

准地转理论在低纬高原 冬季暴雨中的应用

尤 红 周 波

(云南省玉溪市气象台, 653100)

提 要

2003年1月4~5日云南发生的罕见的冬季暴雨是一次西风带大尺度斜压系统发展过程。利用T213模式计算的物理量场对暴雨过程进行了天气动力学诊断分析发现:暴雨发生机制可以用准地转运动理论得以很好地解释,为今后云南冬半年暴雨预报提供一些新的启示和参考依据。

关键词: 准地转运动理论 低纬高原 次级环流

引 言

2003年冬季1月4~5日,低纬高原上的云南中部和南部大部地区普降大到暴雨,降水量一般在35~50mm,其中建水53mm、金平54mm、绿谷55mm、江城最大89mm;就玉溪市所属9个县、区站雨量来看,从4日20时至5日20时就有7个站出现大雨,1站暴雨,是自1960年有气象观测资料以来冬季除1977年2月28日暴雨过程外第二次范围广、雨强大、持续时间长的暴雨过程。强降雨首先出现在滇西南,尔后向东北和东南方向扩展,降雨集中出现在5日08~20时,雨量较为均匀,西双版纳、曲靖到文山之间的7个地、州、市均出现大到暴雨,强降雨带范围大,呈SW—NE走向。这次强降雨主要影响天气系统是500hPa位于孟加拉湾的天气尺度系统南支槽。

低纬高原上的强降水研究对象多是中小尺度的对流性降水,多采用中尺度特征分析,许美玲、郭荣芬、李宏波等^[1~3]用中尺度分析方法对云南夏季暴雨特征作了深入细致的分析,而对较大范围天气尺度产生的,尤其是冬季的强降水研究极少。准地转运动理论多用于中纬度地区^[4,5],在低纬度地区应用较少。但本文利用常规观测资料和T213模式

计算的物理量场,试图用准地转运动理论来解释20~30°N之间的低纬高原上的云南冬季暴雨的环流成因,探讨大尺度强降水过程的物理机制,拓展暴雨的分析研究方法,以提高暴雨预报的准确率。

1 准地转理论的应用

陶祖钰、刘式适等^[5,6]指出:平流过程(涡度平流及水平分布不均的温度平流)是使地转平衡破坏的原因。对流层中层的暖平流中心引起高层等压面升高,低层等压面降低,造成高层辐散,低层辐合,从而产生强迫上升运动。而对流层高层正涡度平流和低层负涡度平流所引起的辐合和辐散则产生动力强迫上升运动。这种因平流导致的次级环流的作用总是和水平流场的作用相反,使质量场和运动场恢复地转平衡。但当大气层结不稳定时,平流引起的次级环流并不能起到使地转平衡恢复的作用,因此导致扰动的不稳定发展。

1.1 高低层环流系统的配置

在5日08时500hPa上90°E孟加拉湾附近有一个南支槽,该槽前在700hPa上有一条向东南方向移动的川滇切变线,对应的地面图上在云南东部有一条昆明静止锋,这些不同层次上的降水影响天气系统揭示了此暴

雨过程是一次大尺度西风带中的斜压发展过程。地面冷高压位于华北至华中一带,在会理、渊沧、孟平一线为一强 SW—NE 向的地面倒槽,其东侧到滇、黔交界处为等压线密集区,在 2.5 个经距内海平面气压差值达到 12.5hPa。表明该倒槽北端有很强的正地转风涡度和辐合。动力气象理论^[7]指出,边界层顶的垂直运动(W_b)与地转涡度成正比,表达式为:

$$W_b = 1/2 h_E \zeta_g$$

式中, h_E 是 Ekman 层顶的标高, ζ_g 是地转风涡度。根据这种 Ekman 抽吸作用,倒槽北端在行星边界层顶必然存在显著的上升运动,有利于降水发生。

1.2 中层暖平流和高、低层涡度平流

在大尺度准地转运动中,对流层中下层的暖平流是造成大尺度降水的重要热力因素。从 5 日 08 时 500hPa(图 1a)上温度平流

可见,中层南支槽前部一支西南气流有很强的暖平流,中心值达 $20 \times 10^{-5} K \cdot s^{-1}$,而南支槽后部有较强的冷平流,与一支西北气流相伴,中心值达 $-10 \times 10^{-5} K \cdot s^{-1}$ 。这种强冷暖平流有利于南支槽未来继续加深,槽前暖平流继续维持并加强,正是这个斜压扰动的热力强迫作用造成了云南中南部上空低层辐合、高层辐散和大尺度上升运动,有利于强降水的发生。

