

昆明静止锋下的云南强倒春寒天气分析

尤 红¹ 曹中和¹ 郭文华² 罗金秀³

(1. 云南省玉溪市气象局, 653100; 2. 国家气象中心; 3. 西藏自治区气象台)

提 要: 利用 NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的 6 小时再分析资料和常规观测资料, 对 2005 年 3 月云南出现强倒春寒天气过程的环流特征和物理量场特征进行了分析, 探讨了在无南支槽的配合下, 由昆明静止锋和高空切变线引发的大范围降雪和降温的强倒春寒天气发生前后中低层环流的演变、热力学和动力学物理因子与倒春寒天气的关系及其形成条件, 为今后预测这类天气提供参考依据。

关键词: 强倒春寒天气 昆明静止锋 物理量场

Analysis of Yunnan Severe Coldness in the Late Spring under Kunming Quasi-stationary Front

You Hong¹ Cao Zhonghe¹ Guo Wenhua² Luo jinxiu³

(1. Yuxi Meteorological Office, Yunnan 653100; 2. National Meteorological Center, Beijing;
3. Tibet Meteorological Observatory)

Abstract: The characteristics of circulation and physical quantity of severe coldness in the late spring in Yunnan Province under Kunming Quasi-stationary front during the spring of 2005 are analyzed based on NCEP reanalysis data. The results show that the severe coldness caused by Kunming quasi-stationary front and the upper level shear are related closely to the evolution of circulation, humidity field and vapor transfer, if there is no southern branch trough. The moisture from the northern Burma is converged and uplifted at the middle and lower levels. All these results help to give physic basis of forecast this kind of severe coldness in late spring in Yunnan.

Key Words: severe coldness in the Late spring Kunming quasi-stationary front physical quantity

引言

倒春寒^[1,2]是指云南春季2~4月已明显回暖时出现的强冷空气过程,并以持续低温为主要特征,是云南主要的灾害性天气之一。它可分为低温连阴雨、晴天低温重霜冻和阴雨之后突然转晴的重霜冻三种。尤其是范围大、持续时间长、降温幅度大、气温低并伴有降雪混合型强倒春寒会带来冷害、冻害和寒害,严重影响云南农业生产,造成重大的经济损失。

云南伴有雨雪的倒春寒天气大多与南支槽和冷锋、切变线密切相关,郑建萌等^[3]详细讨论了倒春寒的发生与乌拉尔山高压脊、西伯利亚横槽转竖和南支槽的关系,但对于无南支槽配合的昆明静止锋和高空切变线环流形势下,全省伴有雨雪的强倒春寒至今无研究结果。

本文在文献[3,4]研究的基础上,利用NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的6小时分析资料,计算了2005年3月2~6日由昆明静止锋和高空切变线引起的云南强倒春寒天气过程的热力学、动力学和水汽等物理量场,探讨这次强倒春寒天气过程形成和持续的物理条件,力求能更深入地认识此类天气的主要成因,提供预报参考依据。

1 倒春寒天气概况

2005年3月2~6日,云南出现了入春以来降温幅度最大、气温最低、持续时间最长、并伴有大范围降雪(雨)天气的强冷空气过程,是自1987年以来云南出现的最强倒春寒。在该天气过程中全省近70%的气象台站最低气温达到倒春寒标准,其中约38%台站出现强倒春寒,有11个地州、市共63个台站从2日14时至5日08时(北

京时,下同)出现降雪,局地大到暴雪,雨雪分界线位于屏边、新平、大理到剑川一线,部分县、市出现雪灾。图1是3月1~7日22~26°N、99~104°E区域的平均气温时间垂直剖面。从图1可见,3月1~5日1000~500hPa的气温持续下降,700hPa以下气温平均下降了10℃,6~7日气温开始回升。以云南中部的玉溪市为例,除元江外其余8个县(区)的平均日平均气温连续3天降幅达3~5℃,其中3月4日最低日平均气温3℃;平均日最低气温连续3天降幅达2~3℃,其中3月4日最低平均日最低气温0.8℃;各县(区)均出现明显降雪,尤其是属热带气候的元江县中北部山区也降了雪。

