

文章编号: 2096-1618(2021)06-0674-06

# 青藏高原低涡客观识别与图像学分析

丁禹钦<sup>1</sup>, 胡文东<sup>1,2,3</sup>, 邵建<sup>4</sup>, 李金泽<sup>1</sup>, 徐文嘉<sup>1</sup>, 贾净翔<sup>1</sup>, 佟景哲<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 软件自动生成与智能服务四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 3. 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 4. 银川市气象局, 宁夏 银川 750002)

**摘要:**为进一步分析青藏高原低涡的分布特征,对1979–2018年的高原低涡进行客观识别并引入图像学方法展开分析。结果表明:40年间,高原低涡年均生成35.1个,1997与2005年高原低涡出现频次最高,达53个,1984年出现频次最少,为21个;图像学分析显示,在高原低涡初生时,24.1%的正涡度中心位于高原低涡的南部,占比最高,东部和北部的正涡度中心分别占19.5%和16.5%;在高原低涡发展时,正涡度中心有29.9%集中于高原低涡重心附近,西南部和西部占比达到了20.3%和17.9%;东北、西南和北部占比之和仅有9.1%。引入描述热带气旋的Okubo-Weiss(OW)参数 $V_{ow}$ , $V_{ow}$ 的负值项与切变有很强的相关性。研究发现,有24.5%的 $V_{ow}$ 项负值区中心位于高原低涡的东部区域,21.8%位于高原低涡的西北区,16.6%位于高原低涡的重心附近。在单个高原低涡生命周期内,有51.0%的 $V_{ow}$ 项负值区中心相对于高原低涡几乎不移动,15.5%的 $V_{ow}$ 项负值区中心则会向东移动。

**关键词:**气象学;天气系统分析;客观识别;图像学; $V_{ow}$ 参数

**中图分类号:**P443

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2021.06.014

## 0 引言

青藏高原(下称高原)是世界海拔最高的高原,平均高度超过4000 m,其特殊的地势、动力与热力作用对大气环流有着巨大的影响。高原低涡是一种产生于高原主体上的 $\alpha$ 中尺度低压涡旋,其主要活动在500 hPa等压面上,水平尺度400~500 km。部分高原低涡移出高原后强烈发展,常引发高原以东地区大范围降水,造成严重的洪涝灾害。

李国平等<sup>[1]</sup>针对夏季青藏高原低涡的活动特征展开研究,指出近30年来夏季高原低涡每年平均生成32个,低涡发生频数呈较明显的增多趋势,具有较强的年际变化特征;高原中部为主要的夏季高原低涡生成源地,占50.8%,东部和西部分别占22.2%和27.0%。王鑫等<sup>[2]</sup>指出,高原低涡在青藏高原初生时,暖性涡比斜压涡多近2倍,移出高原后12 h内的低涡性质则以斜压性居多。

同时学者对高原低涡结构的动力、热力条件进行了分析。李国平等<sup>[3]</sup>对夏季两次高原低涡发展过程分析,认为由于边界层加热和摩擦的共同作用,高原低涡的温度场呈暖心结构;通过大气边界层动力抽吸作用,当边界层顶有气旋性涡度时,能引起边界层低涡的水平辐合运动和随高度增强的上升运动,并可加强低涡的

切向流场。李山山等<sup>[4]</sup>引入描写热带气旋的Okubo-Weiss(OW)参数 $V_{ow}$ ,其中包括相对涡度 $\zeta$ 的垂直分量、伸缩变形项、切变变形项,指出可应用 $V_{ow}$ 参数来定量表达低涡中旋转性和变形性的相对大小。

近年来,计算机客观识别技术发展迅速,不少学者依靠天气学原理和机理作为识别天气系统的要素,胡文东等<sup>[5-7]</sup>针对大气环流形势,在追踪等值线分析的基础上,对等值线关键点进行依次提取。通过对等值线中特性和异常点的处理,获取沙尘暴高空影响天气系统的基本节点,完成对高空天气系统类别的基本判识。在利用等值线分析高空天气系统基础上,符合天气学意义的条件下,使用向量分析方法,实现对闭合天气系统的识别以及对其强度性质的判断。颜长健等<sup>[8]</sup>针对500 hPa高空槽线天气系统,以天气学定义为基础,高空槽线的图形学特征分析为方法,在保持天气动力学理论约束的前提下,提出一种基于位势高度梯度的槽线天气系统自动分析方法;完成了对西风槽和横槽两种系统的自动分析。

