

近20年来青藏高原低涡的研究进展

陈功¹ 李国平² 李跃清¹

(1 中国气象局成都高原气象研究所, 成都 610072;

2 成都信息工程学院大气科学学院和高原大气与环境四川省重点实验室, 成都 610225)

摘要: 青藏高原低涡是青藏高原地区特有的产物, 是夏季高原上的主要降水系统, 而东移出高原的低涡, 又往往引发青藏高原下游地区大范围的灾害性天气过程。对20世纪90年代以来, 青藏高原气象学研究领域中有关高原低涡系统的若干进展做了简要综述, 初步总结了各类研究涉及的重要问题及主要成果, 在此基础上提出了目前高原低涡研究存在的主要问题和需要加强的几个研究方向, 分别是: (1) 高原地区的资料丰富与完整程度依然不足, 有必要进行各种加密观测试验和大规模科学考察试验来获取更全面的资料。同时进一步加强资料的分析与综合应用, 会对高原低涡天气气候与活动特征有更深入的认识; (2) 在高原低涡生成与发展的研究方面, 目前明确了低涡作为青藏高原特殊的天气系统, 高原的动力和热力作用对它的产生、发展以及移动的影响十分显著, 但是不同个例以及同一个例的不同阶段, 高原的动力和热力作用有何区别, 影响是否具有普遍性等问题并未圆满回答, 还需继续深入研究; (3) 高原低涡并非一独立存在的系统, 其自身的发展变化以及东移过程也受诸多其他系统的影响, 目前对高原低涡与高原500hPa切变线、西南低涡等其他系统相互作用有了一定的研究, 但多数仅讨论两系统之间的外部关系与相互影响, 多系统相互作用的机制问题也需要给予一定的重视; (4) 不能忽略有些在高原上强烈发展但消亡而并未移出高原的低涡系统, 这些高原低涡也可能通过波动传播的机制, 诱发下游的天气变化; (5) 理论研究是高原低涡研究的难点, 但对于提高对低涡发生发展的认识至关重要, 也有助于提升对青藏高原及其周边地区天气预报的能力; (6) 了解模式在高原地区的局限性。同时, 也应该利用卫星、雷达和加密观测资料进行同化模拟试验, 提高模拟效果, 用好数值模式这个有用的分析研究工具。

关键词: 高原低涡, 研究, 进展

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.02.001

The Research Progress of the Tibetan Plateau Vortex in Recent Twenty Years

Chen Gong¹, Li Guoping², Li Yueqing¹

(1 Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu 610072

2 College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology and The Key Laboratory of Plateau Atmosphere & Environment of Sichuan Province, Chengdu 610225)

Abstract: Tibetan Plateau vortex (TPV) is a unique product in the region of the Tibetan Plateau, and it is the main precipitation system in summer on the plateau. The eastward vortex moving out of the plateau is always giving rise to a large-scale severe weather process in the downstream area of the Tibetan Plateau. This study has given a brief overview of the research on TPV since 1990s, and has summarized the major achievements made on the basis of the TPV. Furthermore, it points out several research directions which should be put more emphasis on. They are (1) the data is still very inadequate in the region of the Tibetan Plateau, so it is very necessary to organize large-scale scientific observations to obtain more comprehensive data. And this will help deepen our understanding of the TPV. (2) It's believed that the thermal and dynamic effects of the Tibetan Plateau will obviously affect the generation, developing and moving stage of TPV which is a unique system of the Tibetan Plateau, but we are still not clear about the differences between the thermal and dynamic effects and we cannot tell which effect is more important in different stages of TPV. (3) TPV does not exist alone, for its own development and the eastward moving is also affected by many other systems. We now know some basic results of interactions between TPV and southwest vortex, but most of the discussions are limited to the two systems, and multi-system interaction mechanism also needs to be given some attention to. (4) We cannot ignore some of the TPVs which are strongly developed but not moving out of the plateau. However, these TPV's fluctuations may also spread through the mechanism to induce downstream changes in the weather. (5) Theoretical research is a great challenge for understanding of TPV, which also helps to improve weather forecasts ability on the Tibetan Plateau and its surrounding areas. (6) We need to understand the limitation of numerical models in the plateau region. At the same time, satellite, radar and encryption observational data should be assimilated to improve simulation results.

收稿日期: 2011年4月28日; 修回日期: 2011年6月10日

第一作者: 陈功 (1984-), E-mail: liliknn@gmail.com

资助信息: 国家自然科学基金 (40875023): 青藏高原低涡空性及螺旋云带的观测和理论研究; 川气课题 2011-青年-02: 基于高分辨率同化数值模拟的高原低涡三维结构研究

Key words: Tibetan Plateau vortex, research, progress

1 引言

高原低涡是青藏高原夏季主要的降水系统，是高原特有的产物。它一般在高原西半部生成，消失于高原东半部。值得注意的是，在有利的环流形势配合下，少数高原低涡能够发展东移出高原，往往引发青藏高原下游地区大范围的暴雨、雷暴等灾害性天气过程^[1-3]。高原低涡移出高原后，其“北槽南涡”的天气形势是西北地区夏季大到暴雨的一种主要影响系统。东移的高原低涡与地面冷空气配合，夏季常在四川地区产生区域性暴雨天气过程^[4]。低涡东移出川时，又可影响长江中下游、黄淮流域，甚至华北地区的强降水过程^[5]。例如1998年长江流域的大暴雨过程中，高原低涡即是大暴雨发生的重要条件之一^[6]。对高原低涡的研究不仅是青藏高原气象学理论研究的一个重要问题，而且对提高青藏高原及其周边区域的天气预报水平都有实际意义。