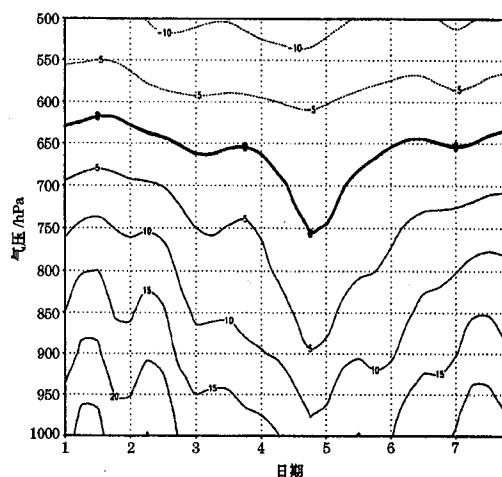


图1 2005年3月1~7日云南倒春寒区域(22~26°N、99~104°E)平均温度(单位:℃)时间垂直剖面图

这次强倒春寒天气过程带来大范围降雪(雨)虽缓解了云南前期冬春旱情,但给农业却造成较大影响,部分地区的小春作物、花卉和滇南海拔稍高的橡胶等热带作物遭受

严重的冷害、冻害和寒害，特别是部分区域的露天烤烟育苗受重创。

2 强倒春寒天气过程的环流特征

2.1 500hPa 环流特征

强倒春寒开始前，乌拉尔山至巴尔喀什湖为较强高压脊。强倒春寒发生和维持期间 2005 年 3 月 2~4 日，该脊增强并向东北方向伸展到贝加尔湖上空，高压脊的经向度加大，脊线呈 NE—SW 走向；巴尔喀什湖到孟加拉湾北部也维持一高压脊区，贝加尔湖东南部有一横槽并逐步转成竖槽，致使西伯利亚地区堆积的冷空气沿高压脊前西北气流向南爆发影响云南。5 日以后高压脊减弱，环流变为纬向型，倒春寒天气结束。本次强倒春寒天气过程 500hPa 在 95°E 低纬度附近无南支槽，缅甸至云南受闭合高压环流控制，云南上空维持一支西北气流，中高纬度是文献 [3] 中所说的 NE—SW 向高压脊、贝加尔湖东南部为一横槽的典型形势，冷空气沿高压脊前偏北气流以西北路径南下影响云南（图略）。

2.2 700hPa 环流特征

强倒春寒过程开始前，在巴尔喀什湖到贝加尔湖上空也为长波脊，新疆至青藏高原是闭合高压环流，四川东部建立低涡切变线。强倒春寒发生和维持期间，巴尔喀什湖至贝加尔湖的长波脊经向度加大并向东北方向伸展，川滇切变线后的高度场升高形成 3160gpm 线的高压中心并维持；2~5 日，切变线前后高度场北高南低，切变线南压，云南大部气温剧烈下降，700hPa 上昆明 3 日 08 时和 4 日 20 时分别出现罕见的 -7℃ 和 -8℃，3 日 08 时 700hPa 24 小时降温高达 12℃；5 日后切变线南压减弱消失，云南气温开始回升，倒春寒天气过程结束（图略）。

2.3 地面形势特征

强倒春寒过程开始前，昆明静止锋在滇黔之间摆动，新西伯利亚冷高压中心逐渐加强达 1040hPa。强倒春寒发生和维持期间，冷高压中心继续增强到 1050hPa，以西北路径南下的强冷空气前锋位于内蒙古到青海一带而后迅速南压，冷高压前部持续偏东风，冷空气往西移以回流形式影响云南。冷空气南下使昆明静止锋得以加强，同时向西南方向推进。冷空气最强时，锋后有 24 小时 -17℃ 变温和 +14hPa 变压。强冷高压南移入海后减弱，昆明静止锋的东风回流消失，静止锋也相应减弱消失，强倒春寒天气结束（图略）。

