

# Statistical Analysis on the Tibetan Plateau Vortex Activity Characteristics from 2003 to 2012

Kairong Zhang<sup>1,2</sup>, Tianguai Xiao<sup>1\*</sup>, Haining Wei<sup>3</sup>, Zuoshun Huang<sup>3</sup>, Yaopeng Cui<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>Yalong River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan

<sup>3</sup>Benxi Bureau of Meteorological in Liaoning Province, Benxi Liaoning

Email: [nuistdqkx@qq.com](mailto:nuistdqkx@qq.com), \*[xiaotianguai@cuit.edu.cn](mailto:xiaotianguai@cuit.edu.cn)

Received: Jun. 19<sup>th</sup>, 2015; accepted: Jul. 6<sup>th</sup>, 2015; published: Jul. 9<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## Abstract

**Abstract:** In this paper, based on the Tibetan Plateau vortex data, we investigated the Tibetan Plateau Vortex Activity Characteristics from 2003 to 2012. The results showed that: Tibetan Plateau vortex generated in eastern plateau and was concentrated in Tanggula Mountains, Zado, Dege, Qumalai and Qaidam. The Tibetan Plateau vortex which was moving out of the plateau mainly generated in eastern plateau and was concentrated in Qumalai. The Tibetan Plateau vortex occurrences obviously increased from 2000 to 2009 on the whole, reduced in 2010 and continued to increase from 2011 to 2012. The Tibetan Plateau vortex occurrences were concentrated from April to September every year, the most in June. 93.0% of the vortex duration was within 60 h. With the increase of the duration, the Tibetan Plateau vortex occurrences reduced significantly. The Tibetan Plateau vortex which was moving out of the plateau mainly included three routes: northeast, southeast, and east. The districts into which the Tibetan Plateau vortex moved were mainly distributed in Gansu, Sichuan, Shaanxi and Ningxia.

## Keywords

Tibetan Plateau Vortex, Plateau Vortex Moving out of the Plateau, Source Region, Duration, Moving Route

## 2003~2012年高原低涡活动特征统计分析

张凯荣<sup>1,2</sup>, 肖天贵<sup>1\*</sup>, 魏海宁<sup>3</sup>, 黄作顺<sup>3</sup>, 崔曜鹏<sup>3</sup>

\*通讯作者。

<sup>1</sup>成都信息工程大学大气科学学院, 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都

<sup>2</sup>雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都

<sup>3</sup>辽宁省本溪市气象局, 辽宁 本溪

Email: [nuistdqkx@qq.com](mailto:nuistdqkx@qq.com), [xiaotiangui@cuit.edu.cn](mailto:xiaotiangui@cuit.edu.cn)

收稿日期: 2015年6月19日; 录用日期: 2015年7月6日; 发布日期: 2015年7月9日

## 摘要

本文以高原低涡资料为基础, 统计分析了2003~2012年高原低涡的活动规律, 结果表明: 高原低涡主要生成于高原东部, 生涡高频区主要分布在唐古拉山、杂多、德格、曲麻莱和柴达木五个地区。移出高原的高原低涡主要生成于高原东部, 高原移出低涡高频生成源地在曲麻莱最为集中。高原低涡出现次数的年际变化在2003~2009年呈明显增加趋势, 2010年出现转折次数减少, 2011~2012年继续增加。高原低涡集中出现在每年的4~9月, 其中6月份最多。93.0%的高原低涡持续时间在60h以内。随着持续时间的增加, 高原低涡的出现次数显著减少。高原移出低涡的路径主要集中在东北、东南、东三个方向, 移入的地区主要分布在甘肃、四川、陕西和宁夏四个地区。

## 关键词

高原低涡, 移出低涡, 生成源地, 持续时间, 移动路径

## 1. 引言

高原低涡是青藏高原夏季主要的降水系统之一, 高原初生的低涡多为暖性结构[1]。在有利天气形势下, 高原低涡主要影响高原西部、中部的降水[2]。个别高原低涡会东移出高原, 夏季常在四川地区引发区域性暴雨天气过程, 东移出川时, 引起我国中东部(包括长江中下游、黄淮流域、甚至华北地区)一次大范围暴雨、雷暴等灾害性天气[3]-[5], 以及城市内涝、山洪、滑坡、泥石流等次生灾害[2]。

