

文章编号: 2096-1618(2018)06-0675-06

近40年来西北低涡的统计

梁 宁¹, 刘海文², 潘丽丽²

(1. 成都信息工程大学, 四川 成都 610225; 2. 中国民航大学空中交通管理学院, 天津 300300)

摘要:为了研究西北低涡的长期变化特征,利用CFSR 1日4次再分析资料,采用常规的统计方法,对1979–2016年夏季(6–8月)西北低涡的中心位置、移动情况、维持时间长短等方面进行统计,主要结果有:(1)从气候学上讲,夏季西北低涡中心位置主要位于两个区域,一个位于 $37.5^{\circ}\text{N} \sim 38.5^{\circ}\text{N}$, $97.5^{\circ}\text{E} \sim 99^{\circ}\text{E}$,占总数的22.4%;另一个则位于 35°N , $97.5^{\circ}\text{E} \sim 100.5^{\circ}\text{E}$,占总数的15.5%。(2)近38年来,夏季共出现1306例西北低涡,平均每年34.4个,低涡次数呈减少趋势。(3)在夏季3个月中,6月西北低涡的出现次数最多,7月次之,8月最少,而且西北低涡白天出现的概率大于夜间。(4)在所有西北低涡中,有41.2%的低涡属于移出型。(5)西北低涡的维持时间较短,2/3以上的西北低涡维持在1 d以内,维持时间超过2 d的低涡多在7月出现,且91%属于移出型低涡。(6)38年来,夏季西北低涡维持时间超过1 d以上的移出型低涡主要向东南方向、正东方向、偏南方向、东北方向移动,其中东南移向的低涡个数最多,东北移向和正东移向中主要由维持时间在1 d以上的西北低涡所构成。

关键词:气候学;西北低涡;统计分析;气候特征;移动方向

中图分类号:P447

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2018.06.013

0 引言

西北低涡,又被称为青海热低压或柴达木低涡^[1],主要生成于青海、甘肃、四川边境地区和柴达木盆地,在700 hPa最明显^[2]。Wang等^[3]认为特殊的地形条件有利于中层中尺度涡旋的发展,而西北低涡被认为是下垫面热力作用和青藏高原东北部柴达木盆地特殊地形共同影响下而生成的地方性涡旋^[4]。

研究表明,西北低涡虽然可能给柴达木盆地地区带来强降水天气,但东移的低涡中有74%给所经地区造成暴雨,有的甚至达特大暴雨^[1]。如2012年北京721暴雨^[5-6];1979年7月26–27日在银川、呼和浩特、东胜出现的暴雨天气^[1];2000年7月4至6日,华北南部出现的一次大范围大暴雨天气过程^[7];2013年7月1日河北省东部的大暴雨过程^[8]等。都是由于东移的西北低涡所导致。

由于赤道外气旋在气候系统中起着十分重要的作用^[9],国内外对赤道外气旋和反气旋的位置、频率以及强度都进行了大量的研究。Raible等^[10]认为,早在19世纪晚期,Koppen和Van Bebber就通过手工方法对气旋的轨迹和气旋的空间分布进行了统计。近些年来,中国关于西南低涡和高原低涡的统计和气候学有大量研究。李黎等^[11]使用再分析等资料,对春季西南

低涡年际和年代际变化特征进行了分析和研究,认为春季西南低涡出现次数具有明显的下降趋势,并且具有显著的年际和年代际变化特征;Zhou等^[12]还发现了和西南低涡相联系的双西南低涡现象,并认为两涡都是暖涡和湿涡。Feng^[13]以及Fu等^[14]也分别对西南低涡的进行了气候学分析和研究。

上述表明,和西南低涡以及高原低涡有大量研究成果相比,关于西北低涡次数的长期统计和研究工作还相对较少。虽然荣涛^[15]和贺勤等^[4]对西北低涡进行了统计,但都是通过历史天气图进行普查,且荣涛的统计年份为1987–1991年以及1998–2022年,贺勤统计的是1959–1976年以及1986–1995年,这些研究存在着统计年限较短,且资料不连续,所用的再分析资料的空间和时间分辨率都较低。文中利用1979–2016年夏季高时空分辨率的再分析资料,进一步对西北低涡出现的次数、区域位置以及维持时间进行统计,对开展西北低涡出现次数的长期变化特征的研究具有重要意义。

