

移出型高原低涡对我国东部地区降水的影响

朱国辉, 央 珍, 董彦达, 旦增卓嘎, 程佳慧

中国民用航空西藏自治区空中交通管理中心, 西藏 拉萨

收稿日期: 2026年6月26日; 录用日期: 2026年7月23日; 发布日期: 2026年7月31日

摘 要

高原低涡是青藏高原夏季重要的天气系统, 其中移出高原后仍能维持并影响下游地区的低涡, 常引发我国东部大范围强降水。为揭示2000年代移出型高原低涡的活动规律及其与降水分布的关系, 本文利用2000~2009年MICAPS历史天气图资料和NCEP再分析资料, 对每年6~8月移出型高原低涡进行普查统计, 并分析不同移动路径对应的降水特征。结果表明: 2000~2009年共出现移出型高原低涡61次, 年均6次。涡源集中于三个区域: 西部(西藏狮泉河、改则和申扎之间); 中部有两个集中区(托托河以北的青、藏、新交界处及西藏那曲、班戈、安多附近); 东部(青藏高原东部的曲麻莱和德格附近)。移动路径以偏东路径为主(57.4%), 其次为东北移(27.9%)、东南移(11.5%), 极个别向北移(3.2%)。6月移出次数约占总数的50%, 7月与8月基本持平(各约25%)。结论认为: 移出型高原低涡的移动路径与引导系统的变化密切相关, 移动路径上对应明显的雨区; 维持或发展的低涡在移动过程中会带来大范围降水, 降水强度与低涡活动呈正相关。

关键词

移出型高原低涡, 活动特征, 降水, 移动路径

Influence of the Moving-Out Xizang Plateau Vortex on Precipitation in East China

Guohui Zhu, Zhen Yang, Yanda Dong, Danzeng Zhuoga, Jiahui Cheng

Xizang Air Traffic Management Center of CAAC, Lasa Xizang

Received: June 26, 2026; accepted: July 23, 2026; published: July 31, 2026

Abstract

The Qinghai-Xizang Plateau vortex is an important weather system in summer over the Xizang Plateau. Those vortices that can move out of the plateau and maintain themselves often cause extensive heavy precipitation in eastern China. To reveal the activity characteristics of moving-out plateau

文章引用: 朱国辉, 央珍, 董彦达, 旦增卓嘎, 程佳慧. 移出型高原低涡对我国东部地区降水的影响[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(4): 886-895. DOI: 10.12677/ccrl.2026.154094

vortices in the 2000s and their relationship with precipitation distribution, this study uses MICAPS historical weather charts and NCEP reanalysis data from 2000 to 2009 to conduct a census of moving-out plateau vortices from June to August, and analyzes the precipitation features corresponding to different movement paths. The results show that from 2000 to 2009, a total of 61 moving-out plateau vortices occurred, with an average of 6 per year. Their source regions are concentrated in three areas: the western source (between Shiquanhe, Gaize, and Shenzha in Xizang); the central source (two concentrated areas, one near the junction of Qinghai, Xizang and Xinjiang north of Tuotuo River, the other near Naqu, Baingoin and Amdo); and the eastern source (near Qumalai and Dêgê on the eastern Qinghai-Xizang Plateau). The dominant movement path is eastward (57.4%), followed by northeastward (27.9%), southeastward (11.5%), and only rarely northward (3.2%). The frequency in June accounts for about 50% of the total, while July and August each account for about 25%. It is concluded that the movement paths of moving-out plateau vortices are closely related to the steering flow, with corresponding precipitation belts along the paths. Vortices that maintain or intensify during movement can bring widespread precipitation, and the precipitation intensity is positively correlated with vortex activity.

Keywords

Moving-Out Xizang Plateau Vortex, Activity Characteristics, Precipitation, Moving Path