吴永森、陈乾(1964)提出了高原低涡的客观事实[6] [7], 叶笃正、高由禧(1979)指出高原低涡的水平尺度约 500 km, 垂直厚度约 2~3 km, 在一定条件下, 它们会移出高原[8]。1977 年以后, 较大规模的高原低涡研究开始涌现[9], 青藏高原低值系统协作组(1978)和青藏高原气象科学研究拉萨会战组(1981)对于高原低涡的发生发展进行了大量的天气学研究, 取得了开创性的研究成果[10] [11]。高原低涡是 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[12], 初期水平尺度为 400~500 km, 发展盛期可达 600~800 km, 生命史一般为 1~3 d [1] [2]。高原低涡在低涡中心附近 400 hPa 以下以辐合为主, 无辐散层在 400 hPa~300 hPa 之间, 300 hPa 以上为辐散层, 在其中心附近自低层到 100 hPa 均为上升运动, 低涡降水主要集中在低涡中心附近 400 km 范围内, 初生低涡降水中心在低涡东南侧, 成熟涡降水中心在低涡东侧。低涡形成后, 一般沿切变线东移, 多数在高原东部消亡或者减弱并入东移低槽, 少数低涡可移出高原影响下游地区[1]。

孙国武等(1987)研究发现对流层上部大尺度环境场对高原低涡发展东移有重要影响[13]。罗四维等(1991)通过对 1979 年一次高原西部低涡的诊断分析得出, 地面感热加热对低涡的生成发展起决定性作用[14]。李国平(2005)研究高原边界层对高原低涡结构的动力作用时发现, 高原上较强的边界层动力“抽吸泵”作用对高原低涡的流场结构及发展有显著作用[15]。王鑫等(2009)、唐信英等(2014)分别对 1980~2004 年和 1998~2011 年青藏高原的低涡活动特征做了统计分析[16] [17]。李国平等(2014)基于 NCEP 资料统计

了近 30 年夏季青藏高原低涡的特征, 并对低涡高发年和低发年的低频大气环流场进行了对比分析[18]。郁淑华等(2002, 2006~2008, 2012)对高原低涡的观测事实、高原低涡对降水影响的统计分析、高原东移低涡的大尺度条件、冷空气对高原低涡移出高原的影响, 影响我国东部洪涝灾害的高原东移低涡的环流场等进行了详细的研究[19]-[25]。柳草等(2009)通过对 2001 年一次东移高原低涡的动力结构特征研究发现, 低涡处于高原上时, 涡区在边界层一直有水汽辐合, 移出高原后在低空只存在微弱的水汽辐合甚至辐散[26]。王伏村(2014)通过对 2012 年一次高原移出低涡引起下游地区大暴雨的个例分析认为, 高原低涡向北移出高原与冷暖平流的南北向分布有密切关系, 高空位涡下传是高原低涡发展的原因之一[27]。由此可见, 通过对高原低涡活动规律进行统计和分析, 对于高原下游地区暴雨天气过程的预报具有重要意义。

前人对于 2003~2011 年高原低涡的活动特征已有统计研究, 主要是对夏季高原低涡的整体活动特征做了具体统计分析[16] [18], 对于全年高原低涡的分析侧重于时间分布和其移出高原的影响系统[17]。本文利用科学出版社出版的《青藏高原低涡切变线年鉴》(2003~2012) [12], 统计分析 2003~2012 年 10 年中高原低涡及高原移出低涡的空间分布、时间变化、生命史、移出的地区和移向等活动特征。

## 2. 资料和方法

本文所用资料为中国气象局成都高原气象研究所编撰的《青藏高原低涡切变线年鉴》(2003~2012) [12]。本文采用线性倾向估计方法对气象要素资料序列进行趋势分析, 在判断变化趋势程度是否显著时, 对相关系数进行 T 检验[28]。

## 3. 高原低涡活动的空间分布

高原东(西)部低涡指低涡中心位置分别在  $92.5^{\circ}\text{E}$  以东(西)的低涡[12]。由图 1 可见, 2003~2012 年共生成高原低涡 457 个, 高原低涡主要生成于高原东部, 共 376 个, 占 82.3%, 高原西部仅生成 81 个, 占 17.7%, 纬向分布来看, 绝大多数高原低涡生成集中在  $32^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 。生涡高频区主要有唐古拉山、杂多、德格、曲麻莱和柴达木五个地区, 另外还有申扎、那曲等弱高频生涡地区, 这与王鑫等(2009)统计的 1980~2004 年 5~9 月高原低涡生成源地的高频中心(那曲东北部、德格东北部、松潘附近和申扎至改则一带)有所不同[16]。

