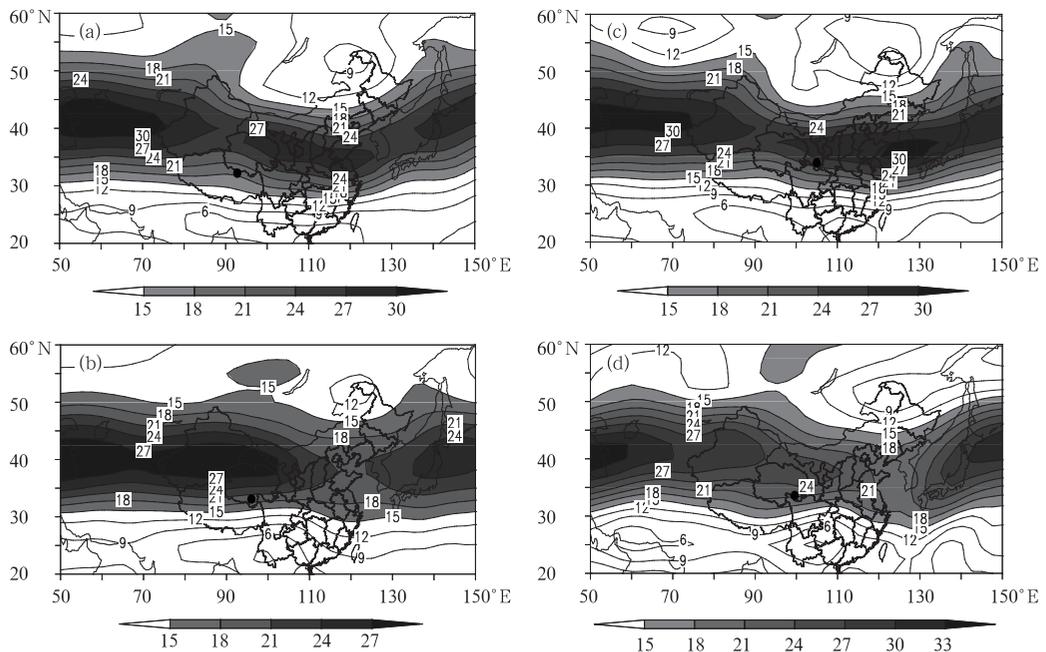


图 5 200 hPa 风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(图中黑色实心圆点表示高原低涡的平均中心位置)

(a) 移出生成时刻; (b) 未移出生成时刻; (c) 移出时刻; (d) 未移出强盛时刻

Fig. 5 Same as Fig. 2 but for wind velocity at 200 hPa (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

结合 2.3 节 500 hPa 层涡度平流对比分析,可以发现移出高原主体的高原低涡相对于未移出高原主体的高原低涡,在河套地区对流层中层存在着明显的正涡度平流区,对流层高层则存在着明显的高空急流,这种中低层的配合,使得高原低涡东部的气旋性涡度增加,高空较强的辐散条件,使补偿上升运动加强,从而有利于高原低涡的发展东移。

3 结 论

对 2000—2004 年的高原低涡活动进行普查、分析表明:高原低涡能否移出高原,不仅与高原上的热力、动力作用有关,同时与周边天气尺度系统的热力、动力作用有关。高原低涡移出与未移出高原主体的环流场、温度平流场以及涡度平流场特征存在以下几点异同点:

(1) 500 hPa 层上,移出高原主体的高原低涡背景环流中的巴尔喀什湖低槽、东亚大槽比未移出高原主体的高原低涡背景环流中的深,而蒙古高压脊更强,移出高原主体的高原低涡背景环流的环流经向度要大于未移出高原主体的高原低涡背景环流的环流经向度。

(2) 移出高原主体的高原低涡背景环流中的西太平洋副热带高压要比未移出高原低涡背景环流中的西伸明显。

(3) 青藏高原上空 500 hPa 层上的暖平流对高原低涡的生成很重要,而移出高原主体的高原低涡后新疆明显冷平流区以及涡前我国东北部冷平流区的存在,有利于高原低涡移出高原主体。