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高原低涡是在特有的高原动力和热力背景下产生在高原地区的低层(500 hPa)天气系统,它一般产生于高原西部,消失于高原东部,但在一定的环流形势下,高原低涡可移出高原,并且在移出高原主体后,仍可长时间维持[1]-[3],高原低涡东移出高原主体后,可造成高原以东广大地区产生暴雨,从而诱发灾害[4][5],高原低涡移出高原且持续时间较长的高原低涡活动,可对我国东部地区造成明显降水,因此对高原低涡移出高原的研究尤为重要。随着广大气象工作者对高原低涡的深入研究,取得不少新的进展。李国平[2]指出在一定的引导条件下低涡可移出高原;郁淑华等[6][7]分析了造成中国东部地区严重暴雨的东移高原低涡过程的环流场特征及高原低涡东移对降水的影响。这对加深认识高原低涡及其对高原下游广大地区天气的影响以及影响途径具有重要意义。另外近年来也有不少关于高原低涡移出高原个例的诊断分析[8][9]。近30年来,对于移出型高原低涡也取得不少新成果,郁淑华等[6]通过普查1988~2004年移出的高原低涡进一步丰富了东移高原低涡的环流背景研究,指出其涡源主要在曲麻莱和德格附近,移动路径多数是向东移动,其次向东北、东南移动以及个别向北移动,并将一出低涡环流形势分为四类:北槽南涡型、切变线上的低涡、切变流场中的低涡和西风槽前部的低涡。王鑫等[1]也对1980~2004年暖季青藏高原低涡活动进行了统计研究。已有的高原低涡统计研究多为高原个例分析[10][11],对于不同路径对我国降水的影响研究较少。在全球气候变化的背景下,有必要对移出型高原低涡气候特征进行再研究,这对于揭示移出型高原低涡气候特征的基本事实,进一步认识高原低涡移出高原后对我国降水的影响有重要意义。

2. 移出型高原低涡的活动特征

青藏高原低涡(简称高原低涡)是指发生在青藏高原主体位置的低涡,主要活动在500 hPa等压面上、平均水平尺度为400~500 km、垂直厚度一般从400 hPa向下伸展、多数为暖性结构、生命周期为1~3天。

它不但是青藏高原雨季主要的降水系统,而且在一定条件下移出青藏高原后往往引发高原东侧(特别是四川地区)一次大范围的暴雨、洪涝等灾害性天气过程(朱乾根等, 2000)。本文利用 2000~2009 年间移出型高原低涡的样本,在统计、分析移出型高原低涡活动规律的基础上,研究移出型高原低涡导致我国东部地区发生强降水天气的一些规律。

根据早期的一些研究[12] [13],将生成于青藏高原主体地区(30°~35°N 范围内),500 hPa 等压面上有闭合等高线的低压、或有 3 个测站的低涡,或同一气旋环流连续出现两个观测时次以上,并移出 100°E 范围的高原低涡定义为移出型高原低涡。

2.1. 移出型高原低涡的涡源

表 1 统计出移出型高原低涡涡源的分布及不同涡源移出型低涡的发生频次。统计表明:移出型低涡的涡源主要有 3 个:西部涡源、中部涡源和东部涡源:西部涡源位于西藏狮泉河、改则和申扎之间(87°E 以西,33°N 附近);中部涡源有 2 个较为集中的区域,其一位于托托河以北的青海、西藏和新疆这 3 个地方的交界处(87~93°E 之间,35°N 附近),另一个位于西藏那曲、班戈和安多附近;东部涡源位于青藏高原东部(92°E 以东)的曲麻莱和德格地区附近。从表 1 中可以看出:2000~2009 年以来,我国一共发生移出型低涡过程 61 次,其中西部涡源过程 19 次,约占总数的 31%、中部涡源过程 27 次,约占 44%、东部涡源过程 15 次,约占 25%。这 10 年当中,2003 年移出型低涡过程发生 9 次(最多年份)、2006 年移出型低涡过程发生 3 次(最少年份),其他年份平均每年发生 6 次左右。

Table 1. Statistics of moving-out Xizang Plateau vortices from different source regions (2000~2009)
表 1. 不同源地移出型高原低涡统计表(2000~2009)

年份 涡源	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	合计
西涡	1	3	0	3	2	3	1	5	1	0	19
中涡	4	1	3	6	4	1	1	2	3	2	27
东涡	1	2	4	0	0	1	1	0	2	4	15
合计	6	6	7	9	6	5	3	7	6	6	61

2.2. 移出型高原低涡的移动路径

Table 2. Statistics of movement paths of moving-out Xizang Plateau vortices (2000~2009)
表 2. 移出型高原低涡的移动路径统计表(2000~2009)