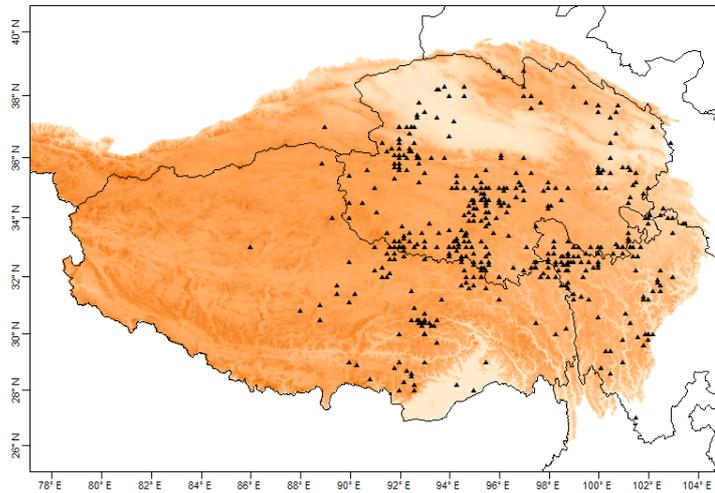
高原低涡移出高原指低涡中心移出海拔  $\geq 3000\text{ m}$  的青藏高原地区[12]。由图 2 可见, 2003~2012 年移出高原的高原低涡共 100 个, 移出高原的概率为 21.9%, 其中高原东部低涡移出率为 22.3%, 高原西部低涡移出率为 19.8%。移出高原的高原低涡主要生成于高原东部, 占 84%, 高原西部仅生成 16 个, 占 16%。移出高原的低涡和总的高原低涡高频生成源地基本一致, 其中在曲麻莱最为集中。这 1998~2004 年 5~9 月移出高原的高原低涡的主要生成源地(羌塘、那曲、柴达木、松潘)有所不同[29]。

## 4. 高原低涡活动的时间分布

### 4.1. 高原低涡活动的年际变化

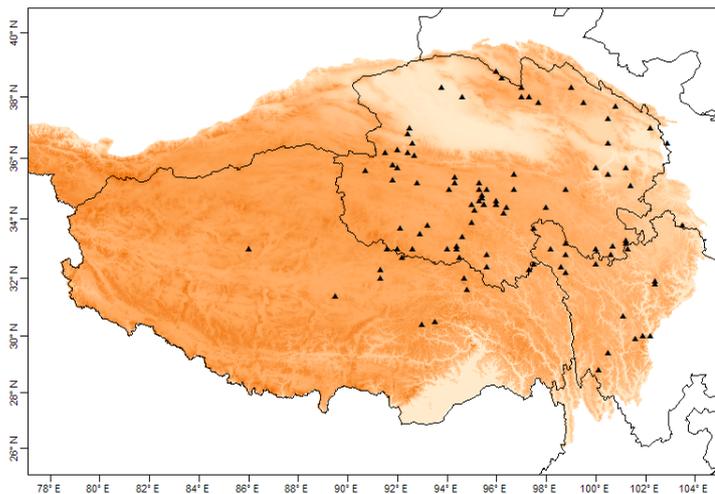
由图 3 可见, 高原低涡在 2009 年出现次数最多, 为 57 次, 而在 2003 年出现次数最少, 仅 33 次, 年平均出现次数为 45.7 次。高原低涡按照地理位置分为高原东部低涡和高原西部低涡。高原东部低涡同样在 2009 年出现次数最多, 为 44 次, 而在 2003 年出现次数最少, 仅 25 次, 年平均出现 37.6 次。高原东部低涡和高原低涡的年际变化曲线基本一致, 2003~2009 年低涡次数呈明显增加趋势, 2010 年出现转折次数减少, 2011~2012 年继续增多。高原西部低涡在 2007 年出现次数最多, 为 14 次, 而在 2010 年和 2011 年出现次数最少, 均为 4 次, 年平均出现 8.1 次。

通过计算, 高原低涡年出现次数以 2.4 次/a 的倾向率增加, 相关系数为 0.619, 通过了  $\alpha = 0.05$  的显



**Figure 1.** The distribution map of source region of the Tibetan Plateau vortex in 2003-2012

**图 1.** 2003~2012 年高原低涡生成源地分布图



**Figure 2.** The distribution map of source region of the Tibetan Plateau vortex moving out of the plateau in 2003-2012

**图 2.** 2003~2012 年移出高原的高原低涡生成源地分布图

显著性检验，呈显著性增加趋势；高原东部年出现次数以 2.7 次/a 的倾向率增加，相关系数为 0.775，通过了  $\alpha = 0.01$  的显著性检验，呈显著性增加趋势；高原西部年出现次数以 -0.2 次/a 的倾向率减少，未通过显著性检验，呈不显著减少趋势。