高原低涡的结构、形成与发展及其造成的天气灾害等问题的认识和研究，一直被气象学家和天气预报员关心、重视，并在1979年第一次青藏高原气象科学试验(QXPMEX)和1998年第二次青藏高原气象科学试验(TIPEX)前后取得了一些重要研究成果^[1, 2, 7-10]。近20年以来，关于青藏高原低涡的研究更加细致深入，表现在研究中使用了卫星资料等新的观测资料；进行了对一些新型物理量的诊断；采用了更高分辨率的中尺度数值模式；从能量学和低频振荡等一些新的角度来解释其发生发展，同时所研究的个例也更加丰富。研究领域涉及了高原低涡的天气诊断、数值模拟、动力学分析等多个方面，尤其更加关注高原低涡的东移问题和高原低涡造成灾害性天气的机理问题，极大深化了对高原低涡的认识。本文主要就近20年以来关于青藏高原低涡的研究做一简要回顾，并分析目前存在的主要问题。

2 高原低涡的研究进展

20世纪60年代，吴永森等^[11]、陈乾^[12]首先指出高原低涡的事实，叶笃正、高由禧在1979年指出高原低涡的水平尺度约500km，垂直厚度约2~3km，遇有适宜的高空条件，它们也会发展移出高原^[1]。有组织、较系统的高原低涡研究出现在1977年以后，特别是1979年第一次青藏高原气象科学试验的实施，使高原低涡的研究推进了一大步，取得了一些开创性的成果。首先是对高原低涡加以定义，视有闭合等高线的低压或三个站风向呈气旋性环流的低涡为高原低涡，并将其分为暖性低涡和冷涡^[8]；在高原低涡环流背景方面，指出低层500hPa有利于低涡生成的环流型

有四种：北脊南槽型，西槽东脊型，变形场型和平直西风型^[8]；在高原低涡涡源方面，认为高原低涡主要生成于95°E以西，30°—35°N纬带间，源地主要集中在在那曲以北和申扎—改则之间^[13]，羌唐、那曲、柴达木和松潘为高原低涡的几个高发中心^[14]；高原低涡结构研究方面，认为高原低涡是暖湿、不对称系统，暖性涡整层都是暖心，斜压涡低层是冷中心，但中上层仍是暖中心，500hPa正涡度中心与低涡中心吻合，除涡度外，其他物理量不对称；高原低涡生成机制方面，认为地形与感热加热有重要作用^[15-17]；高原低涡东移研究方面，根据天气学环流形势的不同，将东移高原低涡的环流形势分为三种基本类型：高压后部的低涡（处于副热带西风急流呈纬向分布形式下）、西风槽前部的低涡（处于经向环流形式下）和切变线上的低涡。以上工作奠定了高原低涡研究的基础。20世纪90年代以来对高原低涡的研究主要可分为以下四个方面，下面分别讨论。

2.1 高原低涡的观测研究

2.1.1 高原低涡的天气气候特征

现阶段，普遍认同青藏高原主体的高原低涡主要有三类：有锋区配合的斜压涡；有冷中心或冷槽相配合的冷涡；位于暖脊或暖中心附近的暖涡。一般将生成于92.5°E以西的高原主体地区，东移到92.5°E以东的高原东部及其以东地区，且持续36h以上的低涡称为发展东移的低涡；将生成于92.5°E以西的高原主体地区，并在该地区生消，不移到高原东部，且持续36h以上的低涡称为原地生消的低涡。罗四维等^[13]指出最有利产生高原低涡的环流形势是：100hPa在高原上空是反气旋环流，与此同时500hPa在高原地区是低压区，在高原东西两侧是高压区，在印度是更强的低压所在，在高原北方是高脊所在，有时此脊位置略有东移，而产生不同的环流型。

卫星监测资料的日益完善，对高原地区气象台站稀疏是一个有益补充，陈隆勋等^[18]利用日本静止卫星观测的1981—1994年TBB资料和NOAA卫星观测的1978—1994年OLR资料研究了高原地区对流云的日变化特征，推测了三个TBB低值中心可能对应夏季高原低涡涡源。郁淑华等^[19, 20]利用日本静止气象卫星GMS-5的水汽图像资料做个例分析，发现了水汽灰度值 ≥ 223 的水汽涡旋对高原低涡的活动有很好的指示意义。但是上述这些特征仅是针对一个个例的分析，所以这些特征有待进一步的研究加以充实。最近的研究^[21]结合地面降水资料和TRMM卫星资料，对高原低涡切变线进行了普查分析(图1)，认为21世纪初的8年间，低

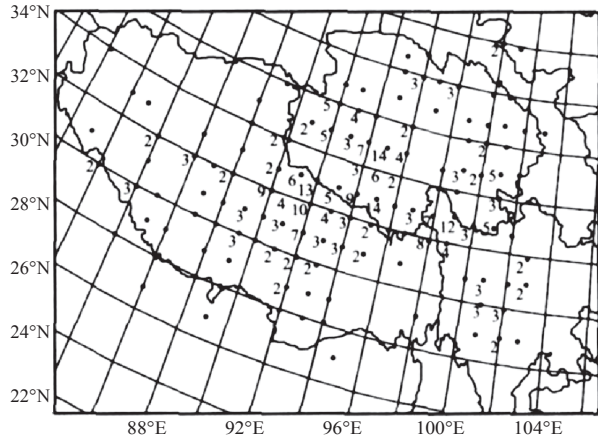


图1 2000—2007年低涡生成源地频率分布^[21]

