

慕丹,李跃清.西南涡统计特征研究综述[J].干旱气象,2017,35(2):175-181, [MU Dan, LI Yueqing. Statistical Characteristics Summary of the Southwest China Vortex[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(2):175-181], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-02-0175

西南涡统计特征研究综述

慕丹¹,李跃清²

(1. 成都信息工程大学,四川 成都 610225;2. 中国气象局成都高原气象研究所,四川 成都 610072)

摘要:西南涡是影响我国降水的重要天气系统之一。统计分析是较早运用于研究西南涡活动的方法。本文回顾了从20世纪80年代末期至今关于西南涡的气候统计分析结果,简要总结了关于西南涡的属性、多尺度时间变化、活动特征及其对天气影响等方面基于统计分析的主要成果,在此基础上,分析、归纳出今后需要深入分析和进一步研究的若干问题。

关键词:西南涡;统计特征;回顾;展望

文章编号:1006-7639(2017)-02-0175-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-02-0175

中图分类号:P468.0⁺2

文献标识码:A

引言

西南低涡(简称西南涡)是出现在我国青藏高原东南侧川西地区700 hPa(或850 hPa)等压面上的一种 α 中尺度气旋系统,水平尺度约为3~5个经距,多为暖性结构,生命史一般低于48 h^[1-4],个别可达5 d以上。西南涡是影响我国降水的重要天气系统,其产生暴雨天气的能力仅次于台风^[5],西南涡暴雨是我国各类型暴雨中非常复杂且富有特色的暴雨现象^[1-3]。引发的降水区域涉及川渝^[6-7]及下游广大地区(长江流域、淮河流域、华北、东北、华南和陕南等)^[8-9]。如1981年7月11—15日四川盆地发生的百年不遇特大暴雨^[10],1996年西南涡2次北上造成山东地区大范围强降水天气^[11],1998年整个夏季长江中下游地区的暴雨洪涝灾害^[12]等。

统计分析是最常用且有效的气象分析工具,较早运用于西南涡活动的研究。已有研究表明:西南涡活动的统计分析可为西南涡的结构特征^[13-17]、形成背景及原因^[18-22]、移动机制^[23-27]及其与高原涡和热带气旋相互作用^[28-31]等进一步深入研究提供必要基础。随着已有资料时间序列的延长和新资料的出现,西南涡特征统计分析也不断深入^[3]。因

此,本文主要回顾了20世纪80年代末期以来,关于西南涡气候特征的统计分析成果,归纳西南涡一些基本事实的异同,包括西南涡的基本属性(定义、源地、生命史、低压中心位势高度值)、多尺度时间变化、活动特征及其对降水影响,讨论了目前西南涡统计分析研究中存在的主要问题,并对今后西南涡研究作了初步展望。

1 西南涡属性

1.1 定义

关于西南涡的定义,1980年,陶诗言^[8]指出,西南涡是出现在四川西部的一种中尺度扰动,在700 hPa或850 hPa上常与切变线或气旋式环流对应,其水平尺度为300~1 000 km。1986年,卢敬华^[1]总结了对西南涡定义的认识,指出西南涡的定义存在分歧,但基本点明确,即西南涡是在青藏高原东南缘特殊地形影响下,出现在我国西南地区700 hPa等压面上浅薄的中尺度气旋式涡旋。随后,又补充为“西南涡是出现于青藏高原东南侧川西高原及四川盆地700 hPa或850 hPa等压面上的一种中尺度气旋系统,直径约为300~500 km,平均以700 hPa最为清楚^[32],是青藏高原大地形和川西高

收稿日期:2017-03-09;改回日期:2017-04-10

基金项目:国家自然科学基金重点项目(91337215)、国家自然科学基金面上项目(41275051)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006053)及四川省应用基础研究计划重点项目(2016JY0046)共同资助

作者简介:慕丹(1991-),女,重庆人,硕士研究生,主要从事高原天气研究. E-mail:977541609@qq.com

通讯作者:李跃清. E-mail:yueqingli@163.com

原中尺度地形共同影响下的产物^[2]”。

为了方便对西南涡进行识别和追踪,从地理位置、风场、位势高度场、物理量等方面对其定义作了详细说明^[33-37]。如陈启智等^[33]将 100°E—110°E、25°N—35°N 范围内满足以下条件的环流系统定义为西南涡:一是 700 hPa 天气图在上述区域内有低压中心;二是围绕该低压中心有闭合或趋于闭合的等值线;三是若 700 hPa 天气图在上述范围内的低压中心外围的环流等值线不明显,则在 850 hPa 对应位置上必须存在十分明显的低压中心和闭合环流。