年份 路径	北移(次数)	东北移(次数)	东移(次数)	东南移(次数)
2000	0	1	4	1
2001	0	2	4	0
2002	1	2	2	2
2003	0	3	5	1
2004	0	3	3	0
2005	0	1	4	0
2006	0	0	3	0
2007	0	2	4	1
2008	0	1	4	1
2009	1	2	2	1
合计	2	17	35	7

一些早期的研究文献[6]中将移出型高原低涡的移动路径分为四类：北移(向着涡源的正北方向移动)；东北移(向着涡源的正北到东北东方向移动)；东移(向着涡源的东北东到东南方向移动)；东南移(向着涡源的东南到正南方向移动)。

表 2 统计了 2000~2009 年 6~8 月间移出型高原低涡的移动路径。从表 2 中可以看出：这 10 年中，移出型高原低涡的移动路径多数是东移，约占总数的 57.4%；其次是东北移，约占 27.9%；东南移次数较少，约占 11.5%；只有极个别的移出型低涡向北移，约占 3.2%。详细分析移出型高原低涡的路径可以发现：每年移动型低涡过程东北移路径的，2003 年和 2004 年次数最多，为 3 次，其次 2001 年、2002 年、2007 年和 2009 年均为 2 次。东移路径中，以 2003 年(5 次)最多，其次是 2000、2001、2005、2007、2008 年均为 4 次。东南移方向上，2002 年最多(2 次)，其次是 2000、2003、2007、2008、2009 年(1 次)。

2.3. 移出高原的低涡活动频次

下文中所提到的移出型高原低涡均指 500 hPa 等压面上反映的生成于高原，后又移出高原的有闭合等高线的低压或有 3 个站风向呈气旋式环流的低涡，它区别于西南低涡的定义：在 700 hPa 等压面上。利用 2000~2009 年 6~8 月的 MICAPS 资料，对 500 hPa 天气图进行了普查统计，将影响低涡统计于表 3。

从 2000~2009 年 6~8 月各年、月移出高原的低涡的活动次数(表 3)可以看出：6~8 月是高原低涡移出青藏高原影响中国东部地区的主要时段。移出高原低涡次数，6 月多于 7 月，约占移出高原低涡总次数的 50%；7 月与 8 月基本持平，约各占 25%。6 月份移出高原低涡频次最高的年份是 2003 年(6 次)；7 月份出现移出高原低涡次数最多的年份是 2002 年(3 次)，8 月份移出低涡频次最高的年份是 2001 年(3 次)。移出高原低涡总频次中，2003 年出现移出次数最多(9 次)，其次是 2002 年和 2007 年(7 次)，高原低涡移出高原的次数最少的年份是 2006 年(3 次)。整体来看，在低涡发生次数较多的年份，已有研究表明，该时段内，我国各大流域洪涝成灾次数亦最多。2003 年移出高原低涡的活动频次较高，造成了我国长江流域、松辽流域以及黄淮流域大水，说明移出高原低涡是造成中国夏季暴雨洪涝的重要天气系统之一。

Table 3. Monthly frequency statistics of moving-out Xizang Plateau vortices (2000~2009)

表 3. 移出型高原低涡各月活动频次统计表(2000~2009)

年份\月份	6	7	8	合计
2000	2	2	2	6
2001	3	0	3	6
2002	3	3	1	7
2003	6	1	2	9
2004	3	2	1	6
2005	3	0	2	5
2006	2	1	0	3
2007	4	2	1	7
2008	3	2	1	6
2009	2	2	2	6
合计	31	15	15	61

通过以上 3 方面的分析可以看出：移出高原的低涡涡源主要有 3 个区域：西部涡源、中部涡源和东部涡源：高原低涡的移动路径主要分为 3 条，即东移、东北移、东南移。并且移出高原的低涡东北移的

次数约占总次数的 27.9%，东移次数约占总次数的 57.4%，东南移次数约占总次数的 11.5%，北移次数约占总次数的 3.2%。综合上述分析给出移出型高原低涡活动集中生成地和平均路径图(图 1)。