由图 4 可见，高原低涡在 2012 年移出次数最多，为 16 次，而在 2006 年和 2009 年移出次数最少，均为 6 次，年平均移出次数为 10 次。高原东部低涡同样在 2012 年移出次数最多，为 14 次，而在 2006 年和 2009 年移出次数最少，均为 4 次，年平均移出 8.4 次。高原东部低涡和高原低涡的年际变化曲线基本一致，2009 年之前移出次数呈振荡趋势，2009 年之后明显增多。高原西部低涡在 2005 年移出次数最多，为 4 次，而在 2004 年和 2011 年移出次数均为 0，年平均移出 1.6 次。

通过计算，高原年移出次数以 0.8 次/a 的倾向率增加，相关系数为 0.608，通过了  $\alpha = 0.05$  的显著性检验，呈显著性增加趋势；高原东部年移出次数以 0.9 次/a 的倾向率增加，相关系数为 0.631，通过了  $\alpha = 0.05$

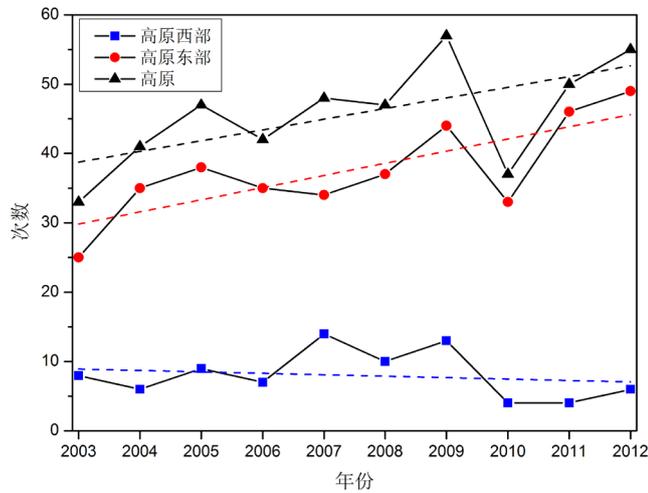


Figure 3. The interannual changes and linear trend of the Tibetan Plateau vortex occurrences in 2003-2012

图 3. 2003~2012 年高原低涡出现次数年变化及线性趋势

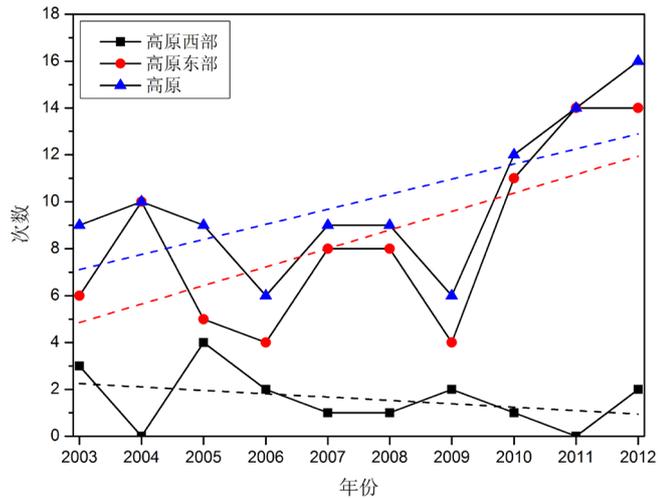


Figure 4. The interannual changes and linear trend of the Tibetan Plateau vortex moving out of the plateau occurrences in 2003-2012

图 4. 2003~2012 年高原低涡移出次数年变化及线性趋势

的显著性检验,也呈显著性增加趋势;高原西部年移出次数以 $-0.1$ 次/a 的倾向率减少,未通过显著性检验,呈不显著减少趋势。

#### 4.2. 高原低涡活动的月际变化

由图 5 可见,高原低涡集中出现在每年的 4~9 月,其中 6 月份最多,为 94 次,12 月份最少,仅有 5 次,月平均出现 38.1 次。高原东部低涡的月际变化和高原低涡基本一致,主要出现在 4~9 月,其中 6 月份最多,为 85 次,而 2 月份最少,仅有 1 次,月平均出现 31.3 次。而高原西部低涡集中出现在每年的 3~6 月,其中 5 月份最多,为 19 次,9 月、10 月和 12 月最少,均仅有 1 次,月平均出现 6.8 次。