在低涡系统客观识别方面,林志强等<sup>[9-10]</sup>根据位势高度场和风场资料定义了高原低涡的识别标准:闭合等值线、低涡面积、时次的连续性、识别区域、低涡垂直结构以及风场呈气旋性旋转等,讨论了高原低涡的客观识别方法;对高原低涡的出现频次、强度大小、持续时间、地理位置以及移出高原等进行了特征分析。张博等<sup>[11]</sup>建立客观识别标准,对低涡在夏季生成频数、月分布等方面进行了分析。Tim D. Hewson<sup>[12]</sup>开发了一套利用图像的方法识别气旋,并使用最小位势

收稿日期:2020-10-21

基金项目:四川省基础应用重点资助项目(2018JY0056);中国气象局-成都信息工程大学气象软件工程联合研究中心资助项目(2020102);宁夏重点研发资助项目(2018BEG03002);中国气象局资助项目(CMAY-BY2019-131)

高度/最大涡度的技术检测气旋。

随着计算机图像学的发展,近年越来越多的科学研究可通过图像学角度展开分析。在气象研究方面,冷亮等<sup>[13]</sup>采用数学形态学算法,对二维特征量进行二值化、膨胀、腐蚀、细化、剪枝及线段联通等处理,得到一条反映阵风锋骨架特征的曲线。邵建等<sup>[14]</sup>利用图像学方法,从等值线曲率入手,提取高空天气系统的天气学和形态学要素,完成了客观识别。

在高原低涡分析方面,截至当前,在中国知网、维普等未检索到利用图像学分析高原低涡的论文,因此文中尝试根据图像学方法分析高原低涡,结合高原低涡客观识别方法,试图客观地分析高原低涡活动特征,希望对目前基于图像学的天气系统分析的业务应用有所裨益。

1 资料

采用 1979–2018 年欧洲中期天气预报中心 (ECM-WF) 的 ERA-Interim 数据,其中包括 500 hPa 位势高度场和相对涡度,逐日 4 次,时间间隔为 6 h,水平空间分辨率为 0.50.5。与其他再分析资料相比,ERA-Interim 具有更高的分辨率,由于同化了大量卫星观测资料,Bao 等<sup>[15]</sup>在进行第 2 次青藏高原大气科学试验的连续探空资料检验表明,ERA-Interim 再分析资料相比于欧洲中期天气预报中心提供的上一代再分析资料 (ERA-40),在准确性和精度上有显著的提高。

2 客观识别方法与图像处理

2.1 低涡客观识别

根据高原低涡人工识别方法,结合计算机几何学知识,沿用林志强等<sup>[9–10]</sup>的高原涡客观识别标准:

(1) 闭合低涡条件。在等值线分析中应表现为闭合低压中心。(2) 高原低涡条件。500 hPa 等压面上,高原低涡中心强度小于 587 dagpm。(3) 区域条件。高原低涡中心在 72 °E ~ 105 °E, 26 °N ~ 40 °N。(4) 面积条件。根据高原低涡的水平尺度,其面积大小在  $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。

为更准确地分析高原低涡的特征,经过试验发现,在上述闭合低涡客观识别标准上追加低涡中心判识条件:低涡范围内格点位势高度小于等于四周 8 个格点的位势高度(存在若干个时,取经纬度的平均值)。

识别高原低涡的关键步骤在于判识等值线是否闭合,但由于追踪闭合等值线的过程较为烦琐和复杂,因而选择排除非闭合等值线的方法来识别闭合等值线。

非闭合等值线存在 3 种类别(图 1):(1) 等值线的

起始点和终止点位于资料边界的同一侧(图 1 中 a 等值线)。(2) 等值线的起始点和终止点位于资料边界的对侧(图 1 中 b 等值线)。(3) 等值线的起始点和终止点位于资料边界的相邻两侧(图 1 中 c 等值线)。