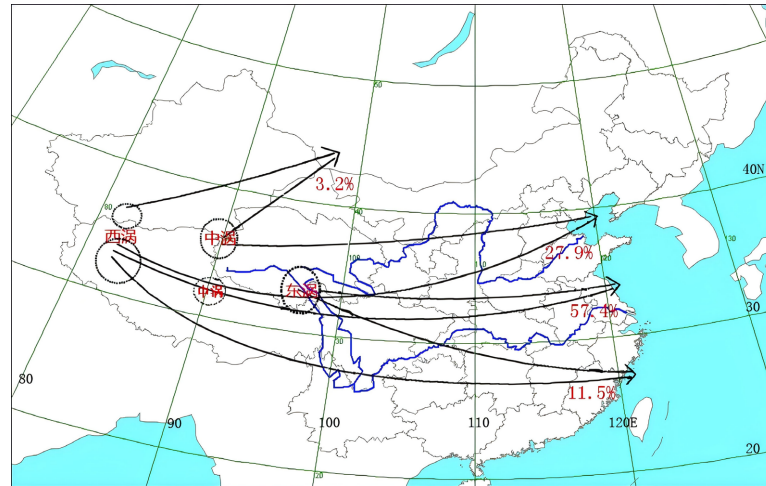


Figure 1. Source regions and movement paths of the Xizang Plateau vortices
图 1. 高原低涡源地及移动路径图

3. 不同路径移出型低涡与降水分布的关系

3.1. 东北移高原低涡降水分布个例分析

3.1.1. 环流形式及移动路径分析



Figure 2. Northeastward movement of the Xizang Plateau vortex from 2 to 7 August 2009 (D indicates the vortex position)
图 2. 2009 年 8 月 2~7 日高原低涡东北移(D 表示低涡位置)

在 8 月 1 日 20 时 500 hPa 高空图上, 中高纬度(60°E, 55°N)附近有 552 hPa 的低涡中心。在 110°E, 40°~60°N 之间为一对浅的西脊东槽, 再向东多短波槽脊活动。青藏高原南部受偏东到东南风控制、北部为西北风控制。副热带高压此时位于 140°E 以东, 30°N 以南地区。850 hPa 上我国整个西北地区都为暖区, 东部广大地区为均压区。到了 2 日 08 时, 500 hPa 在 60°E, 55°N 聚积的冷空气开始南下, 前沿到达青藏高原西南部。冷空气的南下迫使下游系统加深。此时在西藏、四川、青海这 3 个地方的交界处生成

了高原低涡。此时 700 hPa 和 850 hPa 的温度场上在我国的西和西南地区均存在一个强大的暖中心。此后在该移出型高原低涡的整个活动过程中,中低纬度暖空气势力强大并不断北抬,迫使冷空气不断北缩。所以该低涡的移动方向一开始随西风槽底部冷空气向东北方向移动。在 8 月 2 日 20 时之后,中高纬度环流逐渐拉平,且副热带高压位置相对较远,此时低涡开始向东北偏东方向移动。该低涡活动过程中:暖空气迅速北抬时高原低涡移动最快,达到 8~10 km/h 左右,之后移速比较均匀维持在 2~3 km/h 左右,在 8 月 5 日 08 时之后随着西风槽减弱向东北方向移动出海,移速增加到 4 km/h 左右,见图 2。

通过上述分析我们可以看出:低涡生成之前青藏高原在涡源附近区域存在东南风和西北风的切变;700 hPa 以下我国西、西南地区为暖中心;冷空气南下促使高原低涡生成;高原低涡随着西风槽后冷空气一起移动;中纬度暖空气突然向北爆发导致了低涡的东北移向;低涡的移动速度与引导系统的移动、变化有关。

3.1.2. 低涡的降水分布

从 2009 年 8 月 2~7 日低涡过程降水演变图中可以看出:该高原低涡于 2 日 08 时在青藏高原东南部生成。从 2 日 08 时 24 小时降水量图中可以看出,此时青藏高原对应的低涡生成位置有中雨量级的降水区。之后低涡向东北方向移动,到了 3 日 08 时低涡中心位置位于河套南部地区,而在 3 日 08 时 24 小时降水量图中可以看出:在低涡的移动路径上,产生了较大面积中雨量级的降水区;到了 4 日 08 时低涡移至河套东部地区,与前期情况类似,在低涡东移的路径上有小区域的中等量级降水区;到了 5 日 08 时低涡位于河北中东部地区,在低涡快速东移入渤海的位置附近存在一个小面积的大雨量级降水区,之后低涡东北移入我国东北地区;到了 6 日 08 时低涡位于辽宁中部地区,在低涡移动路径上产生小面积的小雨量级降水区;到了 6 日 20 时位于吉林东北部与黑龙江交界处并东移动进入日本海,对我国影响结束,在低涡移动路径上伴有中雨量级降水区。从上述分析可以看出:这次低涡过程中,低涡移动路径上一直伴随着中等量级以上的降水,但是产生明显降水的区域一直比较小,见图 3。