1 资料与方法

1.1 资料

所用资料取自CFSR 1979–2016年夏季700 hPa再分析资料,空间分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$,时间分辨率为6 h(02、08、14、20时,北京时),气象要素场包括位势高度

收稿日期:2018-03-11

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(91337215、41475051);四川省科技计划项目应用基础计划资助项目(2015JY0109)

场和风矢量场。

1.2 西北低涡的识别方法

参照荣涛^[15]、丁治英等^[2]以及杜继稳^[16]对西北低涡的定义,在不考虑西北低涡来源的条件下,一般将具有以下特征的低涡,称之为西北低涡。

- (1) 低涡出现的区域范围:35 °N ~ 40 °N,97 °E ~ 105 °E;
- (2) 700 hPa 高度场有气旋式环流;
- (3) 700 hPa 有一根闭合的等高线,或风速 ≥ 4 m/s 的气旋式环流;
- (4) 水平尺度直径 ≥ 200 km;
- (5) 生命周期至少维持 12 h。

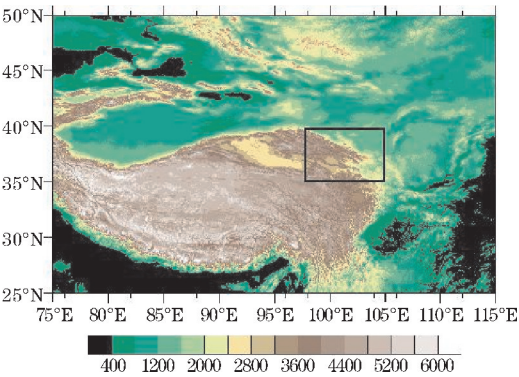


图1 西北低涡的统计区域及周围地区的地形分布
(黑色边框区域为文中低涡的统计范围)

由于西北低涡主要生成于青海、甘肃、四川边境地区和柴达木盆地,根据荣涛^[15]、丁治英^[2]以及杜继稳^[16]文中西北低涡的出现范围,图 1 给出了统计西北低涡区域范围。由图 1 可见,所统计的区域正好位于青藏高原的东北部、柴达木盆地的西部,包括河西走廊的中部地区。

2 夏季西北低涡出现次数的空间分布

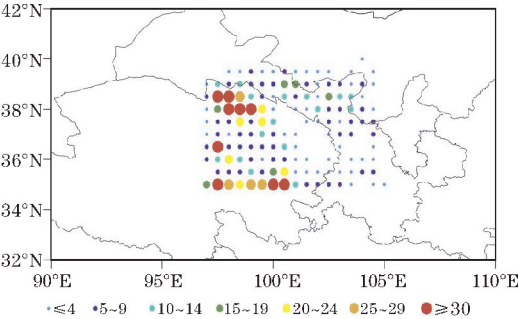


图2 1979–2016 年夏季西北低涡出现次数的区域分布
(圆点代表该网格点出现的低涡次数)

图 2 给出了 38 年来统计区域范围内夏季西北低

涡出现次数的空间分布。由图 2 可见,出现次数最多的区域主要位于统计区域的西部中的南部和北部,具体而言,西北低涡出现次数较多的区域主要有两个,一个位于37.5 °N ~ 38.5 °N,97.5 °E ~ 99 °E,出现次数占总数的22.4%,另一个区域则位于35 °N,97.5 °E ~ 100.5 °E,占总数的15.5%。在所统计的范围区域的东侧位于36 °N ~ 37 °N,101 °E ~ 105 °E以及北部边缘地区则属于西北低涡出现的低值区,其中在青海湖以东的几个网格点没有低涡出现。由此可见,西北低涡出现次数的大值区位于统计区西侧的北部地区,即柴达木盆地的东侧,这也说明了西北低涡的形成可能与柴达木盆地的特殊地形条件有着密切的关系^[15]。