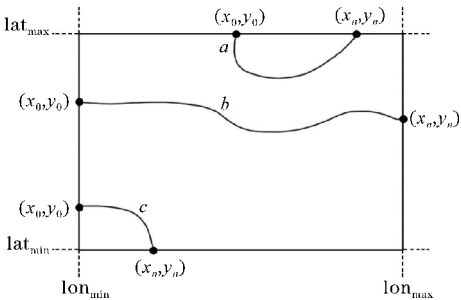


图 1 非闭合等值线

图 1 的 3 种情况,等值线的起始点与终止点在资料边界上,等值线 a 的起始点与终止点位于地图边界的同一侧,等值线 b 的起始点与终止点位于地图边界的对侧,等值线 c 的起始点与终止点位于地图边界的相邻两侧。共同点是:非闭合等值线的起始和终止点均在地图边界上。图 1 中,  $\text{lon}_{\min}$ 、 $\text{lon}_{\max}$  为经度边界,  $\text{lat}_{\min}$ 、 $\text{lat}_{\max}$  为纬度边界,等值线上点的坐标为  $(x_i, y_i)$ ,  $0 \leq i \leq n$ 。等值线中起始点的经纬度为  $(x_0, y_0)$ ,终止点经纬度为  $(x_n, y_n)$ 。设立条件:

$$x_0 \neq \text{lon}_{\min} \wedge x_0 \neq \text{lon}_{\max} \wedge x_n \neq \text{lon}_{\min} \wedge x_n \neq \text{lon}_{\max} \quad (1)$$

$$y_0 \neq \text{lat}_{\min} \wedge y_0 \neq \text{lat}_{\max} \wedge y_n \neq \text{lat}_{\min} \wedge y_n \neq \text{lat}_{\max} \quad (2)$$

若某条等值线同时满足式(1)和式(2),则判定该等值线闭合。

将等值线间隔设置为 20 gpm,遍历 500 hPa 等压面上全部等值线;查询闭合等值线范围内任意一点与该等值线位势高度的大小关系,从而判断出该等值线范围是否为低压系统。

2.2 图像学处理

根据计算机图像学和几何学知识,在识别出高原低涡后,取同时次的相关要素数据数据,建立图像处理方式:(1) 绘制高原低涡图。确定一个时次的高原低涡后,绘制出关于位势高度的等值线填色图(图 2)。(2) 绘制相关要素图。选取该时次同高度上的资料(例如:相对涡度)绘制等值线填色图(图 3)。(3) 图像混合。将位势高度图和相关要素图进行线性混合像素运算(图 4)。

$$g(x) = (1-\alpha)f_1(x) + \alpha f_2(x) \quad (3)$$

其中,  $g(x)$ 、 $f_1(x)$  和  $f_2(x)$  均表示图像中全部的像素点。  $g(x)$  代表混合图片中的像素点(图 4),  $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$  分别代表背景图(图 2)和前景图(图 3)中的像素点,  $\alpha$  表示 0–1 的系数,代表  $f(x)$  上像素点 RGB 的  $\alpha$  倍数,  $\alpha$  为 0.5。

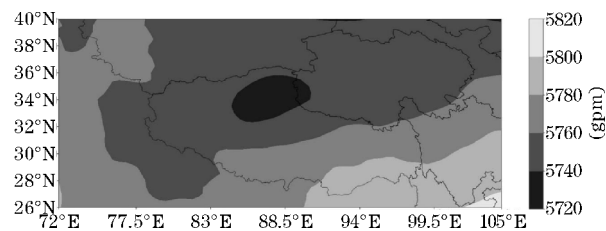


图 2 1983 年 6 月 24 日高原低涡等值线填色图

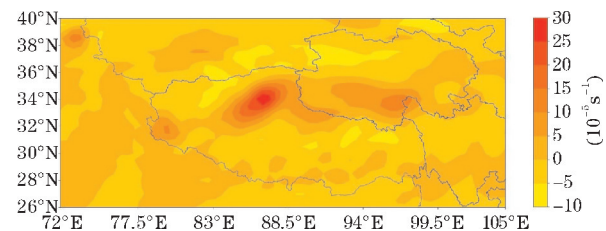


图 3 1983 年 6 月 24 日高原地区相对涡度等值线填色图

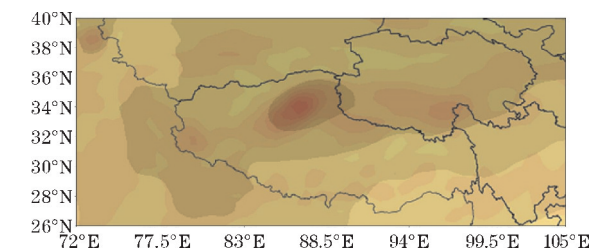


图 4 1983 年 6 月 24 日高原低涡等值线填色图与  
相对涡度等值线填色图的混合图像

图 4 中,填色部分为低涡等值线填色图与相对涡度等值线填色图进行线性混合之后的结果,改变了原低涡与相对涡度重合部分的像素值,形成新图像,便于后续图像的要素提取和分析。