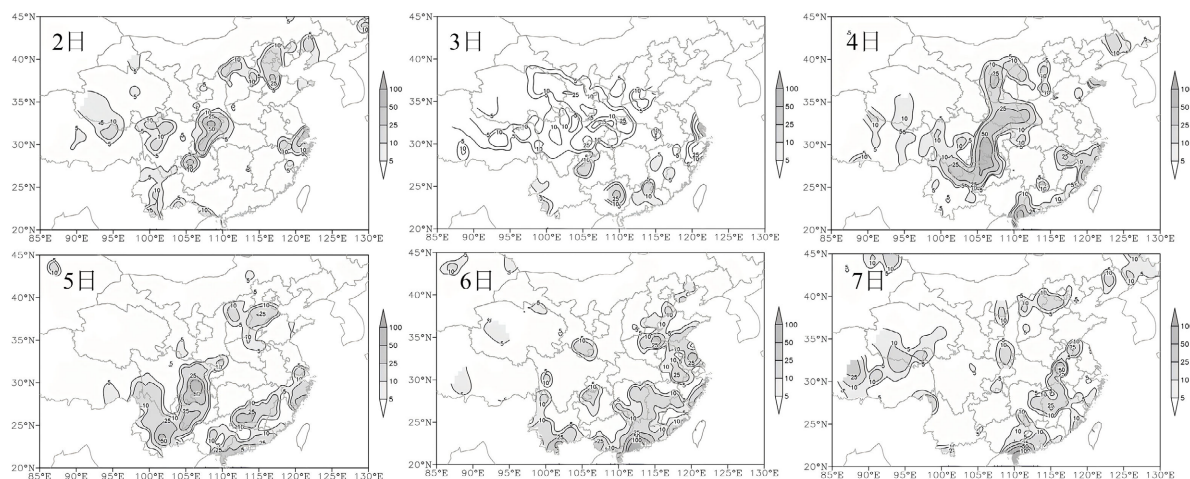


Figure 3. Precipitation distribution from 2 to 7 August 2009

图 3. 2009 年 8 月 2~7 日降水分布图

3.2. 东移高原低涡降水分布个例分析

3.2.1. 环流形式及移动路径分析

6 月 14 日 08 时 500 hPa 高空图上,中高纬度环流形势为一槽一脊型。120°E 以西为一宽深厚的西风槽、以东为一高压脊,在日本北部有一 560 hPa 的低涡中心。副热带高压位于 30°N 以南、130°E 以东附近地区。

环流系统在青藏高原上游的形势场上存在短波槽活动,在青藏高原上游不断有小股冷空气南下、渗透。而 700 hPa 我国西南地区为一暖中心控制。到了 14 日 20 时,整个中高纬度环流发展加强: 120°E 以西的西风槽加深南下、以东的高压脊也随之加强北伸,位于日本北部的低涡向东北方向移动,副热带高压的位置基本维持,此时在西藏、四川、青海这 3 个地方的交界处生成高原低涡,此低涡位于西风槽底部西北气流控制之下。低涡生成之后沿东北偏东方向移动,在 15 日 08 时移至 110°E、35°N 附近。此后中高纬度的系统进一步南压,低涡随着西风槽后的偏北气流移动(见图 4)17 日 20 时之前的移动速度主要受西风槽下游系统(高压脊、日本北部低涡)的影响,由于下游系统较深厚稳定、缓动,所以这个阶段该低涡移速为 2~3 km/h 左右。在 17 日 20 时之后,由于受到副热带高压西伸北抬的影响,使西风槽下游系统减弱、东移十分明显,所以低涡的移动速度增加到约为 6 km/h,移向也由原来的东东南转为向东北方向移动,并于 18 日 20 时东移出海。

通过上述分析可以看出: 低涡生成之前青藏高原南北存在偏东风和偏北风的切变; 700 hPa 以下我国西南地区为暖中心; 冷空气向南爆发与高原低涡生成密切相关; 高原低涡随着西风槽后冷空气一起移动; 副热带高压的移向与此次低涡移向密切相关; 低涡的移动速度与引导系统的移动、变化有关。