表1 2000—2007年5—9月逐月低涡、切变线及过程统计^[21]

月份	低涡过程	切变线过程	低涡切变线过程	低涡次数	切变线次数
5	36	66	38	152	196
6	28	59	56	188	211
7	32	44	50	159	167
8	18	57	43	98	193
9	15	65	27	57	149
总数	129	291	214	654	916

涡、切变线出现个数最多的在6月,最少的在9月(表1)。

2002年和2006年分别是高原低值系统相对活跃和相对不活跃的年份。利用高分辨率的卫星观测资料来跟踪研究高原低涡的结构和生消演变过程尤为必要,能够得出对高原低涡特征的许多新认识,此方面的研究还需继续加强。

2.1.2 高原低涡的活动特征

高原低涡的活动这里主要指低涡的发生发展和低涡的移动。罗四维等^[22]给出的高原低涡的地理分布图显示87°E以西的低涡出现频数较大。孙国武等^[23]指出500hPa等压面上,高原低涡具有明显的群发特性,在高原西部、中部和东部地区,是高原低涡发生的3个高频中心。高原地区大气低频系统、高原低涡和高频扰动动能之间存在着正反馈作用。王鑫等^[24]的研究进一步指出青藏高原低涡群发期,西太平洋副热带高压偏北、偏西,伊朗高压偏强且偏北、偏东,印度低压强,中高纬气流较为平直,在青藏高原北部形成一弱脊,高层南亚高压偏西。

近年来,郁淑华等^[25]指出东移出高原低涡的涡源不同于产生高原低涡的涡源,主要在曲麻莱和德格附近。低涡移动路径主要向东移,其次向东南和东北移,极个别向北移。高原低涡东移出高原的平均环流特征研究方面,高文良等^[26]挑选出1998—2004年夏季高原涡移出高原多和少的年月,对它们的环流场进行对比分析指出,6—8月是高原涡最易移出的月。当200hPa南亚高压东伸明显,高原东部为南亚

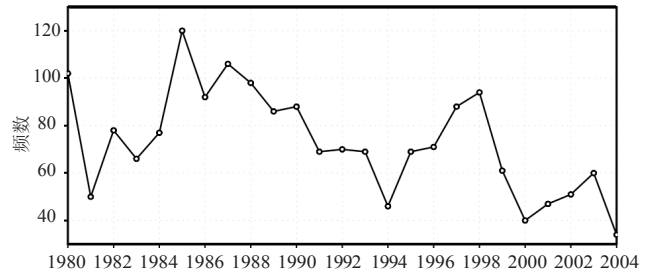


图2 1980—2004年高原低涡逐年发生频数统计^[27]

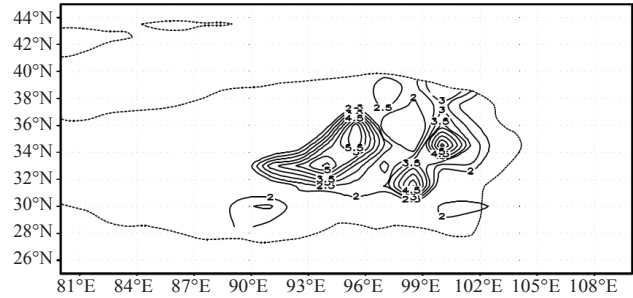


图3 1980—2004年5—9月移出高原的高原低涡初生地分布频数^[27]

高压脊前西北气流控制时,有利于高原涡东移出高原。王鑫等^[27]进一步利用更长时间的资料序列,较为全面地概括了高原低涡的活动特征,认为夏季高原低涡的发生频次具有明显的年代际、年际和季节内变化特征,20世纪90年代以后低涡出现频次较之80年代有下降趋势(图2),7月份是夏季高原低涡的活跃期;青藏高原上产生低涡的四个源地分别为:申扎—改则之间、那曲东北部地区、德格东北部和松潘附近;移出青藏高原的高原低涡在青藏高原上主要有四个涡源(图3):那曲东北部、曲麻莱地区、德格附近和玛沁附近,也存在季节内变化;低涡移动路径主要有东北、东南和向东三条,其中向东北移动的低涡数量最多;移出高原后的低涡多数是向东移动的,其次才向东北、东南移动。

2.2 高原低涡的生成与发展机理

高原低涡的生成与发展方面,研究多采用了数值模拟和诊断分析等方法,近年来已开展了许多重要的工作。罗四维等从能量计算角度,采用视热源方程、视水汽汇方程对一次高原低涡的产生及发展过程进行的诊断分析表明,低涡的生成、发展及消亡与它附近大气柱加热场变化有密切的关系,在低涡前期及后期,其发展机理主要是中纬度大气的斜压不稳定。在低涡初期及成熟期,扰动动能来源方式类似于热带大气中能量的转换方式 $\overline{\alpha'Q'} \rightarrow E' \rightarrow K'$,地面感热加热对低涡的生成发展起了决定性的作用^[28, 29],在其后面的工作^[30]中利用MM4模式验证了这个结果。丁治英等^[31]利用我国西南地区有限区域嵌套细网格模式,通过对一次600hPa高原低涡生成的数值试验得