(4) 青藏高原上空 500 hPa 层上的正涡度平流有利于高原低涡的生成和加深,移出高原主体的高原低涡在青藏高原上空 500 hPa 层上的正涡度平流要弱于未移出高原主体的高原低涡,河套地区 500 hPa 层正涡度平流带的存在有利于高原低涡的移出。

(5) 在对流层高层 200 hPa 层上,南亚高压的存在有利于高原低涡的生成,移出高原低涡上空的南亚高压强度要强于未移出高原低涡,而且青藏高原东北部、四川盆地到陕西一带位于高空急流入口区南侧时有利于高原低涡东移。

参考文献

- [1] 井喜,李明娟,王淑云,等. 青藏高原东侧突发性暴雨的湿位涡诊断分析[J]. 气象,2007,33(1):101-108.
- [2] 王川,寿绍文. 一次青藏高原东侧大暴雨过程的诊断分析[J]. 气象,2003,29(7):101-108.
- [3] 宗志平,张小玲. 2004 年 9 月 2-6 日川渝持续性暴雨过程[J]. 气象,2005,31(5):38-42.
- [4] 郭大海,许新田,刘勇. 陕西中南部一次突发性大暴雨分析[J]. 气象,2008,34(9):40-46.
- [5] 梁生俊,张弘,杜继稳. 一次高原涡突发性暴雨的数值分析[J]. 陕西气象,2005,(4):5-8.
- [6] 刘富明,梅娟. 东移的青藏高原低涡的研究[J]. 高原气象,1986,5(2):125-134.
- [7] 芮良生,刘富明,滕家谟. 青藏高原低涡对江淮流域强降水的影响[M]. 夏半年青藏高原对我国天气的影响. 北京:科学出版社,1987:142-150.
- [8] 丁一汇. 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究[M]. 北京:气象出版社,1993:113-128.
- [9] 宋敏红,钱正安. 高原及冷空气对 1998 和 1991 年夏季西太副高及雨带的影响[J]. 高原气象,2002,21(6):556-564.
- [10] 钱正安,单扶民,吕君宁,等. 1979 年夏季青藏高原低涡的统计分析及其产生的气候因子探讨[M]. 青藏高原气象科学实验文集(二). 北京:科学出版社,1984:182-194.
- [11] 罗四维等编著. 青藏高原及其邻近地区几类天气系统的研究[M]. 北京:气象出版社,1992:1-52.
- [12] 郭绵钊. 夏季青藏高原低涡东移初步普查[J]. 高原气象,1986,5(2):184-188.
- [13] 顾清源,肖逸祥,黄楚惠,等. 低空急流在副高西北侧连续性暴雨中的触发[J]. 气象,2009,35(4):59-67.
- [14] 叶笃正,高由禧,等. 青藏高原气象学[M]. 北京:科学出版社,1979:122-126,145-146,259-260.
- [15] 吕君宁,郑昌圣. 雨季前青藏高原低涡的研究[M]. 青藏高原气象科学实验文集(一). 北京:科学出版社,1984:218-228.
- [16] 李国平. 青藏高原动力气象学[M]. 北京:气象出版社,2002. 22-23.
- [17] 孙国武,陈葆清. 初夏青藏高原低涡发展动力的动力过程[J]. 气象科学研究院院刊,1988,3(1):58-65.
- [18] 孙国武,陈葆清,吴继成,等. 大尺度环流场对青藏高原低涡发展东移的动力作用[J]. 高原气象,1987,6(3):225-233.
- [19] 宋敏红,钱正安. 高原及冷空气对 1998 和 1991 年夏季西太副高及雨带的影响[J]. 高原气象,2002,21(6):556-564.
- [20] 高守亭,平凡. 大地形强迫下背风涡旋的实验研究[J]. 科学通报,2004,49(23):2485-2494.
- [21] Hideo TAKAHASHI. Observational study on the initial formation process of the Meiyu frontal disturbance in the eastern foot of the Tibetan Plateau in Middle-Late June 1992[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan,81(6):1303-1327,2003.
- [22] 郁淑华,高文良. 高原低涡移出高原的观测事实分析[J]. 气象学报,2006,(3):392-399.
- [23] 戴学友. 夏季青藏高原低涡研究的现状和问题[J]. 山西气象,1989(3):48-51.
- [24] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京:气象出版社,1991:171-174.