混合图像的要素提取:

(1)图形的重心。根据高原低涡图中预分析区域颜色设定阈值,将整个图片转化为二值化图像,提取预分析区域。图像本质是一个关于像素的矩阵,二值化图像中的矩阵  $M_{00}$ ,表示所有预分析区域像素值的和,同时也可以表示预分析区域面积。

$$M_{00} = \sum_i \sum_j V(i, j) \tag{4}$$

$$M_{10} = \sum_i \sum_j i \cdot V(i, j) \tag{5}$$

$$M_{01} = \sum_i \sum_j j \cdot V(i, j) \tag{6}$$

式中, $i, j$  分别为每个像素的  $x, y$  坐标,  $M_{10}, M_{01}$  的结果为所有预分析区域像素的  $x, y$  坐标之和。利用式(4)~(6),可求得图形的重心坐标:

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}} \tag{7}$$

$$y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}} \tag{8}$$

求出图形中的重心后,将像素坐标转化为经纬度坐标。

(2)图像重叠区域。在高原低涡客观识别分析阶段生成的图像为 RGB 三通道图像,根据提取重叠区域要素的需求,将相关要素图按照通道分割,分别与高原

低涡图进行混合。设置阈值,按照图形重心提取方法,将混合重叠区域中各部分进行提取分析。

### 3 特征分析

#### 3.1 高原低涡基本特征

针对 1979–2018 年 40 年的 ECMWF 再分析资料,利用高原低涡客观识别方法对高原低涡进行统计。

持续时间为 12 h 的高原低涡最多,占总时次的 49.7%;持续时间为 18 h 的高原低涡占 23.4%,持续时间达到 24 h 的高原低涡占 10%,仅有 16.9% 的高原低涡持续时间达到 30 h 及以上(表 1)。说明高原低涡不能持续较长时间,为生命史较短的天气系统;同时也侧面解释了高原低涡大部分难以移出高原的原因。

表 1 1979–2018 年高原低涡的持续时长统计				
	12 h	18 h	24 h	30 h 及以上
频数	699	329	141	238
比例/%	49.7	23.4	10	16.9

高原低涡的源地特征:  
40 年间,生成于 94°E 以西的高原低涡占 85.1%; 81.2% 的高原低涡初生于 30°N~38°N(图 5)。

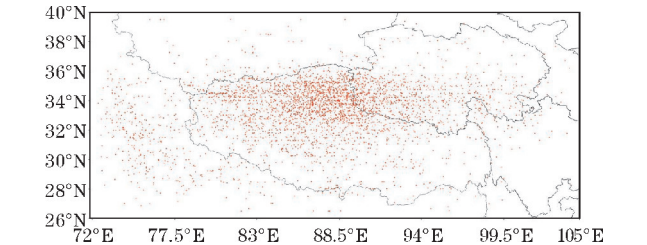


图 5 40 年间高原低涡初生时次的分布(红点为高原低涡的长轴中点)

40 年间高原生成的低涡年平均 35.1 个,1997 年与 2005 年高原低涡出现频次最高,达 53 个;1984 年出现频次最少,为 21 个;标准差为 7.5,具有明显的年际变化特征。高原低涡频次在 1981–1985 年有下降趋势,1986–1988 年缓慢上升,在 1992 年、1997 年、2001 年和 2005 年出现显著突变;40 年间低涡频次呈现上升和下降交替出现的情况,整体呈缓慢上升趋势(图 6~7)。