3 西北低涡的多时间尺度的变化特征

3.1 西北低涡年际变化及月际变化特征

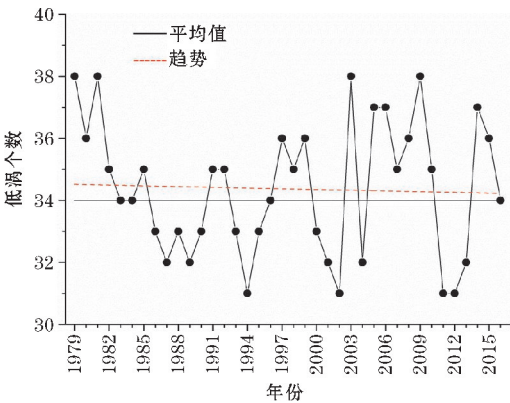


图3 1979–2016 年夏季西北低涡出现次数的时间序列

为了研究西北低涡的长期变化特征,图 3 给出了 1979–2016 年夏季西北低涡出现次数的时间序列。由图 3 可见,38 年来,西北低涡具有明显的年代际和年际变化特征,西北低涡共出现 1306 例,平均每年夏季出现 34 次。西北低涡的出现次数在 1985 年前后有明显的年代际变化特征,即在 1985 年前,西北低涡出现次数明显偏多,而 1985 年以后,西北低涡出现呈现出在平均值上下波动的年际变化特征。在年际时间尺度上,低涡出现次数较多的年份为 1979、1981、2003 年和 2009 年,平均每年可达 38 个;出现次数较少的年份主要为 1994、2002、2011 年和 2012 年,平均仅有 31 个/年,为最多年的 81.5%。从长期的变化趋势可以看出,近 38 年西北低涡出现的次数呈现总体减少的趋势。

荣涛^[15]统计出低涡在夏季 7、8 月平均出现 11 个以上,而在 6 月为平均 6 个以上,文中为了进一步分析和研究西北低涡夏季各月出现次数的变化特征,表 1

给出了夏季西北低涡的发生次数。由表 1 可见,西北低涡出现次数最多的是 6 月份,共有 479 个,平均每年发生 12.6 个,占夏季总个数的 36.7%;7 月西北低涡出现的次数要比 6 月出现的次数要少,共出现 428 个,平均为 11.2 个/年,占总数的 32.8%;8 月出现的西北低涡在整个夏季中出现的次数最少,为 399 个,平均 10.5 个/年,占总数的 30.5%。

表 1 夏季各月西北低涡的出现次数及所占总数的百分比 %

月份	出现总数	平均次数	占总数的百分比
6	479	12.6	36.7
7	428	11.2	32.8
8	399	10.5	30.5

3.2 西北低涡的日变化特征

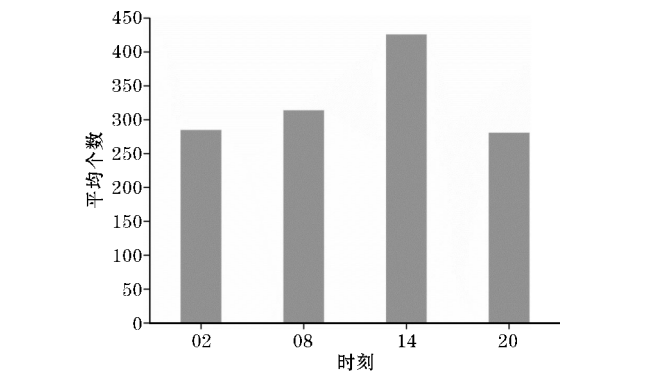


图 4 1979–2016 年夏季西北低涡开始出现的时刻分布

定义如果某一个时间点在统计区域范围内有西北低涡,但是前 6 h 资料中,在统计区域内并没有西北低涡,就认为在这个时间点上出现了西北低涡。图 4 给出了 1979–2016 年平均的夏季西北低涡在 4 个时间点出现次数的变化特征。由图 4 可见,从气候学上讲,西北低涡出现有一定的日变化特征,低涡在 14 时的次数最多,占总个数的 32.6%,荣涛^[15]也指出低涡一般是在中午前后出现,显然这和西北低涡的形成机制有一定的关系;08 时出现的低涡个数少于 14 时,占总数的 24.1%;02 时出现的低涡个数少于 08 时,占总数的 21.8%;20 时出现的低涡个数最少,占总数的 21.5%。总的来说,08、14 时出现的低涡频率远超于 20、02 时,各占总个数的 56.7% 和 43.3%。综上可得,西北低涡在白天出现的概率大于夜间。