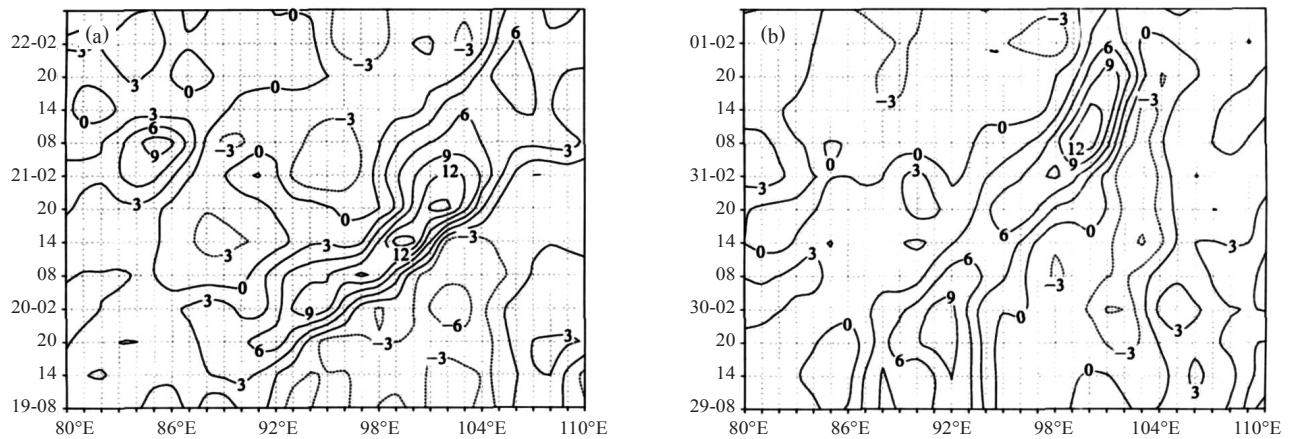


图4 500hPa等压面上涡度 (单位: 10^{-5}s^{-1}) 纬向时间剖面^[34]
(a) 2008年7月19—22日沿34°N, (b) 2007年7月29—8月1日沿32.5°N

出, 高原涡的生成与高原短波辐射加热密切相关, 地面感热对高原涡的生成起主要作用, 高原地形的存在也有利于高原低涡与降水的生成。陈伯民等^[32]通过数值试验的方法得出的结论与前述工作类似, 并将雨季中典型高原涡形成和发展的概念模式概括为: 盛夏高原地区由于地面强烈的感热和潜热加热使空气柱变得十分不稳定, 层结越不稳定, 则纬向有效位能和涡动有效位能积累越多, 且有利于前者向后者转换, 并进一步转化为涡动动能, 供高原涡发展。

此后的研究关注了其他外部因素对高原低涡发展的影响, 郁淑华等^[33]利用成都区域中心 η 模式对一低涡个例的模拟表明, 印度西部—阿拉伯海上空对流层上部水汽增加, 可产生有利于高原低涡形成的高度场、温度场条件。何光碧等^[34]的研究显示, 低涡东移过程中, 正涡度东传特征明显(图4), 同时冷空气触发大气不稳定能量释放, 是低涡发展的重要机制。屠妮妮等^[35]的个例诊断分析表明, 垂直输送项和水平辐合辐散项对两次高原低涡的发展增强都起主要作用; 另外, 低涡发展中大气热源主要是降水过程的凝结潜热释放。

高原低涡与其他系统的相互作用也会影响其发生发展, 因此在这方面也有一些研究工作。缪强^[36]利用合成分析方法, 分析了高原天气系统与背风坡浅薄天气系统耦合作用的天气学特征, 指出高原低涡的东移发展与西南低涡的相互作用是诱发西南低涡发展和暴雨发生的重要形式。陈忠明等^[37]利用诊断分析方法, 剖析了高原低涡与西南低涡的耦合作用, 认为在两者相互作用的过程中, 由上下涡度平流强弱不同造成的垂直差动涡度平流激发的500hPa以下的上升运动与气旋性涡度加强, 与涡区上下大气运动非平衡负值垂直叠加的辐合(图5)和正涡度增长, 是导致高原

低涡与西南低涡共同发展的两种动力机制。周春花等^[38]对2008年7月20—22日高原低涡与低层西南低涡相互作用引发西南低涡强烈发展和四川大面积特大暴雨天气进行了诊断, 结果进一步说明涡前的正涡度变率使得高原涡发展并东移, 待垂直耦合后, 正涡度变率显著增大增强了大气运动的旋转程度, 使得二者同时发展, 这是高原低涡、西南低涡共同发展的一种可能机制。郁淑华等^[25]通过对典型个例的分析指出, 热带气旋在中国以东的海上活动对高原低涡活动有阻塞作用, 高原低涡移出高原后, 因季风低压少动而少动; 并与其南面热带气旋活动相向而行。任振球对高原低涡新生区与重力异常的关系进行了初步分析, 大部分新生的高原低涡正是新生在西藏西部的重力正异常区, 而消失的高原低涡主要消失在青藏高原东部的重力负异常区。可见, 青藏高原西部重力正异常对高原低涡新生的正反馈作用值得关注^[39], 但这方面的研究也是初步的, 重力异常对高原低涡的生消有多大贡献还需进一步研究。综合这些研究发现, 对高原低涡与其他天气系统相互作用的分析还是较初步的, 样本不够多, 没有概括出它们相互作用的物理模型, 因此, 还需要继续加强这方面的工作。