1.2 涡源

西南涡涡源是指低涡初生时中心相对比较集中的地区。卢敬华^[1]、徐裕华^[32]等通过统计分析发现,西南涡的源地主要集中在 2 个地区:九龙、巴塘、康定、德钦一带(28°N—32°N、99°E—102°E)和四川盆地,习惯将初生于前者的西南涡称为“九龙低涡”(简称九龙涡),而初生于后者的西南涡称为“盆地低涡”(简称盆地涡)。随着第二次青藏高原大气科学试验(简称 TIPEX)的实施,对西南涡生成源地有了进一步认识和了解,如陈忠明等^[34]利用 1983—1992 年逐日资料对西南涡活动进行统计分析,细划了低涡源地,指出西南涡初生的高频中心主要集中在 3 个地区:一是 100°E—103°E、27°N—30°N 范围,中心位于 101.5°E、28.5°N,即九龙生成区;二是 105°E—108°E、30°N—33°N 范围,中心位于 106°E、31°N,即四川盆地生成区;三是 100°E—104°E、30°N—32°N 范围,中心位于 102.5°E、31°N,称为小金生成区,将初生于此区的西南涡称为“小金低涡”(简称小金涡)。之后,中国气象局成都高原气象研究所^[35-37]研编的西南低涡年鉴对九龙涡、小金涡、盆地涡的具体细分又有所不同,九龙涡是生成于 99°E—104°E(不包含 104°E)、26°N—30.5°N 范围内的低涡,小金涡是生成于 99°E—104°E(不包含 104°E)、30.5°N—33°N 范围内的低涡,而盆地涡则是生成于 104°E—109°E、26°N—33°N 范围内的低涡。虽然对西南涡涡源分布范围的界定略有差异,但各涡源初生频数中心区一致。

西南涡生成区与西南涡的动力因素有一定关系,地形对西南涡涡源形成的动力影响表明,西南涡的涡度源主要有 3 个^[38-39]:一是四川盆地与青藏高原相连接的陡峭地形附近,由于涡管伸展导致涡度增强;二是横断山脉背风侧的涡度带,主要是由于气流绕横断山脉所致;三是沿青藏高原东北侧南移的背风槽涡度带,主要是西风气流翻越青藏高原大地形产生的。尽管统计西南涡时所选的范围、资料类

型、时间序列和统计方法不尽一致,但得到的西南涡初生高频中心(九龙、小金、盆地生成区)^[33,40]与动力分析的涡度源基本一致。

1.3 生命史

西南涡的维持时间及其发展对未来天气和降水有重要影响,其生命史是西南涡一项重要的特征指标。统计表明,随着西南涡维持时间的增长,其出现频数呈指数衰减^[33-34],大部分低涡是不发展的,生命史低于 48 h,且主要出现在春、秋季,而较活跃的西南涡则主要生成于夏季,有的生命史超过 72 h,影响范围较广,受到广泛关注^[33-34,40-41]。

1.4 低涡中心位势高度

西南涡生成后,大多数在原地减弱消亡,而少数低涡在生成后 12 h 内中心位势高度不断降低,从而得到进一步的发展东移^[34,40]。因此,将低涡生成后 12 h 内中心及附近位势高度下降作为低涡发展的一个指标^[34,40]。刘国忠等^[42-43]统计影响华南地区的西南涡发现,大雨和暴雨以上降水西南涡过程,低涡中心位势高度均 < 311 dagpm,且集中于 308 dagpm 附近,表明一定强度的低涡是较大降水天气过程产生的必要条件。

2 西南涡时间变化特征

2.1 年际变化

表 1 罗列前人关于西南涡年际变化的统计结果。可以看出,若所选资料的时段在 20 a 内,其统计的西南涡年际波动较大,无明显变化趋势,而针对较长序列,其西南涡的年际变化特征有增加或减少趋势^[41,46];西南涡发生总频数及高、低频年也有部分差异,这可能与所选资料、低涡定义标准不同等有关。除马振峰等^[45]统计的明显偏多外,其它研究结果的总频数及年平均数比较一致。另外,陈启智等^[33]将 1992 年定为高频年,西南涡有 86 个,而陈忠明等^[34]将其定为低频年,西南涡有 45 个,虽然资料时段不同(长度接近),但同一年的统计结果相差近一半,可见是西南涡定义不同造成的。值得一提的是,在前人所选资料时段范围及西南涡定义标准限制下,西南涡的年际变化特点主要呈波动状,无明显周期性规律,无法得到近半个世纪以来完整的西南涡年际变化特征,需要建立统一的统计标准且不断更新的西南涡活动监测数据库来获得。