4 西北低涡的移动特征

4.1 移出个数的变化

定义西北低涡的中心移出所统计区域(35°N~40°N,

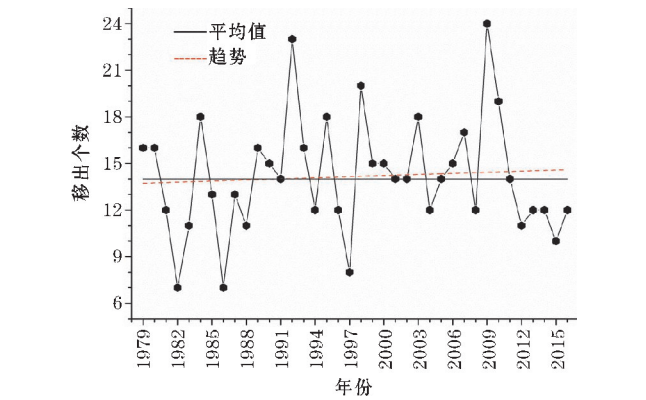


图 5 1979–2016 年夏季西北低涡移出次数的时间序列

97°E~105°E)则为移出型低涡。统计表明,38 年来,共有 538 个低涡移出,占总次数的 41.2%,平均每年移出 14 个,比荣涛和贺勤研究得到的 53% 和 54.3% 略低,主要是由于不同的低涡定义范围以及不同的统计年限所导致的。为进一步研究移出型低涡的长期变化特征,图 5 给出了夏季移出型西北低涡次数随时间变化的曲线。由图 5 可见,在 38 年期间,移出型低涡也有明显的年际和年代际变化特征。从 1979–1992 年,移出型低涡有一个明显的上升趋势,然后到 2009 年,移出型低涡次数在平均值上下波动,到 2009 年移出型低涡出现次数最大后,移出型西北低涡进入减少阶段。在年际时间尺度变率上,仅有 7 年的低涡移出个数超过该年总数的一半,其中在 1992 年、1998 年和 2009 年移出个数超过 20 个,占各年总数的 65.7%,57.1%,63.2%,低涡移出次数很多的年份则在 2009 年,达到 24 个,这也是低涡出现次数最多的年份之一,低涡移出个数的低值年为 1982 年和 1986 年,均仅有 7 个,占各年总数的 20% 和 21.2%。从移出次数的长期变化趋势来看,近 38 年西北低涡移出的次数呈现总体增加的趋势,与低涡出现次数的趋势相反。

为了分析和研究夏季西北低涡移出次数的变化特征,表 2 给出了夏季 6–8 月西北低涡的移出情况,由表 2 可见,西北低涡在 6 月的移出次数最多,共有 212 个,月平均 5.6 个,占移出总数的 39.4%;7 月西北低涡的移出次数较 6 月要少,移出 170 个,月平均 4.5 个,占移出总数的 31.6%;8 月在整个夏季中移出的次数最少,为 156 个,月平均为 4.1 个,占移出总数的 29.0%。夏季各月的移出率随着月份的增加而减少,分别为各月总数的 44.3%,39.7%,39.1%。由此可说明,6 月的大气环流形势更有利于西北低涡的东移,这可能与副热带高压在 6 月还较偏南偏东相关,而 8 月西风带系统在副高影响下受阻减弱导致移出率偏少。