由图 6 可见,移出高原的高原低涡集中出现在每年的 4~9 月,其中 6 月份最多,为 32 次,2 月、11 月和 12 月最少,均未出现高原移出低涡,月平均出现 8.3 次。高原东部低涡移出次数的月际变化和高原低涡基本一致,主要出现在 4~9 月,其中 6 月份最多,为 24 次,而 2 月、11 月和 12 月最少,均未出现,

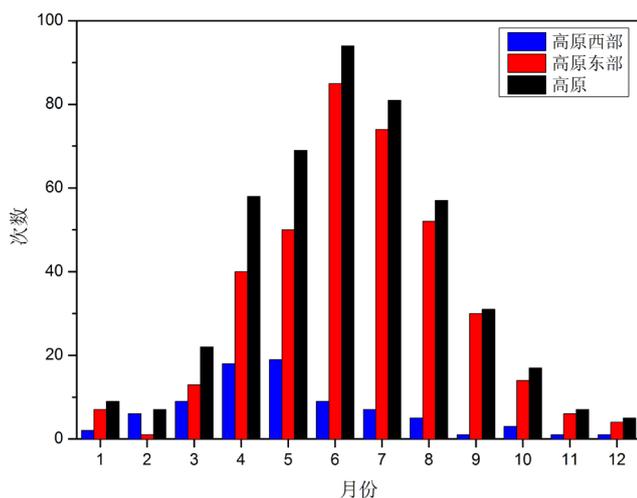


Figure 5. The monthly changes of the Tibetan Plateau vortex occurrences in 2003-2012

图 5. 2003~2012 年高原低涡出现次数月变化

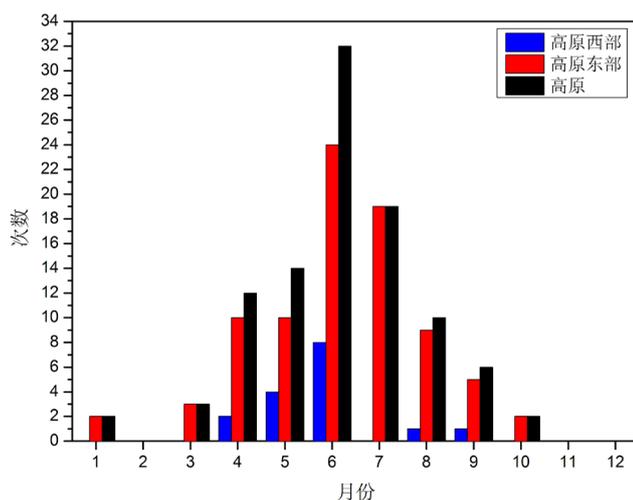


Figure 6. The monthly changes of the Tibetan Plateau vortex occurrences moving out of the plateau in 2003-2012

图 6. 2003~2012 年高原低涡移出次数月变化

月平均出现 7 次。而高原西部低涡移出集中出现在每年的 5~6 月，其中 6 月份最多，为 8 次，4 月、8 月和 9 月分别移出 2 次、1 次和 1 次，其他月份的高原西部低涡未移出高原，月平均出现 1.3 次。

## 5. 高原低涡的生命史

由图 7 可见，在 2003~2012 年 457 次高原低涡中，高原低涡持续时间达 12 h 的有 216 次，占 47.3%，持续达 24 h 的高原低涡有 103 次，占 22.5%，持续达 36 h 的高原低涡有 50 次，占 10.9%，持续时间在 60 h 以内的高原低涡有 425 次，占总低涡数的 93.0%。随着持续时间的增加，高原低涡的次数显著减少，持续时间在 96 h 及以上的共 13 次，仅占总低涡数的 2.8%。持续时间达 180 h 的仅有 1 次。

由图 8 可见，在 2003~2012 年 100 次移出的高原低涡中，高原低涡的持续时间均在 24 h 及以上，持续时间在 60 h 及以下的高原低涡占移出高原低涡总数的 71%，持续时间在 84 h 及以下的高原低涡占移出