地转平衡破坏的一个重要条件是高、低层涡度平流的配置。诊断分析结果表明,5 日 08 时高层 200hPa(图 1c)上为强的正涡度平流,强降水区附近的数值为 $10 \times 10^{-10} \sim 20 \times 10^{-10} s^{-2}$,低层 850hPa(图 1b)上为负涡度平流,数值为 $-2 \times 10^{-10} s^{-2}$ 。正是这种典型的高、低层正负涡度平流垂直配置对于大尺度强降水的产生起到了有利的动力强迫作用。

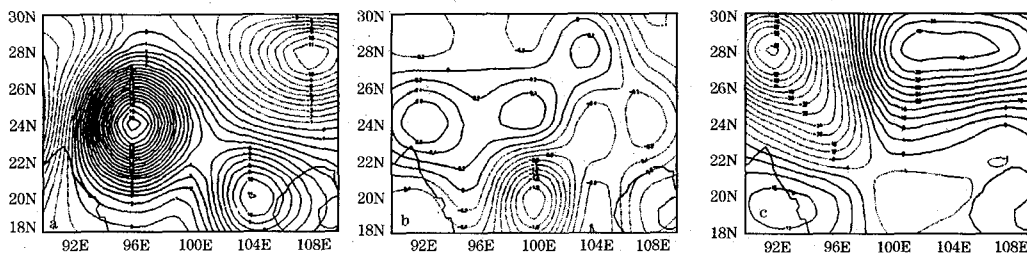


图 1 2003 年 1 月 5 日 08 时温度平流和涡度平流

a. 500hPa 温度平流(单位: $10^{-5} K \cdot s^{-1}$); b. 850hPa 涡度平流(单位: $10^{-10} s^{-2}$); c. 200hPa 涡度平流(单位: $10^{-10} s^{-2}$)

1.3 次级环流

高、低层的散度垂直分布和中层的垂直速度场分布揭示出地转平衡破坏所产生的次级环流。图 2 给出了 5 日 08 时低、高层散度垂直分布和流线。由图可以看出,低层流场有强烈辐合、高层流场为明显辐散场,大到暴雨区正好位于低层 850hPa 强辐合中心和高层 200hPa 辐散中心区附近,其中心散度值分别是在 $-20 \times 10^{-6} s^{-1}$ 以上和 $10 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6} s^{-1}$ 之间,散度场的这种垂直配置有利于垂直上升运动的产生。高空辐散与 200hPa 来自南支槽前的正涡度平流有关,低空辐合与 850hPa(低纬高原相当于地面)来

自东部冷高压的负涡度平流有关。分析表明这种高、低层间散度场的运动,正是上述的涡度平流垂直配置强迫所致。与高、低空辐散和辐合相配合的是中层 500hPa 大尺度垂直上升运动。如图 2c 所示,整个中南半岛到青藏高原均为上升运动区,而云南中南部则处在该大尺度上升运动的中心区,数值为 $-2.0 \times 10^{-3} \sim -6.0 \times 10^{-3} hPa \cdot s^{-1}$ 。这就是大尺度斜压扰动的准地转过程中伴随的次级环流,它不仅能使斜压扰动自身得以维持和发展,而且如同时有足够多的水汽供应和大气层结不稳定环境,就会造成强烈的降水天气过程。

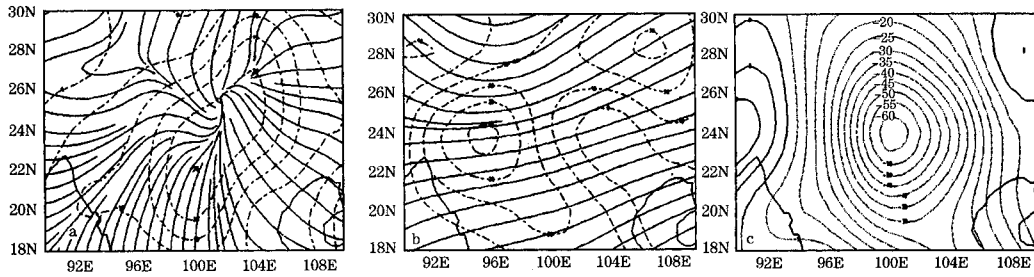


图2 2003年1月5日08时次级环流

a. 850hPa 散度场(虚线,单位: $10^{-6}s^{-1}$)和流线(实线); b. 200hPa 散度场(虚线,单位: $10^{-6}s^{-1}$)和流线(实线)
c. 500hPa 垂直速度图(单位: $10^{-3}hPa \cdot s^{-1}$)