3 强倒春寒过程的热力场和动力场特征

3.1 温度平流分布特征

温度平流是决定某地温度变化的主要因子之一，对其分析主要考虑平流的冷暖性质和强度。图 2 是 3 月 1~7 日 22~26°N、99~104°E 区域的平均温度平流时间垂直剖面图，从图 2 可看出，3 月 2~5 日强倒春寒出现主要时段内，800hPa 以下层为一致的冷平流，3 日和 4 日分别出现两个中心值均达 $-5 \times 10^{-5} \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$ 的闭合中心，中心顶部在 850hPa 附近，低层这支强劲的冷平流可能是造成地面日平均气温和最低气温达最低的主要原因。800~500hPa 之间为 $5 \times 10^{-5} \sim 10 \times 10^{-5} \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$ 较强暖平流，在 700hPa 附近有 2 个 $+10 \times 10^{-5} \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$ 中心。暖平流造成上升运动，即暖湿气流沿低层冷空气垫向上爬升，有利于降雪（雨）的产生。500hPa 以上层是冷平流，4~5 日高层冷平流加强，在 250hPa 上出现一个 $-25 \times 10^{-5} \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$ 强冷平流中心。6~7 日，高层强冷平流向中低层扩展到 700hPa 上，在 600~

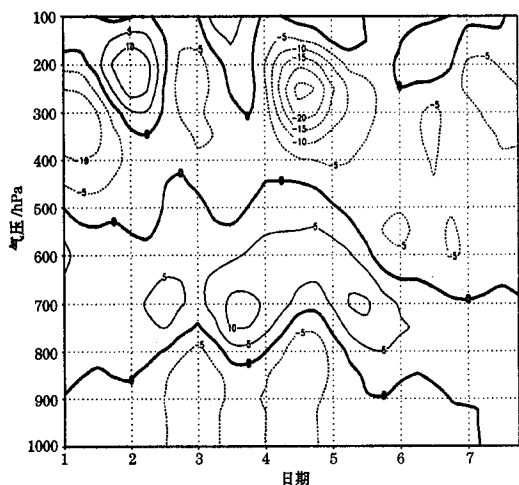


图2 2005年3月1~7日云南倒春寒区域(22~26°N、99~104°E)平均温度平流(单位: $10^{-5} \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$)时间垂直剖面图

500hPa之间分别形成两个闭合的 $-5 \times 10^{-5} \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$ 中心, 700hPa以上层为下沉运动区。至此, 高层强冷平流经下沉运动扩展到中低层, 加强了近地层冷高压势力, 同时对倒春寒的持续起了重要作用。因此, 在实时业务中需关注高层影响天气系统及相关的冷空气活动状态。此后, 中层强暖平流向低层流动, 低层冷平流减弱消失, 暖平流控制整个

近地层, 气温开始回升, 强倒春寒过程结束。

3.2 涡度散度场分布特征

图3是3月1~7日22~26°N、99~104°E区域的平均散度和平均涡度平流时间垂直剖面图。由图3a可见, 在倒春寒开始前, 750hPa以下层为弱负散度区。发生和维持期间, 从2日开始负散度逐渐增强并向更高层伸展, 5日负散度区顶部接近600hPa, 在800hPa附近分别出现了两个 $-2.5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 的散度中心, 表明低层有辐合上升运动, 且是一个增强过程, 增强的辐合上升运动使750hPa以下层的气温下降。1~5日, 650~300hPa层为正散度区, 2日开始正散度区增强向高层伸展, 4日到达200hPa, 4~5日在500hPa附近有 $2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 的正散度中心, 中高层辐散下沉运动从弱到强变化与低空辐合上升运动强弱变化一致, 反映倒春寒地区上空冷暖空气垂直对流运动的增强及伴随的降雪(雨)量从小到大的变化过程。5日凌晨, 低层负散度区迅速减弱, 近地面出现弱辐散, 随后中层强正散度区向低层传递与地面向上伸展的弱正散度