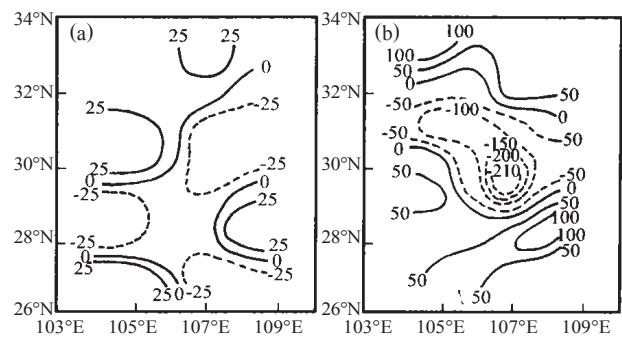


图5 1982年7月26日00时(a)和27日00时(b)盆地低涡及其邻域内的非平衡场分布^[37]

2.3 高原低涡的结构

由于高原低涡的结构与其发生发展有着密切的联系，因此一直受到研究者的重视。吕君宁等^[40]早在20世纪80年代就对高原低涡的结构有了初步的总结，认为高原西部初生涡从低层到高层都是对称的暖性涡旋，而高原东部低涡类似季风低压的结构。初生涡和成熟涡除热力性质不同外，其他物理量场的分布无大的差异。初生涡从地面到100hPa都是暖性结构，又叫暖涡，具有正压性；成熟涡低层是冷中心，高层是暖中心，又叫冷涡，具有斜压性。与热带扰动比较，高原低涡是一种尺度小、厚度浅薄、强度弱、生命史短，受高原下垫面热力、动力影响而形成的一种特殊的天气系统，由于高原下垫面与热带海洋相似，所以高原低涡的结构与热带气旋有一些相似之处。乔全明等^[2]也指出盛夏时高原低涡的云型与海洋上热带气旋非常类似，螺旋结构十分明显，卫星云图资料显示高原低涡也具有与热带气旋相似的眼结构、暖心结构等特征。罗四维等^[10, 41]又利用客观分析方法和能量学诊断方法研究了1979年6月各种低涡的结构，进一步证实了高原低涡的上述结构特征。李国平等^[42-44]从动力学的角度对高原低涡的结构做了许多深入的研究，线性动力学方面，借鉴研究TCLV的方法将暖性高原低涡视为受加热和摩擦强迫作用，且满足热成风平衡的轴对称涡旋系统，分析了地面感热对高原低涡流场结构（图6）及发展的影响，并从动力学角度论证了高原低涡“涡眼”结构的产生；非线性动力学方面，利用相平面分析法，由非绝热大气运动方程组导出了与非线性重力内波有关的KdV方程，建立起这类奇异孤立波解与青藏高原暖性低涡的联系，分析了高原加热和层结稳定性对高原低涡生成和移动的作用。而后刘晓冉等^[45]，黄楚惠等^[46]，宋雯雯等^[47]也分别采用动力学、诊断分析和数值模拟的方法验证了其得出的结论。陈功等^[48]着重研究了高原低涡云系的螺旋结构，结论将高原低涡螺旋形云系的产生发展过程与涡旋Rossby波和惯性重力波的某种混合波动联系起来，认为高原低涡对周边区域的影响可能与波动的传播有密切联系。

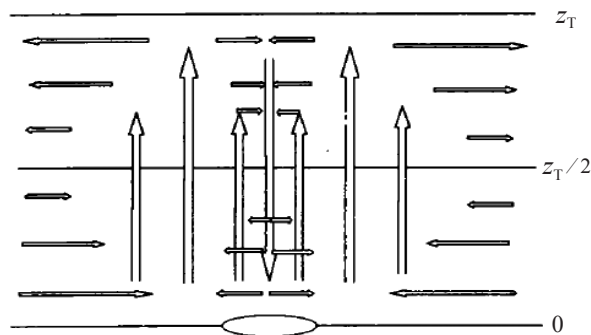


图6 高原低涡流场垂直剖面结构示意图^[42]

以上研究主要是对高原主体低涡结构的研究，而对移出高原后低涡结构的研究也已开始进行，柳草等^[49]的个例分析认为低涡东移过程中，闭合等高线或者闭合气旋式环流的垂直厚度随时间呈加厚趋势，垂直方向上几乎都是正涡度，移出高原低涡低层辐合、高层辐散与水汽辐合减弱，涡区外围东南侧的槽前脊后区存在低空急流。

2.4 高原低涡发展及东移机理

由于东移高原低涡（图7）对下游地区天气的重要影响，20世纪90年代以来，对高原低涡生成发展及东移机理的研究更加活跃，天气学方面的研究在2.1.2节已有所提及，基本总结出了东移高原低涡的涡源^[25]，以及高原低涡东移的大尺度条件^[50]，认为：（1）高原低涡按移出高原的主要影响系统可分为两大类，一类是随低槽移动带动高原涡移出高原的低槽类；另一类是在切变环境场活动的高原涡移出高原的切变类。（2）低涡移出高原的共同的大尺度条件是：影响低涡移动的天气系统加强；低涡已受冷空气影响，为斜压性低涡；北支气流在高原北部及其邻近地区加强；南支气流输送水汽到高原东部或东南部的低涡区，且稳定或加强。南亚高压脊线在24°—30°N；在500hPa影响高原低涡移动的低值系统上空有200hPa西风急流存在；低涡区上空已受200hPa西风急流影响；低涡上空300hPa引导气流—西风或西南气流强，或较强且在加强。