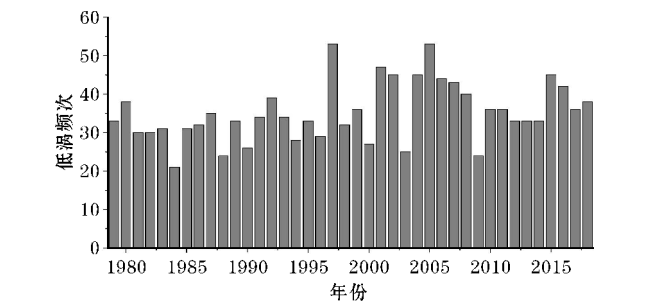


图 6 高原低涡频次随年际的变化



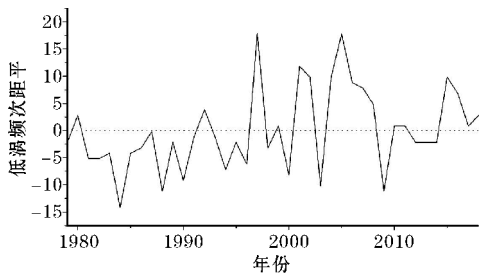


图 7 高原低涡频次距平

从 40 年高原低涡逐月平均时次可见,高原低涡具有显著的月际变化特征,5、6 月出现的频次最多,年均 为 5.4 和 6.0 个;12 月最少,年均 为 0.5 个;夏半年(5–10 月)高原低涡频次占全年的 74.4%。夏半年中,5、6 月低涡频次占夏半年总频次的 44.3% (图 8)。

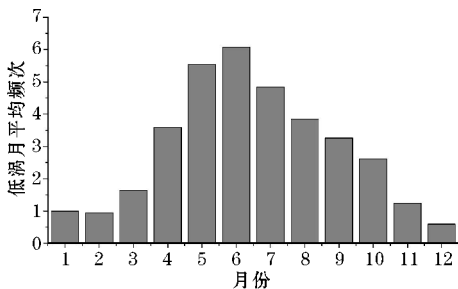


图 8 高原低涡 40 年间月平均频次统计

虽然变化趋势与李国平等<sup>[1]</sup>的统计结果相近,但是从频次统计上看存在较大差异,如李国平等利用 NCEP 再分析资料得出 1991 年高原低涡频次达 51 个,而文中仅有 34 个,这可能与再分析资料的不同有关,也许是高原低涡判识标准不同带来的。对比林志强等<sup>[10]</sup>的统计结果,同样是变化趋势接近,但年均高原低涡识别个数相比少了接近 20 个,这可能由于文中等值线间隔更大,采用的是 20 gpm 而不是 5 gpm。

3.2 高原低涡与正涡度分布

对 1979–2018 年的各高原低涡图与同时次的相对涡度图进行线性混合,同时提取低涡和相对涡度核心区的重心,将高原低涡重心作为基准,针对两者位置的相对关系进行分析统计。相对涡度等值线填色图中等值线间隔小密度大,正涡度核心区的重心能够描述涡度的中心位置。

高原低涡在初生时次上,24.1% 的正涡度核心区域位于高原低涡的南部,占比最高;其次东部和北部的正涡度核心区域分别占 19.5% 和 16.5%;占比最少的位于西北、东北和西南,三者之和只有 10.9%。正涡度核心区在低涡范围内的东西分布大致相近,而南部的正涡度核心区多于北部(图 9)。

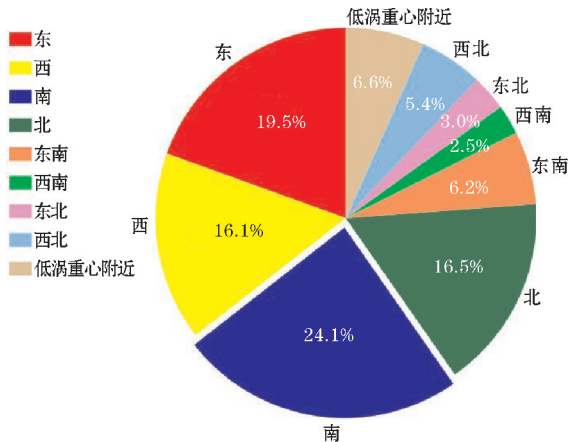


图 9 高原低涡初生时次正涡度核心方位分布

针对持续时次达到并超过 18 h 的高原低涡,将介于生成时次和消亡时次之间的低涡定义为发展中的高原低涡。

低涡发展中,正涡度核心区域的中心有 29.9% 集中于高原低涡重心附近,西南部和西部占比达到了 20.3% 和 17.9%;东北、西南和北部占比之和仅有 9.1%,低涡发展过程中正涡度核心区相对于低涡重心的东西分布基本持平(图 10)。