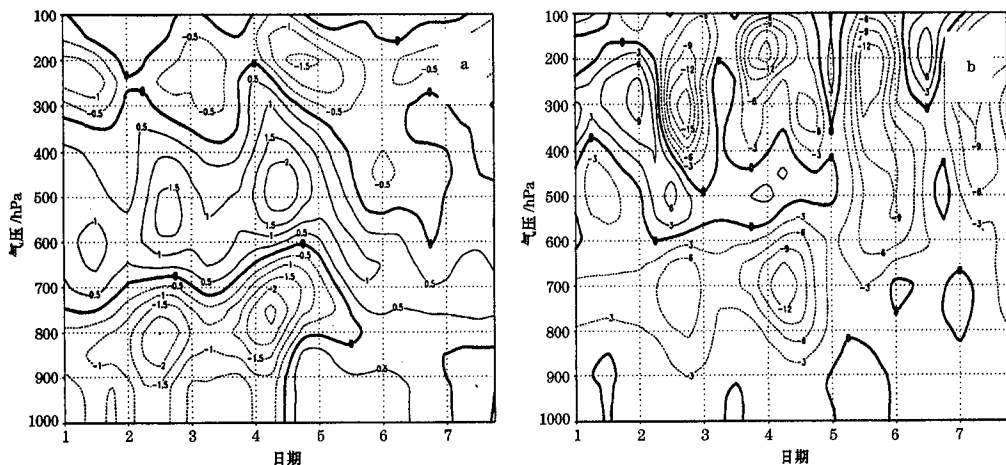


图3 2005年3月1~7日倒春寒影响区(22~26°N、99~104°E)的平均散度(a, 单位: 10^{-5}s^{-1})和平均涡度平流(b, 单位: 10^{-10}s^{-2})时间垂直剖面图

合并, 6日500hPa以下层为正散度区, 辐散下沉气流导致500hPa以下层的气温升高, 低温阴雪(雨)天气结束。

从图3b中可知, 在倒春寒发生和维持期间, 600hPa以下层为负涡度平流区, 其增强并向上层伸展, 4日在700hPa附近出现 $-12 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$ 的强负涡度平流中心, 负涡度平流使等压面升高, 表现为地面冷高压加强; 600~400hPa层有弱正涡度平流区, 400hPa以上层是强负涡度平流区; 700~500hPa层正涡度平流随高度增加而加强, 反映该层之间有上升运动。5~7日700hPa以下层出现弱正涡度平流区, 以上是较强的负涡度平流区并随高度负值加大, 对应300hPa以下层出现明显的下沉运动, 倒春寒天气过程逐渐结束。

3.3 垂直速度分布特征

3月1~7日22~26°N、99~104°E倒春寒影响区域的平均垂直速度时间垂直剖面图(图4a)显示, 在倒春寒发生和维持期间, 500hPa以下层为上升运动区, 垂直速度有两个中心分别出现在2日晚上和4日晚上, 中心位于700~500hPa之间, 两中心极值分别小于 $-0.35 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 -0.45

$\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。4日上升运动区向上伸展到300hPa附近, 中低层持续强上升运动, 致使低空暖湿气流不断抬升, 是大范围的雪雨天气产生之缘由。4日晚开始800hPa以下低层出现下沉运动, 高层强下沉运动中心迅速增强至 $+0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 并向中低层发展, 600hPa上出现 $+0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 下沉运动, 近地层上升运动区消失后, 整层都为下沉运动, 雪雨天气结束, 气温也逐渐回升。

4 强倒春寒天气过程中比湿特征及水汽源

云南伴有雪雨天气的倒春寒通常由南支槽、川滇切变线和地面冷锋共同作用所造成的, 南支槽前的西南暖湿气流是连阴雨型倒春寒降水的主要水汽来源。而本次强倒春寒天气过程不同的是无南支槽配合, 由昆明静止锋及川滇切变线引发的连阴雪(雨)型倒春寒。过程的水汽来源及分布特征诊断分析如下。

4.1 强倒春寒过程中低层比湿特征

文献[4]指出, 某地的降水强度除取决于垂直速度外, 还决定于该地上空整个大气柱的水汽含量和饱和程度, 在相同的上升

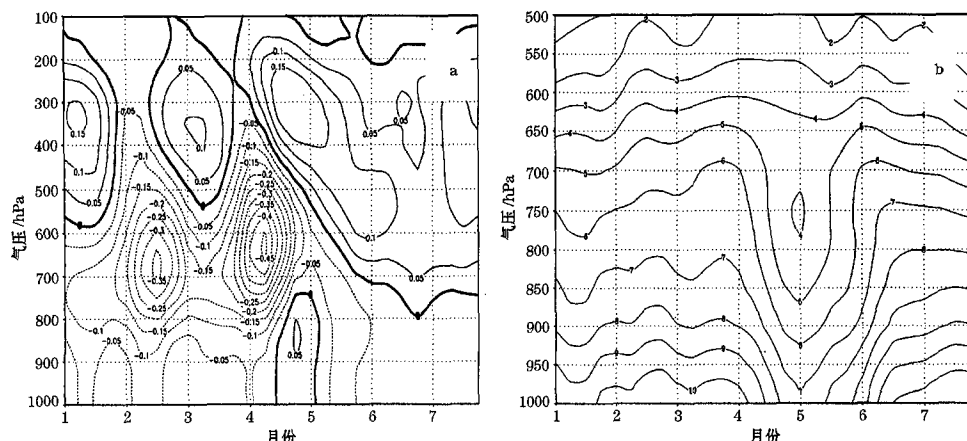


图4 2005年3月1~7日倒春寒影响区(22~26°N、99~104°E)的平均垂直速度(a, 单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)和平均比湿(b, 单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)的时间垂直剖面图