2.2 月际变化

表 2 给出西南涡月际变化统计特征。可看出,关于西南涡的月际变化特征,因资料时段和类型、西南涡统计标准等不同,各研究结果有所差异,如卢敬

表 1 西南涡年际变化统计特征

Tab. 1 Statistical characteristics for annual variation of the Southwest China vortex

作者	发表年份	资料	统计月份	总频数 (多年平均)	高频年 (频数)	低频年 (频数)	年际变化特点
卢敬华等 ^[44]	1993 年	1970—1989 年天气图	1—12	1 096 (54.8)	1983 (67)	1972 (40)	气候振荡
马振峰等 ^[45]	1993 年	1980—1991 年天气图	1—12	1 906 (158.8)	1980 (无)	1988 (无)	无
陈忠明等 ^[34]	2000 年	1983—1992 年天气图	1—12	673 (67.3)	1983 (98)	1992 (45)	后 5 a 总数减少 (马尔康、康定小球测风取消导致漏测)
陈启智等 ^[33]	2007 年	1990—2004 年天气图	1—12	1 038 (69.2)	1992 (86)	2003 (48)	年变化明显,年频数在平均值 ± 5 ~ 10 次之间波动
谌贵珣等 ^[40]	2008 年	2000—2007 年天气图	1—12	无	2002 (66)	2005 (47.4)	年际变化差异大
高正旭 ^[46]	2011 年	1948—2007 年 NCEP 资料	5—10	2 304 (38.4)	1970 年代末期至今	1950 年代末期至 1970 年代末期	呈增多趋势,1993 年以后连续高于多年平均值
王金虎等 ^[41]	2015 年	1979—2012 年 ERA - interim 资料	1—12	2 006 (59)	2009 (71)	2006 (49)	先增加后减少再增加趋势,年际波动大
叶瑶等 ^[47]	2016 年	1954—2014 年 NCEP/NCAR 资料	5—10	2 683 (43)	1964 (81)	1961 (5)	呈波动状态,无明显变化趋势

表 2 西南涡月际变化统计特征

Tab. 2 Statistical characteristics for monthly variation of the Southwest China vortex

作者	发表年份	资料	范围	统计月份	低涡频数最多月份 (季节)	低涡频数最少月份 (季节)	月际变化特点
卢敬华等 ^[44]	1993 年	1970—1989 年天气图	四川西部	1—12	5 月 (夏季)	10 月 (冬季)	月际分布极不均匀
马振峰等 ^[45]	1993 年	1980—1991 年天气图	100°E—110°E、25°N—35°N	1—12	7 月 (夏季)	12 月 (冬季)	无
陈忠明等 ^[34]	2000 年	1983—1992 年天气图	100°E—108°E、26°N—33°N	1—12	7 月 (夏季)	2 月 (冬季)	每月均有,呈单峰型,峰值在 7 月
陈启智等 ^[33]	2007 年	1990—2004 年天气图	100°E—110°E、25°N—35°N	1—12	4 月、6 月 (春、夏季)	2 月、12 月 (秋、冬季)	全年 4 次波动,7 月不是最多,但持续时间最长且最易移出
谌贵珣等 ^[40]	2008 年	2000—2007 年天气图	100°E—108°E、26°N—33°N	1—12	11 月 (冬季)	7 月 (夏季)	各月存在较大差异性
高正旭 ^[46]	2011 年	1948—2007 年 NCEP 资料	100°E—108°E、26°N—33°N	5—10	5 月、6 月 (无)	9 月 (无)	5—7 月是生成的集中期
王金虎等 ^[41]	2015 年	1979—2012 年 ERA - interim 资料	100°E—108°E、26°N—32°N	1—12	6 月、3 月 (春季)	11 月 (秋冬季)	各月分布有差异
Zhong 等 ^[49]	2014 年	1979—2008 年 JRA - 25 资料	100°E—130°E、20°N—50°N	1—12	无 (冬春季)	8 月 (无)	1—7 月减少,8 月最少,随后增多