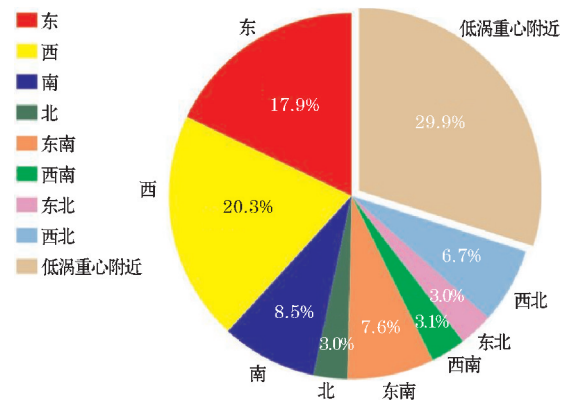


图 10 高原低涡发展过程中正涡度核心区相对于低涡重心的方位分布

持续 4 个时次以上的高原低涡发展过程中,相对涡度核心区占比普遍呈现先升后降的趋势,8 成的高原低涡在发展过程中,至少有一个时次的相对涡度核心区全部在高原低涡的范围内。

23.4% 的相对涡度核心区在高原低涡向东发展时快于高原低涡,30.7% 的涡度核心在高原低涡向东发展时与高原低涡的重心重合,其余 45.9% 的相对涡度核心区在高原低涡向东发展时慢于高原低涡。

3.3 Okubo-Weiss 参数分析

借鉴李山山等<sup>[4]</sup>的研究成果,沿用热带气旋中 Okubo-Weiss 参数( $V_{ow}$ )来定量描述气旋的旋转程度和变形大小。 $V_{ow}$  公式如下:

$$V_{ow} = \zeta^2 - (D_t^2 + D_s^2) \tag{9}$$

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \tag{10}$$

$$D_t = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \tag{11}$$

$$D_s = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \tag{12}$$

式中,  $\zeta$  为相对涡度,  $D_t$  为伸缩变形项,  $D_s$  为切变变形项。当  $V_{ow}$  为负值时, 表示气流由变形主导, 有利于切变线的生成和维持; 当  $V_{ow}$  为正时, 表示气流以旋转为主, 有利于气旋性涡度的发生、发展。针对高原低涡存在时次, 将 500 hPa 上  $V_{ow}$  计算结果与高原低涡发展过程的图像进行结合分析。

将高原低涡图像与  $V_{ow}$  图像进行叠加, 在高原低涡范围内, 判断闭合图形个数, 定位  $V_{ow}$  项的闭合图形最内圈, 提取最内圈的重心  $G$ ; 提取高原低涡与  $V_{ow}$  项重叠区域, 判断重叠区域  $V_{ow}$  项的层级个数, 从而统计  $V_{ow}$  项的在低涡发展过程中强度变化。

通过对 40 年高原低涡存在时次的分析,  $V_{ow}$  项负值区中心有 24.5% 位于高原低涡的东部区域, 21.9% 位于高原低涡的西北部, 16.6% 位于高原低涡的重心附近, 其余部分占比均不足 1 成(图 11)。

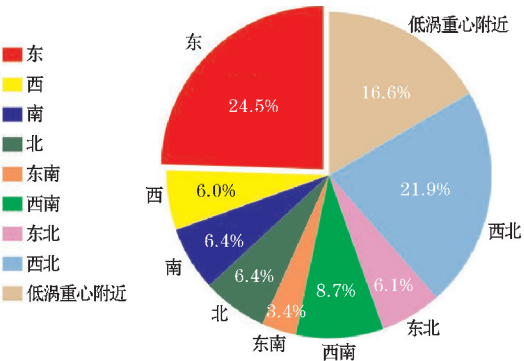


图 11  $V_{ow}$  项负值区中心与高原低涡重心的相对位置

每一个高原低涡从生成到消亡至少存在 2 个时次, 分别记录生成、发展、消亡时刻的  $V_{ow}$  项负值区中心位置, 对比每一个高原低涡的  $V_{ow}$  项负值区中心移动情况, 其中对于高原低涡存在时次  $t$ , 对于只存在  $t=2$  个时次的高原低涡, 其消亡时次同时记录为发展与消亡时次。对于  $t>2$  时次以上的高原低涡, 存在 4 种判断方式:

$V_{ow}$  项负值区中心移动方向无序, 存在  $t-1$  种移动方式, 对比消亡与生成时次的  $V_{ow}$  项负值区中心相对位置;

$V_{ow}$  项负值区中心移动方向相对无序, 存在少于  $t-1$  种移动方式, 移动方式存在频次相等的情况, 对比消亡与生成时次的  $V_{ow}$  项负值区中心相对位置;

$V_{ow}$  项负值区中心移动方向相对有序, 存在少于  $t-1$  种移动方式, 记录出现频次最多的移动方式;

$V_{ow}$  项负值区中心移动方向有序, 移动方式唯一。得出以下结果: 有 51.1% 的  $V_{ow}$  项负值区中心相

对高原低涡几乎不移动, 15.5% 的  $V_{ow}$  项负值区中心向高原低涡的东侧移动, 其余移动路径占比不足 1 成(图 12)。

在夏半年的月际变化中, 5、6 月  $V_{ow}$  项负值区中心几乎不移动的比例占了 6 成, 7-10 月占比占据了 67%。

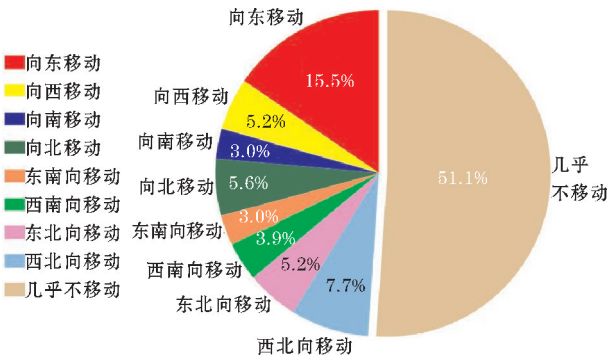


图 12 在高原低涡生命周期内,  $V_{ow}$  项负值区中心的移动路径统计

4 结论与讨论

基于 ECMWF-Interim 高分辨率再分析资料, 定义了高原低涡的客观识别方法, 并利用图像学逐步分析了低涡特征。

(1) 客观识别能够有效地分析高原低涡的活动特征。40 年高原生成的低涡年平均 35.1 个, 1997 与 2005 年高原低涡出现频次最高, 达 53 个; 1984 年出现频次最少, 为 21 个, 具有较大的年际变化特征; 5、6 月出现频次最多, 年均均为 5.4 和 6.0 个; 12 月份最少, 年均均为 0.5 个; 夏半年 (5-10 月) 高原低涡频次占全年的 74.4%。

(2) 在高原低涡初生时, 24.1% 的相对涡度中心位于高原低涡的南部, 占比最高; 东部和北部的相对涡度中心分别占 19.5% 和 16.5%; 在低涡发展过程中, 正涡度核心区域的中心有 29.9% 集中于高原低涡重心附近, 西南部和西部占比达到了 20.3% 和 17.9%; 东北、西南和北部占比之和仅有 9.1%。

(3) 对  $V_{ow}$  项负值区中心的分析结果表明, 40 年, 有 24.5% 的  $V_{ow}$  项负值区中心位于高原低涡的东部, 21.9% 位于高原低涡的西北部, 16.6% 位于高原低涡的重心附近。

(4) 设立  $V_{ow}$  项负值区中心移动路径判断方式, 在单个高原低涡生命周期内, 有 51.1% 的  $V_{ow}$  项负值区中心相对于高原低涡几乎不移动, 15.5% 的  $V_{ow}$  项负值区中心则会向东移动。

根据客观识别与图像学方法完成了对高原低涡的分析,  $V_{ow}$  负值项对风切变有很好的指示作用, 后续研究中可结合图像学对高原切变线进行分析。

致谢: 感谢成都信息工程大学基金项目 (KYTZ201906、BKJX2019081); 软件自动生成与智能服务四川省重点实验室基金项目 (2017003) 对本文的资助