Figure 4. Eastward movement of the Xizang Plateau vortex from 14 to 18 June 2008 (D indicates the vortex position)

图 4. 2008 年 6 月 14~18 日高原低涡东移(D 表示低涡位置)

3.2.2. 低涡的降水分布

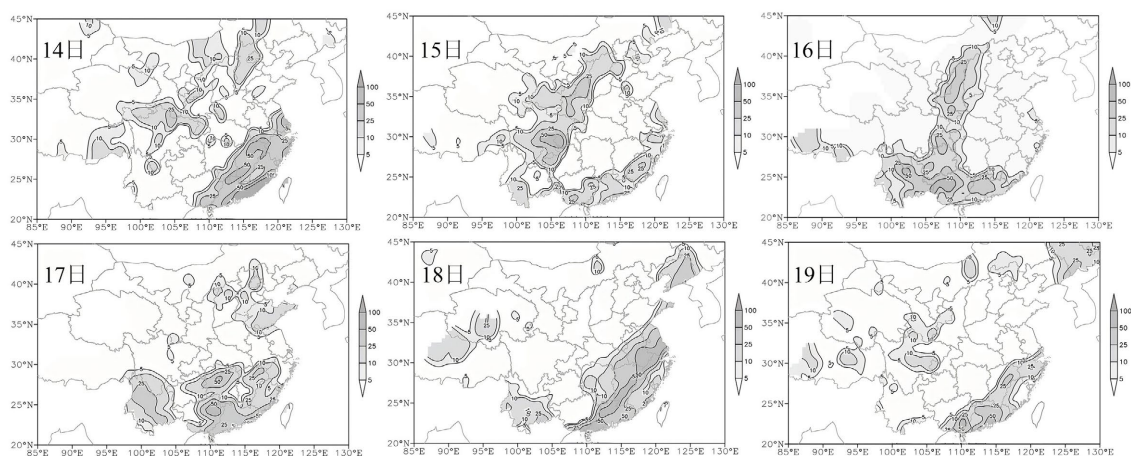


Figure 5. Precipitation distribution from 14 to 19 June 2008

图 5. 2008 年 6 月 14~19 日降水分布图

从2008年6月14日~18日低涡过程的降水量演变图中可以看出：14日20时低涡在青海、西藏、四川这3个地方的交界处生成，从14日08时24小时降水量图中可以看出：此时对应低涡生成位置附近存在中雨量级的明显降水区。到了15日08时低涡移至青海、甘肃交界处，从15日08时24小时降水量图中可以看出：在低涡中心的东南象限存在大面积的大雨量级降水区，15日08时至16日08时低涡转向东南方向移动，到了16日08时同样可以看到，在低涡移动的偏东区域存在小范围的大雨量级的降水区，之后低涡沿长江流域向东移动，在17日08时低涡东南象限的中雨量级以上降水区范围增大，最大降水量级达到暴雨。之后低涡由于受副热带高压西伸北抬的影响，移速明显加快，从18日08时的降水量图中可以看出：该低涡由长江口附近入海，入海前产生了大范围有明显强降水。18日08时后低涡逐渐入海，在19日08时的24小时降水量图中可以看出：低涡入海后，长江口附近的强降水便随之结束，见图5。

3.3. 环流形式及移动路径分析

24日20时500 hPa高空图上，中高纬度为两槽一脊型，100°E以西为一个564 hPa的低压中心，110°E以东为一西风槽，两槽之间为一高压脊。青藏高原的南部受偏东气流的影响、北部受西北气流的控制。到了25日08时，500 hPa上在100°E附近聚积的冷空气开始南下，到了25日20时在西藏、四川、青海这3个地方的交界处生成一高原低涡。之后中纬度系统环流比较平直，冷空气势力较强持续南下。此时副热带高压位于35°N以南，130°E以东地区，之后副热带高压开始逐渐加强西伸，受这两个系统共同影响，该移出型低涡随冷空气向东南方向移动，由于低涡活动过程中，各个影响系统相对比较稳定，无剧烈发展或减弱情况，所以低涡移动速度比较均匀，在2~3 km/h左右，直到29日08时东南移出海，见图6。