华^[1]、陈忠明^[34]、马振峰^[45]等多数研究表明,夏季西南涡出现最多,一般在 7 月,秋、冬季最少;而谌贵珣等^[40]则认为,西南涡冬季最多,夏季最少,这可

能与采用的西南涡统计标准和前者不一致有关。同时还发现,5—8 月,尤其是 7 月西南涡生成后能够移出源地的概率远大于其他月份,这与 Fu 等^[48]的

研究结果一致;王金虎等^[41]指出,西南涡在6月、3月生成最多,11月最少,季节性变化呈春季多,秋、冬季少。可见,确立统一的西南涡统计标准和建立长时间数据序列非常必要。

刘国忠等^[42]指出,1996—2005年4—9月期间影响我国华南地区的西南涡有52例,6、7月是此类低涡活动的主要月份,9月无影响华南地区的低涡生成;朱官忠等^[50]普查1971—1980年5—9月700 hPa天气图,得到影响山东的西南涡有78例,6、7月出现最多,5、9月次之,8月最少;梁红丽等^[51]分析1980—2008年影响云南的西南涡,指出影响该省的西南涡有288次,6、7月最多,其次是4、5、8月,2月最少。可见,西南涡在6—7月最易引发下游广大地区的强降水。

2.3 日变化

关于西南涡的日变化,有2种不同的观点:一是西南涡夜间生成概率大于白天^[34,40];二是西南涡早上出现最多^[48]。梁红丽等^[51]统计指出,西南涡从08:00(北京时,下同)开始影响云南的概率为61.54%,从20:00开始的概率为38.46%,即西南涡白天影响云南的概率比夜间约多一倍,这表明南移影响云南的西南涡更可能是夜间在源地生成;李超等^[52]关于四川盆地涡指出,其东北型盆地涡夜间发生频数明显多于白天,而西南型盆地涡夜间发生频数与白天相当,说明四川盆地涡无论是西南型还是东北型,都具有夜发性特点,但东北型更明显。

3 西南涡移动特征

3.1 西南涡移动定义

关于西南涡的移动定义,通常分为移动、不移动、少移动3类,表3给出有关研究的定义标准。此

外,陈启智等^[33]将西南涡的移动分为3大类:一是快速消亡类。在源地生成后基本未移动,在下一时次就消亡的西南涡,占西南涡总数的75%;二是原地发展类。在源地生成后维持一定时间,但只是在生成区内摆动的西南涡,并没有移出统计区域,占总数的19%;三是移动类西南涡。在源地生成后移出统计区域并进一步发展的西南涡,占总数的6%。可见,西南涡在源地生成后,多数在源地快速生消,只有少数进一步发展移出,给下游地区带来强降水^[53]。

一般认为,西南涡移动路径主要有3条,即偏东、东北、东南路径^[1,33,40]。卢敬华^[1]认为偏东路径是指低涡通过四川盆地,经长江中游,基本上沿江淮流域东移;东北路径是指低涡通过四川盆地,经黄河中、下游,到达华北和东北地区,有的甚至移至渤海,穿过朝鲜移向日本;东南路径是指低涡移出源地后,经川南、滇东北、贵州(有时影响两广)沿25°N—28°N东移,在闽中—浙南消失或出海移入北部湾。陈忠明等^[12]将西南涡移动路径分为东北(与正北方向夹角<60°)、偏东(夹角介于60°~110°)和东南(夹角>110°)3个不同方向。陈启智等^[33]定义与之相似,东北路径指西南涡由源地经陕西、河南、湖北、山东、江苏移向东北,此移动路径与纬圈夹角>30°;偏东路径指西南涡由源地经长江流域东移入海,此移动路径与纬圈基本平行,夹角<30°;偏南路径指西南涡由源地经贵州、湖南和福建入海,有时还会影响到广西、广东;少动路径指西南涡由源地发展东移出四川盆地,类似偏东路径,但没有东移入海,而是在我国中部地区很快消散消亡。可见,西南涡除东移外,还存在西退现象^[44]。上述分析看出,西南涡的移动定义各研究基本一致,只是定义标准略有差别。