2 水汽条件和大气层结稳定度

水汽场诊断分析结果显示,在4日20时至5日20时大到暴雨期间,强降水区有充沛的水汽供应。图3a是5日08时对流层低层850hPa水汽通量散度图。在图中从孟加拉湾北部到云贵高原为强水汽辐合带,并且云南中南部处在强水汽辐合中心区,数值为 $-10 \times 10^{-6} \sim -20 \times 10^{-6} g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$,说明水汽主要从中低层向降水区输送,它是

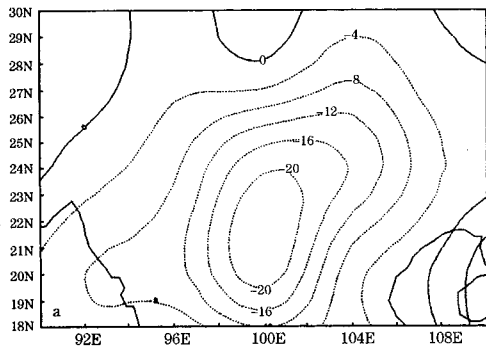


图3a 2003年1月5日08时850hPa水汽通量散度图(单位: $10^{-6} g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)

3 小结

(1) 这次在低纬高原上冬季出现的暴雨过程,就降水区、持续时间、高、低空天气系统配置来看,是一次大尺度斜压系统发展过程。在历史上较为少见。

(2) 基于准地转运动理论,通过对温度平流、涡度平流以及由此强迫产生的高、低层散度场、垂直运动场的次级环流的诊断分析,能很好地解释本次低纬高原上冬季暴雨的环流成因。

由孟加拉湾南支槽前的西南气流携带并不断从该地上空向云南输送的,从而满足了这次暴雨过程所需的大量水汽。

图3b则表明在大到暴雨产生前,即4日20时云南的西部和西南部上空的大气层结为对流性不稳定,最大的500hPa与850hPa上的假相当位温 θ_{se} 的差值竟达 $-8K$ 。这种不稳定层结不仅加强了南支槽前的大尺度上升运动,而且有利于降水强度的增强。

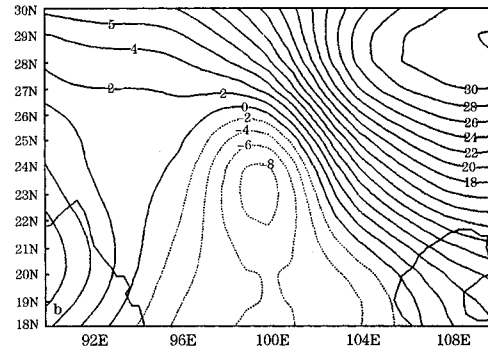


图3b 2003年1月4日20时位势稳定度分布,等值线值为 $\theta_{se500} - \theta_{se850}$ (单位:K)

(3) 此次暴雨产生之前,云南的西部和西南部强降雨区上空大气层结位势不稳定;500hPa南支槽前强暖平流,高层正涡度平流、低层负涡度平流的合理配置维持了有利的大尺度热力和动力强迫条件,致使低空辐合、高空辐散、造成强烈的上升运动以及孟加拉湾的充沛水汽源源不断地向强降水区输送是低纬高原上冬季罕见暴雨形成的物理条件。

参考文献

- 1 许美玲,段旭,孙绩华. 云南初夏罕见暴雨天气的中尺度特征. 气象, 2002, 28(6): 43~47.
- 2 郭荣芬,鲁亚斌. “200.6.30”滇中低涡暴雨的中尺度分析. 气象, 2003, 29(2): 29~33.
- 3 李宏波,何萍. 一次低纬高原特大暴雨天气的诊断分析. 气象, 2005, 31(3): 77~80.
- 4 葛国庆,钱婷婷,陶祖钰. 一次北京暴雨的环流成因分析. 气象, 2002, 28(9): 3~7.
- 5 陶祖钰,谢安编著. 天气过程诊断分析原理和实践. 北京: 北京大学出版社, 1989.
- 6 刘式适,刘式达编著. 大气动力学(上册). 北京: 北京大学出版社, 1991.
- 7 Holton, J R. An introduction to dynamic meteorology. Academic Press Inc, 1972.

Application of Quasi-geotropic Motion Theory to Low-latitude Plateau Winter Heavy Rainfall

You Hong Zhou Bo

(Yuxi Meteorological Observatory, Yunnan Province 653100)

Abstract

An abnormal winter heavy rainfall event in the low-latitude plateau during Jan. 4—5 2003 was caused by a westerly macro-scale baroclinic system. Based on the physical field produced by T213 model, the synoptic diagnostic analysis of the event heavy is made. The result shows that the mechanism caused the heavy rainfall can be well explained by quasi-geotropic motion theory.

Key Words: quasi-geotropic motion theory low-latitude plateau secondary circulation