表 2 夏季各月西北低涡的移出总个数及移出个数所占百分比 %

月份	移出总个数	占移出总数的百分比	各月的移出率
6	212	39.4	44.3
7	170	31.6	39.7
8	156	29.0	39.1

4.2 西北低涡的维持时间

西北低涡可以分为两类,即停滞型低涡和移出型低涡,图 6 给出了上述两类西北低涡在不同持续时间下占各类总低涡数的百分比。由图 6 可见,停滞性低涡占总数的百分比随着维持时间的变化呈指数衰减,即维持在 12 个小时的低涡所占的百分比最大,占总数的 38.5%;停滞型西北低涡中有 26.3% 的低涡维持时间超过 1 d,维持时间超过 2 d 的低涡只有 0.9%;移出型低涡占总数的百分比随着时间的变化,呈现类似正弦函数几何图形的特征,即维持在 18 h 的低涡所占的百分比最大,占总数的 24.5%;移出型西北低涡中有 45.7% 的低涡维持在 1 d 以上,持续时间超过 2 d 的西北低涡占总次数的 11.2%,因此,不论是停滞型西北低涡还是移出型西北低涡,大部分低涡维持时间在 1 d 以内,只有少部分低涡能够继续维持并发展,可见西北低涡是一种生命史较短的天气系统,这与以往研究得出低涡影响时间多为 1~2 d 的结果相一致^[4,15]。对比停滞型低涡和移出型低涡的分布曲线,可以看出,移出型低涡所占的百分比在 12 h 和 18 h 时低于停滞型低涡,维持时间达到 24 h 及以上时,移出型低涡所占的百分比远超于停滞型低涡。

进一步统计表明,在夏季,西北低涡在 7 月的维持时间较长,这也说明 7 月的大气环流条件最有利于西

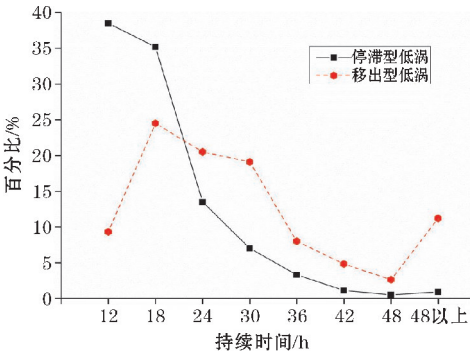


图 6 夏季西北低涡不同维持时间出现的个数占各总数的百分比/%

北低涡的维持和发展。特别提出,7 月维持时间大于 2 d 的西北低涡中有 91% 属于移出型,超过 6 月和 8 月。由此可得,在 7 月出现的西北低涡由于维持时间长,多属于移出型低涡,易对下游地区的天气产生重要的影响,因此需要关注 7 月出现的持续时间较长的西北低涡。

4.3 西北低涡的移动方向

统计发现,西北低涡主要有 3 个移动方向:东北、偏东和偏南向^[15]。为进一步研究移出型西北低涡的移动方向,表 3 给出了移向不同方向的移出型低涡次数,由表 3 可见,低涡的移动方向分布在偏南,正东,东南,东北,正北 5 个方位,朝东南方向移动的低涡出现次数最多,共有 200 个,占移出型西北低涡总数的 37.2%,其次是偏南方向,出现 139 个,占移出总数的 25.8%;向正东和东北移动的,分别占移出总数的 24.3% 和 12.1%,正北方向出现的次数最少,仅有 3 次,占总数的 0.6%。

表 3 夏季移向不同方向的西北低涡次数

方向	东南方向	偏南方向	东北方向	正东方向	正北方向
移出型低涡次数	200	139	65	131	3
维持时间超过 1 d 的移出型低涡次数	84	45	40	76	0

为了进一步研究和分析移出型西北低涡中维持时间较长的低涡,统计了维持时间大于 1 d 的低涡次数,统计表明,近 38 年来,夏季移出且维持时间超过 1 d 的低涡共出现 246 个,平均每年有 6.5 个。为进一步研究其长期变化,图 7 给出了移出型西北低涡中维持时间超过 24 h 的低涡随时间的变化曲线,由图 7 可见,维持时间超过 1 d 的西北低涡也具有明显的年代际和年际变化特征。1982–1992 年,低涡个数有明显的上升趋势,然后到 2002 年,低涡个数在平均值上下波动,在 2009 年低涡出现次数达到最大之后,低涡进入了减少阶段。在年际时间尺度上,2009 年维持时间超于 1 d 的