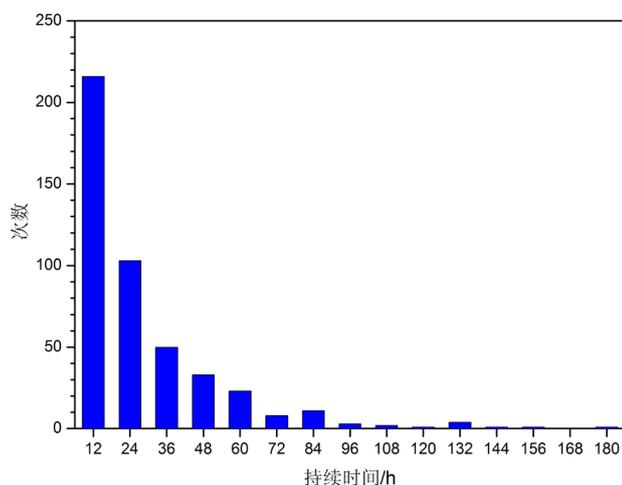


Figure 7. The distribution map of the Tibetan Plateau vortex duration in 2003-2012

图 7. 2003~2012 年高原低涡生命史的统计分布图

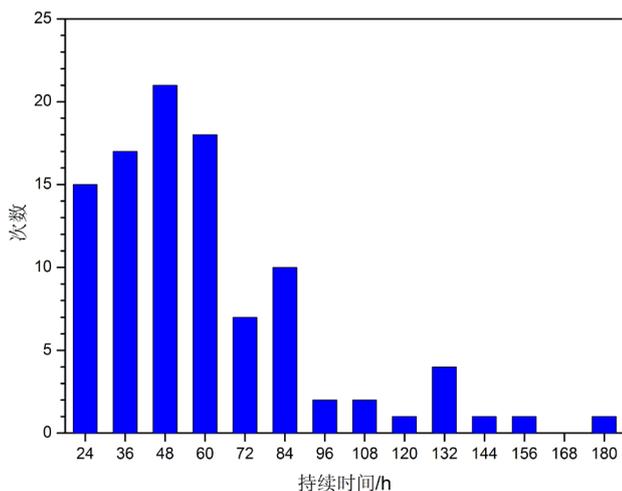


Figure 8. The distribution map of the Tibetan Plateau vortex duration moving out of the plateau in 2003-2012

图 8. 2003~2012 年移出高原的高原低涡生命史统计分布图

高原低涡总数的 88%，持续 96 h 及以上的只占 12%。移出高原低涡持续时间最长达 180 h，仅有 1 次。

## 6. 高原低涡移出高原的地区和移向统计

由表 1 可见，100 次移出的高原低涡，最终移入的地区有 7 个省(直辖市、自治区)，分别是新疆、甘肃、宁夏、四川、陕西、重庆、贵州、云南、内蒙古。移入甘肃的最多，占移出高原低涡总数的 43%，四川其次，占 29%，陕西第三，占 11%，宁夏第四，占 8%，其余四个地区所占的比例均在 3% 及以下。从分年份的统计我们还可以看出，每年高原低涡移入甘肃和四川的次数所占比例都很高，除了 2009 年每年也都有高原低涡移入陕西，这三个地区是高原低涡移入的主要地区，其他 5 个地区仅有个别年份有高原低涡移入。

由图 9 和表 2 可见，高原低涡移出高原的移动路径共有 7 个方位，分别为西北、北、东北、东、东南、南和西南，东北路径的最多，占 41%，对应甘肃、宁夏和内蒙古，东南路径的其次，占 27%，对应

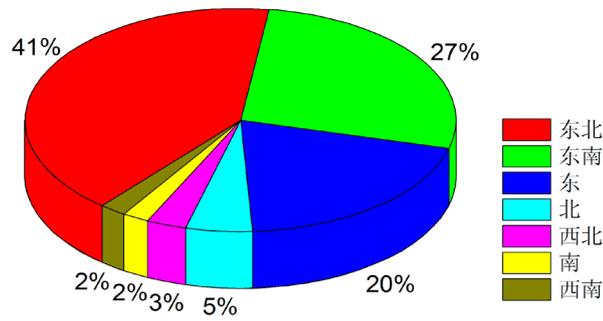


Figure 9. The distribution map of moving routes of the Tibetan Plateau vortex moving out of the plateau in 2003-2012

图 9. 2003~2012 年高原低涡移出高原的移动路径统计图

Table 1. The distribution of districts the Tibetan Plateau vortex moving into moving out of the plateau in 2003-2012