运动条件下,大气柱中的饱和比湿愈大,则降水愈强。经对强倒春寒发生前后影响区域上空平均比湿图(图4b)及500hPa、700hPa和850hPa上平均比湿合成图(图略)分析发现,强倒春寒发生和维持期间,大比湿区域主要是在600hPa以下层,850hPa上维持 $6.5\sim 7.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 大的比湿,700hPa上比湿从 $5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增大到 $6.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,而500hPa上的比湿则较小,在 $0.5\sim 2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间摆动,表明垂直方向上的水汽主要位于600hPa以下层,并通过辐合上升运动抬升凝结而成云致雨雪。4日开始600hPa以下层比湿迅速减小,5日达最小,从700hPa到地面形成一个向下伸的干舌区,6日又开始逐渐上升,但区域上空为辐散下沉区,阴雪(雨)天气结束。

4.2 强倒春寒过程中水汽输送特征

水汽通量表征水汽的来源,水汽通量散度则表征水汽的辐合和辐散。图5是3月1~7日 $20\sim 35^{\circ}\text{N}$ 、 $92\sim 110^{\circ}\text{E}$ 区域的850hPa、700hPa平均水汽通量和平均水汽通量散度图。由图5可见,850hPa上孟加拉湾至缅甸西南部、西藏东南部到滇西和滇东南分别有3个水汽通量中心,其中缅甸西南部的最大,中心值大于 $7\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 。揭示了孟加拉湾是水汽源地,与有人研究的结果一致^[6],该地的气水含量很充足,并通过西南气流将水汽源源不断地运送至云南降雪(雨)区上空;而滇东南的较强水汽通量则是通过东南风向西北方向输送。700hPa上从孟加拉湾经缅甸西南部到滇大部有一NW—SE走向的水汽通量大值区,最大值中心位于缅甸北部,极值大于 $9.5\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$,水汽沿偏西气流向东输送,翻过哀牢山后向东偏南方向进入滇东和滇东南。500hPa上(图略)青藏高原东部至广西有与700hPa走向一致的水汽通量大值区,最大值大于 $4\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$,中心分别在保山和曲靖南部,较之

700hPa和850hPa上的极值明显偏小,表明水汽主要分布在700hPa以下层。500hPa上的水汽沿滇缅高脊前的西北气流从滇西北向滇东南传输。在水汽通量的垂直分布图上(图略),大值区从低层到高层向东北方倾斜,最大中心位于700hPa上。

平均水汽通量散度(如图5c、d所示),850hPa上西藏东南部到云南有一个较强NW—SE向的水汽辐合区,辐合中心在滇西北,中心值小于 $-20\times 10^{-8}\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$,云南大部处于 $-5\times 10^{-8}\sim -15\times 10^{-8}\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 的辐合区中。700hPa上缅甸北部到滇西南转为较强的水汽辐散区,分别对应大于 $10\times 10^{-8}\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 的3个中心,云南其它大部地区为弱水汽辐合区,较强的水汽辐合中心在西藏东南部。说明云南降雪(雨)区中的水汽主要在700hPa以下层辐合。故降水量有5~30mm。500hPa上(图略)从西藏东南部到云南处于较强的水汽辐散区中。通过以上分析可知,中低层的水汽通量散度较好地表征了水汽由缅甸北部向云南输送的特征,850~700hPa间的水汽辐合表明对来自孟加拉湾水汽在云南上空得以聚积,为这次低温连阴雨型倒春寒提供了水汽条件。