表3 西南涡移动的定义

Tab.3 Definition of the movement of the Southwest China vortex

作者	不移动类	少移动类	移动类
马振峰等 ^[45]	移速 < 500 km · d ⁻¹	移速 < 500 km · d ⁻¹	移速 > 500 km · d ⁻¹
卢敬华 ^[1]	低涡新生后不久就消失,或在原地维持 12 ~ 24 h	移速 ≤ 25 km · h ⁻¹ , 移动距离较短,通常在 400 km 以内,最多不超过 600 km	移速 > 25 km · h ⁻¹ , 移动距离一般不超过 600 km, 其中部分超过 1 000 km
卢敬华等 ^[44]	每天移动距离 < 2 个纬距	无	每天移动距离 ≥ 2 个纬距
陈忠明等 ^[34]	无	移动距离在 500 km 内	移动距离 > 500 km

3.2 西南涡移动特征

西南涡移出源地后,所经之地产生降水天气,发展强烈的低涡甚至造成特大暴雨洪涝灾

害,关注西南涡的活动路径对下游地区的天气预报,尤其是防灾减灾有重要意义。表4列出已有关于西南涡移动及路径特征的统计结果。可知,

西南涡移出频数最多的月份和季节各研究基本一致,一般在夏季最易移出源地,且移出路径包括偏东、东北和东南方向,以偏东和东北路径为主。需要注意的是,西南涡的移动路径不只是单

一的直线型运动,还存在回转、源地维持和西退现象^[44]。然而,关于西南涡移动的折回、西退等奇异路径,以及与高原涡相互作用下的移动路径等研究,还是一个薄弱环节。

表4 西南涡活动的统计特征

Tab.4 Statistical characteristics of the movement of the Southwest China vortex

作者	发表年份	资料	范围	统计月份	移出低涡频数最多的月份(季节)	移出低涡频数最少的月份(季节)	路径
卢敬华等 ^[44]	1993年	1970—1989年 天气图	四川西部	1—12	5月(无)	9月(无)	4—6月偏东路径, 7—8月东北路径
陈启智等 ^[33]	2007年	1990—2004年 天气图	100°E—110°E、 25°N—35°N	1—12	无(春季)	无(冬季)	偏东、东北路径, 集中在春夏季
湛贵珣等 ^[40]	2008年	2000—2007年 天气图	100°E—108°E、 26°N—33°N	1—12	7月(夏季)	9月、11月(冬季)	偏东、东北路径
Zhong等 ^[49]	2014年	1979—2008年 JRA-25	100°E—130°E、 20°N—50°N	1—12	8月(夏季)	10月(冬季)	偏东或东南路径
王金虎等 ^[41]	2015年	1979—2012年 ERA-interim	100°E—108°E、 26°N—32°N	1—12	无(夏季)	无(冬季)	6月东北路径、7 月偏东路径最多

4 西南涡与降水的关系

西南涡降水是中国最具特色的降水现象,体现了复杂地形和多尺度系统综合作用^[3]。陶诗言^[8]指出,西南涡是夏半年造成我国暴雨的一种重要天气系统,其滞留源地附近时,可产生阴雨天气,且范围不大,若外移发展时,雨区扩大,雨强增强。西南涡引发的天气除以降水为主要特征以外,如遇其他系统配合还可造成大风、冰雹等灾害性天气^[1]。统计发现,绝大多数西南涡会带来降水或雷暴天气^[1,48],且低涡生命史越长,其造成的过程雨量越大^[42],在西南涡形成初期,低涡中心多是小雨,随着低涡中心强度增加,小雨或无雨的概率减少,而大雨或暴雨的概率增加^[1],且低涡中心位势高度降低的幅度越大,其造成的过程雨量越大^[42]。西南涡降水落区与低涡的移动路径有关,当低涡向东北方向移动时,途经黄河下游地区会带来大范围降水;当低涡偏东方向移动时,长江中、下游地区会出现大面积雨区;当低涡向东南方向移动时,往往造成云、贵、桂等省份的强降水及华南阴雨^[1]。李德俊等^[54]指出,由西南涡和非西南涡(南海西行台风)产生的四川南部暴雨天气,其降水云团结构和风廓线变化表现出差异性。其中,西南涡暴雨降水云团更大,云顶更高,降水云团垂直方向活动及其降水具有连续性,而南海西行台风暴雨则为时断时续。梁红丽等^[51]统计了影响云南的西南涡降水特征,得出东南路径的