表 1. 2003~2012 年高原移出低涡移入的地区分布

年份	新疆	甘肃	宁夏	四川	陕西	重庆	贵州	云南	内蒙古	合计
2003		3	2	3	1					9
2004		5		2	2	1				10
2005		5		3	1					9
2006		1	1	2	2					6
2007		2		4	1			1	1	9
2008		3		5	1					9
2009		1	2	2			1			6
2010		8		2	1				1	12
2011	1	9	1	1	1				1	14
2012		6	2	5	1	1		1		16
合计	1	43	8	29	11	2	1	2	3	100

Table 2. The distribution of moving routes of the Tibetan Plateau vortex moving out of the plateau in 2003-2012

表 2. 2003~2012 年高原低涡移出高原的移动路径统计表

年份	NW	N	NE	E	SE	S	SW	合计
1 月			1	1				2
2 月								0
3 月		1	1		1			3
4 月	1		1	6	4			12
5 月			7	2	5			14
6 月		3	16	4	9			32
7 月	1		8	3	5	2		19
8 月	1	1	4	1	1		2	10
9 月			2	3	1			6
10 月			1		1			2
11 月								0
12 月								0
合计	3	5	41	20	27	2	2	100

四川、重庆、云南和贵州, 向东路径第三多, 占 20%, 对应陕西, 东北、东和东南三种移动路径的高原低涡共占移出低涡总数的 88%, 其余 4 种路径一共仅占 12%, 南和西南路径所占比例最少, 均仅为 2%。

由表 2 可见, 除了未发生高原低涡移出的 2 月、11 月和 12 月外, 东北、东南和东三种移动路径所占比例高, 表明高原低涡移出高原以东北、东南、东三个方向移动为主, 其余 5 中移动方向均零散出现在 3、4、6、7、8 五个月份中。

## 7. 结论

本文较详细的统计了 2003~2012 年高原低涡的空间分布、时间变化、生命史、移出的地区和移向等活动特征, 得到以下主要结论:

1) 高原低涡主要生成于高原东部, 纬向分布来看, 绝大多数高原低涡生成集中在  $32^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 。生涡高频区主要分布在唐古拉山、杂多、德格、曲麻莱和柴达木五个地区。低涡移出高原的概率为 21.9%, 移出高原的高原低涡主要生成于高原东部, 占 84%, 高原移出低涡高频生成源地和高原低涡生成源地分布基本一致, 在曲麻莱最为集中。

2) 高原东部低涡和高原低涡的年际变化曲线基本一致, 2003~2009 年低涡次数呈明显增加趋势, 2010 年出现转折次数减少, 2011~2012 年继续增多。高原西部低涡在 2007 年出现次数最多, 而在 2010 年和 2011 年出现次数最少。高原东部移出低涡和高原移出低涡的年际变化曲线基本一致, 2009 年之前移出次数呈振荡趋势, 2009 年之后明显增多。高原西部低涡在 2005 年移出次数最多, 而在 2004 年和 2011 年无移出低涡。

3) 高原低涡集中出现在每年的 4~9 月, 其中 6 月份最多, 12 月份最少, 月平均出现 38.1 次。高原东部低涡的月际变化和高原低涡基本一致, 月平均出现 31.3 次, 而高原西部低涡集中出现在每年的 3~6 月, 其中 5 月份最多, 9 月、10 月和 12 月最少, 月平均出现 6.8 次。高原移出低涡出现次数的月际变化和高原低涡基本相同, 高原西部低涡移出集中出现在每年的 5~6 月, 其中 6 月份最多。

4) 93.0%高原低涡持续时间在 60 h 以内。高原低涡随着持续时间的增加, 高原低涡的次数显著减少, 持续时间在 96 h 及以上的低涡次数仅占 2.8%。88%高原移出低涡的持续时间在 84 h 以内, 持续时间在 96 h 及以上的低涡次数仅占 12%。