通过上述分析我们可以看出：低涡生成之前青藏高原南北存在偏东风和偏北风的切变；700 hPa以下我国西南地区为暖中心；冷空气向南爆发与高原低涡生成密切相关；高原低涡随着西风槽后冷空气一起移动；副热带高压的移向与此次低涡移向密切相关；低涡的移动速度与引导系统的移动、变化有关。

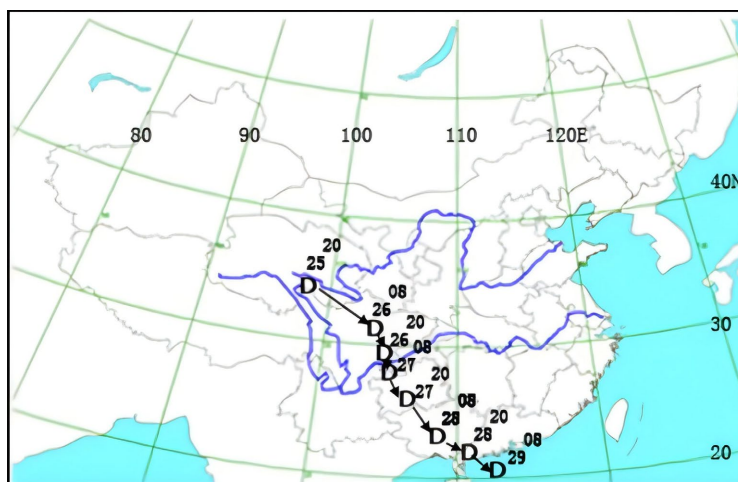


Figure 6. Southeastward movement of the Xizang Plateau vortex from 25 to 29 July 2009 (D indicates the vortex position)

图 6. 2009 年 7 月 25~29 日高原低涡东南移(D 表示低涡位置)

低涡的降水分布

从2009年7月25~29日低涡过程降水量演变图中可以看出：低涡于25日20时在青藏高原东南部生成低涡，在25日08时24小时降水量图中可以看出：此时在低涡生成附近区域有小范围的中等强度降水区。26日08时低涡移至四川中部，从26日08时24小时降水量图中可以看出：在低涡移动路径上有较

大面积中雨量级的降水区。到了 27 日 08 时低涡移至长江中游地区, 从降水量图中可以看出: 低涡移动 24 小时内, 在低涡移动路径上的东南象限产生了较大降水, 最大降水量级达到暴雨以上。28 日 08 时低涡移至广西境内, 并且在低涡的东部象限产生了大范围的暴雨量级以上降水。到了 29 日 08 时低涡中心东移入海, 对我国的影响结束! 见图 7。