丁治英等^[51]的数值试验表明，当高原低涡西部有冷槽配合或高原北部45°—50°N有高压脊存在时，有利于高原低涡东移。郁淑华等^[52-55]提出了冷空气和南支槽对高原低涡东移的影响，进行了个例的诊断分析与数值试验，认为低涡西部的冷平流加强将会使低涡发展加强，在高原以东持续。黄楚惠等^[56]的个例诊断分析表明500hPa z-螺旋度水平分布对低涡中心的移动、降水落区和强降水中心的分布具有较好指示性；湿Q矢量散度的垂直分布对未来6h降水的落区和

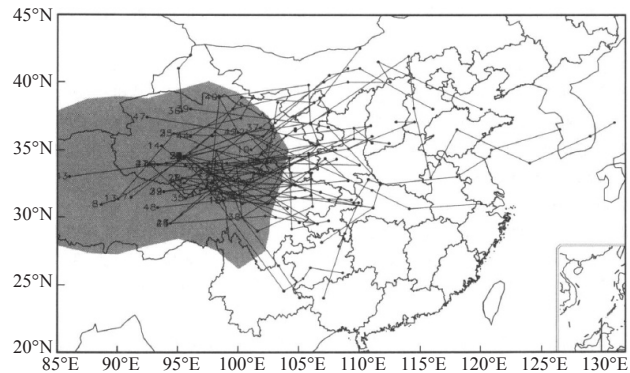


图7 1998—2004年间历次高原低涡东移出高原过程示意图^[50]，图中阴影区表示海拔高度≥2500 m

移动预报提供了很好的参考信息。何光碧等^[34]的动力学诊断分析表明低涡东移过程中, 正涡度东移特征明显。低涡东移过高原, 与低涡发展密切相关的正涡度带的维持、发展或减弱的动力机制主要受控于总涡源的发生、发展与减弱。陈联寿等^[57]的数值试验表明正相对涡度切变基流中低涡和涡块的合并, 是东移低涡强度得以维持和发展的一个直接的原因。

由此可见, 对高原低涡东移机制的研究, 目前主要还是从大尺度条件入手, 着重分析几个系统的影响, 采用的方法主要有诊断分析, 数值模拟和动力学分析; 内容上基本都是通过研究典型个例, 得出代表性结论。但还比较缺乏对于高原低涡东移过程中各系统相互作用的整体认识以及对更多个例的分析, 相信随着各种加密观测的进行, 新型资料的日益丰富, 模式模拟能力的提高与个例研究的不断积累, 在高原低涡东移机制的问题上还能够取得一些新的突破。

3 存在问题

综上所述, 高原低涡作为青藏高原独特的天气系统, 同时又是一种能带来灾害性天气的中尺度系统, 近20年来对它的研究取得了丰硕的成果。不过, 目前依然还存在多方面的不足, 需要重点关注的问题是:

(1) 高原地区的资料丰富与完整程度依然不足, 有必要进行各种加密观测试验和大规模科学考察试验来获取更全面的资料, 同时应该更加重视卫星、雷达等新型观测资料的分析, 目前, 基于这些新型观测资料的研究还不够丰富。进一步加强资料的分析与综合应用, 会对高原低涡天气气候与活动特征有更深入的认识。

(2) 在高原低涡生成与发展的研究方面, 目前明确了低涡作为青藏高原特殊的天气系统, 高原的动力和热力作用对它的产生、发展以及移动的影响十分显著, 但是不同个例以及同一个例的不同阶段, 高原的动力和热力作用有何区别, 影响是否具有普遍性等问题并未圆满回答, 还需继续深入研究。

(3) 高原低涡并非一独立存在的系统, 其自身的发展变化以及东移过程也受诸多其他系统的影响, 目前对高原低涡与高原 500hPa 切变线、西南低涡等其他系统相互作用有了一定的研究, 但多数仅讨论两系统之间的外部关系与相互影响, 多系统相互作用的机制问题也需要给予一定的重视。

(4) 近 20 年来, 对东移出高原的高原低涡研究逐渐重视, 对此有了许多新的认识, 不过还需有更多个例分析加以充实, 加强对东移高原低涡结构的研究, 这仍然是高原低涡研究的重点问题。同时, 也不

能忽略有些在高原上强烈发展但消亡而并未移出高原的低涡系统, 这些高原低涡也可能通过波动传播的机制, 诱发下游的天气变化。

(5) 目前, 高原低涡动力学的研究还不够系统, 对于高原低涡的一些观测事实, 还缺乏动力学基本理论的解释。理论研究是高原低涡研究的难点, 但对于提高对低涡发生发展的认识至关重要, 也有助于提升对青藏高原及其周边地区天气预报的能力。

(6) 高原低涡的数值模拟研究得出了许多有意义的结果。虽然中尺度数值模式有了很大发展, 但各模式在高原地区的性能还需更多的检验, 应与高分辨率的卫星、雷达资料进行对比, 了解模式的局限性。同时, 也应该利用卫星、雷达和加密观测资料进行同化模拟试验, 提高模拟效果, 用好数值模式这个有用的分析研究工具。