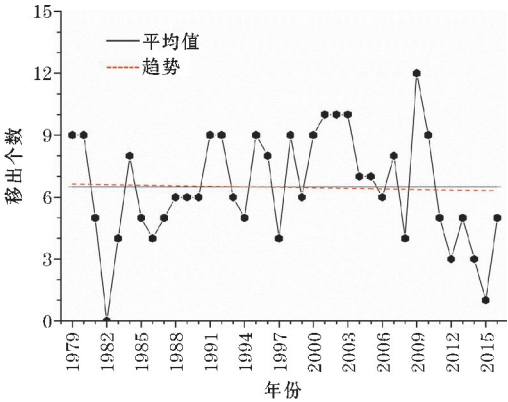


图 7 夏季移出型西北低涡中维持时间大于 1 d 的低涡时间序列图

低涡个数最多,达到12个,而1982年则没有这类低涡的出现。统计表明,夏季,维持时间超过1 d的西北低涡在6月出现的次数最多,共有93个,7月出现的次数比6月要少,有85个,8月出现的次数最少,只有67个。从长期变化趋势来看,维持时间大于1 d的西北低涡个数呈现微弱的减少趋势。

表3同时给出了移向不同方向的维持时间超过1 d的低涡次数,由表3可见,低涡在东南方向出现的次数最多,共有84个,占总数的34.1%;其次是正东方向和偏南方向,分别为76个和45个,占总数的30.9%以及18.3%,东北方向出现的次数最少,只有40个,占总数的16.3%。与夏季移出型西北低涡的移向分布对比可得,虽然东南移向的低涡最多,但是东北方向和正东方向中维持时间大于1 d的低涡分别占各自方向总数的61.5%,58%,远超于东南移向和偏南移向,由此可得,东北移向和正东移向中主要由维持时间超过1 d的西北低涡所构成,因此朝着东北、偏东移动的西北低涡最易形成灾害性天气。

5 结束语

利用CFSR 1日4次再分析资料,通过常规的统计方法,统计研究了1979–2016年夏季西北低涡的气候特征,得出以下结论:

(1)夏季西北低涡出现次数较多的区域主要有两个,一个位于 $37.5^{\circ}\text{N} \sim 38.5^{\circ}\text{N}$, $97.5^{\circ}\text{E} \sim 99^{\circ}\text{E}$,出现次数占总数的22.4%,另一个位于 35°N , $97.5^{\circ}\text{E} \sim 100.5^{\circ}\text{E}$,占总数的15.5%。虽然西北低涡集中于范围区域的西侧出现,但统计表明,大多数在范围区域西侧出现的西北低涡易维持在原地,只有靠近范围区域东部边缘的西北低涡则更容易移出。

(2)近38年来,夏季西北低涡共发生1306例,平均每年34.4个。西北低涡具有明显的年代际和年际变化特征,低涡出现的次数呈现减少趋势。夏季,西北低涡在6月出现的此数最多(479个占总数的36.7%),7月次之(428个占总数的32.8%),8月最少(399个占总数的30.5%)。西北低涡具有明显的日变化特征,白天出现的概率大于夜间。

(3)38年期间,共有538个西北低涡移出,占总发生次数的41.2%,低涡移出的次数呈现增加趋势;夏季移出范围区域的西北低涡次数随月份的增加而减少,这可能与副热带高压在6月还较偏南偏东,在8月影响西风带系统受阻减弱相关。

(4)西北低涡的维持时间较短,约2/3的西北低涡维持时间在1 d以内,维持时间出现次数最多的为

18 h,占总数的30.8%,只有5.1%的西北低涡可以维持在2 d以上。夏季各月中,维持时间超过两天的低涡多在7月出现,且91%属于移出型,远超于6月和8月。

(5)西北低涡的移动方向主要以东南方向(200个占移动型低涡的37.2%)和偏南方向(139个占移动型低涡的25.8%)为主,正东方向(131个占移动型低涡的24.3%)次之,东北方向(65个占移动型低涡的12.1%)最少。东北移向和正东移向中主要由维持时间超过1天的西北低涡所构成,因此朝着东北、偏东移动的西北低涡最易形成灾害性天气。

全面的统计分析西北低涡的主要气候特征,但是,对于西北低涡移出和停滞型低涡的环流特征以及影响它们次数的多时间尺度包括日变化、年代际、年际时间尺度变率的原因和机制尚需进一步研究。

致谢:感谢中国民航大学科研启动基金(2016QD05X)对本文的资助

参考文献:

- [1] 叶笃正,高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京:科学出版社,1979.
- [2] 丁治英,吕君宁. 一次西北涡生成移动过程的数值试验[J]. 南京气象学院学报,1993,16(2): 226–232.
- [3] Wang W, Kuo Y H, Warner T T. A diabatically driven mesoscale vortex in the lee of the Tibetan Plateau[J]. Monthly Weather Review, 2009, 121(9): 2542.
- [4] 贺勤,邱东平. 柴达木低涡与伊克昭盟地区7–8月降水的关系[J]. 气象,1998,24(1): 31–34.
- [5] 全美兰,刘海文,朱玉祥,等. 高空急流在北京“7.21”暴雨中的动力作用[J]. 气象学报,2013, 71(6): 1012–1019.
- [6] 孙建华,赵思雄,傅慎明,等. 2012年7月21日北京特大暴雨的多尺度特征[J]. 大气科学, 2013, 37(3): 705–718.
- [7] 王丛梅,丁治英,张金艳. 西北涡暴雨的湿位涡诊断分析[J]. 气象,2005,31(11): 28–33.
- [8] 陆倩,付娇,胡赛安. 承德市一次西北涡暴雨成因分析[J]. 内蒙古气象,2016(2): 23–26.
- [9] Wang X L, Swail V R, Zwiers F W. Climatology and changes of extratropical cyclone activity: Comparison of ERA-40 with NCEP-NCAR reanalysis for 1958–2001[J]. Journal of Climate, 2006, 19: 3145–3166.

- [10] Raible C C, Della-Marta P, Schwierz C, et al. Northern Hemisphere extratropical cyclones: A comparison of detection and tracking methods and different reanalyses [J]. *Monthly Weather Review*, 2008, 136: 880–897.
- [11] 李黎, 刘海文, 吕世华. 春季西南低涡年际和年代际变化特征分析 [J]. *高原气象*, 2017, 36 (6): 1512–1520.
- [12] Zhou K, Liu H, Zhao L, et al. Binary mesovortex structure associated with southwest vortex [J]. *Atmospheric Science Letters*, 2017, 18.
- [13] Feng X, Liu C, Fan G, et al. Climatology and structures of southwest vortices in the NCEP climate forecast system reanalysis [J]. *Journal of Climate*, 2016, 29(21): 7675–7701.
- [14] Shen-Ming F U, Zhang J P, Sun J H, et al. A fourteen-year climatology of the southwest vortex in summer [J]. *Atmospheric & Oceanic Science Letters*, 2014, 7(6): 510–514.
- [15] 荣涛. 柴达木低涡特征及其预报 [J]. *干旱气象*, 2004, 22(3): 26–31.
- [16] 杜继稳. 陕西省短期天气预报技术手册 [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 37–39.

Statistics of Northwest Vortex in Recent 40 Years

LIANG Ning¹, LIU Hai-wen²

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: In order to study the long-term change characteristics of the northwest vortex, such statistics have been made on the center position, movement, the time of maintenance of the northwest vortex in summer (June to August) from 1979 to 2016. The main results are as follows: (1) Climatically speaking, the appearance of northwest vortex mainly centralized in two position, one lay in 37.5°N – 38.5°N , 97.5°E – 99°E , which accounted for 22.4%, and another lay in 35°N , 97.5°E – 100.5°E accounting for 15.5%. (2) In the past 38 years, a total of 1306 northwest vortexes have occurred in summer with an average of 34.4 every year, and the number of the vortexes has been decreased. (3) During the three months in summer, the number of vortexes in June was more than that of the other two months, followed by July and the number of those in August was the least. The possibility of the vortexes appearing in the day was also higher than that in the night. (4) 41.2% of the vortexes were removal type among all the northwest vortex. (5) The time of maintenance of northwest vortex was short, about two thirds of those could last one day or less. Those which could last two days or more mainly appeared in July, and 91% of them were removal type. (6) In the past 38 years, those northwest removal-type vortexes in summer, which could last more than one day, mainly moved towards southeast, east, south and northeast. Most of them moved to southeast, and those northwest eddies which could last more than one day mainly moved to northeast and east.

Keywords: climatology the northwest vortex; statistic analysis; climate characteristics; direction of movement