西南涡在云南造成大到暴雨的频数最高、强度最大,暴雨中心主要位于滇中和滇东南。当西南涡中心位于30°N—36°N、104°E—114°E区域内,将影响山东的降水,尤其以33.5°N、110.0°E附近最为集中^[50]。高正旭等^[53]统计了西南涡与湖北降水的关系,指出西南涡沿长江流域东移过程中影响最频繁的区域主要在鄂西南和江汉平原,且对湖北的降水影响主要体现在极端降水上。另外,Yu等^[55]研究发现,西南涡与高原涡相互作用下的降水强度强于单纯由西南涡或高原涡引发的降水强度。值得一提的是,在西南涡与降水关系的研究中,能够带来降水的低涡发展情况,以及移动路径、影响范围、持续时间、降水变化与低涡强弱的关系等方面研究较少,而这些对降水业务预报具有重要指示意义。

5 总结与展望

西南涡是一个具有地域特色的天气系统,同时又是一引发大范围灾害性天气的中尺度系统,本文回顾了西南涡在统计特征方面的研究成果,尤其是西南涡的一些基本特征和观测事实,并指出一些需要深入思考和研究的问题。总结如下:

(1)关于西南涡的定义,包括地理范围、基本要素(位势高度场、风场)、物理量等,缺少一致的基本标准,需进一步思考;

(2)关于西南涡的涡源分布,即小金、九龙、四

川盆地,3个地区下垫面差异较大,且3个主要涡源并非孤立,而是相互联系^[52],其中,位于上游川西高原南部的九龙涡,对下游盆地涡源具有重要影响。过去往往将3个涡源统一分析,很少针对单一涡源进行细致研究。因此,今后开展3个涡源的关系研究,以及每个涡源特征的深入分析,都非常必要;

(3)关于西南涡基础资料,多采用天气图或再分析资料进行识别追踪。然而,在青藏高原东南缘与四川盆地过渡带,地形复杂,海拔高差大,大气变化剧烈,且站点尤其是探空站点稀少且分布不均匀,代表性差,气象资料质量受到严重影响,是长期困扰西南涡研究的一个首要问题,尤其给初生于川西高原的西南涡分析带来困难。若要有效揭示西南涡的活动特征,深入探讨其发生发展的动力、热力机制,就必须首先解决资料问题。为此,2010年开始,中国气象局成都高原气象研究所每年夏季进行为期41d的西南涡加密观测大气科学试验^[56-58],在一定程度上弥补了观测资料稀少的缺陷,取得明显成效^[3]。所以,基于加密观测试验资料,开展西南涡,尤其是初生于川西高原的西南涡的重新统计和订正,对实际业务和科学研究意义重大;

(4)西南涡活动及其对天气的影响需要不断通过延伸时间序列资料来更新统计结果,从而掌握西南涡的一些基本事实及变化趋势等。其次,西南涡作为影响我国降水天气最重要的天气系统之一,由于基础工作薄弱,缺乏统一的评价标准以及相关的数据库,因此在统一西南涡统计标准的基础上,加强西南涡年鉴的研编工作^[35-37],将能够解决这一基础问题;

(5)关于西南涡的统计特征多集中在西南涡的时空分布特征和基本活动规律方面,而就西南涡的特定物理特征,如内在结构、热力过程、动力过程及与高原涡系统的相互关系^[3,55]等长时间序列的分析研究较少,今后进一步加强这些方面的统计分析 with 综合研究是一重要趋势。

参考文献

[1] 卢敬华. 西南低涡概论[M]. 北京:气象出版社,1986:63-64.
 [2] 李国平. 青藏高原动力气象学[M]. 北京:气象出版社,2002:23.
 [3] 李跃清,徐祥德. 西南涡研究和观测试验回顾及进展[J]. 气象科技进展,2016,6(3):134-140.
 [4] 刘红武,李国平. 近三十年西南低涡研究的回顾与展望[J]. 高原山地气象研究,2008,28(2):68-73.
 [5] 王作述,汪迎辉,梁益国. 一次西南低涡暴雨的数值试验研究[A]. 暴雨科学、业务试验和天气动力学理论的研究[M]. 北