5) 高原移出低涡移入的地区主要分布在甘肃、四川、陕西和宁夏四个地区。高原移出低涡的路径主要集中在东北、东南、东三个方向。

## 基金项目

国家自然科学基金(91337215)、国家重点基础研究发展计划 973 项目(2012CB417202)、四川省科技项目(2013JY0063)资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等 (2007) 天气学原理和方法. 第 4 版, 气象出版社, 北京, 562.
- [2] 李国平 (2012) 高原涡、西南涡研究的新进展及有关科学问题. *沙漠与绿洲气象*, **3**, 1-6.
- [3] 顾震潮 (1949) 中国西南低气压形成时期之分析举例. *气象学报*, **1**, 61-63.
- [4] 刘晓冉, 李国平 (2006) 青藏高原低涡研究的回顾与展望. *干旱气象*, **1**, 60-66.
- [5] 李江萍, 王式功, 孙国武 (2012) 高原低涡研究的回顾与展望. *兰州大学学报(自然科学版)*, **4**, 53-60.
- [6] 吴永森 (1964) 高原夏季 500 hPa 低涡的初步研究. *青海省气象论文集(二)*, 18-19.
- [7] 陈乾 (1964) 青藏高原地区 500 hPa 低涡的天气气候分析. 兰州天动会议技术资料, 兰州, 27-29.
- [8] 叶笃正, 高由禧 (1979) 青藏高原气象学. 科学出版社, 北京, 122-126.

- [9] 陈功, 李国平, 李跃清 (2012) 近 20 年来青藏高原低涡的研究进展. *气象科技进展*, **2**, 6-12.
- [10] 青藏高原低值系统协作组 (1978) 盛夏青藏高原低涡发生发展的初步研究. *中国科学*, **3**, 225-231.
- [11] 青藏高原气象科学研究拉萨会战组 (1981) 夏半年青藏高原 500 hPa 低涡切变线的研究. 科学出版社, 北京, 122.
- [12] 李跃清, 郁淑华, 彭骏, 徐会明 (2003-2012) 青藏高原低涡切变线年鉴. 科学出版社, 北京.
- [13] 孙国武, 陈葆德, 吴继成, 刘东汉 (1987) 大尺度环境场对青藏高原低涡发展东移的动力作用. *高原气象*, **3**, 225-233.
- [14] 罗四维, 杨洋, 吕世华 (1991) 一次青藏高原夏季低涡的诊断分析研究. *高原气象*, **1**, 1-12.
- [15] 李国平, 徐琪 (2005) 边界层动力“抽吸泵”对青藏高原低涡的作用. *大气科学*, **6**, 965-972.
- [16] 王鑫, 李跃清, 郁淑华, 蒋兴文 (2009) 青藏高原低涡活动的统计研究. *高原气象*, **1**, 64-71.
- [17] 唐信英, 周长艳, 王鸽 (2014) 青藏高原低涡活动特征统计分析. *高原山地气象研究*, **3**, 41-44.
- [18] 李国平, 赵福虎, 黄楚惠, 牛金龙 (2014) 基于 NCEP 资料的近 30 年夏季青藏高原低涡的气候特征. *大气科学*, **4**, 756-769.
- [19] 郁淑华 (2002) 高原低涡东移过程的水汽图像. *高原气象*, **2**, 199-204.
- [20] 郁淑华, 高文良 (2006) 高原低涡移出高原的观测事实分析. *气象学报*, **3**, 392-399.
- [21] 郁淑华, 高文良, 顾清源 (2007) 近年来影响我国东部洪涝的高原东移涡环流场特征分析. *高原气象*, **3**, 466-475.
- [22] 郁淑华, 肖玉华, 高文良 (2007) 冷空气对高原低涡移出青藏高原的影响. *应用气象学报*, **6**, 737-747.
- [23] 郁淑华, 高文良, 肖玉华 (2008) 冷空气对两例高原低涡移出高原影响的分析. *高原气象*, **1**, 96-103.
- [24] 郁淑华, 高文良 (2008) 青藏高原低涡移出高原的大尺度条件. *高原气象*, **6**, 1276-1287.
- [25] 郁淑华, 高文良, 彭骏 (2012) 青藏高原低涡活动对降水影响的统计分析. *高原气象*, **3**, 592-604.
- [26] 柳草, 李跃清, 李德俊 (2009) 高原低涡移出高原的动力结构特征分析. *高原山地气象研究*, **3**, 8-11.
- [27] 王伏村, 付双喜, 张德玉, 阙龙凯, 代德彬 (2014) 一次引发河西走廊大暴雨的高原低涡的机制分析. *气象*, **4**, 412-423.
- [28] 魏凤英 (2007) 现代气候统计诊断与预测技术. 第 2 版, 气象出版社, 北京, 30-32, 37-39.
- [29] 孙国武 (1987) 青藏高原气象科学研究成果在天气预报工作中的应用. In: 青藏高原气象科研拉萨会战组, Ed., *夏半年青藏高原对我国天气的影响*, 科学出版社, 北京, 1-11.