5 小 结

通过对2005年3月云南出现历史上罕见的连阴雨型强倒春寒天气过程进行诊断分析,得到如下一些主要结果。

(1)这次强倒春寒天气无南支槽配合,由昆明静止锋和中低层切变线共同作用形成的,西伯利亚地区冷空气以西北路径东移南下,在低层以偏东气流的回流方式侵入云南。

(2)孟加拉湾是云南大到暴雪的水汽源地,水汽由西南气流从中低层经缅甸、青藏高原东南部向云南上空输送和聚积。

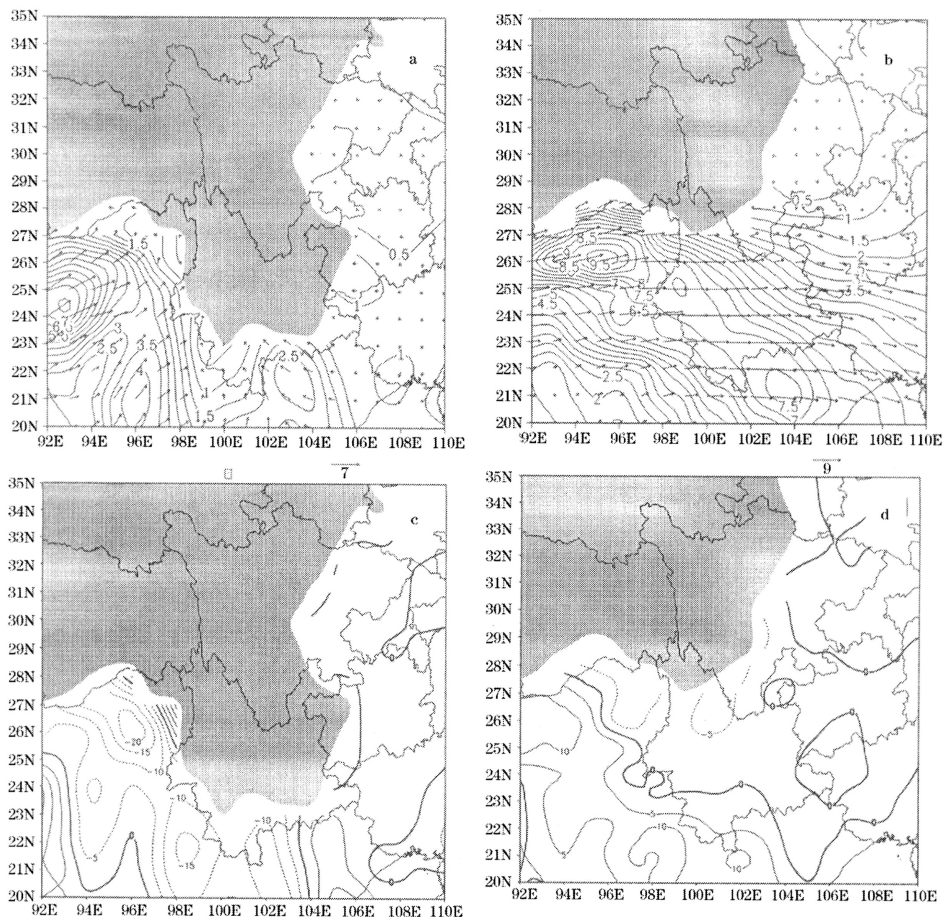


图5 2005年3月1~7日(20~35°N, 92~110°E)区域的平均水汽通量(阴影区为地形廓线, a: 850hPa, b: 700hPa, 单位: $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$)和平均水汽通量散度(c: 850hPa, d: 700hPa, 单位: $10^{-8} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$)

(3) 低层强冷平流和高层强冷平流下传是引起云南强降温之原因, 并通过辐散下沉运动来实现的; 中低层较强的暖湿气流(暖平流)沿昆明静止锋后低层冷空气垫爬升是产生强降雪(雨)的动力条件。

参考文献

- 1 秦剑, 琚建华, 解明恩. 低纬高原天气气候. 北京: 气象出版社, 1997: 107~112.
- 2 段旭, 王恒康, 董谢琼. 云南春季低温标准的研究. 气象, 1998, 24 (9): 16~20.
- 3 郑建萌, 段旭. 云南春季低温的诊断分析. 气象, 2001, 27 (5): 35~37.
- 4 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 1983: 218~221.
- 5 刘丽. 低纬高原冬季寒潮天气个例分析. 气象, 2001, 27 (8): 53~55.