京:气象出版社,1996:235-267.
 [6] 屠妮妮,李跃清. 一次引发川东暴雨的西南涡特征分析[J]. 干旱气象,2014,32(6):962-971.
 [7] 师锐,何光碧,龙柯吉. 一次四川盆地低涡型特大暴雨过程分析[J]. 干旱气象,2015,33(5):845-855.
 [8] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980:225.
 [9] 赵思雄,傅慎明. 2004年9月川渝大暴雨期间西南低涡结构及其环境场的分析[J]. 大气科学,2007,31(6):1059-1075.
 [10] 程麟生,郭英华. “81.7”四川暴雨期西南涡生成和发展的涡源诊断[J]. 大气科学,1988,12(1):20-28.
 [11] 张飒,程相坤. 造成山东不同天气的两个西南涡异同分析[J]. 气象,1998,24(1):20-24.
 [12] 陈忠明,徐茂良,闵文彬,等. 1998年夏季西南低涡活动与长江上游暴雨[J]. 高原气象,2003,22(2):162-167.
 [13] 彭新东,程麟生. 高原东侧低涡切变线发展的个例数值研究——Ⅱ中尺度数值模拟[J]. 兰州大学学报(自然科学版),1994,30(1):124-131.
 [14] 解明恩,璐建华,卜玉康. 西南低涡 Ekman 层流场特征分析[J]. 高原气象,1992,11(1):31-38.
 [15] Wang W, Kuo Y H, Wamer T T. A Diabatically Driven Mesoscale Vortex in the Lee of the Tibetan Plateau[J]. Mon Wea Rev,2009,121(9):2542-2561.
 [16] 韦统健,薛建军. 影响江淮地区的西南涡中尺度结构特征[J]. 高原气象,1996,15(4):456-463.
 [17] 韦统健. 一次西南低涡流场中的分析[J]. 气象科学,1988,8(3):64-74.
 [18] 黄福均,肖洪郁. 西南低涡暴雨的中尺度特征[J]. 气象,1989,15(8):3-9.
 [19] 黄福均. 西南低涡的合成分析[J]. 大气科学,1986,10(4):68-74.
 [20] Wu G X, Chen S J. The effect of mechanical forcing on the formation of a mesoscale vortex[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological, 1985,111:1049-1070.
 [21] 叶笃正,高有禧,丁一汇,等. 青藏高原气象学[M]. 北京:科学出版社,1979:115-121.
 [22] 高守亭. 流场配置及地形对西南低涡形成的动力作用[J]. 大气科学,1987,11(3):39-47.
 [23] 陈忠明. 环流场作用与西南低涡移动的初步分析[J]. 高原气象,1989,8(4):301-312.
 [24] 陈忠明,徐裕华. 非对称结构影响西南低涡移动的初步研究[J]. 四川气象,1991,11(3):1-6.
 [25] 丁治英,吕君宁. 西南低涡动态的合成诊断[J]. 高原气象,1991,10(2):156-165.
 [26] 丁治英,吕君宁. 积云对流与西南低涡的活动[J]. 南京气象学院学报,1992,15(3):428-435.
 [27] 潘畅,李建,宇如聪. 东移西南低涡空间结构的气候学特征[J]. 气候与环境研究,2011,16(1):60-70.
 [28] 陈忠明,闵文彬,缪强,等. 高原涡与西南涡相互耦合的个例诊断[J]. 高原气象,2004,23(1):75-80.
 [29] 赵玉春,王叶红. 高原涡诱生西南涡特大暴雨成因的个例研究[J]. 高原气象,2010,29(4):819-831.
 [30] 陈忠明,黄福均,何光碧. 热带气旋与西南低涡相互作用的两个个例研究 I. 诊断分析[J]. 大气科学,2002,26(3):352-