参考文献

- [1] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 1979.
- [2] 乔全明, 张雅高. 青藏高原天气学. 北京: 气象出版社, 1994.
- [3] 杨克明, 毕宝贵, 李月安, 等. 1998年长江上游致洪暴雨的分析研究. 气象, 2001, 27(8): 9-14.
- [4] Kuo Y H, Cheng L S, Anthes R A. Mesoscale analysis of Sichuan flood catastrophe, 11-15 July, 1981. Mon Wea Rev, 1986, 114: 1984-2003.
- [5] Chen S J, Dell'osso L. Numerical prediction of the heavy rainfall vortex over the eastern Asian monsoon region. J Meteor Soc Japan, 1984, 62: 730-747.
- [6] 仪清菊, 徐祥德. 不同尺度云团系统上下游的传播与1998年长江流域大暴雨. 气候与环境研究, 2001, 6(2): 139-145.
- [7] Dell'osso L, Chen S J. Numerical experiments on the genesis of vortices over the Qinghai-Xizang Plateau. Tellus, 1986, 38A: 236-250.
- [8] 青藏高原气象科研拉萨会战组. 夏半年青藏高原500毫巴低涡切变线研究. 北京: 科学出版社, 1981.
- [9] 章基嘉, 朱抱真, 朱福康, 等. 青藏高原气象学进展. 北京: 科学出版社, 1988.
- [10] 罗四维, 等. 青藏高原及其邻近地区几类天气系统的研究. 北京: 气象出版社, 1992.
- [11] 吴永森. 高原夏季500 hPa低涡的初步研究. 青海省气象论文集(2), 1964.
- [12] 陈乾. 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, 1964.
- [13] 罗四维, 王玉佩. 1979年5—8月青藏高原地区天气系统的统计分析. 青藏高原气象科学试验文集(一), 北京: 科学出版社, 1984.
- [14] 青藏高原低值系统协作组. 盛夏青藏高原低涡发生发展的初步研究. 中国科学, 1978, 8(3): 342-350.
- [15] Shen R J, Reiter E R, Bresch J F. Numerical simulation of the development of vortices over the Qinghai-Xizang Plateau. Meteor Atmos Phys, 1986, 35: 70-95.
- [16] Wang B. The development mechanism for Tibetan Plateau warm vortices. J Atmos Sci, 1987, 44: 2978-2994.
- [17] Wu G X, Chen S J. The effect of mechanical forcing on the formation of a mesoscale vortex. Quart J Roy Meteor Soc, 1985, 111: 1049-1070.
- [18] 陈隆勋, 宋玉宽, 刘骥平. 从气象卫星资料揭示的青藏高原夏季对流云系的日变化. 气象学报, 1999, 57(5): 549-560.
- [19] 郁淑华. 高原低涡东移过程的水汽图像. 高原气象, 2002, 21(2): 199-204.
- [20] 郁淑华, 何光碧. 水汽图像在高原天气预报中应用的初步分析. 高原气象, 2003, 22(增刊): 75-82.
- [21] 何光碧, 高文良, 屠妮妮. 2000—2007年夏季青藏高原低涡切变线观测事实分析. 高原气象, 2009, 28(3): 549-555.