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王鑫,李跃清,郁淑华,等. 青藏高原低涡活动的统计研究[J]. 高原气象,2009,28(1):64-71.
- [3] 李国平,刘晓冉,黄楚惠,等. 夏季青藏高原低涡结构的动力学研究[J]. 成都信息工程学院学报,2011,26(5):461-469.
- [4] 李山山,李国平. 一次高原低涡与高原切变线演变过程与机理分析[J]. 大气科学,2017,41(4):713-726.
- [5] 胡文东,赵光平,陈晓光,等. 高空基本天气系统类别自动识别与沙尘暴系统识别试验[J]. 中国沙漠,2007(4):633-638.
- [6] 胡文东,黄小玉,赵光平,等. 高空基本影响天气系统定量化自动分析研究[J]. 气象,2008(6):107-111.
- [7] 胡文东,杨侃,黄小玉,等. 一次阵风锋触发强对流过程雷达资料特征分析[J]. 高原气象,2015,34(5):1452-1464.
- [8] 颜长建,胡文东,张春梅,等. 基于梯度的 500hPa 槽线天气系统自动分析方法[J]. 应用气象学报,2016,27(6):741-749.
- [9] 林志强,周振波,假拉. 高原低涡客观识别方法及其初步应用[C]. 中国气象学会. S4 青藏高原及邻近地区天气气候影响. 中国气象学会:中国气象学会,2012:41-52.
- [10] 林志强. 1979-2013 年 ERA-Interim 资料的青藏高原低涡活动特征分析[J]. 气象学报,2015,73(5):925-939.
- [11] 张博,李国平. 基于 CFSR 资料的青藏高原低涡客观识别技术及应用[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2017,53(1):106-111.
- [12] Tim D Hewson, Helen A Titley. Objective identification, typing and tracking of the complete life-cycles of cyclonic features at high spatial resolution[J]. Meteorological Applications, 2010, 17(3).
- [13] 冷亮,肖艳姣,吴涛. 基于数学形态学的阵风锋识别算法[J]. 气象科技,2016,44(1):1-6.
- [14] 邵建,胡文东,杨有林,等. 基于图形学的致旱天气系统自动识别技术[J]. 干旱区研究,2019,36(3):664-669.
- [15] Bao X H, Zhang F Q. Evaluation of NCEP-CFSR, NCEP-NCAR, ERA-Interim, and ERA-40 reanalysis datasets against independent sounding observations over the Tibetan Plateau[J]. Climate, 2013, 26(1):206-214.

## Objective Identification and Image Analysis on Qinghai-Tibet Plateau Vortex

DING Yuqin<sup>1</sup>, HU Wendong<sup>1,2,3</sup>, SHAO Jian<sup>4</sup>, LI Jinze<sup>1</sup>, XU Wenjia<sup>1</sup>, JIA Jingxiang<sup>1</sup>, TONG Jingze<sup>1</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Key Laboratory of Software Automatic Generation and Intelligent Service of Sichuan Province, Chengdu 610225, China; 3. Key Laboratory of Plateau Atmosphere and Environment, Sichuan Province, Chengdu 610225, China; 4. Yinchuan Meteorological Bureau, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** In order to further analyze the distribution characteristics of the Qinghai-Tibet Plateau vortex, this article objectively identifies the plateau vortex from 1979 to 2018 and introduces imaging methods for analysis. The results show: in the past 40 years, 35.1 plateau vortices were generated every year. In 1997, the plateau vortex was the highest, reaching 53, and in 1984, the frequency was the least. Image analysis shows that 24.1% of the positive vorticity centers are located in the southern part of the plateau vortex at the beginning of the plateau vortex, which accounts for the highest proportion. The positive vorticity centers in the east and north account for 19.5% and 16.5%, respectively; during plateau vortex development, 29.9% of the positive vorticity center was concentrated near the center of gravity of the plateau low vortex, the proportions of the southwest and west reached 20.3% and 17.9%; the sum of the proportions of the northeast, southwest and north was only 9.1%. The Okubo-Weiss (OW) parameter ( $V_{OW}$ ) describing tropical cyclones is introduced. The negative value of  $V_{OW}$  has a strong correlation with shear. The study found that 24.5% of the negative  $V_{OW}$  term center is located in the eastern region of the plateau vortex, 21.8% is located in the northwest region of the plateau vortex, and 16.6% is located near the center of gravity of the plateau vortex. During the life cycle of a single plateau vortex, the center of 51.0% of the negative value area of  $V_{OW}$  almost does not move relative to the center of the plateau vortex, and the center of 15.5% of the negative value of  $V_{OW}$  will move eastward.

**Keywords:** meteorology; weather system analysis; objective recognition; imageology;  $V_{OW}$  parameters