- 360.
- [31] 周春花,顾清源,何光碧. 高原涡与西南涡相互作用暴雨天气过程的诊断分析[J]. 气象科技,2009,37(5):538-544.
- [32] 徐裕华. 西南气候[M]. 北京:气象出版社,1991:56-60.
- [33] 陈启智,黄奕武,王其伟,等. 1990-2004年西南低涡活动的统计研究[J]. 南京大学学报(自然科学版),2007,43(6):633-642.
- [34] 陈忠明,闵文彬. 西南低涡活动的统计研究[A]. 青藏高原气象学研究文集[C]. 北京:气象出版社,2000:162-170.
- [35] 中国气象局成都高原气象研究所. 西南低涡年鉴.2012[M]. 北京:科学出版社,2013.
- [36] 中国气象局成都高原气象研究所. 西南低涡年鉴.2013[M]. 北京:科学出版社,2015.
- [37] 中国气象局成都高原气象研究所. 西南低涡年鉴.2014[M]. 北京:科学出版社,2016.
- [38] 王其伟,谈哲敏. 地形对西南低涡涡源形成的动力影响作用[EB/OL]. 中国科技论文在线,2006.
- [39] Wang Q W, Tan Z M. Multi-scale topographic control of southwest vortex formation in Tibetan Plateau region in an idealized simulation[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2015, 119(20):11543-11561.
- [40] 湛贵珣,何光碧. 2000~2007年西南低涡活动的观测事实分析[J]. 高原山地气象研究,2008,28(4):59-65.
- [41] 王金虎,李栋梁,王颖. 西南低涡活动特征的再分析[J]. 气象科学,2015,35(2):133-139.
- [42] 刘国忠,丁治英,贾显锋. 影响华南地区西南低涡活动的统计研究[J]. 气象研究与应用,2006,27(4):16-19.
- [43] 刘国忠,丁治英,贾显锋. 影响华南地区西南低涡活动以及致洪低涡活动的统计研究[J]. 气象,2007,33(1):45-50.
- [44] 卢敬华,陈刚毅. 西南低涡的一些基本事实及初步分析[J]. 成都信息工程学院学报,1993(4):7-15.
- [45] 马振峰,汪之义. 西南低涡活动的若干统计分析[J]. 高原山地气象研究,1993(2):11-15.
- [46] 高正旭. 西南低涡的统计特征研究[A]. 中国气象学会第五届副热带气象学术业务研讨会[C]. 2011.
- [47] 叶瑶,李国平. 近61年夏半年西南低涡的统计特征与异常发生的流型分析[J]. 高原气象,2016,35(4):946-954.
- [48] Fu S M, Zhang J P, Sun J H, et al. A Fourteen-Year Climatology of the Southwest Vortex in Summer[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2014,7(6):510-514.
- [49] Zhong R, Zhong L H, Hua L J, et al. A Climatology of the Southwest Vortex during 1979-2008[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2014,7(6):577-583.
- [50] 朱官忠,黄景华,官凤山. 影响山东的西南低涡的统计分析[J]. 山东气象,1994(1):1-6.
- [51] 梁红丽,段旭,符睿,等. 影响云南的西南低涡统计特征[J]. 高原气象,2012,31(4):1066-1073.
- [52] 李超,李跃清,蒋兴文. 四川盆地低涡的月际变化及其日降水分布统计特征[J]. 大气科学,2015,39(6):1191-1203.
- [53] 高正旭,王晓玲,李维京. 西南低涡的统计特征及其对湖北降水的影响[J]. 暴雨灾害,2009,28(4):302-305.
- [54] 李德俊,李跃清,柳草,等. 基于TRMM卫星探测对宜宾夏季两次暴雨过程的比较分析[J]. 气象学报,2010,68(4):559-568.
- [55] Yu S H, Gao W L, Xiao D X, et al. Observational facts regarding the joint activities of the Southwest vortex and Plateau vortex after its departure from the Tibetan Plateau[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2016,33(1):34-46.
- [56] 李跃清,赵兴炳,邓波. 2010年夏季西南涡加密观测科学实验[J]. 高原山地气象研究,2010,30(4):80-84.
- [57] 李跃清,赵兴炳,张利红,等. 2011年夏季西南涡加密观测科学实验[J]. 高原山地气象研究,2011,31(4):7-11.
- [58] 李跃清,赵兴炳,张利红,等. 2012年夏季西南涡加密观测科学实验[J]. 高原山地气象研究,2012,32(4):1-8.

Statistical Characteristics Summary of the Southwest China Vortex

MU Dan¹, LI Yueqing²

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;
2. Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu 610072, China)

Abstract: The Southwest China vortex is one of the important weather systems affecting the precipitation in China. Statistical analysis was used earlier in the study of the Southwest China vortex activity. The paper reviewed the research progress of the Southwest China vortex based on the climatic statistical analysis since the late 1980s, and summarized briefly the major achievements about the properties, multi-scale time variation, activity characteristics of the Southwest China vortex and its impact on the precipitation. And on the basis it tried to analyze and summary the existing problems of the Southwest China vortex in statistical analysis, which would be necessary to think seriously and research deeply in the future.

Key words: Southwest China vortex; statistical characteristics; review; prospect