- [22] 罗四维, 许宝玉, 惠小英, 等. 青藏高原地区500hPa FGGEIIIb风场订正方法及其分析. 高原气象, 1990, 9(1): 1-12.
- [23] 孙国武, 陈葆德. 青藏高原大气低频振荡与低涡群发性的研究. 大气科学, 1994, 18(1): 113-121.
- [24] 王鑫, 李跃清, 蒋兴文. 青藏高原低涡群发性的初步研究. 高原山地气象研究, 2008, 28(1): 47-51.
- [25] 郁淑华, 高文良. 高原低涡移出高原的观测事实分析. 气象学报, 2006, 64(3): 392-399.
- [26] 高文良, 郁淑华. 高原低涡东移出高原的平均环流场分析. 高原气象, 2007, 26(1): 206-212.
- [27] 王鑫, 李跃清, 郁淑华, 等. 青藏高原低涡活动的统计研究. 高原气象, 2009, 28(1): 64-71.
- [28] 罗四维, 杨洋, 吕世华. 一次青藏高原夏季低涡的诊断分析研究. 高原气象, 1991, 10(1): 1-12.
- [29] 杨洋, 罗四维. 夏季青藏高原低涡的能量场分析. 应用气象学报, 1992, 3(2): 198-205.
- [30] 罗四维, 杨洋. 一次青藏高原夏季低涡的数值模拟研究. 高原气象, 1992, 11(1): 39-48.
- [31] 丁治英, 刘京雷, 吕君宁. 600hPa高原低涡生成机制的个例探讨. 高原气象, 1994, 13(4): 411-418.
- [32] 陈伯民, 钱正安, 张立盛. 夏季青藏高原低涡形成和发展的数值模拟. 大气科学, 1996, 20(4): 491-502.
- [33] 郁淑华, 何光碧. 对流层中上部水汽对高原低涡形成影响的数值试验. 南京气象学院院报, 2001, 24(4): 554-559.
- [34] 何光碧, 高文良, 屠妮妮. 两次高原低涡东移特征及发展机制动力诊断. 气象学报, 2009, 67(4): 599-612.
- [35] 屠妮妮, 何光碧. 两次高原切变线诱发低涡活动的个例分析. 高原气象, 2010, 29(1): 90-98.
- [36] 缪强. 青藏高原天气系统与背风坡浅薄天气系统耦合相互作用特征分析. 四川气象, 1999, 19(3): 18-22.
- [37] 陈志明, 闵文彬, 缪强, 等. 高原涡与西南涡耦合作用的个例诊断. 高原气象, 2004, 23(1): 76-80.
- [38] 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. 气象科技, 2009, 37(5): 538-544.
- [39] 任振球. 全球重力异常对大气活动中心气旋多发区的影响. 地球物理学报, 2002, 45(3): 313-318.
- [40] 吕君宁, 钱正安, 单扶民, 等. 夏季青藏高原低涡的综合结构. 青藏高原气象科学试验文集(二), 北京: 科学出版社, 1984.
- [41] 罗四维, 何梅兰, 刘晓东. 关于夏季青藏高原低涡的研究. 中国科学(B辑), 1993, 23(7): 778-784.
- [42] 李国平, 赵邦杰, 杨锦青. 地面感热对青藏高原低涡流场结构及发展的作用. 大气科学, 2002, 26(4): 519-525.
- [43] 李国平, 徐琪. 边界层动力“抽吸泵”对青藏高原低涡作用的初步研究. 大气科学, 2005, 29(6): 965-972.
- [44] 李国平, 蒋静. 一类奇异孤波解及其在高原低涡结构分析中的应用. 气象学报, 2000, 58(4): 447-456.
- [45] Liu X R, Li G P. Analytical solutions for thermal forcing vortices in boundary layer and its applications. Applied Mathematics and Mechanics, 2007, 28(4): 429-439.
- [46] 黄楚惠, 李国平. 基于卫星观测的两例高原低涡结构的初步分析. 成都信息工程学院学报, 2007, 22(4): 253-259.
- [47] 宋雯雯, 李国平. 高原低涡结构特征模拟与诊断的初步研究. 成都信息工程学院学报, 2010, 25(3): 281-285.
- [48] 陈功, 李国平. 基于WRF的高原低涡内波动特征及空心结构的初步研究. 高原山地气象研究, 2010, 30(1): 6-11.
- [49] 柳草, 李跃清, 李德俊. 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, 2009, 29(3): 8-11.
- [50] 郁淑华, 高文良, 顾清源. 近年来影响我国东部旱涝的高原东移环流场特征分析. 高原气象, 2007, 26(3): 466-475.
- [51] 丁治英, 吕君宁. 青藏高原低涡东移的数值试验. 南京气象学院院报, 1990, 13(3): 426-433.
- [52] 郁淑华, 肖玉华, 高文良. 冷空气对高原低涡移出青藏高原的影响. 应用气象学报, 2007, 18(6): 737-747.
- [53] 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. 高原气象, 2008, 27(1): 96-103.
- [54] 郁淑华, 高文良, 肖玉华. 南支气流对高原低涡移出青藏高原影响的诊断分析. 高原山地气象研究, 2009, 29(2): 1-8.
- [55] 郁淑华, 肖玉华, 高文良, 等. 南支气流对高原低涡移出高原影响的数值试验. 高原山地气象研究, 2009, 29(3): 1-7.
- [56] 黄楚惠, 李国平. 基于螺旋度和非地转湿Q矢量的—次东移高原低涡强降水过程分析. 高原气象, 2009, 28(2): 319-326.
- [57] Chen L S, Luo Z X. A preliminary study of the dynamics of eastward shifting cyclonic vortices. Advances in Atmospheric Sciences, 2003, 20:323-332.

2012年度美国气象学会 (AMS) 奖项信息

2012年1月, 美国气象学会第92届年会公布了本年度AMS各奖项的获得者。主要奖项获奖人及获奖评语介绍如下。

Rosby奖章: 授予美国宾州大学气象学教授 John C. Wyngaard, 奖励其在大气湍流的测量、模拟和机制方面做出的贡献, 该奖章代表了大气科学领域的最高荣誉。

Charney奖: 授予美国华盛顿大学大气科学和应用数学系教授 Christopher S. Bretherton, 奖励他在大气湿对流方面的贡献, 特别是发现了层积云向浅积云对流转变的控制机制, 有趣的是, Christopher S. Bretherton的父亲 Francis Bretherton 获得了1983年的第一届 Charney 奖。

Suomi奖: 授予美国宾州大学气象学教授 Anne

M. Thompson, 奖励她在理解大气中臭氧动力学机制方面做出的贡献。

Sverdrup金质奖章: 授予美国佛罗里达州立大学的海洋学教授 Allan J. Clarke, 由于其在海洋环流和海气相互作用 (尤其是 ENSO) 方面的贡献。

Stommel奖: 授予美国 Scripps 海洋研究所的海洋学教授 Robert Pinkel, 他发展了有助于理解上层海洋许多小尺度过程的观测技术, 这些技术已被广泛应用。

遥感奖: 授予科罗拉多州立大学的电子和计算机工程教授 Viswanathan N. Bringi, 以奖励其在改进偏振多普勒天气雷达方面的杰出贡献。

(更多信息, 请参考 <http://www.ametsoc.org/awards/>)