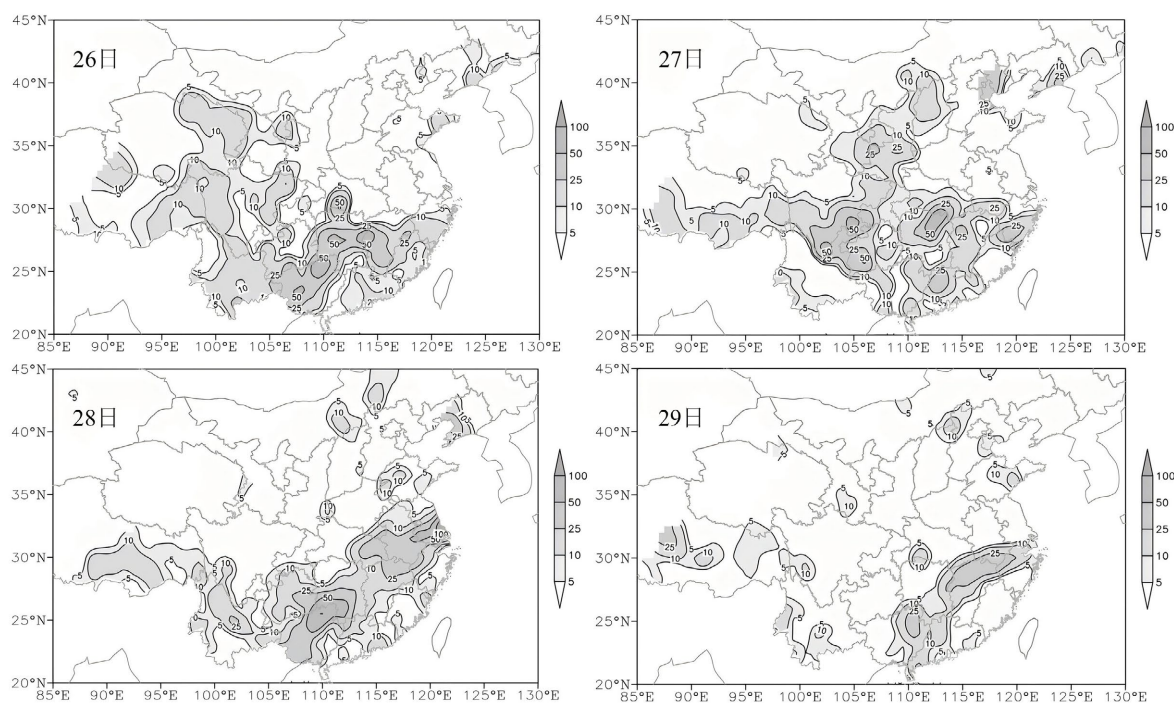


Figure 7. Precipitation distribution from 26 to 29 July 2009

图 7. 2009 年 7 月 26~29 日降水分布图

4. 结论

本研究利用 2000~2009 年 MICAPS 历史天气图资料和美国国家环境预测中心 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料, 对移出型高原低涡的活动特征进行了系统的研究, 在对移出型高原低涡的活动规律进行统计的基础上, 分析、研究不同路径移出型高原低涡与降水分布之间的关系, 结论如下:

(1) 2000~2009 年 6~8 月移出型高原低涡共出现 61 次, 平均每年 6 个, 移出型高原低涡源主要有 3 个: 西部涡源位于西藏狮泉河、改则和申扎之间; 中部涡源有 2 个较为集中的区域, 其一位于托托河以北的青海、西藏和新疆这 3 个地方的交界处, 另一个位于西藏那曲、班戈和安多附近; 东部涡源位于青藏高原东部的曲麻莱和德格地区附近。

(2) 移出型高原低涡的移动路径多数是东移, 约占总数的 57.4%; 其次是东北移, 约占 27.9%; 东南移次数较少, 约占 11.5%; 只有极个别的移出型低涡向北移, 约占 3.2%。移出型高原低涡次数, 6 月份约占移出型高原低涡总次数的 50%; 7 月与 8 月基本持平, 约各占 25%

(3) 移出型高原低涡的移动路径与引导系统的移动、变化有关, 移动路径上有相对应的雨区, 高原低涡移动过程中, 维持和发展的低涡会带来大范围的降水, 并且与低涡的活动呈正相关。

参考文献

- [1] 王鑫, 李跃清, 郁淑华. 青藏高原低涡活动的统计特征研究[J]. 高原气象, 2009, 28(1): 64-71.

-
- [2] 李国平. 青藏高原动力气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 153-213.
 - [3] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理及方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 555-564.
 - [4] 黄楚惠, 李国平, 金龙近, 等. 近 30 年夏季移出型高原低涡的气候特征及其对我国降雨的影响[J]. 热带气象学报, 2015, 31(6): 827-838.
 - [5] 肖递祥, 郁淑华, 屠妮妮. 高原低涡移出高原后持续活动的典型个例分析[J]. 高原气象, 2016, 35(1): 43-54.
 - [6] 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, 64(3): 392-398.
 - [7] 郁淑华, 高文良, 肖玉华. 冷空气对两例高原低涡移出高原影响的分析[J]. 高原气象, 2008, 27(1): 96-103.
 - [8] 黄楚惠, 顾清源, 李国平, 等. 一次高原低涡东移引发四川盆地暴雨的机制分析[J]. 高原气象, 2010, 29(4): 832-839.
 - [9] 宋雯雯, 李国平. 一次高原低涡过程的数值模拟与结构特征分析[J]. 高原气象, 2011, 30(2): 267-276.
 - [10] 李国平, 赵福虎, 黄楚惠, 等. 基于 NCEP 资料的近 30 年夏季青藏高原低涡的气候特征[J]. 大气科学, 2014, 38(4): 756-769.
 - [11] 郁淑华, 高文良, 彭骏. 青藏高原低涡活动对降水影响的统计分析[J]. 高原气象, 2012, 31(3): 592-604.
 - [12] 罗四维. 青藏高原及其附近地区几类天气系统的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1992: 7-53.
 - [13] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1979.